

**4^e Conférence sur l'entretien des Jardins,
Espaces Végétalisés et Infrastructures
19 et 20 octobre 2016 – ENSAT Toulouse**

La 4^e Conférence sur l'entretien des Jardins, Espaces Végétalisés et Infrastructures de l'AFPP a été organisée avec le concours de :



**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

COMITÉ D'ORGANISATION

Philippe BEUSTE	LAURAGRI Services
Robert BIGEL	AGROBIOTECH
Bernard BOUTTE	Département Santé Forêts
France CASSIGNOL	AFPP
Gilbert CHAUVEL	Expert-référent national DGAL-SDQSPV « ZNA-Cultures ornementales »
Ollivier DOURS	Institut écoumène Golf et Environnement
Pierre EHRET	Expert-référent national DGAL-SDQSPV Cultures tropicales – Espèces exotiques et envahissantes
Maryvonne GANDON	AFPP
Bruno GAUTHIER	BG Consultant
Marie-Paule JUGNET	Santé des végétaux
Anne-Isabelle LACORDAIRE	Lacordaire Formation
Hervé LOUSSERT	DRAAF-SRAL Languedoc-Roussillon - Midi-Pyrénées
Jacques MY	UPJ
Emmanuelle SARAT	Chargée de mission « Espèces exotiques et envahissantes » - UICN Comité français
Séverine ZARB	AFPP

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

SOMMAIRE

SESSION FORÊTS

COMMUNICATIONS ORALES

- **Le hanneton forestier (*Melolontha hippocastani fabricius* 1801) : retour ou émergence d'un nouveau ravageur des forêts ?**
L.-M. NAGELEISEN, T. BELOUARD (Département de la Santé des Forêts).....9
- **Réguler la processionnaire du pin en favorisant la nidification des mésanges : résultats de 8 à 10 années d'études**
J.-C. MARTIN, M. PRINGARBE, M. CORREARD, N. TURION, O. GILG, F. JEAN (INRA Avignon)16
- **Deux parasitoïdes oophages indigènes pour lutter contre *Thaumetopoea pityocampa* et *Lymantria dispar***
H. TUNCA (Université d'Ankara - Turquie), M. VENARD, E.-A. COLOMBEL, E. TABONE (INRA Antibes)27
- **Le scolyte *Xylosandrus crassiusculus* (Coleoptera : Curculionidae) en France : de la détection à la lutte**
J.-B. DAUBREE (DRAAF-SRAL PACA)35
- **Utilisation de pièges génériques pour la détection précoce d'insectes exotiques xylophages sur le territoire national**
O. DENUX, A. ROQUES (INRA Orléans).....45

SESSION ARBORICULTURE ORNEMENTALE

COMMUNICATIONS ORALES

- **Reconstruction des réseaux d'interactions entre les plantes, *Xylella fastidiosa* Wells et al., et ses vecteurs potentiels à l'aide d'outils de séquençage à haut débit : intérêt pour le contrôle de la maladie**
J.-Y. RASPLUS, J.-C. STREITO, J.-P. ROSSI, G. GENSON (INRA Montpellier), J.-F. GERMAIN (ANSES), M. GODEFROID, A.-A. GONZALEZ, S. NIDELET, É. PIERRE (INRA Montpellier), S. PUISSANT (Muséum - Jardin des Sciences), S. SANTONI, A. CRUAUD (INRA Montpellier).....47
- **Stratégies de protection biologique intégrée en pépinière en milieu extérieur**
A. DROUI, J.-M. DEOGRATIAS (ASTREDHOR SUD-OUEST GIE Fleurs et Plantes)56
- **L'invasion fulgurante de la pyrale du buis en France et en Europe : diversité génétique et approche phylogéographique**
A. BRAS, C. COURTIN (INRA Orléans), M. KENIS (CABI – Suisse), A. BERNARD, A. ROQUES, J. ROUSSELET, M.-A. AUGER-ROZENBERG (INRA Orléans)68
- **Vers une stratégie de gestion durable de la cylindrocladiose et des autres maladies induisant le dépérissement du buis**
L. JACOB, P. TOLLE (ASTREDHOR), M. GUERIN, C. GUTLEBEN (Plante & Cité), F. ROBERT (ASTREDHOR)78
- **Vers une stratégie de gestion durable de la pyrale du buis *Cydalima perspectalis* (Walker 1859)**
M. GUERIN (Plante & Cité), E. TABONE, J.-C. MARTIN (INRA PACA), A. I. LACORDAIRE (Koppert France), C. GUTLEBEN (Plante & Cité), F. ROBERT (ASTREDHOR)92
- **Étude de la génération fille des parasitoïdes (F1) dans la mise en place d'un programme de lutte biologique contre la pyrale du buis, *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera : Crambidae)**
M. VENARD, T. ENRIQUEZ, E.-A. COLOMBEL, E. TABONE (UEFM INRA PACA)107

COMMUNICATIONS AFFICHÉES

- **Les insectes vecteurs potentiels de *Xylella fastidiosa* en France métropolitaine**
J.-F. GERMAIN (ANSES).....118
- **Un nouveau ravageur sur ficus, le psylle *Macrohormotoma gladiata*, Kuwayama**
A. ROBERTI (FREDON PACA), J.-F. GERMAIN (ANSES), S. PIONNAT (AGRODIAGNOSTIC)125
- **Tree failures in Italy: analysis of single events, consequences and distribution**
B. ROATTI (AR.ES. S.a.s. – Italie), G. MORELLI (PROGETTO VERDE – Italie), S. GASPERINI (AR.ES. S.a.s. – Italie) 133
- **Analysis of anatomic structures of trees in relation to uprooting behaviour: the case study of *Pinus pinea***
S. GASPERINI, B. ROATTI (AR.ES. S.a.s. – Italie), G. MORELLI (PROGETTO VERDE – Italie).....142
- **L'utilisation de drones pour l'application des produits de biocontrôle en JEVI : l'exemple du traitement des palmiers**
S. BESSE (Arysta LifeScience Corporation), K. PANCHAUD (Vegetech), E. GRIMAUD, J. VANIE (MC-Clic)150

SESSION JARDINS AMATEURS

COMMUNICATIONS ORALES

- **L'épidémiosurveillance en jardins amateurs**
A.-G. CABELGUEN (Société Nationale d'Horticulture)158
- **Les projets de recherche participatifs dans les jardins collectifs urbains : des opportunités pour la transition écologique !**
C. DUMAT (CERTOP - INP-ENSAT), L. SOCHAKI (CERTOP – IUT Toulouse)165
- **Gestion *in situ* des jardins familiaux contaminés au plomb : culture de légumes très faiblement accumulateurs et phytoextraction**
D. BOUQUET, A. LEPINAY, P. GAUDIN (LPG-Nantes), C. LE GUERN (BRGM RGM Direction régionale des pays de la Loire), L. JEAN-SORO (IFSTTAR), T. LEBEAU (LPG-Nantes).....176
- **Risques environnementaux et sanitaires dans les jardins**
P. BRANCHU (Cerema Direction territoriale Ile-de-France), S. JOIMEL (UMR Ecosys – INRA Versailles), F. DOUAY (LGCgE Lille, Yncréa Hauts-de-France), G. LEFEBVRE (Cerema Direction territoriale Nord Picardie), E. REMY (INRA UMR SAD-APT AgroParisTech), B. BECHET (IRSTV), C. NEEL (Cerema Direction territoriale Centre Est), C. DUMAT (CERTOP), J. SCIMIA (Ecobiosol - OPVT - Université de Rennes 1), T. LEBEAU (IRSTV), P. CAMBIER (UMR Ecosys – INRA Versailles), H. CAPIAUX (IRSTV), C. SCHWARTZ (Laboratoire Sols et Environnement, Université de Lorraine)187
- **Qualité de l'écosystème jardin : sols, plantes et biodiversité**
C. SCHWARTZ (Laboratoire Sols et Environnement, Université de Lorraine), S. JOIMEL (Laboratoire Sols et Environnement, Université de Lorraine - UMR Ecosys – INRA Versailles), P. BRANCHU (Cerema Direction territoriale Ile-de-France), J.-L. MOREL, E.-D. CHENOT (Laboratoire Sols et Environnement, Université de Lorraine), J.-N. CONSALES (Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional).....197

COMMUNICATIONS AFFICHÉES

- **Le projet « Jardiner autrement » : promouvoir l'utilisation des méthodes alternatives auprès du grand public**
H. SURMELY (Société Nationale d'Horticulture de France).....207
- **Cœur de bœuf recherche gueule de loup pour projets durables : la biodiversité au service des jardins familiaux**
J.-N. CONSALES (Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional), S. JOIMEL (AgroParisTech)216

SESSION VÉGÉTATION SPONTANÉE, GESTION DE LA FLORE

COMMUNICATIONS ORALES

- **« Végétal local » et « Vraies messicoles » : deux signes de qualité des végétaux sauvages**
D. PROVENDIER, S. MALAVAL (Fédération des Conservatoires botaniques nationaux - Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées), J. GARCIA, J. CAMBECEDES (Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées)228
- **Le fauchage exportation : quels intérêts pour la gestion des dépendances vertes des infrastructures linéaires routières ?**
C. PINEAU, A. VENDE (Cerema Ouest)234
- **Infrastructures linéaires et maîtrise de la végétation : quelles innovations ?**
T. AULLO (Transport et Infrastructures Gaz France), E. CUENOT (Autoroutes Paris Rhin Rhône), G. DECOSTER (Voies navigables de France), C. HELAN (Réseau de Transport d'Electricité), M. LE LAY (SNCF RESEAU), G. QUESNEL (GRTgaz).....244
- **Utilisation d'une solution GPS pour le désherbage des voies ferrées**
G. DOYEMET, R. ROBERT (SNCF Réseau).....253
- **Flore protégée et gestion différenciée des bords de route**
J. GARCIA, J. CAMBECEDES (Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées), A. LATTIGNANT, E. CONSTENSOU (Conseil Départemental de la Haute-Garonne / DVI-STER)262

SESSION PLANTES EXOTIQUES ENVAHISSANTES

COMMUNICATIONS ORALES

- **Quelle démarche et quels outils pour une stratégie de lutte et de prévention adaptée à son territoire ?**
E. KREBS (Conservatoire botanique national méditerranéen de Porquerolles), J. DAO (Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées)272
- **La stratégie de gestion des espèces exotiques envahissantes du bassin Loire-Bretagne 2014-2020, un outil de mutualisation**
S. VARRAY, S. HUDIN (Fédération des Conservatoires d'espaces naturels).....286
- **Code de conduite professionnel relatif aux plantes exotiques envahissantes : une initiative des professionnels de la filière du végétal**
R. MANCEAU (VAL'HOR), P. ABADIE (FNMJ), V. BRUN (FNPHP), A. DAVAL (FFP), E. DE CHAUMONT (VAL'HOR), J.-M. DEHAYE, F. DEVOGHELAERE (UNEP), C. DUCOURNEAU (FELCOOP), O. FILIPPI (FNPHP), S. GAY (FNMJ), P. PINEAU (FNPHP), J.-E. VOUREC'H (FELCOOP)295
- **Faut-il continuer à planter des stipes cheveux d'ange (*Nassella tenuissima*) ?**
G. FRIED (ANSES).....305
- **Mise en place d'un protocole de détection précoce par l'observatoire régional des plantes aquatiques exotiques envahissantes en Poitou-Charentes**
L. RABIN, F. THINZILAL, L. ANRAS (Forum des Marais Atlantiques).....316
- **L'action ciblée du CEN Centre-Val de Loire sur les solidages invasifs**
H. GERVAIS (Conservatoire d'espaces naturels Centre-Val de Loire)326
- **Le traitement de l'ambrosie à feuilles d'armoise par le sel en solution : une méthode alternative pour les zones non agricoles ?**
R. BILON, M. MOTTET (Observatoire des ambrosies, Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté), J. JACQUIN-DANTIN (Observatoire des ambrosies, Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté - ICM, Université de Grenoble-Alpes), B. CHAUVEL (Observatoire des ambrosies, Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté).....331
- **La gestion des invasives végétales sur les dépendances routières : quelles stratégies mettre en place ?**
C. PINEAU (Cerema Ouest), J.-P. MOULIN (DIR Ouest)340
- **Biosécurité en milieux aquatiques et prévention des invasions biologiques : de la planète au coin de pêche ?**
A. DUTARTRE, E. SARAT (IUCN)350

COMMUNICATIONS AFFICHÉES

- **Gestion d'une plante aquatique exotique envahissante, le myriophylle du Brésil (*Myriophyllum aquaticum* Verdc.), au cœur d'un marais à fort enjeu écologique**
F. MERCIER (Conservatoire d'Espaces Naturels de Basse-Normandie)360
- **Une brigade de gestion préventive sur les espèces invasives : un appui aux territoires**
F. MERCIER, E. SCHMITT, R. CHALMEL (Conservatoire d'Espaces Naturels de Basse-Normandie).....368
- **La lutte biologique contre l'ambrosie à feuilles d'armoise illustrée par l'exemple d'*Ophraella communa* : quels intérêts et quelles limites ?**
B. CHAUVEL (Agroécologie, AgroSup Dijon, CNRS, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté - Observatoire des ambrosies), R. BILON (Observatoire des ambrosies), R. MOUTTET, E. GACHET (ANSES), U. SCHAFFNER (CABI – Suisse), T. LE BOURGEOIS (CIRAD Montpellier)378
- **Vers une valorisation des déchets de plantes invasives en région Centre-Val de Loire**
H. GERVAIS (Conservatoire d'espaces naturels Centre-Val de Loire)387
- **Vers un observatoire des pratiques de gestion écologique des plantes envahissantes**
M. GUERIN, M. HEDONT, D. PROVENDIER (Plante & Cité).....393
- **Groupe de travail national « Invasions biologiques en milieux aquatiques » : vers une amélioration de la connaissance et des pratiques de gestion des espèces exotiques envahissantes**
E. SARAT (IUCN Comité France), A. DUTARTRE (Hydrobiologiste, expert indépendant), Y. SOUBEYRAN (IUCN Comité France), N. POULET (Office national de l'eau et des milieux aquatiques).....403

SESSION GAZONS

COMMUNICATIONS ORALES

- **Nouvelle méthode de fertilisation pour améliorer l'activité physiologique des gazons**
S. GROLLEAU (COMPO EXPERT)413
- **Analyse spatio-temporelle du rayonnement reçu par la pelouse de quatre stades de l'Euro 2016**
S. LABOISSE (INRA Lusignan – TERENVI), A. J. ESCOBAR-GUTIERREZ (INRA Lusignan), J.-M. HURLUS (TERENVI),
D. COMBES (INRA Lusignan).....422
- **Enquête nationale Ecophyto auprès des golfs français**
T. CHARRIER (ffgolf)433
- **Méthodes alternatives sur gazon pour la réduction des IFT**
T. VERFAILLE (Koppert France), O. DOURS.....443
- **Collection variétale au golf de Touraine**
L. MURAIL (Golf de Touraine), O. DOURS (Institut écoumène Golf et Environnement)454

SESSION RÉGLEMENTATION

COMMUNICATIONS ORALES

- **Actualités sur l'application du règlement européen et sur la rédaction de la stratégie nationale sur les EEE**
A. ALBERT (FCBN - Fédération des Conservatoires botaniques nationaux) – *Article non communiqué*
- **Activité de désherbage - Méthode d'étude des risques et de l'organisation du travail**
P. LAÏLLE (Plante & Cité), G. BROHAN (Conservatoire National des Arts et Métiers des Pays de la Loire - Institut
d'Hygiène Industrielle et de l'Environnement – Ouest, Cnam – IHIE – Ouest), W. BUCHMANN (Conservatoire
National des Arts et Métiers – Centre de Recherches sur le Travail et le Développement), D. TEIGNE, V. LE GALL
(Conservatoire National des Arts et Métiers des Pays de la Loire - Institut d'Hygiène Industrielle et de
l'Environnement – Ouest, Cnam – IHIE – Ouest)465
- **Plan Ecophyto II : une source importante de litiges potentiels**
B. GAUTHIER (BG Consultant)478

COMMUNICATION AFFICHÉE

- **Différences réglementaires entre les produits phytopharmaceutiques JEVI à usage professionnel et à usage amateur**
E. VIANAY, K. MAVET (Lynxee consulting).....485

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**LE HANNETON FORESTIER (*MELOLONTHA HIPPOCASTANI* FABRICIUS 1801) :
RETOUR OU EMERGENCE D'UN NOUVEAU RAVAGEUR DES FORETS?**

L.-M. NAGELEISEN⁽¹⁾, T. BELOUARD⁽²⁾

¹ Département de la Santé des Forêts (MAAF/DGAL/SDQPV)- UMR 1137 EEF
Centre INRA de Nancy-Lorraine 54280 Champenoux

² Département de la Santé des Forêts (MAAF/DGAL/DEVP) UMR 1202 BIOGECO
Centre INRA Bordeaux-Aquitaine 33610 Cestas

RÉSUMÉ

Le hanneton forestier (*Melolontha hippocastani*, *Coleoptera*, *Scarabeoidea*) pullule depuis quelques années dans les forêts du nord de l'Alsace et du pourtour de Paris. Un suivi biologique a permis d'établir que cette espèce avait un cycle de 4 ans dans ces deux régions. Au cours de la phase souterraine qui dure 47 mois, les larves très polyphages consomment les racines de nombreuses espèces ligneuses (hêtre, chênes, pins, sapins,...) causant des mortalités importantes des jeunes tiges. Les adultes essaient au mois de mai (en 2015 en forêt domaniale d'Ingwiller, en 2016 en forêt domaniale de Compiègne) et se portent préférentiellement sur des chênes dont ils consomment les feuilles avant de s'accoupler. Les femelles fécondées pondent alors leurs oeufs dans des sols sableux à l'intérieur de peuplements relativement clairs.

Mots-clés : Hanneton forestier, *Melolontha hippocastani*, vers blancs, type de peuplement forestier.

ABSTRACT

THE FOREST COCKHAFFER (*MELOLONTHA HIPPOCASTANI* FABRICIUS 1801): BACK OR EMERGENCE OF A NEW FOREST PEST?

The forest cockchafer (*Melolontha hippocastani*, *Coleoptera*, *Scarabeoidea*) has multiplied in the last few years in the forests of northern Alsace and around Paris. Biological monitoring has established that this species has a life cycle of 4 years in these two regions. During the subsoil phase, which lasts 47 months, the highly polyphagous larvae eat the roots of many woody species (beech, oaks, pines, fir trees, etc.), causing significant mortality amongst young stalks. Adults hatch in May (in 2015 at the Ingwiller public forest, and in 2016 in the Compiègne state forest) and feed preferentially on oak leaves before mating. The fertilized females then lay their eggs in sandy soil inside relatively sparse stands.

Key words: Forest cockchafer, *Melolontha hippocastani*, White grub, Forest type.

INTRODUCTION

Les hannetons sont des coléoptères d'assez grande taille bien connus de tous, dont les larves souterraines appelées vers blancs, sont des ravageurs des cultures depuis des temps immémoriaux : ils ont même fait l'objet d'excommunication par l'Eglise au Moyen-âge! Les hannetons comprennent en fait une dizaine d'espèces dont deux essentiellement se rencontrent fréquemment en forêt et volent au mois de mai : le hanneton commun (*Melolontha melolontha*) et le hanneton forestier (*Melolontha hippocastani*). Deux autres espèces très courantes en début d'été, le hanneton de la Saint Jean (*Amphimallon solstitialis*) et le hanneton des jardiniers (*Phyllopertha horticola*) fréquentent plutôt les zones non forestières.

Le cycle biologique des hannetons se déroule en deux phases : une phase souterraine qui dure de trois à quatre années selon l'espèce, suivie d'une phase aérienne très courte (6 à 8 semaines) en milieu de printemps pour les hannetons du genre *Melolontha*.

Pour le hanneton commun, la phase souterraine est localisée dans les prairies à proximité de forêt. Tous les trois ans les adultes essaient pour rejoindre la lisière forestière afin de se nourrir de feuilles de chênes et de s'accoupler. Les lisières et, en cas de pullulation, une bande forestière profonde de quelques centaines de mètres peuvent alors être totalement défeuillées. Le changement des pratiques agricoles avec le labour régulier des prairies a sans doute été à l'origine de la raréfaction du hanneton commun en France depuis les années 1960.

Dans le cas du hanneton forestier l'ensemble du cycle est strictement forestier : les vers blancs se développent en forêt et consomment les racines des plantes forestières en particulier celles des arbres, les adultes consomment les feuilles des espèces feuillues. Ce cycle est de quatre années en France comme on a pu le vérifier récemment (Nageleisen et al, 2016).

Espèce discrète depuis de nombreuses décennies, elle a fait l'objet de peu de suivis et d'études en France en dehors des travaux de Couturier et Robert dans les années 1950 à la faveur d'une pullulation remarquable dans les forêts du nord de l'Alsace (Couturier et Robert, 1956). Depuis 2007, dans cette même région ainsi que dans les environs de Paris (forêt domaniale de Compiègne) les forestiers ont été récemment confrontés à des dommages importants aux régénérations tant naturelles qu'artificielles, liés à des pullulations de vers blancs dans le sol. Un essaimage massif d'adultes s'est déroulé au printemps 2014 dans la région de Haguenau, au printemps 2015 dans la région d'Ingwiller (Nageleisen et Meyer, 2015) et au printemps 2016 en forêt domaniale de Compiègne provoquant localement des défoliations des arbres adultes pouvant être totales. Mais ces vols impressionnants font surtout craindre des densités de vers blancs très importantes dans les sols forestiers et par voie de conséquence des risques de dommages sur les semis ou plantations forestières dans les années suivant ces vols. De nombreuses questions se posent alors aux gestionnaires tant sur la durée de cette pullulation (va-t-elle se pérenniser ou se terminer rapidement par un retour à l'endémie?) que sur la localisation des attaques dans les peuplements forestiers (quels sont les peuplements les plus vulnérables c'est à dire quel est le préférendum d'habitat du hanneton?).

MATERIEL ET MÉTHODE

Pour répondre à la première question sur la durée de la pullulation observée actuellement et son positionnement dans une dynamique de population (est-on en phase de culmination au cours d'une gradation?), les éléments concrets sont relativement absents : aucun suivi démographique n'a jamais été réalisé sur cette espèce en France. Schwenke (1974) indique une rythmicité des pullulations en moyenne tous les 8 à 10 cycles générationnels qui durent chacun 4 années, ce qui correspond à une phase épidémique tous les 32 à 40 ans. Historiquement, une seule publication fait référence à un vol massif de hanneton forestier en 1954 en forêt indivise de Haguenau et à des pullulations de vers blancs dans le sol les années qui ont précédé ce vol (Couturier et Robert, 1956). Quelques indications sporadiques et peu détaillées des agents forestiers autour d'Ingwiller indiquent qu'une autre phase aurait pu se développer au cours des années 1980 mais nous n'avons pas trouvé de détail sur son intensité et sa répartition. Aussi, pour résoudre cette question et éventuellement observer un retour naturel à l'endémie, un observatoire est mis en place à partir de 2016 pour suivre quantitativement l'évolution de la population du hanneton forestier dans les forêts les plus concernées. Il consiste dans l'installation de placettes géo-référencées sur lesquelles seront chaque année ouverte des fosses pour dénombrer les vers blancs (9 par placettes pour tenir compte de la variation locale de densité de larves).

Afin d'appréhender la répartition des dommages et d'évaluer si un ou des types de peuplements forestiers étaient plus particulièrement impactés, l'Office National des Forêts (agence Nord-Alsace) a réalisé en 2014 un inventaire

systématique par placettes sur une vaste surface (20 000 ha environ) dans les forêts publiques de la région d'Ingwiller (67).

Les placettes ont été installées systématiquement aux nœuds d'une maille carrée de 400 m de côté soit avec une densité d'une placette pour 16 ha. Sur chaque point a été réalisé un inventaire dendrométrique selon les méthodes d'inventaire mises en œuvre par l'ONF (protocole ONF-ANAFOR version 2004 A1). Il consiste en un relevé relascopique par essence de toutes les tiges précomptables (diamètre à 1,3 m supérieur à 17,5 cm) et en un dénombrement des perches, des fourrés et des semis sur une surface fixe. Des informations complémentaires sur des dommages visibles (mortalité, rougissement des feuilles ou aiguilles) ou non (arrachage de semis pour observer les dégâts aux racines) ont également été relevées. Enfin sur chaque point d'inventaire une fosse cubique de 50 cm de côté a été creusée pour dénombrer le cas échéant les larves de hanneton. Un total de 1100 points a ainsi été inventorié de mai à novembre 2014. Les données ont été saisies directement sur le terrain à l'aide d'ordinateur de terrain (Workabout) et transcrites dans un tableau récapitulatif.

De façon à éliminer les placettes de l'inventaire qui sont en bordure externe de la zone de présence (l'installation de placettes s'arrêtait lorsque 2 placettes successives étaient sans indice ou présence avérée de hanneton), une enveloppe convexe des placettes où le hanneton était effectivement présent a été calculée sous SIG pour délimiter la zone de présence potentielle. Les placettes à l'intérieur de cette enveloppe – elles sont au nombre de 975 sur un total de 1100 (figure 1) – ont fait l'objet d'une analyse statistique détaillée.

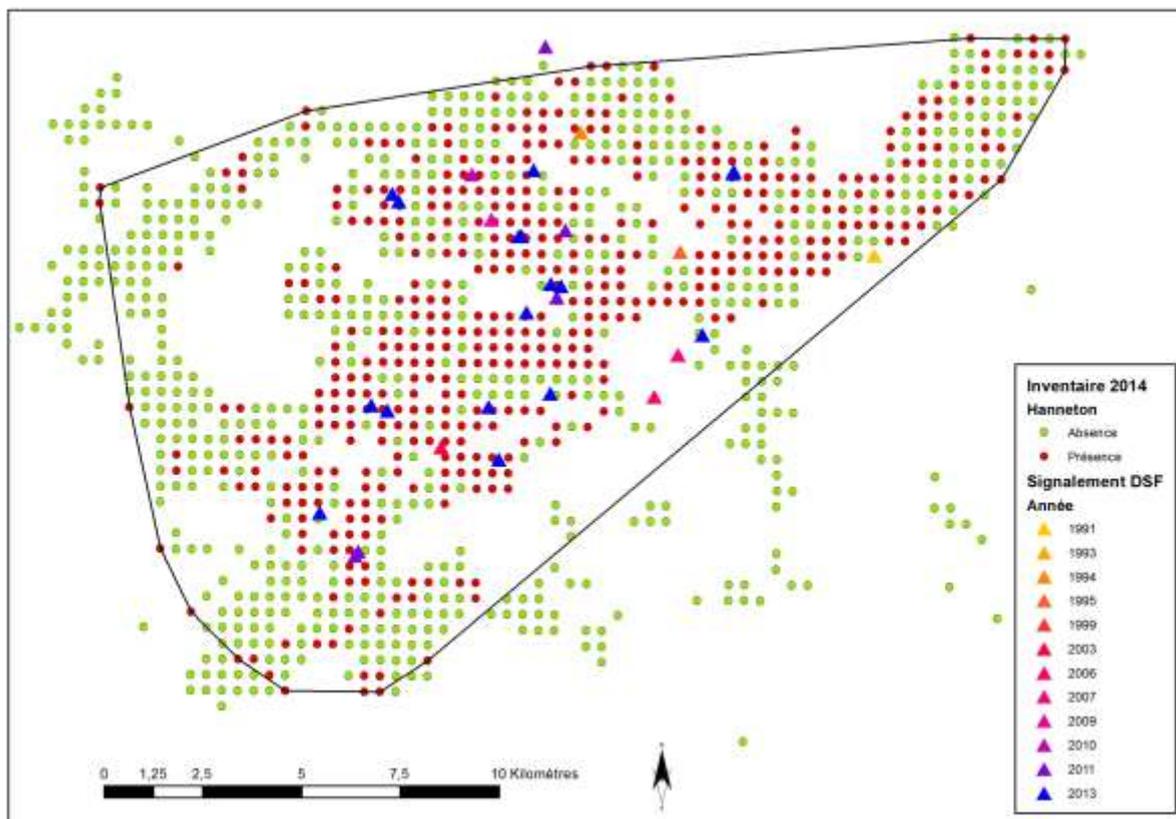
L'objet de cette analyse était d'expliquer les effectifs de larves à partir de facteurs explicatifs potentiels. Les facteurs testés étaient de différente nature :

- Caractéristiques du peuplement : composition en essences issue de l'inventaire mais également extraite de la cartographie forestière IGN (IFN, 2008), surface terrière et sa répartition par classes de dimension et par groupes d'essences, type selon la typologie des peuplements du massif vosgien (Asael *et al*, 1999), importances du perchis, du gaulis et de la régénération;
- Station : topographie (altitude, pente, exposition, rayonnement solaire potentiel), sol (texture, présence d'une couche noire dans l'humus), présence d'un tapis végétal ;
- Epidémiologie : distances aux observations antérieures du hanneton forestier (signalements du Département de la Santé des Forêts depuis 1989).

Comme la grandeur à expliquer est un effectif, le modèle linéaire généralisé est parfaitement adapté. La famille de Poisson avec le logarithme comme fonction de lien s'imposait (Venables, 2002). Les traitements statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2014). Le critère d'information d'Akaike (AIC) a été utilisé pour déterminer les facteurs statistiquement significatifs ; le meilleur modèle est celui pour lequel ce critère est le plus faible. Ce critère présente l'intérêt d'éviter le surparamétrage du modèle (parcimonie).

Enfin, de façon plus empirique, des observations du comportement de ponte des femelles ont été réalisées au cours des périodes de vols en mai 2015 en Alsace (Meyer 2015) et en mai 2016 à Compiègne (Morvan, 2016).

Figure 1: Cartogramme des placettes d'inventaire et des observations du hanneton forestier dans les massifs forestiers publics autour d'Ingwiller (67)



RESULTATS

L'analyse statistique a porté sur 967¹ placettes parmi lesquelles 453 placettes, soit un peu moins de la moitié (46,8 %), ont fait l'objet d'une observation directe de hanneton dans le sol.

¹ Quelques placettes incluses dans l'enveloppe convexe ont été écartées de l'analyse car des données manquaient.

Tableau I : résultats de l'analyse statistique des données de 967 placettes de l'inventaire réalisé en 2014 dans les forêts autour d'Ingwiller par application d'un modèle linéaire généralisé. Seuls les facteurs statistiquement significatifs ont été retenus ($\Delta AIC > 2$). Un facteur est d'autant plus significatif que ΔAIC est élevé. ΔAIC correspond à l'augmentation de l'AIC lorsqu'on enlève le facteur en question au modèle complet (c'est-à-dire le modèle comprenant tous les facteurs statistiquement significatifs).

Facteur	AIC	ΔAIC
Tous les facteurs statistiquement significatifs	3 491,17	-
Surface terrière totale (3 classes)	3 497,31	6,13
Exposition	3 497,51	6,34
Altitude	3 498,26	7,09
Couvert du semis	3 499,35	8,18
Surface terrière des bois moyens	3 500,44	9,27
Pente	3 505,43	14,26
Distance au signallement DSF le plus proche	3 509,98	18,81
Part des feuillus dans la surface terrière totale	3 513,55	22,38
Jour de l'année	3 527,99	36,82
Type de formation végétale IGN	3 536,83	45,66
Surface terrière feuillue	3 542,67	51,50
Structure du peuplement (typologie du massif vosgien)	3 555,80	64,63
Texture du sol	3 560,36	69,18
Minimum de la distance aux signalements DSF antérieurs pondérée par l'inverse de l'ancienneté	3 634,88	143,71

Le facteur statistiquement le plus significatif est le minimum de la distance aux signalements DSF antérieurs de dommages racinaires par les hannetons, distance pondérée par l'inverse de l'ancienneté. Ce très fort effet spatial dans la pullulation actuelle de hannetons apparaît clairement sur la carte (figure 1) : les signalements des années antérieures sont situés à proximité des hannetons observés lors de cet inventaire. On peut considérer qu'il y a une "zone cœur" de la population de hannetons forestiers qui persiste au cours du temps (au moins depuis les premières observations standardisées en 1991).

Le deuxième facteur le plus significatif est la texture du sol : les hannetons sont observés presque exclusivement sur des textures sableuses (sableuse pure, sablo-limoneuse et sablo-argileuse). Ce résultat est en totale conformité avec la littérature.

Parmi les autres variables stationnelles, l'altitude influe un peu, au moins dans le domaine du présent inventaire (altitudes comprises entre 250 et 500 m). On note une forte diminution des signalements de hanneton au delà de 400 m. La topographie, à travers la pente et l'exposition, ressort également mais selon des modalités qui semblent *a priori* complexes et que cette analyse n'a pas permis d'établir parfaitement.

Les données dendrométriques disponibles qui décrivent le peuplement sont très nombreuses. Peu sont cependant apparues comme statistiquement significatives à l'analyse. La surface terrière semble toutefois jouer un rôle non négligeable. La densité de hannetons est corrélée positivement avec la surface terrière feuillue, mais négativement avec la part de surface terrière feuillue dans la surface terrière totale, ainsi que négativement avec la surface terrière des bois moyens. Cela révèle l'importance du mélange d'essences (la présence de hanneton est plus forte dans les peuplements mixtes feuillus-résineux comme dans les mélanges hêtre-pin sylvestre) mais aussi l'effet négatif d'un fort matériel sur pied (les peuplements fermés sont peu colonisés). Les effectifs sont les plus importants pour les surfaces terrières totales intermédiaires, c'est-à-dire comprises entre 15 et 25 m²/ha. Les données synthétiques de la typologie des peuplements du massif vosgien qui reposent sur la proportion des différentes catégories de diamètre (petits bois, bois moyens, gros bois et très gros bois) interviennent de la même façon : moins de hannetons dans les zones très ouvertes (vide boisable ou peuplement très clair à petits bois) et dans les peuplements les plus denses (perchis, futaie à petit bois), plus de hannetons dans les peuplements réguliers, à bois moyens et gros bois, pauvre en perches.

DISCUSSION

Il convient de rester prudent sur les résultats de cette analyse statistique dont le pouvoir explicatif reste globalement faible. En effet, la généralisation du coefficient de détermination R^2 au modèle linéaire généralisé (Nakagawa, 2013) s'élève uniquement à 18,6 %. Les résultats obtenus sont donc à prendre avec circonspection. Malgré tout, cette analyse conforte globalement les observations réalisées directement sur le terrain, tant en Alsace qu'aux environs de Paris, sur la présence de dommages et le comportement de ponte des femelles après accouplement en mai 2015 et en mai 2016 : absence de hanneton forestier dans les zones très ouvertes d'une certaine superficie (prairie à gibier par exemple) ou dans les peuplements très fermés (taches de fourré-gaulis-perchis ou futaie dense avec un sous étage important), présence dans les peuplements semi-ouverts (peuplements fortement éclaircis, sans sous-étage).

Un autre point important à souligner dans les résultats de cette étude est que la présence du hanneton est strictement liée à une texture du sol essentiellement sableuse et à une absence de trace d'engorgement même temporaire à moyenne profondeur (moins de 50 cm). Or ce type de sol reste relativement limité en superficie en forêt ce qui va restreindre énormément les risques d'extension des dommages de hanneton forestier.

CONCLUSION

Beaucoup de questions restent en suspens au sujet de cette pullulation du hanneton forestier dans le nord de l'Alsace et en région parisienne. L'apparente nouveauté de ce phénomène doit-elle être interprétée comme un changement dans la dynamique de population suite à des modifications environnementales (évolution de la physionomie des peuplements forestiers, changements climatiques, défaut de prédation...) ou simplement par un déficit d'observations ou d'écrits sur des phases épidémiques anciennes? Les conséquences sur les peuplements, de la régénération au peuplement adulte, vont-elles se pérenniser et, dans l'affirmative, le forestier a-t-il des moyens d'intervention ?

De façon à répondre le plus objectivement possible à ces questions, un observatoire constitué de placettes de suivi biologique du hanneton forestier et de placettes de suivis des symptômes sur les peuplements a été installé pour quelques cycles générationnels (pour 2 cycles au minimum soit 8 ans de façon à confirmer la dynamique de population).

Au sujet des interventions contre le hanneton, l'utilisation des insecticides chimiques après la Deuxième Guerre mondiale a été généralisée pour lutter contre les hannetons, avec un succès certain mais avec des conséquences considérables sur les espèces non cibles, liées au spectre très large de ces insecticides, épandus sur de grandes surfaces. Ils ne sont désormais plus autorisés.

Un seul produit reste homologué actuellement contre les vers blancs (aucun contre les adultes). Il s'agit d'un insecticide systémique à base d'imidaclopride que l'on place soit directement dans le sol au moment de la plantation, soit dans le substrat lors de la mise des plants en godet. Sa durée d'action limitée dans le temps (2 ans) pose la question du renouvellement du traitement à l'occasion d'une nouvelle phase de ponte et d'une nouvelle génération de larves.

En Rhénanie-Palatinat, région allemande voisine de l'Alsace, le hanneton forestier cause des dommages depuis plusieurs décennies dans les forêts de la vallée du Rhin (Späth et Schanowski, 2007). Les tentatives de lutte biologique contre le hanneton forestier, menées par le centre de recherches forestières de Fribourg en Brisgau (FVA Baden-Wurtemberg) à l'aide de champignons entomophages (*Beauveria brognartii*) ou de nématodes se sont pour l'instant soldées par des échecs.

Au final, le forestier reste actuellement relativement démuné contre ce ravageur et l'expérience allemande montre que la problématique du hanneton forestier pourrait devenir une préoccupation durable dans les forêts sur sol sableux.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Joseph Meyer et Stéphane Brault, Correspondants-Observateurs du Département de la Santé des Forêts respectivement à Ingwiller (67) et à Compiègne (60) qui ont réalisé l'essentiel des observations sur le hanneton forestier citées dans ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

Asael. S., Ancel P., Lacombe E., Wilhelm M.-E. (1999). Peuplements forestiers du massif vosgien : typologie et sylvicultures. CRPF Lorraine-Alsace, 52 p.

Couturier A. et Robert P. (1956) Observations sur *Melolontha hippocastani* F. Annales des Epiphyties N°3 1956,

IFN, 2008. Nouvelle cartographie forestière - De la production à l'utilisation. Accès décembre 2015 http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/IMG/pdf/IF20_carto.pdf

Meyer J. (2015). Le "grand vol" ou essaimage du hanneton forestier en 2015 (massifs autour de Wimmenau-67). Document interne, Office National des Forêts (Agence Nord Alsace), 9 p.

Morvan E. (2015). Observation des zones de pontes de hanneton forestier (*Melolontha hippocastani*) et de ses défoliations pour répondre à une urgence de gestion et renouveler le massif forestier de Compiègne-Laigue. Mémoire de Master ECOCAEN-1ère année « gestion et valorisation agri-environnementales » Université de Caen, 23 p.

Nakagawa S., Schielzeth H. (2013). A general and simple method for obtaining R^2 from generalized linear mixed-effects models. *Methods in Ecology and Evolution* 2013, 4, 133–142. DOI 10.1111/j.2041-210x.2012.00261.x

Nageleisen L.-M, Belouard T, Meyer J. (2016). Le hanneton forestier (*Melolontha hippocastani* Fabricius 1801) en phase épidémique dans le Nord de l'Alsace. *Revue Forestière Française* LXVII 4-2015, p. 353-366.

Nageleisen L.-M., Meyer J. (2015) Hannetons: essaimage massif dans l'Est de la France en mai 2015. Min. Agri., Alim & Forêts (DGAL, Département de la santé des forêts), Paris, France Mai -2013, 4 p.

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>

Schwenke W. (1974). Die Forstschädlinge Europas, Zweiter Band : Käfer. Verlag Paul Parey, p. 85-128.

Späth V., Schanowski A. (2007). Maikäfer und Waldschutz. Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg. 5/2007-55, 28 p.

Venables W. N., Ripley B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Ed. Springer, 2002.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**RÉGULER LA PROCESSIONNAIRE DU PIN EN FAVORISANT LA NIDIFICATION DES MÉSANGES :
RÉSULTATS DE 8 À 10 ANNÉES D'ÉTUDES**

J.-C. MARTIN*, M. PRINGARBE*, M. CORREARD*, N. TURION*, O. GILG* et F. JEAN**

*Inra UE0348 Site Agroparc 84914 Avignon cedex 9 France
jean-claude.martin@inra.fr

**Inra UR0629 Site Agroparc 84914 Avignon cedex 9 France

RÉSUMÉ

Au cours des années 2006 à 2009, quatre sites régulièrement infestés par la processionnaire du pin ont été équipés de nichoirs à mésange et suivis jusqu'à ce jour. Plusieurs modalités ont été testées entre 6 et 20 nichoirs à l'hectare. Avant l'expérimentation et depuis 2 décennies, ces sites avaient fait l'objet de campagnes quasi récurrentes de traitements aériens à base de BtK contre ce ravageur. La dynamique de la processionnaire du pin est suivie annuellement dans chaque site par les dénombrements de nids d'hiver. De même, la colonisation des nichoirs par les mésanges est notée chaque année.

Les résultats montrent une relation positive entre le nombre de nichoirs installés à l'hectare et nombre de couvées de mésanges. Dans chacun de ses sites, la dynamique de la processionnaire du pin est maintenue à un niveau tolérable et significativement inférieur au témoin. L'effet prédation par la mésange, favorisé par la pose de nichoirs semble avoir atteint l'objectif recherché de régulation biologique de ce ravageur.

Mots-clés : processionnaire du pin, biocontrôle, *Parus sp.*, santé publique, Ecophyto.

ABSTRACT

During the years 2006 to 2008, four sites regularly infested by the pine processionary were equipped with tit nest boxes. Several methods were tested between 6 and 20 nest boxes per hectare. Before experimentation and for 2 decades, these sites had been almost recurrent campaigns of aerial treatments with BtK against this pest. The dynamics of pine processionary is followed annually in each site counting winter nests. Similarly, colonization by tit nest boxes is noted each year. The results show a positive relationship between the number of nest boxes installed per hectare and the number of broods of tits. In each of its sites, the dynamics of the pine processionary is kept at a tolerable level and significantly lower than the control. The predation effect by the tit, favoured by installing nest boxes seems to have achieved the objective of biological control of this pest.

Keywords: pine processionary moth, biocontrol, *Parus sp.*, health risks, Ecophyto.

INTRODUCTION

Dans les espaces fréquentés par le public, la chenille processionnaire est responsable d'affections graves chez l'homme mais aussi chez les animaux. En effet, dès le 3^{ème} stade larvaire, les chenilles libèrent dans l'air des soies urticantes lorsqu'elles se sentent agressées. Elles sont ainsi responsables de graves lésions cutanées, respiratoires ou ophtalmiques sur l'homme et les animaux. A cela s'ajoute un aspect inesthétique dû aux nids d'hiver et aux dégâts sur les arbres occasionnés par ce ravageur. Pour toutes ces raisons, les gestionnaires forestiers sont fortement sollicités pour agir et lutter contre la processionnaire du pin. Au cours de cette dernière décennie, l'INRA, au sein de l'Unité expérimentale Entomologie et Forêt Méditerranéenne (UEFM) a mis au point divers outils respectueux de l'environnement pour la gestion de cet insecte. A partir de l'année 2006, l'UEFM en partenariat avec des collectivités territoriales et l'ONF, décidaient d'expérimenter la lutte biologique en favorisant la prédation par les mésanges (*Parus spp.*). Pour situer le contexte de la mise en place de cette étude, elle a commencé avant le Grenelle de l'Environnement et le Plan Ecophyto. A cette période, c'était un véritable challenge d'étudier des alternatives biologiques aux traitements phytosanitaires contre la processionnaire du pin alors pratiqués annuellement en France par pulvérisation aérienne, sur plus de 30 000 hectares.

Les mésanges sont des oiseaux insectivores, généralistes, connus pour leur prédation importante de chenilles processionnaires du pin (Biliotti, 1958), (Pimentel et al, 2007), (Martin et al, 2013). Aux quatrième et cinquième stades larvaires, cet oiseau insectivore prélève les chenilles à l'intérieur du nid d'hiver en perforant la soie de ce dernier. En quelques jours le nid est vidé de son contenu en laissant un orifice caractéristique, de gros diamètre (environ 30 mm), signe caractéristique de la mésange. Sur les plus jeunes stades larvaires de la processionnaire du pin, l'action prédatrice des mésanges est plus difficilement observable.

Un avantage majeur de ces oiseaux sédentaires réside dans leur opportunisme tant alimentaire qu'au niveau du choix des sites de nidification. Les premières études conduites en verger, montrent que la pose de nichoirs à mésange favorise la nidification des mésanges (Bouvier, 2005).

Partant de ces constats, l'UEFM a installé à partir de l'année 2006, plusieurs dispositifs expérimentaux dans le Sud-Est de la France, soit un ensemble de 1139 nichoirs à mésange répartis sur une surface totale de 82 hectares.

L'hypothèse, alors testée était la suivante : **la pose de nichoirs en forêt induirait d'une part une augmentation des populations de mésanges et d'autre part, une diminution des populations de chenilles processionnaires du pin et de leurs dégâts, permettant ainsi de réguler ces dernières sans avoir recours à d'autres stratégies de gestion.**

MATÉRIEL ET MÉTHODE

D'importants dispositifs expérimentaux équipés de nichoirs à mésanges ont été installés entre 2006 et 2009 afin de suivre cette relation proies-prédateurs (processionnaires du pin-mésanges) sur 4 sites naturels (tableau 1) :

- Le Parc Départemental de l'Arbois (13)
- La Réserve Naturelle de la Sainte Victoire (13)
- Le Parc Départemental de la Brague (06)
- La Réserve de Biosphère du Mont Ventoux (84)

Ses sites sont infestés de façon récurrente par la processionnaire du pin et font l'objet de traitements aériens annuels quasi systématiques (à l'exception du Mont Ventoux) jusqu'au début de notre expérimentation. A chaque site « nichoirs » de l'Arbois, de la Sainte Victoire et du Mont Ventoux, sont associés respectivement un site témoin. Au Parc Départemental de la Brague aucun témoin de proximité n'a pu être associé à cause de la forte pression urbaine autour du site. Dans tous les

dispositifs expérimentaux nichoirs et témoin, les gestionnaires se sont engagés à ne pas mettre en œuvre d'autres stratégies de lutte contre la processionnaire du pin pendant toute la durée de l'expérimentation.

Modalités : Les nichoirs installés à ce jour, sont tous constitués de béton allégé par des particules de bois (figure 1.1). Ils pèsent 3.5 Kg et possèdent un orifice de diamètre 32 mm, taille optimale pour les mésanges charbonnières (*Parus major*). Néanmoins, d'autres mésanges peuvent nicher comme la mésange bleue, noire, huppée et nonette, mais aussi d'autres passereaux (sitelle torchepot, gobe-mouche noir, moineau friquet ou domestique...). Sur le site du Parc Départemental de la Brague, les nichoirs initiaux étaient en bois. Au cours des cinq années suivant la pose, ils ont dû être tous remplacés par du béton allégé de bois à cause des dégradations occasionnées par les pics, la croissance des arbres et le climat.

Plusieurs densités de nichoirs, entre 6 et 20 nichoirs par hectare ont été installées (tableau 1). Ils sont répartis de manière homogène à une hauteur moyenne de 3 mètres. Sur le site Réserve Naturelle de la Sainte Victoire, certains nichoirs ont été placés entre 1 et 3 mètres par manque de support végétaux particulièrement sur un secteur (zone 3) à garrigue dégradée. Cette dernière situation n'est pas favorable à la nidification des mésanges. Globalement, les nichoirs ne sont pas orientés vers les vents dominants pour chacun des sites.

Tableau 1 : Modalités de pose des nichoirs pour chaque site expérimental

Table 1 : Nest box installation modalities for each experimental site

Sites et gestionnaires	Surface (ha)	Nombre de nichoirs par ha (moyenne)	Nombre total de nichoirs pour le site	Modèle nichoirs (diamètre 32mm)	Date de mise en place du dispositif
Parc Départemental Arbois (CD13)	2,5	6,4	16	béton-bois	2006
Réserve Naturelle Sainte Victoire (CD13) Zone 1	12.4	16	194	béton-bois	2007
Réserve Naturelle Sainte Victoire (CD13) Zone 2	25	16	394	béton-bois	2007
Réserve Naturelle Sainte Victoire (CD13) Zone 3	14.6	16	227	béton-bois	2007
Parc Départemental de la Brague 1 (CD06)	14,5	10,4	151	Bois, puis béton-bois	2008
Parc Départemental de la Brague 2 (CD06)	3	18,3	55	bois, puis béton-bois	2008
Parc Départemental de la Brague 3 (CD06)	1	20	20	bois, puis béton-bois	2008
Réserve de Biosphère du Mont Ventoux (CD84 & ONF)	10	8,1	81	béton-bois	2009

Suivi de la dynamique de colonisation des nichoirs par les mésanges : le contrôle de la nidification est fait annuellement, à l'automne. Les nids de mésanges sont caractéristiques par leur composition de mousse et de poils d'animaux sur la dernière couche. Lorsqu'un même nichoir a eu deux couvées, les nids sont empilés et les strates reconnaissables. Lors du contrôle automnal, les nichoirs sont nettoyés et vidés.

Suivi de la dynamique de la processionnaire du pin : le dénombrement des nids d'hiver du ravageur est fait annuellement en février-mars. Les nids sont géoréférencés et les données sont traitées par SIG. Dans l'ensemble des sites à l'exception du Parc Départemental de la Brague, tous les nids sont relevés de façon exhaustive. Dans le Parc départemental de la Brague, seulement des placettes identifiées de 30 arbres sont suivies annuellement. La densité moyenne échantillonnée pour ce site, est d'une placette pour 2 hectares (avec un minimum d'une placette pour les plus petits sites).

Paramètres analysés : Evolution du nombre de couvées, évolution du nombre de nids de processionnaires du pin et Relation nombre de nichoirs par hectare / nombre de couvées / abondance du ravageur.

La méthode expérimentale s'appuie sur les méthodes utilisées en expérimentation phytosanitaire (traitement conventionnel ou piégeage de masse des adultes mâles). En effet, dans cette étude, une variable seulement sera comparée pour évaluer l'impact ou l'efficacité de la méthode en prenant en compte la dynamique naturelle du témoin associée à chaque site, d'une année à l'autre. Dans ce cas, il s'agit de comparer la variable « nichoirs » ou « non nichoir » sur le devenir des populations de processionnaire du pin. L'hypothèse retenue étant que le témoin associé à chaque site, choisi à proximité et avec les mêmes caractéristiques de milieu, subit les mêmes contraintes que les sites « nichoirs », à l'exception de la contrainte « prédation » favorisée par la pose de nichoirs à mésanges. La formule d'Henderson et Tilton (Henderson et al, 1955) permettra de chiffrer l'effet « nichoirs ». Cette formule a néanmoins des limites d'utilisation, en particulier lorsque la zone « témoin » est en début de rétrogradation et que la zone « traitée » poursuit sa progradation, même plus lente. Dans ce cas, l'effet « traitement (nichoirs) est inversé. Ainsi, pour pallier à ce problème, les résultats seront lissés en analysant la moyenne du nombre de nids de processionnaire du pin dénombrés pour l'ensemble des années à partir de la pose de nichoirs, jusqu'au premier pic de colonisation des nichoirs comparée aux données suivantes. (Les premiers pics de colonisation sont colorés en vert dans les tableaux 2 & 3).

$$\text{Formule d'Henderson et Tilton : \% corrigé} = \left(1 - \frac{nT \times nM'}{nT' \times nM}\right) \times 100$$

nT = Nombre moyen de nids de chenilles dans le Témoin pour la période « pose des nichoirs/premier pic de couvées en zone nichoirs »

nT' = Nombre moyen de nids de chenilles dans le Témoin après le pic de couvées

nM = Nombre moyen de nids de chenilles dans la zone nichoirs à Mésange pour la période « pose des nichoirs/premier pic de couvées »

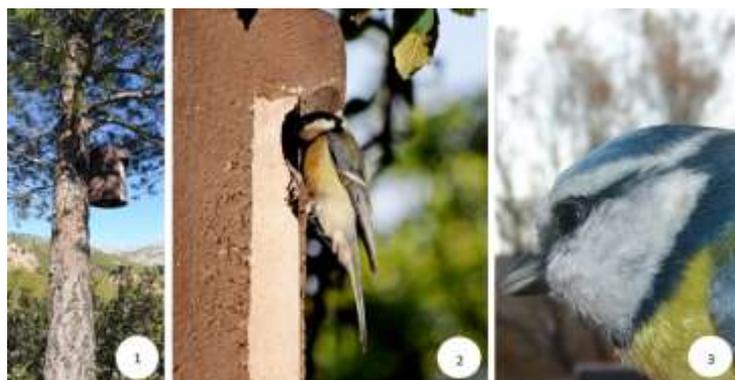
nM' = Nombre moyen de nids de chenilles dans la zone nichoirs à Mésange après le pic de couvées

Figure 1 :

- 1) Nichoir bois béton installé dans tous les dispositifs expérimentaux à ce jour
- 2) Mésange charbonnière *Parus major* (Linnaeus 1758) nourrissant sa couvée
- 3) Mésange bleue *Cyanistes caeruleus* (Linnaeus, 1758)

Figure 1 :

- 1) Wood and concrete nesting box installed in all experimental systems
- 2) Tit *Parus major* (Linnaeus 1758) feeding her brood
- 3 Tit *Cyanistes caeruleus* (Linnaeus, 1758)



RÉSULTATS

Dynamique de colonisation des nichoirs (tableau 2) :

Le suivi annuel systématique des nichoirs a permis d'observer une progression du nombre de couvées sur la plupart des sites expérimentaux au cours des 4 ou 5 premières années après la pose des nichoirs. Ensuite, le nombre de couvées a oscillé, tout en maintenant au cours du temps, une moyenne plus ou moins élevée selon les caractéristiques du milieu et la ressource alimentaire. Trois exemples : le milieu type garrigue du site de la Réserve Naturelle de la Sainte Victoire avec 0,1 nichoir

colonisé par hectare, est moins favorable à l'habitat des mésanges. Inversement, les forêts mélangées de pins et de chênes des Parcs Départementaux de la Brague correspondent à un habitat privilégié des mésanges. En effet, sur le site Brague 3, seulement deux années après la pose, 11 nichoirs par hectare ont été colonisés. Le site du Parc départemental de l'Arbois, installé depuis 10 ans, a subi à plusieurs reprises (2008, 2010), de fortes modifications du milieu (élagage sévère et débroussaillage pare-feu...), lesquelles ont eu un impact négatif sur la nidification des mésanges (aucune couvée, ces années-là).

Tableau 2 : Résultat des dénombrements de couvées totales obtenues pour chaque site expérimental nichoirs. La cellule colorée en vert correspond aux premiers pics de couvées atteints avant la phase d'oscillation.

Table 2 : Number of broods for each experimental site. The green coloured cell corresponds to the first peak of broods reached before the swing phase.

Nombre de couvées (moyenne par hectare et par site)								
Années	Arbois	Sainte Victoire 1	Sainte Victoire 2	Sainte Victoire 3	Brague 1	Brague 2	Brague 3	Mont Ventoux
2006	Pose nichoirs							
2007		Pose nichoirs	Pose nichoirs	Pose nichoirs				
2008					Pose nichoirs	Pose nichoirs	Pose nichoirs	
2009	0,4	0,3	0,1	0,0	0,8	1,3	3	Pose nichoirs
2010	0	0,4	0,4	0,0	1,2	1,3	11	0,8
2011	1,6	0,4	0,5	0,2	1,5	2	5	0,5
2012	1,2	0,5	0,6	0,2	2,1	3	9	1,4
2013	0,4	0,4	0,2	0,2	1,4	2,7	6	1,2
2014	1,2	0,6	0,4	0,1	1,7	2,3	5	1,1
2015	1,2	0,8	0,6	0,1	1,6	2	7	2,5

Abondance de la processionnaire du pin (tableau 3) :

Tableau 3 : Comparaison des dynamiques de population de la processionnaire du pin entre les parcelles Témoin et Nichoirs pour chacun des 3 sites Arbois, Sainte Victoire et Ventoux au cours de la période 2007-2015 (en nombre de nids de processionnaire du pin /hectare)

Table 3 : Comparison of the pine processionary moths population dynamics between the control and nest box plots for each of the 3 Arbois, Sainte Victoire and Ventoux sites over the 2007-2015 period (in numbers of processionary moth nests per hectare)

Nombre de nids de processionnaire du pin (moyenne par hectare et par site)								
Années	Arbois Témoin	Arbois nichoirs	Sainte Victoire Témoin	Sainte Victoire (nichoirs) 1	Sainte Victoire (nichoirs) 2	Sainte Victoire (nichoirs) 3	Mont Ventoux Témoin	Mont Ventoux nichoirs
2006								
2007	16,7	103,2		2,3	4,9	7,5		
2008	3,3	4,0	0	0	0	0		
2009	3,3	27,2	4,2	3,8	2,9	6,6	65,2	48,6
2010	6,0	12,8	11,8	5,0	3,8	6,5	249,1	164,9
2011	6,0	8,4	2,7	0,6	0,5	3,2	31,1	21,1
2012	1,3	11,6	3,2	0,1	0,2	1,6	39,5	36,8
2013	3,3	15,2	1,7	0,3	0,4	4,0	117,5	28,1
2014	1,3	4,4	3,2	0,9	0,3	3,5	568,6	77,6
2015	17,3	5,2	3,3	0,5	0,4	2,1	761,8	178,1

Les dénombrements de nids d'hiver effectués chaque année en janvier ou février permettent de suivre la dynamique de la processionnaire du pin. De façon générale, la processionnaire du pin suit une dynamique temporelle cyclique. Un cycle complet est appelée « gradation » avec des phases de progradation, culmination et de rétrogradation (Demolin, 1969). Au cours de la dernière période, des phases de culmination ont été observées en 2007 et en 2015 dans le Sud-Est de la France (source INRA).

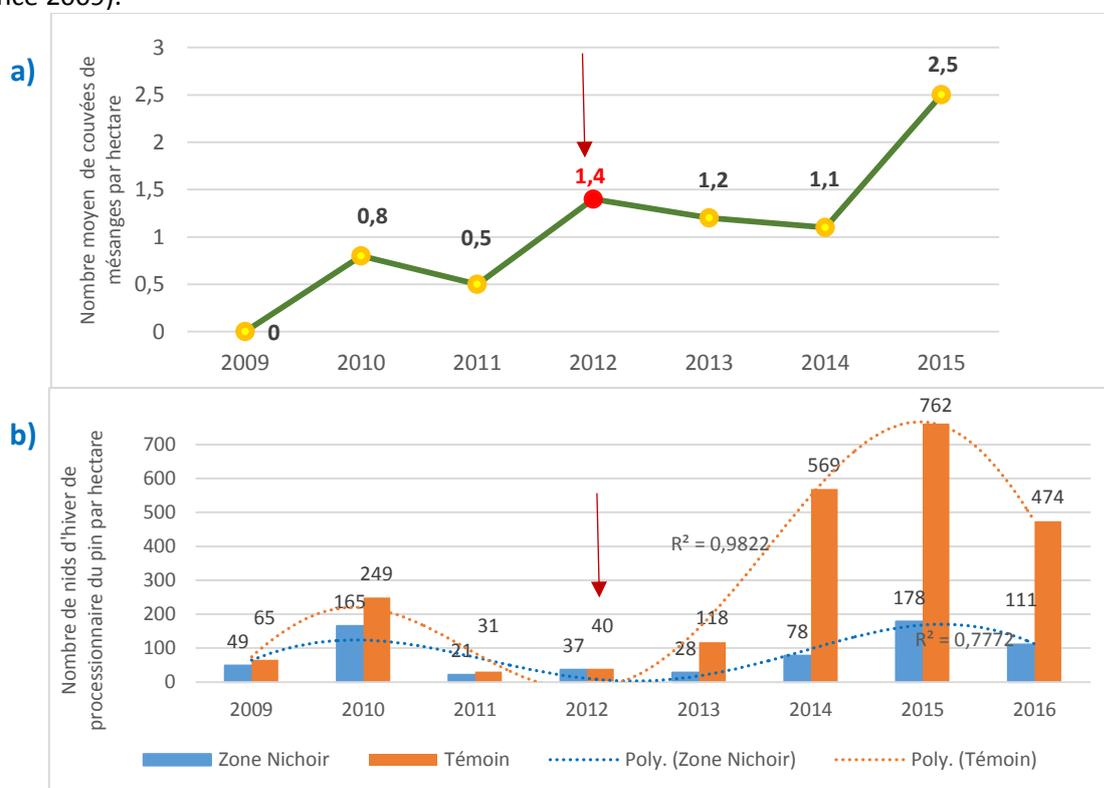
Dans les sites expérimentaux nichoirs, au cours des 4 ou 5 premières années après la pose des nichoirs, la processionnaire du pin suit la même dynamique que dans les témoins. Au-delà de cette période, un décrochage est observé dans les sites nichoirs par rapport au témoin (tableau 3). La culmination de 2015 est totalement écartée dans l'ensemble des sites nichoirs. Sur le site de la Réserve de Biosphère du Mont Ventoux, le plus infesté par la processionnaire du pin, la progradation amorcée en 2013, 2014 jusqu'à la culmination en 2015 est nettement moins marquée dans la zone nichoirs que dans le témoin : le pic de 2015 avec 760 nids par hectare dans la zone témoin, bien que très élevé n'a atteint que 178 nids par hectare en zone nichoirs (figure 2-b). Ces résultats sont fortement liés aux nombre de couvées de mésanges dénombrées pour ce site au-delà des 4 premières années (premier pic après la pose des nichoirs) (figure 2-a).

Figure 2 : a) Dynamique de colonisation des nichoirs à mésanges (en nombre de couvées par hectare) sur le site de la Réserve de Biosphère du Mont Ventoux depuis 2009

b) Evolution de la dynamique de la processionnaire du pin sur le site nichoirs de la Réserve de Biosphère du Mont Ventoux, comparée avec le site témoin (en nombre de nids d'hiver de chenilles processionnaires du pin par hectare depuis 2009)

Figure 2 : a) Dynamics of the nesting Tit colonization (number of broods per hectare) on the site of the Biosphere Reserve of Mont Ventoux, since 2009

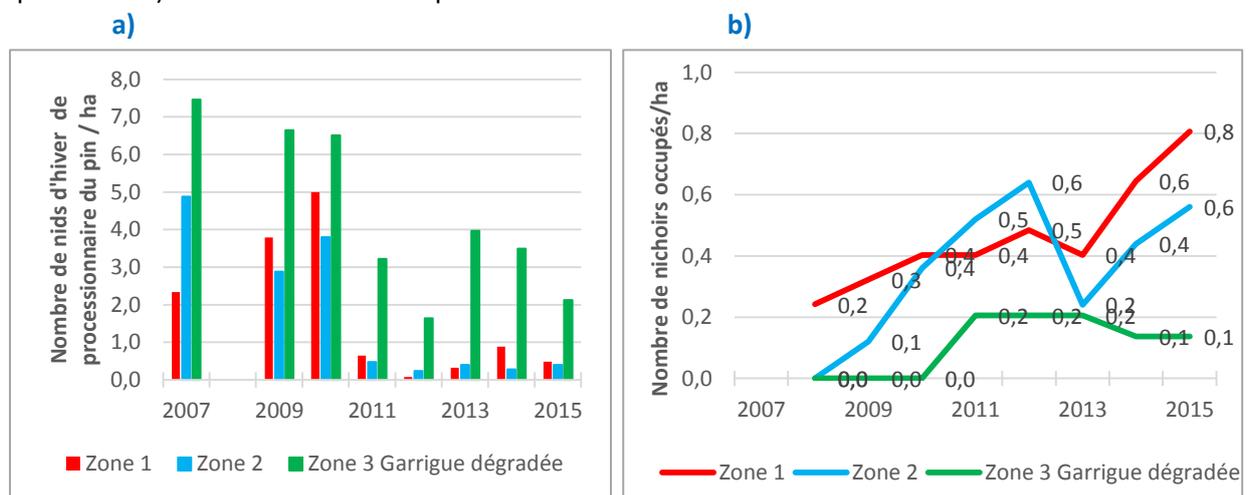
b) Evolution of the pine processionary dynamics on the site of the Biosphere Reserve of Mont Ventoux, compared with the control site (number of winter nests of pine processionary per hectare, since 2009).



Au niveau du site nichoirs de la Réserve Naturelle de la Sainte Victoire (figure 3), trois structures paysagères influençant fortement l'habitat des mésanges, sont prises en compte pour l'analyse des résultats. Ce site est caractérisé pour les zones 1 et 2, par un milieu de garrigues mature et/ou juvénile et pour la zone 3 de garrigue particulièrement dégradée. Dans cette dernière zone, le milieu n'est pas favorable à la présence des mésanges. En effet, au cours des 4 dernières années, le taux de colonisation des nichoirs est resté compris entre 0,1 et 0,2 nichoir colonisé par hectare (figure 3-b). En lien avec ce résultat, dans cette même zone 3, l'infestation de la processionnaire du pin est plus forte (figure 3-a). Dans les deux autres zones de garrigues mature et juvénile, le taux de colonisation, bien que faible a atteint 0,8 nichoir par hectare en 2015 (zone 1) parallèlement, la processionnaire du pin est très peu présente (1 nid pour 2 hectares, moyenne 2015).

Figure 3 : Evolution des dynamiques **a)** de la processionnaire du pin en nombre de nids d'hiver par hectare et **b)** de colonisation des nichoirs à mésanges (en nombre de couvées par hectare) pour les 3 types d'habitats du site nichoirs de la Réserve naturelle de la Sainte Victoire. Modalité : 16 nichoirs par hectare.

Figure 3: Evolution of pine processionary moth dynamic **a)** and Tit nesting boxes colonization **b)** for the 3 types of habitats on the site of the Natural Reserve of Sainte Victoire (in number of winter nests per hectare). Label : 16 nest boxes per hectare.



Relation entre les variables « couvées de mésanges » et « nids d'hiver de processionnaire du pin » :

D'une manière générale, une relation positive est observée entre le nombre de couvées observées par hectare pour chaque modalité (6, 8, 10, 18 et 20 nichoirs par hectare) et le nombre de nids d'hiver de processionnaire du pin pour les mêmes sites (figure 4). Néanmoins, ces observations sont obtenues sur plusieurs sites distants avec des milieux extrêmement variés depuis la garrigue dégradée (0.1 couvée par hectare) à l'habitat le plus favorable à la mésange, le mélange chênes-pins (jusqu'à 11 couvées par hectare en 2009). **Pour cette raison, aucune corrélation ne pourra être faite entre les variables « nombre de couvées par hectare » vs « nombre de nichoirs installés à l'hectare » ou « nombre de couvées par hectare » vs « nombre de nids d'hiver de processionnaires du pin à l'hectare » malgré la relation forte observable (figure 4).**

Sur les 3 sites avec témoin (Arbois, Ventoux et Sainte Victoire), une évaluation de la réduction des populations de processionnaire du pin est faite afin de quantifier l'impact de la prédation par les mésanges. Ce chiffrage obtenu avec la formule d'Henderson et Tilton sur les moyennes (jusqu'au 1^{er} pic des couvées comparées aux suivantes) réajustées par rapport à la dynamique naturelle des témoins montre globalement une forte réduction des populations (figure 5) sur 4 sites avec des nichoirs, réduction pouvant aller jusqu'à 68%. Aucun effet prédation n'est mis en évidence dans le site « Sainte Victoire 3 » avec une augmentation importante des populations au cours de cette même période (+ 44,9%). Ce résultat s'explique simplement par le fait que le taux de colonisation des

nichoirs est pratiquement nul sur ce site qui n'est pas favorable à la présence des mésanges (entre 0,1 et 0,2%).

Figure 4 : Nombres de couvées vs nombre de nids d'hiver de processionnaire du pin pour l'ensemble des sites expérimentaux « nichoirs » à l'exception du site Réserve de Biosphère du Mont Ventoux. Ce dernier a été exclu afin de faciliter la lecture du graphe (178 nids en 2015 et 2.5 couvées par hectare).

(En étiquette : nombre de nichoirs installés par hectare).

Figure 4: Number of broods/number of winter nests of pine processionary for all experimental sites of nesting boxes, except for the Site of Reserve Biosphere of Mont Ventoux . The latter, with 178 nests in 2015 and 2.5 broods per hectare has been excluded to facilitate the reading of the graph. (Label: number of nesting boxes per hectare).

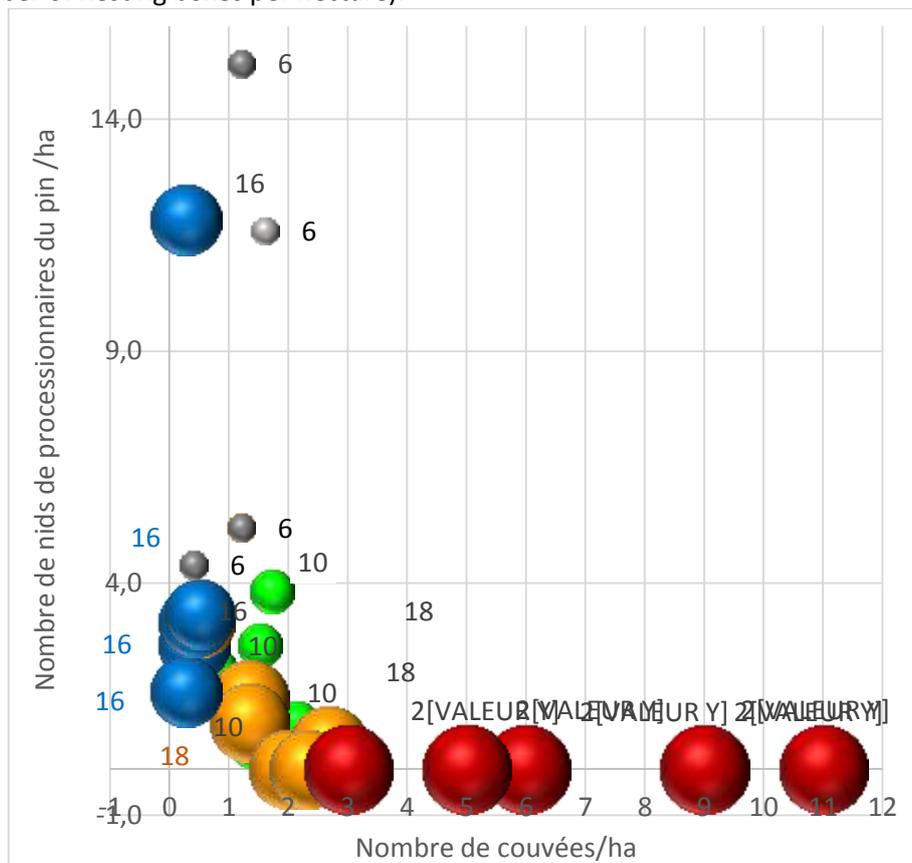
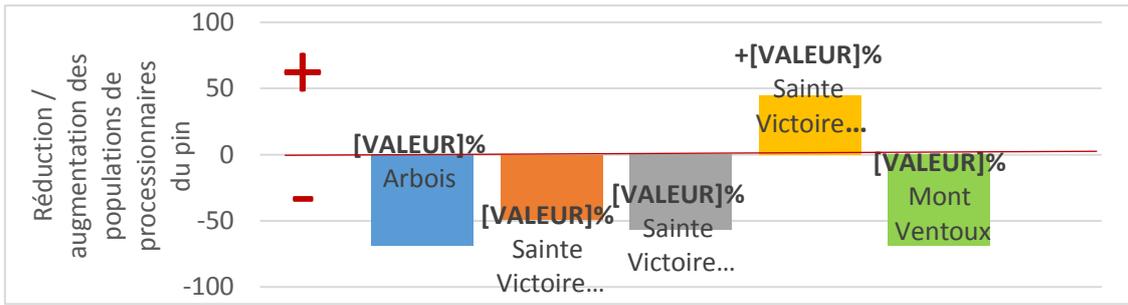


Figure 5 : Evolution des populations de processionnaire du pin (en % de réduction des populations avant le 1^{er} pic de couvées atteint et après) en données corrigées par rapport à la dynamique naturelle du témoin au cours des mêmes périodes (formule d'Henderson et Tilton)

Figure 5 : Evolution of pine processionary populations (% of population reduction during the period before and after, when adjusted from the natural dynamics of the control (Henderson and Tilton formula).

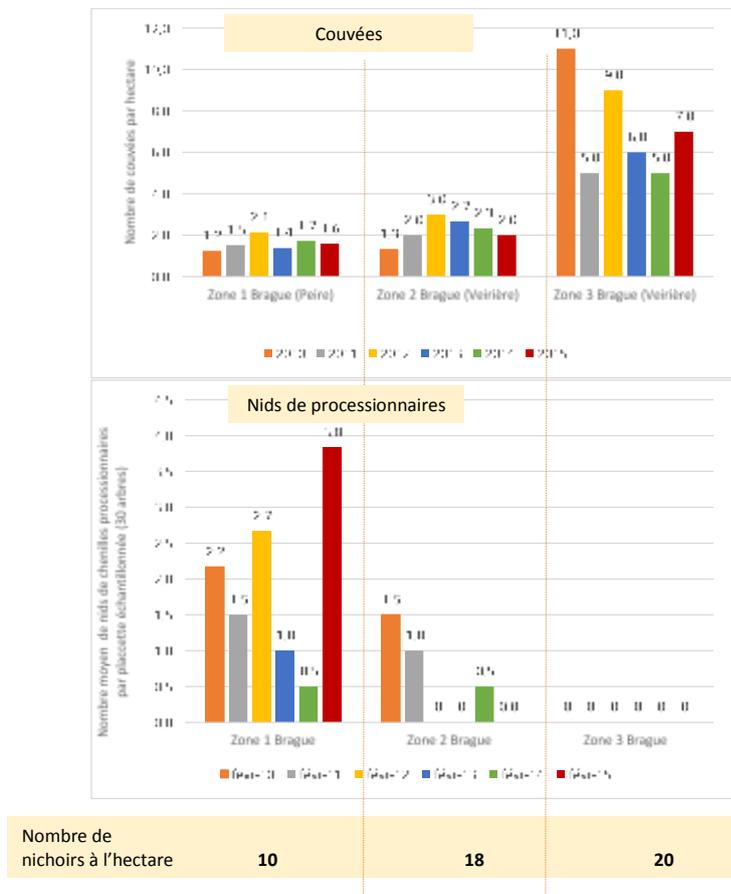


Cas particulier du site de la Brague sans témoin :

A ce jour, au niveau du Parc Départemental de la Brague, le niveau d’infestation de la processionnaire du pin est très faible sur les 3 sites. Sur le site de modalité « 20 nichoirs » par hectare, elle n’est pratiquement plus présente. Sur le site « 18 nichoirs », elle est à un niveau très faible et inversement, elle est présente mais sans causer de problème sur la zone « 10 nichoirs » (figure 6).

Figure 6 : Comparaison des dynamiques annuelles de colonisation des nichoirs (en nombre de couvées par hectare) et de la processionnaire du pin (en nombre de nids d’hiver par hectare) pour les 3 modalités (20, 18 et 10 nichoirs par hectare). Sites Brague 1, 2 et 3.

Figure 6: Comparison of annual dynamics of nest boxes colonization (number of broods per hectare) and of pine processionary (number of winter nests per hectare) for 3 terms (20, 18 and 10 nesting boxes per hectare). Sites Brague 1, 2 & 3.



DISCUSSION ET CONCLUSION

Avec une décennie de suivi, cette expérimentation de régulation biologique favorisée par la pose de nichoirs à mésanges a été conduite dans la durée. Elle est aussi originale par la taille des dispositifs, jusqu'à 51 hectares pour le plus grand, et par la diversité végétale plus ou moins favorable à la présence de la mésange (toutes espèces confondues). Les observations obtenues sur les sites « nichoirs et processionnaire du pin » permettent de conclure qu'en milieu forestier méditerranéen (i) la pose de nichoirs facilite la nidification des mésanges, (ii) le nombre de couvées semble fortement lié au nombre de nichoirs installés à l'hectare, le milieu jouant un rôle prépondérant comme habitat de la mésange, (iii) l'effet de contrôle de la processionnaire du pin par les mésanges semble avoir atteint l'objectif écologique recherché. En effet, la processionnaire du pin est régulée sur ces sites depuis plusieurs années. Toutefois des observations complémentaires seraient souhaitables pour affirmer la relation proie-prédateur comme par exemple la pose de leurre et le suivi de la prédation ou la recherche d'ADN de processionnaire du pin dans les fientes de mésanges. Quoiqu'il en soit, cette étude conduite sur du long terme permet de montrer que le risque santé publique, liée à la processionnaire du pin sur les 3 sites Arbois, Sainte Victoire et La Brague est maîtrisé dans les sites équipés de nichoirs. Au Mont Ventoux, dans le site nichoirs, une très forte réduction des populations de processionnaire du pin a été observée et chiffrée, néanmoins le nombre de nids de processionnaire du pin par hectare est encore élevé (178 contre 761 dans le témoin). Sur ce site en milieu naturel, peu fréquenté par le public et avec des arbres sains, ce seul mode de gestion biologique peut convenir. Lorsque le risque santé publique est important (forte fréquentation), la combinaison de plusieurs stratégies de lutte doit être privilégiée. Elle sera la meilleure approche pour répondre aux enjeux sociétaux, environnementaux et économiques occasionnés par cet insecte (Martin et al, 2012).

Cette étude conduite comme une expérimentation phytosanitaire pourrait être renforcée par des suivis des diversités aviaire et entomologique comparées à celles des sites témoins, afin d'évaluer l'impact de la présence de mésanges sur le site. Pour cela, l'INRA UEFM propose le partage de ces quatre sites équipés de nichoirs à d'autres équipes de recherches afin d'en faire un site atelier pluridisciplinaire complet d'étude de la lutte biologique pour le contrôle de cet important ravageur des arbres et des forêts.

Les recherches se poursuivent afin de valider les résultats acquis mais aussi pour développer d'autres stratégies de lutte prometteuses comme le biocontrôle à l'aide des parasitoïdes oophages, les répulsifs naturels, la confusion sexuelle et les phéromones de trace. En attendant, ce premier challenge de la lutte biologique par conservation contre la processionnaire du pin, en favorisant la nidification des mésanges sert déjà de modèles de gestion pour de nombreuses collectivités mais aussi pour la régulation d'autres chenilles défoliatrices.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les nombreux partenaires cités dans cette étude qui ont accepté ce challenge dans la durée (une décennie pour les premiers), en particulier les Conseils Départementaux (CD13, CD06 et CD84) ainsi que l'ONF. Cette étude n'aurait pu être conduite sans les conseils des spécialistes avifaune Thomas Boivin (INRA-URFM) et Jean-Charles Bouvier (INRA-PSH). Les auteurs remercient aussi l'équipe technique de l'UEFM qui montre toujours la même motivation après 10 années de suivis de nichoirs et de nids de processionnaire du pin.

BIBLIOGRAPHIE

Biliotti E, 1958 - Les parasites et prédateurs de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (*Lepidoptera*). *Entomophaga*, III,1, 13 pp.

Demolin G., 1969 - Comportement des adultes de *T. pityocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance écologique, *Ann. Sci. For.* 26: 81-102.

Henderson, C.F. and E. W. Tilton, 1955 - Tests with acaricides against the brow wheat mite, *J. Econ. Entomol.*, 48:157-161.

Martin J.C., Mazet R., Corréard M., Morel E., Brinquin A. S., 2012 - Nouvelles techniques de piégeage pour réguler la processionnaire du pin. *Phytoma*, 655 : 17-22.

Martin J.C., Damoiseau L., Tabone E., Frérot B. et Guérin M., 2015 – Gestion de la processionnaire du pin : les pratiques ont évolué, *Phytoma*, 682 : 26-31.

Pimentel C. & Nilsson J.-A. 2007 - Response of Great Tits *Parus major* to an irruption of a pine processionary moth population with a shifted phenology. *Ardea*, 95(2): 191–199.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**DEUX PARASITOÏDES OOPHAGES INDIGÈNES
POUR LUTTER CONTRE *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA* ET *LYMANTRIA DISPAR***

H. TUNCA⁽¹⁾ M. VENARD⁽²⁾ E.-A. COLOMBEL⁽²⁾ E. TABONE⁽²⁾

⁽¹⁾ Université D'Ankara, Faculté d'Agriculture, Département de Protection Des Plantes, 06110, Ankara, Turquie,
htunca@ankara.edu.tr

⁽²⁾ INRA UEFM, Site Villa Thuret, Laboratoire Biocontrôle, 90 Chemin Raymond, 06160, Antibes, France,
elisabeth.tabone@paca.inra.fr

RÉSUMÉ

La processionnaire du pin et le bombyx disparate sont des ravageurs très répandus dans la forêt française. Dans le cadre du développement de la protection intégrée en forêt, le biocontrôle est un outil incontournable. L'objectif est, à terme, de remplacer l'utilisation des pesticides par des méthodes alternatives. Nous envisageons une lutte à l'aide de parasitoïdes oophages indigènes tels que *Ooencyrtus pityocampae* (Mercet) et *Ooencyrtus kuvanae* (Howard) (Hymenoptera: Encyrtidae). Pour pouvoir étudier ces parasitoïdes, il est nécessaire de les élever en grand nombre. Toutefois, les ravageurs visés étant soit urticants (la processionnaire du pin) et/ou univoltins, il est difficile de les utiliser directement pour produire les parasitoïdes. C'est pourquoi, un hôte de substitution a été recherché qui réponde à la fois aux besoins des deux parasitoïdes, à la qualité de leurs descendants, et ayant des coûts de production minimaux. Plusieurs hôtes de substitution ont été testés dans notre laboratoire ainsi que par d'autres auteurs. *Philosamia ricini* est l'espèce qui semble le mieux répondre à nos attentes. Les caractéristiques biologiques, en conditions de laboratoire (25°C, 75%HR, 16L:8D) seront présentées pour *O. pityocampae* et *O. kuvanae*.

Mots-clés : *Ooencyrtus pityocampae*, *Ooencyrtus kuvanae*, élevage, *Philosamia ricini*.

ABSTRACT

TWO INDIGENOUS OOPHAGOUS PARASITOIDS TO FIGHT AGAINST *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA* AND *LYMANTRIA DISPAR*

The pine processionary moth, and the Gypsy moth are widespread pests in the French forest. In the framework of the development of integrated protection in forest, biocontrol is an unavoidable tool. The objective is to replace eventually the use of pesticides by alternative methods. We are considering a biological control thanks to natives oophagous parasitoids species such as *Ooencyrtus pityocampae* (Mercet) and *Ooencyrtus kuvanae* (Howard) (Hymenoptera: Encyrtidae). To be able to study these parasitoids, it is necessary to raise plenty of them. However, the targeted pests are stinging (the pine processionary moth) and/or univoltine. It is difficult to use them directly to produce parasitoids. In the first instance, we were looking for a substitute host for both the two parasitoids needs, the quality of their offsprings, and with a minimum cost of production. Several substitute hosts have been tested in our laboratory. *Philosamia ricini* is the species that best met our expectations. The biological characteristics, in laboratory conditions (25°C, 75%HR, 16L:8D), will be presented for *O. pityocampae* and *O. kuvanae*.

Key words: *Ooencyrtus pityocampae*, *Ooencyrtus kuvanae*, rearing, *Philosamia ricini*.

INTRODUCTION

La chenille processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera: Notodontidae) et le bombyx disparate, *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: Lymantriidae) sont d'importants ravageurs forestiers en France mais aussi dans l'ensemble des pays qui forment le bassin méditerranéen. Ces deux espèces sont phytophages. Elles s'attaquent à plusieurs espèces de pins pour la première et à diverses espèces de feuillus pour la seconde.

Il existe quelques méthodes de lutte contre *T. pityocampa* et *L. dispar*. Ce sont les luttés sylvicole, microbiologique (à partir de *Bacillus thuringiensis* -Bt), par piégeage (piège à phéromone sexuelle et piège à chenilles), mécanique et biologique. Lorsqu'on envisage d'utiliser des agents de lutte biologique, il est important d'avoir des informations sur le ravageur et l'auxiliaire. La décision concernant l'utilisation éventuelle d'un agent de lutte biologique peut dépendre d'aspects économiques et d'estimations scientifiquement fondées, des résultats probables de l'agent par rapport aux coûts économiques et environnementaux (Boulétreau, 1998). Fedde *et al.* (1982) ont montré que *Eutrapela celataria* (Lepidoptera: Geometridae) est un bon hôte de substitution pour *Telenomus alsophilae* (Hymenoptera: Scelionidae).

Tous les stades de développement de la processionnaire du pin connaissent des ennemis naturels qui leur sont propres. Les adultes sont attaqués principalement par des oiseaux (Biliotti, 1958). Les chenilles et les chrysalides subissent la pression de parasitoïdes (Biliotti, 1956; 1958) et des oiseaux (Barbaro *et al.*, 2008; Battisti *et al.*, 2000; Biliotti, 1958). Quant aux œufs, ils sont prédatés ponctuellement par les éphippigères (Démolin et Delmas, 1967) mais sont surtout parasités par plusieurs espèces d'hyménoptères appartenant à la famille des chalcidiens. Deux espèces sont systématiquement majoritaires, *Baryscapus servadeii* (Domenichini, 1965) (Eulophidae), qui est considéré comme un spécialiste de cette espèce, et *Ooencyrtus pityocampae* considéré comme un généraliste. Ils jouent un rôle important dans la régulation de la taille des populations du ravageur (Battisti, 1989; Géry, 1980; Lopez-Sebastian *et al.*, 2004). *O. pityocampae* est l'une des espèces les plus connues, à large répartition et est considérée comme plus appropriée pour un élevage en laboratoire (Masutti, 1964).

Lymantria dispar connaît de multiples ennemis naturels : les auxiliaires. Ils prennent divers aspects : le calosome (*Calosoma sycophanta* (Coleoptera: Carabidae) qui dévore les chrysalides, les tachinaires (*Blepharipa pratensis* et *Parasetigena silvestris*) qui agissent surtout sur les chenilles âgées, le chalcidien (*Brachymeia intermedia* qui est un parasitoïde nymphal et *Ooencyrtus kuvanae* qui est un parasitoïde oophage.

Nous avons travaillé sur les deux parasitoïdes oophages que sont *O. pityocampae* et *O. kuvanae*. Pour les étudier et développer des programmes de lutte biologique, nous devons au préalable développer leur élevage. Toutefois, les ravageurs visés étant soit urticants (la processionnaire du pin) et/ou univoltins, ils ne seront pas produits en laboratoire. Lors de notre étude, nous avons étudié plusieurs caractéristiques biologiques de ces deux parasitoïdes sur un hôte de substitution.

Précédemment, de nombreuses études ont été mises en place afin de développer l'élevage des deux parasitoïdes. Selon Tiberi *et al.* (1991 et 1993), *Nezara viridula* est l'hôte le plus approprié pour la reproduction d'*O. pityocampae* dans un environnement contrôlé. *N. viridula* a été élevé et multiplié en laboratoire sans problème (Colazza *et al.* 1999). Des essais d'élevage d'*O. pityocampae* sur œufs de *Bombyx mori* et de *Nezara viridula* réalisés par Halperin (1990) furent un succès. Tiberi *et al.* (1991), ont testé 9 espèces de Pentatomidae (*Aelia rostrata*, *Carpocoris sp.*, *Nezara viridula*, *Dolycoris baccarum*, *Raphigaster nebulosa*, *Eurydema ventrale*, *E. oleracea*, *Eurygaster maura*, *Graphosoma lineatum italicum*). *O. pityocampae* a été élevé sur un nouvel hôte *Leptoglossus occidentalis* (Hemiptera : Coreidae) pendant 15 générations (Binazzi *et al.*, 2013). Pour Wang *et al.* (2013), *O. kuvanae* est le parasitoïde oophage clé de *Lymantria dispar*. Son élevage en masse sur un hôte de substitution *Antheraea pernyi* (Lepidoptera: Saturniidae) a été comparé avec son élevage sur *L. dispar*, aucune différence significative quant à la période d'oviposition et au nombre total d'œufs pondus n'a été constatée.

L'objectif principal de notre étude est d'optimiser les élevages de *O. pityocampae* et *O. kuvanae* pour une production de masse à terme. La disponibilité en parasitoïde est indispensable pour pouvoir développer des programmes de lutte biologique. Pour cela, nous proposons de rechercher un nouvel hôte de substitution différent de ceux habituellement travaillés. Plusieurs hôtes potentiels ont été étudiés au sein du laboratoire. A ce jour, *P. ricini* a été retenu comme nouvel hôte d'élevage de ces deux parasitoïdes. Dans un premier temps, nous avons étudié différents paramètres biologiques de *O. pityocampae* et *O. kuvanae* élevés sur *Philosamia ricini* pour pouvoir ultérieurement les comparer aux autres hôtes d'élevage.

MATERIEL ET MÉTHODE

Matériel biologique

Les deux parasitoïdes oophages *O. pityocampae* et *O. kuvanae* (figures 5 et 6) sont obtenus à partir d'œufs de *T. pityocampa* et *L. dispar* collectés en forêts de pin et de chêne en France en saison de ponte. Les œufs de *P. ricini* proviennent d'individus initialement achetés à la société OPIE .

Technique d'élevage de *Philosamia ricini*

Les larves de *Philosamia ricini* sont élevées dans des boîtes en plastique de 4L (figure 1) comportant des ouvertures grillagées (couvercle et côtés) pour permettre une bonne aération. Chaque jour, les boîtes sont ouvertes et les cocons sont récupérés et disposés dans un panier en grillage (figure 3) avec la date du jour et l'alimentation des larves (pour avoir une traçabilité de l'origine des œufs). Les cocons sont humidifiés et stockés dans les paniers pendant 10 jours en salle de ponte. Les boîtes et couvercles sont lavés avec de l'eau javellisée (5%) tous les jours. De l'essuie-tout est disposé au fond de chaque boîte et renouvelé tous les jours. Les chenilles sont remises dans les boîtes et des rameaux d'ailante ou troène (figure 2) sont ajoutés en quantité suffisante pour que les larves aient de quoi se nourrir jusqu'au lendemain.

Figure 1: Boîtes d'élevage (4L) des larves de *Philosamia ricini* (Rearing boxes of *Philosamia ricini* larvae (4L))



Les chenilles mortes ou malades sont immédiatement retirées des boîtes et congelées à -20°C pour éviter toute contamination. Une fois les boîtes vides, celles-ci sont désinfectées à la javel avant d'être réintégrées à l'élevage.

Figure 2: Larves de *Philosamia ricini* sur feuilles d'*Ailanthus altissima* (*Philosamia ricini* larvae on *Ailanthus altissima* leaves)



Figure 3: Cocons de *Philosamia ricini* dans un panier grillagé (*Philosamia ricini* cocoons in a fitted basket)



Figure 4: Oeufs de *Philosamia ricini* (*Philosamia ricini* eggs)



Les cocons de 10 jours sont placés sur un essuie-tout recouvrant le fond d'une cage de 40*60*50cm grillagée. Une fois les papillons sortis, les œufs (figure 4) sont récupérés dans une petite boîte, étiquetée (date et alimentation des chenilles). Les œufs sont stockés dans une étuve à 25°C. Les papillons morts et les cocons vides sont jetés. Les cages vides sont aspirées et nettoyées avant d'être réintégrées à l'élevage.

Les œufs sont stockés pendant 7 jours (jusqu'à l'éclosion). Deux fois par semaine, les œufs arrivant à terme sont disposés sur un essuie-tout dans une boîte rectangulaire de 2L. Les larves sont nourries et les boîtes nettoyées chaque jour. Les œufs non utilisés sont congelés à -20°C. Quel que soit le stade de ce lépidoptère, la photopériode est de 16L: 8D.

Technique d'élevage des deux parasitoïdes oophages (*O. pityocampae* et *O. kuvanae*)

Les femelles *O. pityocampae* et *O. kuvanae* sont mises dans des tubes en verre de 1 X 17 cm (figure 7) avec des œufs de *P. ricini* dans lesquels elles vont pondre. Ces tubes sont conditionnés à 25 ±1°C, RH 65 ± 5% and 16L : 8D de photopériode. Les parasitoïdes émergents sont placés dans des tubes en verre avec une goutte de miel. Les tubes sont bouchés par du coton et sont placés dans un incubateur.

Figure 5: *Ooencyrtus kuvanae*



Figure 6: *Ooencyrtus pityocampae*



Figure 7: Conditionnement de deux espèces de *Ooencyrtus* sp. (Two *Ooencyrtus* species packaging)



Technique d'expérimentation

Dans cette étude, nous avons testé l'impact du nombre de femelles (1 ou 2 femelles), l'impact du nombre d'oeufs hôte (40, 50, 60, 80 et 100), l'impact de l'âge des œufs hôte (1-2 jours, 3-5 jours, 5-7 jours) et l'impact de l'âge du parasitoïde (1, 3 et 5 jours). On a utilisé 6 720 œufs de *P. ricini* pour les deux expérimentations. Ces tests ont été réalisés dans le laboratoire BioContrôle de l'UEFM INRA PACA ($25 \pm 1^\circ\text{C}$, RH $65 \pm 5\%$ et L 16: 8D de photopériode). Ces expériences nous ont permis de mesurer les paramètres biologiques chez *O. pityocampae* et *O. kuvanae* : la longévité, la durée de développement, le sexe-ratio et le taux d'émergence.

RESULTATS

Le tableau I présente les caractéristiques biologiques des adultes de *O. pityocampae* et *O. kuvanae* sur leurs hôtes de substitution *P. ricini*.

La longévité des adultes de *O. pityocampae* varie de 2 à 6 jours sans miel, et de 18 à 58 jours avec miel. La longévité des adultes de *O. kuvanae* peut aller de 1 à 5 jours sans miel et de 35 à 66 jours avec miel. La durée de développement des adultes de *O. pityocampae* sur son nouvel hôte *P. ricini* varie entre 19.5 et 22.6 jours. La durée de développement des adultes de *O. kuvanae* sur son nouvel hôte *P. ricini* peut aller de 16.5 à 18.7 jours.

O. pityocampae est une espèce à reproduction parthénogénétique thélitocle. Les mâles sont pratiquement inexistant dans la population. *O. kuvanae* est une espèce à reproduction parthénogénétique arrhénotocle. Le sexe-ratio de *O. kuvanae* est de 62.3 % de femelles. En particulier, l'âge des parasitoïdes peut influencer le taux d'émergence des descendants. Le taux d'émergence de *O. pityocampae* peut varier de 59.3 % à 85 % et le taux d'émergence de *O. kuvanae* varie de 47.2 % à 89.9 % sur l'hôte *P. ricini*.

Tableau I : Les caractéristiques biologiques des adultes de *O. pityocampae* et *O. kuvanae* (Biological characteristics of *O. pityocampae* and *O. kuvanae* adults)

Parasitoïdes	Longévité (jours)		Durée de développement (jours)	Sexe-ratio (♀ %)	Taux d'émergence (%)
	Sans miel	Avec miel			
<i>Ooencytus pityocampae</i>	2-6	18-58	19.5 - 22.6	100	59.3 - 85
<i>Ooencytus kuvanae</i>	1-5	35-66	16.5 - 18.7	62.3	47.2 - 89.9

DISCUSSION

Les parasitoïdes oophages de la processionnaire du pin sont des hyménoptères qui pondent leurs oeufs dans les oeufs de l'insecte ravageur. Ils jouent un rôle important dans la régulation de la taille des populations mais aussi dans la dynamique des limites de distribution de l'insecte ravageur. Dans un premier temps, *O. pityocampae* et *O. kuvanae* sont deux parasitoïdes oophages choisis pour lutter contre la processionnaire du pin et le bombyx disparate.

Pour les étudier et développer des programmes de lutte biologique, nous devons au préalable mettre au point leur élevage. Dans ce contexte, nous avons travaillé sur un nouvel hôte : *P. ricini*. Il y a plusieurs facteurs pour le choix de l'hôte. Premièrement, la facilité de l'élevage est un dénominateur commun pour le choix de l'hôte (Fedde *et al.*, 1982).

Les différents résultats que nous avons obtenus, notamment la longévité, la durée de développement, le sexe-ratio et le taux d'émergence montrent que *P. ricini* offre de bons résultats de développement pour *O. pityocampae* et pour *O. kuvanae*. L'élevage des deux parasitoïdes réalisé au laboratoire sur *P. ricini* pendant plusieurs générations n'altère pas les caractéristiques biologiques des parasitoïdes.

Plusieurs auteurs ont précédemment travaillé sur la biologie de *O. kuvanae*. La longévité observée en laboratoire est de 57 jours pour les femelles et est de 37 jours pour les mâles *O. kuvanae* (Hérard & Mercadier, 1980). Nos résultats montrent une longévité des adultes de *O. kuvanae* qui varie de 35 à 66 jours sur *P. ricini* à 25 °C. La durée de développement de *O. kuvanae* est de 21 jours sur son hôte naturel à 25 °C (Crosmann, 1925). Nos résultats sont similaires avec une variation de 19.5 à 22.6 jours sur *P. ricini*. La longévité et la durée de vie des adultes dépendent de la température et de l'hôte pour les parasitoïdes (Tunca *et al.*, 2010; Voss *et al.*, 2010). Le sexe-ratio de *O. kuvanae* est toujours en faveur des femelles. D'autres auteurs ont observé 75 % de femelles (Tadic et Bincev, 1959) 65 % de femelles (Prota, 1966), 60 % de femelles (Hérard et Mercadier, 1980). Notre résultat est proche avec 62.3 % de femelles.

Pour *O. pityocampae*, la longévité des femelles que nous avons obtenue (18-58 jours avec miel) est proche des résultats obtenus par Battisti *et al.* en 1990, avec plus de 45 jours. La longévité des adultes étudiés de *O. pityocampae* varie de 18 à 58 jours sur *P. ricini* à 25 °C. On a observé que la présence de miel augmente considérablement la longévité des parasitoïdes. Suivant les hôtes, le cycle de vie peut être différent. Pour Battisti *et al.* (1990) le cycle de vie de *O. pityocampae* est en général de 15 à 20 jours.

Par ailleurs, la qualité des descendants a également été testée sur des hémiptères généralistes. Tiberi *et al.*, (1991) avait élevé *O. pityocampae* pendant plusieurs générations sans perdre de qualité sur 4 espèces d'hémiptères (*Carporis* sp., *Eurydema ventrale*, *Graphosama lineatum italicum* et *Nezara viridula*). C'est *N. viridula* qu'il a retenu comme hôte d'élevage. Selon Tiberi *et al.*, (1991) la longévité des adultes de *O. pityocampae* est 18.58 jours et le cycle de vie d' *O. pityocampae* est de 21 jours et sur *N. viridula*. De plus, le taux d'émergence d' *O. pityocampae* est de 90 % sur cet hôte naturel.

Etant donné les résultats obtenus avec *P. ricini*, nous considérons ce nouvel hôte de substitution comme un très bon candidat à retenir pour des élevages de masse de *O. pityocampae* et de *O. kuvanae*. En effet, son élevage est possible toute l'année avec une disponibilité constante en végétal hôte. Ce papillon a des œufs appétents pour les deux parasitoïdes oophages. Les œufs de ce lépidoptère sont volumineux, et nous savons que les caractéristiques de l'hôte, telle que la taille, peuvent influencer la qualité du parasitoïde et la capacité du parasitisme (Hoffmann *et al.* 1995; Greenberg *et al.* 1998; Liu *et al.* 2011). L'étude de la fécondité est en cours. Les caractéristiques biologiques de *O. pityocampae* et *O. kuvanae* sont bonnes sur *P. ricini*. Ce nouvel hôte est une espèce multivoltine, sans diapause et non-urticante. Cet hôte semble donc une bonne espèce pour l'élevage de *O. pityocampae* et de *O. kuvanae*.

CONCLUSION

Ce travail nous a permis d'optimiser les méthodes d'élevage de masse de *O. pityocampae* et *O. kuvanae*. *P. ricini* semble un hôte de substitution intéressant pour envisager une production de masse. Il sera ensuite nécessaire de déterminer la stratégie de lâcher et les modalités d'utilisation des auxiliaires pour le biocontrôle de plusieurs ravageurs forestiers.

REMERCIEMENTS

On remercie toute l'équipe de l'UEFM INRA Avignon pour les collectes de pontes de la processionnaire du pin et de *Lymantria dispar*.

BIBLIOGRAPHIE

- Barrault J., Eckebil J.-P., Vaillé J., 1972 - Point des travaux de l'IRAT sur les sorghos repiqués du Nord-Cameroun. *L'Agronomie Tropicale*, 27, 8, 791-814
- Battisti A., 1989. Field Studies on the Behavior of 2 Egg Parasitoids of the Pine Processionary Moth *Thaumetopoea pityocampa*. *Entomophaga*, 34, 29-38.
- Battisti A., Bernardi M., Ghirardo C., 2000. Predation by the hoopoe on pupae of *Thaumetopoea pityocampa* and the likely influence on other natural enemies. *BioControl*, 45, 311–323.
- Binazzi F., Benassai D., Peverieri S.-G., Roversi P.-F., 2013. Effects of *Leptoglossus occidentalis* Heidemann (Heteroptera Coreidae) egg Age on the indigenous parasitoid *Ooencyrtus pityocampae* Mercet (Hymenoptera Encyrtidae). *Redia*, 96, 79–84.
- Barbaro L., 2008. Les oiseaux insectivores prédateurs de la processionnaire du pin. In :Colloque Insectes et changement climatique. [en-ligne] Micropolis, Aveyron (FRA), novembre 2008. [http://www.inra.fr/urticlim/projet_urticlim/reunions/micropolis] (consulté le 24 Janvier 2010).
- Biliotti E., 1958. Les parasites et prédateurs de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepideptora). *Entomophaga* 3, 23–34.
- Biliotti E., 1956. Biologie de *Phryxe caudata* Rondani (Dipt. Larvaevoridae) parasite de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). *Revue Pathologie Végétale Entomologie Agricole France*, 35, 50-65.
- Boulétreau M., 1998. Parasitisme et génétique dans le monde des insectes. *Pour la science*, 123, 78-87.
- Colazza S., Salerno G., Wajnberg E., 1999. Volatile and Contact Chemicals Released by *Nezara viridula* (Heteroptera:Pentatomidae) Have a Kairomonal Effect on the Egg Parasitoid *Trissolcus basalus* (Hymenoptera: Scelionidae). *Biological Control* 16, 310–317.
- Crossman S.S., 1925. Two imported egg parasites of the gypst moth *Anastatus bifasciatus* Fonsc. and *Schedlus kuvanae* Howard. *Journal of Agricultural Research*, 30, 643-675.
- Demolin G., Delmas J.-C., 1967. Les Ephippigères, prédateurs occasionnels, mais importants de *Thaumetopoea pityocampa*. *Entomophaga*, 12, 399-401.
- Fedde V.-H., Fedde G.-F., Drooz A.-T. 1982. Factitious hosts in insect parasitoid rearings. *Entomophaga*, 27 (4), 379-386.
- Géri C., 1980. Application des méthodes d'études démécologiques aux insectes défoliateurs forestiers. Cas de *Diprion pini* L. (Hyménoptère Diprionidae). Dynamique des populations de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* (Lépidoptère Thaumetopoeidae) dans l'île de Corse.Ph.D Thesis, Université Paris-sud Centre d'Orsay, Paris.
- Greenberg S.-M., Nordlund D.-A., Wu Z., 1998. Influence of rearing host on adult size and oviposition behavior of mass produced female *Trichogramma minutum* Riley and *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Biol Control*, 11, 43–48.
- Halperin J., 1990. Mass breeding of egg parasitoids (Hym., Chalcidoidea) of *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams (Lep., Thaumetopoeidae). *Journal of Applied Entomolgy*, 109, 336-340.

- Hérard, F., Mercadier, G. 1980. Bionomies comparées de deux souches (Marocaine et Americaine) d'*Ooencyrtus kuvanae* (Hym. Encyrtidae), parasite oophage de *Lymantria dispar* (Lep: Lymantridae). *Entomophaga*, 25, 129-138.
- Hoffmann M.-P, Walker D.-L, Shelton A.-M, 1995. Biology of *Trichogramma ostriniae* (Hym.: Trichogrammatidae) reared on *Ostrinia nubilalis* (Lep.: Pyralidae) and survey for additional hosts. *Entomophaga*, 40, 387-402.
- Liu Z., Xu B., Li L., Sun J., 2011. Host-Size mediated trade off in a parasitoid *Sclerodermus harmandi*. *PLoS ONE*, 6 (8), e23260.
- Lopez-Sebastian E., Selfa J., Ylla J., 2004. Primeros datos del parasitismo de *Ooencyrtus pityocampae* (Mercet, 1921) sobre *Graellsia isabellae* (Graells, 1849) en condiciones de laboratorio. *Graellsia*, 60, 121-123.
- Masutti L., 1964. Ricerche sui parassiti oofagi della *Thaumetopoea pityocampae* Schiff. *Ann Centro Econ Montana delle Venezie*, 4, 205-271.
- Prota R., 1966. Contributi alla conoscenza dell entomofauna della Quercio da sughero (*Quercus suber* L.) Osservazioni condotte in Sardegna su *Ooencyrtus kuvanae* (Howard) (Hymenoptera: Encyrtidae) nuovo per la fauna italiana. Staziaone Sperimaentale del Sughero, Tempio Pausania. *Memoria* 17, 26 pp (italian with English summary).
- Tiberi R., Niccoli A., Roversi P.-F., Saccetti P., 1991. Laboratory rearing of *Ooencyrtus pityocampae* (Mercet) on eggs of *Nezara viridula* (L.) and other pentatomid eggs. *Insect Parasitoids*. 4th Eur Workshop-Perugia 3-5 April, 1991. *Redia*, 74, 467-469.
- Tadic M.-D., Bincev B., 1959. *Ooencyrtus kuvanae* How , in Yugoslavia. *Zast Bilja*, 10, 51-59.
- Tiberi R., Niccoli A., Sacchetti, P., 1993. Allevamento di *Ooencyrtus pityocampae* (Mercet) su uova di rincori pentatomidi. MA.F. Convegno « Piante forestali », Firenze 1992, (coord. M. Covassi) ed. Ist. Sper. Pat. Veg., Roma. 79-84.
- Tunca H., Kiliñer N., Özkan C., 2010. Temperature dependent development of the egg-larval parasitoid *Chelonus oculator* on the factitious host, *Ephestia cautella*. *Turkish Journal of Agricultural Forestry*, 34, 421-428.
- Voss S.-C., Spafford H., Dadour I.-R., 2010. Temperature-dependent development of the parasitoid *Tachinaephagus zealandicus* on five forensically important carrion fly species. *Medical and Veterinary Entomology*, 24(2), 189-98.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**LE SCOLYTE *XYLOSANDRUS CRASSIUSCULUS* (COLEOPTERA : CURCULIONIDAE)
EN FRANCE : DE LA DETECTION A LA LUTTE**

J.-B. DAUBREE ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Pôle Sud-est de la santé des forêts, D.R.A.A.F. S.R.A.L. P.A.C.A.
BP 95 - 84 141 MONTFAVET CEDEX - France - jean-baptiste.daubree@agriculture.gouv.fr

RESUME

Détecté en août 2014 dans une forêt de la commune de Nice, *Xylosandrus crassiusculus* (Motchulski, 1866), espèce invasive, organisme de quarantaine inscrite sur la liste d'alerte de l'OEPP, a fait l'objet d'un plan de lutte dès septembre 2014. Les mesures d'éradication et le suivi ont montré leur limite pour la destruction de ce ravageur et une stratégie d'enrayement a été mise en place. L'impact actuel reste limité à une espèce, le caroubier et à un site. Cependant, la prolifération de cet insecte laisse une possibilité à une extension du foyer soit vers d'autres essences soit vers d'autres sites.

Mots-clés : *Xylosandrus crassiusculus*, caroubier, piégeage, espèce invasive, foyer.

ABSTRACT

XYLOSANDRUS CRASSIUSCULUS IN FRANCE : FROM DETECTION TO ERADICATION

Detected in August 2014 in a forest of the Nice city, *Xylosandrus crassiusculus* (Motchulski, 1866), is a quarantine invasive pest added on the alert list of EPPO, which was on a destruction plan since September 2014. Eradication measures and survey, show limited result for this type of pest and a containment strategy was settle. Impact is now limited to one specie *Ceratonia silica* and to one site. Meanwhile, the outbreak of this insect may create an extension of the damages to some others sites and some others species

Keywords: *Xylosandrus crassiusculus*, *Ceratonia silica*, trapping, invasive specie, outbreak.

INTRODUCTION

L'introduction d'organismes invasifs est, avec le réchauffement climatique, une des principales menaces qui pèse sur les cultures mais aussi sur les écosystèmes forestiers. Dans le sud de la France, à la faveur d'un climat particulièrement doux, on voit apparaître des insectes d'origine tropicale dont on a du mal à évaluer la dangerosité.

En août 2014, les services de la ville de Nice ont détecté des symptômes étranges sur caroubier (figure 1). L'origine des dégâts a été attestée par le Laboratoire de la santé des végétaux de l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (A.N.S.E.S.), unité « entomologie et plantes invasives » de Montpellier, comme étant liée à *Xylosandrus crassiusculus* (Motschulsky, 1866) – the Asian ambrosia beetle ou the granulate ambrosia beetle - non présent jusqu'alors sur le territoire national.

Xylosandrus crassiusculus est inscrit sur la liste d'alerte de l'Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes (O.E.P.P.) et en annexe B – chapitre 1^{er} – IV de l'arrêté du 31 juillet 2000 établissant la liste des organismes nuisibles aux végétaux, produits végétaux et autres objets soumis à des mesures de lutte obligatoire. L'objet de cet article est de décrire les mesures mises en place par la Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt (D.R.A.A.F.) PACA et les partenaires locaux et d'évaluer l'efficacité de celles-ci et leurs conséquences.

MATERIEL ET METHODE

BIOLOGIE DE L'INSECTE

Hôtes

Xylosandrus crassiusculus est présenté comme un danger pour une large gamme d'hôtes, beaucoup d'espèces ligneuses sont réputées sensibles, que ce soit des espèces fruitières (*Prunus*, *Malus*, *Ficus* ...), forestières (*Alnus*, *Populus*, *Salix*, *Quercus* ...) ou ornementales (*Acacias*, *Hibiscus*, *Magnolias* ...). En Floride, où son introduction date de 1974, on a constaté des dommages importants en pépinière, sur les arbres d'ornement et dans les vergers.

A Nice, il a été détecté sur caroubier (*Ceratonia silica*), ce qui a été aussi le cas en Italie. Sur cette essence, le symptôme le plus visible est l'apparition de cylindres de sciure compactée sur les troncs et les branches des arbres atteints (figure 1). Cependant, d'autres symptômes comme le flétrissement de branches voire le rougissement de l'arbre entier jusqu'à sa mort dans le cas de jeunes arbres ou d'arbres fortement attaqués peuvent signaler la présence de *Xylosandrus crassiusculus*.

Cycle de l'insecte

La femelle fore dans les rameaux, les branches et les troncs un système de galeries dans lequel elle introduit un champignon dont elle et ses larves se nourrissent. Oeufs, larves et adultes vivent ensemble dans ce système de galeries qui a la forme d'une grande chambre creusée dans le xylème sur un axe radial.

Les arbres et les branches d'un diamètre de 2 centimètres à 30 centimètres peuvent être attaqués. Il ne s'agit pas d'un insecte attaquant uniquement les arbres stressés. L'attaque a lieu autant sur les arbres sains que sur les rémanents frais.

Les mâles ne volent pas et restent dans le système de galeries où ils sont nés. Aussi, les femelles se reproduisent avec leurs frères ; ce sont des femelles fécondées qui essaient et peuvent donc recréer immédiatement un nouveau foyer.

Figure 1 : photo de symptômes de la présence de *X. crassiusculus* sur caroubier



La dissémination se fait principalement au cours des mois d'avril à juin, selon les résultats des piégeages effectués en Floride. Dans les échantillons observés sur les caroubiers de Nice, nous avons pu constater que les chambres qui contenaient entre 20 à 50 larves ont donné naissance à de nombreux adultes, montrant ainsi à une forte capacité de reproduction.

Répartition

Largement répandu dans les tropiques, *Xylosandrus crassiusculus* a été signalé en Floride dans les années 1970 et en 2012 en Italie où il est présent sur un foyer et de façon sporadique sur le territoire, il a aussi été signalé dans un piégeage en Suisse en 2015.

Le foyer français est situé sur la commune de Nice dans la forêt communale du Mont-Boron. Il se trouve à 100 kilomètres du foyer italien le plus proche et à proximité du port de Nice. Il s'agit d'une zone forestière à une forte valeur touristique mais aussi environnementale. Elle fait partie du site Natura 2000 « Corniches de la Côte d'Azur » et présente l'habitat communautaire « 9320 Forêts à *Olea* et *Ceratonia* ». Par ailleurs, le caroubier est une espèce protégée.

Une détection a aussi été faite lors d'un piégeage patrimonial effectué par l'Office National des Forêts sur l'île de Sainte Marguerite au large de Cannes (06) sans qu'aucun symptôme ne soit détecté.

Il n'a pas été trouvé de mention de dégâts de *Xylosandrus crassiusculus* sur caroubier dans des zones de production de cette espèce notamment au sud de la méditerranée.

STRATEGIE DE LUTTE ET SUIVI

Suite à la mention à l'O.E.P.P. du foyer en août 2014, un plan d'urgence a été mis en œuvre avec pour objectif l'éradication de ce parasite (malgré le scepticisme des experts sur son efficacité).

Inventaire des arbres touchés et communication

Une des premières mesures a été l'inventaire des arbres symptomatiques sur la forêt du Mont-Boron et l'information des services des espaces verts des collectivités territoriales situées dans un rayon de

20 kilomètres autour du foyer. Etant donné la spécificité des symptômes, il est peu probable qu'un autre foyer important soit passé inaperçu, néanmoins quand les symptômes restent au niveau des branches dans le houppier, lors des premières attaques, ils sont difficiles à déceler.

Sur le foyer, étant donné que les symptômes apparaissent à partir du mois d'août et s'intensifient jusqu'en octobre (voir plus tard en 2016), des inventaires ont été programmés en 2014 et 2015 à partir de la fin du mois de septembre.

Les inventaires ont été conduits en partenariat par le pôle Sud-est de la santé des forêts et le Service Espaces verts de la ville de Nice. Des équipes, de 2 à 4 personnes, ont parcouru le site de façon exhaustive. Ces inventaires sont complétés par le suivi mensuel des agents de la ville de Nice.

Mesures de destruction

Des mesures administratives de destruction ont été prescrites dès septembre 2014, pour les arbres symptomatiques : abattage, broyage et brûlage, avec transport sous bâches si nécessaire. Ces mesures ont été prescrites en plusieurs vagues en 2014, mais dès le premier chantier, on a pu constater la présence de galeries larvaires sur les souches dont l'arrachage du fait de l'accessibilité et la nature du sol était impossible. Les abattages se sont poursuivis pendant l'automne et l'hiver 2014 puis en 2015, parfois limités aux organes infectés.



Figure 2 : photos d'illustration des mesures de destruction

Les inventaires de l'automne 2015, ont montré que le nombre d'arbres touchés en forte augmentation.

L'intérêt des opérations d'abattage a été soumis à la Direction Générale de l'Alimentation (D.G.A.L.) du Ministère de l'Agriculture afin d'évaluer l'intérêt coût/bénéfice d'une telle opération. En effet, la probabilité de conduire à bien une éradication s'éloignant, la réduction de la population de *X. crassiusculus*, devait être mise en face d'un profond et rapide remaniement du paysage et un coût financier important.

Suite à une visite de l'expert en entomologie du Département de la santé des forêts, la D.G.A.L. a décidé de mettre fin à l'abattage d'éradication, pour concentrer celui-ci sur les individus à risque et de mettre en place une stratégie d'enrayement sur ce foyer avec un contrôle par piégeage.

Les piégeages

Dès octobre 2014, des pièges ont été mis en place sur le foyer. L'objectif était de mieux connaître la biologie de cet insecte dont nous n'avions pas de références européennes. 6 pièges ont été mis en place sur le foyer et 1 à proximité directe de celui.

Les pièges utilisés ont été des pièges Polytrap, appâtés avec une solution à base d'alcool. Ils ont été relevés tous les 15 jours. Le résultat des captures a été analysé par le laboratoire entomologique de l'O.N.F., les identifications de *Xylosandrus crassiusculus* faisant l'objet d'un échange avec l'A.N.S.E.S.

En juin 2015, le dispositif a été complété par 10 pièges situés en Six Fours (83) et Menton (06) afin de détecter une éventuelle présence de l'insecte sur le littoral.

En 2016, le dispositif de piégeage a été modifié comme suit :

- maintien de 3 pièges sur le massif du Mont-Boron, afin de confirmer les données de vol,
- mise en place d'un dispositif de 4 pièges autour du foyer, sur les reliefs de proximité, afin d'évaluer la dispersion,
- maintien de 4 pièges sur le littoral entre Toulon et Menton afin de mieux évaluer la dispersion longue.

Les pièges ont été posés de préférence à proximité de caroubier, ils ont été relevés par la Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles (F.R.E.D.O.N. P.A.C.A.) et le pôle Sud-est de la santé des forêts.

RESULTATS

Le tableau I résume les résultats de la lutte que nous allons détailler dans ce chapitre.

Tableau I : mesures de suivi sur les trois ans

	2014	2015	2016
Détection symptômes	Nice : 3 puis 12 puis 65 caroubiers. En trois campagnes d'inventaire	Nice : symptômes à partir du 26 juillet, comptage de plus de 200 caroubiers infectés	Symptômes discrets fin juillet sur Caroubier et 1 <i>Cercis siliquastrum</i> touché hors foyer
Lutte	- destruction de 3 puis 12 puis 65 arbres	Destruction 20 arbres début septembre	Destruction des arbres menaçants la sécurité des promeneurs. Destruction du <i>C. siliquastrum</i> (dans un lieu public fréquenté)
Piégeage sur le foyer	Nice : à partir d'Octobre 7 pièges Polytrap	Nice : 7 pièges Polytrap	Nice : 3 pièges sur le foyer 4 pièges à moins de 2 km
Piégeage éloigné	Cannes Saint Marguerite en avril mai (ONF)	10 pièges Toulon à Menton entre juin et août	4 pièges entre Toulon et Menton de mai à juillet

Inventaire des arbres touchés et communication

Concernant la communication, l'envoi du courrier à 25 collectivités situées dans un rayon de 20 kilomètres autour du foyer a obtenu 5 réponses.

Les résultats des mesures de suivi sont résumés dans le tableau I. Il convient de noter que les arbres colonisés apparaissent de façon progressive à partir du mois de septembre. Ainsi, lors de l'exécution des premières mesures de destruction, de nouveaux arbres contaminés ont été repérés.

La figure 3 présente l'évolution de la localisation des arbres symptomatiques. Ils étaient cantonnés au versant ouest de la zone en 2014 avec un foyer central très important, une présence au sud et un foyer

peu important au nord. En 2015, la présence de *Xylosandrus crassiusculus* s'est généralisée sur l'ensemble du massif, avec la constitution d'un foyer très actif au Nord et sur le versant Est. On est passé de 65 arbres contaminés et exploités à plus de 200 arbres contaminés représentant approximativement la moitié du peuplement de caroubiers restants.

Figure 3 : évolution du foyer entre 2014 (en bleu) et 2015 (en rouge), les étoiles jaunes représentent les pièges de la campagne 2014-2015



Mesures de destruction

Les abattages d'arbres atteints ont été conduits à l'automne 2014, puis au cours de l'année 2015. En début d'année 2016, la D.G.A.L. les a orienté vers les arbres menaçants la sécurité publique.

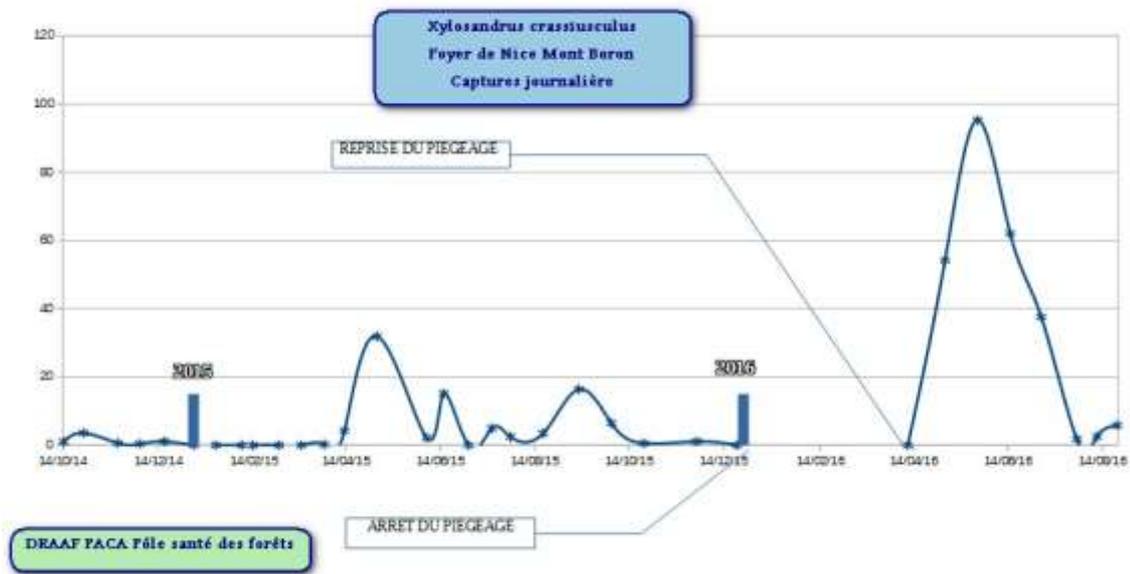
Les opérations d'abattage ont été conduites par la ville de Nice. Il convient de noter que, malgré un effort important, le foyer a continué de s'étendre. Si les premières mesures pouvaient laisser envisager une disparition progressive des caroubiers sur ce massif, la vigueur des rejets constatée sur les souches touchées ouvre la possibilité d'un renouvellement progressif de ce peuplement.

Les piégeages

Les résultats des piégeages ont permis de bâtir la courbe de vol de *Xylosandrus crassiusculus* pour la France, à partir des pièges situés au cœur des zones les plus touchées. On note une activité quasi continue, à l'exception des mois de janvier et février, et un pic de vol en avril mai suivi d'un deuxième pic en septembre. On attendra les relevés de la fin 2016 pour avoir confirmation de ces données.

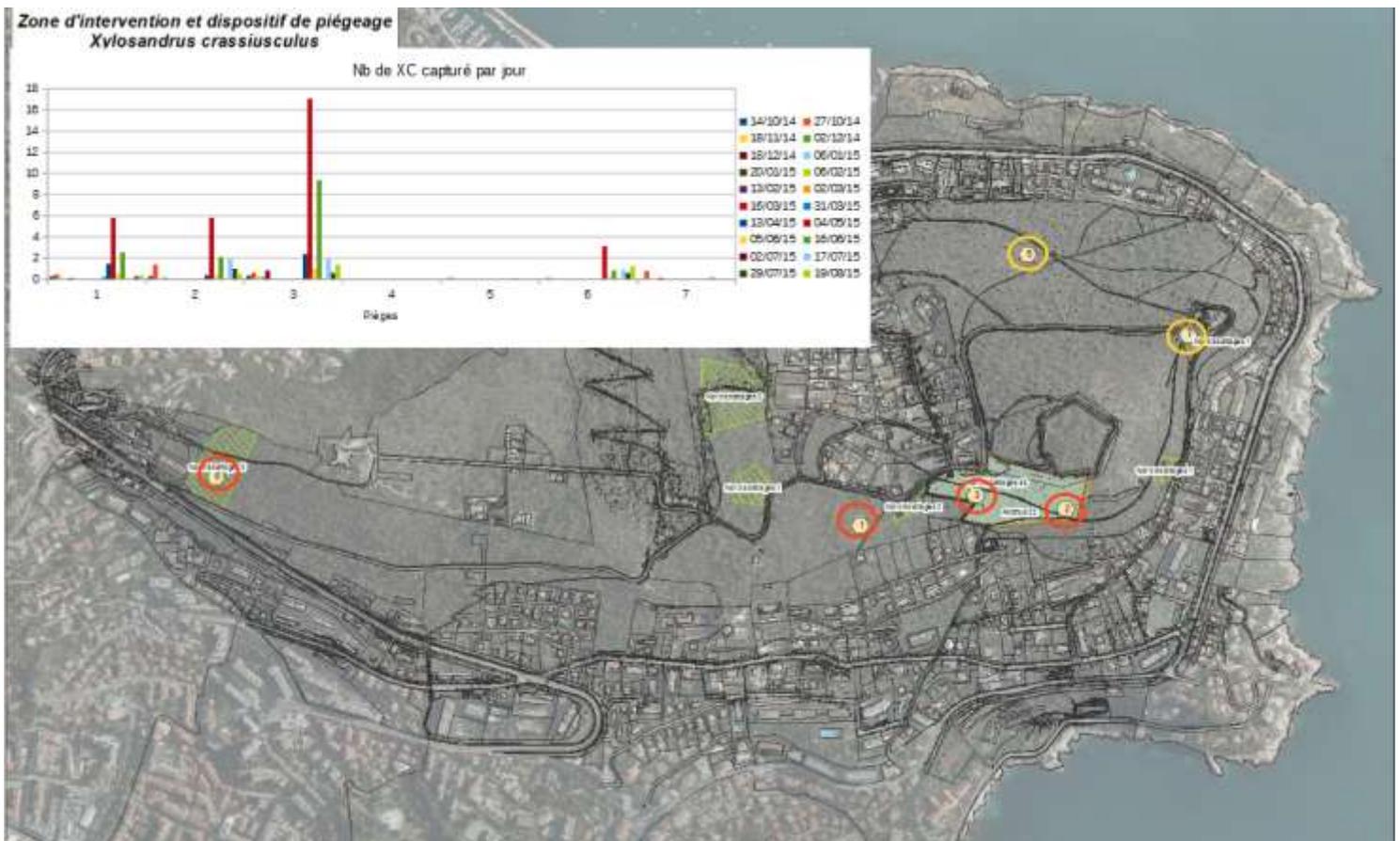
On note aussi que, malgré la diminution du nombre de pièges sur le massif, les captures ont été beaucoup plus importantes en 2016. Le pic passe de 30 insectes par jour à 90 insectes par jour.

Figure 4 : courbe de vol de *Xylosandrus crassiusculus* depuis octobre 2014, en insecte/jour de piégeage.



Sur le foyer, les pièges installés en 2015, ont permis de montrer qu'une population était présente sur des zones asymptomatiques, notamment sur l'est du massif, à proximité du piège 5. Ces zones se sont révélées contaminées à l'automne 2015.

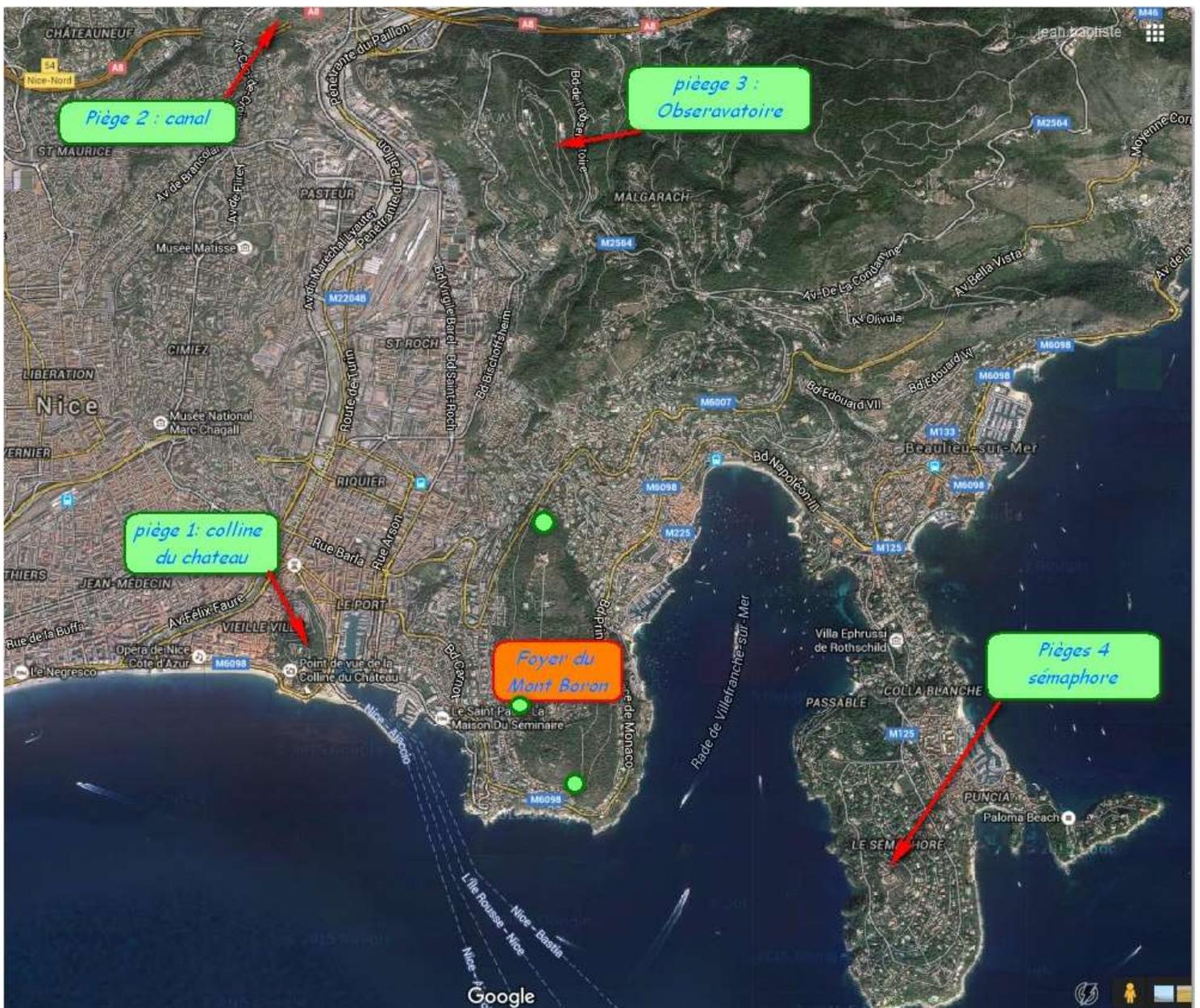
Figure 5 : piégeage 2015 sur le massif du Mont-blanc. Le piège 5 sur la zone est a montré un faible taux de capture mais une forte contamination à l'automne.



Les piégeages ont aussi permis de valider l'absence d'une dissémination généralisée à faible incidence de cette espèce sur la Côte d'Azur. Le suivi des pièges, installés en 2015 et en 2016, n'a pas permis de montrer la présence de *Xylosandrus crassiusculus* dans un autre endroit que sur le foyer du Mont-Boron. Seul le piège situé sur l'île de Sainte Marguerite a capturé des insectes en 2014 et 2015.

Le dispositif, mis en place en 2016 dans le cadre de la stratégie d'enrayement, a permis de montrer que le foyer ne s'était pas étendu sur la ville de Nice. Les 3 pièges situés au Nord et à l'Ouest n'ont pas capturé d'insectes, mais le foyer risquait de se déplacer à l'Est sur la commune de Saint Jean Cap Ferrat (piège 4) où un insecte a été capturé le 5 juin 2016.

Figure 6 : dispositif de piégeage rapproché 2016



DISCUSSION

Ce suivi amène à se poser plusieurs questions quant à la lutte contre les scolytes xylémophages tropicaux invasifs. D'une façon pratique, on remarque sur ce foyer que, malgré la détection du premier arbre fortement symptomatique sur le site du Mont-Boron, l'éradication a été un échec. Il est probable que cette première détection, s'est produite un an ou deux après l'introduction et que seule une inspection minutieuse de chaque branche aurait pu révéler.

Dans le cadre d'une éradication, l'évolution de ce foyer montre que seule une détection précoce aurait pu avoir une chance de réussir. On peut donc se poser la question de comment effectuer ces détections, quand les indices de présence sont discrets. La solution du piégeage a un grand intérêt. Cependant, elle pose aussi la question du paramétrage du dispositif en terme de nombre de pièges, d'appât et de suite à donner aux détections par piégeage. On peut citer l'exemple de l'île de Sainte Marguerite où, suite au piégeage de 2014, des recherches de symptômes sur les arbres ont vainement été entreprises par les personnels de l'ONF.

Xylosandrus crassiusculus est réputé comme très polyphage, mais en Italie et en France les dégâts sont limités au caroubier. On peut se poser la raison de l'attractivité de cette espèce (taux d'éthanol), d'une possible dispersion à partir d'autres ligneux, dont des symptômes seraient indécélables et donc de l'avenir des caroubiers sur la Côte d'Azur. L'importance de l'attaque sur le Mont-Boron doit aussi être une alarme pour les autres peuplements de ces arbres situés dans le pourtour méditerranéen.

Enfin, il convient de noter la détection à proximité du foyer d'un *Cercis siliquastrum*, infesté par *Xylosandrus crassiusculus*. Cette détection modifie de façon importante les risques de propagation de cet insecte et donc son impact sur les cultures et le paysage.

Enfin, le suivi de ce foyer pose aussi la question de la biologie de cet insecte, son cycle en Europe et son adaptation dans le cadre du réchauffement climatique. La courbe de vol montre deux pics de dissémination mais les données bibliographiques ne permettent pas de les corrélérer de façon fiable à la biologie de cette espèce. La dynamique des populations et son évolution reste encore assez floue. Les fortes populations piégées en 2016 sont-elles responsables de la dissémination sur *Cercis siliquastrum* ? Des expérimentations sur l'appétence des différentes espèces ligneuses mériteraient d'être conduites.

CONCLUSION

Le foyer de *Xylosandrus crassiusculus* sur la commune de Nice est révélateur de la situation face aux introductions d'insectes invasifs. Sa détection a été, comme c'est souvent le cas en forêt, trop tardive pour permettre une éradication. Son origine tropicale semble le cantonner à une région limitée mais l'évolution climatique va dans le sens d'une augmentation de sa zone d'influence. Enfin sa biologie, notamment pour le choix des essences, est peu connue contribuant au fait qu'il constitue donc une menace encore difficile à évaluer. Enfin, il convient de noter que ce suivi, effectué dans le cadre d'un plan d'urgence, a permis une avancée dans la connaissance de ce ravageur.

BIBLIOGRAPHIE

Atkinson TH et al., 2014 - Granulate Ambrosia Beetle, *Xylosandrus crassiusculus* (Motschulsky) (Insecta: Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), University of Florida, EENY-131, 5 pages.

Département de la santé des forêts, 2014 - *Xylosandrus crassiusculus*, nouveau scolyte découvert en France, Actualité DSF , 2 pages.

Nageleisen et al., 2015 - Les scolytes du genre *Xylosandrus* en France (Coleoptera Curculionidae Scolytinae), L'entomologiste tome71, n°4, 267-271.

OEPP, 2010 - Mise à jour sur la situation de *Xylosandrus crassiusculus* en Italie. Communication personnelle avec Franco Finelli, Service régional de la Protection des végétaux d'Emilia-Romagna (IT), in OEPP Informations n°2-2010-02.

OEPP, 2014 - *Xylosandrus crassiusculus* (Coleoptera : Scolytidae), Asian ambrosia beetle, granulate ambrosia beetle, 4 pages.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**UTILISATION DE PIEGES GENERIQUES POUR LA DETECTION PRECOCE D'INSECTES EXOTIQUES
XYLOPHAGES SUR LE TERRITOIRE NATIONAL**

O. DENUX ⁽¹⁾ et A. ROQUES⁽²⁾

⁽¹⁾ INRA, UR 633 Zoologie forestière, F-45075 Orléans, France, olivier.denux@orleans.inra.fr

⁽²⁾ INRA, UR 633 Zoologie forestière, F-45075 Orléans, France, alain.roques@orleans.inra.fr

RESUMÉ

L'arrivée et l'établissement d'insectes exotiques en Europe s'est accrue de manière exponentielle ces dernières décennies avec l'intensification des échanges commerciaux et l'amélioration des moyens de transport. Cette tendance est en particulier vérifiée pour les insectes xylophages. La détection précoce de ces espèces exotiques est essentielle pour améliorer les chances d'éradication et pour obtenir une meilleure estimation des fréquences d'invasion. En Europe, la détection actuelle procède généralement de l'inspection des marchandises aux frontières. Cependant, les interceptions ainsi réalisées ne reflètent que très peu les établissements d'espèces exotiques observées durant la même période. Cela a amené plusieurs pays à développer de nouvelles stratégies de piégeage au niveau des points d'entrée potentielle des insectes exotiques, en particulier dans le but de détecter de manière précoce l'arrivée de nouveaux xylophages.

La détection précoce d'espèces exotiques implique de piéger une grande gamme d'insectes, appartenant à différentes familles taxinomiques et à des faibles niveaux de population. Afin de maximiser les possibilités de détection tout en minimisant les coûts opérationnels, la recherche s'est donc orientée vers l'utilisation de mélanges génériques pouvant attirer un large spectre d'espèces.

Pour les xylophages l'utilisation de tels mélanges, associant un certain nombre de phéromones de différents coléoptères Cerambycidae, a été testée en France en 2015 sur 11 points d'entrée potentielle (ports, aéroports, marché international de Rungis, etc), à leurs abords et comme témoin dans des zones naturelles. Nous avons utilisé 4 mélanges différents visant différents groupes de coléoptères xylophages.

Au total, 6798 coléoptères ont été capturés et parmi ceux-ci 1845 Cerambycidae appartenant à 51 espèces différentes. A l'intérieur des points d'entrée, 12 espèces de Cerambycidae ont été capturées parmi lesquelles 3 espèces exotiques dont deux inconnues jusqu'à présent en Europe. Ces résultats concordent avec ceux obtenues aux USA, au Canada et en Chine et permettent de confirmer les possibilités d'utilisation de ces mélanges génériques pour capturer les Cerambycidae exotiques à leur arrivée sur le territoire national.

Mots-clés : coléoptères, Cerambycidae, exotique, piégeage, points d'entrée.

ABSTRACT

USE OF GENERIC TRAPS FOR EARLY DETECTION OF XYLOPHAGOUS EXOTIC INSECTS IN FRANCE

The arrival and establishment of exotic insects in Europe increased exponentially during the last decades in relation with the ever-increasing commercial trade and improved transportations. This trend is especially true for xylophagous insects. Early detection of alien species is crucial to improve the probabilities of eradication and to get a better estimate of the invasion frequencies. In Europe, the current detection usually proceeds from the inspection of goods at borders. However, the subsequent interceptions are actually not matching at all the exotic species newly established during the same periods of survey. This has led several countries to develop new trapping methods at the potential points- of-entry of exotic insects, especially to get an early detection of new xylophagous pests.

Early detection of exotic species implies to be capable of trapping a wide range of insects from different taxonomic families, and at low density. In order to maximize the detection capabilities while minimizing operational costs, research is oriented towards the use of generic blends aimed at attracting a wide spectrum of species.

For xylophagous insects, the efficiency of such blends, combining different pheromones of Cerambycidae beetles, has been tested in France in 2015. We used 4 different blends within 11 potential points-of-entry (e.g. ports, airports, Rungis International Market), in their immediate surroundings, and in close-by natural areas as controls.

A total of 6798 beetles were captured of which 1845 Cerambycidae belonging to 51 different species. Within the ports, airports and markets, a total of 12 species of Cerambycidae were captured including 3 exotic species of which 2 were previously never recorded in Europe. These preliminary results are consistent with those obtained in the USA, Canada and China. They confirm the potential of generic blends to trap exotic Cerambycidae beetles on arrival in the country.

Key words: beetles, Cerambycidae, alien, trapping, ports-of-entry.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**RECONSTRUCTION DES RÉSEAUX D'INTERACTIONS ENTRE LES PLANTES, *XYLELLA FASTIDIOSA*
WELLS et al., ET SES VECTEURS POTENTIELS À L'AIDE D'OUTILS DE SÉQUENÇAGE À HAUT DÉBIT :
INTÉRÊT POUR LE CONTRÔLE DE LA MALADIE**

J.-Y. RASPLUS^{1*}, J.-C. STREITO¹, J.-P. ROSSI¹, G. GENSON¹, J.-F. GERMAIN², M. GODEFROID¹,
A.-A. GONZALEZ¹⁻³, S. NIDELET¹, É. PIERRE¹, S. PUISSANT⁴, S. SANTONI³ ET A. CRUAUD¹

⁽¹⁾ INRA, UMR1062 CBGP, F-34988 Montferrier-sur-Lez, France. [*rasplus@supagro.inra.fr](mailto:rasplus@supagro.inra.fr)

⁽²⁾ ANSES-LSV, F-34988 Montferrier-sur-Lez, France.

⁽³⁾ INRA, UMR AGAP, F-34398 Montpellier, France.

⁽⁴⁾ Muséum - Jardin des Sciences, F-21033 Dijon, France.

RÉSUMÉ

La détection récente de deux sous-espèces de *Xylella fastidiosa* (*Xf*) en Europe (ssp. *pauca* et *multiplex*) met l'agriculture européenne face à un défi de grande ampleur : trouver des méthodes de lutte efficaces pour gérer une maladie économiquement redoutable. En effet, un contrôle de la maladie ciblé sur une plante cultivée en particulier serait voué à l'échec du fait du large spectre de plantes-hôtes. De même, le contrôle d'un seul vecteur – même important – pourrait s'avérer inadéquat pour limiter la diffusion de la maladie. Enfin, les variations entre communautés « plantes – vecteurs » dues à des contextes géographiques et écologiques différents pourraient influencer la dynamique de transmission et potentiellement l'évolution de la virulence de la maladie. Pour ces raisons, une gestion efficace de *Xf* nécessite de mieux comprendre le contexte écologique gouvernant sa transmission. Il est donc nécessaire et urgent d'améliorer nos connaissances sur les plantes réservoirs et les vecteurs potentiels ainsi que sur la nature des interactions existants au sein de ces communautés. Le développement récent de nouvelles technologies de séquençage permet d'envisager de mieux décrire – à la fois qualitativement et quantitativement – les interactions complexes existant entre *Xf*, ses vecteurs et ses plantes-hôtes à l'interface entre milieux agricoles et habitats semi-naturels. Ces nouveaux outils permettent d'identifier les insectes porteurs de la maladie ainsi que les souches bactériennes impliquées, de décrire leur microbiome (qui peut influencer leurs traits d'histoire de vie), et de déterminer les plantes dont ils ont récemment absorbé les sèves. Nous présenterons les méthodes moléculaires haut-débit que nous développons pour décrire les interactions au sein des communautés « plantes – *Xf* – vecteurs ». Nous donnerons également un aperçu des premiers résultats obtenus et discuterons l'intérêt de ces méthodes pour mieux identifier les espèces (vecteurs ou plantes) ayant un rôle déterminant dans la propagation de la maladie au sein des agroécosystèmes.

Mots-clés : *Xylella fastidiosa*, insectes vecteurs, plantes-hôtes, interactions, NGS.

ABSTRACT

DECIPHERING THE NETWORK OF INTERACTION BETWEEN *XYLELLA FASTIDIOSA*, ITS HOST PLANTS AND POTENTIAL INSECT VECTORS USING NEXT GENERATION SEQUENCING METHODS: INTEREST FOR THE MANAGEMENT OF THE DISEASE

With the recent detection of two subspecies of *Xylella fastidiosa* (*Xf*) (ssp. *pauca* and *multiplex*), European agriculture faces a major challenge: find efficient methods to manage this serious disease. As *Xf* can contaminate multiple host plants, targeting a single plant species will be inefficient. Similarly, targeting a single species of insect vector would limit the efficiency of disease control measures. Finally, differences among plant/insect communities occurring in different ecological and geographical contexts may influence the spread and potentially also the virulence of the disease. Therefore, deciphering the network of interaction between *Xf*, its host plants, and potential insect vectors is crucial to set up efficient control measures. With next generation sequencing methods, it is now possible to simultaneously identify insects, their microbiome (that can influence their life history traits), the plants they fed on and the subspecies / strains of *Xf* they may carry. We will present the methods we are developing to describe plant-*Xf*-insect communities, give an overview of our first results and will discuss the interest of such methods to better identify plants or insects that may play a key role in the spread of the disease.

Keywords: *Xylella fastidiosa*, insect vectors, host plants, interaction, NGS.

INTRODUCTION

Xylella fastidiosa (*Xf*, Xanthomonadaceae) est une bactérie du xylème, disséminée par des insectes vecteurs, connue comme l'agent de la maladie de Pierce qui touche les vignobles californiens depuis plusieurs décennies. Elle est également responsable d'une épidémie sur *Citrus* au Brésil (Chlorose panachée des *Citrus*) depuis la fin des années 1980 (Almeida et Nunney, 2015). Un plan de surveillance national de *Xylella fastidiosa* a été publié et diffusé le 13 mai 2015 (DGAL/SDQPV/2015-449 du 13/05/2015). Parmi les 6 sous-espèces de *Xf* connues, deux ont été récemment introduites en Europe. Elles possèdent des spectres d'hôtes larges mais différents.

- *Xf* subsp. *multiplex* qui, à l'échelle mondiale, est présente entre autre sur *Prunus* spp., *Quercus* spp., *Acer* spp., *Ulmus* spp., *Platanus* spp., *Celtis australis* etc. avec des souches différenciées s'attaquant préférentiellement à certains hôtes (Nunney et al., 2013). La sous-espèce *multiplex* a été détectée en Corse en juillet 2015 sur des plants de polygales à feuille de myrte (*Polygala myrtifolia*). Deux souches (ST6, proche de la souche américaine *Dixon* isolée sur amandier (*Prunus dulcis*) et ST7, proche des souches américaines *Griffin-1* isolée sur *Quercus rubra* et M12 isolée sur amandier) ont été mises en évidence. Depuis, de nombreux foyers et de nombreuses plantes hôtes ont été identifiés dans cette région (voir <http://www.corse-du-sud.gouv.fr/xylella-fastidiosa-une-menace-qui-demande-une-a1409.html> pour un suivi en temps réel). *X. f.* subsp. *multiplex* a aussi été détectée en région PACA et pourrait s'étendre vers l'ouest du bassin méditerranéen.
- *Xf* subsp. *pauca*, présente sur *Citrus* spp., *Coffea* spp. et *Olea europea*, avec pour chacun de ces hôtes des souches différenciées (Nunney et al., 2012). Cette sous-espèce a été détectée fin 2013 dans la région des Pouilles en Italie du Sud sur oliviers et cause actuellement des dégâts majeurs sur cette culture (Saponari et al., 2013 ; Loconsole et al., 2014). La superficie de la zone contaminée couvre aujourd'hui plus de 200 000 ha. La souche de *Xf* isolée en Italie a été nommée CoDIRO [abréviation du nom italien du syndrome de déclin rapide de l'olivier (Giampetruzzi et al., 2015)]. En Italie, la bactérie est également présente, et pathogène, sur amandier (*Prunus dulcis*) et cerisier (*Prunus* sous-genre *Cerasus* sp.) ainsi que sur plusieurs espèces ornementales. A l'heure actuelle, cette souche n'est pas connue du territoire français.

On notera également qu'une souche de *Xf* a été détectée en Allemagne en avril 2016 sur un plant de *Nerium oleander* mis à l'hivernation par des particuliers dans une nurserie produisant des plantes ornementales et des légumes. Cette souche a été identifiée comme appartenant à *Xf* subsp. *fastidiosa* en juillet 2016 (après la rédaction du présent texte). Des tests sur les plantes de la nurserie et celles des propriétaires du plant contaminé sont actuellement en cours (source : http://pflanzen-gesundheit.jki.bund.de/dokumente/upload/3a817_xylella-fastidiosa_pest-report.pdf).

Xylella fastidiosa est une bactérie qui se transmet de plante à plante essentiellement par l'action d'un insecte vecteur dont les pièces buccales sont de type piqueur-suceur (Retchless et al., 2014 ; EFSA, 2015). Quelques cas de transmissions par outils de taille contaminés ou anastomoses racinaires ont été signalés. Seuls quelques groupes apparentés d'hémiptères, appartenant tous au sous-ordre des Auchenorrhynques, sont connus comme vecteurs de la maladie. Il s'agit essentiellement de cicadelles, de cercopes, d'aphrophorides et de cigales. La transmission de la bactérie se fait suivant trois étapes : 1) la bactérie est acquise par le vecteur qui aspire la sève d'une plante infectée ; 2) la bactérie adhère à la cuticule de la cavité buccale de l'insecte et se multiplie ; 3) la bactérie se détache et est inoculée à une nouvelle plante lors d'une nouvelle prise alimentaire de l'insecte (Redak et al., 2004).

Il est important de souligner qu'un insecte peut porter la bactérie mais être dans l'incapacité de la transmettre. L'efficacité de vexion sur de possibles plantes hôtes doit être testée afin d'évaluer de

manière fiable les risques réels représentés par les populations d'insectes présents dans les écosystèmes.

Les connaissances sur les vecteurs efficaces de la maladie sont essentiellement limitées aux espèces américaines. La quasi-totalité des vecteurs de la maladie connus sur le continent américain ne se rencontre pas en Europe et, en conséquence, les connaissances sur les vecteurs en Europe sont extrêmement fragmentaires. La liste des vecteurs susceptibles de transmettre la maladie en Europe compte 119 espèces et inclut 74 espèces de cigales dont beaucoup ont des aires de distribution restreintes. Cinquante-deux de ces espèces sont présentes en France (Chauvel et al., 2015). Chez les vecteurs américains et très probablement chez tous les vecteurs potentiels européens, l'absence de transmission trans-ovarienne (de l'œuf à la larve) et trans-stadiale (entre les stades de développement du vecteur) de *Xf* est avérée. Ceci implique que les vecteurs doivent acquérir la bactérie après chaque mue ; cette ré-acquisition est un événement rare (quand la maladie est rare dans les agroécosystèmes) mais déterminant pour la dissémination de la maladie. En Europe, l'absence supposée de vecteurs dont les stades adultes passent l'hiver est également importante dans la dynamique de la maladie. En effet, l'absence d'hivernation fait que *Xf* ne peut être transmise de plante à plante dès le début du printemps. Cependant ce postulat mérite d'être vérifié, étant donné notre méconnaissance sur l'hivernation au stade adulte de certains vecteurs potentiels présents en Corse [e.g. *Philaenus spumarius* (*Aphrophoridae*)] et le contexte actuel de réchauffement climatique. Il est également important de souligner que les communautés de vecteurs potentiels rencontrées dans les écosystèmes varient au cours du temps (e.g. variations saisonnière, circadienne) ce qui peut influencer la dynamique de dispersion de la maladie. Il est donc essentiel de pouvoir décrire et suivre, rapidement et à moindres coûts, les communautés de vecteurs présentes dans les territoires ciblés.

La détection récente des deux sous-espèces de *Xf* en Europe met l'agriculture européenne face à un défi de grande ampleur : trouver des méthodes de lutte efficace, dans un contexte de réduction des intrants, pour gérer une maladie économiquement redoutable tout en gardant à l'esprit que des recombinaisons entre sous-espèces sont possibles et pourraient impacter la dynamique de l'épidémie. Ainsi, la recombinaison entre *Xf fastidiosa* et *Xf multiplex* a été à l'origine de l'émergence d'une nouvelle sous-espèce aux USA (*Xf morus*) possédant un spectre d'hôtes différent de celui des sous-espèces recombinantes (Nunney et al., 2014).

Il est primordial de développer des stratégies locales de gestion éclairée de la maladie dans les régions infestées. Les méthodes de gestion doivent être adaptées au contexte économique, écologique (diversité biologique), social (mode de culture) et patrimonial (variétés cultivées) du territoire concerné. La contamination de multiples plantes par *Xf* rendra inopérant un contrôle de la maladie qui ciblerait une plante cultivée en particulier. De même, le contrôle ciblé sur un unique vecteur – même important dans la transmission – pourrait s'avérer inadéquat pour limiter la diffusion de la maladie. Enfin, les différences entre communautés « plantes – vecteurs » dans des contextes géographiques et écologiques différents pourraient influencer la dynamique de transmission et potentiellement l'évolution de la virulence de la maladie. Dès lors, vouloir gérer efficacement *Xf*, nécessite de mieux comprendre les interactions écologiques gouvernant sa transmission.

Cet état des lieux met en lumière la nécessité d'acquérir une connaissance solide des plantes réservoirs et des vecteurs potentiels ainsi qu'une bonne compréhension des interactions existant au sein de ces communautés. Le développement récent des techniques de séquençage permet d'envisager la description - à la fois qualitative et quantitative - des interactions complexes existant entre *Xf*, ses vecteurs et ses plantes-hôtes à l'interface milieux agricoles et habitats semi-naturels. A l'aide de ces nouveaux outils, il devient possible d'identifier simultanément les insectes et la souche bactérienne qu'ils peuvent porter et de caractériser leur microbiome (ensemble des bactéries symbiotes ou non pouvant influencer leurs traits de vie) ainsi que les plantes dont ils ont récemment absorbé les sèves.

MATERIEL ET METHODES

RECHERCHE DE FINANCEMENTS, MISE EN PLACE DE RESEAUX ET COLLECTE D'ÉCHANTILLONS

Les recherches sur les vecteurs de *Xf* viennent de débuter (les premiers financements DGAL – INRA ont débuté en janvier 2016). Un des points clés travaillé actuellement est la mise en place de réseaux de collecte nécessaires à l'obtention de matériel d'intérêt et au déroulement des expériences. Pour ce faire, des projets sont en cours de montage. Ces réseaux doivent permettre le prélèvement d'un maximum d'échantillons sur des parcelles agricoles situées dans différents contextes géographiques / écologiques, etc. Parallèlement à ces réseaux, des collectes par fauchage et battage (Chauvel et al., 2015) de plantes hôtes potentielles des vecteurs ont été réalisées depuis l'été 2015. Les spécimens collectés sont stockés en alcool 75° puis identifiés à l'espèce par l'étude de leurs caractères morphologiques. Cette étape d'identification via la morphologie est essentielle pour la constitution de la base de données de référence (voir ci-dessous).

CONSTRUCTION DES BASES DE DONNÉES DE RÉFÉRENCE POUR L'IDENTIFICATION DES VECTEURS ET DES PLANTES

Avant la réalisation d'études visant à la caractérisation des réseaux d'interactions, il est nécessaire de disposer de bases de données de référence pour l'identification des insectes vecteurs potentiels de *Xf* et de leurs plantes hôtes. Ces bases de données stockent, pour chaque espèce, la séquence d'un petit fragment de son ADN. Ce fragment est appelé barcode ou code-barre. Par comparaison avec cette banque de barcodes, il devient possible d'identifier à l'espèce n'importe quel insecte, quelque soit son stade de développement, ou n'importe quelle plante (les œufs et les larves sont difficilement identifiables par des caractères morphologiques, de même que les sèves ingérées !). L'identification devient donc extrêmement rapide et à la portée de tout organisme de surveillance ne disposant pas d'expertise taxonomique particulière. Pour construire cette base de données, nous avons choisi de séquencer le gène *COI* (code-barre classique des insectes) sur au moins une dizaine d'individus par espèce, si possible issus de différentes localités, afin d'avoir une bonne image de la variabilité génétique à l'intérieur de l'espèce. Le séquençage du *COI* sera complété par celui d'un marqueur nucléaire dans le cas où celui-ci ne suffirait pas (introgression mitochondriale, existence de complexes d'espèces, difficultés d'identification par *COI* rencontrées chez les cigales). Les bases de données de référence seront construites grâce aux méthodes de séquençage haut-débit afin de réduire les coûts.

Pour les plantes, deux marqueurs seront séquencés : un marqueur chloroplastique (*rbcl* ou *matK*, qui sont les fragments standards utilisés dans le barcoding des plantes) et un marqueur nucléaire (*ITS2*). En effet, il est important de compléter l'information contenue dans les marqueurs chloroplastiques par une information nucléaire car les chloroplastes peuvent être échangés entre des espèces de plantes proches taxonomiquement. De plus, étant donné qu'après ingestion l'ADN de la plante est rapidement dégradé, cibler plusieurs marqueurs permettra d'augmenter les chances de séquencer au moins l'un d'entre eux. Comme pour les insectes, plusieurs individus par espèce (5) seront séquencés pour mieux refléter la variabilité génétique intraspécifique dans la base de référence et permettre ainsi une identification plus fiable des plantes dont les sèves sont consommées par les vecteurs. Les séquences disponibles dans les bases de données de référence mondiales (e.g. NCBI) seront également intégrées à la base pour augmenter sa représentativité et accroître les possibilités d'identification des sources d'alimentation des vecteurs potentiels.

En plus des barcodes, des informations sur la taxonomie, la biologie et la distribution des insectes / plantes ainsi que des illustrations, seront également mises à disposition. La structure de base de données utilisée sera celle développée dans le cadre du projet FP7 Qbol, barcoding des Arthropodes de quarantaine pour l'Europe, incluant déjà les vecteurs américains de *Xf* (<http://www.q-bank.eu/Arthropods/>).

RECONSTRUCTION DES RESEAUX D'INTERACTIONS

L'équation de départ est la suivante :

Nombre (Nb) d'échantillons séquençables = Nb de séquences * Nb de gènes ciblés * Profondeur de séquençage.

Avec Nb de séquences contraint par les séquenceurs actuellement disponibles sur le marché et profondeur de séquençage = nombre de fois qu'un nucléotide est effectivement séquencé (on place un minimum à 30 fois pour éviter les erreurs de lecture).

Avec les nouvelles techniques de séquençage, il est maintenant possible d'obtenir environ 15 à 20 millions de séquences à partir d'un échantillon (contre une seule avec la technologie Sanger classique) et des fragments d'environ 500 pb. Il est donc envisageable de séquencer plusieurs centaines d'individus sur plusieurs marqueurs grâce à ces techniques. Afin de reconstruire les réseaux d'interaction, les marqueurs ciblés seront *COI* + autre si besoin (insectes), *rbcL* ou *matK* + *ITS2* (plantes), les marqueurs diagnostiques de *Xf* (les 7 voire 9 marqueurs utilisés dans les analyses de typages multilocus <http://pubmlst.org>). Afin d'étudier le microbiome des vecteurs, nous séquencerons dans le même temps le gène *16S* (régions V3 et V4) pour lequel existent des bases de données de référence permettant l'identification des espèces de bactéries (Silva).

Les séquences obtenues seront analysées par un pipeline bioinformatique en place dans notre laboratoire. Ce pipeline regroupe les logiciels les plus pertinents et fiables pour réaliser chacune des étapes de l'analyse ainsi que quelques scripts perl / bash spécifiquement écrits pour obtenir des informations supplémentaires (notamment pour le contrôle qualité des données).

Une fois les données obtenues, des analyses seront conduites pour tester la possible corrélation entre différentes variables (e.g. espèces de vecteurs, plantes d'alimentation, géographie, présence ou absence de *Xf* etc.) et la composition des microbiomes. Les méthodes classiques d'analyse de réseaux seront utilisées (e.g. Brandes et Erlebach (2005)).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

RECHERCHE DE FINANCEMENTS, MISE EN PLACE DE RÉSEAUX, COLLECTE D'ÉCHANTILLONS

Le financement par la DGAL et l'INRA d'un projet de recherche sur *Xylella* a permis de lancer les recherches nécessaires, et des collaborations ANSES-INRA ont été mises en place pour développer des échanges optimaux entre la recherche et les organismes de surveillance. Le projet européen dans lequel l'INRA est impliqué (H2020 SFS-09-2016 XFACTORS) a été retenu en juin 2016 pour financement par l'Union européenne (2017-2019) dans le cadre de l'appel d'offre spécial *Xylella* ouvert en octobre 2015. Plusieurs autres projets sont en cours de rédaction (e.g. dans le cadre du RFSV – Réseau Français pour la Santé Végétale : <http://www.rfsv.fr>, avec le CBNC : conservatoire botanique national de Corse : <http://cbnc.oec.fr>). La recherche menée est donc inscrite dans un contexte global cohérent. A l'échelle nationale, un réseau de collecte est déjà opérationnel au sein du réseau Afidol (Association française interprofessionnelle de l'Olive). Les membres volontaires du réseau ont été formés à la collecte des échantillons d'insectes par fauchage sur des parcelles préalablement définies lors de réunions et sorties de terrain conjointes INRA-Afidol. Parallèlement, des récoltes de cigales via des pièges d'interception seront réalisées par le Département de la Santé des Forêts (DSF) sur une partie du pourtour méditerranéen français et par des prospections ciblées sur ce groupe. Plusieurs missions en Corse et dans les régions du pourtour méditerranéen français ont été réalisées afin de collecter les espèces d'insectes vecteurs potentiels, porteurs ou non de la bactérie. Une fois collectés, les spécimens ont été identifiés à l'espèce par l'étude de caractères morphologiques notamment génitaux. Une fois l'ensemble des espèces de vecteurs rentré en base de données, il deviendra possible d'identifier rapidement à l'espèce tout spécimen, quelque soit son stade de développement par comparaison d'un fragment de son ADN avec la base de données de référence. La collecte des plantes n'a pas encore débuté, elle est tributaire des financements que nous pourrions acquérir.

MISE EN PLACE DES BASES DE DONNÉES DE RÉFÉRENCE

La base de données de référence pour l'identification des insectes est en cours de construction, celle des plantes sera mise en place dès que les financements le permettront. Le protocole testé et retenu est présenté en Figure 1. Il repose sur une approche innovante et simple, pouvant être réalisée dans n'importe quel laboratoire sans investissement lourd : 2 étapes successives de PCR. La première permet l'amplification du barcode et la seconde permet d'attacher au fragment amplifié des petits index qui permettent de retrouver à quel individu appartient la séquence parmi les 15 millions de séquences obtenues. Nous ne détaillerons pas le pipeline bio-informatique complexe qui a été construit, nous travaillons à son optimisation pour le rendre plus accessible. Les séquences obtenues par ces méthodes innovantes ont été comparées avec des séquences Sanger produites en routine depuis de nombreuses années dans notre laboratoire, ce qui nous a permis de valider notre approche.

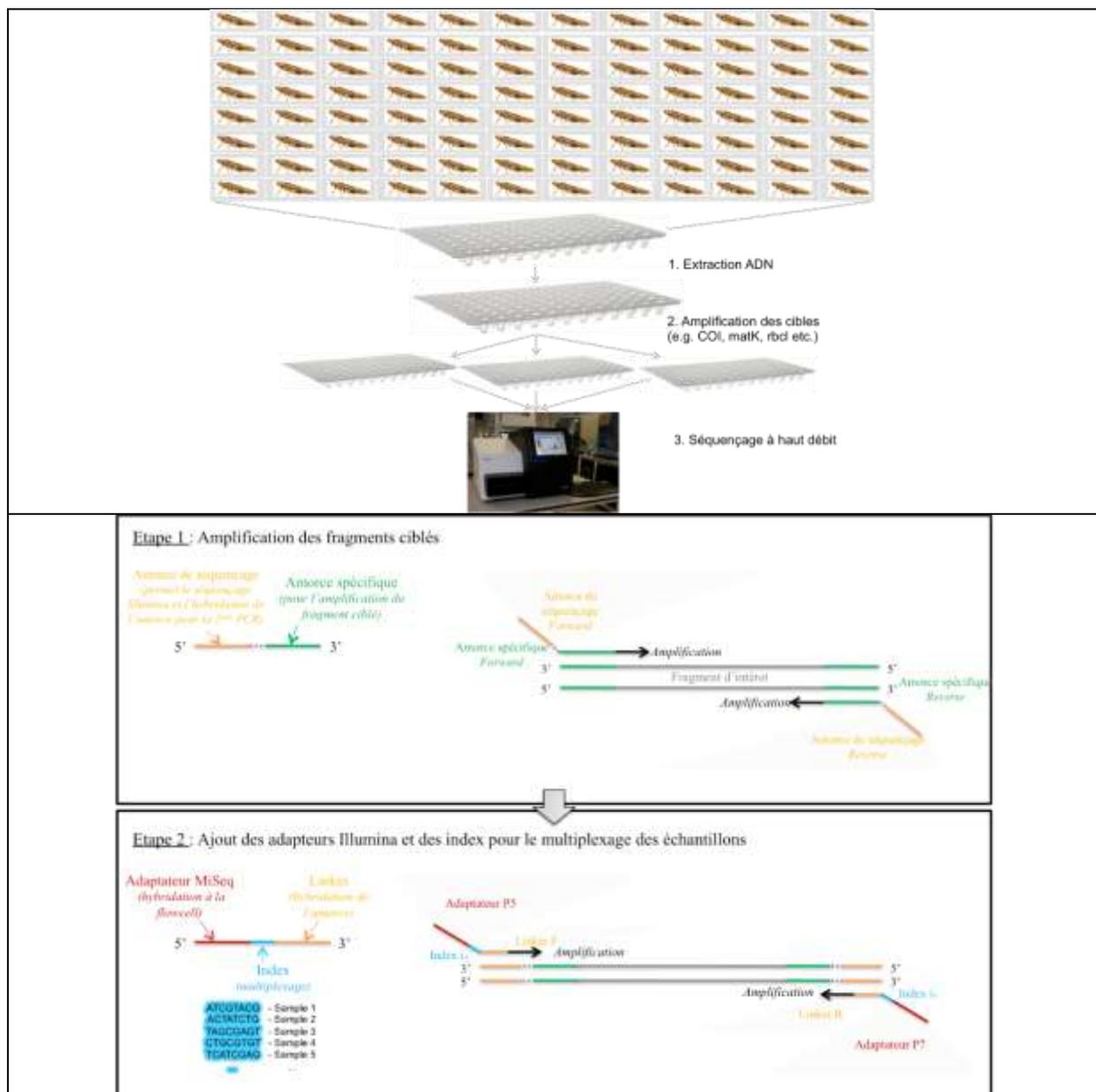


Figure 1 : Workflow for the processing of insect samples stored in the reference database. Traitement des échantillons d'insectes pour la construction des bases de données de référence. Le processus sera le même pour les insectes et les plantes, seuls changeront la méthode d'extraction d'ADN et les gènes ciblés. Le schéma du haut montre les 3 principales étapes du processus de traitement des échantillons. Ceux-ci sont conditionnés par plaque de 96 individus, l'utilisation de la robotique est ainsi possible, permettant de traiter un grand

nombre d'échantillons. L'extraction d'ADN est suivie de l'amplification et du séquençage des marqueurs qui constitueront les catalogues de référence. Le schéma du bas détaille le protocole d'amplification des marqueurs. Deux étapes successives de PCR sont réalisées. La première permet d'amplifier le marqueur ciblé, la seconde permet d'attacher à chaque marqueur une combinaison d'index spécifique de chacun des 96 individus de la plaque. Les produits de PCR peuvent ainsi être mélangés et séquencés simultanément sur les séquenceurs de nouvelles générations (MiSeq) qui produisent environ 15 à 20 millions de séquences (modifié de Cruaud et al., soumis).

Actuellement près de 400 barcodes sont disponibles dans la base de données en cours de construction (10 espèces européennes et 5 espèces nord-américaines susceptibles d'être introduites). Jusqu'alors les insectes n'avaient été collectés qu'en fin d'été 2015. Les spécimens récoltés en 2016 dans le cadre des projets qui ont débuté viendront compléter la base de données qui sera ouverte au public dès mi 2017. Chaque espèce y est référencée par une fiche fournissant les informations et illustrations essentielles à sa caractérisation (taxonomie, morphologie, biologie, distribution, etc., Figure 2). Un outil intégré à la base permet l'identification à l'espèce d'une séquence déposée par un utilisateur (BLAST ou inférence d'arbres).

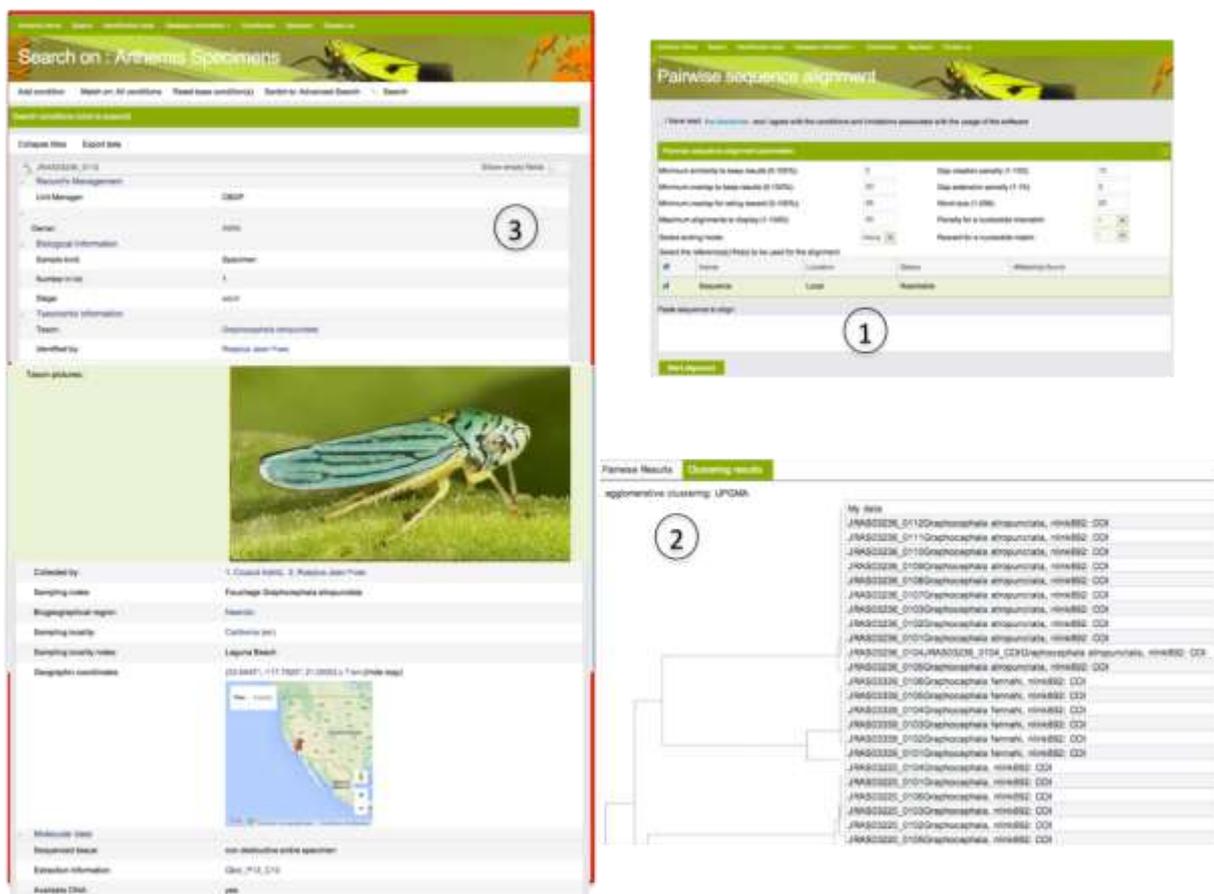


Figure 2. Screenshots depicting some features of the web-interface database that will be available at the end of the project. Copies d'écran illustrant quelques fonctionnalités des bases de données interfacées sur le web qui seront mise en ligne à la fin du projet (e.g. <http://arthemisdb.supagro.inra.fr>).

1. L'utilisateur dépose la séquence qu'il veut comparer avec le catalogue moléculaire de référence mis en place lors des projets.
2. Un arbre est produit montrant la position relative de sa séquence par rapport à celles contenues dans le catalogue. Dans l'exemple, la séquence est identique à celle de spécimens de *Graphocephala atropunctata* (vecteur américain de *Xf*).
3. L'utilisateur qui clique sur le nom « *Graphocephala atropunctata* » est redirigé vers une fiche contenant des informations sur l'espèce.

Ces bibliothèques de barcodes permettent une identification moléculaire fiable et rapide. Elles sont indispensables pour mieux comprendre l'éventuelle diffusion de la maladie via les différentes espèces de vecteurs et pour assurer une biosurveillance efficace (elles rendront par exemple possible l'identification automatisée de contenus de pièges : tous les insectes sont séquencés ensemble afin d'être identifiés par séquençage sans recours à une identification morphologique individu par individu).

A moyen terme, les espèces qui - par ailleurs - seraient identifiées comme d'importants vecteurs pourraient également faire l'objet d'analyses génétiques afin d'estimer un certain nombre de paramètres (taille des populations, migration, etc.).

PREMIERS RÉSULTATS OBTENUS POUR LES RÉSEAUX D'INTERACTIONS

A ce jour, nous avons mis au point une méthode permettant la caractérisation simultanée d'un vecteur et de son microbiome par séquençage du COI et du 16S en suivant le protocole de la Figure 1. Cette méthode a permis d'identifier des différences de composition du microbiome entre espèces de vecteurs. En passant à un volume d'échantillons encore plus important, nous pourrions étudier d'éventuelles différences de composition de microbiomes entre populations porteuses et non porteuses de *Xf* afin de mieux comprendre les dynamiques de la maladie.

Des tests sont en cours afin d'identifier les sèves ingérées ainsi que pour caractériser finement les souches de *Xf* éventuellement présentes. On notera ici que la méthode en deux étapes de PCR pourrait être remplacée par une méthode de capture d'ADN cible moins versatile (certaines polymérases, enzymes permettant la PCR, étant inhibées par les molécules contenues dans les yeux d'insectes ou les tannins des plantes).

La biologie des espèces potentielles de vecteurs est mal connue. En particulier, les plantes consommées par les vecteurs. Ces plantes d'alimentation ne sont pas uniquement les plantes sur lesquelles les larves des vecteurs se développent. Les préférences alimentaires des vecteurs potentiels demeurent également incertaines. On ignore si c'est la fréquence de l'espèce de plante dans le milieu qui en fait un hôte préférentiel où s'il existe d'autres facteurs (e.g. reconnaissance chimique de l'hôte et choix réel) structurant les réseaux d'alimentation. En effet, la littérature cite pêle-mêle, de nombreuses espèces de « plantes hôtes » sans distinguer les plantes d'alimentation des plantes de développement. Par exemple, plus de 300 espèces de « plantes hôtes » sont recensées pour *Philaenus spumarius*. Il est par ailleurs possible que les préférences alimentaires puissent varier au cours des saisons et en fonction des plantes présentes dans les différentes localités prospectées. Parallèlement, les plantes hôtes de *Xf* sont citées sans lien explicite avec les plantes d'alimentation des vecteurs. La non imbrication des listes limite leur utilité en terme de lutte contre la maladie. Il est par conséquent nécessaire de clarifier les sources d'alimentation préférentielles des vecteurs potentiels dans les agro-écosystèmes. Les méthodes que nous mettons actuellement au point devraient nous aider à comprendre comment des plantes contaminées par la bactérie, mais ne montrant aucun signe extérieur (asymptomatique) ou des plantes malades, peuvent être utilisées par des vecteurs et devenir ainsi des réservoirs de la maladie. Notre objectif est d'identifier ces réservoirs de manière à comprendre notamment le rôle des milieux semi naturels adjacents des zones de cultures dans la propagation de la maladie.

CONCLUSIONS

Des programmes de recherche ont été récemment mis en place afin de travailler sur les vecteurs potentiels de *Xf*. Nous sommes en train de construire les bases de données de référence qui permettront leur identification fiable et rapide. En parallèle, nous travaillons à l'élaboration et à l'application de protocoles innovants avec pour ambition de reconstruire les réseaux d'interactions entre *Xf*, ses vecteurs, ses plantes hôtes et les autres bactéries que les insectes peuvent porter. Mieux comprendre les dynamiques en jeu lors de la propagation de la maladie est un préalable au développement de méthodes de gestion de la maladie.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Direction Générale de l'Alimentation (DGAL) et le département Santé des Plantes et Environnement (SPE) de l'INRA pour la confiance et les financements qu'ils nous ont accordés.

BIBLIOGRAPHIE

- Almeida, R.P., Nunney, L., 2015. How do plant diseases caused by *Xylella fastidiosa* emerge ? Plant Disease 99, 1457-1467.
- Brandes, U., Erlebach, T., 2005. Network analysis: methodological foundations. Springer Science & Business Media.
- Chauvel, G., Cruaud, A., Legendre, B., Germain, J.-F., Rasplus, J.-Y., 2015. Rapport de mission d'expertise sur *Xylella fastidiosa* en Corse. Disponible à l'adresse suivante : http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/20150908_rapport_mission_corse_xylella_3108_2015b.pdf.
- Cruaud, P., Rasplus, J.-Y., Genson, G., Benoît, L., Cruaud, A., submitted. High throughput sequencing of multiple amplicons for barcoding and integrative taxonomy. Scientific reports.
- EFSA, 2015. Panel on Plant Health (PLH), European Food Safety Authority (EFSA), Scientific Opinion on the risk to plant health posed by *Xylella fastidiosa* in the EU territory, with the identification and evaluation of risk reduction, EFSA Journal 13(1), 3989.
- Giampetruzzi, A., Chiumenti, M., Saponari, M., Donvito, G., Italiano, A., Loconsole, G., Boscia, D., Cariddi, C., Martelli, G.P., Saldarelli, P., 2015. Draft genome sequence of the *Xylella fastidiosa* CoDiRO strain. Genome Announcements 3, e01538-01514.
- Loconsole, G., Potere, O., Boscia, D., Altamura, G., Djelouah, K., Elbeaino, T., Frasher, D., Lorusso, D., Palmisano, F., Pollastro, P., Silletti, M.R., Trisciuzzi, N., Valentini, F., Savino, V., Saponari, M., 2014. Detection of *Xylella fastidiosa* in olive trees by molecular and serological methods. Journal of Plant Pathology 96, 7-14.
- Nunney, L., Schuenzel, E.L., Scally, M., Bromley, R.E., Stouthamer, R., 2014. Large-scale intersubspecific recombination in the plant-pathogenic bacterium *Xylella fastidiosa* is associated with the host shift to mulberry. Applied and Environmental Microbiology 80, 3025-3033.
- Nunney, L., Vickerman, D.B., Bromley, R.E., Russell, S.A., Hartman, J.R., Morano, L.D., Stouthamer, R., 2013. Recent evolutionary radiation and host plant specialization in the *Xylella fastidiosa* subspecies native to the United States. Applied and Environmental Microbiology 79, 2189-2200.
- Nunney, L., Yuan, X., Bromley, R.E., Stouthamer, R., 2012. Detecting Genetic Introgression: High Levels of Intersubspecific Recombination Found in *Xylella fastidiosa* in Brazil. Applied and Environmental Microbiology 78, 4702-4714.
- Redak, R.A., Purcell, A.H., Lopes, J.R., Blua, M.J., Mizel, R.F., Andersen, P.C., 2004. The biology of Xylem fluid-feeding insect vectors of *Xylella fastidiosa* and their relation to disease epidemiology. Annual Review of Entomology 49, 243-270.
- Retchless, A.C., Labroussaa, F., Shapiro, L., Stenger, D.C., Lindow, S.E., Almeida, R.P., 2014. Genomic insights into *Xylella fastidiosa* interactions with plant and insect hosts. In: Heidelberg, S.B. (Ed.), Genomics of Plant-Associated Bacteria pp. 177-202.
- Saponari, M., Boscia, D., Nigro, F., Martelli, G.P., 2013. Identification of DNA sequences related to *Xylella fastidiosa* in oleander, almond and olive trees exhibiting leaf scorch symptoms in Apulia (Southern Italy). Journal of Plant Pathology 95, 668.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**STRATEGIES DE PROTECTION BIOLOGIQUE INTEGREE EN PEPINIERE EN
MILIEU EXTERIEUR**

A. DROUI⁽¹⁾ et J.-M. DEOGRATIAS⁽¹⁾

⁽¹⁾ ASTREDHOR SUD-OUEST GIE Fleurs et Plantes,
71 Avenue E. Bourlaux CS 20032, 33882 Villenave-d'Ornon Cedex, France
anthony.droui@astredhor.fr
jeanmarc.deogratias@astredhor.fr

RÉSUMÉ

Les cultures ornementales, de par leur diversité taxonomique, font face à un large panel de bioagresseurs, principalement les phytophages. En milieu ouvert, les contraintes de mise en œuvre d'une lutte biologique efficace et économiquement viable sont nombreuses et les retours d'expériences en culture d'arbres et d'arbustes relativement récents.

Les approches développées sont de plus en plus orientées « système de culture ». Outre la connaissance de la relation tritrophique plante/bioagresseur/auxiliaire, le rôle de l'environnement est au cœur des discussions. Le développement de ces stratégies de lutte biologique par lâchers inondatifs, répétitifs ou de conservation nécessite de s'appuyer sur une méthodologie rigoureuse, dans l'optique de déboucher sur des propositions de méthodes alternatives pour le contrôle des populations des différents ravageurs. Les stratégies, validées pour de nombreux couples bioagresseur/culture d'intérêt économique et paysager, sont en partie transférables aux espaces végétalisés urbains.

Mots-clés : Protection biologique intégrée, auxiliaire, environnement, cultures ornementales, stratégies de lutte.

ABSTRACT

BIOLOGICAL PESTS CONTROL STRATEGIES ON ORNAMENTAL GENERA IN THE FIELD
Ornamental cultures, through their great diversity, are confronted with a broad range of pests, mainly phytophagous. In the open space, the implementation of efficient and economically viable biological control strategies is confronted with many limits. In ornamental cultures, feed-back relies mainly on recent experiences.

Approaches do not focus now on the sole culture and its pest but on a broad crop system integrated in its environment. If the definition of tritrophic interactions between plant/pest/biocontrol agent is still the base of many studies, the role and impact of the environment on the control of pest has become a central issue. The implementation of these integrated control strategies for the management of economical important pests, mainly based on importation, augmentation and conservation biological control, needs to rely on a proven approach. Many of these management strategies, proven over many years through experiments for several economically and for landscape areas important pests, may partly serve as basis of reflexion for green spaces and garden areas.

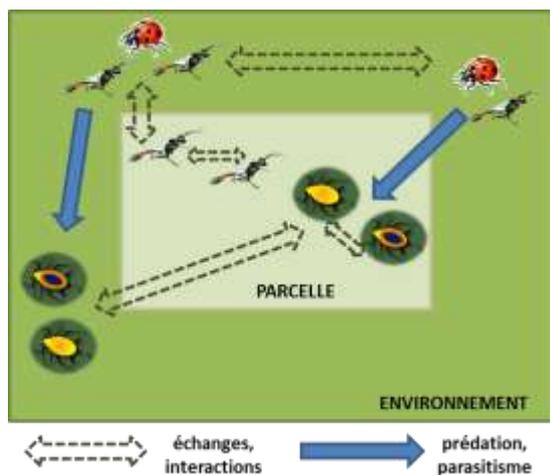
Keywords: Integrated pest management, beneficial, environment, ornamental crops, management strategies.

INTRODUCTION

En France, l'horticulture ornementale représente 1,4% des exploitations agricoles avec 17 500 hectares de production. Elle comprend plusieurs productions spécialisées telles que les fleurs et feuillages coupés, les plantes en pot et massif, les plants de pépinières et les bulbes. Le chiffre d'affaires de la filière horticole française, vente et négoce compris, est d'environ 1,57 milliards d'euros (FranceAgriMer, 2015). La pépinière ornementale regroupe les arbres, les arbustes, les vivaces et autres exotiques, qui sont cultivés en pleine terre ou en hors-sol. Du fait de la grande diversité de taxons cultivés (plusieurs milliers d'espèces et de variétés), le cortège et la pression en bioagresseurs auxquels sont soumises les cultures, sont importants et ne cessent d'augmenter du fait de l'intensification des échanges commerciaux. Cent quatre-vingt espèces de ravageurs émergents ont ainsi été introduites sur le territoire depuis 1950 et plus de 75% des nouvelles introductions touchent les plantes ornementales (Martinez et al., 2014). Cette diversité végétale et en bioagresseurs se retrouve naturellement en ville et dans les jardins de particuliers et nécessite un suivi régulier, afin de garantir la qualité sanitaire et esthétique des plantes. A titre d'illustration : les espaces verts représentent 31 m² par habitant, pour une moyenne de 540 hectares d'espaces verts urbains dans les 50 plus grandes villes de France (Unep, 2014), la ville de Nancy a reçu le prix Valhor de la diversité végétale en 2014, avec un patrimoine de 30 530 arbres et 350 taxons plantés.

Dans le contexte actuel de diminution et d'encadrement strict de l'usage des produits phytopharmaceutiques (Ecophyto 2025, Loi Labbé n° 2014-110, Loi de transition énergétique n°2015-992), les demandes des professionnels de la filière ornementale et des collectivités pour la mise en œuvre de stratégies innovantes de gestion des bioagresseurs émergents s'accroissent. En effet, entre 1993 et 2010, le nombre de substances actives autorisées est passé de 900 répertoriées à 250, soit une diminution de 2/3 (Grinbaum, 2012). Avec la Loi d'Avenir Agricole n°2014-1170, la Protection Biologique Intégrée (PBI) s'intègre parfaitement dans le nouveau cadre défini de l'agro-écologie. La PBI repose en grande partie sur l'utilisation de la lutte biologique (LB) pour réguler les bioagresseurs.

La mise en place d'une PBI efficace nécessite une démarche rigoureuse, qui passe par l'acquisition de références techniques, en grande partie *via* l'expérimentation agronomique. En extérieur, des contraintes supplémentaires viennent s'ajouter et nécessitent d'être intégrées au système végétal (Piasentin, 2010) : milieu ouvert et nombreuses interactions trophiques, conditions climatiques fluctuantes et pas toujours favorables aux auxiliaires, décalage entre les calendriers de production et les exigences écologiques des auxiliaires, coût relatif des lâchers supérieur. Les arthropodes auxiliaires indigènes peuvent ainsi avoir un rôle important dans le contrôle des ravageurs. Astredhor Sud-Ouest GIE Fleurs et Plantes mène, depuis plus de 15 ans, des essais en station d'expérimentation dans le domaine de la pépinière ornementale hors-sol et a pu développer une expertise en PBI. Plusieurs stratégies, le plus souvent complémentaires sont testées, en fonction des itinéraires et systèmes de culture (SDC). La lutte par augmentation est la première stratégie privilégiée. Elle consiste à lâcher dans le milieu des auxiliaires en grande quantité ou de manière répétée afin de diminuer la présence des organismes nuisibles. Cependant, cette stratégie de lâchers d'auxiliaires commerciaux pendant les périodes de risque, complète le plus souvent une stratégie valorisant, attirant, et conservant les auxiliaires indigènes (Ferre, 2008). Différents aménagements permettent de valoriser cette faune auxiliaire et créent des zones écologiques réservoirs : haies, bandes fleuries ou enherbées, qui offrent habitats et sites d'hivernation, sources de nourriture (alternative), régulation du climat. Il est ainsi recommandé que ces zones occupent en moyenne 5% de la surface totale de l'exploitation. Leur efficacité est généralement plus importante lorsqu'elles sont localisées à proximité des parcelles (Piasentin, 2010). Cependant, le rôle du paysage sur la dynamique des bioagresseurs est complexe et un paysage diversifié ne résulte pas forcément en un meilleur contrôle des ravageurs. Des variations importantes peuvent également être observées suivant les années et auxiliaires considérés (Cortesero et al., 2011). En effet, l'ensemble ravageur(s)/auxiliaire(s)/ culture(s) est un système complexe avec de nombreuses interactions possibles (Fig. 1) :



- entre prédateurs
- entre proies
- entre prédateurs et proies

En présence d'un prédateur polyphage, ces interactions peuvent être multipliées. A une échelle plus vaste que celle de la parcelle, des phénomènes de puits/sources (échanges) sont également observés avec l'environnement.

Figure 1 : Interactions multitrophiques culture, environnement/ravageur(s)/auxiliaire(s)
(Multitrophic interactions between crop, environment/pest(s)/beneficial(s))

Ces différents éléments sont à considérer, particulièrement dans le cas de la lutte biologique par conservation. En effet, le site d'Astredhor Sud-Ouest (GIE F.P.) par exemple est implanté dans un paysage arboricole-viticole à dominance viticole, avec présence de friches par endroit, qui peuvent abriter une diversité de ravageurs/auxiliaires. Cette diversité faunistique aura un impact positif, négatif ou neutre suivant les SDC.

Depuis quelques années, des approches basées sur l'utilisation de plantes sentinelle, piège (plantes de services, modifiant le comportement des ravageurs et auxiliaires) sont également étudiées.

Plus d'une dizaine de couples plante/bioagresseur et différents SDC sont ainsi évalués sur la station d'expérimentation. L'article illustre l'historique de la démarche de PBI en cultures ornementales depuis le début des années 2000, au travers des principaux résultats et stratégies de lutte validés, par catégorie de ravageurs.

MATERIEL ET MÉTHODE

Pour des raisons de clarté, le matériel et la méthode d'expérimentation ne sont pas détaillés pour chaque couple, mais présentés de manière générale. En revanche, cette partie présente l'approche développée pour répondre aux problématiques sanitaires émergentes en cultures ornementales.

Matériel, Dispositif expérimental et Méthode

Les essais menés portent essentiellement sur des cultures hors-sol. Le matériel végétal utilisé est souvent un jeune plant issu de bouture et âgé de 1-2 ans. Ces plantes sont repotées en début d'année en pots dans un substrat pépinière enrichi avec des engrais à libération contrôlée, puis cultivées en extérieur sous tunnel ou en plein-air. Les auxiliaires lâchés proviennent de sociétés spécialisées dans leur élevage de masse.

Dans chaque essai, différentes modalités sont testées au sein d'un dispositif expérimental adapté et comparées à un produit de référence chimique. Chaque modalité est répétée plusieurs fois, de manière à fiabiliser le traitement des données et valider les tendances.

Des observations quantitatives et qualitatives sont effectuées régulièrement dans les cultures pour évaluer les populations de ravageurs/auxiliaires et la croissance des plantes.

Approche PBI en milieu extérieur

Si les 1ères utilisations d'auxiliaires sous abris remontent aux années 1920, l'apogée de la LB a réellement eu lieu dans les années 1970-80, avec le développement des cultures hors sol : *Encarsia formosa* (Gahan)/aleurode puis pollinisation/bourdon en maraîchage, obligeant la démarche généralisée de la PBI. Le développement en cultures ornementales sous abris a dû attendre les années 1995. En milieu extérieur, ce passage s'est fait progressivement, avec la prise en compte de la nécessité d'améliorer le rôle des auxiliaires indigènes à partir des années 2000. Les premiers essais de lutte par augmentation ont ensuite été conduits en tirant partie des résultats obtenus sous abris, en milieu semi-ouvert (sous tunnel) puis en plein-air.

Travailler avec du matériel vivant a dans un premier temps, demandé de changer sa façon de penser et de développer ses connaissances sur :

- les auxiliaires et leur biologie
- les interactions avec les ravageurs auxquels ils sont associés (Gendrier et al., 1999)

En parallèle, le rôle de l'environnement et l'aménagement autour des parcelles ont constitué des axes d'étude privilégiée pour enrichir ces connaissances.

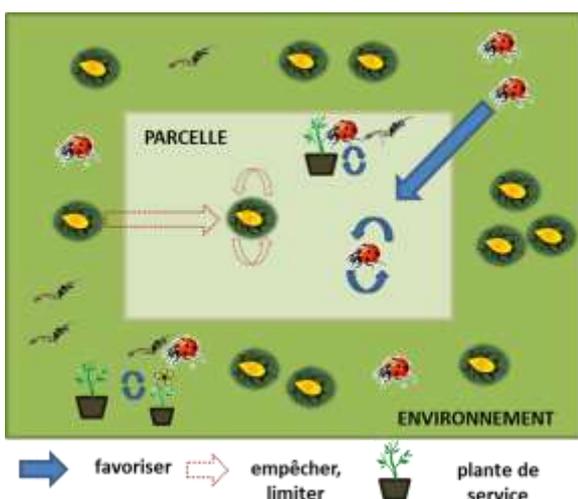
Les 1ers essais menés à partir des années 2000 ont donc consisté dans un premier temps à évaluer la faune auxiliaire naturellement présente dans les pépinières, son intérêt par rapport aux problématiques rencontrées et les moyens pour la mettre à profit. Différents matériels ou techniques d'observation et d'échantillonnage de la faune ont été utilisés suivant les SDC (Tab. 1). Les inventaires concernant l'environnement des parcelles ont été effectués principalement sur les périodes 2000 à 2009.

A partir de ces observations, il a pu être montré que la diversité biologique (ravageurs et auxiliaires) sur le site expérimental était relativement faible (quantitativement et qualitativement) et constante suivant les années. Par ailleurs, la régulation par les auxiliaires indigènes n'était pas suffisante en raison d'un décalage naturel entre les pics des ravageurs et l'arrivée des prédateurs et d'un faible taux de parasitisme, conduisant à des dégâts non acceptables sur les cultures. La mise en place d'abris à insectes n'est pas apparue pertinente (seuls quelques individus de *Chrysoperla lucasina* retrouvés en fin d'hiver), contrairement à l'implantation d'une haie composite (composée de plusieurs espèces végétales avec plusieurs niveaux de végétation), qui a permis d'augmenter la biodiversité globale du site.

En parallèle, il était également nécessaire de pouvoir évaluer quantitativement, la nuisance des ravageurs présents sur le site. Une méthodologie adaptée a ainsi dû être développée pour évaluer la pression sanitaire, ainsi que des seuils de nuisibilité. Le plus souvent, des classes de présence des différents stades de ravageurs sont utilisées et les auxiliaires dénombrés. Les seuils sont alors affinés petit à petit à partir des observations de terrain sur la biologie des bioagresseurs. Plusieurs outils peuvent être utilisés en appui : suivi climatique, piégeage, plantes de services, voire modélisation.

La pertinence de l'apport d'auxiliaires exogènes a été envisagée dans un second temps, en complément de l'aménagement de l'environnement pour le rendre favorable aux auxiliaires (indigènes et exogènes).

Les objectifs (Fig. 2 ci-dessous et Fig. 7 p.7) visent notamment à :



- limiter par tous les leviers (agro-techniques, biotechniques, biologiques, génétiques ou chimiques) le développement de ravageurs dans les cultures
- augmenter la présence des auxiliaires dans l'environnement, via l'utilisation de bandes fleuries et de haies composées
- empêcher ou limiter le transfert des ravageurs environnants : utilisation de plantes pièges, barrières physiques
- attirer vers et maintenir dans les parcelles les auxiliaires présents dans l'environnement par la présence de plantes fleuries ou de plantes relais (proies alternatives)

Figure 2 : Objectifs de la PBI en milieu ouvert (*Objectives of integrated control in the open space*)

Le choix du (des) mode(s) d'intervention, doit alors être raisonné en fonction de l'historique faunistique et des contraintes du site.

Tableau 1 : Diversité faunistique relevée dans les différents essais de 2000 à 2016 (*Faunistic diversity observed from 2000 to 2016 in the experimental cultures*)

Culture	Méthode d'observation	Ravageurs	Auxiliaires associés (naturellement présents ou <u>introduits</u>)
<i>Viburnum tinus</i> L.	2001 - 2002 : piège eau bol jaune (58%) + observation sur culture (42%) 2007 : Piège Barber + piège à battage + observation sur culture 2008-2009 : Abris à insectes 2009-2010 : plantes sentinelles (relais)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aphis spiraecola</i> Patch (2001, 2007-2008) • <i>Aulacorthum solani</i> Kaltenbach (2001, 2007-2008) • <i>Heliothrips haemorrhoidalis</i> Bouche (2001) • Collemboles (2007) • Cicadelles vertes (2007) • <i>Lygus</i> sp. (2007) 	<ul style="list-style-type: none"> • Coccinelles (2007-2013) • Chrysopes (2007-2009, <u>2010-2013</u>) • Hyménoptères parasitoïdes (2007-2009, <u>2010-2013</u>) • Araignées (2007-2013)
<i>Elaeagnus x submacrophylla</i> 'Ebbingei' Servett.	2001 : 80% piège eau bol jaune + 20% observation sur culture 2002 à 2006 : piège eau bol jaune + observation sur culture 2009 : Observations et échelles de notations 2010 : piège englué + observations et prélèvement sur la culture	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Cacopsylla fulguralis</i> Kuwayama (2001-2006, 2008) • <i>Capitophorus elaeagni</i> Del Guercio (2001-2006) • <i>Succinea putris</i> Linnaeus (2002) • <i>Nezara viridula</i> Linnaeus (punaise, 2004-2006) • Chrysomélidés (<i>Altica</i> sp., 2003) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Chrysoperla carnea</i> Stephens (2001-2003) • <i>Aphidius</i> sp (2003) • <i>Coccinella septempunctata</i> Linnaeus (2003-2005) • <i>Rhagonycha fulva</i> Scopoli (2005-2006) • <i>Anthocoris nemorum</i> Linnaeus (<u>2008-2010</u>) • <i>Adalia bipunctata</i> Linnaeus (<u>2009-2010</u>) • <i>Orius</i> sp. (<u>2009-2010</u>)
<i>Lagerstroemia indica</i> L.	2001 à 2006 : piège eau bol jaune + observation sur culture Niveau de nuisibilité non établi (2001)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aphis gossypii</i> Glover (bol jaune) (2001) • Cicadelle (bol jaune) (2001) • Chrysomélidés (altise, 2001-2003) • <i>Aphis</i> sp (2002-2003) • <i>Chalcoides</i> sp (altise) (2002-2003) • <i>Succinea putris</i> • Chenilles • Aleurodes, 2002 • <i>Thrips tabaci</i> Lindeman (2003-2006) • <i>Aeolothrips intermedius</i> Bagnall (2003) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Adalia bipunctata</i> (2002-2003) • <i>Coccinella septempunctata</i> (2002-2005) • <i>Adalia decempunctata</i> Linnaeus (2002) • <i>Propylea quatuordecimpunctata</i> Linnaeus (2002) • <i>Episyrrhus balteatus</i> De Geer (2002) • <i>Chrysoperla carnea</i> (2002-2006) • <i>Aphidius</i> sp. (2002-2003) • <i>Orius minutus</i> Linnaeus (2003-2006) • <i>Rhagonycha fulva</i> (2005-2006)
<i>Photinia x fraseri</i> Dress	2001 à 2006 : piège eau bol jaune + observation sur culture 2007 : Piège Barber + piège à battage + observation sur culture 2009 : Observations et échelles de notations 2010 : piège englué + observations et prélèvement sur la culture 2008-2009 : Abris à insectes 2009-2010 : plantes sentinelles (relais)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aphis gossypii</i> (2002-2009) • <i>Aphis spiraecola</i> (2002-2007) • <i>Macrosiphum euphorbiae</i> Thomas (2002) • Thrips (2002) • <i>Aphis fabae</i> Scopoli (2003-2007) • <i>Lygus pratensis</i> Linnaeus (2003-2007) • <i>Acronicta rumicis</i> Linnaeus (2004-2006) • <i>Coecimorpha pronubana</i> Hübner (2004-2006, 2012-2016) • <i>Nephrotoma appendiculata</i> Pierre (2003) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Chrysoperla carnea</i> (2002-2006, <u>2008-2013</u>) • <i>Chrysoperla affinis</i> Stephens (<u>2009</u>) • <i>Aphidius</i> sp (2002-2006), <i>Aphidius colemani</i> (<u>2009-2013</u>) • <i>Aphidoletes aphidimyza</i> Rondani (2002-2006) • <i>Scymnus</i> sp (2003-2006) • <i>Adalia bipunctata</i> (2003-2006, <u>2008-2010</u>) • <i>Coccinella septempunctata</i> (2003-2005) • <i>Propylea quatuordecimpunctata</i> (2003-2006) • <i>Episyrrhus balteatus</i> (2003-2006) • <i>Anthocoris nemorum</i> Linnaeus (2004-2006)

Culture	Méthode d'observation	Ravageurs	Auxiliaires associés (naturellement présents ou introduits)
<i>Photinia x fraseri</i> Dress		<ul style="list-style-type: none"> • Cicadelles vertes (2007-2008) • Altises (2009-2016) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aeolothrips intermedius</i> Bagnall (2004-2006) • <i>Rhagonycha fulva</i> (2005-2006) • <i>Macrolophus caliginosus</i> Wagner (2008-2010) • <i>Aphidius colemani</i> Viereck (2009) • Araignées (2007-2013)
<i>Choisya ternata</i> Kunth	<p>2007 : Piège Barber + piège à battage + observation sur culture</p> <p>2009 : Observations et échelles de notations</p> <p>2010 : piège englué + observations et prélèvement sur la culture</p> <p>2011/2016 : Observations et échelles de notations</p> <p>2015 : plantes de services (pièges)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pucerons (2007), <i>Neomyzus circumflexus</i> Buckton (2013-2016) • <i>Lygus</i> sp. (punaise) (2007) • Cicadelles vertes (2007, 2014-2016) • Collemboles (2007) • <i>Tetranychus urticae</i> Koch (2008-2016) • <i>Cococecimorpha pronubana</i> (2012-2016) • <i>Icerya purchasi</i> Maskell (2013-2015) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Amblyseius andersoni</i> Chant (2008-2010) • <i>Neoseiulus californicus</i> Mc Gregor (2009-2011) • <i>Phytoseiulus persimilis</i> Athias-Henriot (2008-2011) • Acariens <i>Trombidae</i>, <i>Crambidae</i> (2013-2016) • <i>Stethorus</i> sp. (2012-2016) • <i>Rodolia cardinalis</i> Mulsant (2014-2015) • <i>Feltiella acarisuga</i> Vallot (2012-2016)
<i>Albizia julibrissin</i> Durazz.	<p>2009 : Observations et échelles de notations</p> <p>2010 : piège englué + observations et prélèvement sur la culture</p> <p>2011 : Observations et échelles de notations</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Acizzia jamatonica</i> Kuwayama (Psylle de l'Albizia) (2008-2009) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Anthocoris nemorum</i> (2008-2012), Orius sp. (2009-2010) • <i>Chrysoperla carnea</i> (2009-2010) • <i>Adalia bipunctata</i> (2009-2011) • <i>Aphidius colemani</i> (2010)
<i>Musa</i> sp.	<p>2009 : Observations et échelles de notations</p> <p>2010 : piège englué + observations et prélèvement sur la culture</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Tétranychus urticae</i> (2009-2010) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Neoseiulus californicus</i> et <i>Amblyseius andersoni</i> (2010)
<i>Pittosporum tobira</i> (Thunb.) W.T.Aiton	<p>2011-2015 : Observations et échelles de notations</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aphis spiraeicola</i> (2011) • <i>Aphis fabae</i> (2011-2015) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Adalia bipunctata</i> (2011) • <i>Chrysoperla carnea</i> (2011-2015) • <i>Chrysoperla lucasina</i> Lacroix (2011) • <i>Praon volucre</i> Haliday (2013) • <i>Aphidius colemani</i> (2013-2014) • <i>Coccinella septempunctata</i> (2014) • <i>Episyrrhus balteatus</i> (2011-2015) • Autres hyménoptères parasitoïdes (2011-2015)
<i>Phyllostachys bissetii</i> McClure	<p>2013-2015 : Observations et échelles de notations</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Takecallis</i> sp. (2013-2015) • <i>Schizotetranychus</i> sp. (2013-2015) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Neoseiulus californicus</i>, <i>Amblyseius andersoni</i> et <i>Phytoseiulus persimilis</i> (2013-2015)
<i>Trachelospermum jasminoides</i> (Lindl.) Lem.	<p>2014-2016 : Observations et échelles de notations</p> <p>2015 : plantes de services (sentinelles, relai)</p> <p>2016 :</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aphis spiraeicola</i> (2011) • <i>Tetranychus urticae</i> (2014-2016) • Cicadelles vertes (2015-2016) • <i>Planococcus citri</i> Risso (2015-2016) • <i>Pseudococcus viburni</i> Signoret (2015-2016) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Neoseiulus californicus</i> (2014-2016), <i>Amblyseius andersoni</i> (2014-2015) et <i>Phytoseiulus persimilis</i> (2014-2016) • <i>Scymnus</i> sp (2014-2006) • <i>Chrysoperla carnea</i> et <i>Chrysoperla lucasina</i> (2016) • <i>Cryptolaemus montrouzieri</i> Mulsant (2016)

La partie suivante présente les résultats, stratégies de lutte établis pour les principaux couples bioagresseurs/cultures et ordres de ravageurs. Les comptes-rendus annuels détaillés sont disponibles auprès des auteurs.

RESULTATS

ACCIZIA JAMATONICA (PSYLLE DE L'ALBIZIA) & ALBIZIA JULIBRISSIN (ALBIZIA)

Le psylle de l'albizzia, principal ravageur de la plante, est une espèce à développement estival, nuisible en ville notamment en raison de la quantité importante de miellat produit. Plusieurs générations se chevauchent par an à partir de juin.

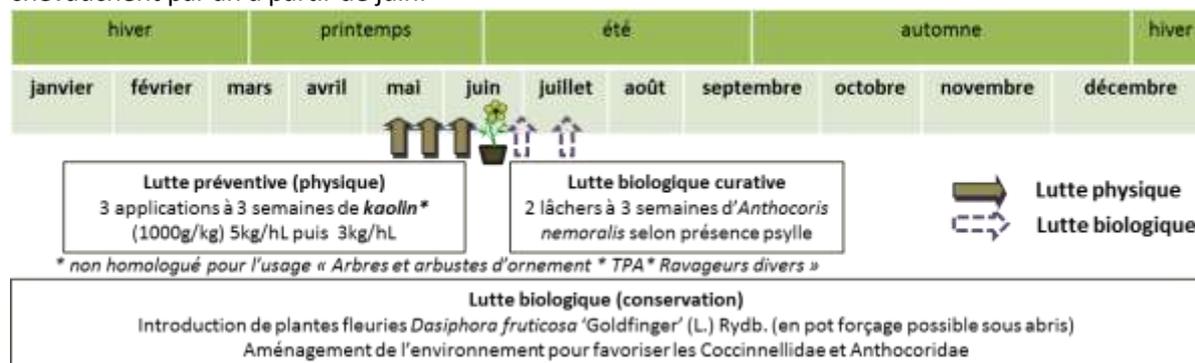


Figure 3 : Stratégie de biocontrôle contre le psylle de l'albizzia en pépinière ornementale
(Biocontrol strategy of the albizzia psylla)

En lutte conventionnelle, 2 à 4 insecticides généralistes sont nécessaires selon les années et la pression sanitaire. L'application d'une barrière physique type kaolin (non homologué en cultures ornementales) peu avant (mi-mai) ou dès la détection des 1ers adultes sortant de diapause permet de réduire les pontes de manière significative. Cette stratégie, combinée à 2 lâchers d'*A. nemoralis* à partir de fin juin suite à la dernière application de kaolin, fournit les meilleurs résultats en s'affranchissant totalement de la lutte chimique. Cependant, il est difficile de maintenir ces punaises prédatrices sur la culture en l'absence de proies. L'association avec des plantes fleuries, notamment la potentille arbustive *Potentilla fruticosa* 'Goldfinger', fournit une source de nourriture alternative aux prédateurs et permet de les maintenir dans l'environnement des cultures. Cette plante est également apparue comme favorable aux punaises du genre *Orius*. Les coccinelles *A. bipunctata* et *H. axyridis*, présentes spontanément, contribuent également au contrôle de ce ravageur, mais sont généralement observées en milieu de saison en cas de forte pression. L'implantation de bandes fleuries et des haies composées est conseillé pour les favoriser.

TETRANYCHUS URTICAE (TETRANYQUE TISSERAND) & CHOISYA TERNATA (ORANGER DU MEXIQUE)

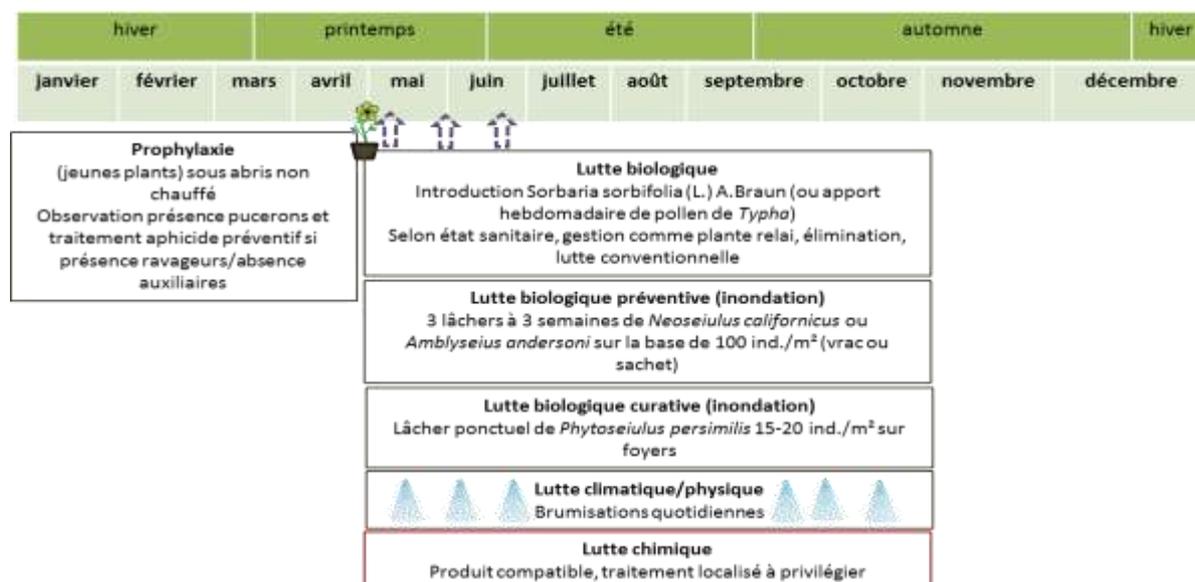


Figure 4 : Stratégie de biocontrôle contre le tétranyque tisserand en culture de Choisya
(Biocontrol strategy of the spider mite on Choisya)

Le Choisy est une plante très sensible au tétranyque tisserand, qui déprécie le feuillage par ses dégâts de piqûre et peut engendrer jusqu'à des chutes de feuilles, voire la mort de la plante.

L'état sanitaire initial des plantes en début de saison impacte fortement la pression en saison et doit donc être évalué préventivement. Les meilleurs résultats en matière de lutte sont obtenus en effectuant 3 lâchers préventifs d'acariens prédateurs, couplés à l'introduction de *Sorbaria sorbifolia* comme plante de services (plante relais tolérant des populations importantes de tétranyques et source de Phytoséiides indigènes, plante à pollen comme nourriture alternative). La présence d'acariens prédateurs indigènes (Trombidae, Crambidae) fournit un contrôle supplémentaire. En cas de fortes populations et dès l'apparition des 1ers dégâts, l'apport de l'acarien prédateur *P. persimilis* permet un bon nettoyage des foyers, en complément avec les prédateurs indigènes qui sont présents tardivement (coccinelles *Stethorus sp.* cécidomyies *Feltiella sp.*). Il ne doit cependant pas être introduit trop tardivement en raison d'un délai de réponse pour s'installer et se multiplier. La lutte physique par brumisation n'est pas à négliger, quand elle est envisageable. Elle permet de créer un micro-climat défavorable aux tétranyques et favorables aux auxiliaires (acariens prédateurs). D'autres bioagresseurs secondaires (pucerons, chenilles, mollusques) peuvent également apparaître ponctuellement, mais se gèrent assez facilement avec les différents leviers de biocontrôle.

APHIS SPIRAECOLA (PUCERON DE LA SPIREE) & PHOTINIA X FRASERI (PHOTINIA DE FRASER)

Différentes espèces de pucerons s'attaquent au photinia mais le puceron de la spirée est le plus virulent. Il provoque des déformations et des blocages des organes en croissance, pouvant fortement déprécier les plantes. C'est une espèce estivale à cycle très rapide et fort taux de multiplication.

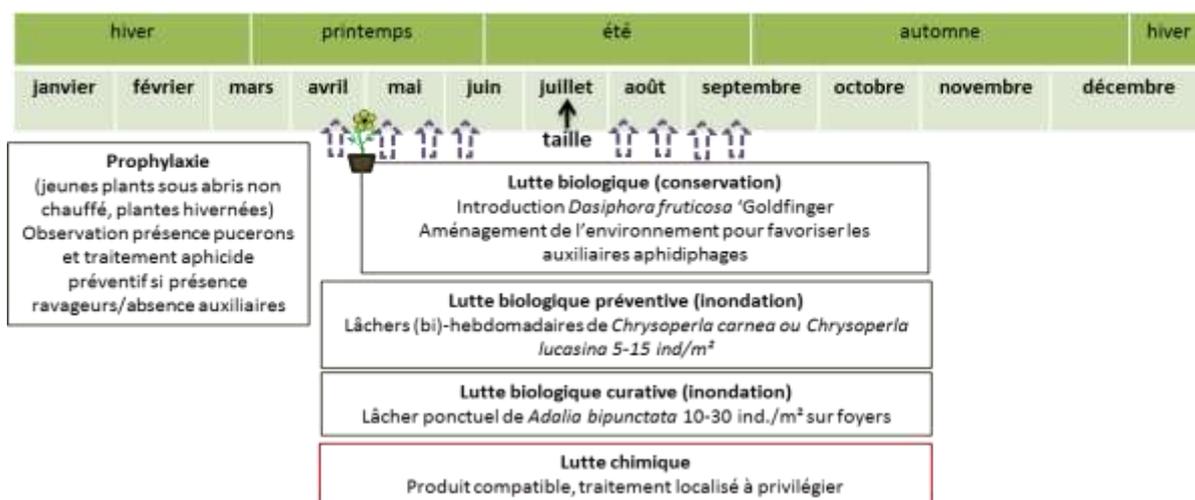


Figure 5 : Stratégie de biocontrôle contre le puceron de la spirée en culture de *Photinia*
(Biocontrol strategy of *Aphis spiraeicola* on *Photinia*)

Dans les différents essais menés, le photinia semble être une culture peu attirante pour les auxiliaires. Les auxiliaires majoritairement observés sont les coccinelles, syrphes et des parasitoïdes (genre *Aphidius*). En début d'année, leur présence ne suffit pas à maîtriser les pucerons avant l'apparition des dégâts, malgré les aménagements de l'environnement. L'introduction de potentilles arbustives dans la culture à un ratio de couverture proche de 5% et la présence d'une haie composée permet néanmoins d'attirer et favoriser ces auxiliaires prédateurs indigènes (jusqu'à une dizaine de syrphes adultes observés/plante). La lutte la plus efficace contre *A. spiraeicola* est obtenue avec des lâchers réguliers de chrysopes (*C. carnea*) à faible-moyenne dose (5-15 ind/m²) pendant les périodes sensibles de pousse en pression faible-moyenne : printemps et fin juillet suite à la taille. En cas de dépassement, un à deux lâchers de coccinelles ou un traitement aphicide compatible permet de casser la dynamique de population du ravageur. Le seuil d'intervention déterminé est faible : dès l'observation de la 1ère colonie avec plusieurs aptères ou en cas de développement linéaire du nombre d'apex avec des petites colonies (fondatrice + larves). La taille estivale de réduction avec évacuation des déchets constitue un moyen complémentaire de lutte. Le coût de la lutte biologique inondative reste cependant un frein

majeur sur cette culture (8-11% du prix de vente). D'autres bioagresseurs secondaires (chenilles) peuvent également apparaître en pépinière ponctuellement, mais se gèrent assez facilement avec les différents leviers de biocontrôle.

ICERYA PURCHASI (COCHENILLE AUSTRALIENNE) & CHOISYA TERNATA (ORANGER DU MEXIQUE)

La cochenille australienne de l'oranger est une espèce émergente depuis quelques années en pépinière ornementale. Très polyphage, cette cochenille estivale possède un fort taux de multiplication et un faible seuil de nuisibilité, ce qui en fait un ravageur d'importance économique.

Les essais menés montrent que l'introduction de la coccinelle spécifique *Rodolia cardinalis*, dès la présence de premières cochenilles femelles avec ovisacs, limite les populations de manière significative. Cependant, pendant les périodes défavorables au prédateur (faibles températures : hiver, printemps), un complément avec un insecticide s'avère nécessaire pour limiter le développement de la cochenille et les dégâts (incorporation possible au rempotage en cultures hors-sol). Par ailleurs, une installation durable de l'auxiliaire n'a pas pu être observée dans nos conditions.

FOCUS SUR LES PLANTES DE SERVICES

Elles sont classées en 2 catégories : celles visant à détourner les ravageurs de la culture et celles attirant/favorisant les auxiliaires. Les plantes sentinelles/indicatrices, plus sensibles que la culture à un ravageur donné, permettent sa détection précoce. Elles peuvent également servir de plantes pièges en cas d'hypersensibilité. Les plantes fleuries et les plantes à pollen (produisant une quantité importante de pollen volatil) fournissent une nourriture alternative pour les auxiliaires polliniphages (Phytoséides).

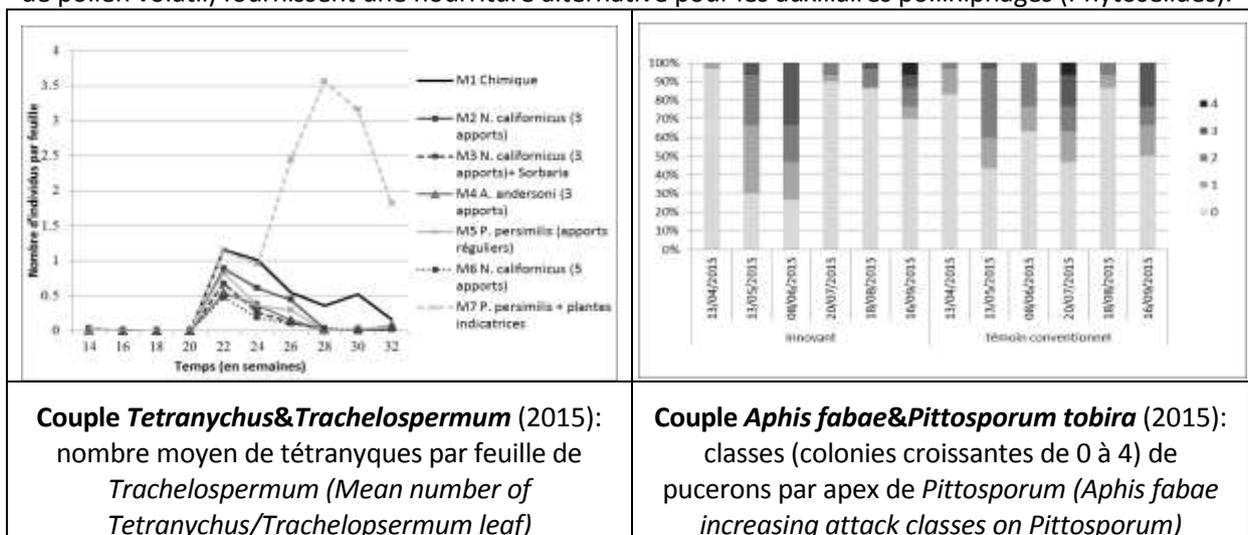


Figure 6 : Evolution des ravageurs dans 2 agrosystèmes horticoles intégrant des plantes de service
(Pest evolution in 2 ornamental agrosystems)

En culture de jasmin étoilé (*Trachelospermum jasminoides* (Lindl) Lem.), l'intérêt de l'utilisation de plantes **sentinelles** candidates (*Phaseolus vulgaris* L. 'Contender', *Filipendula vulgaris* Moench et *Ajuga reptans* (L.)), associées à un apport d'auxiliaires, a été évalué. Seul le haricot (Fig. 6, modalité 7) s'est révélé plus attractif que la culture et a permis une détection précoce du ravageur. Cependant, le seuil d'intervention utilisé (Berlinger et al., 1996 ; Matteoni J.A., 2003 ; Ripoll S., 2008) de 12 tétranyques par feuille de plante sentinelle n'a pas permis une réactivité suffisante pour les lâchers de *P. persimilis* et a engendré des dégâts importants sur la culture.

Dans l'agrosystème ***Aphis fabae* & *Pittosporum tobira***, des lâchers réguliers (5-6/saison) de *C. carnea* à 10 ind/m² en période sensible (pousse printanière et estivale), combinés à l'apport de **plantes fleuries** mellifères rigoureusement sélectionnées comme non hôtes d'*A. fabae* (mélange d'annuelles : Asteracées, Fabacées, Apiacées) fournissent les meilleurs résultats pour un ratio de couverture testé de 18% (Fig. 6). En effet, la présence de *Cichorium intybus* (L.) dans le mélange expérimental testé en 2014 a été une source de contamination en pucerons importante. L'apport de parasitoïdes exogènes

n'apparaît par ailleurs pas pertinent. Le seuil d'intervention validé pour les lâchers d'auxiliaires est le suivant : culture présentant plus de 20% d'apex avec ≥ 1 fondatrice ailée + quelques larves et $< 50\%$ de plantes avec des colonies contenant plusieurs fondatrices aptères ou des individus ailés. La réponse des auxiliaires indigènes (coccinelles, syrphes) arrive avec un décalage sur l'expansion des populations de ravageurs, mais contribue à leur régulation.

DISCUSSION

La PBI et sa composante principale la LB, impliquent une mise en œuvre de 3 étapes :

- l'**observation** des abords de la parcelle et de l'**environnement** afin de rechercher les sources potentielles d'auxiliaires et de ravageurs et caractériser la diversité faunistique. Les techniques d'aspiration à grande échelle, bien que coûteuses en temps d'analyse, fournissent une très bonne estimation qualitative et quantitative de cette diversité et des ravageurs/auxiliaires d'intérêt pour le SDC. La connaissance de leur biologie est une étape indispensable pour déterminer les périodes de présence et donc de sensibilité de la culture. Il peut alors être utile de réaliser une étude paysagère et cartographique du parcellaire, afin de matérialiser les phénomènes de puits/sources qui ont lieu au sein de l'environnement. L'utilisation d'indicateurs paysagers permet d'établir des relations entre la disposition spatiale du paysage et les processus écologiques impliqués dans l'agrosystème (Tolle P., 2013). Un programme national (2010-2013) sur la protection biologique en milieu extérieur, piloté par l'institut ASTREDHOR, a ainsi récemment abouti à la création d'un outil de diagnostic visant à évaluer et améliorer cette diversité biologique sur une exploitation horticole.

- le **maintien** et l'**attraction**, d'une année sur l'autre, des **auxiliaires** d'intérêt pour le SDC, à l'aide d'aménagements favorables (plantes fleuries, plantes relais, haies composites, abris). Une attention particulière doit également être portée au choix des espèces dans les mélanges en tenant compte de différents facteurs : accessibilité de la source de nourriture (nectar, pollen, proies), source de ravageurs, attractivité visuelle et olfactive, durée de floraison, dimension, répartition dans l'espace (3 à 5% de la surface en culture). Les espèces stériles (fleur double) ou exotiques (envahissantes) sont à éviter pour leur attractivité moindre pour la faune indigène. Il faut également garder à l'esprit qu'il est généralement plus facile de favoriser un auxiliaire indigène naturellement présent dans la culture que d'en installer un exogène au système. Par ailleurs, même en cas de présence importante dans l'environnement, le transfert vers la culture n'est pas garanti et doit être vérifié par des observations régulières. La création de corridors écologiques autour des parcelles vise à favoriser ce transfert (Baudry et al., 1999). Dans les espaces végétalisés urbains, les efforts mis en œuvre notamment pour développer la trame verte et bleue est en adéquation avec ce principe.

- l'**introduction** saisonnière complémentaire, préventive ou curative, d'**auxiliaires** sur les cultures, notamment lorsque les auxiliaires indigènes sont peu présents. Par ailleurs, l'association avec des plantes de services peut améliorer la répartition temporelle des auxiliaires. Il faut souligner que l'utilisation de parasitoïdes généralistes en extérieur n'a pas montré, pour le moment de résultats très probants dans les différents essais menés.

De nombreux autres leviers (Fig. 7), souvent complémentaires, peuvent être mobilisés dans le cadre de la PBI. Les mesures de prophylaxie ainsi que les différents outils de monitoring (piégeage, plante sentinelle), bien qu'évoqués brièvement, conservent toute leur importance. L'utilisation d'un seuil d'intervention validé et adapté à chaque contexte géographique permet de déterminer la nécessité d'une intervention chimique en cas de dépassement. La LB ne doit alors pas être considérée comme une fin en soi, sous peine de déboucher à un équilibre biologique favorable au bioagresseur et d'engendrer des coûts économiques de lutte trop importants.

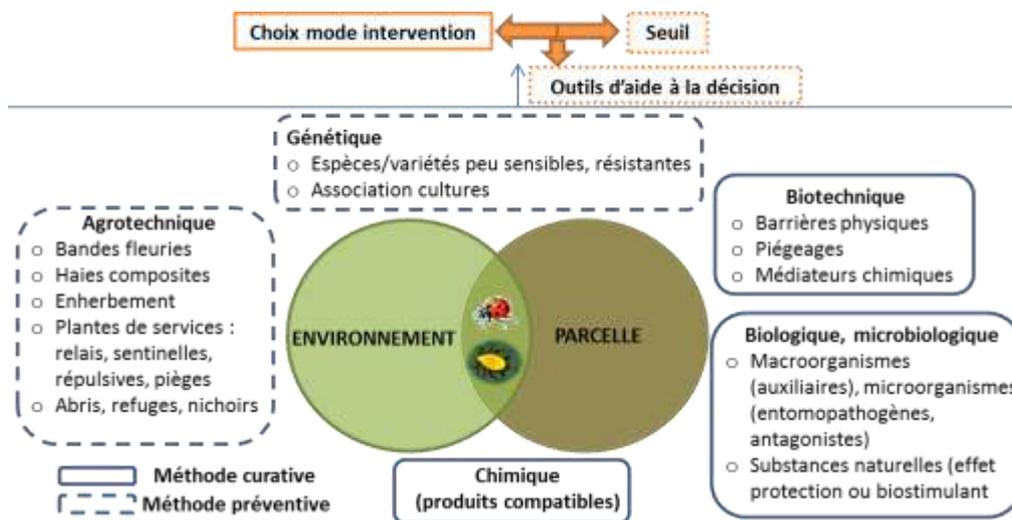


Figure 7 :
Méthodologie globale de la PBI
 (General approach of integrated control)

CONCLUSION

Les essais menés sur les différents couples plante/bioagresseur/auxiliaire dans les conditions des essais ont permis d'affiner les connaissances sur la dynamique des principaux ravageurs sur la gamme ornementale étudiée et de valider un certain nombre de stratégies de PBI en milieu ouvert, basées sur une approche complémentaire entre LB par conservation et augmentation par lâchers inondatifs. Dans ce cadre, la prise en compte de l'environnement (facteurs biotiques et abiotiques) doit constituer le préambule à toute réflexion ultérieure sur une problématique sanitaire donnée. Si le principal frein au développement reste le coût engendré par la lutte biologique inondative, d'autres contraintes viennent cependant s'ajouter et nécessitent d'être prises en compte en ville : contexte pédoclimatique anthropisé, morcellement des habitats naturels, contraintes et encadrement des aménagements, souci d'esthétisme, fréquentation des sites. Pour autant, cette réflexion offre des perspectives pour les espaces végétalisés urbains, soumis à une pression réglementaire croissante, et s'intègrent parfaitement dans les stratégies alternatives déjà mises en œuvre.

BIBLIOGRAPHIE

- Baudry J., Burel F., 1999. Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications. *Edition TEC et DOC*, Paris, 359p.
- Berlinger M. J., Lok-Van Dijk B., Dahan R., Lebiush-Mordechai S., Taylor R. A. J. Indicator Plants for Monitoring Pest Population Growth. *Annals of the Entomological Society of America*, 1996, vol. 89, n°5, p. 611-622.
- Cortesero A.M., Le Ralec A., Saulais J., Ezanic A., Baudry J., Bischoff A., Jaloux B., Parisey N., Salvadori O., Tricault Y., 2011. Structure du paysage en parcelles de Brassicacées : impact sur les insectes phytophages et leurs ennemis naturels. AFPP - 9ème Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture, Montpellier, Oct. 2011. 1 p.
- Fayolle P., 2014. Une palette végétale XXL à Nancy. *Le lien horticole*, 9 avril 2014, 881, 7.
- Ferre A., 2008. La P.B.I en culture extérieure ou sous abri ouvert. *PHM- Revue Horticole*, 506, 26-32
- Gendrier J.-P., Lichou J., Baudry O., Orts R., Rondeau S., Soing P. & Mandrin J.-F. (1999). Outils de pilotage. Bonnes pratiques en arboriculture fruitière. Editions Ctifl, Paris, 202 p.
- Grinbaum, M., 2012. La réglementation en matière de produits phytosanitaires. Quelles conséquences pour l'exportation des vins. *Communication Institut français du vin et de la vigne*. 86-92.

- Martinez M., Germain J.-F., Streito J.-C, 2014. Actualités entomologiques : nouveaux insectes ravageurs introduits en France métropolitaine. AFPP - 10 conférence internationale sur les ravageurs en agriculture : Montpellier, Oct. 2014
- Matteoni J. A. Economics of banker plant systems in Canadian greenhouse crops. 1st International Symposium on Biological Control of Arthropods : Washington : U.S. Department of Agriculture Forest Service, 2003. P154-155.
- Ripoll S. Analyse préliminaire pour l'élaboration de stratégies de lutte biologique en cultures diversifiées sous abris. 65 p. Mémoire de fin d'études : Montpellier : Université de Montpellier ; CIVAM BIO 66 : 2008.
- Piasentin J., 2010. Application de la protection biologique intégrée sur les cultures en milieu ouvert. *Terres d'innovation*, 64p.
- Tolle P., 2013. Protection Biologique Intégrée en cultures extérieures hors-sol de la filière pépinière. *Rapport du Projet Astredhor*, 58p.
- Unep, 2014. Les villes les plus vertes de France Palmarès 2014. Dossier de Presse, 27 p.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**L'INVASION FULGURANTE DE LA PYRALE DU BUIS EN FRANCE ET EN EUROPE: DIVERSITE
GENETIQUE ET APPROCHE PHYLOGEOGRAPHIQUE**

A. BRAS ⁽¹⁾, C. COURTIN ⁽¹⁾, M. KENIS ⁽²⁾, A. BERNARD ⁽¹⁾, A. ROQUES ⁽¹⁾, J. ROUSSELET ^{(1)*},
M-A. AUGER-ROZENBERG ^{(1)*}

*Co-derniers auteurs (contribution égale des auteurs à l'encadrement de l'étude)

⁽¹⁾ INRA, UR633 Zoologie Forestière, Orléans, France, abras@orleans.inra.fr

⁽²⁾ CABI, Delémont, Suisse, m.kenis@cabi.org

RÉSUMÉ

La pyrale du buis *Cydalima perspectalis* Walker a été observée pour la première fois en Allemagne en 2007 et cause depuis des dégâts sur les buis en France et en Europe. Elle aurait été introduite via le commerce de plantes d'ornements entre les pays européens et la Chine tandis que le commerce au sein de l'Europe aurait facilité sa dispersion. Pour mieux comprendre les voies d'invasions, des échantillons de Chine, de Corée et de 16 pays européens envahis par *C. perspectalis* ont été analysés avec un marqueur génétique mitochondrial. En Asie, sur un ensemble de 6 sites et de 45 individus, 7 haplotypes ont été observés. En Europe, sur 184 individus, 5 haplotypes ont été rencontrés dont 4 déjà observés en Asie. Les premiers résultats n'ont pas mis en évidence de structuration des populations dans la zone d'origine, ce qui ne permet pas de définir des zones-sources potentielles avec ce marqueur. En revanche, la présence d'une diversité génétique importante en Europe associée à une structuration géographique des populations sont en faveur d'introductions multiples.

Mots-clés : insecte invasif, *Cydalima perspectalis*, commerce ornemental, phylogéographie, introduction multiple.

ABSTRACT

THE INVASION OF HIGHLY INVASIVE BOX TREE MOTH IN FRANCE AND EUROPE : GENETIC DIVERSITY AND PHYLOGEOGRAPHIC APPROACH

The box tree moth *Cydalima perspectalis* Walker was first observed in Germany in 2007. In France and more generally in Europe, it causes a lot of damage on box plants. The trade of ornamental box plants between Europe and China has been hypothesized as the invasion pathway of the insect while the trade between European countries could explain its fast expansion. To trace the invasive pathways, samples of *C. perspectalis* were collected in China, Korea and so far in 16 invaded countries of Europe. In Asia, 7 haplotypes were observed among 45 individuals sequenced into 6 localities. In the invaded area, among 184 individuals sequenced, 5 haplotypes were found and among them 4 were present in Asia. The lack of genetic structure within the native range, did not yet allow to define the potential donor regions. Nevertheless, the high and geographically structured genetic diversity observed in Europe suggests multiple introductions events.

Keywords: invasive insect, *Cydalima perspectalis*, ornamental plant trade, phylogeography, multiple introductions.

INTRODUCTION

Le niveau actuel des introductions et des invasions biologiques n'avait jamais été observé auparavant, tant au niveau du rythme que de l'ampleur (Roques *et al*, 2016). Parmi ces invasifs, le nombre d'arthropodes terrestres introduits par an en Europe est en constante augmentation avec globalement un taux d'arrivée multiplié par deux en l'espace des trente dernières années, et la majorité des espèces répertoriées sont des insectes (Roques, 2010). Au cours de la dernière décennie, près de 70% des introductions d'insectes d'importance agronomique sont imputables au secteur de l'horticulture ornementale, en particulier au commerce de plantes ligneuses (arbres ou arbustes) (Martinez *et al*, 2014). Parmi ces introductions, on observe depuis une vingtaine d'années de plus en plus d'invasions dites « fulgurantes » dans lesquelles l'établissement des espèces introduites accidentellement est suivi par une propagation très rapide de ces ravageurs au sein de leur zone d'introduction, ce qui est en grande partie permis par les échanges commerciaux (Roques *et al*, 2016). C'est notamment le cas de la punaise américaine *Leptoglossus occidentalis* Heidemann introduite en Italie en 1999 (Lesieur *et al*, 2014), du cynips du châtaignier *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu signalé pour la première fois en Italie en 2002 (Avtzis et Matošević, 2013) ou encore de la pyrale du buis *Cydalima perspectalis* mentionnée pour la première fois en Allemagne en 2007 (Krüger, 2008).

Cydalima perspectalis est un Lépidoptère de la famille des Crambidae et est présente naturellement en Chine, Corée et Japon. Cet insecte défoliateur fait son développement sur une quinzaine d'espèces du genre *Buxus* dont *B. microphylla*, très présent en Chine et utilisé en Asie comme plante ornementale dans les parcs et les jardins (Casteels *et al*, 2011). *C. perspectalis* est signalée pour la première fois en Allemagne dans la ville de Weil am Rhein en mai 2007, agglomération proche de la Suisse et de la France. Toutefois quelques pépiniéristes de la région ont rapporté avoir eu des problèmes avec des chenilles sur des buis dès 2006 (Brua, 2013). Une expansion fulgurante en Europe a suivi et elle est désormais présente dans 27 pays dont la France (Bella, 2013; Gninenko *et al*, 2014; Pérez-Otero *et al*, 2015; Beshkov *et al*, 2015; D. Matošević comm. pers.; M. Dautbasic comm. pers.; M. Kenis comm. pers.). Dans la zone d'introduction, l'insecte s'attaque à toutes les essences de buis présentes dont *Buxus sempervirens*, le buis commun endémique qui est très apprécié en ornement. L'insecte cause d'importants dégâts sur les buis ornementaux mais aussi en milieu forestier. Il a été observé pour la première fois dans notre pays en 2008 à Strasbourg et Saint Louis, villes proches des premiers foyers allemands (Feldtrauer *et al*, 2009). La pyrale du buis a ensuite été signalée en région parisienne en 2010 puis en Charente Maritime, dans les Alpes Maritimes et l'Allier en 2011 (Brua, 2013). La colonisation du territoire français a ensuite été très rapide et aujourd'hui plus de 70 départements sont concernés (Astredor & Plante & Cité, 2015).

L'importation en Allemagne de buis infestés depuis la Chine est l'hypothèse la plus fréquemment retrouvée dans la littérature pour expliquer l'arrivée de *C. perspectalis* en Europe (Casteels *et al*, 2011; Nacambo, 2012). Cette hypothèse est corroborée par les données connues sur le transport de buis ornementaux entre l'Europe et la Chine. L'intérêt du buis comme plante ornementale dont *B. sempervirens*, espèce très prisée des jardiniers professionnels et amateurs, se traduit par d'importants échanges commerciaux au sein même de l'Europe dont la France, ce qui pourrait expliquer l'expansion rapide de l'espèce sur le continent (EPPO 2012; Matošević, 2013). De plus, les premiers signalements de la pyrale du buis en France, très distants les uns des autres, laissent penser que la présence de l'insecte sur notre territoire résulte d'introductions multiples. L'objectif de notre travail est de retracer l'origine de la pyrale du buis et ses voies d'introduction en Europe et en France à l'aide de marqueurs moléculaires. Nous présentons ici les premiers résultats que nous avons obtenus avec un fragment d'ADN mitochondrial, classiquement utilisé dans les études de phylogéographie (Avisé *et al*, 1987) et qui peut servir à reconstituer les grandes lignes de l'histoire d'une invasion (Avtzis et Matošević, 2013; Garipey *et al*, 2015).

A l'heure actuelle, l'absence de données génétiques sur ce ravageur, que ce soit dans la zone d'origine ou dans la zone d'introduction, nécessite de caractériser tout d'abord (i) la diversité génétique

de l'insecte en Asie et en Europe. Les données obtenues vont ensuite nous permettre d'estimer le degré de différenciation des populations à travers l'étude de la distribution spatiale de cette diversité génétique (ii) dans la zone d'origine (conditionnant les possibilités de retracement de la source) et (iii) dans la zone d'introduction (dépendant du nombre d'introductions et des voies d'invasion) .

MATERIELS ET METHODES

ECHANTILLONNAGE

Zone d'origine

Les échantillons asiatiques utilisés dans notre étude proviennent de Chine et de Corée du Sud. Le Japon n'a pu être échantillonné. Ils ont tous été récoltés en milieu urbain entre 2012 et 2014 et proviennent de 5 localités distribuées dans 3 provinces chinoises (Beijing, Shandong, Zhejiang) et de la capitale sud-coréenne (Tableau I). A Fuyang et Pékin (figure 1), ce sont des chenilles qui ont été prélevées sur des plants de *B. microphylla*. Dans les autres localités, ce sont des papillons et l'hôte n'est donc pas connu. Au total, 45 individus ont été extraits et séquencés.

Zone d'introduction

Parmi les 27 pays attaqués à l'heure actuelle par *C. perspectalis* dans la zone d'introduction, 16 d'entre eux ont pu être échantillonnés (Tableau I). En fonction des pays, 1 à 4 localités ont été échantillonnées excepté pour la France où 11 localités ont pu être échantillonnées. Les individus collectés sont soit des adultes soit des chenilles. Les papillons ont été capturés par pièges à phéromones puis conservés à sec. Les chenilles ont été ramassées à la main sur du buis commun ornemental *B. sempervirens* sauf en Russie et en Georgie où elles ont été récoltées en milieu naturel sur le buis du caucase *B. colchica*. Après récolte, les chenilles ont été stockées dans l'alcool à 90% pour préserver l'ADN. Au total, 184 individus ont été extraits et séquencés.

ANALYSES MOLECULAIRES

L'ADN génomique de chaque individu a été extrait avec le kit NucleoSpin® Tissue XS. Nous avons amplifié un fragment d'ADN mitochondrial correspondant à une partie des gènes de la cytochrome oxydase I et II (COI, COII). Pour cela, nous avons utilisé un couple d'amorces déjà publié dans la littérature, dessiné par Zhu *et al.* (2013) pour une espèce appartenant à la même famille que la pyrale du buis, *Diaphania pyloalis* Walker (Lepidoptera: Crambidae) : LeCyd-F2 5' TGGAGCAGGAACAGGATGAAC 3' et Cynna-R2 5' GAGACCANTACTTGCTTTTCAG 3'. Les PCR ont été effectuées dans un volume réactionnel de 25µL (15.8µL H₂O, 2.5µL de Dream Taq Green Buffer 10x, 2.5µL de dNTP à 10mM, 0.5 µL de MgCl₂ à 2.5mM, 1µL de chaque amorce à 10µM, 0.5µL de Bétaine (5 M) et 0.2µL de Dream Taq® à 5 U/µL). Le programme utilisé était de 5 minutes à 95°C suivi de 25 cycles d'amplification (dénaturation : 35s. à 94°C, hybridation : 45s. à 60°C, élongation : 3min. à 72°C). Les produits de PCR d'environ 1800pb ont été purifiés avec le kit NucleoFast® 96 PCR Plate. Le fragment PCR étant trop long pour être séquencé d'un seul tenant, le séquençage a été réalisé avec le kit de séquençage Big Dye® Terminator v3.1 en utilisant l'amorce Cynna (3,3µM) et l'amorce interne Jerry (5' CAACATTTATTTTGATTTTTGG 3') communément utilisée pour les Lépidoptères. Les séquences ont été précipitées à l'alcool puis analysées avec un Séquenceur ABI 3500 (Applied Biosystem®). Elles ont ensuite été corrigées à la main avec le logiciel CodonCode Aligner v3.7.1.

ANALYSES DES DONNES GENETIQUES

Les séquences ont été alignées avec le logiciel Clustal W (Thompson *et al.*, 1994) implémenté dans le logiciel BioEdit v.7.1. Le caractère codant de la séquence a été vérifié avec le logiciel MEGA v.6. (Kumar *et al.*, 2008). Un réseau d'haplotypes a été construit à l'aide du logiciel TCS (Clement *et al.*,

2000). Les distances génétiques intraspécifiques ont été calculées avec le logiciel MEGA 6, en utilisant le modèle sélectionné par le logiciel (Tamura à 3 paramètres avec un gamma de 200), qui prend en compte le contenu de G/C au sein de la séquence et le biais entre les événements de substitutions de type transition et transversion. Les diversités haplotypiques H et nucléotidiques Pi ont été calculées avec le logiciel DNAsp v.5. (Librado et Rozas, 2009) pour chaque localité de la zone d'origine et les différents pays de la zone d'introduction excepté la France où les calculs ont été faits pour chaque ville échantillonnée.

Une AMOVA (Analyse MOléculaire de VAriance) a été réalisée avec le logiciel Arlequin v3.5 (Excoffier et Lischer, 2010) afin de définir si il existe une structuration des populations au sein de la zone d'origine. Nous avons défini un groupe chinois et un groupe coréen (malgré la présence d'un seul échantillon coréen dans notre jeu de données). Si ces groupes sont génétiquement différenciés, la variance entre groupes doit être significativement non nulle.

Au sein de la zone d'introduction, nous avons de la même façon cherché à savoir si la diversité génétique était géographiquement structurée ou inversement répartie de manière homogène sur toute la zone échantillonnée. Pour cela, une AMOVA a été également réalisée en séparant les localités européennes en trois groupes : (1) Europe de l'Ouest comprenant l'Allemagne, la France, l'Italie, la Belgique et la Suisse ; (2) Europe Centrale comprenant la Slovénie, la Croatie, la Hongrie, l'Autriche, la Slovaquie et la Serbie ; et (3) les pays entourant la Mer Noire : la Bulgarie, la Turquie, la Russie et la Géorgie. Ces groupes ont été définis en fonction de leurs échanges commerciaux et de leur situation géographique. L'Europe de l'Ouest correspond à des pays qui sont à la fois de gros importateurs (intra et extra UE), producteurs et exportateurs de plantes ornementales vers l'Europe (Cadic et Widehem, 2006). Les pays d'Europe centrale peuvent-être définis comme petits producteurs (moins industrialisés et moins mondialisés), importateurs de plants d'ornement essentiellement depuis l'Europe de l'Ouest. Les pays entourant la Mer Noire forment un groupe historiquement, économiquement et géographiquement plus éloignés des deux autres groupes européens. Si on suppose qu'il y a eu plusieurs événements d'introduction différents, soit depuis la Chine, soit à partir des premiers foyers d'introduction, on peut s'attendre, du fait de ces différences d'échanges commerciaux, à ce que ces introductions aient été suivies par une propagation préférentielle au sein de chaque groupe, ce qui se traduirait par des groupes génétiquement différenciés (variance entre groupes significativement non nulle).

RESULTATS

DIVERSITE GENETIQUE DE LA PYRALE DU BUIS

Au total, 8 haplotypes ont été observés parmi les 229 individus séquencés de la zone d'origine et d'introduction. Le fragment obtenu est codant et de 1505pb. Le réseau d'haplotypes (Figure 1A) montre la présence de 3 haplogroupes distincts: l'haplogroupe A comprenant les haplotypes HT1, HT2, HT3 et HT8, l'haplogroupe B constitué uniquement de l'haplotype HT7 et l'haplogroupe C comprenant HT4, HT5 et HT6. La distance génétique moyenne séparant l'haplogroupe C de l'haplogroupe A ou de l'haplogroupe B est de 0,6%. Celle séparant l'haplogroupe A de l'haplogroupe B est de 0,7%.

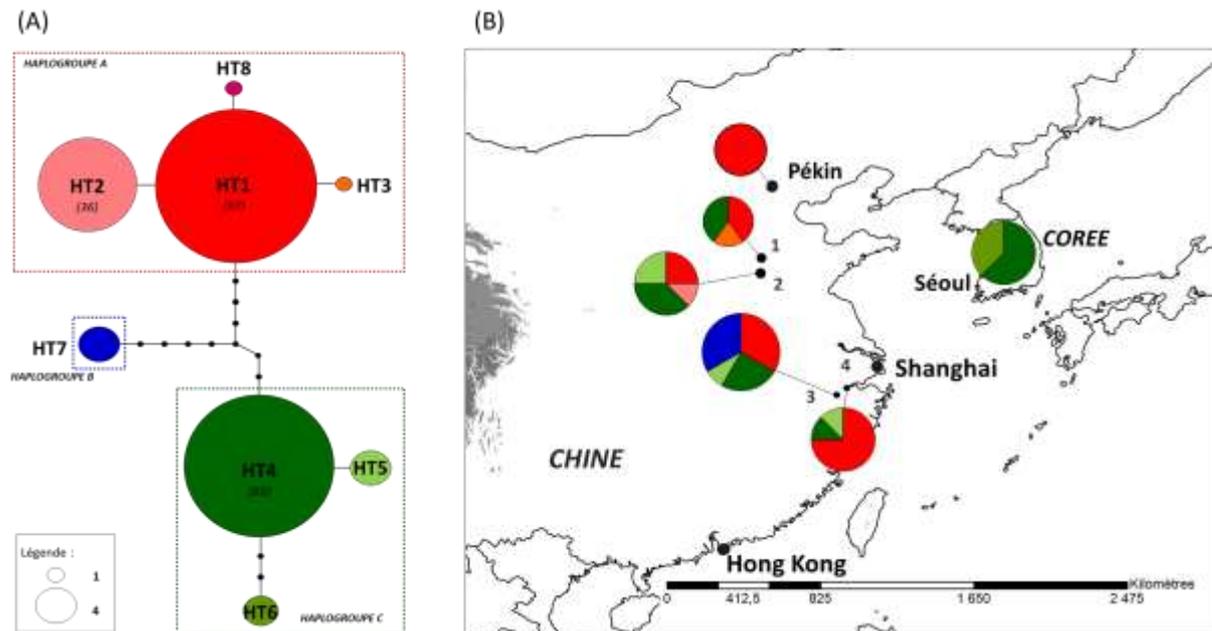
Tableau I : Liste des échantillons de *C. perspectalis* issus de la zone d'origine et de la zone d'introduction et répartition des haplotypes. N : Nombre d'individus par population, H : Diversité haplotypique (\pm Erreur Standard SD), Pi : Diversité nucléotidique (\pm SD), 1^{er} obs : Année de première observation (cf page suivante).

List of samples from the native and invaded areas of C. perspectalis and haplotypes distribution. N : Number of individuals per population, H : Haplotype diversity (\pm Standard Deviation SD), Pi : Nucleotide diversity (\pm SD), 1^{er} obs : Year of first observation.

Pays Localité	Collecte	N	Haplotypes	H	Pi	1 ^{er} obs.	Sources
Corée S. Seoul	2012	8	HT4 (5); HT6 (3)	0,54 (±0,12)	0,0008 (±0,0002)		
Chine Jinan	2012	5	HT1 (2); HT3 (1); HT4 (2)	0,80 (±0,16)	0,0032 (±0,0009)		
Taian	2012	8	HT1 (2); HT2 (1); HT4 (3); HT5 (2)	0,82 (±0,10)	0,0031 (±0,0006)		
Fuyang	2014	12	HT1 (4); HT4 (3); HT5 (1); HT7 (4)	0,77 (±0,07)	0,0042 (±0,0004)		
Hangzhou	2012	8	HT1 (6); HT4 (1); HT5 (1)	0,46 (±0,20)	0,0023 (±0,0009)		
Pékin	2013	4	HT1 (4)	0	0		
ZO		45		0,74 (±0,04)	0,0033 (±0,0002)		
Allemagne	Elevage	5	HT1 (3); HT4 (2)	0,60 (±0,18)	0,0029 (±0,0009)	2007	Bella, 2013
Autriche	2015	6	HT 4 (6)	0	0	2008	Bella, 2013
Belgique	2015	4	HT 1 (4)	0	0	2010	Bella, 2013
Bulgarie	2014-2015	6	HT2 (2); HT4 (4)	0,53 (±0,17)	0,0028 (±0,0009)	2014	Beshkov <i>et al</i> , 2015
Croatie	2014	17	HT1 (3); HT2 (1); HT4 (13)	0,40 (±0,13)	0,0019 (±0,0006)	2012	Bella, 2013
France		54	HT1 (30); HT2 (11); HT4 (7); HT5 (5); HT8 (1)	0,68 (±0,02)	0,0027 (±0,0001)	2008	Feldtrauer <i>et al</i> , 2009
Bastia	2015-2016	4	HT1 (2); HT2 (2)	0,67 (±0,20)	0,0004 (±0,0001)		
La Rochelle	2014-2016	5	HT1 (1); HT2 (4)	0,40 (±0,24)	0,0003 (±0,0002)		
Bordeaux	2015	4	HT2 (2); HT4 (2)	0,67 (±0,20)	0,0035 (±0,0012)		
Tours	2015	5	HT1 (4); HT4 (1)	0,40 (±0,24)	0,0019 (±0,0011)		
Grenoble	2014	3	HT1 (3)	0	0		
Orléans	2014	5	HT1 (2); HT4 (3)	0,60 (±0,18)	0,0028 (±0,0008)	2014	
Paris	2014	5	HT1 (5)	0	0	2010	
Lagnes	2014	10	HT1 (7); HT2 (2); HT5 (1)	0,51 (±0,16)	0,0013 (±0,0008)		
Strasbourg	2016	3	HT5 (3)	0	0	2008	
Saint Louis	2016	5	HT1 (3); HT5 (1); HT8 (1)	0,70 (±0,22)	0,0024 (±0,0012)	2008	
Nantes	2015	5	HT1 (3); HT2 (1); HT4 (1)	0,70 (±0,22)	0,0021 (±0,0011)		
Géorgie	2015	13	HT1 (4); HT2 (7); HT4 (2)	0,64 (±0,10)	0,0017 (±0,0007)	2015	M. Kenis, comm. pers.
Hongrie	2014-2015	18	HT1 (6); HT4 (12)	0,47 (±0,08)	0,0022 (±0,0004)	2011	Bella, 2013
Italie	2014	15	HT1 (1); HT2 (4); HT4 (10)	0,51 (±0,12)	0,0025 (±0,0005)	2010	Bella, 2013
Russie	2014	11	HT1 (9); HT2 (2)	0,33 (±0,15)	0,0002 (±0,0001)	2013	Gninenko <i>et al</i> , 2014
Serbie	2014	5	HT1 (2); HT4 (3)	0,60 (±0,18)	0,0028 (±0,0008)	2014	M. Glavendekic, comm. pers.
Slovaquie	2015	4	HT2 (4)	0	0	2013	Bella, 2013
Slovénie	2012-2015	10	HT1 (2); HT4 (8)	0,36 (±0,16)	0,0017 (±0,0007)	2011	G. Seljak, comm. pers.
Suisse	2012-2014	9	HT1 (9)	0	0	2007	Bella, 2013
Turquie	2014-2015	7	HT1 (4); HT2 (1); HT4 (2)	0,67 (±0,16)	0,0024 (±0,0008)	2011	Bella, 2013
ZI		184		0,66 (±0,02)	0,0025 (±0,0001)		

Figure 1 : (A) Réseau d'haplotypes COI-COII de *C. perspectalis*. Les ronds noirs correspondent à des haplotypes manquants, chaque ligne représente un pas mutational. (B) Carte de répartition des haplotypes en Asie (la taille des cercles est proportionnelle au nombre d'individus). 1 : Jinan, 2 : Taian,

3 : Fuyang, 4 : Hangzhou. (A) Haplotype network of *C. perspectalis* based on COI-COII. Black circles correspond to missing haplotypes and branches to mutation steps. (B) Haplotypes distribution in Asia (size circle is proportional to the number of individuals).



ZONE D'ORIGINE

Sur les 8 haplotypes mis en évidence dans l'ensemble du jeu de données, 7 ont été rencontrés parmi les 45 individus séquencés dans la zone d'origine. Deux haplotypes sont majoritaires, HT1 et HT4. En Corée, 2 haplotypes dont un privé (présent dans une seule population) ont été retrouvés à Séoul : HT4 et HT6 (Tableau I; Figure 1B). En Chine, 6 haplotypes ont été retrouvés dans les 5 villes échantillonnées. HT1 et HT4 sont présents dans toutes les localités tandis que HT5 est observé dans 3 d'entre elles. Les localités de Taian (n°2) et Jinan (n°1) présentent des haplotypes privés : HT2 et HT3 respectivement. HT7 est aussi un haplotype privé, identifié chez 4 individus à Fuyang (n°3). On n'a retrouvé que des haplotypes partagés dans la localité de Hangzhou (n°4). A l'inverse, aucune diversité génétique n'a été observée à Pékin. La diversité haplotypique H est de 0,54 à Séoul et la diversité nucléotidique Pi est de 0,0008 alors qu'elle varie entre 0,0023 (n°4) à 0,0042 (n°3) en Chine.

Les résultats d'AMOVA n'ont pas mis en évidence de structuration des populations., L'indice de fixation (Fct), et la part de variance expliquée par l'effet groupe, ne sont pas significativement différent de zéro, malgré une valeur élevée (Fct=0.32).

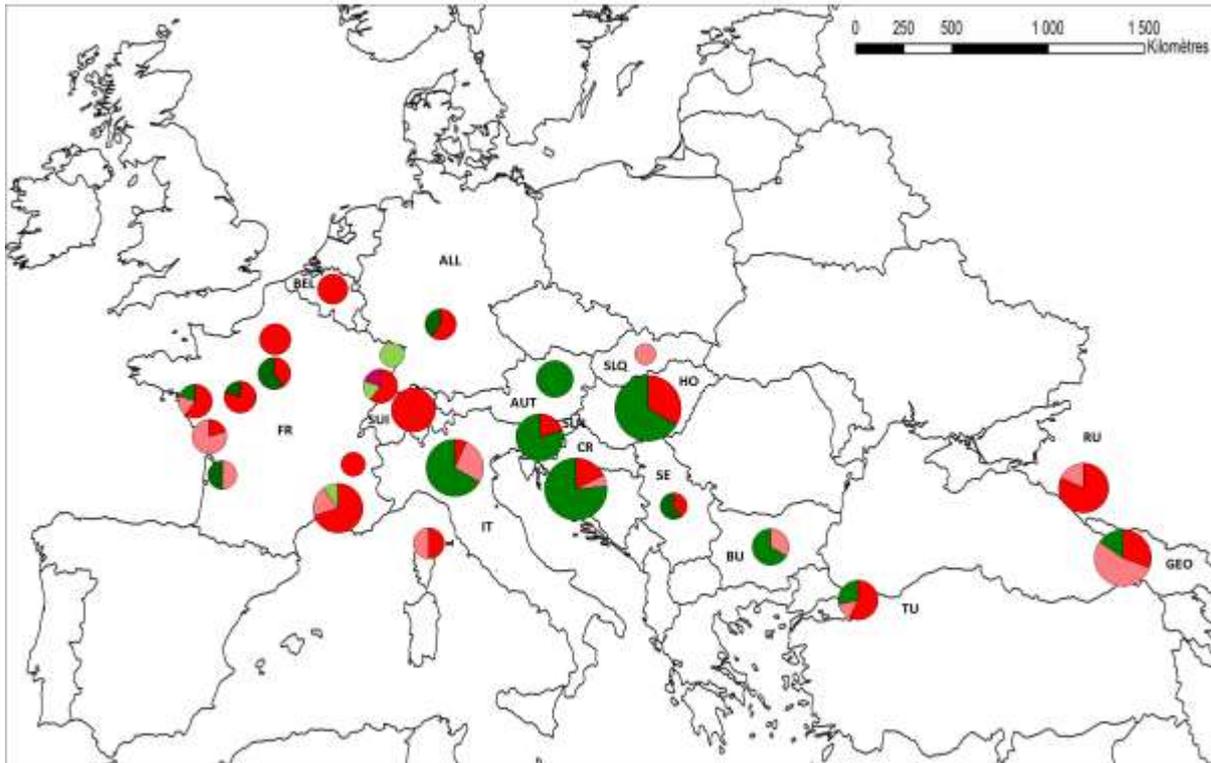
ZONE D'INTRODUCTION

Parmi les 184 individus séquencés dans la zone d'introduction, 5 haplotypes ont été identifiés. L'haplotype HT8 a été trouvé uniquement en Europe à Saint Louis (France) (Tableau I; Figure 2). Les autres haplotypes correspondent à ceux trouvés en Asie. On retrouve majoritairement les haplotypes HT1 et HT4 comme dans la zone d'origine alors que HT2 est retrouvé dans 9 des 16 pays européens échantillonnés et HT5 a été retrouvé seulement dans 3 localités françaises (Tableau I; Figure 2). Aucune diversité haplotypique n'a été observée dans 4 pays européens alors que pour les 12 autres pays, H varie de 0,33 à 0,70.

Les 5 haplotypes ont uniquement été retrouvés en France, pays où l'effort d'échantillonnage a été le plus fort (54 individus séquencés contre un total de 130 pour les 15 autres pays). Les villes de

Paris, Strasbourg et Grenoble ne présentent pas de diversité génétique alors que pour les autres localités, H varie de 0,40 à 0,70.

Figure 2 : Carte de répartition des haplotypes de *C. perspectalis* en Europe. La taille des cercles est proportionnelle au nombre d'individus. FR: France; ALL: Allemagne; BEL: Belgique; SUI: Suisse; IT: Italie; AUT: Autriche; SLN: Slovénie; SLQ: Slovaquie; CR: Croatie; HO: Hongrie; SE: Serbie; BU: Bulgarie; TU: Turquie; RU: Russie; GEO: Géorgie. *Haplotypes distribution of C. perspectalis in Europe. Size circle is proportional to the number of individuals. FR: France; ALL: Germany; BEL: Belgium; SUI: Switzerland; IT: Italy; AUT: Austria; SLN: Slovenia; SLQ: Slovakia; CR: Croatia; HO: Hungary; SE: Serbia; BU: Bulgaria; TU: Turkey; RU: Russia; GEO: Georgia.*



L'AMOVA a été réalisée en séparant la zone d'introduction en trois groupes : (1) Europe de l'Ouest, (2) Europe Centrale et (3) les pays entourant la Mer Noire. Tous les indices de fixation sont significatifs quel que soit le niveau hiérarchique choisi (Fct, p.value <0,05 ; Fsc, p.value <0,001 ; Fst, p.value <0,001). L'analyse montre que 58% de la variance génétique totale est attribuable à la variance au sein des populations et que 21% est attribuable à la variance entre populations au sein des groupes (Tableau II). La part de la variance entre groupes est de 19%, ce qui indique l'existence de groupes génétiquement différenciés dans la zone d'introduction.

Tableau II : Résultats de l'AMOVA à 3 groupes au niveau de la zone d'introduction. * : p.value < 0,05, ***, p.value < 0,001, Indice de différenciation F. Méthode de calcul : Pairwise differentiation.

*Results of AMOVA with 3 groups in the invaded area. * : p.value < 0,05, *** ; p.value < 0,001, Fixation indice : F. Computation method : Pairwise differentiation.*

Source de variation	Variance	% de variation	Indice F
Entre groupes	0,401	19,71	FCT = 0,197*
Entre populations au sein des groupes	0,445	21,86	FSC = 0,272 ***
Au sein des populations	1,190	58,43	FST = 0,416 ***
Total	2,036		

DISCUSSION

Dans la zone d'origine, un nombre assez faible d'haplotypes a été mis en évidence, contrairement à ce qui peut être observé chez d'autres Lépidoptères en Chine (Wahlberg et Saccheri, 2007; Niu *et al*, 2014). Cela peut s'expliquer par le faible nombre d'échantillons analysés à l'heure actuelle, et par la couverture géographique limitée de notre échantillonnage. La découverte d'un nouvel haplotype uniquement en France permet de supposer que toute la diversité génétique en Asie n'a pas encore été décrite, en particulier dans les forêts naturelles. En effet, nous n'avons échantillonné à ce jour que dans trois provinces et uniquement en milieu urbain où la pyrale a été importée à la faveur d'aménagements d'espaces verts et de jardins privés (M. Kenis, comm. pers.). L'absence de diversité génétique à Pékin peut d'ailleurs s'expliquer par l'introduction de *C. perspectalis* dans cette partie de la Chine via le transport de plants d'ornement (Nacambo *et al*, 2014), ses essences hôtes n'étant pas présentes dans cette région (Fang *et al*, 2011). Cependant, cette faible variabilité haplotypique chez *C. perspectalis* reste également cohérente avec la faible diversité génétique observée chez *Chilo suppressalis*, autre espèce de Crambidae présente en Chine (Meng *et al*, 2008). A l'inverse, le degré de divergence observé entre haplotypes est parfois important. Ces derniers sont répartis en 3 haplogroupes séparés d'au moins 7 pas mutationnels. La distance génétique entre ces haplogroupes est inférieure à 1%, ce qui correspond bien à des valeurs intra-spécifiques, mais cela traduit néanmoins une diversification ancienne de ces lignées mitochondriales (sans que cette histoire évolutive puisse être retracée à partir de notre échantillonnage actuel).

Si les populations asiatiques sont ou ont été structurées au cours de leur histoire ancienne, la co-occurrence géographique d'haplotypes divergents dans les villes chinoises échantillonnées pourrait être due à l'histoire récente de ces populations avec une remise en contact des différents groupes soit de manière naturelle (redéploiement après les glaciations à partir de refuges isolés) soit par l'Homme (transports accidentels). Même si certains haplotypes sont largement partagés, la présence d'haplotypes privés dans trois des quatre villes chinoises et dans la ville coréenne pourrait être en faveur d'une différenciation locale et d'une structuration de la zone d'origine. Malgré une valeur élevée de l'indice de fixation F_{ct} et de la part de la variance entre groupes (dont l'écart à zéro traduit le niveau de structuration des populations), l'AMOVA ne semble pas corroborer cette hypothèse. L'absence de significativité du F_{ct} pourrait s'expliquer par notre faible échantillonnage en Asie.

Pour le moment, l'absence de mise en évidence de structuration des populations en Asie ne nous permet pas de définir des zones-sources potentielles. Néanmoins, la Corée n'apparaît pas être une des sources les plus vraisemblables. En effet, les haplotypes observés dans la zone d'introduction ont tous été retrouvés en Chine (à l'exception de HT8 trouvé uniquement en France à ce jour), alors que la Corée présente deux haplotypes, un privé (HT6) et l'autre partagé avec l'Europe ainsi que la Chine (HT4) où il est très fréquent. Nos résultats sont donc en faveur d'une origine chinoise, ce qui est en accord avec la littérature (Nacambo *et al*, 2014). Un plus large échantillonnage en Chine et l'ajout d'échantillons provenant du Japon seront nécessaires pour infirmer ou confirmer cette hypothèse.

Dans la zone d'introduction, l'utilisation de marqueurs moléculaires permet de détecter d'éventuelles signatures génétiques liées à l'historique de l'invasion, comme la perte de diversité due à des goulets d'étranglement (Sakai *et al*, 2001). On observe une réduction de la diversité génétique dans les populations européennes de *C. perspectalis* puisque tous les haplotypes ne sont pas présents en Europe. Plus de la moitié des haplotypes trouvés dans la zone d'origine ont été mis en évidence dans celle d'introduction, avec deux-tiers de la diversité génétique en Chine retrouvée en Europe. L'existence d'une forte diversité génétique en Europe, et notamment en France, est en faveur d'introductions multiples de l'espèce, comme cela a été mis en évidence pour la chrysome des racines du maïs *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte en Europe (Ciosi *et al*, 2008) ou encore la punaise diabolique *Halyomorpha halys* Stal (Garipey *et al*, 2015). Les résultats de l'AMOVA vont également dans ce sens. Ils ont permis de révéler que les populations européennes de pyrale du buis étaient géographiquement structurées, ce qui suggère l'existence de plusieurs événements d'introductions indépendants et d'une propagation préférentielle intra-groupe à l'origine de leur

différenciation génétique. Au vu de ce que l'on sait des échanges commerciaux intra et extra Europe (Cadic et Widehem, 2006), on peut envisager deux scénarios compatibles avec nos résultats : (i) la pyrale du buis a été introduite une seule fois en Europe depuis la Chine mais massivement, avec un fort pool génétique, et a ensuite été redistribuée dans les différents pays européens ou (2) elle a été introduite de manière répétée dans le temps et/ou dans l'espace depuis la Chine vers différents points de l'Europe. Au vu de la littérature et du fonctionnement du commerce ornemental en Europe, il est probable qu'une partie des populations déjà établies aient été redistribuées entre les pays européens et dans la région du caucase, selon un processus similaire à celui mis en évidence chez le lézard *Lampropholis delicata* De Vis (Chapple *et al*, 2013). En effet, l'introduction de *C. perspectalis* en Russie proviendrait de pieds de buis infestés importés depuis l'Italie pour les jeux olympiques de Sotchi (Gninenko *et al*, 2014). De même, l'introduction de la pyrale du buis à Paris proviendrait de buis infestés importés depuis l'Allemagne.

CONCLUSION

L'absence de mise en évidence de structure génétique dans la zone d'origine ne nous permet pas de définir des zones-sources potentielles des populations françaises et européennes de pyrale du buis. Néanmoins, les haplotypes retrouvés en France et en Europe sont en faveur d'une origine chinoise. De plus, la diversité génétique retrouvée en France et en Europe, quasi équivalente à celle observée à ce jour en Asie, ainsi que l'existence d'une structuration des populations au sein de l'Europe suggèrent que les populations du ravageur résulteraient d'introductions multiples. Un plus large échantillonnage dans les zones d'origine et d'introduction, couplé à l'utilisation de marqueurs plus polymorphes de type microsatellites, nous permettront de préciser les scénarios d'introductions de *C. perspectalis* mais également de mieux comprendre sa dispersion rapide en France et en Europe.

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié du soutien financier de la région Centre Val de Loire (projet INCA). Nous remercions toutes les personnes qui nous ont fournis des échantillons : C. Burban, P. de Champsavin, E. Chatzidimitriou, A. Dupin, V. Gabor, S. Gomboc, C. Gutleben, J. Haran, A. Herz, K. Ipekda, I. Ivanova, C. Kruczkowski, C. Lopez Vaamonde, J.-C. Martin, D. Matošević, J.-E. Michaut, E. Morel, P. Pineau, G. Roux, G. Seljak, V. Shurov, J. Soors, C. Stauffer, K. Tuba, L. Van Remoortere et P. Zach.

BIBLIOGRAPHIE

- Astredhor, Plante&Cit , 2015 - Synthèse 2014, Programme SaveBuxus, Volet pyrale du buis. (Visite 24.06.2016) http://www.valhor.fr/fileadmin/A-Valhor/Valhor_PDF/Innovation_PC_SynthesePyrale_Savebuxus2015.pdf
- Avis  J. C., Arnold J., Ball R. M. et al, 1987 - Intraspecific phylogeography: the mitochondrial DNA bridge between population genetics and systematics. *Annual review of ecology and systematics*, 489–522.
- Avtzis D.N., Matosevic D., 2013 - Taking Europe by storm: a first insight in the introduction and expansion of *Dryocosmus kuriphilus* in central Europe by mtDNA. *ŠUMARSKI LIST*, 137, 7-8, 387–94.
- Bella S., 2013 - The box tree moth *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) continues to spread in southern Europe: new records for Italy (Lepidoptera Pyraloidea Crambidae). *Redia*, 96, 51–55.
- Beshkov S., Abadjiev S., Dimitrov D., 2015 - *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera: Pyraloidea: Crambidae: Spilomelinae) – New invasive pest moth in Bulgaria. *The Entomologist's Record and Journal of Variation*, 127, 1, 18–22.
- Brua C., 2013 - La pyrale du buis, *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859), espèce exotique envahissante, caractéristique de sa dynamique d'expansion en France et en Europe, des dégâts occasionnés sur les buis (*Buxus spp*) et des stratégies de lutte. Annales AFPP. Conférence sur l'Entretien des Espaces Verts, Jardins, Gazons, Forêts, Zones Aquatiques et Autre Zones non Agricoles, Toulouse (2013-10-15 - 2013-10-17).
- Cadic A., Widehem C., 2006 - L'horticulture ornementale française. Structure, acteurs et marchés, Un Point sur ..., INRA Editions, Paris (France) 2-7380-1207-8.
- Casteels H., Witters J., Vandierendonck S., Van Remoortere L., Goossens F., 2011 - First report of *Cydalima perspectalis* (Lepidoptera : Crambidae) in Belgium.

Chapple D.G., Miller K.A., Kraus F., Thompson M.B., 2013-Divergent Introduction Histories among Invasive Populations of the Delicate Skink (*Lampropholis delicata*): Has the Importance of Genetic Admixture in the Success of Biological Invasions Been Overemphasized? *Diversity and Distributions*, 19, 2, 134-46.

Ciosi M., Miller N. J., Kim K. S., Giordano R., Estoup A., Guillemaud T., 2008 - Invasion of Europe by the Western Corn Rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* : Multiple Transatlantic Introductions with Various Reductions of Genetic Diversity. *Molecular Ecology*, 17, 16, 3614-27.

Clement M., Posada DCKA., Crandall K. A., 2000 - TCS: a computer program to estimate gene genealogies. *Molecular ecology*, 9, 10, 1657-59.

Fang J., Wang Z., Tang Z., 2011 - *Atlas of woody plants in China: distribution and climate*. Heidelberg ; New York : Beijing: Springer ; Higher Education Press.

Feldtrauer J.-F., Feltrauer J.-J., Brua C., 2009 - Premiers signalements en France de la Pyrale du Buis *Diaphania perspectalis* (Walker, 1859), espèce exotique envahissante s'attaquant aux Buis. 65, 4, 55-58.

Garipey T.D., Bruin A., Haye T., Milonas P., Véték G., 2015 - Occurrence and Genetic Diversity of New Populations of *Halyomorpha halys* in Europe. *Journal of Pest Science*, 88, 3, 451-60.

Gninenko Y. I., Shiryaeva N. V., Shurov V. I., 2014 - The box tree moth - a new invasive pest in the Caucasian Forests. *Èàðàíðèí ðàñðòáíèé Ìáóéà è ïðàéðèéèà*, 36-39.

Krüger E.O., 2008 - *Glyphodes perspectalis* (Walker, 1859) - new for the European fauna (Lepidoptera: Crambidae). *Entomologische Zeitschrift mit Insekten-Börse*, 118, 2, 81-83.

Kumar S., Nei M., Dudley J., Tamura K., 2008 - MEGA: A Biologist-Centric Software for Evolutionary Analysis of DNA and Protein Sequences. *Briefings in Bioinformatics*, 9, 4, 299-306.

Lesieur V., Yart A., Guilbon S., Lorme P., Auger-Rozenberg M.-A., Roques A., 2014 - The Invasive *Leptoglossus* Seed Bug, a Threat for Commercial Seed Crops, but for Conifer Diversity? *Biological Invasions*, 16, 9, 1833-49.

Librado P., Rozas J., 2009 - DnaSP v5: A Software for Comprehensive Analysis of DNA Polymorphism Data. *Bioinformatics*, 25, 11, 1451-52.

Martinez M., Germain J.-F., Streito J.-C., 2014 - Actualités entomologiques : nouveaux insectes ravageurs introduits en France métropolitaine (Période juillet 2005 à juin 2014). *Annales AFPP. Colloque Ravageurs et Insectes Invasifs et Emergents, Montpellier (2014-10-21)*.

Matošević D., 2013 - Box Tree Moth (*Cydalima perspectalis*, Lepidoptera; Crambidae), New Invasive Insect Pest in Croatia. *SEEFOR (South-East European Forestry)*, 4, 2, 89-94.

Nacambo S., 2012, Parasitisme, développement, modèle climatique et impact de *Cydalima perspectalis* en Europe. Master 2, Université de Neuchâtel, 40p.

Nacambo S., Leuthardt F., Wan H. et al, 2014-Development characteristics of the box-tree moth *Cydalima perspectalis* and its potential distribution in Europe. *Journal of Applied Entomology*, 138, 1-2,14-26.

Pérez-Otero R., Mansilla J.P., Vidal M., 2015-*Cydalima perspectalis* Walker, 1859 (Lepidoptera,Crambidae): una nueva amenaza para *Buxus spp.* en la Península Ibérica. *Arquivos Entomoloxicos*, 10, 225-28.

Roques A., 2010 - Alien forest insects in a warmer world and a globalised economy: impacts of changes in trade, tourism and climate on forest biosecurity. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 77-94.

Roques A., Auger-Rozenberg M.-A., Blackburn T M. et al, 2016 - Temporal and Interspecific Variation in Rates of Spread for Insect Species Invading Europe during the Last 200 Years. *Biological Invasions*, 18, 4.

Sakai A. K., Allendorf F.W., Holt J.S. et al, 2001 - The population biology of invasive species. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32, 305-32.

Thompson J. D., Higgins D. G., Gibson T. J., 1994 - CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic acids research*, 22, 22, 4673-80.

Van der Straten M., Muus T., 2010 - The box tree pyralid, *Glyphodes perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae), an invasive alien moth ruining box trees. *Proceedings of the Netherlands Entomological Society Meeting*, 21, 107-11.

Zhu B.-J., Liu Q.-N., Dai L.-S. et al, 2013 - Characterization of the Complete Mitochondrial Genome of *Diaphania pyloalis* (Lepidoptera: Pyralididae). *Gene*, 527, 1, 283-91.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**VERS UNE STRATEGIE DE GESTION DURABLE DE LA CYLINDROCLADIOSE ET DES AUTRES MALADIES
INDUISANT LE DEPERISSEMENT DU BUIS**

L. JACOB ⁽¹⁾, P. TOLLE ⁽¹⁾, M. GUERIN ⁽²⁾, C. GUTLEBEN ⁽²⁾, F. ROBERT ⁽¹⁾

(1) ASTREDHOR, 44 rue d'Alésia 75682 PARIS Cedex 14, laurent.jacob@astredhor.fr

(2) Plante & Cité, 26 rue Jean Dixméras 49066 ANGERS Cedex 1, France, maxime.guerin@plante-et-cite.fr

RÉSUMÉ

Lancé en 2014, le programme SaveBuxus, qui se poursuivra jusqu'en 2017, a pour objectif d'apporter des solutions concrètes pour lutter efficacement contre la pyrale *Cydalima perspectalis* (Walker) et la cylindrocladiose provoquée par *Cylindrocladium buxicola* (Henricot & Culham), qui constituent les deux principales causes du dépérissement du buis. Les expérimentations sont réalisées dans les parcs et jardins de collectivités partenaires, dans cinq stations d'expérimentation d'ASTREDHOR (Arexhor Seine-Manche, GIE Fleurs et Plantes, Arexhor Grand Est, CDHR Centre Val de Loire, Caté) et au sein de l'Unité expérimentale Entomologie et Forêt Méditerranéenne de l'Inra PACA.

Pour la cylindrocladiose, les axes travaillés sont : (i) la gestion préventive, avec la rédaction d'un guide de bonnes pratiques ; (ii) la tolérance variétale ; (iii) les produits alternatifs en traitement des parties aériennes ; (vi) les produits alternatifs en traitement de sol. Pour la pyrale, les axes travaillés sont : (i) l'étude de sa biologie, pour pouvoir notamment positionner aux mieux les interventions de gestion ; (ii) des tests avec des agents entomopathogènes qui ciblent les stades larvaires ; (iii) le piègeage phéromonal, qui cible les papillons ; (iv) recherche de parasitoïdes oophages qui ciblent les oeufs.

Mots-clés : *Cylindrocladium buxicola*, autres maladies causant dépérissement du buis, guide de bonnes pratiques, méthodes alternatives, stratégie de gestion durable.

ABSTRACT

TOWARDS A SUSTAINABLE CONTROL STRATEGY AGAINST BOXBLIGHT

The aim of the study SaveBuxus is to build a control strategy against the 2 main boxtree pests in France : the boxtree caterpillar (*Cydalima perspectalis*) and the boxblight (*Cylindrocladium buxicola*). Biocontrol and alternatives control methods are experienced since 2 years. Works on boxblight investigate: preventive control, a handbook on this topic was written; tolerance; alternative products used to spray aerial parts; alternative products used to spray soil. Works on the boxtree caterpillar investigate: its biology, to be able to use the methods at the right time; entomopathogenic organisms, to control caterpillars; pheromone traps, to control moths; oophagous parasitoids, to control eggs.

Keywords: boxblight diseases, good practice handbook, alternative control methods, sustainable control strategy.

INTRODUCTION

Amorcée au début de la dernière décennie, l'Europe fait face à une recrudescence subite de « vagues » de dépérissements du buis causées par un champignon émergent, *Cylindrocladium buxicola*, couramment associé à un champignon secondaire de faiblesse, *Volutella buxi*, dans ce que les anglo-saxons appellent communément le « box blight ».

La maladie a été observée pour la première fois en 1994 au Royaume-Uni où elle s'est largement répandue, les premières attaques massives dans ce pays ne se déclarant que quatre ans plus tard. Depuis, elle s'est étendue à d'autres pays, comme la Belgique en 2000, les pays du Sud de l'Europe étant touchés plus tardivement à la fin des années 2000.

Actuellement, les mesures de gestion contre cette maladie sont souvent insuffisantes ou inefficaces. Toutefois, certaines solutions biologiques encore peu étudiées constituent de réelles pistes pour mieux la combattre. Des études seront menées afin de mesurer leur intérêt pour construire et proposer des stratégies de gestion durables et respectueuses de l'environnement.

VOLET PREVENTIF : ETAT DES CONNAISSANCES SUR LA MALADIE

Ce 1^{er} volet se décompose en une action ciblée sur la gestion préventive de la maladie, avec la rédaction d'un guide de bonnes pratiques. Outil de vulgarisation pratique à destination des utilisateurs, cet ouvrage a été publié début 2016 et sera complété par un second ouvrage descriptif des pathosystèmes du buis, dont la publication est prévue en 2017.

1. Le guide de bonnes pratiques

A l'occasion du Salon du Végétal (16-18 février à Angers), ASTREDHOR, l'Institut technique de l'horticulture, a présenté son Guide de «Bonnes pratiques contre la cylindrocladiose et les autres maladies à dépérissement du buis» réalisé dans le cadre du programme SaveBuxus® (2014-2017).

Ce guide de 72 pages a été pensé et rédigé par ASTREDHOR dans le cadre de ce programme coordonné par le consortium constitué par ASTREDHOR, Plante & Cité, la société Koppert et l'Inra d'Avignon. Première publication complète du Programme SaveBuxus sur la cylindrocladiose, ce guide de bonnes pratiques s'adresse en priorité aux gestionnaires d'espaces plantés et aux professionnels de la production. Il est disponible et téléchargeable au lien ci-dessous.

Lien de téléchargement du guide : http://www.astredhor.fr/data/info/141834-Guide_SaveBuxus_basse_definition.pdf

Exclusivement basé sur l'étude de la bibliographie, ce recueil constitue un document de travail pour lutter contre la cylindrocladiose du buis. Au sommaire :

- Un rappel des connaissances indispensables sur le buis,
- Des éléments clés sur la cylindrocladiose, des conseils pratiques d'action contre la maladie, de l'entrée en culture, à la culture en pépinière ou l'entretien en jardins et espaces verts,
- Les mesures d'hygiène et les pratiques culturelles permettant de lutter efficacement contre *Cylindrocladium buxicola*, les éléments clés de la lutte phytosanitaire : typologie des produits, revue des produits autorisés, pratiques de lutte.

Les résultats des travaux d'expérimentation menés au niveau national dans le cadre du Programme SaveBuxus contribueront à consolider les conseils pratiques délivrés dans ce recueil. Une seconde version du document sera réalisée au regard des résultats obtenus, attendue en 2018.

En complément de ce guide, un recueil spécifique sera publié par ASTREDHOR sur l'observation et la reconnaissance des maladies et des principales causes de dépérissement du buis. Les utilisateurs pourront s'appuyer sur une étude illustrative des différentes formes parasitaires du buis, recensées et identifiées dans cet ouvrage complémentaire.

Les partenaires financiers du Programme SaveBuxus : FranceAgriMer, VAL'HOR, l'Onema, Koppert et la Fondation de France.

VOLET EXPERIMENTATION

Ce volet se décompose en 3 axes complémentaires pour l'élaboration d'une stratégie de gestion durable de la maladie, dans le respect de l'environnement :

- 1 axe sur des essais de tolérance variétale ;
- 2 axes sur des essais sur l'efficacité de produits alternatifs, l'un en traitement des parties aériennes, l'autre en traitement de sol.

A l'issue de la 1^{ère} année d'expérimentation de ce programme, une synthèse présente les avancées et les principaux enseignements du programme SaveBuxus ; ils portent sur des aspects essentiels de préservation des buis contre la cylindrocladiose, et permettent de restituer aux professionnels les premières bases de connaissances acquises sur les 3 axes de ce volet.

Lien de téléchargement de la synthèse intermédiaire : http://www.astredhor.fr/data/info/5117-Synthese_Cylindrocladium_buxicola_Programme_SaveBuxus_2015.pdf

Ces premiers résultats feront l'objet de mises à jour aux étapes clés du programme d'ici la publication du rapport définitif en 2017.

Les 3 axes présentés ci-dessous exposent ainsi les données **exploitables** obtenues en 2015.

1. Tolérance variétale (1 essai)

Matériel et Méthodes

Localisation de l'essai

Station Expérimentale de Vézendoquet (CATE°) – 29250 ST POL DE LEON

Essai à 2 facteurs :

- 1) le facteur variété avec 10 modalités installées en 2014 et 5 modalités installées en 2015 :

Variétés mises en place :

Modalités N°	Variétés	Année de mise en place	Fournisseur de jeunes plants	type de jeune plant
1	B. sempervirens 'Suffruticosa'	2014	Pépinière Briand	BG9
2	B. sempervirens	2014	Pépinière Briand	BG9
3	B. sempervirens 'fastigiata'	2014	Pépinière Les 3 chênes	GT9C
4	B. sempervirens 'Elegantissima'	2014	Pépinière La Forêt	P28
5	B. microphylla 'Faulkner'	2014	Pépinière Les 3 chênes	GT9C
6	B. microphylla 'Herrenhausen'	2014	Pépinière Les 3 chênes	GT9C
7	B. sempervirens 'hansworthensis'	2014	Armor multiplication	A(3 alv/ctr)
8	B. x 'Green Velvet'	2014	Pépinière La Forêt	P28
9	B. sempervirens 'Aureovariegata'	2014	Pépinière La Forêt	P28
10	B. microphylla Wintergreen(=asiatic winter)	2014	Pépinière Briand	BRP
11	S. x Green Mound	2015	Herplant (B)	C1L
12	B. x 'Green gem'	2015	Herplant (B)	C1L
13	B. microphylla Golden Triumph © 'Peergold'	2015	Pépinière Les 3 chênes	GT9C
14	B. sempervirens Blauer Heinz	2015	Pépinière Les 3 chênes	GT9C
15	B. sempervirens 'Raket'	2015	Pépinière Les 3 chênes	GT9C

2) le facteur inoculation artificielle avec 2 modalités :

- inoculation artificielle de *Cylindrocladium buxicola* basée sur la mise en place de deux plantes contaminantes /parcelle à partir du mois de mars.
- infestation naturelle (non inoculée).

Le dispositif consistait en un essai à 2 facteurs croisés, à 20 modalités et à **4 répétitions pour les modalités inoculées et 1 répétition pour les modalités non inoculées**. Le nombre de parcelles élémentaires était de 50. La surface de la parcelle élémentaire valait 1 m² avec 12 plantes /parcelle, soit une superficie totale de 70 m², et 600 plantes en tout.

Mesures et observations :

Au cours de la saison, les périodes de croissance sont observées et notées (la sensibilité au *Cylindrocladium* semble accrue pendant ces périodes).

Périodicité des observations :

Les observations sont réalisées toutes les semaines afin de déterminer au minimum la présence ou non de symptômes.

A partir du moment où des symptômes sont observés sur un des cultivars, une notation selon la grille ci-dessous est réalisée une fois par semaine pour évaluer la dynamique d'évolution de la maladie. Une fois le niveau 6 atteint, les notations sont suspendues sauf reprise de végétation avec de nouvelles parties végétales saines.

Les observations sur buis sont réalisées selon une échelle partagée par les différents sites d'expérimentation et adaptée d'après celle proposée par Roger et Tivoli (1996) :

NOTES	
1	Aucun symptôme.
2	Quelques taches foliaires <5 % surface foliaire
3	5 à 25 % taches nécrotiques
4	25 à 50 % taches, début chute de feuilles
5	50 et 75 % taches, chute de feuilles
6	> 75 % taches nécrotiques, nombreuse lésions/chute importante de feuilles

(*) Taches foliaires, chute de feuilles (striures longitudinales sur les rameaux) ... à mentionner dans la partie commentaires.

Evaluation de la sévérité de la maladie (%DS, Disease Severity, calculée) : $n_{class 1} * 0\% + n_{class 2} * 5\% + n_{class 3} * 25\% + n_{class 4} * 50\% + n_{class 5} * 75\% + n_{class 6} * 100\%$ / n plants par lot



Note 1

Note 2

Note 3



Note 4

Note 5

Note 6

Résultats :

Au cours de cet essai, si les conditions climatiques du printemps 2015 n'ont pas été très favorables au développement de la maladie, celles de la période estivale l'ont été beaucoup plus. Une attaque de *Cyclindrocladium* s'est donc développée à partir du mois de juillet. L'inoculation artificielle réalisée à partir de plantes contaminantes placées dans chaque parcelle a fonctionné et a permis à l'épidémie de démarrer.

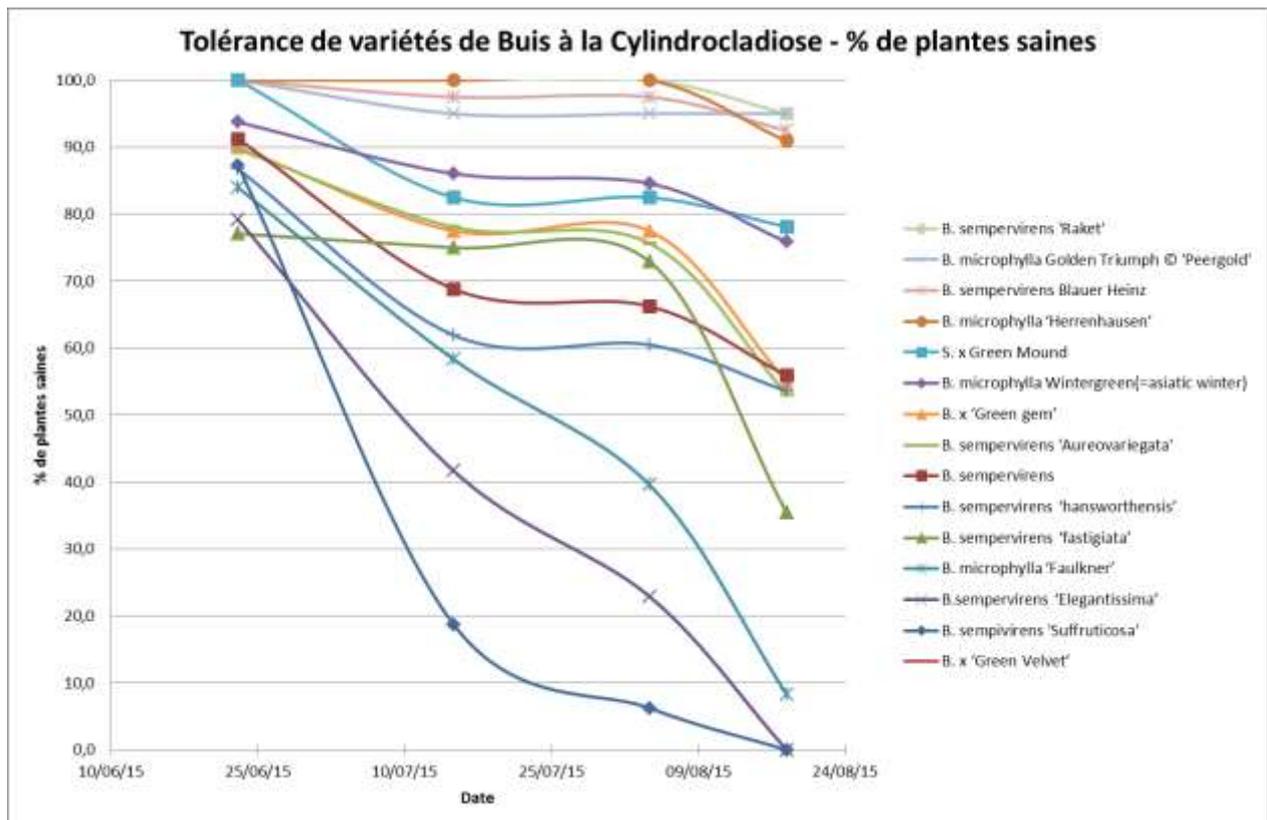
Dans cet essai, les différences de tolérance à *Cyclindrocladium buxicola* entre les 15 variétés de *Buxus* testées sont très importantes et sont statistiquement significatives. On observe différents groupes de sensibilité qui vont des variétés les plus sensibles à des variétés relativement tolérantes dans les conditions de l'année et de cet essai.

La variété la plus sensible de l'essai est de loin la variété *B. sempervirens* 'Suffruticosa' qui a subi de très gros dégâts. A l'automne 2015, l'ensemble des plantes de cette variété est en cours de dépérissement du fait des fortes défoliations qu'elles ont subies. Aucune autre variété n'est aussi sensible que celle-là. Parmi les modalités en infestation spontanée *B. sempervirens* 'Suffruticosa' a aussi été touchée fortement par la cylindrocladiose alors que dans ce contexte la pression de maladie était tout de même moindre en fin d'essai que dans la partie inoculée.

L'espèce type *B. sempervirens*, ainsi que la variété de *B. sempervirens* 'Elegantissima' et *B. microphylla* 'Faulkner' se révèlent également très sensibles à la maladie mais à un degré moindre que *B. sempervirens* 'Suffruticosa'. L'indice de sévérité de la maladie se situe entre 36 et 48 % pour ces variétés contre 94 % pour *B. sempervirens* 'Suffruticosa'.

Les variétés *B. sempervirens* 'Hansworthensis', *B. sempervirens* 'Aureovariegata' et *B. microphylla* Wintergreen (= asiatic winter) constituent un groupe intermédiaire pour lesquelles le niveau d'attaque est moins élevé dans cet essai puisque l'indice de sévérité de la maladie se situe entre 18 et 22 %.

Les autres variétés, c'est-à-dire : *B. sempervirens* 'fastigiata', *B. microphylla* 'Herrenhausen', *B. x Green Mound*, *B. x 'Green gem'*, *B. microphylla* 'Golden Triumph © 'Peergold', *B. sempervirens* 'Blauer Heinz' et *B. sempervirens* 'Raket', apparaissent beaucoup plus tolérantes dans cet essai avec un indice de sévérité de la maladie qui ne dépasse pas 10 %. La maladie est présente mais évolue peu et les plantes ne sont pas ou peu affectées.



Discussion

Ces résultats sont donc très intéressants puisqu'ils montrent qu'un certain nombre de variétés présente une tolérance intéressante à *Cylindrocladium buxicola* que ce soit dans l'espèce *B. microphylla* (Golden Triumph, Herrenhausen, Wintergreen) et dans l'espèce *B. sempervirens* comme les variétés Raket et Blauer Heinz. L'hybride Green Mound semble également plus tolérant. Cependant, le comportement agronomique et la présentation des variétés sont également à intégrer dans le choix variétal car il est observé de grandes différences de ces points de vue entre les variétés. En effet, toutes les variétés ne se montrent pas adaptées à tous les usages.

Parmi les variétés de buis de l'espèce *B. microphylla*, la variété Faulkner a été très décevante, car d'une part, sa sensibilité à la maladie s'est révélée importante, d'autre part elle est également assez sensible aux rigueurs de l'hiver avec un fort rougissement hivernal du feuillage, un feuillage qui s'abîme beaucoup à cette période, et un comportement de croissance peu intéressant.

D'autres variétés de l'espèce *B. microphylla* citées précédemment sont plus intéressantes du fait de leur tolérance à la maladie et d'un meilleur comportement agronomique en période hivernale. Toutefois, elles ont toujours tendance, à un degré moindre, à avoir un feuillage qui s'abîme un peu en hiver (jaunissement ou rougissement)..

2. Recherche de solutions alternatives en traitement des parties aériennes (2 essais)

Matériel et Méthodes

Localisation de l'essai 1

Plateforme pépinière hors-sol de la station expérimentale du GIE Fleurs et Plantes du Sud-Ouest (Villeneuve d'Ornon - 33).

Matériel végétal

Buxus sempervirens, cultivés en conteneurs de 4L (substrat Dumona C19/21 + Osmocote Pro 16-11-10 8-9M 5g/L). L'engrais incorporé est plus réactif que celui utilisé en 2014, afin de favoriser la pousse. L'espèce type a été choisie car un peu moins sensible que *B. sempervirens* 'Suffruticosa', classiquement utilisé en bordures et déclaré comme très sensible à la maladie (compromis expression des symptômes/mortalité). Les plantes ont été rempotées le 12/03/15 puis placées en serre et sorties le 08/04/14, peu avant le démarrage de l'essai.

Matériel technique

L'essai a été conduit en extérieur sur plateforme pépinière pouzzolane recouverte d'une toile hors-sol (système Hortigreen). L'irrigation était réalisée à l'aide d'un charriot d'arrosage.

Pour les traitements un pulvérisateur électrique à dos a été utilisé, et l'inoculation effectuée à l'aide d'un pulvérisateur à pompe manuelle.

Les paramètres climatiques (température du sol et de l'air, humidité de l'air) sont enregistrés pendant la durée de l'essai à l'aide de sondes climatique TESTO.

Modalités de l'essai

La liste des modalités testées est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : détails des modalités testées/details of modalities tested

Modalité	Produit	Fournisseur	Matière(s) active(s)	Dose
	TNT non inoculé exclu	/	Eau	/
	TNT inoculé exclu	/	Eau	/
M1 Alternance	TOPSIN 70 WG SWITCH	CERTIS EUROPE BV SYNGENTA	Thiophanate-méthyl Cyprodinyl + fludioxonil	1,6 kg/ha 0,8 kg/ha
M2	SERENADE MAX	BAYER CROPSCIENCE	<i>Bacillus subtilis</i> QST 713	2 kg/ha
M3	CERES	BIOVITIS	<i>Pseudomonas fluorescens</i> souche B177-M-03.08 + <i>Trichoderma harzanium</i> souche B97-M-04.08	0,4 kg/ha
M4	Tr-002	AGRAUXINE	<i>Trichoderma atroviride</i>	4 kg/ha
M5	XEDAVIR	XEDA INTERNATIONAL	<i>Trichoderma asperellum</i> TV1	5 kg/ha
M6	BION 50 WG	SYNGENTA	Acibenzolar-s-méthyl	0,05 kg/ha
M7	ARMICARB	DE SANGOSSE	bicarbonate de potassium	5 kg/ha
M8	Produit B	AGRAUXINE	Non identifié	0,5 kg/ha

Dispositif expérimental :

L'essai a été aménagé suivant un dispositif de Fischer à 3 blocs. Au total, 8 produits ont été testés et 2 témoins non traités (inoculé ou non) exclus. Chaque répétition comportait 10 plantes, sauf pour les témoins non répétés qui comptaient 20 plantes, soit un total de 280 buis.

Les plantes ont été cultivées à forte densité (15 individus/m²) pour maintenir une hygrométrie plus forte.

Interventions

Une inoculation artificielle des plantes a été réalisée (24/04/2015) afin d'assurer une pression homogène dans l'essai. Suite au développement très limité des symptômes après 1 semaine, les plantes ont été réinoculées (04/05/2015).

3 traitements ont été appliqués pendant l'essai :

- 2 avant la 1ère inoculation
- 1 post-inoculation

Contrairement à 2014, tous les produits ont été ré-appliqués après l'inoculation, afin de restimuler le végétal, suite à la pénétration du pathogène dans le végétal.

Pour la référence chimique, le Switch (cyprodinyl + fludioxonil) a été appliqué juste avant l'inoculation car il présente une efficacité préventive sur la germination des spores. Les autres traitements ont été réalisés avec Topsin 70 WG (thiophante-méthyl).

Méthodologie d'inoculation

L'inoculation a été réalisée avec une suspension de spores de *Cylindrocladium* isolé sur milieu de culture PCA par le LDA 33 à partir d'un échantillon prélevé dans une pépinière du sud-ouest. L'inoculum a été préparé en diluant dans de l'eau distillée à laquelle du Tween 20 a été ajouté (quelques gouttes dans la bouillie). Le nombre de spores a été ajusté à une concentration proche de 10⁴ spores/mL, par comptage sur cellule de Malassez.

Inoculation 1 : 3mL/plante à 8,4 x10³ spores/mL

Inoculation 2 : 4,3 mL/plante à 1,65 x10⁴ spores/mL

Les plantes inoculées ont été recouvertes par un film P17 humidifié et un film plastique en polyéthylène micro perforé pendant 48 heures, afin de garantir une hygrométrie suffisante pour le développement de la maladie.

Variables mesurées :

Symptômes sur feuilles : elles suivent la même échelle que celle précédemment décrite.

- 1ers résultats :

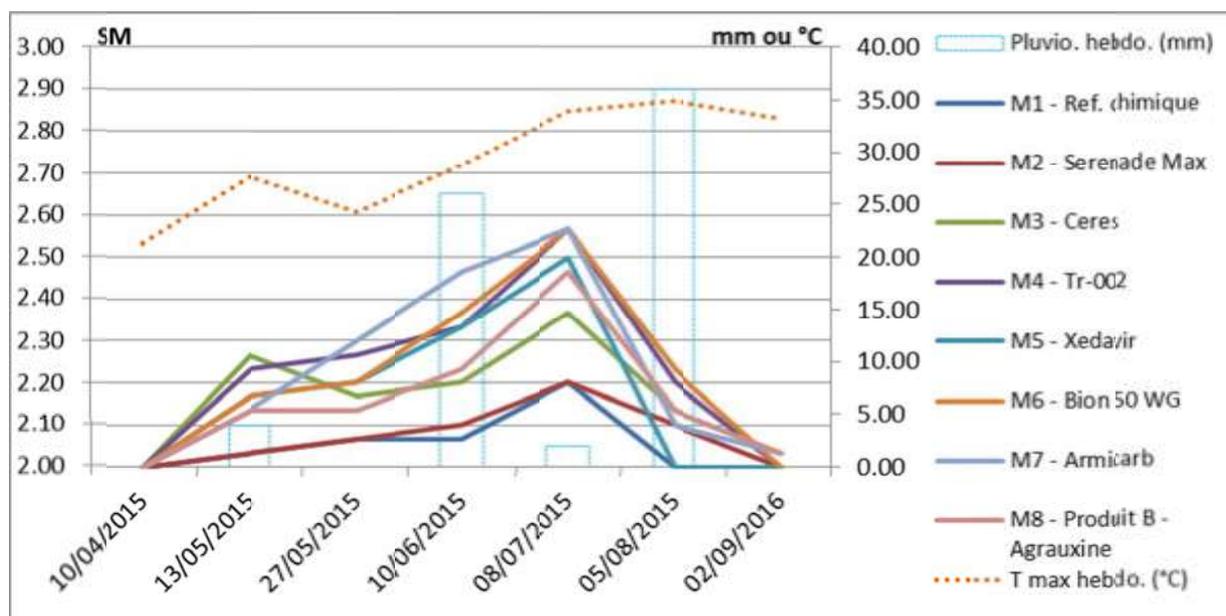
En 2014, les observations ont permis de mieux appréhender l'épidémiologie de la maladie sur *B. sempervirens* et mis en évidence sa complexité en lien avec les conditions climatiques, la phénologie des feuilles (premiers symptômes démarrant souvent de la base, jeunes feuilles pas nécessairement plus touchées). En fin d'essai, une grande partie des plantes étaient non commercialisables en raison de conditions particulièrement favorables au pathogène, entraînant une chute importante de feuilles. Des efficacités intéressantes ont tout de même été obtenues avec certains produits. L'application préventive, avant inoculation, de Bion 50 WG (Acibenzolar-s-méthyl) et de Ceres (*Pseudomonas fluorescens* + *Trichoderma harzanium*) a permis de limiter le développement de la maladie et de réduire de 25% sa sévérité en fin d'essai comparé au témoin chimique. Certains produits comme le Basfoliar Si (silice) et le Serenade Max (*Bacillus subtilis* QST 713) n'ont assuré qu'une protection très limitée contre la maladie.

En 2015, seul le Basfoliar Si a été abandonné et remplacé par un biostimulant dérivé de levures.

Résultats 2015 et Discussion

Les résultats obtenus confirment la difficulté de l'installation du pathogène en conditions expérimentales dans les conditions bioclimatiques du sud-ouest de la France et le rôle prépondérant de la combinaison température/pluviométrie, hygrométrie.

Figure 1 : Evolution de la sévérité des dégâts en fonction du climat/evolution of the severity of the disease depending on the climat



Les fortes températures estivales enregistrées en 2015 (pics réguliers $\geq 33^{\circ}\text{C}$, température létale d'après Henricot, 2006), combinées à une faible hygrométrie ont largement inhibé *C. buxicola*, qui ne s'est développé que pendant une courte fenêtre après l'inoculation et suite aux épisodes pluvieux contaminateurs. Ce constat a été confirmé par des observations faites chez des producteurs où la pression sanitaire était également plus faible.

Une solution pour pallier à cette contrainte serait de travailler en milieu confiné, avec des brumisations régulières de la culture pour garantir une forte hygrométrie.

Le choix de la plante modèle est un autre point à discuter. *Buxus sempervirens* est réputé sensible à la cylindrocladiose du buis (Gehesquière, 2014). En effet, la totalité des buis de l'essai était déjà contaminée à réception. Cependant, dans nos conditions climatiques, *B. sempervirens* 'Suffruticosa', le buis bordure, très sensible à la cylindrocladiose, serait peut-être plus adapté.

Malgré ces contraintes, des différences d'efficacité ont tout de même été relevées entre les produits testés, mais soulignent le manque de répétabilité de ce type de produits d'une année sur l'autre.

La référence chimique a fourni la meilleure protection pendant la durée de l'essai, ce qui coïncide avec les données de terrain. Le Serenade Max, à base de *Bacillus subtilis*, a montré une efficacité similaire contrairement à 2014, malgré une cadence de traitement similaire.

Le BION 50WG, qui avait montré des résultats prometteurs en 2014, n'a pas permis de limiter la maladie comparé à la référence chimique. En revanche, Ceres (*Pseudomonas fluorescens* + *Trichoderma harzanium*) a montré une efficacité partielle en milieu et fin d'essai. Ces deux micro-organismes sont cependant plutôt inféodés à la rhizosphère et devraient donc être privilégiés pour les traitements au sol.

L'Armicarb, à base de bicarbonate de potassium, qui agit principalement par contact et renforcement de la paroi des feuilles, ne semble pas suffisant pour limiter *C. buxicola*. En effet, le pathogène est capable de pénétrer activement à travers la cuticule des feuilles. De plus, le mycélium interne devient rapidement inaccessible pour le produit.

Les autres spécialités ont toutes fourni des niveaux de protection intermédiaire.

Ces conclusions doivent néanmoins être relativisées par la pression assez faible de la maladie pendant tout l'essai, qui a pu masquer les différences d'efficacité entre produits.

Localisation de l'essai 2

Station expérimentale Arexhor Seine-manche.

Dispositif expérimental

L'essai suit un dispositif en blocs de Fischer à 3 répétitions : 9 modalités dont 1 témoin non traité non inoculé, 10 plantes par parcelle élémentaire, soit 270 plantes en tout. La culture a lieu en extérieur sur une toile hors-sol. L'arrosage est réalisé par aspersion à l'eau corrigée à pH 6.

Modalités de l'essai 2

La liste des modalités testées est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : détails des modalités testées/details of modalities tested

Modalité	Produit	Fournisseur	Matière(s) active(s)	Mode d'apport	Dose	Nb d'application	N°AMM	Fréquence des applications	Type
T	TNT non inoculé	/	Eau	/	/	/	/	/	/
A	SERENADE MAX	BAYER	<i>Bacillus subtilis</i> QST 713	Pulvérisation foliaire	2 kg/ha	3	2100162	T1, T1 + 7 jours, T2+7 jours	Stimulateur des Défenses Naturelles
B	CERES	BIOVITIS	<i>Pseudomonas fluorescens</i> + <i>Trichoderma harzanium</i>	Pulvérisation foliaire	0,4 kg/ha	2	/	T1, T1 + 15 jours	Stimulateur des Défenses Naturelles
C	ESQUIVE WP	AGRAUXINE	<i>Trichoderma atroviride</i> I1237	Pulvérisation foliaire	4 kg/ha	1	2080004	T1	Fongicide
D	XEDAVIR	XEDA INTERNATIONAL	<i>Trichoderma asperellum</i> TV1	Pulvérisation foliaire	5 kg/ha	1	2130089	T1	Fongicide
E	BION 50 WG (INSSIMO)	SYNGENTA	<i>Acibenzolar-s-méthyl</i>	Pulvérisation foliaire	0,05 kg/ha	4 (+1)	9600526	T1, T1 + 7 jours, T2+7 jours	Stimulateur des Défenses Naturelles
F	BASFOLIAR Si	COMPO	Silice	Pulvérisation foliaire	1 L/ha	5	/	T1, T1 + 7 jours, T2+7 jours, T3+15 jours	Protectant
G	ORGASOIN	BIOPHYTECH	<i>Trichoderma harzanium</i> (spores)	Rempotage	50g/L substrat	1	/	T1 (rempotage)+147 jours (arrosage)	Engrais
	Arrosage			2,5L/100L	1				
	ECHOSOIN TG		<i>Trichoderma harzanium</i> (extrait)	Arrosage	25L d'extrait /1000L d'eau	2	/	T1, T1+91 jours	Engrais
ECHOSOIN P	<i>Trichoderma harzanium</i> (extrait)	Arrosage	25L d'extrait /1000L d'eau	2	/	T1, T1+112 jours	Engrais		
H	Produit sous code			Pulvérisation foliaire	1 tablette /10m ²	4 (+1)		T1, T1 + 7 jours, T2+7 jours, T3+15 jours	

Résultats 2015 et Discussion

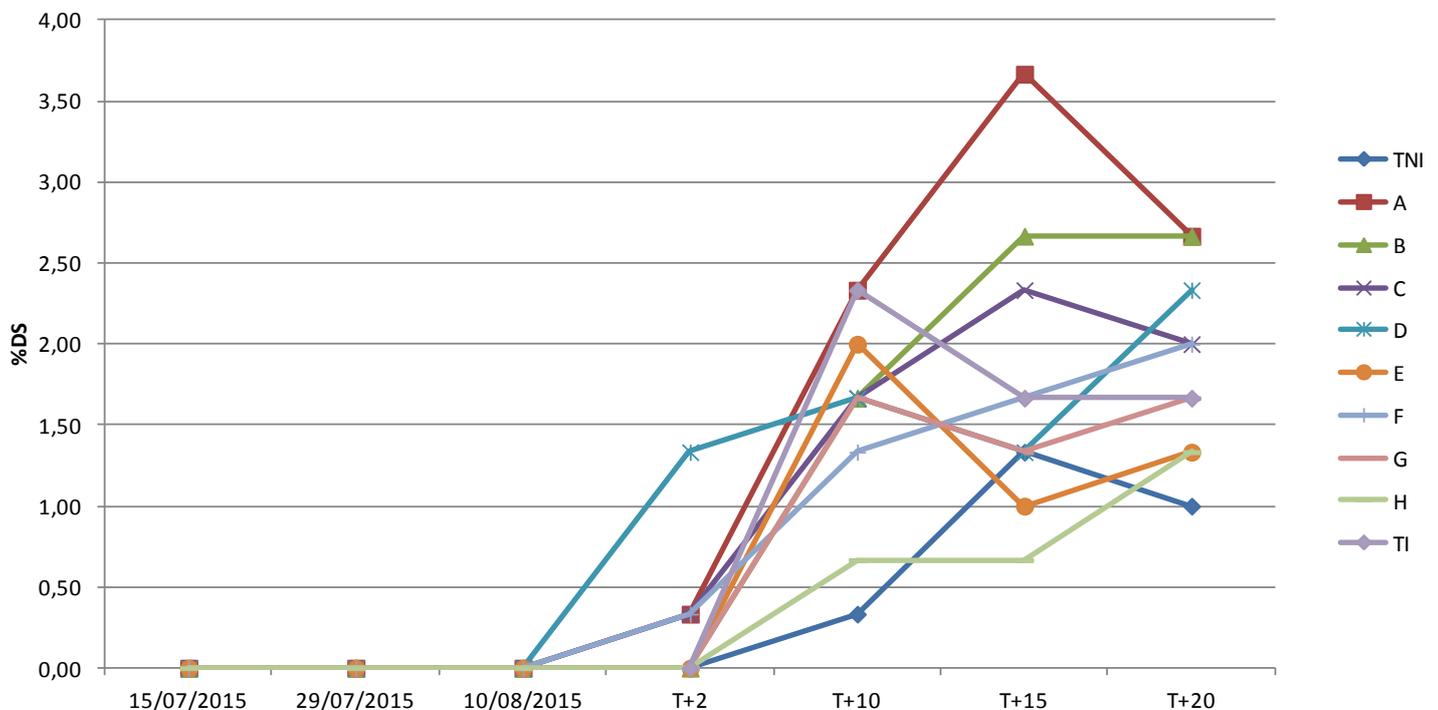
Les différences de sévérité sont pratiquement inexistantes au début de l'essai (à 2 et 5 jours après inoculation). Les différences d'efficacité entre les modalités s'observent aux 13^{ème} et 19^{ème} jours après inoculation (T2 et T2+5j), avec une amplitude de résultats plus importante au 13^{ème} jour. Bien que les différences ne soient pas significatives, en fin d'essai, les deux modalités qui présentent des sévérités de la maladie les plus faibles sont : le produit sous code (modalité H) et le BION 50 WG (modalité E).

En fin d'essai, toutes les modalités ont présenté des symptômes. Malgré une faible différence (non significative) au niveau des résultats ce sont ces deux même produits, le BION 50 WG (modalité E) qui est un SDP (produit à base d'acibenzolar-S-méthyl) et le produit sous code qui est un engrais foliaire

(modalité H) qui donneraient les meilleurs résultats (relatifs). Les modalités alternatives comprenant des produits à base de micro-organismes ont été plus sensibles à la maladie.

Les symptômes présents durant cet essai sont tous de classe 2 (seulement quelques feuilles touchées par plante) et ne sont pas irréversibles puisque des fluctuations quantitatives de plantes atteintes ont été observées.

Cinétique de la sévérité de la maladie



Phytotoxicité des produits

La modalité G qui comprend l'incorporation de granulés associant des spores de *Trichoderma harzanium*, de souche inconnue et un engrais (NPK 3-0-0 + 1 % MgO) présente des traces de phytotoxicité (Figure 2) et une forte électroconductivité (EC) (7,85 mS). Il est possible que la dose du produit de 50g par litre de substrat soit trop élevée et engendre des problèmes de salinité. En effet, une trop forte EC signifie une solution trop concentrée, et donc un stress pour la plante qui voit son milieu extérieur trop chargé en ions. Elle est obligée par principe d'osmose, d'essayer de réguler son milieu en exsudant de l'eau, ce qui a pour conséquence de la déshydrater. Une EC de substrat trop forte, est donc toxique pour la plante.



Figure 2 : phytotoxicity caused by modality G

3. Recherche de solutions alternatives en traitement de sol (1 essai)

Matériel et Méthodes

Localisation de l'essai

Site expérimental d'AREXHOR GRAND EST,

Matériel végétal

Buxus sempervirens cultivés en conteneur de 3 litres sont placés en extérieur pendant la saison de culture. L'essai sera réalisé en infestation naturelle.

Modalités de l'essai

La liste des modalités testées est présentée dans le tableau 3 ci-dessous :

Tableau 3 : détails des modalités testées/details of modalities tested

n°	Descriptif	Nom /Code du produit	Micro-organisme	Concentration (ufc/g)	Dose produit (g/l de substrat)	Nombre d'applications
M01	témoin non infesté	-	-	-	-	2 à l'eau claire
M02	Produit solo	Prestop	<i>Gliocladium catemulatum</i>	2.10^8	0.2 g/l	4
M03	Produit solo	Triamum P	<i>Trichoderma harzianum</i>	1.10^9	0.03 g/l	2
M04	Produit solo	Xédavir	<i>Trichoderma asperellum</i>	1.10^7	1 g/l	1
M05	Produit solo	Bio Humic	<i>Bacillus sp</i> + spore de <i>Trichoderma</i>	1.10^6	2 g/l	1
M06	Produit solo	Microflor	<i>Trichoderma harzianum</i>	1.10^6	0.01 g/l	2
			<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1.10^8		

Dispositif expérimental :

Le nombre de plants par parcelle est de 20 et la taille de la parcelle élémentaire est de 1m². Les modalités sont au nombre de 6. Au total, 120 plants ont été notés au sein de 6 parcelles.

Interventions

Les buis proviennent des pépinières Briant. Le rempotage a été effectué le 10 avril 2014, dans du substrat Klasmann 233 à base de tourbe blonde fertilisée avec de l'osmocote 8/9 mois 15.9.11. Un surfaçage a également été réalisé le 9 juillet 2015 (LD Nativ, 3g/l). Les végétaux sont cultivés en extérieur sur plateforme pépinière recouverte d'une toile hors-sol.

L'arrosage à l'eau claire se fait par aspersion. Aucun désherbage chimique n'a eu lieu pendant la saison de culture.

Les traitements ont été apportés entre 2 à 3 fois, avec un intervalle de 4 semaines à 10 semaines suivant les modalités, avec un volume de bouillie par pot de 300 ml répartis à la surface.

Résultats 2015 et Discussion

Le taux d'infestation faible des *Buxus* ne permet pas une réelle observation d'efficacité des produits utilisés dans cet essai mais donne cependant des tendances à confirmer avec une culture en pleine terre.

Cependant, en période d'infestation un peu plus forte, il semble que les produits à base de *Trichoderma sp.* (Triatum P, Xédavir et Microflor) des modalités M03, M04 et M06, permettent de limiter l'infestation ou de réduire son extension sur la plante.

Le produit utilisé en M02 (Prestop), nécessitant plus d'applications (4 traitements), ne semble pas avoir d'effet sur l'infestation du *Cylindrocladium* quel que soit le taux d'infestation. Les résultats obtenus étant quasi identiques à ceux obtenus pour la modalité témoin. En ce qui concerne le produit Gepac Bio Humique utilisé en M05, son effet reste très variable en fonction des notations, il ne semble donc pas pouvoir aider à la lutte contre *Cylindrocladium*.

Conclusion générale

En 2015 comme en 2014, la plupart des observations réalisées sur les stations de l'institut menant des essais en conditions semi-contrôlées se sont heurtées à la difficulté d'expression de la maladie en lien avec des conditions climatiques défavorables au champignon ; faible pluviométrie, fortes températures estivales combinées à une faible hygrométrie ont souvent nuit au développement de *C. buxicola*, qui n'a que rarement effectué un cycle complet malgré les moyens mis en œuvre pour le favoriser, compliquant ainsi la tâche d'interprétation.

Dans quelques cas, des niveaux d'infestation partiels ont parfois suffi pour mettre en évidence des efficacités intéressantes avec certains produits, mais le manque de répétabilité dans les résultats obtenus d'une année sur l'autre, ou d'une structure à une autre, constitue dans l'état actuel de nos travaux un frein à la l'identification de solutions efficaces, durables, aisément reproductibles par les utilisateurs.

Références bibliographiques

- (1) GRO-BARK. Boxwood blight - Technical Service Bulletin [En ligne]. Disponible sur : <http://www.gro-bark.com/brochures/ThermanSB005%20-%20Boxwood%20Blight.pdf> (consulté le 02/07/2014)
- (2) RICHARDS, Wally. Buxus disease - Articles from July 2010 to April 2009 [En ligne]. Gogama Screening Project. 2009. Disponible sur : www.gardennews.co.nz/a1month.html

- (3) GEHESQUIERE, Bjorn et al., 2014. Naar een geïntegreerde beheersing van de buxusziekte *Cylindrocladium buxicola*. Deel 2: Goede cultuur- en onderhoudspraktijken. De Boomkwekerij, (4), pp.19–21
- (4) GEHESQUIERE, B. et al., 2012. Identification of a second genotype within European populations of *Cylindrocladium buxicola*.
- (5) GEHESQUIERE, Bjorn. VAN REMOORTERE L., RYS F., VAN HUYLENBROECK J., HEUNGENS K., 2014. Algenmiddag bij WUR Naar een geïntegreerde beheersing van de buxusziekte *Cylindrocladium buxicola*. Deel 3: Optimaal gebruik van waardplantresistentie. Sierteelt & Groenvoorziening, n° 8, p. 23-26. [18887]
- (6) GEHESQUIERE, Bjorn. 2011. *Cylindrocladium buxicola* in Buxus : onderzoek naar de ontwikkeling van een cultivarspecifiek risicomodel [*Cylindrocladium buxicola* chez le buis : recherche sur le développement d'un modèle de risque propre à chaque cultivar]. Verbondsnieuws, (21), pp.24–26.
- (7) HENRICOT, Béatrice. Box blight – From a talk given by Dr Beatrice Henricot at the Royal Horticultural Society
- (8) DOUGLAS, S.M. Boxwood blight – a new disease for Connecticut and the US
- (9) VAN GASTEL, R., 2014. “Mulchen om *Cylindrocladium* te berpken”. De Boomkwekerij, n°15. 25/07/2014, p.29.
- (10) LEFORT, F. et al., 2013. La lutte microbiologique : des solutions douces contre les pathogènes et ravageurs du buis, Suisse: Hepia - Institut Terre Nature Environnement (InTNE)
- (11) GEHESQUIERE, B. et al., 2013. Naar een geïntegreerde beheersing van de buxusziekte *Cylindrocladium buxicola*. Deel 1: Een duurzame chemische bestrijding [Vers une maîtrise intégrée de la maladie du buis causée par *Cylindrocladium buxicola*. Première partie : une lutte chimique durable]. Sierteelt & Groenvoorziening, (21), pp.27–29.
- (12) GANCI, M., BENSON, D.M. & IVORS, K.L., 2013. Susceptibility of commercial boxwood taxa to *Cylindrocladium buxicola*. In Proceedings of the International Plant Propagators' Society 1014. pp. 369–370. Disponible sur : http://www.actahort.org/books/1014/1014_83.htm (consulté le 11/04/2014)

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**VERS UNE STRATEGIE DE GESTION DURABLE DE LA PYRALE DU BUIS *CYDALIMA PERSPECTALIS*
(WALKER 1859)**

M. GUERIN ⁽¹⁾, E. TABONE ⁽²⁾, J.-C. MARTIN ⁽²⁾, A. I. LACORDAIRE ⁽³⁾, C. GUTLEBEN ⁽¹⁾, F. ROBERT ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Plante & Cité, 26 rue Jean Dixméras 49066 ANGERS Cedex 1, France, maxime.guerin@plante-et-cite.fr, caroline.gutleben@plante-et-cite.fr

⁽²⁾ INRA PACA, Domain Saint-Paul, Site Agroparc, 84140 AVIGNON elisabeth.tabone@paca.inra.fr, jean-claude.martin@paca.inra.fr

⁽³⁾ Koppert France, 147 avenue des Banquets, 84300 CAVAILLON, France, ailacordaire@koppert.fr

⁽⁴⁾ ASTREDHOR, 44 rue d'Alésia 75682 PARIS Cedex 14, fabien.robert@astredhor.fr

RÉSUMÉ

Depuis 2014, des solutions de biocontrôle et autres méthodes alternatives à la lutte chimique sont expérimentées dans le cadre du programme SaveBuxus©. L'objectif de ce programme est de développer et proposer une stratégie de gestion qui soit durable contre les 2 principaux bio-agresseurs du buis en France métropolitaine qui sont : la pyrale du buis (*Cydalima perspectalis*) et la cylindrocladiose du buis (*Cylindrocladium buxicola*). Pour la pyrale, les axes travaillés sont : (i) l'étude de sa biologie, pour pouvoir notamment positionner aux mieux les interventions de gestion ; (ii) des tests avec des agents entomopathogènes qui ciblent les stades larvaires ; (iii) le piègeage phéromonal, qui cible les imagos ; (iv) la recherche de parasitoïdes oophages, qui ciblent les oeufs. Pour la cylindrocladiose, les axes travaillés sont : (i) la gestion préventive, avec la rédaction d'un guide de bonnes pratiques ; (ii) la tolérance variétale ; (iii) les produits alternatifs en traitement des parties aériennes ; (vi) les produits alternatifs en traitement de sol.

Mots-clés : pyrale du buis, maladies du dépérissement, biocontrôle, méthodes alternatives, stratégie globale.

ABSTRACT

TOWARDS A CONTROL STRATEGY AGAINST BOXTREE CATERPILLAR AND BOXBLIGHT

The aim of the trials program SaveBuxus is to build a control strategy against the 2 main damaging boxtree pests in France : the boxtree caterpillar (*Cydalima perspectalis*) and the boxblight (*Cylindrocladium buxicola*). Biocontrol and alternatives control methods are experienced since 2014. Works on the boxtree caterpillar investigate: its biology, to be able to use the methods at the right time; entomopathogenic organisms, to control carterpillars; pheromone traps, to control moths; oophagous parasitoids, to control eggs. Works on boxblight investigate: preventive control, a handbook on this topic was written; tolerance; alternative products used to spray aerial parts; alternative products used to spray soil.

Keywords: boxtree caterpillar, boxblight, biocontrol, alternative control methods, control strategy.

INTRODUCTION

Ces dernières années, les plantations de buis sont soumises à des attaques importantes de plusieurs bioagresseurs émergents qui causent de sérieux dégâts entraînant parfois leur dépérissement total dans de nombreux sites patrimoniaux, chez les particuliers et chez les pépiniéristes. La pyrale du buis (*Cydalima perspectalis*) et le dépérissement du buis induit par *Cylindrocladium buxicola*, sont à l'origine de déclin massifs de végétaux depuis la fin des années 2000 en France.

Les mesures actuelles de gestion sont souvent insuffisantes pour lutter efficacement contre ces bioagresseurs. Toutefois, certaines solutions biologiques encore peu étudiées constituent de réelles pistes pour mieux les combattre. Ces voies sont explorées et étudiées dans le cadre du projet collaboratif SaveBuxus pendant trois ans. Des études seront menées afin de mesurer leur intérêt pour construire et proposer des stratégies de gestion durables et respectueuses de l'environnement. Elles devront répondre aux demandes sociétale et règlementaire. Les travaux présentés dans cet article sont ceux qui ont été réalisés en 2014-2015 pour le volet Pyrale.

1. MATERIEL ET MÉTHODES

Le volet pyrale se décompose en 4 axes complémentaires (Figure 1) qui ont pour finalité l'élaboration d'une stratégie de contrôle (Consortium SaveBuxus, 2015 a) :

- 1 axe sur la biologie de l'insecte : cet axe permettra de mieux connaître la répartition et le cycle de développement de la pyrale en France Métropolitaine ;
- 3 axes sur la gestion du ravageur à ses différents stades : recherche de parasitoïdes oophages pour les œufs, tests d'agents entomopathogènes pour les stades larvaires et le piégeage phéromonal pour les papillons.

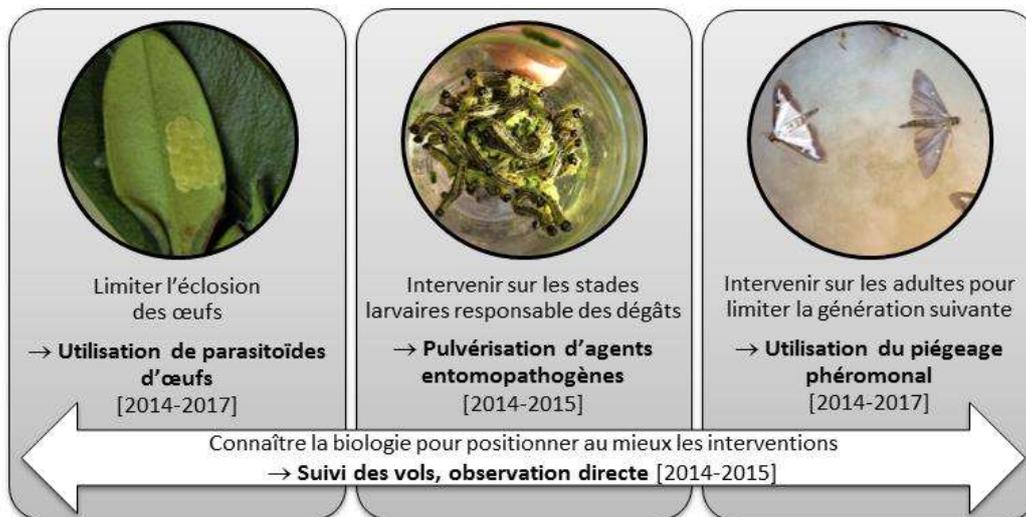


Figure 1 : Les 4 axes de travail du volet pyrale

Figure 1: The four items for the boxtree caterpillar

1.a. Protocole

Selon les axes étudiés, les tâches réalisées varient pour différentes raisons :

- Les axes sur la biologie, les agents entomopathogènes et le piégeage ont été directement travaillés sur le terrain, en mêlant observations, expérimentations et essais de valeur pratique. En effet, d'une part, des travaux de recherche précédents avaient mis en avant les pistes à explorer en conditions réelles (Kawazu et al., 1985), et d'autre part, des produits étaient disponibles à la vente pour réaliser ces tests.
- Pour l'axe parasitoïdes oophages, peu de travaux avaient été réalisés auparavant (Zimmermann et al., 2009), d'où la nécessité de travailler très en amont. Il fallait tout d'abord commencer par une phase de sélection pour trouver des souches d'auxiliaires potentiellement

candidates. Les expérimentations de terrain étaient prévues dans un second temps, selon les résultats obtenus lors de la 1^e phase.

1.a.i. Suivi de la biologie

Le suivi des populations de la pyrale a été réalisé sur une quinzaine de sites. En 2014, les partenaires n'ont réalisé qu'un suivi des vols. En 2015, le suivi des vols a été complété par des observations directes des buis : comptage des différents stades de la pyrale, évaluation du pourcentage de dégâts. Les observations ont été réalisées chaque semaine d'avril à novembre (Tableau I).

Tableau I : Protocole pour le suivi de la pyrale

Table I: for the biology of the pest; observations to do in the plots of trials

Matériel végétal	<i>Buxus sempervivens</i> . plantés dans des espaces verts, en linéaire ou isolés, pyrale présente sur le site depuis au moins 1 an . ou jeunes plants de buis cultivés en conteneur, pyrale inoculée par apport de chenilles (stade larve hivernante à raison de 5/plante), ou plants contaminés
Matériel d'observation	. Suivi des vols : pièges à entonnoir CameRatrap® équipés d'une phéromone 'PHERODIS® pyrale du buis' . Suivi des autres stades : observations directes dans des quadrats de 15 à 30 cm d'arête et de profondeur Figure 2 : Quadrat permettant de délimiter la zone de notation Figure 2: Quadrat used to delineate the area of observation (Droui A., GIE FPSO) 
Observations à réaliser	. Evaluation du % de dégâts exprimée en classes de 0 à 4 (0%, <10%, 10-50%, >50%) du plant ou du bloc . Comptage ou présence/absence des différents stades (ooplaques, chenilles < 2 cm et chenilles > 2 cm mortes ou vivantes, cocons pleins et vides, toiles) . Comptage du nombre de papillons capturés dans les pièges

Un suivi plus poussé de la biologie de l'insecte a également été réalisé aussi bien sur le terrain qu'au laboratoire, et en particulier dans le cadre de l'axe parasitoïdes oophages. Ceci, afin d'avoir une connaissance plus fine du cycle de développement et du comportement de la pyrale (accouplement, ponte ...).

1.a.ii. Agents entomopathogènes

En 2014, des essais en conditions contrôlées (ECC) et des essais de valeur pratique (EVP) ont été réalisés afin de tester l'efficacité des agents entomopathogènes disponibles sur le marché vis à vis de la pyrale : le *Bacillus thuringiensis var. kurstaki* et deux espèces de nématodes (*Steinernema carpocapsae*, *S. feltiae*). Le protocole est décrit dans le tableau II.

Tableau II : Protocole pour mesurer l'efficacité des agents entomopathogènes

Table II: Protocol to assess the effectiveness of entomopathogenic agents

I. Dispositif expérimental			
<u>Modalités à tester :</u>			
. M0 : Témoin : eau			
. M01 : spécialité Bactura DF (<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i> ABTS-351) à 0,1 kg/hL			
. M02 à M05 - Nématodes CAPSANEM (<i>Steinernema carpocapsae</i>) et ENTONEM (<i>S. feltiae</i>) à 2 doses différentes (2500 et 5000 individus/ml) utilisé avec un adjuvant 0.25% (ADDIT, huile de colza)			
ECC	10 buis/modalité	3 répétitions/site	3 structures partenaires
EVP	20 buis/modalité	1-2 répétitions/site	5 structures partenaires
III. Réalisation des traitements			
<u>Type de matériel :</u> pulvérisateur, pression à 3 bars maximum, pour un volume de bouillie à 1000 L/ha pour les ECC, ou au moins 500 L/ha pour les EVP			
<u>Fréquence et positionnement :</u>			
Plusieurs séries de 3 traitements à 7-10 jours d'intervalle à positionner :			
. ECC : 1 série au printemps (24-48 h après l'inoculation artificielle ou dès que la présence de chenilles est observée), 1 en été (juin-juillet)			
. EVP : 2-3 séries de traitement (1/génération de chenille), sur les stades les plus jeunes possibles			
IV. Observations			
Pour chaque série de traitements, 5 observations ont été réalisées : à J0, J+3 du 1 ^e traitement, J0 au 2 ^e traitement, J0 au 3 ^e traitement, J+7 après le 3 ^e traitement. Les observations étaient similaires à celles réalisées pour le suivi de la biologie.			

En 2015, des essais complémentaires ont été réalisés pour explorer les conditions permettant d'optimiser l'efficacité des traitements à base de *Bt. var kurstaki*. Ces essais de valeur pratique ont permis de tester l'influence du type de pulvérisateur utilisé, du volume de bouillie et de l'ajout d'un adjuvant. 8 modalités ont été testées sur 2 sites (Tableau III).

Tableau III : Protocole pour évaluer les conditions permettant d'optimiser la pulvérisation
 Table III: Protocole to assess the circumstances to optimize the spray

I. Dispositif expérimental					
Caractéristique des sites :					
	Configuration	Parcelle élémentaire	Nombre de points de mesure		
Site 1	Triple alignement	1 alignement	4 * 3 blocs		
Site 2	Encadrement de pied d'arbre	1 face d'encadrement	3 * 4 blocs		
Modalités à tester :					
MODALITE	SITE	PULVERISATEUR	VOLUME DE BOULLIE (L/ha)	SPECIALITE	DOSE
M1	1	A dos à jet projeté (4-5 bars)	800	SPRUTZIT EC (huile de colza et pyrèthres naturels) → référence	10 L/ha
M2				BACTURA DF (<i>Bacillus thuringiensis var.kurstaki</i>)	0,75 kg/ha
M3			500	BACTURA DF	0,75 kg/ha
M4				BACTURA DF + SQUAD (Huile de colza)	0,75 kg/ha + 0,15%
M5	2	Atomiseur (pneumatique) à jet porté	300-400	BACTURA DF	0,75 kg/ha
M6				BACTURA DF + SQUAD	0,75 kg/ha + 0,15%
M7			600	BACTURA DF	0,75 kg/ha
M8				BACTURA DF + SQUAD	0,75 kg/ha + 0,15%
II. Réalisation des traitements :					
2 traitements : le 1 ^e à faire dès la reprise d'activité des chenilles hivernantes, le 2 ^e 13 jours plus tard					
III. Observations					
6 observations ont été réalisées : avant le 1 ^e traitement, à J+6 du 1 ^e traitement, J0 du 2 ^e traitement, J+6 du 2 ^e traitement, J+15 jours du 2 ^e traitement. Les observations étaient similaires à celles réalisées pour le suivi de la biologie pour évaluer l'efficacité du traitement. En complément, l'utilisation de papier hydrosensible permettait d'évaluer la qualité de la pulvérisation.					

1.a.iii. Piégeage

Entre 2014 et 2015, différents types de tests ont été réalisés afin d'évaluer le kit piège-diffuseur le plus adapté au suivi des vols de pyrale mais également pour commencer à travailler le piégeage de masse (Figure 2). Les protocoles sont décrits dans le Tableau IV.

Figure 2 : Site accueillant les essais sur le piégeage de masse

Figure 2: Plot where mass trapping is tested (JC. Martin, INRA)



1.a.iv. Parasitoïdes oophages

Ce volet innovant consistait à étudier le potentiel de certaines espèces de parasitoïdes oophages (micro-hyménoptère) pour parasiter les œufs de pyrale du buis. Pour ce faire, 54 souches de trichogrammes, issues de la collection de l'INRA d'Antibes, ont été testées dans des tubes de

plexiglass®. Après 48h, les nombres d'œufs parasités ou avortés, ainsi que le nombre de chenilles développées ont été comptabilisés (Figure 3). Les causes de variabilité en terme d'efficacité ont été étudiées et les meilleurs candidats ont été testés en mésocosme sur plantes entières pour confirmer leur potentiel. Par la suite, ces candidats feront l'objet de lâchers *in situ*.

De plus, le potentiel de la génération fille (F1), qui correspond aux trichogrammes émergents des œufs de pyrale parasités, a également été évalué pour étudier la capacité des populations introduites à pouvoir se reproduire.

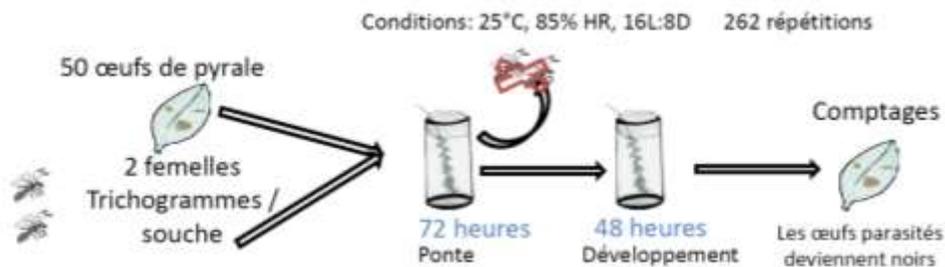


Figure 3 : Etapes pour la sélection des souches de trichogramme au laboratoire (UEFM, INRA)

Figure 3: Steps to select trichogramma strains at the laboratory

Afin de trouver des parasitoïdes indigènes, un appel à contribution pour la collecte de pontes de pyrale a été initié sur l'ensemble du territoire via Plante & Cité et les réseaux des partenaires du projet.

1.b. Partenaires observateurs et expérimentateurs

L'ensemble des travaux a bénéficié du soutien d'un réseau de 23 structures partenaires qui ont participé aux axes biologie, agents entomopathogènes et piégeage (Figure 4).



Figure 4 : Partenaires 2014-2015 du réseau SaveBuxus Volet Pyrale

Figure 4: Partner structures - Item boxtree caterpillar

Tableau VI : Tests réalisés dans le cadre de l'axe piégeage

Table VI : Trials on monitoring and mass trapping

Type de test	Période	Modalités	Parcelles test	Nombre de répétition	Observations
Comparaison des modèles de piège	2014	. 5 pièges comparés : Entonnoir, CAMERatrap®, Cooper Mill Gypsy Moth®, DELTatrap®, Procerex®/PROCESSatrap Expert . Diffuseur CpeX211	1 site de type « parc » comportant des buis isolés de forme arbustive	8	. Nombre de papillons capturés, relevés hebdomadaires pendant toute la durée des vols
Comparaison des diffuseurs	2014-2015	. 2014 : 3 modèles commercialisés + 1 modèle expérimental (CpeX211) . 2015 : 3 modèles commercialisés + 2 modèles expérimentaux . Dans des pièges à Entonnoir	. 2014 : 1 site de type « parc » comportant des buis isolés de forme arbustive . 2015 : 3 sites de type « haie »	6 à 7	. Nombre de papillons capturés, relevés hebdomadaires pendant toute la durée des vols
Evaluation de l'efficacité du prototype de piège (Buxatrap®)	2014	. Prototype comparé au piège à Entonnoir et au piège CAMERatrap® . Diffuseur CpeX211	1 site de type « parc » comportant des buis isolés de forme arbustive	7	. Nombre de papillons capturés, relevés hebdomadaires pendant toute la durée des vols
Comparaison de la hauteur de pose	2014	1,5 m et 0,25 m du sol	1 site de type « haie »	1	. Nombre de papillons capturés, relevés hebdomadaires pendant toute la durée des vols
Développement de la stratégie de piégeage de masse (Figure 2)	2015	. Pièges BUXatrap® (x45) et CAMERatrap (x5) installés à une densité de 1/100 m ²	Parcelle de 5000 m ² dans une roseraie disposant de petits buis de bordure	1	. CAMERatrap® : nombre de papillons capturés, relevés hebdomadaires pendant toute la durée des vols . BUXatrap® : nombre de papillons capturés à la fin de chaque vol . Evaluation des dégâts et dénombrement des chenilles avant l'expérimentation puis à la fin de chaque vol

2. RESULTATS

2.a. La biologie et la répartition de la pyrale du buis en France Métropolitaine

2.a.i. Un ravageur de plus en plus omniprésent

Originnaire d'Asie Orientale, la pyrale du buis a été signalée pour la 1^e fois en Europe en Allemagne en 2007 dans la région de Bale. Arrivée en 2008 par l'Alsace (Brua, 2014), la pyrale est présente fin 2015 dans 86 départements (Réseau SBT, 2009-2015). Elle est désormais disséminée dans l'ensemble des régions (Figure 5). La pression est particulièrement forte au niveau de la petite couronne parisienne, de l'Alsace, de la région Bordelaise, de la région Rhône-Drôme, de l'Est PACA, et depuis 2015 au sud de la Bretagne et dans la moitié sud des Pays de la Loire (Guérin, 2016).

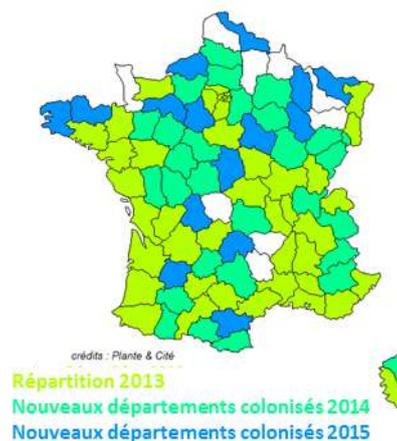


Figure 5 : Carte de répartition de la pyrale en France métropolitaine en décembre 2015

Figure 5: Distribution map of the boxtree caterpillar in France in December 2015

2.a.ii. Un mois et demi de l'œuf au papillon

A 25 °C, la durée totale du cycle est de 45 jours en moyenne. Les femelles adultes vivent en moyenne 12 jours contre 15 pour les mâles. On compte autant de mâles que de femelles dans les populations observées. Tout au long de sa vie, une femelle pond un total de 800 oeufs (+/- 300) (Figure 6) (Tabone et al., 2015).

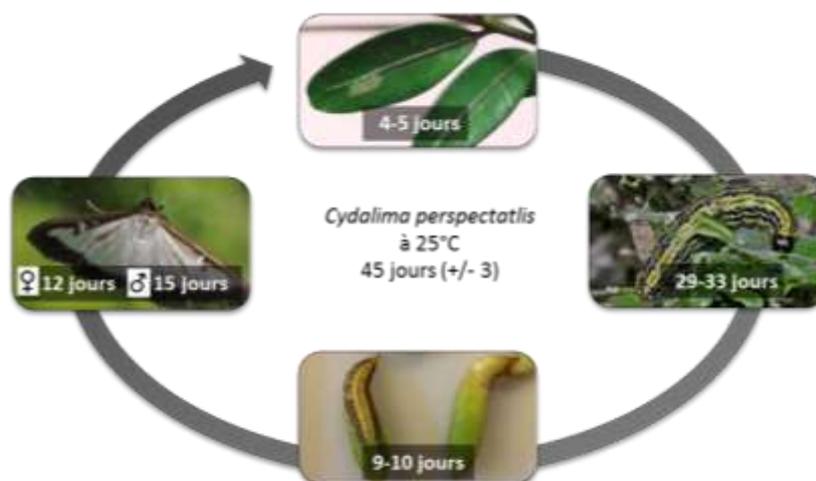


Figure 6 : Cycle biologique de la pyrale du buis à 25°C au laboratoire (d'après Tabone et al., 2015)

Figure 6: Life cycle of the boxtree caterpillar at 25°C at the laboratory

2.a.iii. Une dynamique de développement complexe et variable

La pyrale est capable d'adapter son cycle de développement aux conditions locales (en fonction de la durée du jour, de la température et de l'humidité notamment). Ainsi, il est observé :

- . un décalage du cycle de développement de 2 à 4 semaines entre le Sud et le Nord de la France ;
- . un nombre de générations variable (2 à 4 générations/an) ;
- . des variations des périodes de vols d'année en année en fonction des conditions météorologiques (Guérin, 2016).

En France, les chenilles hivernantes reprennent leur activité de début mars à mi-avril, selon la situation géographique et les caractéristiques propres de chaque chenille. Cette 1^{ère} génération est observée de mars à juillet, avec des vols courant juin. La 2^{ème} génération s'observe de juin à mi-août, avec des vols en août. A partir de fin juillet-début août, les stades et générations se chevauchent, les vols s'observent

en continu (Figure 7). Le nombre d'individus se démultiplie. Selon les régions, on observe de 2 à potentiellement 4 générations (Guérin, 2016).

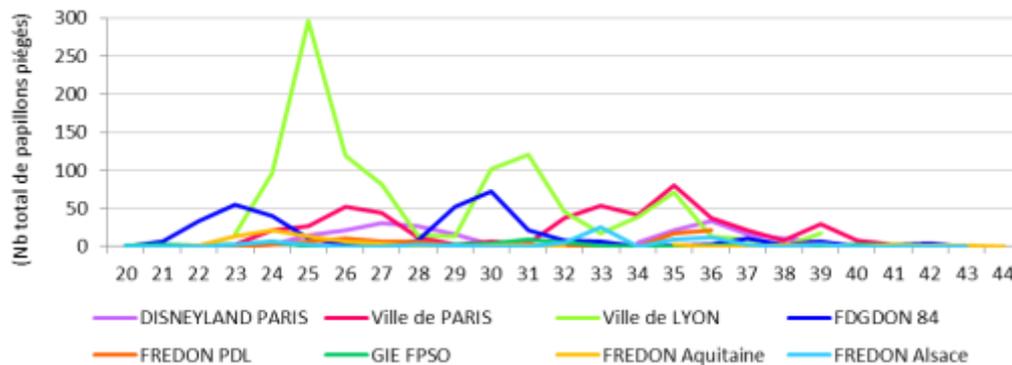


Figure 7 : Courbes de vol 2015
Figure 7: Flight curves in 2015

Les dégâts sont observés à partir de mars-avril avec la reprise d'activité des chenilles. On peut voir dès cette époque des défoliations quasi-totales des arbustes touchés sur les sites les plus lourdement infestés (Figure 8). Ils augmentent progressivement jusqu'à juin, puis ne progressent plus lorsque les chenilles arrêtent de s'alimenter et entrent en nymphose. Les buis émettent alors de nouvelles pousses. Mais dès juillet-août, du fait du chevauchement des stades et générations, des chenilles qui s'alimentent sont présentes en continu. En septembre, les dégâts sont très importants et lorsque le feuillage est largement consommé, les chenilles finissent par décaper l'écorce des rameaux. On observe alors de plus en plus de dépérissements de buis.



Figure 8 : Buis défolié par la 1^e génération de chenilles dès mi-avril
Figure 8: Boxtree completely eaten by the caterpillars in mid-April (Guérin M., Plante & Cité)

Les 1^{ers} cocons d'hivernation sont visibles dès les 1^{ères} vagues de froid soit en septembre pour les années à automne frais (dont 2015) ou à partir d'octobre les autres années. Les dernières chenilles actives entrent en hibernation début novembre. En octobre, on observe donc simultanément cocons d'hivernation et chenilles actives. Selon les sites, le stade larvaire hivernant peut varier (L2 à L5) (Guérin, 2016).

La pyrale du buis se développe sur le genre *Buxus* (CABI, 2011). En France, elle s'observe aussi bien sur buis d'ornement que dans les pépinières, sur buis plantés dans les parcs et jardins que sur buis spontanés dans les espaces naturels (DSF, 2014). Elle est remarquée ponctuellement sur d'autres essences, mais aucun cas de consommation du feuillage par les chenilles n'a à ce jour été rapporté, que ce soit sur le terrain (Guérin, 2016) ou lors de tests d'appétence sur *Ilex crenata* (com. Tabone, 2014).

2.b. Une stratégie de gestion en construction

Les différents travaux conduits ont permis de démontrer que des solutions déjà commercialisées sont efficaces, si elles sont utilisées dans les bonnes conditions. En complément, la gamme pourrait potentiellement être complétée dans le futur par les trichogrammes, ceux-ci s'ajouteraient aux produits de biocontrôle permettant ainsi de lutter contre tous les stades de ce ravageur.

2.b.i. Le *Bacillus thuringiensis kurstaki* (Btk) efficace, les nématodes non adaptés

Les essais réalisés en 2014 sur les chenilles démontrent l'efficacité supérieure du Btk dans les modalités testées pour gérer les foyers de pyrale (Figure 9). En effet, il s'agit de la seule modalité où les dégâts ont pu être stoppés et où jusqu'à 100% de mortalité des populations larvaires ont été observés une

semaine après le 1^e traitement quelles que soient les conditions (configuration végétale du buis, pression parasitaire, générations du ravageur, zone géographique, ...). Dans les tests réalisés, tous les stades larvaires de la pyrale du buis semblent sensibles à la souche ABTS-351 : un seul traitement peut donc s'avérer suffisant s'il est bien positionné. Sur certains sites, un 2^{ème} traitement a permis de contrôler les jeunes larves nouvellement apparues par réinfestation naturelle.

Les 2 espèces de nématodes testées ont une efficacité variable sur chenilles et n'ont pas permis de contrôler suffisamment le ravageur : il a été observé une réduction des infestations dans certains cas mais pas de contrôle total du ravageur. Aucun effet dose n'a pu être mis en évidence. Utilisées seules, ces espèces de nématodes ne sont donc pas adaptées pour lutter contre la pyrale du buis (Consortium SaveBuxus, 2015 b).



Figure 9 : Parcelles d'essais au Parc de la Tête d'Or à Lyon, août 2014 (Stéphane RAPHOZ, Ville de Lyon)
Figure 9: Test plot at the Parc de la Tête d'Or in Lyon in August 2014

Les résultats des essais de pulvérisation réalisés en 2015 démontrent que quelle que soit la technique, il reste difficile de faire pénétrer la bouillie jusqu'au cœur du buis. Le végétal est très dense et la pénétration reste aléatoire. Cependant, certaines modalités permettent d'améliorer sensiblement la pénétration dans la plante et sa couverture, et donc l'efficacité globale du traitement. Dans le cadre de ces essais, c'est l'atomiseur qui apparaît comme le matériel le plus adapté pour lutter contre la pyrale du buis, l'augmentation du volume de bouillie n'apportant pas de plus-value. En revanche, pour le pulvérisateur à dos, l'augmentation du volume de bouillie permet d'améliorer la qualité de la pulvérisation. A noter que, dans le cadre de ces essais, l'ajout d'un adjuvant n'a pas apporté d'amélioration significative quelle que soit la modalité. Enfin, ces travaux ont permis de démontrer que l'huile de colza associée aux pyrèthres naturels possédait une efficacité au moins équivalente au Btk ABTS-351 sur la 1^{ère} génération de pyrale (Consortium SaveBuxus, 2016).

2.b.ii. Du monitoring au piégage de masse

Concernant les diffuseurs, des différences importantes d'efficacité ont été observées entre 2014 et 2015 :

- En 2014, seule le diffuseur CpeX211 a montré une très bonne attraction, avec une persistance d'action bien supérieure aux autres formulations. Les phéromones déjà commercialisées se sont révélées être peu attractives (Figure 10) (Martin et al, 2015).
- En 2015, les phéromones commercialisées étaient toutes attractives et donc adaptées

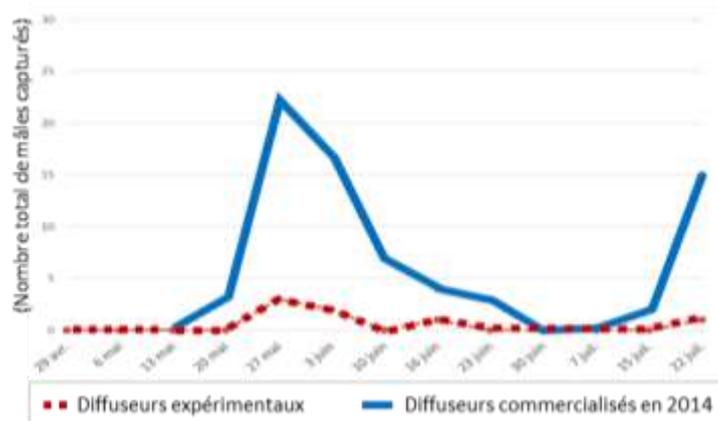


Figure 10 : Courbes de vol 2014 pour les tests diffuseurs
Figure 10: Flight curves for dispenser tests in 2014

pour réaliser un suivi des vols. Cependant, des différences s’observent toujours sur la persistance de diffusion des phéromones : la plupart doivent être changées entre chaque vol (tous les 2 mois) tandis que Ginkobuxus® (= diffuseur CpeX211 de 2014) reste attractive tout le long de la saison (6 mois) et ne nécessite aucun renouvellement. Les autres phéromones expérimentales 2015 étaient en revanche peu attractives.

Les pièges les plus performants pour capturer les papillons mâles de la pyrale du buis sont les pièges à eau de type Entonnoir et le CAMERatrap®, capables de détecter la présence de papillons même pour des niveaux de populations très faibles. Les autres modèles de piège ne se sont pas révélés suffisamment efficaces. Les pièges doivent être installés de préférence à hauteur d’homme, au risque, près du sol, de piéger davantage d’organismes non cibles (lézards, petits rongeurs) (Martin et al, 2015).



Figure 11 : Résultats comparatifs d’efficacité des 5 modèles de pièges testés

Figure 11: Results for the comparison of effectiveness of the 5 traps tested

(a) , (b) : groupes de souches d’efficacité significativement différente

Adaptés pour le suivi des vols, les pièges à eau permettent de comptabiliser facilement le nombre de papillons capturés. En revanche pour le piégeage à grande capacité, dont l’objectif est de diminuer la pression parasitaire, une amélioration des pièges s’avérait nécessaire (en terme de performance et praticité). Aussi, c’est au cours du projet que l’INRA a développé un prototype commercialisé aujourd’hui par la société Koppert sous le nom commercial BUXatrap®. Ce piège possède un fort potentiel de captures (équivalent voire supérieur à celui des pièges à eau) et est facile d’utilisation. En effet, il s’utilise sans eau, et les papillons se dégradent naturellement (par l’action de la chaleur, de la lumière, et consommés par des fourmis ...). Il ne nécessite donc plus d’entretien hebdomadaire. Son autre atout est sa taille et sa couleur discrète, qui lui permettent de mieux s’intégrer aux haies et massifs (Martin et al, 2015). Les expérimentations doivent se poursuivre pour affiner la stratégie de piégeage à mettre en œuvre (densité des pièges en fonction de la configuration du site et de la pression de pyrale), 2015 ayant constitué une année exploratoire.

2.b.iii. Des souches de trichogramme capables de parasiter les œufs de pyrale

Sur l’ensemble des souches testées en tubes, 5 se distinguent par leur efficacité, dont 3 souches indigènes (Figure 13). Elles peuvent engendrer parfois jusqu’à 100 % de mortalité globale. Chaque femelle est capable de tuer jusqu’à 12 œufs, et 3-4 œufs de trichogramme sont pondus en moyenne par œuf de pyrale (Figure 12) (Enriquez et al. 2015, Tabone, 2015). Ce phénomène offre des perspectives intéressantes en terme d’efficacité des descendants des populations lâchées. Ceci sera pris en compte dans la stratégie de lâchers. En effet,



Figure 12 : Pontes de pyrale parasitées par des trichogrammes (E. Tabone, INRA)

Figure 12: Box tree moth eggs

il serait possible de limiter à 2 lâchers pour les 2 premiers pics parasitized by trichogrammas du ravageur.

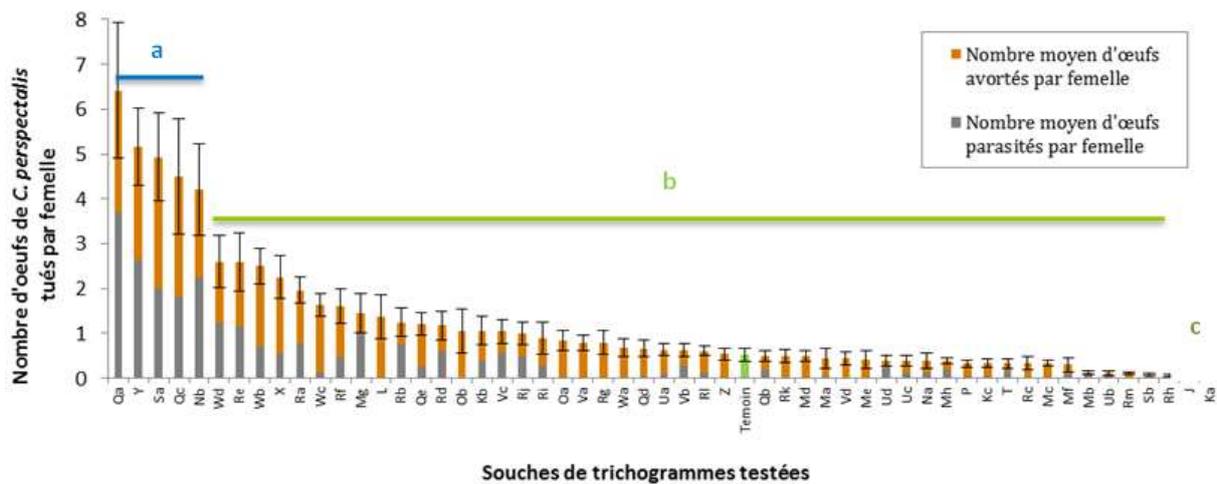


Figure 13 : Moyenne du nombre d’œufs de pyrale tués (avortement et parasitisme) par femelle trichogramme pour chaque souche
 Figure 13: Average number of box tree moth eggs killed (abortion and parasitism) per female for each trichogramma strain
 a, b, c : groupes de souches d’efficacité significativement différente

La suite des travaux a été réalisée sur les 3 souches indigènes les plus efficaces. L’efficacité, variable entre différentes femelles d’une même souche, semble conditionnée par les œufs de pyrale en tant que tel.

Concernant la génération F1, les femelles sont globalement plus grandes et plus fécondes que leurs parents et semblent plus efficaces pour parasiter les œufs de pyrale.

Enfin, concernant la récolte de ponte, très peu de retours ont été obtenus et ils n’ont pas permis d’identifier de parasitoïdes spontanés. En effet, il s’est avéré très difficile pour les professionnels n’ayant jamais observé d’œufs auparavant de réussir à trouver des pontes de pyrale.

UNE STRATEGIE GLOBALE ADAPTEE

1^{ers} éléments pour la gestion des populations de pyrale du buis

Comme pour toute stratégie de gestion, les opérations réalisées ne peuvent être efficaces que si elles sont positionnées au bon moment du cycle de développement du ravageur. Un suivi rigoureux de la biologie de l’insecte sur le site géré reste indispensable, notamment par le piégeage des papillons mâles.

Les traitements à base de Bt var. kurstaki ABTS-351 sont efficaces pour contenir les populations de pyrale et limiter ainsi les dégâts. Ils doivent être positionnés dès la reprise d’activité des larves hivernantes. Cependant, en fonction des situations, des traitements supplémentaires peuvent être envisagés une semaine après le pic des vols des générations suivantes si nécessaire.

Les différents suivis et essais réalisés dans le cadre du programme SaveBuxus ont permis de constater que les pratiques suivantes conduisent à une réduction des populations et une limitation des dégâts :

1-PROPHYLAXIE :

- a. Supprimer les feuilles mortes et autres débris présents dans, sur et autour du buis concerné
- b. Supprimer manuellement les stades du ravageur en présence dans le cas d'une faible infestation

2-SUIVI/MONITORING :

- a. Observer minutieusement tous les nouveaux pieds achetés ou à planter
- b. Surveiller les buis de manière régulière et avec soin (jusqu'au cœur de la plante) à la recherche de chenilles hivernantes pour intervenir le plus tôt possible en adaptant les méthodes de protection dès la fin de l'hiver (février-mars)
- c. Surveiller les vols des papillons, avec des pièges à entonnoir à eau, associés à la phéromone sexuelle de la pyrale, du printemps à l'automne (avril-octobre)
- d. Surveiller également l'apparition des 1^{ères} chenilles de chaque génération

3-LUTTE :

- a. Effectuer un traitement à base de Bt var. kurstaki ABT-351 ou d'huile de colza+ pyrèthre dès la reprise d'activité des chenilles hivernantes, de préférence avec un atomiseur, ou avec un pulvérisateur à dos pour lequel le volume de bouillie permet d'atteindre la limite de ruissellement
- b. Traiter 1 semaine après les pics de vol si besoin (en cas de réinfestation par exemple, constater la présence de chenilles)*

** !!! Certaines spécialités ne peuvent être utilisées qu'un nombre de fois limité par saison, vérifiez les conditions d'emploi sur l'étiquette*

DISCUSSION

Des difficultés méthodologiques n'ont pas toujours permis d'obtenir des réponses aussi précises qu'attendues. En effet, face aux dégâts parfois conséquents que la pyrale peut engendrer, certains sites faisant l'objet d'un suivi ont dû subir un traitement pour limiter l'invasion des ravageurs. Dans ce cas, les suivis ont été interrompus, et ne permettent pas d'établir les conclusions des travaux réalisés. Par ailleurs, pour sauvegarder la santé des buis, il n'a pas été possible de mettre des témoins dans les dispositifs et de fait, l'efficacité n'est peut être pas évaluée au plus juste.

Cependant, malgré ces difficultés, ces suivis et essais ont permis d'améliorer les connaissances sur le développement de la pyrale en France. Il apparaît qu'il diffère légèrement de ce qui est observé dans sa région d'origine, et ouvre des réflexions pour la mise en œuvre d'une stratégie de gestion. Ces avancées permettront, ainsi, aux professionnels et aux particuliers de disposer de techniques innovantes et adaptées pour la gestion du ravageur.

Ces travaux ont également montré l'adaptation des écosystèmes à l'arrivée de ce nouvel intrus. En effet, les premières années, les oiseaux, telles que les mésanges, grandes prédatrices de chenilles, n'avaient pas d'appétence particulière pour cet insecte. Depuis 2-3 ans cependant, il est observé de plus en plus régulièrement des mésanges, geais ou autres espèces en train de consommer des chenilles de pyrale.

Comme pour la gestion de la processionnaire du pin¹, la mésange pourrait donc aussi ici constituer une alliée de poids pour lutter contre la pyrale du buis, notamment dans les buxeraies naturelles de plus en plus menacées par ce ravageur. D'autres insectes peuvent également contribuer à réduire la

¹ Escalon S., 2013. *Chenille processionnaire : les armes de la contre attaque*. INRA ([http://www.inra.fr/Grand-public/Sante-des-plantes/Tous-les-dossiers/Processionnaire-du-pin-une-chenille-haute-surveillance/Chenille-processionnaire-les-armes-de-la-contre-attaque/\(key\)/6](http://www.inra.fr/Grand-public/Sante-des-plantes/Tous-les-dossiers/Processionnaire-du-pin-une-chenille-haute-surveillance/Chenille-processionnaire-les-armes-de-la-contre-attaque/(key)/6), consulté le 30/06/16)

pression de la pyrale, comme par exemple, des guêpes² qui peuvent consommer les chenilles et certaines espèces de mouche capables de les parasiter (tachinaires à priori, à confirmer)³.

En complément des solutions existantes, de futurs lâchers de parasitoïdes oophages pourront parfaire la lutte en tuant un pourcentage important d'œufs, l'objectif étant de réduire le ravageur à tous les stades de son développement. Ceci permettrait de gérer de façon durable cette espèce invasive en créant des équilibres, si une partie des auxiliaires se maintenait. Des exemples existent en France, comme dans le cas du flatide pruineux (*Metcalfa pruinosa*) et de son parasitoïde *Neodryinus typhlocybae*. Des programmes de lâchers ont été organisés localement (en Corse par exemple⁴), et ont permis de baisser significativement les niveaux de populations de ce ravageur.

CONCLUSION

Les travaux du projet SaveBuxus ont permis de mieux connaître la biologie de la pyrale du buis afin d'adapter des moyens de protection existants. La recherche de solutions de biocontrôle pour la gestion de ce ravageur en pleine expansion, a apporté des réponses concrètes avec la conception d'un nouveau piège BUXatrap® et la phéromone sexuelle. Les axes biologie et agents entomopathogènes se sont clôturés en 2015.

A l'écriture de cette communication, les travaux continuent en 2016 sur les autres axes :

- Pour le piégeage phéromonal : poursuite des travaux sur le piégeage de masse ou à grande capacité (densité de pièges en fonction de la pression parasitaire) et 1^{ère} expérimentation sur un programme *Btk* et piégeage de masse ;
- Pour les parasitoïdes oophages : poursuite des tests en mésocosmes, de l'étude comportementale, de l'étude des générations filles de trichogramme, et mise au point d'une stratégie de lâchers.

De plus, en parallèle du programme SaveBuxus, d'autres programmes de recherche et d'expérimentation complémentaires sur la biologie et la gestion de la pyrale sont en cours en France. Par exemple, dans le cadre du projet Optim'phéro⁵, des tests de confusion sexuelle sont réalisés. L'innovation se trouve ici dans la nature même du diffuseur qui est biodégradable. Si cette technique fonctionne, elle pourrait venir compléter la gamme des méthodes existantes. Par ailleurs, le projet INCA se sert du modèle pyrale du buis pour étudier les invasions biologiques. Les connaissances de la biologie et de l'écologie de ce ravageur en France seront dans ce cadre largement approfondies.

REMERCIEMENTS

Le consortium SaveBuxus (Plante & Cité, ASTREDHOR, INRA UEFM, Koppert France) tient à remercier l'ensemble des partenaires ayant contribué au programme, ainsi que l'Onema (plan Ecophyto), l'interprofession Val'hor, la Fondation de France, le Ministère en charge de la Culture, de l'Agriculture et de l'Environnement pour leur soutien technique ou financier.

BIBLIOGRAPHIE

Brua C. (2014). *La pyrale du buis. Le point sur cette espèce envahissante*. Phytoma : la santé des végétaux, n°675, p.16-22

² Marchand C., 2015. *Les guêpes pourraient être une prédatrice de la chenille de la pyrale du buis*. Blog 'Pyrale du buis' (<http://www.lapyraledubuis.com/les-guepes-predateurs-des-chenilles-de-la-pyrale-du-buis/>), consulté le 23/06/16)

³ Carcassès G., 2015. *Un parasite sur la pyrale du buis ?*. Blog 'Nature en ville'

(<https://natureenvilleacergyponoise.wordpress.com/2015/09/25/un-parasite-sur-la-pyrale-du-buis/>), consulté le 23/06/16)

⁴ Fredon Corse, 2016. *Metcalfa pruinosa, un ravageur très polyphage*. FREDON Corse (<http://www.fredon-corse.com/ravageurs/metcalfa-pruinosa.htm>), consulté le 30/06/16)

⁵ Le Crenn P., 2016. *OPTIM'PHERO : une application innovante de phéromones*. INRA (<http://www.inra.fr/Entreprises-Monde-agricole/Resultats-innovation-transfert/Toutes-les-actualites/OPTIM-PHERO>), consulté le 30/06/16)

- CABI (2011). *Cydalima perspectalis (box tree moth)*. <http://www.cabi.org/isc/datasheet/118433> (consulté le 23/06/16)
- Consortium SaveBuxus (2015 a). **Un programme national pour mettre au point et évaluer des solutions de biocontrôle contre la pyrale et le dépérissement du buis**. Edition Astredhor-Plante & Cité, 4 p.
- Consortium SaveBuxus (2015 b). **Synthèse 2014 - Volet « Pyrale du buis »**. Edition Astredhor-Plante & Cité, 4 p.
- Consortium SaveBuxus (2016 a). **Synthèse 2015 - Volet « Pyrale du buis »**. Edition Astredhor-Plante & Cité (en cours de publication).
- DSF (2014). **Un point sur deux problèmes sanitaires du buis**. Fiche informations techniques du DSF (2 p.)
- Enriquez, T., Giorgi, C., Venard, M., Colombel, E., Gaglio, F., Buradino, M., Martin, J. C., Tabone, E. (2015). **Des souches de trichogrammes contre la pyrale du buis**. Phytoma (685), 21-24.
- Guérin M (2016). **SaveBuxus, Volet Pyrale - Suivi de la biologie : Compte-rendu 2015**. Edition Plante & Cité (11 p.)
- Kawazu K., Honda H., Nakamura S., and Adati T., 2007. **Identification of sex pheromone components of the box tree pyralid, *Glyphodes perspectalis***. *J. Chem. Ecol.*, 33, 1978-1985.
- Martin JC., Brinquin AS., Morel E., Tabone E., Guérin M. **Vers un outil de biocontrôle innovant et performant contre la pyrale du buis**. Phytoma n°680 janvier 2015, p. 41-44
- Réseau de surveillance biologique du territoire (2009-2015). **Bulletins de santé du végétal**. http://www.ecophytozna-pro.fr/bulletins_de_sante/index/n:187 (consulté le 23/06/16)
- Tabone, E. (2015). **SaveBuxus: une solution de biocontrôle contre la pyrale du buis**. La Lettre INRA aux entreprises (77).
- Tabone E., Enriquez T., Giorgi C., Venard M., Colombel E., Gaglio F., Buradino M., Martin J.-C. (2015). **Mieux connaître la pyrale du buis *Cydalima perspectalis***. Phytoma n°685 juin-juillet 2015, p.18-20
- Zimmermann O., Albert R., Wührer B. (2009). **New pests - known control methods: First experience with *Trichogramma* releases against the box-tree pyralid *Diaphania perspectalis* and the banana moth *Opogona sacchari* in Germany**. *J. Plant. Dis. Protect.*, 116, p. 90

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**ETUDE DE LA GENERATION FILLE DES PARASITOÏDES (F1) DANS LA MISE EN PLACE D'UN PROGRAMME
DE LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE LA PYRALE DU BUIS, *CYDALIMA PERSPECTALIS* (WALKER, 1859)
(LEPIDOPTERA : CRAMBIDAE)**

M. VENARD⁽¹⁾, T. ENRIQUEZ⁽¹⁾, E.-A. COLOMBEL⁽¹⁾, E. TABONE⁽¹⁾

⁽¹⁾ UEFM INRA PACA, Site Villa Thuret, 90 Chemin Gustave Raymond, 06160, Antibes, France
elisabeth.tabone@paca.inra.fr

RÉSUMÉ

La pyrale du buis, *Cydalima perspectalis*, est un ravageur, de l'est de l'Asie, invasif en Europe. Les chenilles de ce lépidoptère défolient entièrement les plants de buis ; ce qui les affaiblit et peut conduire à leur mort. Dans le cadre du programme ©SaveBuxus, l'équipe de l'INRA UEFM cherche des parasitoïdes efficaces des œufs de la pyrale. Après la mise en place de l'élevage de *Cydalima perspectalis* en laboratoire (25±1°C, 75±5%HR, 16L : 8D), des femelles *Trichogramma sp.* ont été mises en présence d'œufs de pyrale dans des tubes en plexiglas avec du miel. Sur 54 souches testées provenant de la collection de *Trichogramma* de l'INRA UEFM, 3 souches indigènes présentent un taux de parasitisme intéressant. Les descendants de la souche Y montrent une taille et une efficacité supérieure à celles de leurs parents. Une lutte à l'aide de ces parasitoïdes oophages semble tout à fait envisageable.

Mots-clés : *Cydalima perspectalis*, buis, parasitoïdes oophages, *Trichogramma spp.*, biocontrôle.

ABSTRACT

PARASITOIDS DAUGHTER GENERATION'S STUDY IN THE BIOLOGICAL CONTROL PROGRAM SETTING UP AGAINST THE BOX TREE MOTH, *CYDALIMA PERSPECTALIS* (WALKER, 1859) (LEPIDOPTERA : CRAMBIDAE), WITH OOPHAGOUS PARASITOIDS

The box tree moth, *Cydalima perspectalis* is an East Asian pest who is invasive in Europe. These lepidopteran moths defoliate totally box trees, which weakens them and can lead to death. As part of the ©SaveBuxus program, the INRA UEFM team researches efficient box tree moth eggs parasitoids. After the *Cydalima perspectalis* rearing setting up in laboratory ((25±1°C, 75±5%HR, 16L: 8D), *Trichogramma spp.* females were putting in presence of *C. perspectalis* eggs in Plexiglas tubes with honey. Among the 54 strains tested, from the INRA UEFM *Trichogramma* collection, 3 indigenous strains have an interesting parasitism rate. The second generation from strain Y shows a size an efficiency higher than those of their parents. So a biological control with these oophagous parasitoids seems to be possible.

Key words: *Cydalima perspectalis*, Box tree, oophagous parasitoids, *Trichogramma spp.*, biocontrol.

INTRODUCTION

La pyrale du buis *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera : Crambidae) est un papillon invasif originaire de l'Est de l'Asie (Mally et Nuss, 2010). Elle s'est largement répandue en Europe (Bella, 2013), colonisant la France en 2008 (Feldtrauer *et al.*, 2009). *C. perspectalis* est un ravageur spécifique du buis (Marumayama et Shinkaji, 1987) dont la femelle pond en moyenne 800 œufs (Tabone *et al.*, 2015a). Cette fécondité élevée donne naissance à un grand nombre de larves qui se nourrissent des feuilles du buis jusqu'à la défoliation totale du végétal voire sa mort. Outre les impacts financiers, visuels et culturels (Lopez-Vaamonde *et al.*, 2010), ce ravageur a un impact écologique non négligeable. En effet, l'absence de buis en forêt peut entraîner un changement dans la végétation de couverture du sol en raison de l'augmentation de l'exposition au soleil (Kenis *et al.*, 2013). Son absence perturbe également la biodiversité car cette strate arbustive est un des éléments clé de la recolonisation des forêts après une perturbation (feu, etc.).

Plusieurs stratégies de lutte biologique, à l'aide de nématodes (Göttig *et al.*, 2012) ou de parasitoïdes (Braconidae), visant les stades larvaires, ont été initiées (Zimmermann and Wührer, 2010). Actuellement, la méthode présentant les meilleurs taux de mortalité des larves reste le traitement au *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki* (Brua, 2013 ; Lefort *et al.*, 2014). Un programme de recherche nommé ©Save Buxus est développé pour étudier, entre autres, *C. perspectalis* dans le but d'apporter une combinaison efficace de solutions de protection durables. Des méthodes de piégeage des papillons mâles avec des phéromones sont actuellement étudiées par l'équipe UEFM de l'INRA d'Avignon, partenaire du projet, et montrent des taux de capture intéressants (Martin *et al.*, 2015). Un brevet a d'ailleurs été déposé en 2015 quant à l'ossature du piège. De son côté, le laboratoire Biocontrôle (UEFM INRA Antibes) élabore une stratégie de contrôle de *C. perspectalis* à l'aide de trichogrammes. Ceux-ci, en parasitant un œuf de lépidoptère, vont stopper le développement de l'embryon (Tabone *et al.*, 2002 ; Pratioli *et al.*, 2005 ; Suckling et Brockhoff, 2010 ; Chailleux *et al.*, 2012 ; Do Thi Khanh *et al.*, 2012) et permettront ainsi le contrôle de la population du ravageur avant le stade « chenille » phytophage.

Zimmermann et son équipe (2009) ont établi que les œufs de *C. perspectalis* pouvaient être parasités par des trichogrammes. Un screening de 54 souches de la collection de trichogrammes du Laboratoire Biocontrôle a permis de faire ressortir 3 souches indigènes ayant un potentiel intéressant pour le parasitisme des œufs de pyrale (Enriquez *et al.*, 2015). Il a été observé qu'un nombre variable de nymphes de trichogrammes pouvait être présent dans les œufs de *C. perspectalis* parasités et que des trichogrammes adultes en émergeaient (Enriquez *et al.*, 2015). Ces individus issus des œufs de pyrale (F1) représentent un élément important à prendre en compte dans la stratégie de lutte. En effet, ils constituent un inoculum potentiellement apte à parasiter de nouveaux œufs (Honda and Luck, 2001).

L'œuf de la pyrale étant plus grand que l'œuf de l'hôte d'élevage (œuf d'*E. kuehniella*), un nombre variable de trichogrammes peut s'y développer. Il est connu que le nombre de nymphes se développant au sein d'un même œuf hôte influence les paramètres physiques et physiologiques des trichogrammes émergents (Waage et Sook Ming, 1984, Bai *et al.*, 1992). Il est aussi possible que les trichogrammes soient plus aptes à parasiter des œufs appartenant à la même espèce que l'hôte dont ils ont émergé (Pintureau, 2009).

Nous avons étudié la variation de la taille des femelles F1 et leur fécondité potentielle en fonction du nombre de nymphes présentes dans les œufs de *C. perspectalis*. Nous présentons ici les travaux d'évaluation de la qualité de la génération émergente des œufs de la pyrale (F1) en observant la taille des femelles, leur fécondité potentielle (sur des œufs d'*E. kuehniella*) et enfin leur efficacité pour parasiter les œufs de *C. perspectalis* comparativement à celle de la génération mère. La stratégie de lâcher des parasitoïdes prendra en compte les dates de présence des œufs de pyrale dans la nature et la survie de la génération F1 après émergence ainsi que son efficacité.

MATERIEL ET METHODE

Les élevages et les manipulations ont eu lieu sur le site INRA UEFM de la Villa Thuret à Antibes. Les mesures des tibias et des ovipositeurs des trichogrammes ont été réalisées à la plateforme de microscopie du site INRA à Sophia Antipolis.

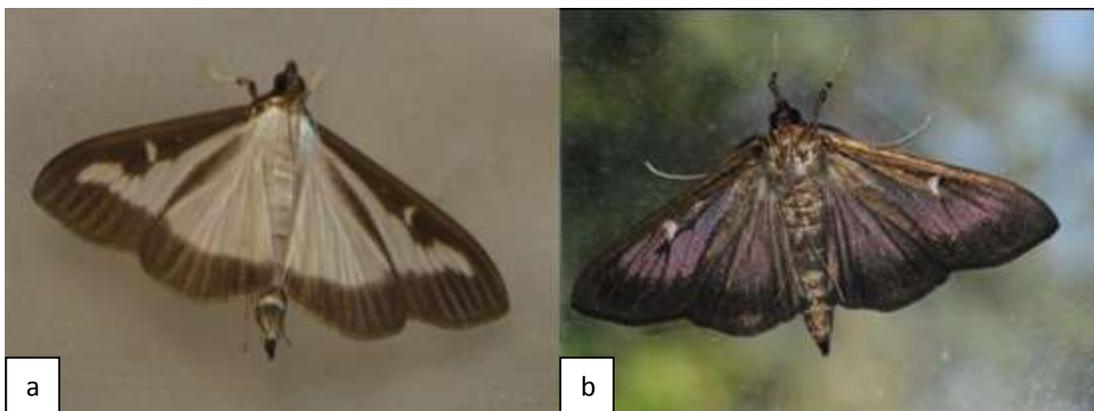
MATERIEL BIOLOGIQUE

Le buis utilisé pour les élevages et les expérimentations doit être non traité. Les horticulteurs de la région traitant tous leurs plants contre la pyrale avec des produits phytosanitaires, le buis était prélevé en milieu naturel dans les Alpes-Maritimes (06), à plus de 1000m d'altitude.

La pyrale du buis *C. perspectalis*

Il existe deux phénotypes de couleur chez *C. perspectalis*, une forme commune blanche et une forme mélanique (fig. 1). Uniquement des individus du phénotype blanc étaient utilisés pour nos expérimentations.

Figure 1 : Les deux phénotypes de la pyrale du buis *Cydalima perspectalis*. a : phénotype blanc commun; b : phénotype mélanique (The two box tree moth phenotypes. a : common white phenotype ; b : pigmented phenotype)



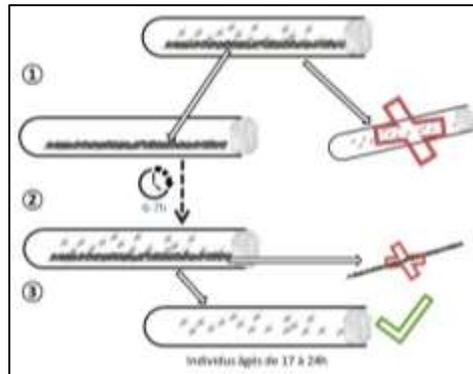
Les chenilles des premiers stades larvaires étaient alimentées en buis humidifié tous les jours pendant 3 semaines. Elles étaient ensuite placées dans des cages en mousseline (40x40x80cm) contenant plusieurs bouquets de buis denses. Dans ces cages, les chenilles continuaient à s'alimenter pendant une semaine, puis formaient leur chrysalide. Chez cette espèce, la nymphose dure en moyenne 10 jours (Tabone *et al.*, 2015a). Après ce délai, les imagos étaient collectés et placés dans des cages de pontes (40x40x80cm). Ces individus, alimentés avec des cotons imbibés d'eau et de miel, étaient remplacés à la fin de leur période de fertilité par des adultes nouvellement émergés. Quotidiennement, des brins de buis, d'environ 14 cm de longueur, étaient placés dans ces cages. Les brins contenant les œufs étaient récupérés le lendemain et avaient ainsi moins de 24h. Après comptage, une partie des œufs était intégrée dans l'élevage afin de garantir sa pérennité ; l'autre partie était utilisée pour les expérimentations.

Les trichogrammes

Les trichogrammes utilisés provenaient de la collection de souches (souchier) de l'INRA UEFM à Antibes. Pour des raisons de confidentialité, le nom des souches est codé. 54 souches de trichogrammes de 17 espèces différentes, majoritairement françaises, ont été étudiées. Les parasitoïdes sont élevés sur des œufs d'*Ephestia kuehniella* (Zeller, 1879) (Lepidoptera : Pyralidae) qui servent d'hôte de substitution. Par commodité, ces œufs sont achetés à la société Biotop® où ils sont préalablement irradiés aux UV afin

d'éviter l'éclosion de chenilles dans les tubes d'élevage. Les œufs d'*E. kuehniella* sont disposés sur des plaquettes en papier canson et collés, à l'aide d'une colle à l'eau, à raison de 1000 œufs environ par plaquette. Les œufs et les plaquettes sont conservés pendant 2 semaines à 2°C puis le stock est renouvelé avec des œufs frais commandés chaque semaine. Tous les tubes à hémolyse utilisés pour l'élevage sont miellés pour permettre aux trichogrammes de se nourrir dès leur émergence. Les souches sont gardées dans un environnement stable (T 25±1°C, HR 80±5%, 16L:8D).

Figure 2 : Protocole de gestion de l'âge des trichogrammes pour les expérimentations (Management



protocol of *Trichogramma sp.* age for the experiments).

Pour être certains que les trichogrammes utilisés pour les expérimentations étaient âgés de moins de 24 heures (figure 2), l'émergence des trichogrammes était surveillée quotidiennement. Lorsqu'une souche émergeait, la plaquette contenant les œufs d'*E. kuehniella* parasités était retirée du tube, brossée avec un pinceau pour enlever les imagos restant sur la plaquette et placée dans un nouveau tube miellé. Ce tube était ensuite placé dans les conditions de l'élevage pendant six à sept heures (T 25±1°C, HR 85±5%, 16L: 8D). Au bout de ce délai la plaquette était retirée du tube afin de sélectionner uniquement les individus émergés durant cet intervalle. Ainsi les individus présents dans le tube avaient tous entre 17 et 24h le lendemain.

ETUDE DE LA GENERATION F1 EMERGEANT DES ŒUFS DE *C. PERSPECTALIS* PARASITES

Figure 3: Œufs de pyrale du buis parasités par *Trichogramma sp.* (Box tree moth eggs parasitized by *Trichogramma sp.*)



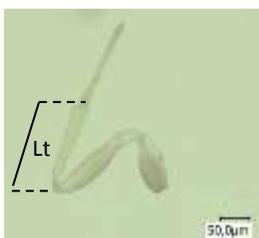
© INRA UEFM - T. Enriquez

Les femelles trichogrammes étant capables de pondre plusieurs œufs dans un œuf de pyrale (Enriquez *et al.*, 2015), les œufs de *C. perspectalis*, parasités par les meilleures souches et issus des différentes expérimentations ont été triés en fonction du nombre de nymphes de parasitoïde par œuf (figure 3). Ces œufs étaient placés dans des tubes en plexiglas miellés, dans une enceinte climatique (T 25±1°C, HR 85±5%, 16L : 8D) et leur émergence surveillée quotidiennement.

Ainsi, pour chaque expérience nous avons testé, indépendamment, des femelles issues d'œufs parasités comprenant de 2 à 8 nymphes de trichogramme. Dans un premier temps, seule la souche Y a donné assez de F1 pour être étudiée.

Etude de la taille des tibias et des ovipositeurs de la génération F1

Figure 4: Mesure de tibia de *Trichogramma sp.* (Shinbone *Trichogramma sp.* size measurement)



La taille du tibia (figure 4) et de l'ovipositeur étant proportionnelles à la taille de l'individu (Mills and Kuhlmann, 2000 ; Grenier *et al.*, 2001), nous avons prélevé le tibia de la patte antérieure ainsi que l'ovipositeur des femelles trichogrammes de

la génération F0 et des femelles de la génération F1. Les dissections ont été réalisées sous loupe binoculaire (grossissement x60). Les tibias et les ovipositeurs ont ensuite été placés entre lame et lamelle avec une goutte de glycérol. Les mesures (μm) de la longueur du tibia et de la longueur de l'ovipositeur ont été réalisées à l'aide d'un microscope numérique VHX-2000 – Keyence (grossissement x1000). Au total, 20 femelles F0 et 71 femelles F1 ont été disséquées et mesurées.

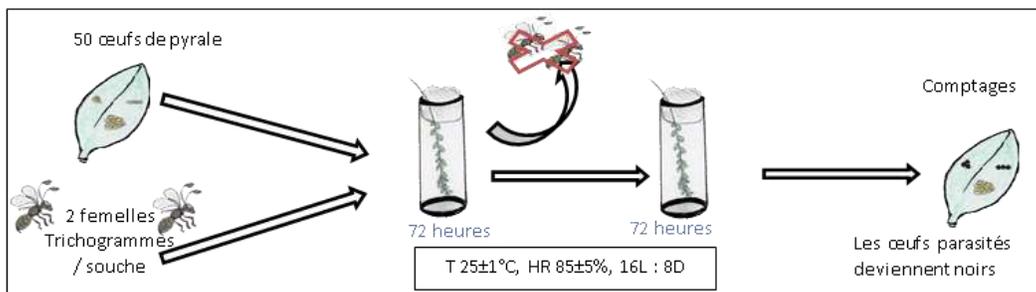
Fécondité potentielle de la génération F1 sur œufs d'*E. kuehniella*

Une femelle F1 a été placée dans un tube de plexiglas (14cm) en présence d'œufs d'*E. kuehniella* (œufs témoins), semblables à ceux de l'élevage, mais à hauteur de 200 œufs environ par plaquette. Après 24h, la femelle a été tuée, puis les résultats ont été observés 5 jours plus tard (loupe binoculaire x12). Le nombre d'œufs parasités (œufs noirs) a été relevé. Les œufs d'*E. kuehniella* étant irradiés, le nombre d'œufs avortés par les trichogrammes ne pouvait pas être comptabilisé. Le nombre d'œufs d'*E. kuehniella* parasités permet de mesurer la fécondité potentielle d'une femelle : le nombre d'œufs qu'elle peut pondre (Mills and Kuhlmann, 2000). Ces données ont été comparées aux résultats de la génération F0 obtenus selon le même protocole. Au total, 10 femelles F0 et 44 femelles F1 ont été testées.

Etude de l'efficacité de la génération F1 sur les œufs de *C. perspectalis*

Une femelle F1 était placée dans un tube en plexiglas (14cm) en présence d'œufs de *C. perspectalis*, préparés selon le protocole de screening suivant (figure 5). Le screening consiste en un test de choix des femelles parasitoïdes afin d'établir la capacité d'une souche de trichogramme à parasiter ou tuer les œufs de la pyrale du buis et de sélectionner la ou les souches montrant la plus grande efficacité pour contrôler le ravageur.

Figure 5 : Protocole de screening en tube (screening protocol in tubes)



Une répétition de screening correspond à un tube. Chaque tube de screening était composé de la manière suivante : une ou deux branches de buis contenant au total 50 œufs de *C. perspectalis* étaient placées dans un tube de plexiglas de 14cm de longueur. Deux femelles trichogrammes de la même souche étaient placées dans les tubes, qui étaient fermés avec un maillage très fin d'un côté et du coton de l'autre. Les tubes étaient laissés à incuber pendant 6 jours dans une enceinte climatique (T 25±1°C, HR 80±5%, 16L : 8D). Après 24h, les femelles étaient tuées, puis les résultats observés 5 jours plus tard. Le nombre d'œufs avortés et parasités était relevé (les œufs de pyrale avortés gardent leur aspect jaunâtre, tandis que les œufs parasités deviennent noirs (loupe binoculaire x12)). Le nombre de chenilles émergentes était déduit de ces variables. Au total, 50 femelles F1 ont été testées. Ces résultats ont été comparés aux résultats de screening de la génération F0 de la même souche.

En parallèle, afin de mesurer leur taux d'avortement naturel, des œufs de pyrale du buis sur des brins de buis ont été mis en tubes sans avoir été exposés aux parasitoïdes et laissés aux mêmes conditions abiotiques que les œufs soumis aux trichogrammes.

STATISTIQUES

Les données ont été traitées avec le logiciel Excel® et les tests statistiques ont été réalisés avec le logiciel R® (R Core Team, 2013).

Longueurs des tibias et des ovipositeurs

L'impact du nombre de nymphes par œuf sur la taille des tibias de la génération F1 et la comparaison avec les individus F0, a été étudié grâce à un GLM suivant une loi de type Poisson. Le même modèle a été appliqué pour étudier la longueur des ovipositeurs.

Relation entre la taille des femelles F0 et F1 et leur capacité sur *E. kuehniella* et sur *C. perspectalis*

Les corrélations entre la taille des femelles F0 et F1 et leur capacité sur œufs d'*E. kuehniella* et sur œufs de *C. perspectalis* ont été analysées grâce à des régressions linéaires.

RESULTATS

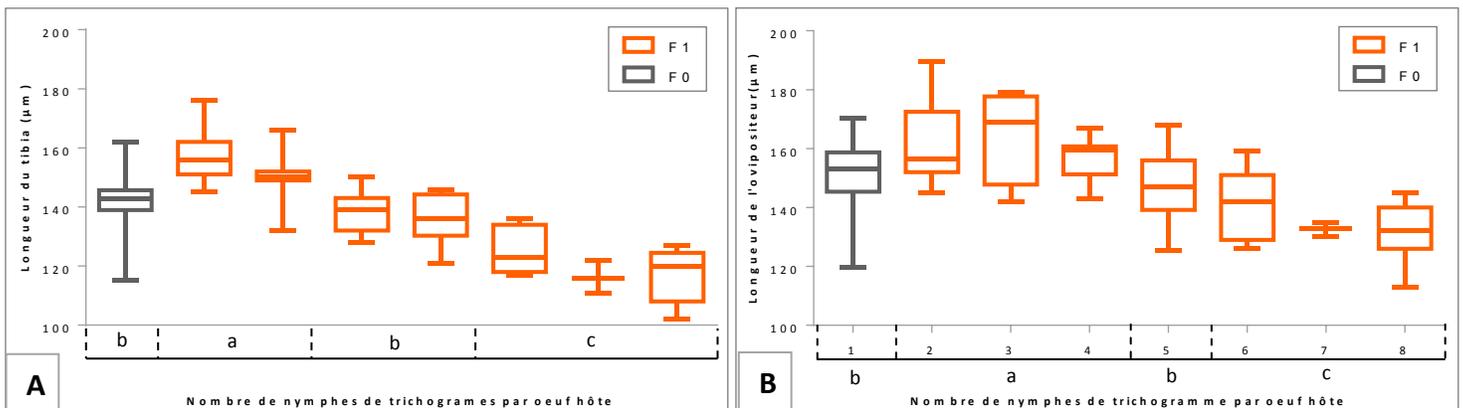
Sur les 3 souches françaises sélectionnées, Y, Qa et Qc, seule Y a engendré assez de descendants pour permettre les expérimentations. Les résultats de la génération F1 concernent donc uniquement la souche Y. Il a été relevé de 2 à 8 nymphes de trichogrammes dans un œuf de pyrale, pour une moyenne de 3,8 nymphes par œuf.

TAILLE DES FEMELLES F1

Longueur du tibia

La taille des tibias de la génération F0 a été comparée à celle de la génération F1 (figure 6A). Les F0 ont été élevées sur *E. kuehniella* et les F1 sur *C. perspectalis*. Après analyse, les trichogrammes semblent se diviser en 3 groupes statistiques : les femelles F0 et F1 s'étant développées dans des œufs de *C. perspectalis* de densité de 2 à 3 nymphes de trichogramme, font partie du groupe a ; les F1 s'étant développées dans des œufs de *C. perspectalis* de densité de 4 à 5 nymphes de trichogramme forment le groupe b ; et les F1 s'étant développées dans des œufs de *C. perspectalis* de densité de 6 à 8 nymphes de trichogramme forment le groupe c (GLM Poisson : différence entre a et b-c : p.value=0,001864; différence entre b et a-c : p.value=0,0002). Même si cela peut varier d'un œuf à l'autre, la longueur du tibia des F1 diminue avec l'augmentation de la densité en nymphes de leur œuf hôte. De plus, les tibias des F1 des catégories de 2 à 3 nymphes par œuf sont plus grands que les F0 et les F1 des catégories de 4 à 5 nymphes par œuf, qui sont eux-mêmes plus grands que les tibias des F1 des catégories de 6 à 8 nymphes par œuf.

Figure 6 : Longueur (µm) du tibia (A) et de l'ovipositeur (B), des femelles F0 et F1 de la souche Y, en fonction du nombre de nymphes dans les œufs-hôtes. Les catégories représentées par des lettres identiques ne sont pas significativement différentes entre elles (modèles : GLM poisson) (F0, N= 20 femelles et F1, N= 71 femelles). (Shinbone (A) and ovipositor (B) size (µm) of Y strain F0 and F1 females according to the nymphs number in host-eggs)



Longueur de l'ovipositeur

Après analyse de la génération F0 et des différentes catégories de la génération F1 (figure 6B), les individus semblent se diviser en trois groupes statistiques : les F0 et les F1 de la catégorie de 2 à 4 nymphes par œuf forment le groupe a; les F1 de la catégorie de 5 nymphes par œuf forment le groupe b; et les F1 des catégories de 6 à 8 nymphes par œuf forment le groupe c (GLM Poisson : différence entre a et b-c : p.value=0,00884; différence entre b et a-c : p.value=0,039). Ainsi la longueur de l'ovipositeur des F1 diminue avec la densité en nymphes de leur œuf hôte. De plus, les tibias des catégories 2 à 4 nymphes par œuf sont plus grands que les F0 et les F1 de la catégorie à 5 nymphes par œuf, qui sont eux-mêmes plus grands que les tibias des F1 des catégories de 6 à 8 nymphes par œuf.

RELATION ENTRE LA TAILLE DES F0 ET F1 ET LEUR CAPACITE A TUER LES ŒUFS D'*E. KUEHNIELLA* ET LES ŒUFS DE *C. PERSPECTALIS*

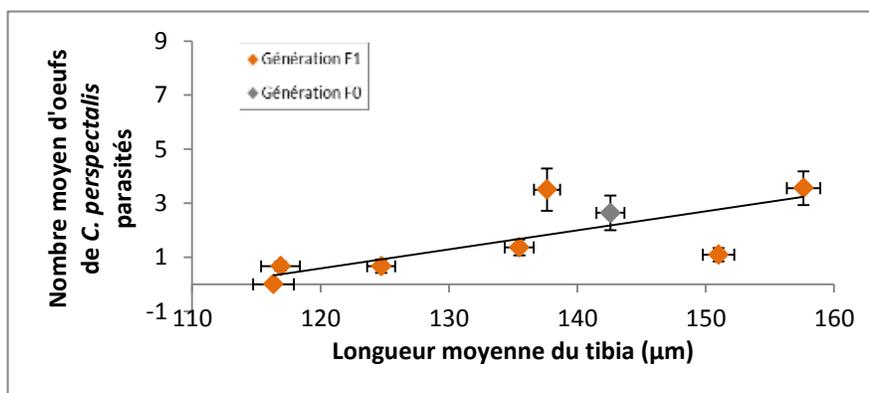
Fécondité sur œufs d'*E. kuehniella*

La relation entre la taille des individus F0 et F1 et leur fécondité sur *E. kuehniella* a été étudiée. Une corrélation positive entre la fécondité des femelles et la longueur du tibia a été observée. Ainsi la fécondité des femelles augmente avec leur taille ($F(1,6) = 85,1$; p.value=9,14.10⁻⁶ ; $r^2 = 0,93$).

Parasitisme sur œufs de *C. perspectalis*

La population F0 est constituée de 21 femelles contre 50 pour la population F1. Une corrélation positive entre la longueur du tibia des femelles et leur capacité à parasiter les œufs de pyrale a été observée (figure 7). Ainsi, le parasitisme sur œufs de *C. perspectalis* augmente avec la taille des femelles ($F(1,6) = 7,47$; p.value=0,03 ; $r^2 = 0,57$).

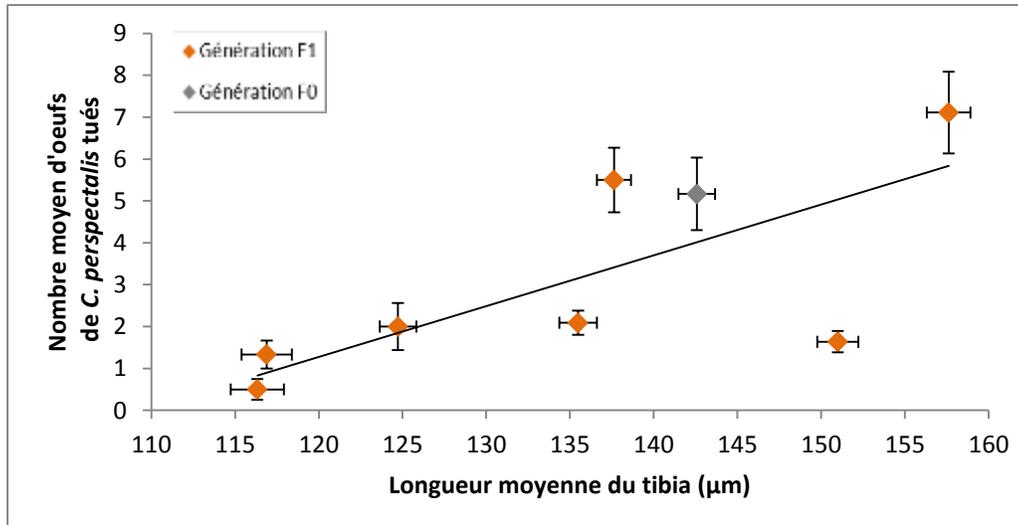
Figure 7 : Nombre d'œufs de *C. perspectalis* parasités (moyenne \pm SEM) en fonction de la longueur du tibia des femelles F0 et F1 de la souche Y (moyenne \pm SEM). Régression linéaire : $y=0,07x-7,89$. (Parasitized eggs number (mean \pm SEM) according to shinbone size of F0 and F1 females from strain Y (mean \pm SEM)).



Efficacité globale sur œufs de *C. perspectalis*

Enfin, une corrélation positive entre la longueur du tibia des femelles et leur efficacité globale sur les œufs de pyrale du buis a été observée (figure 8). La population F0 est constituée de 21 femelles pour 50 concernant la F1. L'efficacité globale des femelles sur les œufs de *C. perspectalis* montre une tendance à l'augmentation avec la taille des femelles ($F(1,6) = 7,23$; p.value=0,036 ; $r^2 = 0,54$).

Figure 8 : Nombre d'œufs de *C. perspectalis* tués (parasitisme et avortement) (moyenne \pm SEM) en fonction de la longueur du tibia des femelles F0 et F1 de la souche Y (moyenne \pm SEM). Régression linéaire : $y=0,12x-13,28$ (Killed *C. perspectalis* eggs number (parasitism and abortion) (mean \pm SEM) according to shinbone size of Y strain F0 and F1 females (mean \pm SEM)).



DISCUSSION

Les mesures des tibias et des ovipositeurs indiquent que la taille des individus dépend du type d'hôte (différence entre F0 et F1 élevées sur 2 hôtes différents), mais aussi de la densité de nymphes dans l'œuf-hôte. La taille des individus dépend donc de la quantité de ressources qui leur est allouée pendant leur développement (Bai *et al.*, 1992). En se basant sur la mesure du tibia dans la population F1, 45% des œufs donneront des individus plus grands que les parents (2 et 3 nymphes par œuf), 42% de taille similaire (4 et 5 nymphes par œuf) et 13% plus petits (6 à 8 nymphes par œuf). Si on pondère ces pourcentages avec le nombre de nymphes par œuf (sans tenir compte de la mortalité embryonnaire des trichogrammes), on obtient 30% d'individus F1 émergents qui seront plus grands que les parents, 46% de même taille et 24% de plus petite taille. Il est toutefois possible que les plus fortes densités de nymphes par œuf (6 à 8 nymphes) soient un artefact dû aux conditions de laboratoire (milieu confiné). Ainsi, suite aux lâchers, le pourcentage de descendants de plus grande taille pourrait être supérieur à celui obtenu lors des expérimentations.

Parallèlement, nous avons observé une corrélation positive entre la taille des trichogrammes (aussi bien pour les F1 que pour les F0) et leur fécondité potentielle sur œufs d'*E. kuehniella* (*i.e* le nombre d'œufs qu'une femelle est capable de pondre). Ainsi, en accord avec la littérature, la fécondité des femelles est positivement corrélée avec leur taille (Waage et Ng Sook Ming, 1984, Bai *et al.*, 1992). Dans son chapitre sur l'acceptation des œufs-hôtes et la ponte des trichogrammes, Pintureau (2009) suggère que les femelles trichogrammes parasitent préférentiellement le même type d'œufs dont elles sont issues. Nous avons émis l'hypothèse d'une augmentation globale du taux de parasitisme des œufs de *C. perspectalis* par les individus F1. Or, les régressions linéaires effectuées sur le nombre d'œufs de pyrale parasités par les femelles F0 et F1 montrent une corrélation positive entre le parasitisme et la taille des femelles, mais ce, indépendamment de la génération. La même tendance est observée pour l'efficacité globale. Dans la population F1, seuls les individus de plus grande taille seraient plus efficaces sur les œufs de *C. perspectalis* que les individus F0, tandis que les individus plus petits que les femelles de la génération mère seraient moins efficaces. Ces résultats sont semblables à ceux obtenus par Bai et son équipe qui ont démontré, en 1992, que les trichogrammes issus d'œufs prélevés sur le terrain plus gros que les

œufs d'*E. kuehniella*, étaient plus grands et plus performants. Parallèlement, il est à noter que nos résultats sont beaucoup plus nets sur les œufs d'*E. kuehniella* que sur les œufs de *C. perspectalis*, soulignant clairement le problème de la variabilité intraspécifique des femelles trichogrammes sur les œufs de la pyrale du buis.

Etudier l'impact des trichogrammes lâchés est un paramètre important dans l'évaluation de l'efficacité de la lutte biologique. En effet, *C. perspectalis* étant une espèce multivoltine (Maruyama et Shinkaji, 1993 ; Nacambo *et al.*, 2013 ; Tabone *et al.*, 2015) plusieurs pics de ponte ont lieu durant la saison chaude. En France, jusqu'à 3 pics ont été relevés (Martin *et al.*, 2015). Ainsi, dans le cas de futurs lâchers de parasitoïdes, après chaque début de ponte, les femelles F1 issues des œufs parasités de *C. perspectalis* seront déjà présentes sur le terrain, formant un inoculum prêt à parasiter de nouveaux œufs (Honda et Luck, 2001). De plus, les femelles lâchées ayant parasité pendant plusieurs jours, leurs descendants auront des émergences décalées et seront donc plus adaptés à l'étalement naturel des pontes de la pyrale. Ces femelles F1 sont de bonne qualité.

CONCLUSION

L'objectif de ce travail était d'évaluer la qualité des descendants des trichogrammes (génération F1). La génération F1 issue des œufs de pyrale parasités par la souche Y est de bonne qualité : 30% de ces femelles sont plus grandes, plus fécondes que leurs parents et semblent plus efficaces pour parasiter les œufs de *C. perspectalis*. Ces résultats nous confortent dans l'idée qu'une lutte biologique contre *C. perspectalis* à l'aide de trichogrammes est envisageable et nous encourage à continuer les recherches sur les 3 meilleures souches de trichogrammes.

Pour la suite du projet, des tests en mésocosme (reconstitution de buissons de buis en conditions contrôlées) sont en cours d'étude, afin d'évaluer avec plus de précision l'efficacité des souches, en prenant en compte d'autres paramètres comme leur dispersion dans un environnement plus complexe. Des études sur l'attractivité des œufs de *C. perspectalis* pour les trichogrammes sont prévues en laboratoire, en situation de choix avec d'autres œufs de lépidoptères. Ces expérimentations permettront de connaître la spécificité des trichogrammes testés, et leur attrait pour les œufs de *C. perspectalis* en comparaison directe avec des œufs d'autres espèces ; cela afin d'identifier la souche de trichogrammes présentant l'attraction maximale pour les œufs de *C. perspectalis*. Ainsi l'efficacité des trichogrammes sera optimisée et leur impact sur d'autres espèces de lépidoptères naturellement présentes lors des lâchers sera minimisé (Babendreier *et al.*, 2003 ; Roriz *et al.*, 2006). La densité de nymphes par œuf parasité obtenue en mésocosme est également relevée, afin de savoir si les fortes densités obtenues en laboratoire (6 à 8 nymphes par œuf) sont des artefacts, ou si elles sont bien à prendre en compte dans la population F1. Ces résultats permettront de déterminer la souche la plus efficace en prenant en compte d'autres paramètres que les taux de parasitisme et d'efficacité globale (dispersion, spécificité, efficacité de la génération F1) et serviront de base pour établir des protocoles de lâchers sur le terrain.

Cette étude a permis de préciser que la génération F1, aussi efficace voire un peu plus que les parents lâchés, est à prendre en compte puisqu'elle permet de limiter le nombre de lâchers dans le temps. Cela s'ajoute à l'efficacité initiale des trichogrammes, ce qui ouvre de nombreuses perspectives pour la suite du projet.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé dans le cadre d'Ecophyto par les organismes Val'hor, FranceAgriMer, l'Onema, la Fondation de France et Koppert France. Il a également été réalisé grâce au concours technique et financier de Plante&Cité et de l'Astredhor.

BIBLIOGRAPHIE

Babendreier D., Kuske S., Bigler F., 2003. Parasitism of non-target butterflies by *Trichogramma brassicae* Bezdenko under field cage and field conditions. *Biol. Cont.*, 26, 139-145.

Bai B., Luck R.-F., Forster L., Stephens B., Janssen J.-A.-M., 1992. The effect of host size on quality attributes of the egg parasitoid, *Trichogramma pretiosum*. *Entomol. exp. appl.*, 64, 37-48.

Bella S., 2013. The box tree moth *Cydalima perspectalis* continues to spread in southern Europe: new records for Italy. *Redia*, XCVI, 51-55.

Brua C., 2013. La pyrale du buis, *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859), espèce exotique envahissante, caractéristiques de sa dynamique d'expansion en France et en Europe, des dégâts occasionnés sur les buis (*Buxus spp.*) et des stratégies de lutte. Société Alsacienne d'Entomologie. Annales AFPP. Presented at 3. AFPP. Conférence sur l'Entretien des Espaces Verts, Jardins, Gazons, Forêts, Zones Aquatiques et Autres Zones Non Agricoles, Toulouse, FRA (2013-10-15 - 2013-10-17).

Chailleux A., Desneux N., Seguret J., Khanh H.-D.-T., Maignet P., Tabone E., 2012. Assessing European Egg Parasitoids as a Mean of Controlling the Invasive South American Tomato Pinworm *Tuta absoluta*. *Plos One*, 7, 8pp.

Do Thi Khanh H., Chailleux A., Tiradon M., Desneux N., Colombel E., Tabone E., 2012. Using new egg parasitoids (*Trichogramma spp.*) to improve integrated management against *Tuta absoluta*. *EPPO Bulletin*, 42 (2), 249-254.

Enriquez T., Giorgi C., Venard M., Colombel E.-A., Gaglio F., Buradino M., Martin J.-C., Tabone E., 2015. Des souches de trichogrammes contre la pyrale du buis. *Phytoma*, 685, 21-24.

Feldtrauer J.-F., Feldtrauer J.-J., Brua C., 2009. Premiers signalements en France de la Pyrale du Buis *Diaphania perspectalis* (Walker, 1859), espèce exotique envahissante s'attaquant aux Buis (Lepidoptera, Crambidae). *Bulletin de la Société Entomologique de Mulhouse*, 65: 55-58.

Göttig S., Feiertag S., Herz A., 2012. First experiments to evaluate the efficacy of entomopathogenic nematodes for biocontrol of the box tree pyralid moth, *Cydalima perspectalis* (Walker 1859). *DGaaE-Nachrichten*, 26, 38-39.

Grenier S., Basso C., Pintureau B., 2001. Effects of the Host Species and the Number of Parasitoids per Host on the Size of Some *Trichogramma* Species. *Biocont. Sci. and Tech.*, 11, 21-26.

Honda J.-Y., Luck R.-F., 2001. Interactions between host attributes and wasp size: a laboratory evaluation of *Trichogramma platneri* as an augmentative biological control agent for two avocado pests. *Entom. Exp. Appl.*, 100, 1-13.

Kenis M., Nacambo S., Leuthardt F.-L.-G., Di Domenico F., Haye T., 2013. The box tree moth, *Cydalima perspectalis*, in Europe: horticultural pest or environmental disaster? *Aliens*, 33, 38-41

Lefort F., Bovigny P.-Y., Cochard B., Mac Gilly L., Pelleteret P., 2014. Ravageurs et maladies du buis: La lutte s'organise contre la pyrale. *La forêt*, 10, 12-15.

Lopez-Vaamonde C., Agassiz D., Augustin S., De Prins J., De Prins W., Gomboc S., Ivinskis P., Karsholt O., Koutroumpas A., Koutroumpa F., Lastuvka Z., Marabuto E., Olivella E., Przybylowicz L., Roques A., Ryrholm N., Šefrova H., Šima P., Sims I., Sinev S., Skulev B., Tomov R., Zilli A., Lees D., 2010. Lepidoptera, Chapter II. In : Roques *et al.* (Eds) Alien terrestrial arthropods of Europe. *Biorisk*, 4(2), 603-668.

Mally R., Nuss M., 2010. Phylogeny and nomenclature of the box tree moth, *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) comb. n., which was recently introduced into Europe. *Eur. J. Entomol.*, 107, 393-400.

- Martin J.-C., Brinquin A.-S., Morel E., Tabone E., Gu erin M., 2015. Vers un outil de biocontrôle innovant et performant contre la pyrale du buis. *Phytoma*, 680, 41-44.
- Maruyama T., Shinkaji N., 1993. The life cycle of the box-tree pyralid, *Glyphodes perspectalis*. III. Photoperiodic induction of larval diapause. *Jap. J. App. Ent. Zool. And zool.*, 37, 45-51.
- Mills N.-J., Kulhmann U., 2000. The relationship between egg load and fecundity among *Trichogramma* parasitoids. *Eco. Ent.*, 25, 315-324.
- Nacambo S., Leuthardt F.-L.-G., Wan H., Li H., Haye T., Baur B., Weiss R.-M., Kenis M., 2013. Development characteristics of the box-tree moth *Cydalima perspectalis* and its potential distribution in Europe. *J. Appl. Entomol.*, 138, 14-26.
- Pintureau B., 2009. La lutte biologique et les trichogrammes : Application au contrôle de la pyrale du ma s. Editions le Manuscrit, Paris (France). 258pp.
- Pratissoli D., Thuler R.-T., Andrade G.-S., Zanotti L.-C.-M., Da Silva A.-F., 2005. Estimate of *Trichogramma pretiosum* to control *Tuta absoluta* in stalked tomato. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 40, 715–718.
- Roriz V., Oliveira L., Garcia P., 2006. Host suitability and preference studies of *Trichogramma cordubensis*. *Biol. Cont.*, 36, 331-336.
- Suckling D.-M., Brockhoff E.-G., 2010. Invasion Biology, Ecology, and Management of the Light Brown Apple Moth. *Annu. Rev. Entomol.*, 55, 285-306.
- Tabone E., Enriquez T., Giorgi C., Venard M., Colombel E.-A., Gaglio F., Buradino M., Martin J.-C., 2015a. Mieux connaitre la pyrale du buis *Cydalima perspectalis*. *Phytoma*, 685, 18-20.
- Tabone E., Goebel R., Lezcano N., Fernandez E., 2002. Le foreur de la canne à sucre, mise en place d'une Lutte Biologique à l'aide de trichogrammes à la Réunion. *Phytoma*, 553, 32-35.
- Waage J.-K., Ng Sook Ming, 1984. The reproductive strategy of a parasitic wasp. I. Optimal progeny and sex allocation in *Trichogramma evanescens*. *J. Anim. Ecol.*, 53, 401-415.
- Zimmermann O., Wührer B., 2010. Initial investigations on the ability of the indigenous larval parasitoid *Bracon brevicornis* to control the Box Tree Pyralid *Diaphania perspectalis* in Germany. *J. Plant Dis. Protect.*, 117, 92-93.
- Zimmermann O., Albert R., Wührer B., 2009. New pests – known control methods: First experience with *Trichogramma* releases against the box-tree pyralid *Diaphania perspectalis* and the banana moth *Opogona sacchari* in Germany. *J. Plant. Dis. Protect.*, 116, 90pp.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

LES INSECTES VECTEURS POTENTIELS DE *XYLELLA FASTIDIOSA* EN FRANCE METROPOLITAINE

J.-F. GERMAIN ⁽¹⁾

(1) ANSES , Laboratoire de la santé des Végétaux, Unité entomologie et plantes invasives, 755
avenue du campus agropolis, 34988 Montferrier-sur-Lez, France

jean-francois.germain@anses.fr

RÉSUMÉ

La bactérie *Xylella fastidiosa* a été identifiée en Europe, d'abord dans le sud de l'Italie en 2013, puis en Corse et en France continentale en 2015. Elle est présente dans le xylème des végétaux hôtes, sa vection étant assurée par des insectes qui se nourrissent de la sève brute véhiculée par ce xylème. La connaissance de ces insectes vecteurs doit être un préalable au suivi de la dispersion de la bactérie. La cinquantaine de vecteurs potentiels présents en France est répartie en quatre groupes d'Auchenorrhyncha : les Aphrophoridae, les Cercopidae, les Cicadellidae des sous-familles des Ledrinae et Cicadellinae, et les Cicadidae. Ces espèces sont listées et des éléments de reconnaissance sont présentés.

Mots-clés : *Xylella fastidiosa*, Aphrophoridae, Cercopidae, Cicadellidae, Cicadidae.

ABSTRACT

THE INSECTS, POTENTIAL VECTORS OF *XYLELLA FASTIDIOSA* IN MAINLAND FRANCE AND CORSICA

The *Xylella fastidiosa* bacterium was first identified in Europe first in southern Italy in 2013, then in Corsica and mainland France in 2015. It is present in the xylem of host plants, the transmission being provided by insects feeding sap on this xylem. Knowledge of these insect vectors may be a prerequisite for monitoring the spread of the bacteria. The fifty potential vectors present in France belong to four Auchenorrhyncha groups: Aphrophoridae, Cercopidae, leafhoppers of the subfamily Ledrinae and Cicadellinae, and Cicadidae. These species are listed and recognition elements are presented.

Key words: *Xylella fastidiosa*, Aphrophoridae, Cercopidae, Cicadellidae, Cicadidae.

INTRODUCTION

Présentation des Hémiptères auchenorhynches de France se nourrissant de xylème et qui pourraient être impliqués dans la vection de *Xylella fastidiosa*.

Presentation of xylem-feeding Hemiptera Auchenorhyncha of France and that could be involved in the transmission of *Xylella fastidiosa*.

La bactérie *Xylella fastidiosa* est arrivée sur le continent européen, dans les Pouilles au sud de l'Italie probablement avant 2013, année de sa première identification (Saponari *et al.* 2014), puis en Corse et dans la région PACA (Provence Alpes Côte d'Azur) en 2015 (MAAF, 2016). La transmission de ce pathogène se fait à travers des insectes vecteurs qui s'alimentent de sève brute au niveau du xylème. En Amérique, son continent d'origine, des cicadelles de la sous-famille des Cicadellinae sont le plus souvent impliquées dans sa transmission, telle *Homalodisca vitripennis* dans les vignobles californiens (Redak *et al.* 2004). Les premiers travaux réalisés en Italie semblent mettre en cause deux Aphrophoridae : *Philaenus spumarius* et *Neophilaenus campestris*, un cercope : *Cercopis sanguinolenta* et une cigale : *Cicada orni* (Cornara *et al.* 2014). *Philaenus spumarius* est reconnu comme vecteur en Amérique du Nord, mais sans être impliqué dans des développements endémiques de la maladie (EFSA, 2015). En fait, tout les insectes se nourrissant de xylème pourraient avoir cette capacité de vection. La liste des espèces se nourrissant de xylème présentes en France métropolitaine est donnée, ainsi que les principaux éléments de reconnaissance des espèces concernées. La cinquantaine d'espèces répertoriées (tableau 1) présente un large spectre de plantes-hôtes parmi lesquelles on retrouve les espèces végétales sensibles aux deux sous-espèces de la bactérie présentes en Europe, *Xylella fastidiosa* subsp. *pauca* en Italie et *X. fastidiosa* subsp. *multiplex* en France (EFSA, 2015, MAAF, 2016).

L'IDENTIFICATION MORPHOLOGIQUE

L'identification morphologique passe par l'utilisation de clés dichotomiques disponibles dans les ouvrages consacrés à ces groupes d'insectes : observation de caractères morphologiques externes associés à l'étude des génitalia. Mais il n'existe pas d'ouvrage synthétique permettant l'identification de toutes les espèces présentes en France. Pour les cicadelles, sont disponibles des volumes de la faune de France (Ribaut, 1952, 1986 ; Della Giustina, 1983, 1989), et publiés en 1989 pour les plus récents, ils ne prennent pas en compte les espèces introduites depuis cette date. Des ouvrages allemands plus récents sont disponibles, mais ils ne couvrent pas les espèces méditerranéennes (Biederman & Niedringhaus, 2009 ; Kunz *et al.*, 2011 ; Holzinger *et al.*, 2003)(figure 1). Un fond documentaire de publications est indispensable pour compléter ces lacunes et être exhaustif.



Figure 1 : ouvrages disponibles pour une identification morphologique
books available for morphological identification

Aphrophoridae	<i>Evacanthus interruptus</i> (L., 1758) [F]
<i>Aphrophora alni</i> (Fallen, 1805) [F, C]	<i>Anoterostemma ivanoffi</i> (Lethierry, 1876) [F]
<i>Aphrophora corticea</i> (Germar, 1821) [F]	<i>Errhomenus brachypterus</i> Fieber, 1866 [F]
<i>Aphrophora major</i> Uhler, 1896 [F]	Cicadidae
<i>Aphrophora pectoralis</i> Matsumura, 1903 [F, C]	<i>Cicada orni</i> Linné, 1758 [F, C]
<i>Aphrophora salicina</i> (Goeze, 1778) [F]	<i>Cicadatra atra</i> (Olivier, 1790) [F]
<i>Lepyronia coleoprata</i> (L., 1758) [F, C]	<i>Lyristes plebejus</i> (Scopoli, 1763) [F]
<i>Neophilaenus albipennis</i> (F., 1798) [F]	<i>Cicadetta brevipennis</i> Fieber, 1876 [F]
<i>Neophilaenus campestris</i> (Fallen, 1805) [F, C]	<i>Cicadetta cantilatrix</i> Sueur & Puissant, 2007 [F]
<i>Neophilaenus exclamationis</i> (Thunberg, 1784) [F]	<i>Cicadetta cerdaniensis</i> Puissant & Boulard, 2000 [F]
<i>Neophilaenus infumatus</i> (Haupt, 1917) [F]	<i>Cicadetta fangoana</i> Boulard, 1976 [C]
<i>Neophilaenus lineatus</i> (L., 1758) [F, C]	<i>Cicadetta montana</i> (Scopoli, 1772) [F]
<i>Neophilaenus longiceps</i> (Putton, 1895) [F]	<i>Cicadivetta tibialis</i> (Panzer 1798) [F]
<i>Neophilaenus minor</i> (Kirschbaum, 1868) [F]	<i>Tettigettalna argentata</i> (Olivier 1790) [F]
<i>Paraphilaenus notatus</i> (Mulsant & Rey, 1855) [F]	<i>Tettigettula pygmaea</i> (Olivier 1790) [F]
<i>Philaenus spumarius</i> (L., 1758) [F, C]	<i>Tibicina cisticola</i> (Hagen, 1855) [F]
Cercopidae	<i>Tibicina corsica</i> ssp. <i>corsica</i> (Rambur, 1840) [C]
<i>Cercopis arcuata</i> Fieber, 1844 [F]	<i>Tibicina corsica</i> ssp. <i>fairmairei</i> Boulard, 1980 [F]
<i>Cercopis intermedia</i> Kirschbaum, 1868 [F]	<i>Tibicina garricola</i> Boulard, 1983 [F]
<i>Cercopis sabaudiana</i> Lallemand, 1949 [F]	<i>Tibicina haematodes</i> ssp. <i>haematodes</i> (Scopoli, 1763) [F]
<i>Cercopis sanguinolenta</i> (Scopoli, 1763) [F]	<i>Tibicina nigronevosa</i> Fieber, 1876 [C]
<i>Cercopis vulnerata</i> Rossi, 1807 [F]	<i>Tibicina picta</i> (Fabricius, 1794) [F]
<i>Haematoloma dorsata</i> (Ahrens, 1812) [F]	<i>Tibicina quadrisignata</i> (Hagen, 1855) [F]
<i>Triecphorella geniculata</i> (Horvath, 1881) [F]	<i>Tibicina steveni</i> (Krynicky, 1837) [F]
Cicadellidae (Ledrinae et Cicadellinae)	<i>Tibicina tomentosa</i> (Olivier, 1790) [F]
<i>Ledra aurita</i> (L., 1758) [F, C]	
<i>Cicadella viridis</i> (L., 1758) [F, C]	
<i>Cicadella lasiocarpae</i> (Ossiannilsson, 1981) [F]	
<i>Graphocephala fennahi</i> (Young, 1977) [F]	
<i>Evacanthus acuminatus</i> (F., 1794) [F]	

Tableau 1 : 48 espèces potentiellement vectrices sont présentes en France continentale [F] et 12 en Corse [C]./ 48 potential vector species are present in mainland France [F] and 12 in Corsica [C].

LES APHROPHORIDAE

Ils sont globalement de forme oblongue. Les plus gros sont les *Aphrophora* (6/12mm), les plus petits les *Neophilaenus* (5mm), le genre *Philaenus* étant intermédiaire (4,4/6,8mm). *Lepyronia* (5,6/7mm) est de forme globuleuse.

Le LSV (Laboratoire de la santé des végétaux) a réalisé une fiche de reconnaissance pour *Philaenus spumarius*, espèce qui pourrait être la plus impliquée dans la vécition de *Xylella fastidiosa* (Figure 2). Le genre *Aphrophora* se différencie des deux autres par la présence d'une carène sur le pronotum et le vertex. Le genre *Neophilaenus* présente une carène médiane sur la plaque frontale à l'apex de la tête. La marge extérieure de l'aile antérieure est concave alors qu'elle est convexe chez *P. spumarius*. La spéciation passe obligatoirement par l'observation des génitalia. Les Aphrophoridae présents en France sont relativement faciles à identifier par leur morphologie externe pour les genres et par les génitalia pour arriver au niveau de l'espèce. Cela ne serait plus vrai si l'on avait à faire à une espèce invasive. Par exemple dans le genre *Philaenus*, seul *P. spumarius* est présent en France métropolitaine mais les espèces présentes dans les pays méditerranéens pourraient remonter vers le nord. *Philaenus maghresignus* et *P. tarifa* d'Espagne, *P. italosignus* d'Italie (cette espèce est présente en Sicile et dans le sud de la botte italienne) et *P. signatus* de la côte croate. Morphologiquement, ces espèces se différencient par l'observation des ornementsations présentes à l'apex de l'édéage (Drosopoulos & Remane, 2000) (Figure 3)



Figure 2 : Fiche de reconnaissance LSV, *Philaenus spumarius*
/LSV datasheet, *Philaenus spumarius*

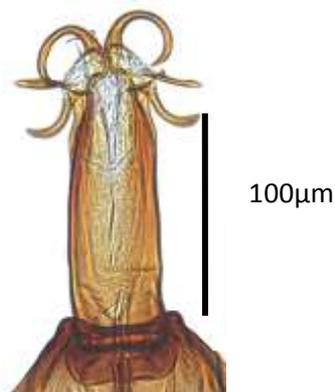


Figure 3 : *P. spumarius*, édéage du mâle
/*P. spumarius*, male aedeagus

LES CERCOPIDAE

La distribution des aires colorées de rouge par rapport au fond noir des ailes antérieures permet en général de discriminer les différentes espèces. La marge des ailes antérieures est noire pour les *Cercopis* et *Triecphorella*, elle est rouge pour *Haematoloma*. L'aspect du front, lisse ou ridé, la présence d'une carène transverse entre les ocelles, la couleur des genoux et la forme de la tache rouge à l'apex des ailes antérieures sont les principaux caractères permettant de différencier les espèces (Della Giustina, 1983, Dusoulie, 2004). Le diagnostic pouvant être confirmé par l'observation du génitalia mâle. Un exemple de génitalia est présenté figure 4, de la répartition des aires noires et rouges figure 5.



Figure 4 : Édéage de *C. vulnerata*
/Aedeagus *C. vulnerata*



Figure 5 : *Cercopis vulnerata*

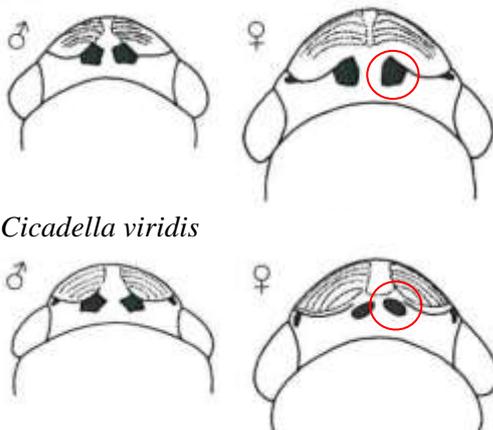
Cercopis sanguinolenta

Cercopis arcuata

LES CICADELLIDAE

La nervation des ailes antérieures et postérieures, la distribution de diverses taches sur le thorax et le vertex et surtout l'observation des génitalia des mâles, sont discriminantes.

À titre d'exemple, *Cicadella viridis* et *C. lasiocarpae* se différencient par la couleur foncière pour les mâles (bleu nuit pour la première, vert jaune pour la seconde) et la forme des deux taches présentes sur le vertex pour les femelles (polygonaux chez *C. viridis*, rondes chez *C. lasiocarpae*) (Figure 6). Par contre, pour ces espèces, les génitalia des mâles sont pratiquement identiques (Figure 7).



Cicadella viridis

Cicadella lasiocarpae

Figure 6 : taches sur le vertex/ spots on the vertex

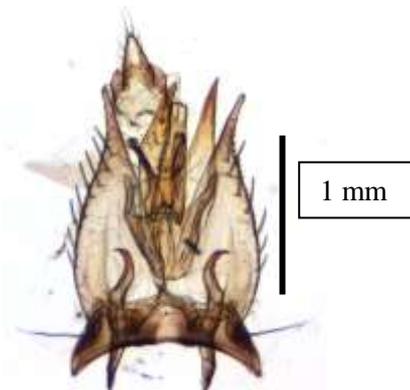
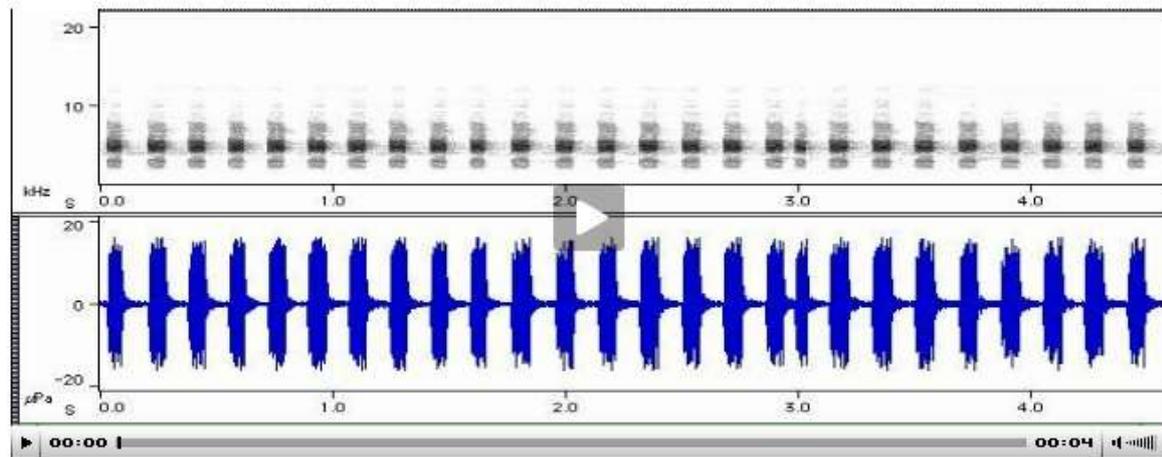


Figure 7 : génitalia mâle/male genitalia
C. viridis

LES CICADIDAE

La taille du corps, l'envergure des ailes, la forme de la tête, le nombre de dents sur les fémurs antérieurs, la couleur des nervures et diverses taches sur les ailes sont des caractères distinctifs, mais les sonogrammes et oscillogrammes de la cymbalisation sont les plus discriminants (Puissant, 2006) (figure 8).

Cicada orni Linné, 1758



C. orni, calling song
Brje, Slovenia - M. Gogala

<http://www.cicadasong.eu/cicadidae/cicada-orni.html>

Figure 8 : sonogramme de *Cicada orni*/sonogram

CONCLUSION

La connaissance des vecteurs potentiels de *Xylella fastidiosa* est un préalable à leur recherche et capture pour être en mesure d'étudier leurs capacités de vection.

REMERCIEMENTS

A P. Falatico, T. Herbach, G. Kunz, J.-P. Lavigne, S. Puissant pour les supports iconographiques du poster.

BIBLIOGRAPHIE

- Biedermann R., Niedringhaus R., 2009. The plant- and Leafhoppers of Germany. Identification key to all species. Fründ. 409 p.
- Cornara D., Loconsole G., Boscia D., De Stradis A., Yokomi R.K., Bosco D., Porcelli F., Martelli G.P., Saponari M. 2014. Survey of Auchenorrhyncha in the Salento peninsula in search of putative vectors of *Xylella fastidiosa* subsp. *pauca* CoDiRO strain. Proceedings 'International Symposium on the European Outbreak of *Xylella fastidiosa* in Olive', Gallipoli-Locorotondo, Italy, October 2014, 31.
- Della Giustina, 1983. La faune de France des Cercopinae [Hom. Cicadomorpha]. *Bulletin de la Société entomologique de France*, 88, 192-196.
- Della Giustina W., 1989. Faune de France 73. Homoptères Cicadellidae, volume 3, compléments aux ouvrages d'Henri Ribaut. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles et Institut National de la Recherche Agronomique. 350 p.

- Drosopoulos S., Remane R., 2000. Biogeographic studies on the spittlebug *Philaenus signatus* Melichar, 1896 species group (Hemiptera : Aphrophoridae) with the description of two new allopatric species. *Annales de la société Entomologique de France (N.S.)*, 36,3,269-277.
- Dusoulier F., 2004. Hémiptères nouveaux ou rares pour le massif armoricain (Hexapoda, Hemiptera). *Bulletin de la Société des sciences naturelles de l'Ouest de la France, nouvelle série*, 26,2, 128-137.
- European Food Safety Authority (EFSA) Panel on Plant health, 2015. Scientific Opinion on the risks to plant health posed by *Xylella fastidiosa* in the EU territory, with the identification and evaluation of risk reduction options. *EFSA Journal*, 13, 1, 3989, 262 p.
<https://www.efsa.europa.eu/fr/efsajournal/pub/3989>
- Holzinger W.E., Kammerlander I., Nickel H. 2003. The Auchenorrhyncha of Central Europe. Die Zikaden Mitteleuropas, Volume 1 Fulgoromorpha, Cicadomorpha excl. Cicadellidae. Brill Academic Publisher, 674 p.
- Kunz G., Nickel H., Niedringhaus R., 2011. Photographic atlas of the planthoppers and leafhoppers of Germany. Fründ. 293 p.
- MAAF, 2016. Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. Le point sur les foyers de *Xylella fastidiosa* en France. Consulté le 07/06/2016. <http://agriculture.gouv.fr/le-point-sur-les-foyers-de-xylella-fastidiosa-en-france>
- Puissant S., 2006. Contribution à la connaissance des cigales de France: géonémie et écologie des populations (Hemiptera, Cicadidae). Association pour la Caractérisation et l'étude des Entomocénoses. F-09400 Bédeilhac et Aynat. 193 p.
- Redak R.A., Purcell A.H., Lopes J.R.S., Blua M.J., Mizell R.F., Andersen P.C., 2004. The biology of xylem fluid-feeding insect vectors of *Xylella fastidiosa* and their relation to disease epidemiology. *Annual Review of Entomology*, 49, 243-270.
- Ribaut H., 1952. Faune de France 57, Homoptères Auchénorhynques. II (Jassidae). Paris, Paul Lechevalier . 474 p.
- Ribaut H., 1986. Faune de de France 31, Homoptères Auchénorhynches (I. Typhlocybinae). Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles. 231 p.
- Saponari M., Loconsole G., Cornara D., Yokomi R.K., De Stradis A., Boscia D., Bosco D., Martelli G.P., Krugner R., Porcelli F. 2014. Infectivity and transmission of *Xylella fastidiosa* by *Philaenus spumarius* (Hemiptera : Aphrophoridae) in Apulia, Italy. *Journal of Economic Entomology*, 107,4, 1316-1319.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

UN NOUVEAU RAVAGEUR SUR FICUS, LE PSYLLE *MACROHOMOTOMA GLADIATA*, KUWAYAMA

A. ROBERTI ⁽¹⁾, J.-F. GERMAIN ⁽²⁾ et S. PIONNAT ⁽³⁾

⁽¹⁾ FREDON PACA, 224 RUE DES DECOUVERTES 83390 CUERS, France, anneroberti.fredon@orange.fr

⁽²⁾ LABORATOIRE DE LA SANTE DES VEGETAUX, UNITE ENTOMOLOGIE ET PLANTES INVASIVES, 755 AVENUE DU CAMPUS AGROPOLIS CS30016, 34988 MONTFERRIER SUR LEZ, France, jean-francois.germain@anses.fr

⁽³⁾ AGRODIAGNOSTIC, 400 ROUTE DES CHAPPES BP 167, 06903 SOPHIA ANTIPOLIS CEDEX, France, s.pionnat@agrodiagnostic.com

RÉSUMÉ

De nombreux insectes invasifs arrivent en Europe en lien avec le développement des échanges commerciaux. Une espèce actuellement en voie d'expansion dans le bassin méditerranéen, *Macrohomotoma gladiata*, a récemment été identifiée sur la Côte d'Azur grâce au développement du réseau d'épidémiosurveillance en Zones Non Agricoles animé par la FREDON PACA.

Mots-clés : *Ficus microcarpa*, Homotomidae, *Macrohomotoma gladiata*, invasive.

ABSTRACT

A NEW ALIEN PEST ON FICUS, THE PSYLLID *MACROHOMOTOMA GLADIATA*, KUWAYAMA.

Many alien insects are arriving in Europe in connection with the development of trade. A species currently under expansion in the Mediterranean, *Macrohomotoma gladiata*, has recently been identified on the French Riviera by the epidemiological monitoring network in green areas led by PACA FREDON.

Keywords: *Ficus microcarpa*, Homotomidae, *Macrohomotoma gladiata*, alien.

INTRODUCTION

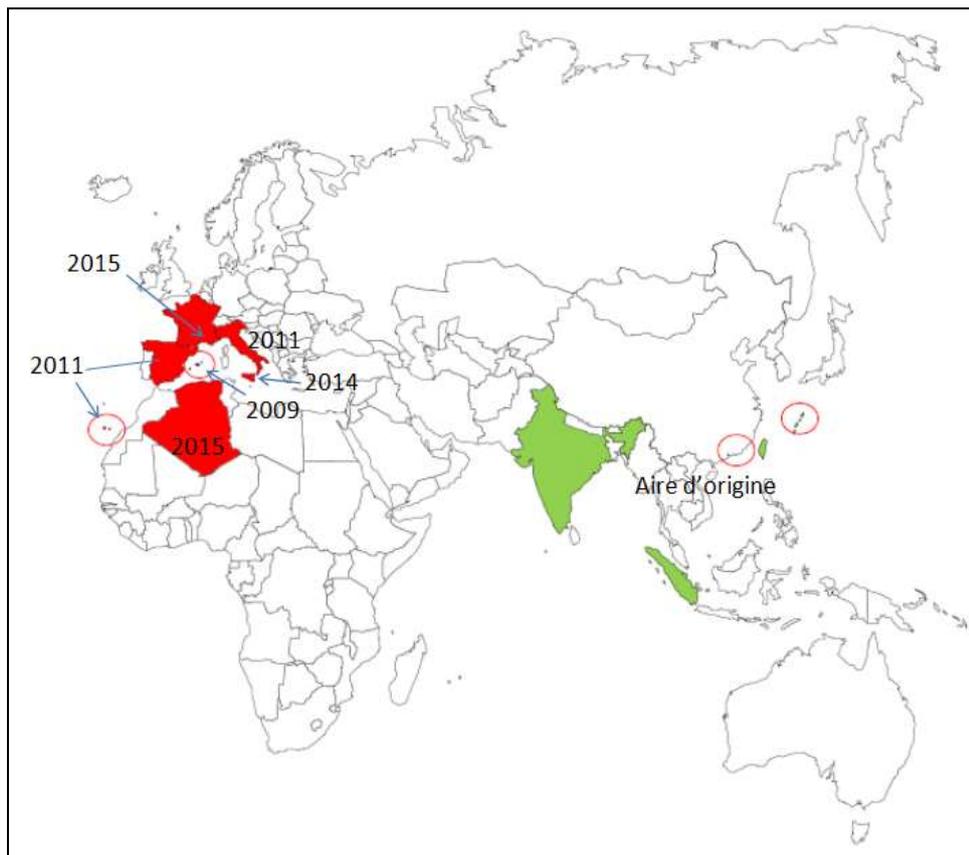
Le plan ecophyto prévoit la mise en œuvre de réseaux d'observations sur l'ensemble du territoire national. Ces réseaux d'observation ont pour objectif de fournir des informations sur l'état sanitaire des cultures. Ils permettent également de mettre en évidence l'apparition sur le territoire de bioagresseurs émergents.

Le réseau d'épidémiosurveillance en Zones Non Agricoles de la région PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur) regroupe une trentaine d'observateurs répartis sur la région. La FREDON PACA (Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles de Provence Alpes Côte d'Azur) est chargée par la mission d'animateur filière de regrouper les observations, de hiérarchiser les risques et de fournir une information fiable aux lecteurs du bulletin de santé du végétal.

C'est dans ce cadre qu'en 2015, un observateur du réseau d'épidémiosurveillance a alerté l'animateur filière de la FREDON sur la présence à Nice de ravageurs qui semblaient n'avoir jamais été identifiés en France auparavant et faisant penser à *Macrohormotoma gladiata* espèce en voie d'expansion dans le bassin méditerranéen (Mifsud & Porcelli, 2012, Pedata *et al.* 2012, Genaoui & Ouvrard, 2016) (Figure 1).

Figure 1 : Carte de distribution (aire d'origine en vert et aire d'extension en rouge avec les années de signalement)

/Distribution map (native range in green and extension in red with year of reporting)



MATÉRIEL ET MÉTHODE

SYMPTÔMES

Des amas cotonneux blancs ont été signalés à Nice sur *Ficus microcarpa*. À l'observation ces symptômes ont mis en évidence la présence d'insectes hémiptères (Photo 1). Ces insectes semblent s'attaquer uniquement à cette espèce végétale. La plante infestée n'apparaît pas affaiblie outre mesure par la présence de ces bioagresseurs.

Photo 1 : Symptômes sur *Ficus microcarpa* à Nice (©S. Pionnat)
/Symptoms on *Ficus microcarpa* in Nice



PRÉLÈVEMENTS

Un prélèvement a été effectué à la suite de ce signalement par un technicien de la FREDON.

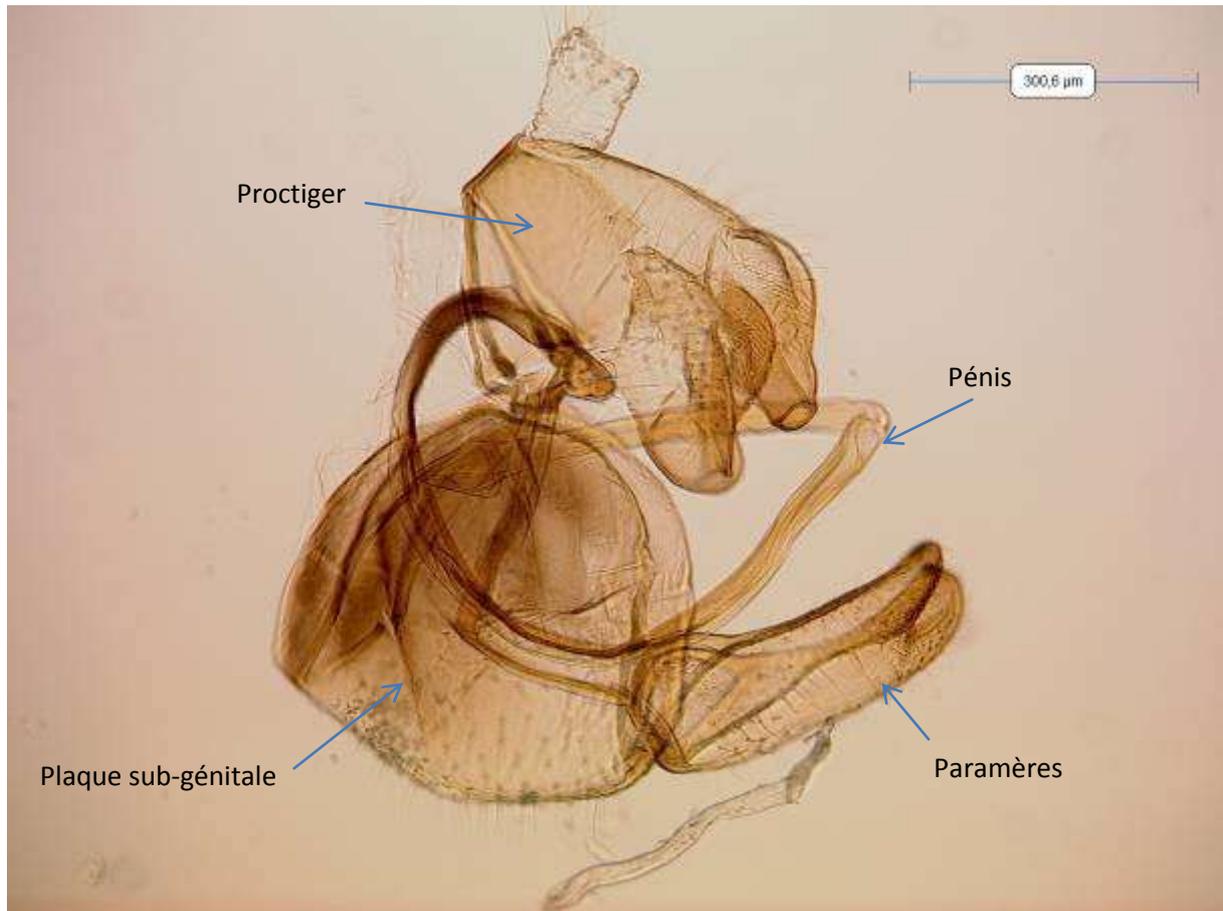
Les insectes récoltés ont été conditionnés dans des tubes contenant de l'alcool à 70% et transmis pour analyse au laboratoire de la santé des végétaux de l'ANSES, unité d'entomologie et plantes invasives de Montferrier-sur-Lez pour identification.

IDENTIFICATION

Le laboratoire a confirmé par l'identification morphologique de 6 adultes et 4 larves que nous étions bien en présence de *Macrohomotoma gladiata* (Hemiptera : Psylloidea : Homotomidae).

L'identification a été réalisée par une méthode morphologique utilisant la clé de Yang *et al.*, 2009. Cette méthode consiste en l'observation des terminalia de mâle (segments 9 à 11 de l'abdomen) montés entre lame et lamelle et observés au microscope, moyen le plus à même d'assurer l'identification (Photo 2).

Photo 2 : détails terminalia mâle (©J.-F. Germain)
/details male terminalia



RÉSULTATS

DESCRIPTION (D'APRES YANG ET AL. 2009)

Macrohomotoma gladiata (Photo 3) présente une couleur générale d'un brun sale, brun foncé à noir avec des bandes blanches jaunâtres avant la base des ailes antérieures. Le corps mesure de 2 à 2,27 mm chez le mâle et de 2,87 à 3,00 mm chez la femelle.

La tête est aussi large que le thorax, fortement courbée vers le bas. La largeur de la tête (en incluant les yeux) est de 1,03 mm chez le mâle et 1,10 mm chez la femelle. La partie antérieure de la tête (genae) est brun jaune, ainsi que les antennes avec les derniers segments noirs. Cette partie est petite et élargie sous l'insertion antennaire. Le vertex (sommet de la tête) est environ 2,4 fois aussi large que long.

Le thorax est fortement arqué.

L'aile antérieure (Photo 4) présente une tache noire près de la Cu1a et à l'apex du Pterostigma (partie épaissie, plus ou moins opaque et colorée, du bord costal de l'aile). Elle mesure de 3,43 à 6,60 mm chez le mâle et de 4,00 à 4,20 mm chez la femelle. Elle est 2,4 fois aussi longue que large. L'aile postérieure est large.

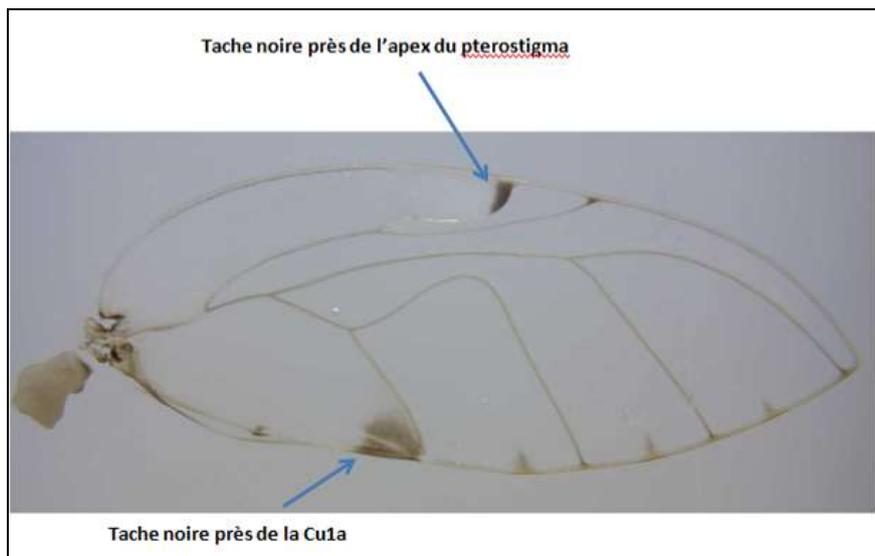
Les antennes présentent 10 articles et mesurent 1,00 mm chez le mâle et 1,03 mm chez la femelle.

Le métatibia (tibia de la troisième paire de pattes) présente 4 éperons internes apicaux, il n'a pas d'épine basale.

Photo 3 : *Macrohormotoma gladiata* adulte (©F. Porcelli)
/Adult *Macrohormotoma gladiata*



Photo 4 : aile antérieure (©J.-F. Germain)
/fore wing



Les œufs sont jaune pâles, ils sont généralement déposés par paquets de 10 à 20 sur les jeunes feuilles. Les premiers stades larvaires sont brun-orangé alors que le dernier stade larvaire est plutôt vert pâle avec des sclérites bruns sur le dos et au niveau des ébauches alaires (Photo 5). A maturité les nymphes quittent la colonie et se déplacent à la face supérieure des feuilles où a lieu l'émergence des adultes (Pedata *et al.*, 2012).

Photo 5 : *M. gladiata* larves (©F. Porcelli)
/Larvae *M. gladiata*



SYMPTÔMATOLOGIE

Dans son aire d'origine (Asie du Sud Est, cf. figure 1) *M. gladiata* n'est pas considéré comme un ravageur. En Espagne, aux îles Baléares et aux Canaries cependant de fortes infestations ont été recensées (Mifsud & Porcelli, 2012, Cruz, 2013), ainsi qu'en Italie (Pedata *et al.*, 2012 ; Cruz, 2013 ; Bella & Rapisarda, 2014). A partir d'un petit foyer, cet insecte semble capable de coloniser rapidement en un été tous les arbres d'un alignement. Les populations de *M. gladiata* se développent sur les jeunes pousses qui se couvrent de sécrétions cotonneuses blanches. Les premiers stades larvaires s'y développent à l'abri. Les jeunes pousses infestées se déforment, arrêtent leur développement et finissent par mourir.

En Espagne il a parfois été reporté la présence de miellat associée aux attaques de ce psylle. En Italie les sécrétions cireuses cotonneuses tombent au sol sous les arbres attaqués pouvant gêner les piétons.

DISCUSSION

Le risque d'importer de nouveaux ravageurs par le biais d'importation de plantes ornementales en espaces verts est non négligeable et se trouve par cet exemple de nouveau bien illustré.

En ce qui concerne *M. gladiata* il s'agit d'une espèce oligophage. D'après Sánchez, 2012 sa seule plante hôte est *Ficus microcarpa*. Le risque de dissémination sur le territoire français paraît donc limité du fait de la faible représentation de cette espèce végétale dans nos espaces verts.

Cependant l'impact de ce ravageur reste à surveiller sur le site où il a été découvert afin de s'assurer de son innocuité vis-à-vis des autres espèces végétales présentes.

D'après Pedata *et al.*, 2012, des chrysopidés et des anthocoridés ont été observés sur les populations de psylle indiquant une action des auxiliaires naturellement présents dans l'environnement. Il semble cependant qu'aucun ennemi naturel spécifique n'ait été mis en évidence dans les pays européens où il a été signalé. Un hyménoptère Encyrtidae, *Psyllaephagus punensis* (Hayat & Khan) a été identifié en Inde se développant aux dépens de *M. gladiata* sur *Ficus religiosa* (Hayat & Khan, 2014), un second *Priomitus mitratus* (Dalman) (Laborda *et al.*, 2015).

La découverte de ce nouveau ravageur met en évidence l'importance des réseaux d'épidémiologie et notamment en zones non agricoles. La richesse des échanges et des observations réalisées sur le terrain améliore ainsi la surveillance du territoire, il complète efficacement les plans de surveillance nationaux.

CONCLUSION

La mise en place d'un réseau d'épidémiologie en zones non agricoles en PACA a permis de mettre en évidence la présence sur le territoire français du psylle *Macrohormotoma gladiata*, inféodé à l'espèce végétale *Ficus microcarpa*.

Ce psylle génère des dégâts allant de la gêne du public fréquentant les espaces verts où sont implantés les arbres attaqués au dépérissement des pousses attaquées. Aucune défoliation complète des plantes attaquées n'a été signalée.

Compte-tenu de la bibliographie il semble que ce bioagresseur ne constitue pas un problème phytosanitaire majeur dans les jardins et espaces verts au même titre que d'autres psylles déjà présents sur le territoire français. La surveillance sera néanmoins poursuivie dans les années à venir.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Francisco Porcelli pour la mise à disposition de photographies.

BIBLIOGRAPHIE

Bella, S., Rapisarda. 2014. New finding in Italy of the recently introduced alien psyllid *Macrohormotoma gladiata* and additional records of *Acizzia jamatonica* and *Cacopsylla fulguralis* (Hem.: Psylloidea). Redia, 97: 151-155.

Cruz, A. 2013. La escasez de lluvias aumenta la aparición de plagas en los parques. www.laopinion.es/tenerife/2013/02/13/escasez-lluvias-aumenta-aparicion-plagasparques/459435.html

Guenaoui, Y., Ouvrard, D. 2016. Une nouvelle espèce de psylle découverte sur Ficus en Algérie. Phytoma, 691 : 7-9.

- Hayat, M., Khan, F.R. 2014. Taxonomic notes on some Indian Encyrtidae (Hymenoptera : Chalcidoidea) with description of a new genus and species. *Oriental Insects* 48(1-2): 123-149.
- Laborda, R., Galan-Blesa, J., Sanchez-Domingo, A., Xamani, P., Estruch, V.D., Selfa, J., Guerrieri, E., Rodrigo, E. 2015. Preliminary study on the biology, natural enemies and chemical control of the invasive *Macrohormotoma gladiata* (Kuwayama) on urban *Ficus microcarpa* L. trees in Valencia (SE Spain). *Urban forestry & urban greening*, 14: 123-128.
- Mifsud, D., Porcelli, F. 2012. The psyllid *Macrohormotoma gladiata* Kuwayama, 1908 (Hemiptera : Psylloidea : Homotomidae) : a ficus pest recently introduced in the EPPO region. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 42 (1): 161-164
- Pedata, P.A., Burckhardt, D., Mancini, D. 2012. Severe infestations of the jumping plant-house *Macrohormotoma gladiata*, a new species for Italy in urban Ficus plantations. *Bulletin of Insectology*, 65 (1): 95-98
- Sánchez, I. 2012. Primeras citas de *Macrohormotoma gladiata* (Hemiptera : Psylloidea : Homotomidae) en Andalucía (España)
- Yang, M.-M., Burckhardt, D. Fang, S.-J. 2009. *Psylloidea of Taiwan Volume I*. National Chung Hsing University . 96p.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

TREE FAILURES IN ITALY: ANALYSIS OF SINGLE EVENTS, CONSEQUENCES AND DISTRIBUTION

B. ROATTI ⁽¹⁾, G. MORELLI ⁽²⁾ and S. GASPERINI ⁽¹⁾

⁽¹⁾ AR.ES. S.a.s. di Gasperini Stefania & C. via Darsena 67, 44122 Ferrara, Italy. ares@arbestense.it

⁽²⁾ PROGETTO VERDE di Giovanni Morelli, via Darsena 67, 44122 Ferrara, Italy.
progettoverde@verdemorelli.it

ABSTRACT

Tree failures in urban environment are impossible to avoid, since this would require the absence of all trees themselves. However, the proper management of the urban forest through the use of current risk assessment instruments (e.g. ISA TRAQ qualification), the assessment of tree stability (e.g. V.T.A. protocol) and adherence to risk management practices can significantly reduce the occurrence of these events and their associated social costs. To be better understand the number of tree-related events that occur in Italy, the authors compiled information from news outlets covering such events for the period 2013 through 2015. Weather data was also collected to obtain information about the wind speed and precipitation associated with each event. Statistical analysis of the collected data returned a detailed view of the distribution within Italy of tree failures that resulted in negative consequences. Further, the relationship of meteorological events to these failures were analysed. The study suggests the importance of the adoption of data archives, such as a national tree failure database that can provide relevant information on causal agents relating to tree failures and consequences. The comprehensive on-going analysis of tree failures is essential to pursue the goal of reducing future negative events and to demonstrate the effectiveness of the proper management of trees, especially in urban areas, at the local, regional and national level.

Keywords: tree failure, urban forest, statistical analysis, TRAQ, VTA.

RÉSUMÉ

Les ruptures des arbres au milieu urbain ne sont pas évitables, puisque on obtient l'absence totale de ruptures seulement en absence totale d'arbres. Cependant une correcte gestion du patrimoine arboré selon des protocoles de diagnostic structurale et de gestion du risque internationalement reconnus (par exemple VTA protocole et ISA TRAQ qualification), peut réduire de manière significative le nombre de ruptures, en diminuant par conséquence les coûts sociaux liés à chaque rupture d'arbre. Dans les années 2013, 2014 et 2015, chaque annonce liée aux ruptures d'arbres, entières ou partielles, apparue dans les journaux a été notée. Pour être notée, l'article devait décrire précisément la date et le lieu de la chute de l'arbre ou de la branche, le nombre des ruptures et les conséquences des ruptures. Sur la base de la date et du lieu ils ont été recherchés des données météorologiques sur la vitesse du vent et sur la présence, ou moins, de pluie et/ou neige.

Après, l'analyse statistique a permis de tracer la connection entre les ruptures et les conditions météorologiques. L'étude suggère d'adopter un Tree Failure Database national capable de fournir des informations précieuses sur les connections entre ruptures d'arbres et leur conséquences.

L'analyse détaillée des ruptures d'arbres est d'une importance fondamentale pour limiter autant que possible l'apparition d'événements similaires à l'avenir, et pour démontrer l'efficacité d'une bonne gestion des arbres, en particulier dans les zones urbaines, à la fois au niveau local et national.

Mots-clés : rupture d'arbre, patrimoine arboré urbain, analyse statistique, TRAQ, VTA.

INTRODUCTION

The risk assessment of tree as it is currently applied in Italy involves determining the potential for a structural failure that results in negative consequences, such as injury, property damage or the loss of services. Due to the continuous monitoring of trees and the early detection of high-risk situations many failures are effectively prevented. However, because trees are biological structures and that numerous variables are affecting tree stability and response, site conditions and target variations, tree failures are impossible to avoid completely. (Lilly S.J., 2010; Dunster J.A. *et al.*, 2013). Moreover, despite the protocols of hazard and risk assessment are continuously updated according to the latest scientific evidences, some methodological limitations are present (Duntemann M. *et al.*, 2016). However, in order to identify key factors that may lead to failure, some studies were able to determine the thresholds for defining the significance of structural defects (e.g. cavities, rot, fungi infection) in relation to tree failures, and the general circumstances (e.g. site conditions, meteorological events) related to tree failures (Edberg R. and Berry A., 1999; Costello L.R. *et al.*, 2013; Costello L.R. and Jones K. S., 2014; Costello L.R. and Jones K. S., 2014; Costello L.R. *et al.*, 2015; Tso J. *et al.*, 2014; Tso J. *et al.*, 2015). Such retrospective studies were conducted at local level in the U.S.A. on specific species with the use of a particular data collection instrument, such as Tree Failure Database (Smiley T. *et al.* 2006). These databases can provide statistical information on the causes and consequences of tree failures. Additionally, the correlation between failures and atmospheric phenomenon and tree failure distribution throughout a country in relation to the meteorological events can be further studied.

In this article the authors propose the first data analysis about tree failures in Italy. Over a three year period (2013-2015) the authors collected information from new items related to tree failures, when sufficient details were present in terms of: date, number of failures, place and consequences of the crashes. Weather data was also collected in order to obtain information about wind speed, presence or absence of rainfall and/or snowfall. Statistical analysis of the collected data returned a detailed view of tree failures in Italy and how they are distributed throughout the country in relation to meteorological events and their consequences. This data analysis suggests the importance of the adoption of specific databases, such as the Tree Failure Database that, alongside continuous monitoring of trees, can concretely demonstrate the evolution and the occurrence of tree failures, investigating precisely on their possible causes, consequences, actual preventability and, finally, possible reduction within a physiological limit.

MATERIALS AND METHODS

TREE FAILURE EVENTS AND WEATHER DATA COLLECTION

From 2013 through 2015, new items related to tree failures in Italy were sought on a weekly basis, using "tree failure" as a keyword for the web search. When sufficient minimal details were present, (i.e. the date, number of failures, species, location and consequences) the data was categorized and stored into an Microsoft Excel spreadsheet. Weather data associated with the tree-failure location and date was collected from the public website <http://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo>. The weather data retrieved for each event included the maximum wind speed (km/h), gust speed, when registered, (km/h), and the presence of any form of precipitation.

DATA ELABORATION AND STATYSTICAL ANALYSIS

The data was categorized in four ways : wind and gust speeds, land use type, species type, regional location in Italy. Maximum wind speed and gust speed values were classified into the twelve categories of the Beaufort Scale. The distribution of tree failures in relation to the Beaufort Scale were graphed. Normality test and T-test were performed using Microsoft Excel. Tree failures were grouped into five different land use: street, public garden, school and hospital, private garden, and rural context. Species were categorized in to three trees types: broad-leaved, conifer, palm tree.

Tree failures were also categorized geographically to the twenty different regions of Italy: Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia, Lazio, Liguria, Lombardia, Marche, Molise, Piemonte, Puglia, Sardinia, Sicily, Tuscany, Trentino-Alto Adige, Umbria, Valle d'Aosta, and Veneto. Area data for each region (km²) was obtained from the official websites of the regions. The number of tree failure per km² was calculated for each region. Tree failures were also categorized geographically by the Eurocodice 1 index (CNR,2009; H. Gulvanessian et al., 2009), which divides and groups the regions of Italy in to nine different macro-areas according to the anticipated wind speed. The number of tree failure per km² for each Euocodice zone was calculated.

RESULTS

DATA ELABORATION AND STATYSTICAL ANALYSIS

A total of 383 news media identified tree-related failures were recorded from 2013 through 2015, recorded and analyzed (Fig. 1). Of the 383 trees, 90% (345) of the failures involved the entire tree, while the remaining 10% (38) involved branches. In 70% of cases precipitation was present, 67% for rainfall and 3% for snowfall. Fatality cases comprised 2% of the total number of incidences assessed, while persons injured by or people involved in tree failures reached 86%. Cars were struck in 52% of cases while damage to buildings was 15% of the time. Other damages (electrical lines, railways, water pipes, street lamps, garbage dumpster, cable car, metro) comprised 8% of the events.

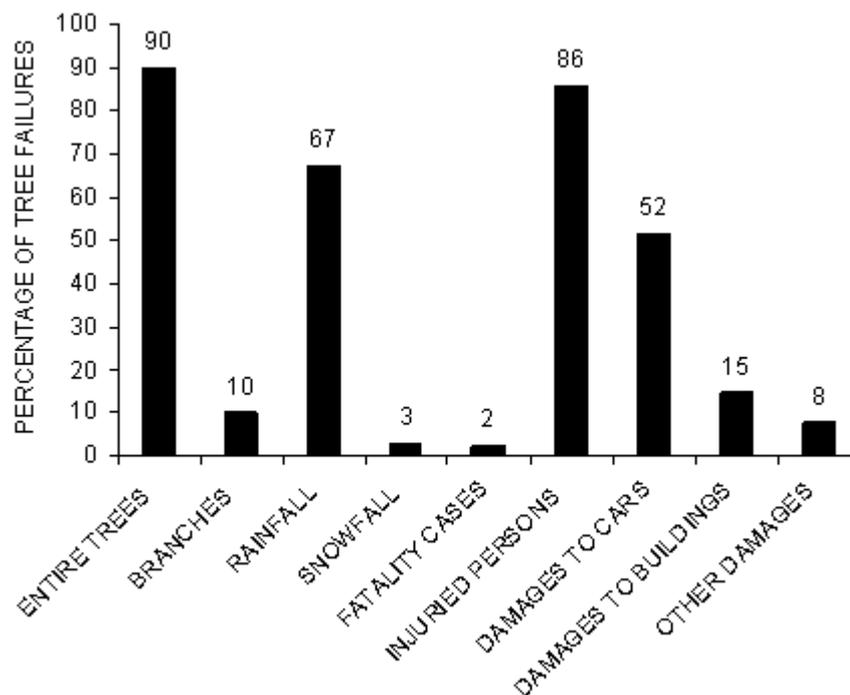


Figure 1 : Percentage analysis of tree failures in Italy from year 2013 to year 2015: cases of tree failure and branch failure, frequency of precipitations, fatality cases, injured persons, and other damages.

Figure 1 : Analyse en pourcentage des ruptures d'arbre en Italie de l'année 2013 à l'année 2015: les cas de rupture d'arbres entiers ou de seules branches, la fréquence des précipitations, les cas de décès, les personnes blessés, et d'autres dommages.

Analysis of tree failures in relation to maximum wind speed shows that all tree failures are normally distributed among an average value of 5 on the Beaufort Scale, which equated to the calculated mean

value of 33 km/h (Fig. 2A). In the description of the Beaufort scale, the value of 5 indicates a fresh breeze where branches of a moderate size move and small trees in leaf begin to sway.

However, in 58% of cases the wind was gusty so we could further analyze tree failures in relation to wind speed according to the presence or absence of gust (Fig. 2B), and significant differences were observed ($P < 0,01$). In fact, when gusty, tree failures in relation to maximum wind speed are normally distributed among an average value of 6 Beaufort, which correspond to the calculated mean value of 42 km/h. In the description of Beaufort scale, the value of 6 indicates a strong breeze where large branches are in motion, whistling in overhead wires is heard, the use of the umbrella becomes difficult and empty plastic bins tip over. In these cases, tree failures are also normally distributed among an average value of gust of 7 Beaufort, which correspond to the calculated mean value of 62 km/h. In the description of Beaufort scale, the value of 7 indicates strong wind or moderate gale, where whole trees are in motion and an effort is needed to walk against the wind.

When not gusty, in the remaining 42% of cases, tree failures are normally distributed among an average value of maximum wind speed of 4 Beaufort, which correspond to the calculated mean value of 22 km/h. In the description of the Beaufort scale, the value of 4 indicates a moderate breeze where dust and loose paper is raised and small branches begin to move.

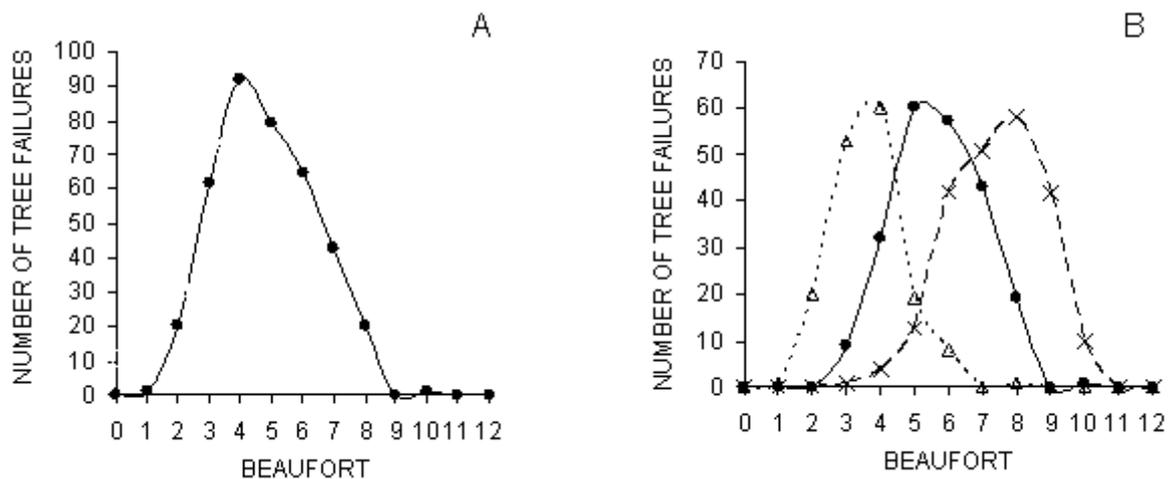


Figure 2 : Distribution of tree failures in relation to wind speed (Beaufort). **A:** tree failures are normally distributed around an average value of maximum wind speed of 5 Beaufort. **B:** when the wind is gusty, tree failures are normally distributed around an average value of maximum wind speed of 6 Beaufort (•) and normally distributed around an average value of gust speed of 7 Beaufort (×). When the wind is not gusty, tree failures are normally distributed around an average value of maximum wind speed of 4 Beaufort (Δ)

Figure 2 : Distribution des ruptures d'arbre par rapport à la vitesse du vent (Beaufort). A: les ruptures d'arbre sont normalement réparties autour d'une valeur moyenne de la vitesse maximale du vent de 5 Beaufort. B: quand le vent est en rafales, les ruptures d'arbre sont normalement réparties autour d'une valeur moyenne de la vitesse maximale du vent de 6 Beaufort (•) et normalement réparties autour d'une valeur moyenne de la vitesse de rafales de 7 Beaufort (×). Quand le vent ne souffle pas en rafales, les ruptures d'arbre sont normalement réparties autour d'une valeur moyenne de la vitesse maximale du vent de 4 Beaufort (Δ)

When land use was analyzed, the majority of tree failures (82%) occurred in streets, while 8% of tree failures occurred in public gardens, 4% occurred in schools and hospitals, 3% occurred in private gardens and 2% in a rural context (Fig. 3).

The number of tree failures per km² was calculated for each region of Italy, and Lazio, Liguria and Campania resulted to be the regions with the higher frequency of tree failure (Fig. 4). Molise, Basilicata and Valle d'Aosta had no crashes at all in the analyzed period.

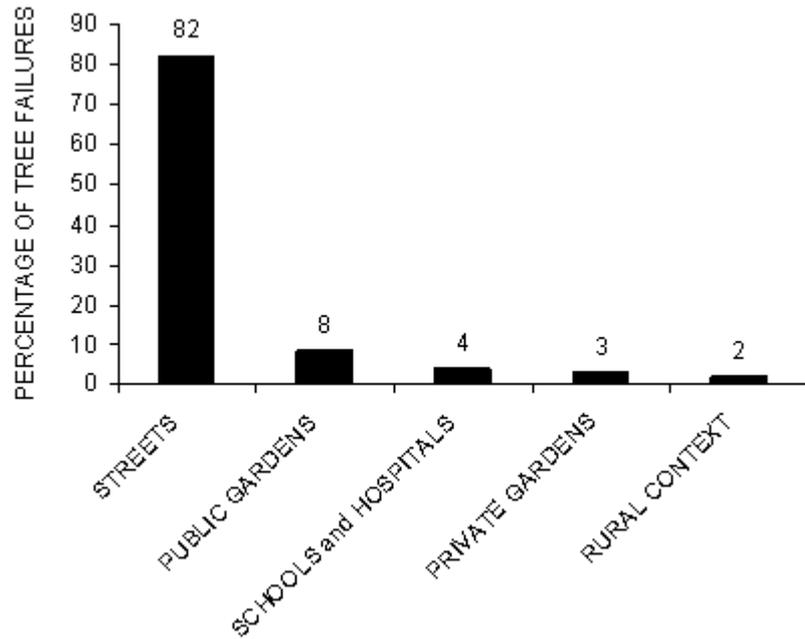


Figure 3 : Distribution of tree failures (percentage) according to different rooting sites.
 Figure 3 : Distribution de ruptures d'arbre (pourcentage) par rapport aux différents sites d'enracinement.

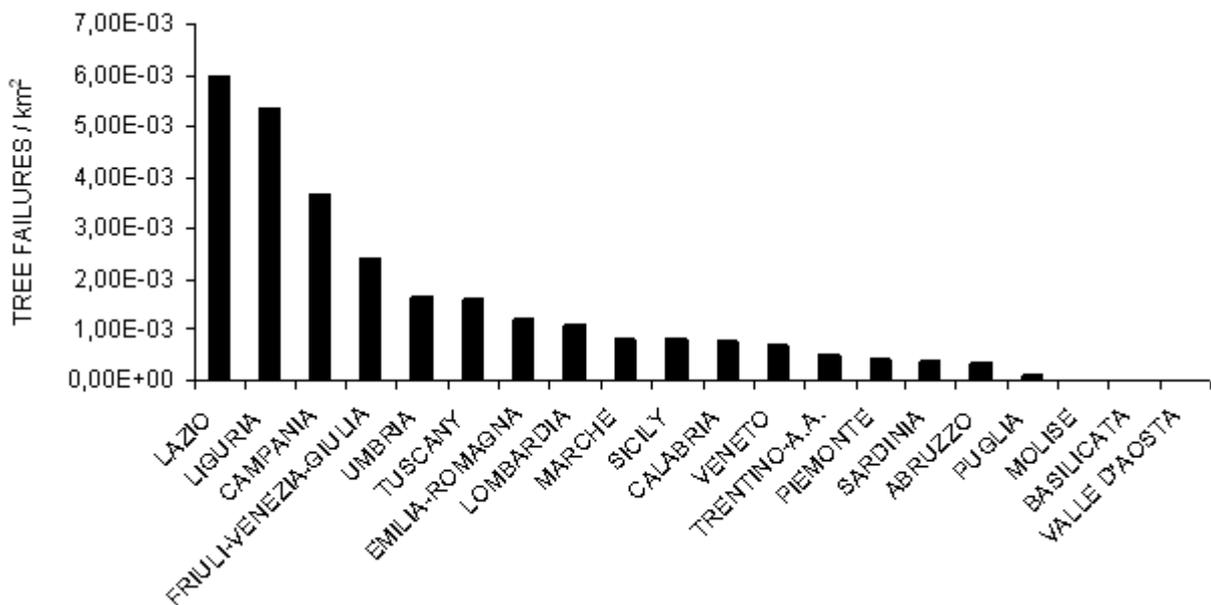


Figure 4 : Distribution of tree failures in the twenty different regions of Italy.
 Figure 4 : Distribution de ruptures d'arbre dans les vingt Régions d'Italie.

However, according to Eurocodice 1 (CNR, 2009), which subdivides and groups regions in nine different zones according to the planned wind speed (Fig. 5; CNR, 2009), Liguria (zone number 7) has the highest number of tree failures per km² (Fig. 6), followed by Trieste province (zone number 8), and zone number 3, which includes several regions: Tuscany, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (except Reggio Calabria province). In the zone number 6 (West Sardinia) no tree failure was recorded.



Figure 5 : Map of the nine different zones of Italy according to the reference wind speed of Eurocodice 1 (CNR, 2009).

Figure 5 : Carte des neuf zones différentes de l'Italie par rapport à la vitesse du vent de référence Eurocodice 1 (CNR, 2009).

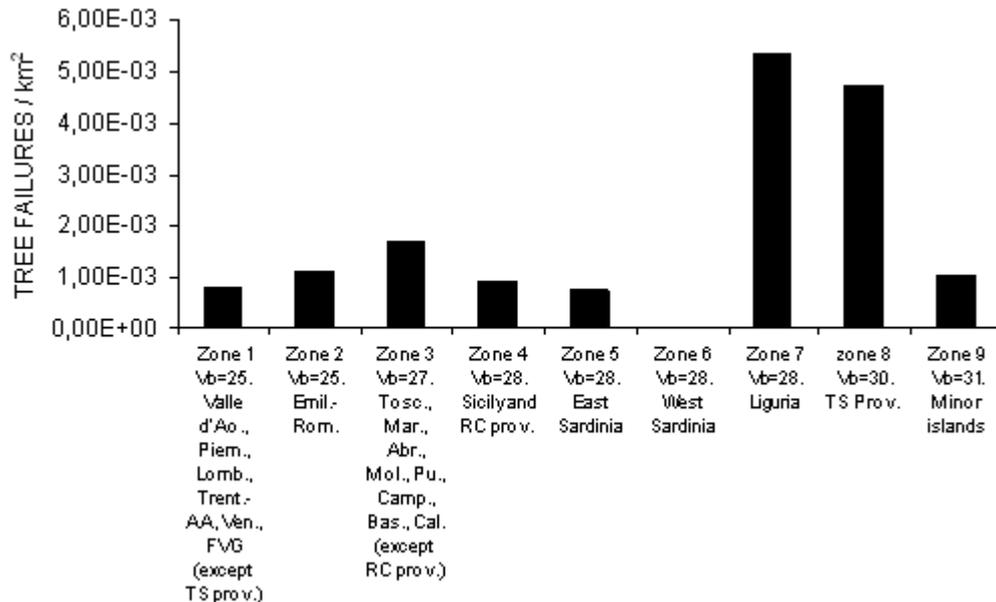


Figure 6 : Distribution of tree failures in the nine different zones of Italy according to the reference wind speed (Vb) of Eurocodice 1 (CNR, 2009).

Figure 6 : Distribution des ruptures d'arbre dans neuf zones différentes d'Italie par rapport à la vitesse du vent de référence (Vb) de Eurocodice 1 (CNR, 2009).

Concluding, in only 40% of cases we were able to obtain information about the species involved or, at least, the genus and we observed that, in 35% of cases, broad-leaved trees were involved in tree

failures while the majority of failures was caused by conifers (62%). Only a small percentage of palms (3%) failed (Fig. 7).

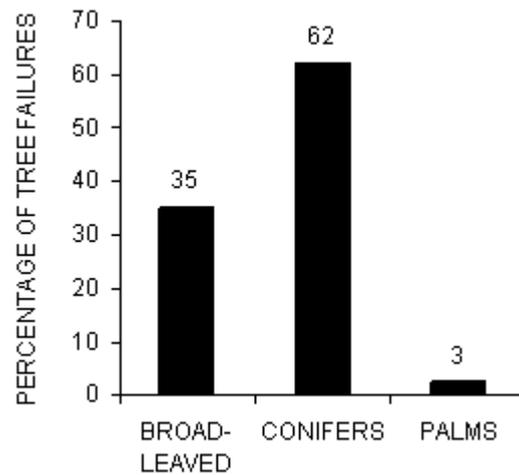


Figure 7 : Trees involved in failures (percentage).
 Figure 7 : Arbres impliqués en crashes (pourcentage).

DISCUSSION

Tree failure is a natural phenomenon which is part of tree's biological cycle. However, in the coexistence between trees and humans, this type of event should be prevented and avoided as much as possible in order to minimize damages to people and property (Lilly S.J., 2010; Dunster J.A. *et al.*, 2013). Aiming to reach the minimum hazard and risk related to trees, the authors believe that, in addition to the continuous monitoring of trees and of risk assessment, the analysis of tree failure is essential to identifying the causes and the circumstances of such negative events. Therefore, data analysis here proposed aims to highlight some data about tree failures in Italy. First of all, data analysis here reported is limited, as regards individual or few tree failures, however sufficiently described in numerical terms. In case of storms where a generic multitude of trees failed, such data have been discarded from the analysis due to the lack of precise numerical information. In addition, the study was limited to failures reported from the chronicles and where weather data was limited to the nearest available meteorological station.

However, data analysis of the years 2013, 2014 and 2015, returned interesting facts about tree failures. In most cases, whole trees were involved (90%), while a minority of failures (10%) involved the failure of branches. Possibly, trees are more susceptible to failure entirely, while branches are involved in the minority of crashes, or that collapse of branches does not cause significant damage to justify the media to report it. In any case, only 2% of tree failures lead to fatality cases, a very low percentage compared to the intimate coexistence of urban trees with the population, although people injured or involved cover a high percentage (86%). Property damages should not be underestimated because in 52% of tree failures a motor vehicle is involved. Buildings in 15% of cases suffered some damages and damages to power lines, railways, pipes, street lamps, garbage dumpster, cable cars, subways together hold 8% of crashes. In general terms, adding together individual percentages of material damages, a tree hits an object in 75% of cases while failing. This percentage analysis of harm to people and objects can be essential in the hypothesis of tree risk assessment campaigns. Therefore, considering the percentages of people either died or injured and property damage, social costs associated with tree failures must be very high.

Analyzing the meteorological circumstances of tree failures, despite the inherent imprecision of data collection, it has been possible to detect a statistical significance. In fact, at first glance, considering only the maximum wind speed, tree failures are distributed normally around a value of 5 Beaufort (fresh

breeze), corresponding to the calculated average of 33 km/h (Fig. 2A). However in 58% of crashes gust speed was also recorded. Therefore, we further analyzed the crashes depending on gusty and not gusty wind (Fig. 2B). In fact, we have been able to observe particularly that the majority of tree failures (58%) occurs in strong breeze conditions (6 Beaufort) with gusts of strong wind or moderate gale (7 Beaufort). However, still a high percentage of tree failures (42%) take place even in moderate breeze conditions (4 Beaufort), in absence of gust, where only small branches are in motion. A wind strength apparently much less worrying for the occurrence of tree failures that emphasizes the static instability of many trees, which requires only a breeze to fail. Moreover in the 67% of crashes rainfalls are present. Therefore, rainfall seems to be a determining factor in tree failure, probably saturating the soil, thus overcoming the ability of roots (probably already compromised) to dissipate the wind energy intercepted by the foliage to the ground.

Interestingly, in most of the crashes (82%) road trees are involved. It is clear that the worst conditions for growth and self-sustenance of trees specimens occur in heavily urbanized contexts. Road trees are in fact the ones most exposed to repeated damages to root systems due to re-development of the road itself and installation of underground utilities that may deprive the tree of some of anchoring roots and expose to the risk of infection by fungi. Root system so weakened can make the trees more susceptible to failure than other urbanized contexts such as parks and gardens.

Analyzing the distribution of tree failures the authors identified the Italian regions most affected by crashes. The first standings regions are Lazio, Liguria and Campania, followed gradually by the other regions. Understanding the causes of these primates is not simple. In part, the causes can be related to a greater propensity of these regions to be subjected to particularly intense meteorological phenomena and, in part, to a greater state of impairment of trees that facilitate the collapse.

A more standardized distribution of tree failures can be viewed in figure 6, where the regions of Italy are grouped into nine different zones depending on the planned wind speed, used for functional engineering calculations for the construction of buildings (Fig. 5; CNR, 2009). In this graph it is possible to identify the regions most affected by strong winds, where, in theory, we can expect a higher number of failures. In fact at first glance Liguria region (the only region constituent the zone 7 with a planned wind speed of 28 m/s) holds the record of tree failures. However also zones number 4, 5 and 6 have a planned wind speed of 28 m/s, therefore, a similar number of crashes/km² in these zones should be expected. Presumably, the pronounced difference between zone 7 and zones 4, 5 and 6 is due to other environmental factors, beyond wind strength. In fact, Liguria is a region particularly sensitive to flooding, landslides and overflowing of rivers and it is assumed that in addition to wind speed, the frequency of these environmental disasters can significantly predispose Liguria region to a greater number of tree failures compared to the homologous zones 4, 5 and 6.

Trieste province (constituting zone number 8, with a planned wind speed of 30 m/s) on the other hand holds the second place in terms of tree failures. In this case, however, it is possible to correlate the high frequency of crashes with the presence of a very strong wind called Bora, which blows frequently with gusts that can even exceed 150 km/h. Theoretically, even on the smaller islands, constituting zone number 9 with a planned wind speed of 31 m/s, we could expect a similar incidence of tree failures. However, since these islands are very small and less populated compared to the mainland, tree failures were probably not been reported in chronicles or, alternatively, the tree population is less dense and composed of native species well adapted to the local conditions.

Finally, the authors observed that the conifers are the most common class of trees involved in failures. However, only in 40% of crashes tree species was reported. This fact needs to be confirmed by more detailed data collection through the use of an official Tree Failure database where species should be indicated precisely.

CONCLUSIONS

Tree failure is a natural phenomenon and occurs following the normal Gaussian distribution in relation to wind strength. The observation of this natural phenomenon, although through approximate data collection, is extremely useful at both local and national level to monitor tree failures and to identify

the categories of trees more susceptible to failure respect to the rooting site. Even in presence of a moderate breeze, in absence of gusts, tree failures occur, suggesting how wind becomes a significant factor especially when acts synergically with other phenomena, such as rainfall. Aboveground and underground human activities (pruning, work in progress) that interfere with trees impair their integrity, especially when located in extremely urbanized areas such as roads. This category of trees seems to be above all the most susceptible to failure due to anthropogenic disturbances and monitoring road trees should be accomplished frequently and carefully. Despite tree failures, few fatality cases occur, although a high percentage remains involved or injured. Similarly, damages to objects bear a high percentage. These conclusions, however have been reached analyzing data from media sources, therefore it is assumed that they can also not be strictly accurate and reliable for statistical calculation. Therefore, the adoption of a Tree Failure Database where data analysis can provide a more complete and comprehensive view of tree failures it is recommended, with the aim to identify the main causes and to confirm the effectiveness of tree stability assessment campaigns.

ACKNOWLEDGMENTS

We acknowledge all members of AR.ES. Sas, Progetto Verde and Natural Path Urban Forestry for the critical review of data analysis and method and for English revision.

BIBLIOGRAPHY

- Edberg R., Berry A., 1999. *Patterns of structural failures in urban trees: Coast Live Oak (Quercus agrifolia)*. Journal of Arboriculture, 25 (1), 48-55.
- CNR Consiglio Nazionale delle Ricerche, 2009. *Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni*. CNR-DT 207/2008.
- Costello L.R., Jones K. S., Drake C., 2013. *Structural failure profile: Valley Oak (Quercus lobata)*. Western Arborist, 32-37.
- Costello L.R., Jones K. S., 2014. *Structural failure profile: Coast Live Oak (Quercus agrifolia)*. Western Arborist, 44-48.
- Costello L.R., Jones K. S., 2014. *Structural failure profile: Monterey Cypress (Hesperocyparis macrocarpa)*. Western Arborist, 50-54.
- Costello L.R., Tso J., Jones K. S., 2015. *Structural failure profile: Italian stone pine (Pinus pinea)*. Western Arborist, 44-47.
- Dunster J.A., Smiley E.T., Matheney N., Lilly S., 2013. *Tree Risk Assessment Manual*. Champaigns, Illinois: International Society of Arboriculture.
- Duntemann M., Morelli G., Stuart N., Roatti B., 2016. *Valutazione del rischio associato ai cedimenti. Criticità da considerare*. ACER, 2/2016.
- Gulvanessian H., Formichi P., Calgaro J.A., 2009. *Designers' Guide to Eurocode 1: Actions on buildings*. Thomas Telford Ltd, UK.
- Lilly S.J., 2010. *Arborists' Certification Study Guide*. Champaigns, Illinois: International Society of Arboriculture.
- Smiley T., Matheney N., Clark J., 2006. *International Tree Failure Database User Manual*. University of California.
- Tso J., Costello L.R., Jones K. S., 2014. *Structural failure profile: Blu gum (Eucalyptus globulus)*. Western Arborist, 52-55.
- Tso J., Costello L.R., Jones K. S., 2015. *Structural failure profile: Monterey Pine (Pinus radiata)*. Western Arborist, 44-48.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**ANALYSIS OF ANATOMIC STRUCTURES OF TREES IN RELATION TO UPROOTING BEHAVIOUR: THE
CASE STUDY OF *PINUS PINEA***

S. GASPERINI ⁽¹⁾, B. ROATTI ⁽¹⁾ and G. MORELLI ⁽²⁾

⁽¹⁾ AR.ES. S.a.s. di Gasperini Stefania & C. via Darsena 67, 44122 Ferrara, Italy. ares@arbestense.it

⁽²⁾ PROGETTO VERDE di Giovanni Morelli, via Darsena 67, 44122 Ferrara, Italy.

progettoverde@verdemorelli.it

ABSTRACT

Tree stability is the result of the interaction between trees and the environment around them. Therefore, morphological and anatomical features of each species significantly determine, in different ways, the stability of each individual.

Epidemiological studies of tree species in urban areas have demonstrated that trees belonging to different species exhibit different behavior of failure. The genus *Pinus*, particularly *Pinus pinea*, possesses a typical mode of uprooting, even in absence of structural defects.

Morphophysiological analysis of *Pinus pinea* provides an explanation to this peculiar mode of failure, allowing also to design a model of the mechanic, static and dynamic behavior, which is attributable, up to now, only to *Pinus pinea*.

The study of the anatomic structures of trees through morphophysiological analysis, different among species, is therefore fundamental for a more complete and correct tree stability assessment, aiming to better prevent tree failures and with a greater accuracy.

Keywords: *Pinus pinea*, uprooting behavior, morphophysiological analysis, tree failure, tree stability.

RÉSUMÉ

La stabilité des arbres est le résultat de l'interaction entre chaque individu et son environnement.

Par conséquent, les caractéristiques morphologiques et anatomiques des différentes espèces déterminent fortement, et d'une façon différente, la stabilité de chaque arbre.

Des études épidémiologiques conduites au milieu urbain ont démontré que des arbres d'espèces différents montrent des types de ruptures structurelles spécifiques. The genus *Pinus*, et *Pinus pinea* en particulier, montre un propre modèle de deracinement, même en absence de défauts structurels. L'analyse morphophysologique du *Pinus pinea* explique ce particulière modalité de deracinement, permettant de revenir à un modèle de comportement mécanique, statique and dynamique, pour l'instant uniquement attribuable à cette espèce.

L'étude approfondi de l'organisation anatomique de chaque individu enrichi par l'analyse morphophysologique, toujours différente pour les différentes espèces, devient essentiel pour une évaluation plus complète et précise de la stabilité des arbres, soit dans le diagnostic visuel que par l'utilisation d'instruments spécifiques, dans le but de toujours prévenir avec une plus grande précision les ruptures et les chutes des arbres.

Mots-clés : *Pinus pinea*, deracinement, analyse morphophysologique, rupture, stabilité des arbres.

INTRODUCTION

The assessment of tree stability is currently applied in urban environments as a diagnostic tool to control and reduce tree failures. Based on the application of specific diagnostic protocols, the assessment of tree stability provides a phase of visual analysis that may be integrated successively by instrumental follow-up inspections. Beyond the differences in methodology, the phases of stability evaluation are geared to the identification of any qualitative or quantitative deviation from a theoretical model of an ideal tree. Such deviations, which assign a negative value because they are considered potentially able to increase the propensity to failure, are commonly referred to as defects (Morelli G., 2010; Morelli G., 2015). The recognition and measurement of these defects are then related to an estimated traditional mechanical model of trees, which presupposes the presence of some standard features such as anatomic solidarity and strict relationship between primary branches, main trunk and superficial (fasciculated) anchoring roots (Fig. 1). This strict relationship between the three different anatomic structures is guaranteed by the presence of specific anatomical features located both at the crown level (stipes) and at the base of the tree such as buttresses (Albrecht *et al.*, 1995; James K., 2003). The main trunk, at least within certain limits, can be hollow (Wessoly L., 1995). Similarly, the taproot may be completely absent without compromising the stability of the traditional mechanical behaviour (Morelli G., 2015).

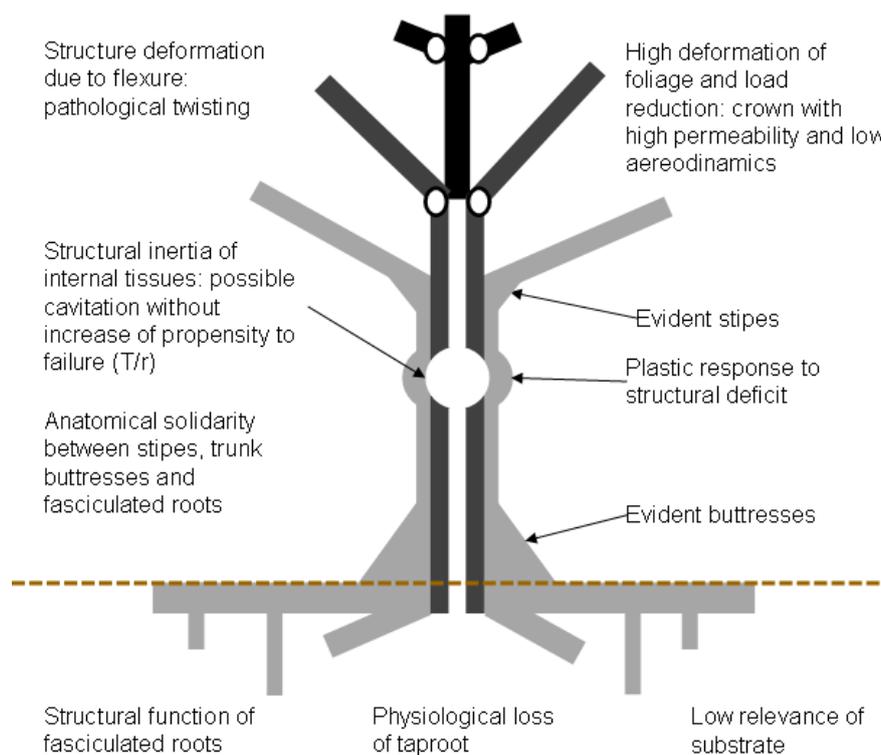


Figure 1 : Traditional mechanical model of trees (broad-leaved trees, *Cupressaceae*).

Figure 1 : Modèle mécanique traditionnel des arbres (feuillus, *Cupressaceae*).

When a tree belonging to the model described in figure 1 fails for uprooting, a rotation of the entire tree structure around a hinge of rotation occur (Fig. 2). Particularly, the rotation hinge is placed outside the projection of the main trunk to the ground (Vogel S., 1992) at a distance equal to approximately 2.5 times the diameter of the trunk measured at one meter height. After failing the tree is lying with the base raised up from the ground, resting on the root ball which is often of limited dimensions (Morelli G. and Raimbault P., 2011).

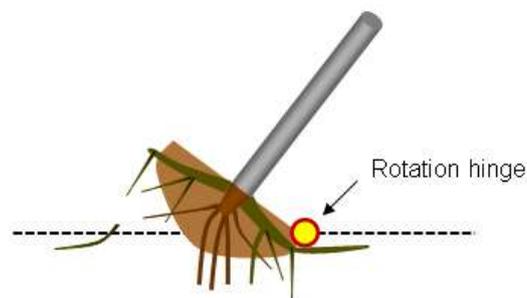
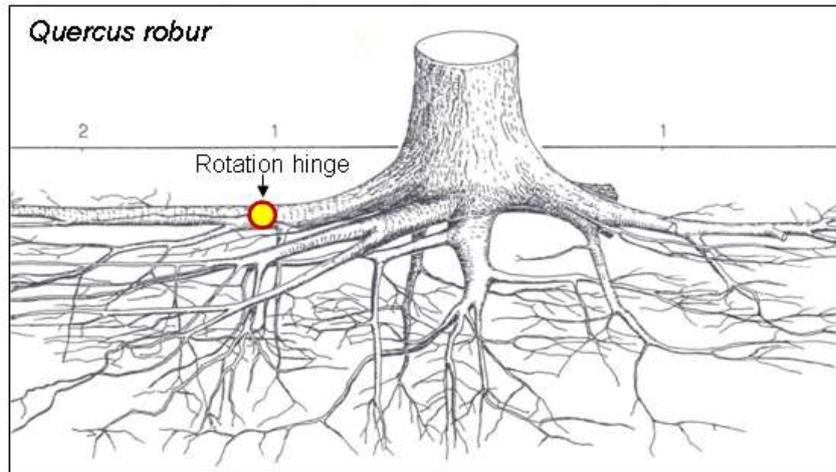


Figure 2 : Root system of traditional mechanical model of trees (broad-leaved trees, *Cupressaceae*) and individuation of the rotation hinge in case of failure (Morelli G., Rimbault P., 2011).

Figure 2 : Système racinaire du modèle mécanique traditionnel des arbres (arbres à feuilles larges, *Cupressaceae*) et individuation de la charnière de rotation en cas de chute (Morelli G., Rimbault P., 2011).

This traditional vision of the tree is characteristic of many species of hardwood and softwood and tree stability assessment, conducted either with a visual or instrumental analysis, is based on these empirical assumptions. However, even the most rigorous, systematic and professional adoption of tree stability assessment procedures does not allow to completely avoid the danger of structural failure of trees in urban areas. It is clear that there are situations, e.g. regarding to particular tree species or specific stages of life of a tree, in which the application of the most common diagnostic protocols referring to the theoretical mechanical model described above, appears to be completely ineffective.

In particular, the limits of tree stability assessment become much clearer in situations where a high frequency of particular tree species is present, as in the case of many Italian coastal cities having a common presence of *Pinus pinea*. In fact, the professional experiences about *Pinus pinea* stability assessment conducted in recent years have shown how the application of the traditional mechanical model described above is not able to significantly reduce failures for this particular species.

Therefore in this study we observed the modes of structural failure due to uprooting and we studied the anatomical structure of *Pinus pinea*. The anatomical organization of main branches, trunk and base of *Pinus pinea* highlights a specific mechanical model significantly different from the traditional one, broadly used to make assumption about tree stability assessment. The understanding of the

specific mechanical model for *Pinus pinea* associated to specific stability assessment procedures is fundamental to support the understanding of structural defects with more accuracy and to ensure the stability of *Pinus pinea*.

MATERIALS AND METHODS

From year 2013 to year 2016 we have been recorded and qualitatively described the structural failure for uprooting of *Pinus pinea* occurred in the cities of Riccione (RN, Emilia-Romagna, Italy) and Cervia (RA, Emilia-Romagna, Italy). For both cities trees were rooted in sandy soil. The analysis of failures were then related to anatomical features of *Pinus pinea* to verify their compliance to a mechanical model capable of explaining the dynamics and mode of failure. We then proceeded to the comparison between this new model and the traditional one.

RESULTS

Structural failure for uprooting in *Pinus pinea*

In most of the observed cases (about 80%) failures involved adults *Pinus pinea* showing some common characteristics: evident sinking of the base of the trunk in the compressed position respect to the fall direction, moderate lifting of the base of the trunk in the opposite direction, scarce or non evident presence of pulling roots, absence of degenerative processes of the woody tissues at the base of the trunk and of the lower third of the trunk (Fig. 3). Moreover, failures of *Pinus Pinea* were widely spread and a weak correlation between failures and intense meteorological events (strong wind, rainfall) was found. Apparently, a generalized absence of warning symptoms and defects was reported.



Figure 3 : Stump of *Pinus pinea* after failure with evident sinking of the base of the trunk in the compressed position compared to the fall direction.

Figure 3 : Souche de *Pinus pinea*, après l'évident effondrement de la base du tronc dans la position en compression par rapport à la direction de chute.

The described uprooting behaviour assumes a rotation of the entire tree structure around a rotation hinge which is typically placed in the center of the projection of the main trunk below the ground, potentially corresponding to the taproot (Fig. 4; Vogel S., 1992). Therefore, this peculiar mode of failure is not compatible with the traditional tree mechanical model as described previously in figure

1. Particularly, it is evident that the position of the rotation hinge for *Pinus pinea* is incompatible with a strict anatomical continuity between the main trunk and the superficial (fasciculated) anchoring roots.

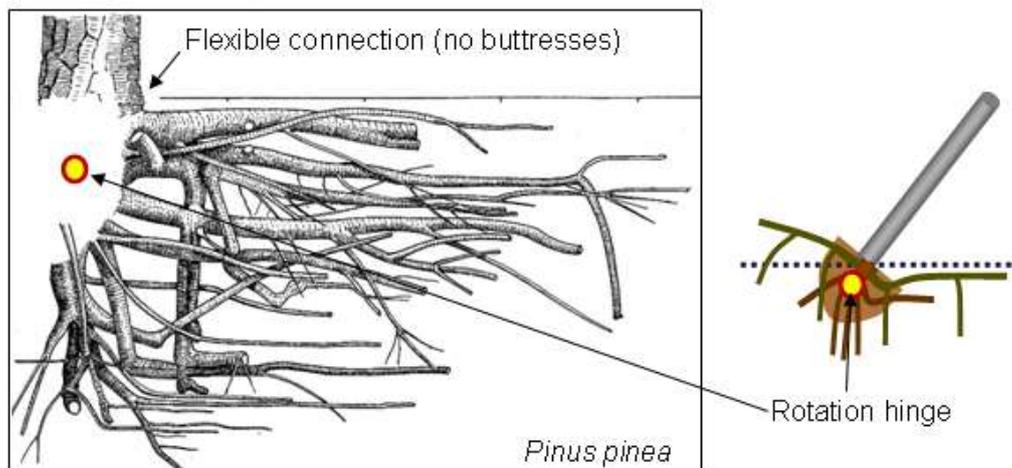


Figure 4 : Root system of *Pinus pinea* and individuation of the rotation hinge in case of failure (Morelli G., Raimbault P., 2011).

Figure 4 : Système racinaire de *Pinus pinea* et individuation de la charnière de rotation en cas de chute (Morelli G., Raimbault P., 2011).

DISCUSSION

A mechanical model for *Pinus pinea*

The qualitative examination of structural failure for uprooting of *Pinus pinea* supposes that this species is related to a mechanical model significantly different (almost opposite) from the traditional one (Fig. 5).

At least in theory, this alternative mechanical model presumes anatomical solidarity between primary branches and main trunk but, on the other hand, an elastic and flexible relationship between the trunk and the superficial fasciculated roots. This flexibility is guaranteed by the absence of specific anatomical structures of connection, such as buttresses, resulting in simple and straightforward insertion of superficial roots at the base of the trunk. Presumably, a direct continuity between the main trunk and the taproot is present. The main trunk, therefore, can not be hollow and the taproot emerges as a fundamental element for the functioning of the mechanical model of *Pinus Pinea*.

It is noteworthy, in fact, how the insertion to the ground of *Pinus pinea* often appears completely linear and as, statistically, in the stability assessment campaigns conducted also with the help of appropriate technical instruments, it is very uncommon to detect the presence of internal cavities at the base of the trunk (Costello L.R. *et al.*, 2015).

Comparison between mechanical model of *Pinus pinea* and traditional mechanical model

The mechanical model of *Pinus pinea* suggests how the anatomical organization in this species can be considered as an adaptation to primitive type of soils, incoherent and well ventilated even in depth, in which the tree, due to the anatomical continuity between the trunk and the taproot, would fix as a pole (Morelli G. and Raimbault P., 2011). The superficial roots (fasciculated roots), with their flexible connection to the base of the trunk would avoid the extraction of the taproot in traction position, while also avoiding the sinking of the base of the trunk in the compressed position, respect to the falling direction (Morelli G. and Raimbault P., 2011). The mode of failure of *Pinus pinea* in

urban conditions are thus the expression of this specific mechanical model, exposed to anatomical changes of various origins and nature, such as the loss of the taproot or cutting of superficial fasciculated roots (Raimbault P., 1996; Morelli G. and Raimbault P., 2011).

In contrast, the traditional mechanical model suggests how other species of trees such as *Cupressaceae* and broad-leaved are better adapted to it, due to more complex and evolved soils, consistent, sometimes compact and potentially well-drained but only in the surface (Morelli G. and Raimbault P., 2011). In this case the trees would be standing on the ground thanks to a large pedestal, consisting of superficial anchoring roots strictly connected to the main trunk through buttresses.

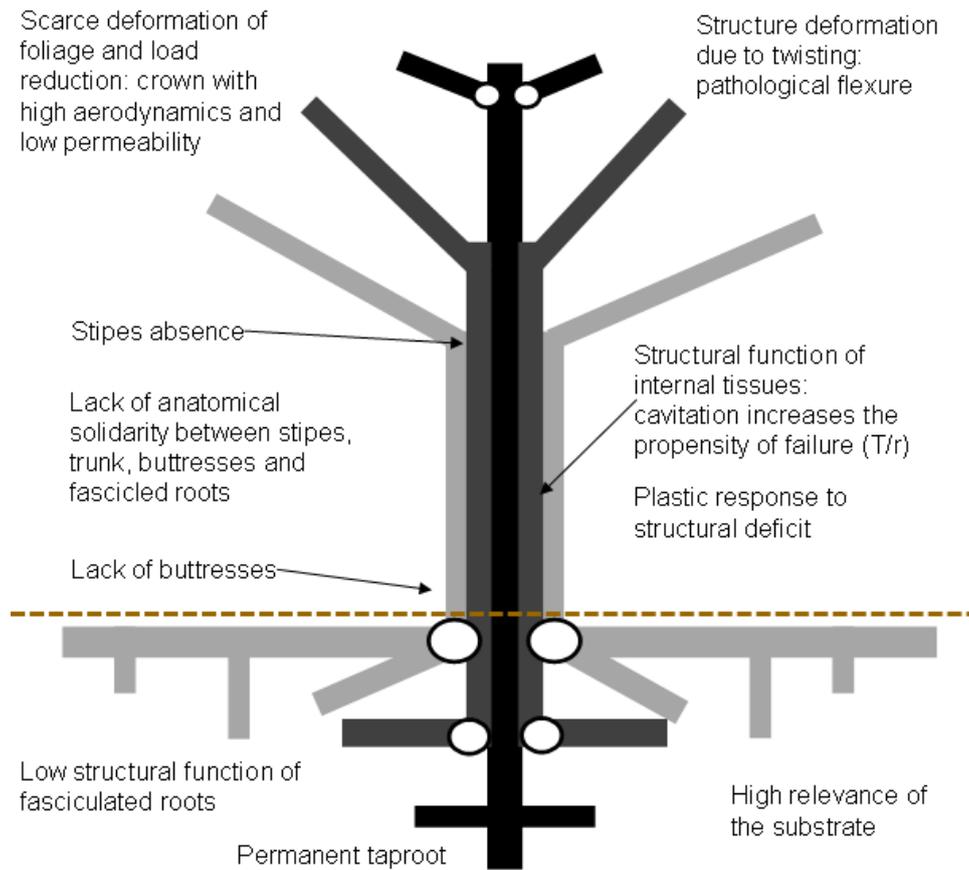


Figure 5: Mechanical model of *Pinus pinea*.
 Figure 5: Modèle mécanique de *Pinus pinea*.

Morphophysiological implications of the mechanical model of *Pinus pinea*

Every mechanical model can be confirmed in the process of morphophysiological evolution. In fact, citing the well known schematization of morphophysiological stages given by P. Raimbault (Raimbault P. and Tanguy M., 1993; Raimbault P., 1994) it is known how in the plastic modification process of trees there is a correspondence between the development of the aerial part of Stage 8 (Fig.6A) and the development of the root system shown in figure 6B at Stage G, underground (Raimbault P., 1991). This correspondence set in relation the decreasing photosynthetic capacity of the tree with the deactivation of the taproot that, over time, tends to disappear replaced by the fasciculated superficial roots (Raimbault P., 1991). Trees easily able to come to the Stadium 8 / G are therefore implicitly attributable to the traditional mechanical model of figure 1.

In the case of *Pinus pinea*, however, the permanence of the taproot justifies a halt in the morphophysiological evolution upon reaching maturity. Therefore *Pinus pinea* remains indefinitely at the Stadium 7 / F (Fig. 6B and 6C) and can not be linked to the traditional mechanical model of figure 1 (Morelli G. and Raimbault P., 2011). *Pinus pinea* needs to be analyzed following a different mechanical model that can justify its shape, architecture and mode of failure (Fig. 5)

These considerations suggest that the belonging of a tree species to a specific mechanical model depends certainly on the species itself and the degree of individual morphophysiological evolution.

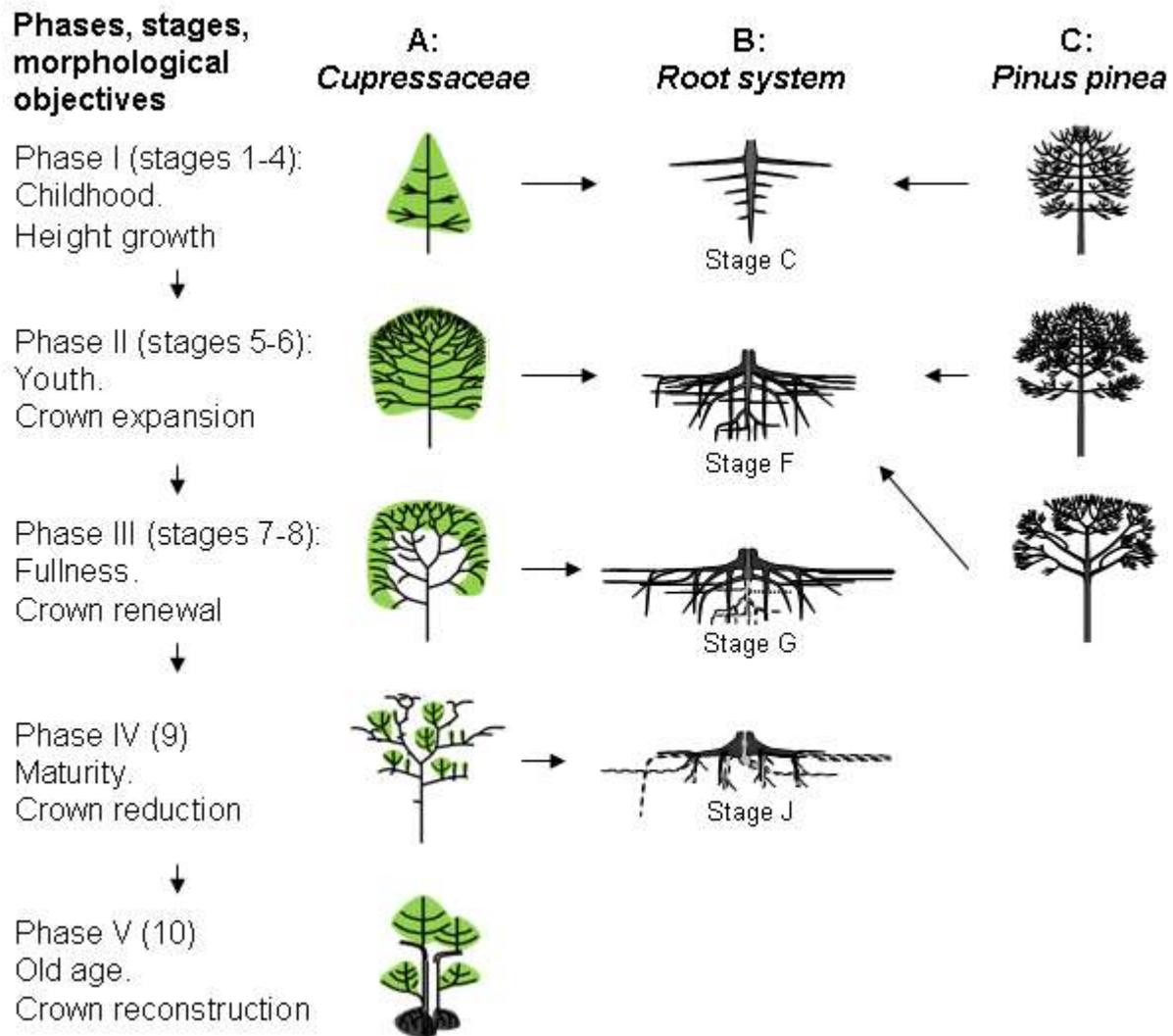


Figure 6 : Morphophysiological stages of development given by P. Raimbault for *Cupressaceae* (A) and *Pinus pinea* (C) in relation to the root system (B).

Figure 6 : Stades de développement morphophysologique chez les *Cupressaceae* (A) et chez *Pinus pinea* (C) en relation avec le système racinaire (B), (P. Raimbault).

CONCLUSION

The anatomical analysis of the organization of *Pinus pinea* in relation to its uprooting behaviour allows to define the limits of today's most common diagnostic protocols used for tree stability assessment, establishing how important is to relate trees to the most appropriate mechanical model. Future studies will determine whether there are other mechanical models in addition to those considered and if, as it is likely, there are species that are placed in an intermediate position between these pre-defined templates.

Secondly, it seems plausible to say that the mechanical model itself represents a transient tree condition due to its natural morphophysiological evolution, meaning that particular species may adhere to different mechanical models in the course of life. Therefore, morphophysiological analysis becomes a fundamental tool in tree stability assessment.

ACKNOWLEDGMENTS

We acknowledge all members of AR.ES. Sas, Progetto Verde and Natural Path Urban Forestry for the critical review of data analysis and method and for English revisions.

BIBLIOGRAPHY

- Albrecht W. A., Bethge K. A., Matteck C. G., 1995. *Is lateral strength in trees controlled by lateral mechanical stress?* Journal of Arboriculture 21(2), 83 – 87.
- Costello L.R., Tso J., Jones K. S., 2015. *Structural failure profile: Italian stone pine (Pinus pinea)*. Western Arborist, 44-47.
- James K., 2003. *Dynamic loading of trees*. Journal of Arboriculture 29(3), 165 – 171.
- Morelli G., 2010. *L'analisi morfofisiologica nella valutazione di stabilità degli alberi*,. Arbor – Sia n. 29/10/2010, 5 -10.
- Morelli G., Raimbault P., 2011. *Parliamo di...Pino domestico in ambito urbano. Un cittadino sconosciuto*. ACER 3/2011, 20 – 30.
- Morelli G., 2015. *Principi e pratiche dell'arboricoltura conservativa. L'analisi morfofisiologica dell'albero monumentale, aspetti visuali ed integrazioni strumentali*. Arbor 02/2015, 16 - 23
- Raimbault P., 1991. *Quelques observations sur les systèmes racinaires des arbres de parcs et d'alignements: diversité architecturale et convergence dans les développement*. Naturalia Monpeliensia n. h.s. 1991, 85 – 96.
- Raimbault P., Tanguy M., 1993. *La gestion des arbres d'ornement. 1^{ère} partie: une méthode d'analyse et diagnostic de la partie aérienne*. Rev. For. FR. : 45 (2), 97 – 117.
- Raimbault P., 1994. *Les arbres de parcs et d'alignements : comment gérer la partie aérienne ?* P-H.M- - Ligne verte, 3 , 26 - 32.
- Raimbault P., 1996. *La gestione dell'albero in città*. Atti delle Giornate di Verbena, Sanremo, Italia, 15-16 novembre 1996.
- Vogel S., 1996. *Blowing in the wind: storm-resisting features of design of trees*. Journal of Arboriculture 22(2), 92 – 98.
- Wessolly, L. 1995. *Fracture Diagnosis of Trees Part 3: Boring is no way for reliable fracture diagnosis*. Stadt und Grün 1995, No. 9, 635-640.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**L'UTILISATION DE DRONES POUR L'APPLICATION DES PRODUITS DE BIOCONTROLE EN JEVI :
L'EXEMPLE DU TRAITEMENT DES PALMIERS**

S. BESSE⁽¹⁾, K. PANCHAUD⁽²⁾, E. GRIMAUD, J. VANIE⁽³⁾

⁽¹⁾ Arysta LifeScience Corporation – Natural Plant Protection SAS – 35 avenue Léon Blum – 64000
PAU – France – samantha.besse@arysta.com

⁽²⁾ Vegetech – 33 chemin de la Source – 83260 LA CRAU – France – vegetech.panchaud@wanadoo.fr

⁽³⁾ MC-Clic – Rue des Açores – MONACO - 6 rue des Acores - 98000 Monaco -
mcclimonaco@yahoo.com

RÉSUMÉ

Le nouveau plan Ecophyto et la Loi d'Avenir ont la volonté de promouvoir l'utilisation des produits de biocontrôle. Toutefois, l'accès à des techniques d'application adaptées est essentiel pour favoriser leur utilisation en zones non agricoles. Or, ces zones présentent souvent des contraintes importantes en matière d'accessibilité pour les traitements (zones éloignées, inaccessibles par voie terrestre, accès publics, traitements de nuit...). Le traitement à l'aide de drones de petite taille s'avère une solution efficace pour contourner bon nombre de ces inconvénients et permet de réaliser des traitements localisés en un minimum de temps.

Mots-clés : drone, application, biocontrôle, *Beauveria bassiana*, palmiers.

ABSTRACT

BIOCONTROL PRODUCTS APPLICATION USING DRONES IN GARDENS, GREEN SPACES AND INFRASTRUCTURES : THE PALM TREES TREATMENTS EXAMPLE

New French regulations aim to promote the use of biocontrol products. However, the access to innovative methods for application is essential to favour their use in non agricultural zones. Important constraints are often met in these areas in term of accessibility for treatments (impossible to reach by land way, public access, treatments by night...). Treatments thanks to small drones are an efficient solution to get round many drawbacks and would allow realization of localized treatments in a minimum of time.

Keywords: drone, treatment, biocontrol products, *Beauveria bassiana*, palm trees.

INTRODUCTION

Récemment, la Loi d'Avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt, puis le nouveau plan Ecophyto, ont mis en avant les bienfaits de l'agro-écologie afin de faire entrer l'agriculture française dans une nouvelle ère permettant à la fois un gain en compétitivité et une maîtrise accrue des risques dans un souci de préservation de la santé des hommes et de leur environnement.

Deux axes, définis dans les nouvelles orientations du plan Ecophyto, associent entre autres deux techniques novatrices et prometteuses pour atteindre les objectifs ambitieux fixés par le gouvernement: le biocontrôle et les agro-équipements. Ainsi, l'axe 1 du plan vise à « Agir aujourd'hui et faire évoluer les pratiques » en renforçant la place des agroéquipements de nouvelle génération et en promouvant et développant le biocontrôle. L'axe 2 cherche, quant à lui, à « Améliorer les connaissances et les outils pour demain et encourager la recherche et l'innovation » en lançant, notamment, des programmes de Recherche & Développement opérationnels associant le biocontrôle et l'agroéquipement.

Les produits de biocontrôle apparaissent donc comme une alternative très crédible aux produits phytosanitaires conventionnels pour conserver une agriculture compétitive mais aussi en diminuer ses impacts sur la santé humaine et sur l'environnement. Toutefois, l'accès à des techniques d'application adaptées de ces produits est essentiel pour favoriser leur utilisation auprès des professionnels du paysage et de l'agriculture et en maximiser l'efficacité.

Ceci est d'autant plus vrai en zones non agricoles où l'interdiction de l'utilisation des produits phytosanitaires - hors produits de biocontrôle - à partir du 1er janvier 2017 rend la démocratisation de l'utilisation des méthodes alternatives de protection des plantes, ainsi que leur développement, extrêmement urgente.

Or, les contraintes pour la mise en œuvre des traitements au sein de ces zones sont bien souvent importantes, principalement en terme d'accessibilité des sites à traiter. Autant de problématiques que les élus locaux sont amenés à gérer.

L'utilisation de drones permettrait de contourner bon nombre de ces obstacles, rendant possible un développement accru des produits de biocontrôle en jardins, espaces verts et infrastructures (JEVI).

Le groupe Arysta LifeScience tente aujourd'hui d'associer les produits de biocontrôle de sa gamme à des techniques novatrices d'applications permettant un gain d'efficacité, mais aussi une meilleure prise en compte de la pénibilité pour les opérateurs et une limitation des impacts environnementaux et sanitaires des traitements.

Le développement d'un nouveau système d'application de produits à base du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* pour lutter contre les ravageurs des palmiers en est un bon exemple.

L'UTILISATION DES DRONES EN AGRICULTURE

Les Japonais utilisent la technologie depuis près de 20 ans pour le traitement des rizières mais ce n'est que depuis 5 ans environ que la technologie est testée et utilisée aux Etats-Unis pour le traitement des vignes dans la Napa Valley en Californie (Figure 1) ou pour la démoustication en Floride (www.smartdrones.fr).

En Europe, et notamment en France, les drones sont désormais utilisés comme Outils d'Aide à la Décision (OAD) pour cartographier des parcelles, détecter des foyers d'infestations dans les cultures ou pour identifier des zones carencées ou soumises à des stress. Toutefois, en France l'application des produits phytopharmaceutiques sur les cultures à l'aide de drones reste très marginale car elle est frappée – au titre de la classification de l'engin comme aéronef – par l'interdiction d'épandage aérien (**article L253-8 de Code Rural et arrêté du 31 mai 2011**). Ainsi, seuls des traitements à l'aide de macro-organismes échappent à cette réglementation, permettant les lâchers de trichogrammes pour lutter contre la pyrale sur maïs (125 000 hectares couverts par ces parasitoïdes) par exemple (Delos, 2016).



Figure 1 : Drone Yamaha RMAX utilisé pour le traitement des rizières au Japon, capable d'embarquer 16 litres de bouillie dans ses réservoirs. L'appareil doit voler à 24 km/h pour assurer une bonne répartition du produit de traitement.
(Drone Yamaha RMAX used for the treatment of rice fields in Japan, able to load 16 liters of treatment mixture in its tanks. The device has to fly at 24 km/h to assume a good product distribution).

LA LEGISLATION EN VIGUEUR EN FRANCE

En France, l'utilisation de drones est régie par l'arrêté du 17 décembre 2015 relatif à la « conception des aéronefs civils qui circulent sans aucune personne à bord, aux conditions de leur emploi et sur les capacités requises des personnes qui les utilisent ». Cet arrêté définit les règles pour la circulation des drones qui sont gérées par le Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC).

Il classe aussi les drones en sept catégories allant de A à G en fonction de leur poids (catégorie C : aéronefs captifs, D : moins de 2 kg, E : entre 2 et 25 kg, F : plus de 25 kg et moins de 150 kg, G : plus de 150 kg) et définit quatre scénarios opérationnels cadrant leur utilisation (Tableau I).

L'arrêté du 11 avril 2012 relatif à « l'utilisation de l'espace aérien par les aéronefs qui circulent sans personne à bord » précise, quant à lui, les distances et hauteur de vol de ces drones (Tableau I).

Pour utiliser un drone à des fins agricoles, l'exploitant doit satisfaire aux 2 arrêtés du 11 avril 2012 et du 17 décembre 2015 cités précédemment. Entre autres, son drone doit avoir été déclaré pour activités particulières de travail en agriculture pour « traitements agricoles, phytosanitaires ou de protection sanitaire et [pour] les autres opérations d'épandage sur le sol ou de dispersion dans l'atmosphère » et autorisé par la DGAC après dépôt d'un dossier technique. Le pilote doit, de plus, obtenir un certificat d'aptitude théorique de licence de pilote reconnu par la DGAC (ULM ou hélicoptère par exemple).

Toutefois, le drone étant considéré comme un aéronef au sens de l'article L6100-1 du Code des transports, il est aujourd'hui frappé par l'interdiction d'épandage aérien (article L253-8 de Code Rural et arrêté du 31 mai 2011 qui considère comme épandage aérien toute application de produits phytopharmaceutiques au moyen d'aéronefs).

Tableau I : Scénarios opérationnels définis pour l'utilisation des drones lors d'activités particulières.
(Operational scenario defined for the use of drones for particular activities)

Scénario	S-1	S-2	S-3	S-4
Descriptif	Opération en vue directe du télépilote se déroulant hors zone peuplée, à une distance horizontale maximale de 100 mètres du télépilote	Opération se déroulant hors vue directe, hors zone peuplée, dans un volume de dimension horizontale maximale de rayon d'un kilomètre et de hauteur inférieure à 50 m /sol et obstacles artificiels, sans aucune personne au sol dans cette zone d'évolution	Opération se déroulant en agglomération ou à proximité de personnes ou d'animaux, en vue directe et à une distance horizontale maximale de 100m du télépilote	Activité particulière (relevés, photographies, observations et surveillances aériennes) hors vue directe, hors zone peuplée et ne répondant pas aux critères du scénario S-2
Catégorie d'aéronef concernée	C, D ou E	C : aérostats de moins de 25 kg, D et E : moins de 4 kg et 6 J d'énergie maximale à l'impact, ainsi que ceux captifs de même caractéristiques.	D ou E	D
Espace aérien	Hors espace aérien contrôlé (ou réglementé) et hors aire d'atterrissage/décollage et hauteur de vol < 150m			Hors espace aérien contrôlé (ou réglementé), et éloigné de tout aérodrome, hauteur de vol < 50 m par rapport au sol ou aux
Autorisation préfectorale	Sans objet	Oui, car survol de rassemblement de personnes, animaux ou agglomération	Personnes, animaux ou agglomération	

L'UTILISATION DES DRONES EN JEVI : L'EXEMPLE DE LA PROTECTION DES PALMIERS

LES PALMIERS SUR LE POURTOUR MEDITERRANEEN

Les palmiers sont des végétaux très fortement présents sur le pourtour méditerranéen, avec environ une vingtaine d'espèces couramment plantées depuis les années 1820. Ils ont une grande valeur patrimoniale, culturelle, et ornementale.

La plupart des sujets sont âgés et de grande hauteur (18/20 mètres) et ont été plantés en alignement urbain ainsi que dans tous les endroits où il était difficile ou déconseillé de planter un arbre (restanques, patios, bords de piscine...). En milieu urbain, beaucoup sont plantés en zone de fréquentation par le public (parcs, écoles, hopitaux, voies de circulations, bords de plage ou hôtels...).

Deux ravageurs principaux sont référencés et réglementés : le papillon palmivore, *Paysandisia archon* (Burmeister, 1880) et le charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790). Des méthodes de biocontrôle sont d'ores et déjà commercialisées ou en cours de développement pour lutter contre ces ravageurs, à base de nématodes *Steinernma carpocapsae* ou du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana*.

Les caractéristiques et emplacements des palmiers sont autant de contraintes à l'application efficace des traitements phytosanitaires, qu'ils soient ou non de biocontrôle.

LE TRAITEMENT DES PALMIERS A L'AIDE DE PRODUITS DE BIOCONTROLE

Plusieurs méthodes d'application peuvent être utilisées en fonction de la formulation des produits de biocontrôle et de la hauteur et de l'emplacement du palmier à traiter.

Pour les formulations microgranulées de *Beauveria bassiana*, le traitement est réalisé à l'aide de petites poudreuses manuelles pour les sujets de petite taille, d'atomiseurs dorsaux ou de pistolets à paillettes couplés à un compresseur pour des sujets plus imposants.

Pour les nématodes, des pissettes de laboratoire peuvent être utilisées pour des traitements de précision directement dans les galeries du ravageur ou des pulvérisateurs à haute pression avec mitrailleuse ou perche.

Toutefois, l'utilisation de ces outils de traitements requière, dans la majeure partie des cas, une nacelle élévatrice suivant la hauteur des palmiers à traiter ou leur positionnement. Malgré cela, certains palmiers restent complètement inaccessibles et ne peuvent être traités qu'en grimpé.

LES LIMITES DU TRAITEMENT DES PALMIERS

- Limites organisationnelles

Les difficultés d'accès des palmiers traités, la grande variabilité des espèces présentes et leur hauteur entraînent la démultiplication des moyens techniques chez le client et donc des coûts élevés d'intervention. Parfois, les conditions de travail en sécurité ne peuvent plus être respectées.

Pour les chantiers de traitements dans les lieux publics, il est nécessaire de préalablement signaler le chantier et de déclarer les travaux auprès des mairies. La mobilisation de plusieurs opérateurs et le temps de travail additionnel pour ces tâches administratives génèrent là encore des coûts supplémentaires. D'autre part, une gêne est aussi occasionnée pour les riverains du fait des interdictions de circulation sur les voies où ont lieu les traitements et des bruits liés à l'utilisation des atomiseurs, parfois de nuit. Dans les cas extrêmes, des agressions physiques ou verbales des intervenants par des riverains excédés peuvent se produire. Pour éviter les problèmes, *in fine*, les palmiers de ces zones ne sont plus traités.

- Impact sur la santé des salariés des entreprises de traitements

Les tâches de traitement, quelque soit l'appareil utilisé, sont répétitives ainsi que les postures de torsion qui leur sont associées. Les atomiseurs ou compresseurs sont bruyants (50 à 87 décibels) et générateurs de vibrations. A terme, des troubles musculo-squelettiques au niveau du dos et des avant-bras et des troubles auditifs peuvent apparaître chez les applicateurs.

De plus, les horaires de travail sont décalés car liés aux contraintes du milieu urbain et à la météo. Les traitements se font ainsi très souvent de nuit ou très tôt en journée. Une perte de vigilance accidentogène peut rapidement s'installer chez les opérateurs.

La lutte contre les ravageurs des palmiers étant récente, les effets sur les salariés ne sont sans doute pas encore tous connus aujourd'hui. Une étude de terrain a été réalisée à ce titre par le Dr Hemmer de l'Institut National de Médecine Agricole (communication personnelle).

- Impacts sur la santé des particuliers

Dans les lieux publics, les chantiers nocturnes entraînent des troubles du sommeil liés au bruit des engins ; tandis que les chantiers de jour font apparaître un stress lié au bruit et aux embouteillages générés par la fermeture des voies en cours de traitement.

- Impact sur les résultats des traitements

La difficulté d'accéder à certains sujets peut entraîner :

- Une dérive du produit qui tombe sur le sol,
- Une mauvaise répartition du produit sur le sujet traité et donc une perte d'efficacité,
- Le non traitement de certains sujets qui, malades, ne sont pas traités et servent de réservoir à insectes, hypothéquant la lutte.

La lourdeur de la mise en place des traitements et leurs coûts n'encouragent pas les particuliers à les mettre en œuvre.

LA TECHNOLOGIE DRONE COMME REPOSE

Face à toutes les problématiques exposées précédemment, les sociétés Arysta LifeScience, Vegetech et MC-Clic ont travaillé conjointement au développement d'un drone adapté au traitement des palmiers à l'aide de produits de biocontrôle. Pour le largage de la formulation microgranulée de *Beauveria bassiana*, le drone développé appartient à la catégorie E (scénario S1, S2 et S3 sous dérogation). Il est composé d'un système breveté de trois réservoirs pouvant contenir chacun 200g de produit. Des clapés libérant le granulé sont ouverts sur commande une fois que le drone est positionné convenablement à la verticale du palmier. Pour ce faire, une caméra et un laser sont embarqués sur l'appareil et permettent de viser le cœur du palmier (Figure 2). Un altimètre offre la possibilité de faire descendre l'outil à une hauteur adéquate pour effectuer le traitement avec précision.

Ce drone a été validé par la DGAC pour un usage en agriculture. Comme l'exige la législation en vigueur, tout pilote doit être formé au pilotage d'aéronefs mais aussi au pilotage de drones. Il doit aussi être assuré et son activité déclarée.



Figure 2 : Drone développé pour l'application de la formulation microgranulée de *Beauveria bassiana* et largage du produit au-dessus du cœur d'un palmier.

(Drone developed for the application of microgranular formulation of *Beauveria bassiana* and product above the palm tree heart).

Crédit photo: MC CLic

Ce drone a donc été conçu comme une réponse aux problèmes et limites rencontrés sur les chantiers de traitement à l'aide de produits de biocontrôle, à la demande et en coopération avec des applicateurs professionnels. Il permet, de par sa capacité de positionnement à l'aplomb de la plante, de faire un largage ciblé très précis du produit. Il répond aussi à une volonté de réduire les risques liés au travail en hauteur (environ 40 000 accidents par an) et à la limitation de la dérive.

Cette technologie est donc conforme aux demandes du plan Ecophyto 2018 qui demande de généraliser les systèmes agricoles permettant de réduire l'utilisation des pesticides chimiques.

Ses avantages sont donc nombreux :

- Traitement précis et localisé
- Limitation des dérives
- Réduction des risques liés au travail en hauteur
- Limitation des nuisances pour les particuliers (bruit limité en comparaison d'un atomiseur classique, embouteillages...).
- Un bilan carbone maîtrisé car l'appareil fonctionne sur batteries au lithium, contrairement aux moteurs diesel des nacelles et des pulvérisateurs.

Ses inconvénients d'utilisation sont liés au long temps de recharge des batteries qui demande à l'opérateur de disposer de plusieurs jeux afin de les interchanger et aux déclarations qui sont à réaliser (plan de vol) avant le lancement du chantier. Le coût d'un drone aux alentours de 15 000€ peut freiner les applicateurs mais les gains en temps de traitements permettent de rentabiliser cet investissement relativement rapidement. L'appareil doit aussi être minutieusement manipulé, entreposé et régulièrement entretenu. Il faut aussi que le pilote dispose de son brevet de pilote d'ULM à minima et s'entraîne de nombreuses heures au préalable afin d'être en mesure de bien maîtriser l'appareil.

COMMENT FAIRE EVOLUER LA REGLEMENTATION ?

Le traitement à l'aide de drones de petite taille s'avère une solution efficace pour contourner bon nombre des inconvénients des techniques de traitements classiques et permet d'effectuer des traitements très localisés en un minimum de temps.

De plus, cette technique d'application permet de maîtriser le risque opérateur pendant la phase d'application, en évitant, par exemple, le risque de chutes d'une nacelle ou les troubles musculo-squelettiques dus à l'utilisation de pulvérisateurs dorsaux.

D'autre part, l'application par drone permet aussi de limiter les risques d'exposition au produit de l'homme et de l'environnement. En effet, les applications par drones de catégories D (moins de 2 kg) ou E (de 2 à 25 kg) sont très précises et ne mettent en œuvre que des quantités de produit très limitées. Dans ce cas, le produit appliqué n'est pas épandu mais déposé localement, avec une grande précision, sur la surface visée.

Toutefois, la réglementation freine le développement de cette technologie. Pourtant, en encadrant clairement l'utilisation des drones et en réservant les traitements aux seuls drones de petite taille et aux produits de biocontrôle, il serait possible de faire entrer les moyens d'application dans une nouvelle ère, tout en s'assurant d'une limitations des risques.

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), la Direction Générale de l'Alimentation (DGAI) du Ministère de l'Agriculture et le Ministère de l'Ecologie doivent désormais être les acteurs de ce nouveau développement, encore plus essentiel en JEVI où les contraintes sont bien plus fortes qu'en zones agricoles.

CONCLUSION

Le drone est une innovation qui pourrait permettre de faciliter l'utilisation des produits de biocontrôle dans la lutte contre les ravageurs des palmiers. Par une application très précise et localisée des

produits, par la protection des travailleurs en limitant les dangers liés au travail en hauteur, par la protection du particulier en limitant les nuisances et par la diminution des coûts de traitement, cette technologie d'application est en parfait accord avec le Plan Ecophyto 2018 et la Loi d'Avenir. Leur autorisation pour les traitements à l'aide de produits de biocontrôle favoriserait l'emploi de ces produits dans les lieux publics et en JEVI.

Cette technologie adaptée au traitement des palmiers a été primée l'an passé aux AgroAwards par un jury d'experts en agronomie en recevant le prix de la meilleure technologie d'application.

BIBLIOGRAPHIE

Arrêté du 31 mai 2011 relatif aux conditions d'épandage des produits mentionnés à l'article L. 253-1 du code rural et de la pêche maritime par voie aérienne. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire. Journal officiel de la République Française. 8 juin 2011.

Arrêté du 11 avril 2012 relatif à l'utilisation de l'espace aérien par les aéronefs qui circulent sans personne à bord. Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des transports et du logement. Journal officiel de la République Française. 10 mai 2012.

Arrêté du 17 décembre 2015 relatif à la conception des aéronefs civils qui circulent sans aucune personne à bord, aux conditions de leur emploi et sur les capacités requises des personnes qui les utilisent. Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des transports et du logement. Journal officiel de la République Française n°0298 du 24 décembre 2015.

DELOS M. 2016. Freins à l'utilisation de la technologie Drones en Agriculture. Réunion Débat dans le cadre de la 4AF. Académie d'Agriculture de France. 31 mars 2016.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

L'ÉPIDÉMIOLOGIE EN JARDINS AMATEURS

A.-G. CABELGUEN ⁽¹⁾

(1) Société Nationale d'Horticulture de France 84 rue de Grenelle, 75007 Paris France,
anne-gaelle.cabelguen@snhf.org

RÉSUMÉ

Le plan Ecophyto vise à réduire progressivement l'usage des pesticides en France. L'un des moyens d'y parvenir est l'épidémiologie. C'est le suivi de l'apparition puis de l'évolution des maladies et ravageurs des plantes, ainsi que la détection de l'entrée de nouveaux organismes sur le territoire national. Pour cela, des réseaux d'observateurs sont mis en place par région et par type de culture. Depuis 2011, le plan Ecophyto a fait entrer les jardiniers amateurs dans ce dispositif national et la Société Nationale d'Horticulture de France les accompagne grâce à la mise en place d'outils de reconnaissance et de gestion des bioagresseurs au jardin.

Mots-clés : Ecophyto, jardin d'amateurs, bioagresseurs, techniques alternatives.

ABSTRACT

EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE IN NONPROFESSIONAL GARDENS

The Ecophyto plan is the French National Action Plan for the reduction of pesticide by all types of users, including nonprofessional gardeners. One mean to achieve this aim is epidemiological surveillance. Epidemiological surveillance is the monitoring of the appearance and evolution of pests on plants, and detection of new organisms in France. Observation networks are set up by region and type of crop.

Since 2011, the Ecophyto plan has brought nonprofessional gardeners in this national system and the Société Nationale d'Horticulture de France accompanies them by providing tools to help them to recognize and handle pests.

Keywords: Ecophyto, nonprofessional gardens, bioaggressor, alternative method.

INTRODUCTION

Lancé en 2008, le plan Ecophyto vise à réduire progressivement l'usage des produits phytosanitaires. L'axe 5 de ce plan est consacré à la Surveillance Biologique du Territoire (SBT) dont les principaux axes de travail sont : la mise en place de protection intégrée des cultures pour la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires ; le suivi des effets non-intentionnel (ENI) générés par l'utilisation des produits phytosanitaires ; et l'épidémiosurveillance.

L'épidémiosurveillance a pour buts principaux d'éviter l'entrée d'organismes nuisibles des cultures non présents ou d'introduction récente sur le territoire, et de suivre le développement sur notre territoire des bioagresseurs des cultures. Elle s'appuie sur des réseaux d'observateurs qui se créent par région et par type de culture. Les observations sont ensuite synthétisées dans les Bulletins de Santé du végétal (BSV), documents d'informations techniques gratuits.

Depuis 2011 cette surveillance des bioagresseurs et des auxiliaires jusque-là réservée aux professionnels s'étend à l'ensemble des cultivateurs de végétaux dont les jardiniers amateurs. Rassemblant plus de 17 millions de jardiniers répartis sur tout le territoire français, les jardins amateurs peuvent constituer des lieux de foyers pour des organismes nuisibles, dont certains font l'objet d'une réglementation. La surveillance biologique du territoire ne peut donc se faire correctement que si le réseau de surveillance inclut l'ensemble des « espaces végétalisés ».

Mis à jour en Octobre 2015, le plan Ecophyto 2 a renforcé cette volonté et fixé de nouveaux objectifs tout en maintenant les réseaux de surveillance biologique des territoires.

De plus, les lois Labbé et de transition énergétique vers une croissance verte imposent la suppression prochaine des produits phytosanitaires de synthèse pour les zones non-agricoles (villes et jardins d'amateurs). Un accompagnement des jardiniers est nécessaire pour la mise en œuvre de techniques dites « alternatives » dont le développement passe par une bonne compréhension de l'« écosystème » jardin et l'acquisition de connaissances nécessitant une observation fine des bioagresseurs et des auxiliaires du jardinier.

Depuis 2011 la Société Nationale d'Horticulture de France (SNHF) s'implique dans la mise en place d'un réseau d'épidémiosurveillance chez les jardiniers amateurs. A cette occasion elle a développé de nombreux outils qui accompagnent les jardiniers.

MATERIEL ET MÉTHODE

LES OUTILS EXISTANTS

Guide d'observation et suivi des bioagresseurs au jardin

Ce guide, divisé en 4 grandes parties, est destiné à apporter aux jardiniers amateurs les notions nécessaires au diagnostic des bioagresseurs des plantes.

Présentation de la surveillance biologique du territoire

Cette partie générale décrit la démarche de surveillance biologique du territoire dans le domaine végétal et son extension aux jardins d'amateurs.

La démarche du diagnostic

Dans une seconde partie le jardinier peut découvrir, de manière progressive et à l'aide de nombreux exemples, la démarche permettant de passer de la simple observation au diagnostic, à partir de la connaissance des signes visuels et comportementaux repérés sur les plantes. La recherche des causes probables fait la distinction entre les causes parasitaires et les causes non parasitaires.

Connaissance des auxiliaires

Un chapitre du guide est consacré à la connaissance des auxiliaires naturels présents dans les jardins. En reconnaître les différents stades de développement, être en capacité d'observer la progression de leurs populations est un atout majeur dans la protection des plantes.

Fiches de surveillance

Mis à jour tous les ans, ce guide propose actuellement 85 fiches de surveillance : 4 fiches concernent les plantes invasives, 79 fiches des couples plantes – bioagresseurs et 2 fiches de bioagresseurs généralistes.

Ces couples ont été retenus dans le cadre de l'épidémiosurveillance dans les jardins car :

- très consommateurs de pesticides,
- fréquents dans les jardins ou au contraire émergents ou préoccupants,
- pouvant représenter un risque important de contamination des cultures professionnelles (agriculture, maraîchage, floriculture...), voire des problèmes de santé publique (plantes allergisantes).

Ces fiches sont divisées en deux parties :

- Une partie descriptive des bioagresseurs : elle donne au jardinier les principales informations permettant l'identification des bioagresseurs et par conséquent la possibilité de réaliser un diagnostic pertinent.
- Une partie méthodes d'observation et tableaux de relevés : elle est dédiée aux jardiniers observateurs membres du réseau d'épidémiosurveillance. Elle donne pour chaque bioagresseur les étapes clés à respecter, afin de réaliser une observation et un relevé pertinents dans le cadre de l'épidémiosurveillance.

Référentiel formation

Ce référentiel est à destination des formateurs et des animateurs des réseaux d'observateurs de BSV Zone non agricole. Il est composé de fiches consacrées aux facteurs abiotiques, dont les symptômes peuvent souvent être confondus avec des attaques parasitaires. Ces notions de facteurs abiotiques sont essentielles car lorsqu'un dépérissement ou dégât est observé sur une plante, la première démarche et de pouvoir éliminer ces facteurs.

VigiJardin

Cette application, gratuite, permet d'identifier par l'image plus de 85 couples plantes/bioagresseurs. Disponible sur tablette et smartphone, cet outil de reconnaissance par l'image comprend plus de 450 photos permettant d'établir un diagnostic directement au jardin. Elle a été développée par la SNHF en partenariat avec l'INRA de Bordeaux.

Le diagnostic est guidé pas à pas : après avoir sélectionné une catégorie de plante du jardin (potager, verger, ornement ou plantes invasives), puis l'espèce concernée (tomate, buis, ...) des photos présentant des symptômes apparaissent à l'écran. Il suffit de cliquer sur celle ressemblant le plus à ce qui a été observé dans le jardin, et la fiche du bioagresseur responsable apparaît.

Chaque fiche présente la biologie du bioagresseur, des informations sur les symptômes permettant de les reconnaître. Un renvoi vers les fiches techniques du site Jardiner Autrement permet à l'utilisateur de découvrir les techniques alternatives pour gérer l'apparition ou limiter le développement du bioagresseur.

Les jardiniers faisant parti du réseau d'observateurs peuvent accéder aux protocoles d'observation et transmettre leurs résultats aux animateurs directement depuis l'application.

PROMOTION DES OUTILS

La plateforme Jardiner-Autrement

Le guide d'observation et suivi des bioagresseurs est à disposition des jardiniers amateurs sur le site Jardiner Autrement, plateforme officielle d'informations et sensibilisation à la réduction des produits phytosanitaires au jardin.

Les informations de ce guide ont permis la rédaction des fiches techniques sur les bioagresseurs (disponibles sur le site), dans lesquelles les jardiniers amateurs retrouvent toutes les informations de reconnaissance des bioagresseurs et de leurs dégâts, mais également des techniques alternatives afin de prévenir leur apparition ou limiter leur développement.

Les Bulletins de Santé du Végétal pour les Jardins, Espaces Végétalisés et Infrastructures sont consultables et téléchargeables sur le site. Classés par département, les derniers bulletins rédigés sont mis en avant sur la page d'accueil.

La lettre d'information

Mensuellement une lettre d'information « Jardiner Autrement » est envoyée aux abonnées. Contenant des conseils techniques de la saison, des actualités, ... elle permet de valoriser les activités du projet.

Des communiqués de presse appuient les temps forts du projet tel que le concours photo, les nouvelles fiches du guide ou encore les conférences.

Les réseaux sociaux

L'épidémiosurveillance est mise en avant sur les réseaux sociaux de Jardiner Autrement : un compte Twitter depuis 2012 et un compte Facebook depuis 2013. Sont aussi bien partagés les conférences, que les informations techniques ou encore d'autres actualités.

Les événements

Des conférences sont organisées en région afin de promouvoir le projet Epidémiosurveillance. Le projet est expliqué et des témoignages évoqués pendant ces demi-journées. Le projet est également présenté lors des conférences en région organisées par Jardiner Autrement.

Des déplacements ont lieu en région auprès des observateurs des réseaux de surveillance, afin de leur présenter le guide d'observation et suivi des bioagresseurs du jardin et son utilisation.

Un concours photo est ouvert aux jardiniers amateurs appartenant aux réseaux d'observateurs pour les BSV. Un thème différent est choisi chaque année et les observateurs peuvent envoyer jusqu'à trois photos. Le choix des lauréats se fait ensuite via des votes du public sur le site Jardiner Autrement et/ou les réseaux sociaux, un prix du jury est également décerné.

La SNHF participe à de nombreux salon du végétal. L'épidémiosurveillance y est toujours représentée, que ce soit par la démonstration des outils existant, des animations ou encore des documents distribués.

RESULTATS ET DISCUSSION

Il n'est pas toujours évidant de mesurer l'impact du projet sur les jardiniers amateurs. Il existe néanmoins des outils qui permettent de mesurer de manière fiable le nombre de personnes touchées par certaines des actions menées dans le cadre de ce projet.

FREQUENTATION DU SITE JARDINER AUTREMENT

Les statistiques du site Jardiner Autrement permettent d'avoir une vision globale de la fréquentation du site, et plus précisément pour certaines parties. Ainsi, le site Jardiner Autrement est actuellement à plus de 4 353 430 pages vues depuis 2011 (date de création du projet épidémiosurveillance). La partie du projet épidémiosurveillance et ses déclinaisons (fiches techniques) représentent environ 25,8 % des visites. Ce pourcentage montre l'importance de la demande des jardiniers concernant l'aide à la reconnaissance des bioagresseurs au jardin.

Environ 495 Bulletins de Santé du Végétal ont été publiés sur le site depuis 2014, et 2215 téléchargements de BSV. A noter que certaines régions ont très peu de bulletins téléchargés, ceci peut en partie s'expliquer par le fait que ce soit des régions où les BSV ne sont pas à destination directe des jardiniers amateurs.

PORTÉES DES PUBLICATIONS

Les deux principaux réseaux sociaux de Jardiner Autrement publient régulièrement des actualités sur le projet Epidémiosurveillance. Actuellement 6620 personnes sont inscrites sur Facebook et 2630 personnes sur Twitter. Des actualités sur l'épidémiosurveillance y sont régulièrement publiées.

 <p>Jardiner autrement a ajouté 25 photos à l'album Votez pour la plus belle photo ! Publié par Catherine Scelles [?] · 23 mai, 14:43 · 🌐</p> <p>Votez pour la plus belle photo du concours Dentelles et petits trous des observateurs amateurs jusqu'au 06 juin ! Les votes sont clos, merci pour votre participation ! Le Jury doit désormais désigner sa photo préférée ! Rdv le 20 juin pour les résultats !</p>	<p>5451 Personnes atteintes</p> <p>649 Réactions, commentaires et partages</p> <table border="1"> <tr> <td>568 👍 J'aime</td> <td>17 Sur la publication</td> <td>551 Sur les partages</td> </tr> <tr> <td>19 ❤️ J'adore</td> <td>0 Sur la publication</td> <td>19 Sur les partages</td> </tr> </table>	568 👍 J'aime	17 Sur la publication	551 Sur les partages	19 ❤️ J'adore	0 Sur la publication	19 Sur les partages
568 👍 J'aime	17 Sur la publication	551 Sur les partages					
19 ❤️ J'adore	0 Sur la publication	19 Sur les partages					

 <p>Jardiner autrement Publié par Catherine Scelles [?] · 19 janvier · 🌐</p> <p>Gérer les #maladies et #ravageurs émergents en surveillance biologique du territoire http://goo.gl/E1lj3i</p>	<p>1799 Personnes atteintes</p> <p>17 Mentions J'aime, commentaires et partages</p> <table border="1"> <tr> <td>12 Mentions J'aime</td> <td>12 Sur la publication</td> <td>0 Sur les partages</td> </tr> </table>	12 Mentions J'aime	12 Sur la publication	0 Sur les partages
12 Mentions J'aime	12 Sur la publication	0 Sur les partages		



Figure 1 Exemples de publications Epidémiosurveillance sur le Facebook Jardiner Autrement

ENGAGEMENT DES OBSERVATEURS

Le concours photo pour les observateurs des réseaux d'épidémiosurveillance est organisé depuis 2014. Le nombre de participants ne cesse d'augmenter à chaque nouvelle édition (triplé en trois ans). Cette augmentation du nombre de participants peut s'expliquer par le fait que de plus en plus de régions développent des BSV pour les jardiniers amateurs, ou incluent des observateurs amateurs dans les BSV Jardin, Espaces Végétalisés et Infrastructures.

SATISFACTION DE L'UTILISATION DES OUTILS

En 2012, pour la création du guide d'observation et suivi des bioagresseurs au jardin un premier questionnaire d'évaluation a été envoyé à diverses personnes (observateur des réseaux, animateurs, etc.). Ce questionnaire a permis aux futurs utilisateurs de proposer des recommandations pour une meilleure adéquation du guide aux besoins de terrain, et une validation des termes utilisés, compréhensibles par tous.

En 2015 un second questionnaire a été envoyé aux utilisateurs du guide dans différents réseaux d'observations. Il a permis d'évaluer la satisfaction des observateurs quant à l'utilisation du guide. Des propositions de voies d'amélioration possibles pouvaient être données. Le guide a eu des retours très positifs : explications claires, photos illustrant très bien les propos. Les quelques remarques d'amélioration proposées ont été retenues et seront prises en compte lors de la prochaine édition du guide.

Durant l'été 2015, des rencontres ont eu lieu avec les animateurs de plusieurs réseaux BSV zones non agricoles (professionnelles et amateurs). Des retours positifs ont été faits sur l'utilisation du guide et l'utilité des informations qu'il contient. Ce guide est même utilisé à d'autres fins que la rédaction des BSV (article, document d'information, etc.).

Lors de la rédaction du référentiel de formation, une première version a été envoyée aux animateurs des réseaux BSV jardins amateurs afin

CONCLUSION

Les nouvelles réglementations mise en place ces dernières années amènent le jardinier amateur à repenser son jardin dans sa globalité. En effet, la mise en place de techniques dites alternatives passe par une bonne compréhension de « l'écosystème » jardin et par l'acquisition de connaissances nécessitant une observation fine des bioagresseurs et auxiliaires du jardin.

L'objectif du « zéro défaut » sur les plantes du jardin est une notion sans doute inadaptée dans les jardins d'amateurs. Le jardinier amateur peut accepter quelques dégâts sur les plantes d'ordres

quantitatif, qualitatif ou encore esthétique. Il ne faut cependant pas que les jardins d'amateurs deviennent involontairement des refuges pour des bioagresseurs susceptible de contaminer les cultures environnantes (espaces verts, cultures agricoles, ...). La Société Nationale d'Horticulture de France, par la mise à disposition d'outils de reconnaissance des bioagresseurs du jardin sur le site Jardiner Autrement, accompagne les jardiniers amateurs engagés dans les réseaux d'observations.

Avec le développement des techniques de biocontrôle, le site Jardiner Autrement et les dérivés des outils d'épidémiologie (fiches techniques, documents de communication, ...) se doivent d'assurer leur mission d'information et sensibilisation auprès des jardiniers amateurs en délivrant les dernières actualités en matière de santé des plantes.

REMERCIEMENTS

La Société Nationale d'Horticulture de France remercie l'ONEMA, les Ministères en charge de l'agriculture et de l'environnement pour leur confiance dans les actions de la SNHF.

Merci également aux chefs de projets bénévoles et membres des groupes de travail Jardiner Autrement et Epidémiologie, au conseil scientifique de la SNHF pour son soutien et la disponibilité de sa Présidente et de ses membres, et à l'équipe de permanents pour leur implication.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**LES PROJETS DE RECHERCHE PARTICIPATIFS DANS LES JARDINS COLLECTIFS URBAINS :
DES OPPORTUNITÉS POUR LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE !**

*C. DUMAT^(1,2) & L. SOCHAKI^(1,3)

- (1) CERTOP, UMR 5044, CNRS, UT2J, UPS, Axe Transition Ecologique, 115 rte de Narbonne, 31077 Toulouse cedex 4. camille.dumat@ensat.fr corresponding author.
- (2) INP-ENSAT, Avenue de l'Agrobiopole - BP 32607 - Auzeville-Tolosane 31326 Castanet-Tolosan Cedex.
- (3) IUT Paul Sabatier - 115 Route de Narbonne - 31077 TOULOUSE CEDEX.

RÉSUMÉ

Dans le cadre du projet de recherche socio-scientifique JASSUR (ANR Ville Durable 2013-2016), plusieurs sites de jardins collectifs ont été investigués en Midi-Pyrénées. La détermination des quantités de légumes produits, l'analyse des pratiques culturelles et des mesures environnementales ont été effectuées afin de vérifier la qualité des végétaux produits en relation avec la qualité des sols, de l'air et de l'eau utilisée en irrigation.

Cette communication présente pour un site impacté par une pollution en arsenic, comment les échanges entre les différents acteurs (jardiniers, élus, chercheurs, etc.) ont permis de faire évoluer les pratiques des uns et des autres: (i) des analyses systématiques de la qualité des sols sont désormais réalisées avant installation de nouveaux jardins; (ii) les jardiniers ont évolué dans leur perception des risques de pollution en intégrant la notion de mobilité/biodisponibilité des polluants; (iii) les chercheurs ont progressé dans l'articulation entre savoirs et savoir-faire dans les jardins urbains.

Mots-clés: Jardinage, transition écologique, qualité des sols et des productions, biodisponibilité, pluridisciplinarité.

ABSTRACT

As part of the socio-scientific JASSUR research project (ANR Sustainable City), several community gardens sites were investigated in Midi-Pyrenees. The determination of the quantities of produced vegetables, the analysis of cultural practices and environmental measures were carried out to check the quality of produced plants in relation to the quality of soils, air and waters used in irrigation.

In the context of As pollution for one gardening site, the exchanges between the different actors (gardeners, politicians, researchers) allow to change the practices of each other: (i) systematic analyzes of soil quality are now done before installation of new gardens; (ii) the gardeners have evolved in their perception of the risks of pollution by incorporating the concept of mobility / bioavailability of pollutants; (iii) the researchers also made progress in the relationship between knowledge and know-how in urban gardens.

Keywords: Gardening, ecological transition, soil and vegetables quality, bioavailability, pluridisciplinarity.

INTRODUCTION

La transition écologique ouvre une troisième phase du développement économique révélatrice du changement de statut de la thématique écologique dans les sociétés contemporaines. Elle devient un facteur (re)structurant des activités socio-économiques. Les travaux en cours de l'axe Ternov du CERTOP explorent plusieurs thèmes de recherche liés à ce processus : transition écologique de l'innovation, transition énergétique, transition touristique, transition écologique « juste ». La transition écologique se construit dans les dynamiques de territoires dans lesquelles la société civile joue un rôle majeur, ce que l'on observe tout particulièrement sur le terrain des agricultures urbaines (AU). Ces nouvelles formes d'agriculture porteuses de nouvelles pratiques et de nouveaux modèles représentent potentiellement un lieu majeur de recomposition de la critique contemporaine. Avec le boom de l'AU qu'il faut associer aux préoccupations sociales pour le développement durable et la nature, aux crises de confiance alimentaire, et qui remettent en question « *les formes de production alimentaire ainsi que leur localisation* » (<https://lejournal.cnrs.fr/auteurs/aurelie-sobocinski>), la ville devient progressivement un territoire « jardiné » incrustée de petits terrains potagers ou de plus vastes ensembles maraichers (Chenot et al., 2014). La ruralification de la ville revêt un caractère paysager : elle modifie les propriétés du décor citadin en créant de nouvelles trouées de verdure qui s'ajoutent aux squares et jardins paysagers plus anciens qui organisent déjà la trame verte des agglomérations. La ruralification de la ville témoigne surtout d'une inversion des dynamiques de prédation territoriale jusque-là en sens unique de la ville vers la campagne : « plus qu'un mécanisme de conquête foncière, c'est une nouvelle alliance entre la ville et la campagne qui se met en place. » (Jaillet, 2014).

De plus, le développement récent des AU illustre une nouvelle dynamique de territoire : la transition écologique (Dumat et al., 2016). En effet, avec le projet agri-urbain qui s'intéresse à la place de l'agriculture dans l'intention de développement des villes, les AU prennent place dans l'organisation de la planification citadine des métropoles. Plus globalement, dans son ouvrage : « La démocratie aux champs. Du jardin d'Eden aux jardins partagés, comment l'agriculture cultive les valeurs démocratiques », Zask (2016) conclut que les relations entre les cultivateurs et la terre cultivée (agriculture partagée, locale, écologique, traditionnelle, raisonnée, diversifiée, familiale...) favorisent la formation de la citoyenneté. Selon la Food and Agriculture Organization (FAO, 2015), l'AU concerne en effet un citadin sur quatre. Or, à l'échelle mondiale, les humains résident majoritairement dans les villes et l'urbanisation intense amorcée en 1950 se poursuit, comme illustré par la figure-1 « urban and rural world population (1950-2050) ». En 2050, la planète comptera 6,4 milliards d'urbains, soit plus de 75% de la population mondiale (United nations, 2014). Or, selon le World economic forum (WEF, 2015), 40 % de la croissance urbaine se fait actuellement dans les bidonvilles. La prise de conscience progressive par les urbains de l'importance cruciale des lieux d'humanités en ville, d'une alimentation durable, de la préservation des ressources naturelles et de la biodiversité, participe au développement de l'AU comme vecteur d'écologie démocratique.



Figure-1:

La population urbaine mondiale augmente, et ceci pour 40% dans les bidonvilles.
The world's urban population increases, and this to 40% in the slums.

Pour des raisons telles que la crise économique ou l'incertitude sur la qualité et l'origine des plantes du commerce, un développement croissant des activités de jardinage est observé à travers la planète (Ghose et Pettygrove, 2014). La production de plantes de qualité est l'objectif principal des jardiniers (Pourias & Duchemin, 2013). Selon Menozzi (2014), les jardins collectifs sont un véritable outil à penser et à développer la ville. Hale et al. (2011) considèrent que les jardins sont une ressource urbaine potentielle d'apprentissage actif et passif sur les processus écologiques. Comme l'a démontré Ghosh (2014), le développement des activités de jardinage pourrait contribuer à préserver l'environnement. Mais, l'atmosphère ou le sol pollués sont souvent observés dans les zones urbaines principalement en raison de la proximité des routes, activités agricoles et industrielles qui a eu lieu au cours des siècles (Xiong et al. 2016, Wu et al. 2016). De nombreux produits chimiques peuvent en effet circuler ou s'accumuler dans l'atmosphère, les eaux, les sols de jardins (Schwartz, 2013), et enfin les légumes (Mombo et al., 2015). Cependant, actuellement, il n'y a pas de valeurs seuils réglementaires françaises pour les concentrations totales de polluants dans les sols de jardin ; seules les plantes commercialisées sont réglementées en Europe et ceci uniquement pour certains polluants inorganiques ciblés tels que le plomb, le cadmium et le mercure (CE, n ° 466/2001). Dans le cas de l'arsenic (As), un métalloïde persistant, fortement (éco)toxique et très souvent observé dans l'environnement (OMS, 2010) une évaluation quantitative spécifique des risques pour la santé (EQRS) doit alors être effectuée. L'objectif de l'EQRS est d'évaluer la quantité de polluants potentiellement ingérée par les jardiniers dans le cas de la consommation des plantes contaminées et de la comparer avec la valeur sanitaire de référence (Dumat & Austruy, 2014). Il est donc nécessaire de renseigner les quantités de légumes produits dans les jardins et leur utilisation (consommation, dons ...) grâce à une enquête auprès des jardiniers et une mesure de la concentration des polluants dans les légumes (Xiong et al., 2014). La réalisation de l'évaluation collective du risque et sa gestion peuvent parfois conduire à une nouvelle norme ou règlement comme exposé par Boutaric (2013): il estime que l'évaluation des risques sanitaires est l'un des instruments scientifiques dont la caractéristique d'aide à la décision confère des propriétés aux frontières de la science et de la politique. Mais, en raison de la complexité des mécanismes bio-physicochimiques impliqués dans le transfert de substances dans les écosystèmes terrestres, les scientifiques répondent rarement de façon simple aux questions concernant les pollutions (Goix et al, 2015). La réponse d'un scientifique sera généralement: "ça dépend" des caractéristiques du sol, de la variété des cultures, etc. (Dumat et al, 2013).

Promouvoir dans le monde la collaboration opérationnelle entre les jardiniers, les chercheurs et les élus est donc un enjeu crucial pour la santé humaine et l'environnement car des millions de citoyens cultivent et consomment des légumes (Dumat et al., 2015). Il est certainement l'objectif principal du projet national français de la recherche scientifique "JASSUR" (Associatif Urban Gardens en France et des villes durables: pratiques, fonctions et risques, <http://www6.inra.fr/jassur>) dans lequel notre étude s'inscrit. Un projet de recherche interdisciplinaire et participatif basé à la fois sur la fertilité des sols et l'évaluation des risques liés à la présence de l'arsenic a été réalisé dans un jardin collectif français touché par la pollution de l'arsenic dans les puits utilisés pour l'irrigation des légumes. Notre question de recherche concernait la construction d'une dynamique collective face au risque de pollution et ses conséquences sur l'organisation des activités de jardinage. Après un chapitre présentant la chronologie de « l'histoire de l'arsenic dans les jardins » et les interactions entre les différents acteurs impliqués, la construction collective du risque sanitaire est décrite et il est finalement expliqué comment le problème de l'arsenic induit plusieurs changements à la fois dans la prise en compte du lien complexe environnement-santé et dans les interactions entre acteurs impliqués dans les jardins collectifs.

MATERIEL ET MÉTHODE

SITE DES JARDINS ASSOCIATIFS A CASTANET-TOLOSAN PRES DU "CANAL DU MIDI" EN MIDI-PYRENEES.

En 2005, une parcelle précédemment agricole a été transformée en 40 parcelles individuelles qui sont louées par 50 jardiniers amateurs impliqués dans l'association. Progressivement, en fonction de ses pratiques agricoles chaque jardinier a changé de manière significative les caractéristiques du sol de sa parcelle. Le tableau 1 montre les variations de cuivre échangeable (Cu), phosphore (P), potassium (K), les concentrations de matière organique, le pH et la CEC. Ces paramètres agronomiques ont été mesurés avec des méthodes normalisées sur sol sec et tamisé à 2 mm.

Parcelle	pH-H ₂ O	pH-KCl	MO (%)	C/N	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	Carbonates (%)	CEC (me.kg ⁻¹)
2	8	7.5	2.6	10	32	36	32	0.25	207
5	7.6	7.2	2	9	30	35	25	0.3	208
11	8.1	7.6	2.45	8.9	35.8	36.2	25.5	0.2	265
12b	8	7.6	3	11	35	37	28	0.3	211
13	8.2	7.4	2.85	9.7	31	38.7	27.8	1	209
15	7.6	6.8	2	10.6	35.3	37.1	25.7	0.1	237
21	7.8	7	2.8		24.4			0.7	146
26	8.2	7.4	4.05	12.4	33.5	37.2	25.4	0.8	242
35b	8.1	7.5	2.6	10.5	31	37	32	0.3	206

Parcelle	P ₂ O ₅ échangeable JH (mg.kg ⁻¹)	K ₂ O échangeable (mg.kg ⁻¹)	Cu échangeable (mg.kg ⁻¹) (Ti= 0,75)
2	185 (50-125)	575 (180-260)	1.8
5	260 (170-240)	203 (180-260)	2.1
11	71 (50-125)	239 (200-285)	3.6
12b	53 (50-130)	260 (200-280)	2.8
13	80 (50-125)	225 (175-250)	2.3
15	79 (50-125)	346 (200-280)	6.6
21	383 (170-240)	294 (200-280)	2.2
26	107 (50-125)	280 (185-270)	5.5

Table-1 :

Paramètres agronomiques. Les valeurs entre parenthèses en bleu correspondent aux valeurs de référence (Tr-Ti) obtenues par des expériences au champ. *Agronomic parameters. The values in parentheses correspond to blue reference values (Tr-Ti) obtained by field experiments.*

Promouvoir des pratiques de jardinage durables est un des objectifs de notre projet de recherche, en particulier sur la base d'une meilleure connaissance, par les jardiniers, des transferts de nutriments et polluants dans les systèmes sol-plante-eau en relation avec leurs pratiques, et les paramètres du sol (Elouear et al., 2014). L'enquête auprès des jardiniers souligne que le compost, la bouillie bordelaise, les pulvérisations (ortie et consoude) et l'anti-limace biologique sont fréquemment utilisés. Un niveau de Cu dans le sol au dessus du fond géochimique naturel a été observé. Cet élément est peu toxique pour l'homme (sauf à forte dose), mais elle peut réduire l'activité biologique dans les sols. Les valeurs mesurées de P et K échangeables (procédure normalisée) ont été comparées aux valeurs de référence pour la fertilisation (expériences de terrain). Si la valeur pour un sol étudié est supérieure à la valeur de référence maximale de l'élément échangeable (Ti), alors il n'est pas nécessaire d'ajouter l'élément nutritif (c'est la stratégie d'impasse). Si la valeur mesurée est inférieure à la valeur minimale de référence acceptable de l'élément échangeable (Tr), alors il est nécessaire d'ajouter une plus grande quantité de l'élément nutritif que celle strictement nécessaire pour compenser les exportations (c'est la stratégie de renforcement). En utilisant les valeurs actuelles de référence en agriculture, il peut être conclu à une sur-fertilisation à surveiller pour les sols de jardin investigués. Cependant, les sols de jardin sont différents des sols agricoles: ils présentent en particulier de plus fortes teneurs en matières organiques et ont souvent une plus grande quantité de particules grossières, il pourrait donc être pertinent de déterminer des valeurs de référence spécifiques pour la fertilisation raisonnée des jardins.

LE CONTEXTE DE POLLUTION

La pollution en arsenic de l'eau des puits utilisés pour l'arrosage des productions végétales des jardins associatifs a été découverte fortuitement en 2010 (La Dépêche du Midi, 2011). La figure 2 présente: (a) la localisation du site (1200m²), (b) avec les 40 parcelles et les puits pollués. Suite à la détection de la pollution, l'Agence régionale de santé (ARS) a été contactée. De nouvelles analyses de l'eau ont été réalisées et les puits ont ensuite été condamnés par un arrêté préfectoral, afin d'éviter le risque de toxicité aigüe par ingestion d'eau contaminée ou son utilisation pour le lavage des légumes. Le projet de recherche participative sur les quantités et la qualité des plantes cultivées a été organisé afin d'évaluer le risque d'exposition à l'arsenic engendré par la consommation des légumes. Ainsi, des mesures d'arsenic régulières sur différents échantillons ont été organisées avec les jardiniers afin de répondre à leurs préoccupations légitimes sur le risque sanitaire potentiel dans ce contexte d'incertitudes scientifiques et réglementaires induits par la pollution. L'eau des puits, le sol et les produits végétaux ont été analysés sur ce site entre 2010 et 2014 avec des échanges réguliers avec les jardiniers sur les résultats. En outre, des discussions ont eu lieu entre les jardiniers, le maire et les chercheurs pour gérer collectivement la pollution.



Figure-2.

(a) La localisation des jardins collectifs à Castanet-Tolosan (31). (b) Description du site avec les 40 parcelles et des puits (taches rouges). (a) *Localization of collective gardens in Castanet-Tolosan (31).* (b) *Description of the site with the 40 parcels and wells (red spots).*

ANALYSE DES QUANTITES DE LEGUMES PRODUITES DANS LES JARDINS, EQRS ET CONSTRUCTION COLLECTIVE DU RISQUE

Les quantités de légumes produits dans les jardins et leurs pratiques alimentaires ont été obtenues des jardiniers et notées dans les livrets de récoltes (Pourias et al., 2015) : figure-3 ci-dessous. Les concentrations en As totales et bioaccessibles ont été mesurées dans les légumes et les sols échantillonnés dans les jardins et comparées aux données de la base nationale BAPPET (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/BAPPET-BASE-de-donnees-sur-les.html>). Toutes ces données obtenues ont permis de calculer la quantité d'arsenic qui peut être ingérée lors de la consommation des légumes et d'effectuer l'évaluation quantitative du risque sanitaire. La figure 4 présente les étapes de l'étude. Les enquêtes auprès des jardiniers et des réunions publiques ont permis d'étudier les représentations des risques des jardiniers et de construire collectivement des solutions pour une gestion durable du site. Le cadre théorique de Gilbert (2003) : "la fabrication des risques", a été appliqué dans cette étude pour classer les jardiniers en fonction de leur position par rapport au risque. Quel que soit l'analyse scientifique, le risque est une construction sociale.



Figures 3 and 4 :

Carnets de récoltes (Pourias et al., 2015) et différentes étapes de l'étude.
Notebooks crops (Pourias et al., 2015) and the various stages of the study.

RESULTATS

EVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES

Selon la figure 5 : (A) les jardins collectifs de Castanet-Tolosan sont productifs, 80 à 100% de la surface disponible cultivée en légumes, même si les jardiniers accordent une attention à l'esthétique (fleurs et décorations). (B) la bouillie bordelaise est fréquemment utilisée ; cependant, comme le cuivre est persistant dans l'environnement, il serait raisonnable de réduire les apports. (C) Pour obtenir de bons rendements, les jardiniers réalisent des apports de nutriments (composts et engrais) et irriguent. La qualité de l'eau est donc un sujet crucial, et (D) depuis la découverte de l'arsenic, des réunions régulières entre les acteurs ont été organisées (2011-2015). Le potentiel risque sanitaire de l'arsenic est une force motrice pour les jardiniers qui s'intéressent d'avantage aux caractéristiques du sol ou des végétaux qui influencent le transfert de l'arsenic vers les cultures. Le projet est donc aussi l'occasion pour les chercheurs d'échanger avec les jardiniers sur les avantages à développer des pratiques de jardinage durables, par exemple connaître les caractéristiques du sol, être vigilant sur la qualité et les quantités d'apports au sol (compost, engrais phosphatés, etc.). Les analyses d'eau des puits regroupées dans le tableau-2 ont permis de conclure à une pollution inacceptable et à l'obligation de stopper l'utilisation des puits pour l'irrigation.



Figure-5:

(a) Jardins productifs de Castanet-Tolosan, **(b)** Tâches bleues sur les feuilles (CuSO_4),
(c) la qualité de l'eau d'irrigation est cruciale, **(d)** des réunions multi acteurs fréquentes (2011-2015).
(a) productive Gardens Castanet-Tolosan, (b) blue stains on the sheets (CuSO_4)
(c) the quality of irrigation water is crucial, (d) meetings multi frequent players (2011-2015).

N° du puit et date de prélèvement de l'eau.	P ₁ 02-2011	P ₁ 05-2014	P ₂ 02-2011	P ₂ 05-2014	P ₃ 11-2010	P ₃ 01-2011	P ₃ 02-2012	P ₄ 05-2014
As (µg.L ⁻¹)	5	28	9.9	28	120	372	220	90

Table-2 :

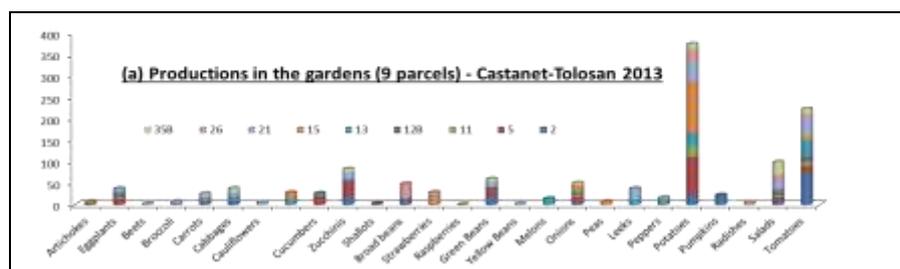
Valeurs de concentrations en As mesurées dans l'eau des puits depuis 2010. A noter que la valeur réglementaire en France pour une eau potable est : 10 µgAs.L⁻¹. *[As] measured in the water wells since 2010. Note that the regulatory status in France for drinking water is 10 µgAs.L⁻¹.*

Afin d'évaluer la potentielle exposition humaine à l'As suite à l'ingestion de légumes cultivés, l'apport quotidien (DI, µg.d⁻¹) est estimé à partir des concentrations dans les légumes (µgAs.kg⁻¹) et des taux de consommation de légumes par jour (kg.d⁻¹). La consommation journalière de légumes est obtenue à partir des études de terrain telles que celles menées par Sharma et al. (2009) : consommation quotidienne moyenne de légumes frais par personne (poids corporel d'un adulte moyen: 60 kg) = 77 g de poids frais (FW) ou 13 g DW. Les interviews des jardiniers de Castanet indiquent une consommation de légumes FW entre 30g et 300g.d⁻¹. La figure 6 ci-dessous regroupe les quantités de légumes produits dans les jardins en 2013 (a) et 2014 (b). En accord avec Clinard et al. (2015), si une biodiversité élevée a été observée dans les jardins collectifs, environ dix espèces sont toutefois très largement cultivées dans les parcelles : pommes de terre, tomates, haricots verts, salades, courgettes, poireaux, potirons, choux, concombres, fèves, aubergines et carottes. En 2010, 2013 et 2014, l'arsenic a été analysé dans les légumes et les sols correspondants. En 2010, plusieurs espèces ont été analysées et les résultats ont tous été en dessous de 0,05 mgAs.kg⁻¹ poids sec (DW), c'est-à-dire comparables aux valeurs observées pour des légumes cultivés sur des sols non pollués (base BAPPET, Ademe 2014). Des mesures ont été régulièrement effectuées en 2013 et 2014, à la fois sur la laitue et la carotte (plante racine). Le tableau-3 donne les concentrations totales et bioaccessibles d'As mesurées et le tableau-4 présente les résultats (minimum/maximum) de la base BAPPET. La concentration mesurée dans le sol des parcelles était au maximum de 14 mg.kg⁻¹, avec 2% d'échangeable au CaCl₂. Selon Austruy et Dumat (2014), les sols non pollués français ont des valeurs de 1 à 25 mg.kg⁻¹ DW. L'équation suivante est utilisée pour calculer la consommation humaine quotidienne de polluant (Swartjes 2011) :

$$\text{Dose journalière ingérée (}\mu\text{gAs.d}^{-1}\text{)} = [\text{As}]_{\text{veg}} \times \text{Quantité consommée.}$$

Les valeurs de doses journalières ingérées déterminées sont ensuite comparées à la dose journalière tolérable: TDI (µg.kg⁻¹.d⁻¹.kgBW⁻¹), exprimée en quantité d'As ingérée quotidiennement (g) en fonction du poids corporel kg (BW) . En ce qui concerne les risques sanitaires associés à l'As, TDI-As est égal à 0,003 mgAs.kgBW⁻¹.d⁻¹ (Okorie et al., 2012), ce qui correspond à 180 µgAs.day⁻¹ pour un être humain 60 kg. La concentration maximale en As des légumes était de 0,065 mgAs.kg⁻¹ DW. Selon les données de terrain, entre 0.325 µgAs et 3,25 µgAs.day⁻¹ pour les jardiniers. Ces valeurs peuvent être comparées à la valeur TDI de 180 µgAs.d⁻¹.kgBW⁻¹ (55 fois supérieure à 3,25). La quantité quotidienne maximale de légumes cultivés dans les jardins qui peut être consommée sans dépasser la DJA a été calculée (laitue et poids corporel de 60 kg) : 2,8 kg DW ou 16,8 kgFW.d⁻¹. En outre, les mesures de bioaccessibilité indiquent que seule une partie de l'As ingérée est biodisponible.

Le risque de toxicité à l'As dans les jardins étudiés peut donc être raisonnablement écarté.



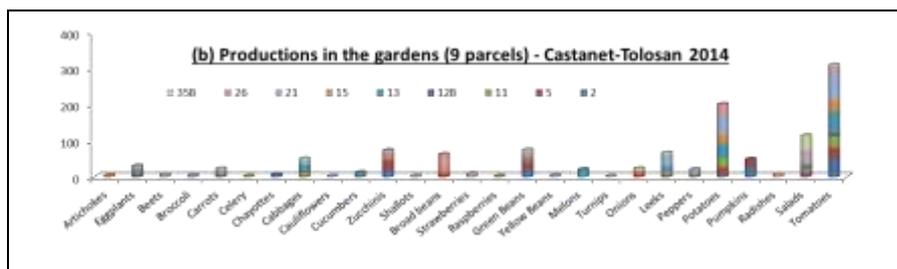


Figure-6:
Quantités de légumes produits (kg FW) en 2013 (a) et 2014 (b).
Vegetable products quantities (kg FW) 2013 (a) and 2014 (b).

Parcelle	Surface (m ²)	[As] _{laitue} (mg.kg ⁻¹)	Bioaccessibilité (%)	[As] _{carottes} (mg.kg ⁻¹)	Bioaccessibilité (%)
2	105	0.04±0.003 / 0.035	66	0.01±0.001 / 0.015	71
5	142	0.03±0.0015 / 0.024	45	0.01±0.001 / 0.01	53
11	142	0.03±0.001 / 0.03	44	0.01±0.001 / 0.009	53
12b	71	0.03±0.005 / 0.025	50	0.01±0.001 / 0.01	57
13	163	0.065±0.01 / 0.07	30	0.02±0.0015 / 0.015	39
15	150	0.03±0.001 / 0.035	42	0.01±0.001 / 0.01	51
21	124	0.065±0.01 / 0.065	71	0.02±0.0015 / 0.02	75
26	124	0.055±0.005 / 0.05	21	0.015±0.001 / 0.01	29
35b	50	0.035±0.001 / 0.03	55	0.01±0.001 / 0.015	65

Tableau-3 :

Concentrations en As dans les végétaux, 2013 et 2014. *As concentrations in plants, 2013 and 2014.*

Plante	mgAs.kg ⁻¹ DW plante	mgAs.kg ⁻¹ DW sol
Laitue	1.6 - 11	17 - 115
Carotte	0.11-1.2	17 - 115
Oignon	0.001-0.025	100 -140
Haricot	0.1 - 0.75	17 - 115
Pois	0.04	322
Radis	0.6-3.9	23 - 196

Tableau 4 :

Valeurs de concentrations en As dans les végétaux (min - max) selon la base BAPPET.
As values of concentrations in plants (min - max) according to BAPPET base.

DISCUSSION

L'arsenic n'est pas réglementé pour les légumes cultivés dans les jardins, et plus largement pour les légumes commercialisés en Europe. En favorisant les échanges entre les jardiniers, la pollution à l'arsenic a induit une structuration de leur communauté et des échanges avec les autres acteurs, et progressivement une construction collective de la gestion du risque. Le tableau 5 ci-dessous présente les typologies de jardiniers observées face au risque sur le site de Castanet-Tolosan.

Typologies de jardiniers	Caractéristiques
(I) Confiants (20%)	Peu concernés par la pollution. Ils font confiance au maire et aux scientifiques. Ils viennent dans les jardins pour cultiver des légumes. Ils appliquent sérieusement les consignes, mais ne posent pas de questions.
(II) Impliqués dans la recherche de solutions (70%)	Intéressés par des informations sur la pollution de l'arsenic, ils posent beaucoup de questions. Ils sont des acteurs dynamiques pour développer des pratiques pro-santé-environnement. Par exemple, fournir un compost de qualité ou en utilisant des plantes d'engrais verts. Ils sont également très actifs dans la recherche d'une solution durable pour l'arrosage des jardins. Étant donné que les puits ont été fermés et sur la base des résultats d'analyse de l'arsenic, ils ne sont pas inquiets, parce que leur opinion est fondée sur des arguments scientifiques. De plus, ces jardiniers sont également fortement impliqués dans la vie de l'association, très dynamiques et motivés pour participer à des projets de développement durable, tels que la création d'un étang pour favoriser la biodiversité dans les jardins (2013) ou la création d'un jardin accessible aux handicapés

	jardiniers (2015). Ils travaillent en harmonie avec le maire et sont donc en mesure de rechercher des solutions pour gérer durablement la pollution et de réduire l'exposition, tout en restant dans les jardins.
(III) Opposés (10%)	Ces jardiniers communiquent leur désaccord contre le maire qui a fourni ces jardins ou contre les scientifiques qui ne peuvent pas les convaincre que le risque sanitaire est contrôlé si l'exposition humaine est faible. En outre, ils ne comprennent pas pourquoi l'origine de l'As n'est pas déterminée avec certitude. Plutôt inquiets, ils ne proposent pas de solution et ne s'intéressent pas vraiment aux résultats scientifiques.

Table-5:

Les 3 différentes typologies observées de postures des jardiniers face au risque sanitaire.
The three different types of observed postures for gardeners to sanitary risk.

L'évaluation du risque sanitaire potentiel induit par la pollution nécessite de quantifier les productions dans les jardins et aussi de mesurer les concentrations dans les légumes consommés afin de préciser l'exposition humaine, puis de la comparer aux valeurs de référence (TDI). Cette procédure multi-étapes peut potentiellement induire des incertitudes. Pour améliorer la précision, il est nécessaire de connaître la part des plantes réellement consommées par les jardiniers: une partie des productions peut en effet être donnée ou le nombre de personnes dans la famille peut varier.

Dans les zones urbaines à forte densité de population, de nombreux cas de pollutions existent (sols, air, eaux), mais les citoyens n'ont généralement qu'une faible connaissance des mécanismes impliqués dans le devenir des polluants dans l'environnement (transferts, possibles dégradations et immobilisation, etc.), conduisant souvent à des conclusions erronées sur les risques environnementaux ou sanitaires. Par exemple, même de très petites quantités d'As dans l'eau peuvent induire une toxicité en cas d'ingestion, alors qu'une quantité d'arsenic dans le sol beaucoup plus élevée peut-être sans effet, en raison des phénomènes d'adsorption sur les composants du sol. Discuter de la concentration en polluants dans les légumes nécessite donc quelques précautions telles que : (i) connaître le contexte global (type de sol, climat, etc.), (ii) vérifier l'unité et si le résultat est exprimé en matière végétale fraîche ou sèche; (iii) expliciter les procédures d'échantillonnage et d'analyse utilisées.

CONCLUSIONS & PERSPECTIVES

Nos résultats illustrent la complexité des interactions intervenant dans le devenir des polluants dans les écosystèmes à forte hétérogénéité tels que les jardins. Comment concilier recherche scientifique poussée concernant les mécanismes impliqués et le développement de solutions pratiques pour améliorer les services écosystémiques? Ceci est un défi important pour accroître les initiatives visant l'interface Sciences et société. C'est l'objectif soutenu par le réseau participatif de recherche et formation "Réseau-Agriville" (<http://reseau-agriville.com/>) (Jacquemoud, 2015) qui co-organise en juin 2017 à Toulouse un colloque international « Agriculture urbaine et transition écologique ». Les jardins collectifs et des particuliers aident à façonner une interface favorable entre les connaissances théoriques et les pratiques agronomiques dans le contexte de la transition écologique à l'échelle mondiale. Les jardiniers sont relativement indépendants et ont donc une réticence a priori pour se plier aux règles imposées. Toutefois, lorsque leur santé est en jeu, ils sont pour la plupart prêts à se mobiliser pour agir en coopération avec d'autres acteurs. Voilà pourquoi la mise en réseau des différents acteurs des jardins et ceci à diverses échelles (régionale, nationale et internationale) apparaît comme une approche efficace pour favoriser la transition écologique. On peut également souligner que la santé est un bon levier pour mobiliser les citoyens sur la qualité de l'environnement. En fait, les autorités en charge des jardins publics ont maintenant la responsabilité de la santé des jardiniers qui exploitent ces parcelles, mais aucune obligation réglementaire sur la qualité des sols ou de produits végétaux. Pour conclure, la gestion durable des pollutions dans les écosystèmes jardins urbains parce qu'elle oblige à une construction socio-scientifique collective du risque est un enjeu crucial du développement durable des villes dans le monde. En ce qui concerne la recherche de solutions alternatives pour l'arrosage des jardins, l'eau

du Canal du Midi sera finalement utilisée à partir de 2016 avec l'accord de l'administration. A noter également la mise en place de l'opération « pour une ville zéro pesticide : je participe » : désormais, plus aucun pesticide, herbicide, ni engrais chimique ne sont utilisés par les agents municipaux (Castanet-Lien, n°101, Juillet 2016).

REMERCIEMENTS

Ce travail a reçu le soutien de l'Agence nationale de la recherche : ANR-12-0011-VBDU. Le laboratoire CERTOP, l'INPT, l'ENFA et l'UPS sont remerciés pour leur soutien au «Réseau-Agriville" d'innovation enseignement interdisciplinaire et recherche participative sur les agricultures urbaines.

BIBLIOGRAPHIE

Boutaric F. 2013. La méthode de l'évaluation des risques sanitaires en France : représentations, évolutions et lectures plurielles. *Vertigo*, 13 (1), 1-23.

Chenot E., Dumat C., Douay F. C. Schwartz. 2013. EDP Sciences. ISBN : 978-2-7598-0723-9. 176 pages. Jardins potagers : terres inconnues ?

Clinard F., Delefortrie A., Bellec S., Jacquot G., Bonnelles A., Tillier C., Richert J. 2015. Enquête de pratiques agricoles et de consommation alimentaire dans les jardins ouvriers de l'agglomération de Belfort (Franche-Comté). *Environnement risques & santé*, 14(1) : 56-71.

Duchemin E. 2013. Agriculture urbaine : Aménager et nourrir la ville. *Vertigo*.

Dumat C., Pierart A., Sochaki L., Borries O., Messina M., Chevalarias F., Cazenave JM., Bertoni G. 2015. Socio-scientific strategies for research and formation projects to favor sustainable urban agricultures at the global scale. 8th International Conference of the Urban Soils Working Group - SUITMA 8, 20-25/09, Mexico. Session: Education strategies to promote awareness on urban soil ecological functioning.

Dumat C., Leveque T., Alletto L., Barbaste M., Sejalon N., Gaillard I. 2013. Environmental and sanitary risk assessment and management in associative gardens: vegetable quality in relation with practices and context. International Conference Environmental Geochemistry and Health, Toulouse.

Dumat C., Aubry C. & Pourias J. 2016. Urban Agricultures. Réseau-Agriville. 22 mars 2016.

Elouaer Z., Bouhamed F., Bouzid J. 2014. Evaluation of different amendments to stabilize cadmium, zinc, and copper in a contaminated soil: influence on metal leaching and phytoavailability. *Soil and Sediment Contamination*, 23(6). DOI: 10.1080/15320383.2014.857640.

FAO. 2015. <http://www.fao.org/news/story/fr/item/260735/icode/>

Gilbert C. 2003. « La fabrique des risques », *Cahiers internationaux de sociologie*, 2003/1 n° 114, p. 55-72. DOI : 10.3917/cis.114.0055

Ghose R. & Pettygrove M. 2014. Urban Community Gardens as Spaces of Citizenship. DOI: 10.1111/anti.12077. *Antipode*.

Ghosh S. 2014. Measuring sustainability performance of local food production in home gardens. *Local Environment: The International Journal of Justice and Sustainability* 19 (1) pp. 33–55.

Goix S., Mombo S., Schreck E., Pierart A., Lévêque T. 2015. Field isotopic study of lead fate and compartmentalization in earthworm–soil–metal particle systems for highly polluted soil near Pb recycling factory. *Chemosphere*.

Gojard S. & Weber F. 1995. Jardins, jardinage et autoconsommation alimentaire. *Inra Sc. Sociales*.

Jacquemoud F. 2015. Réseau-Agriville, la science au service de l'agriculture urbaine. *La France Agricole* 3612. 16 octobre 2015.

Jaillet MC. 2014. Journées d'études sur l'agriculture urbaine du 2 et 3 décembre 2014 à l'École Nationale de Formation Agronomique.

Lundholm JT., Richardson PJ. 2010. Review: Habitat analogues for reconciliation ecology in urban and industrial environments. *Journal of Applied Ecology* 47, 966-975.

Hale J., Knapp C., Bardwell L., Buchenau M., Marshall J., Sancar F., Litt JS. (2011). Connecting food environments and health through the relational nature of aesthetics: Gaining insight through the community gardening experience. *Social Science & Medicine* 72, 1853-1863.

Menozzi MJ. (dir.). 2014. *Les jardins dans la ville entre nature et culture*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, coll. « Espace et Territoires », 2014, 362 p., ISBN : 978-2-7535-3263-2.

Mombo S., Foucault Y., Deola F., Gaillard I., Goix S., Shahid M. & Dumat C. 2015. Management of human health risk in the context of kitchen gardens polluted by lead and cadmium near a lead recycling company. *Journal of Soils and Sediments*. DOI: 10.1007/s11368-015-1069-7.

Pourias J. & Duchemin E. 2013. Impacts nutritionnels des initiatives en agriculture urbaine *Agriculture urbaine : aménager et nourrir la ville*. Éditeur scientifique : Éric Duchemin, Laboratoire sur l'agriculture urbaine ISBN : 9782923982953. p. 379.

Pourias J., Duchemin E. & Aubry C. 2015. Products from urban collective gardens: Food for thought or for consumption? Insights from Paris and Montreal. *Journal of Agriculture, Food Systems and Community Development*. <http://dx.doi.org/10.5304/jafscd.2015.052.005>

Réseau-Agriville. Plateforme de recherche et pédagogique sur les agricultures urbaines : www.reseau-agriville.com.

Schwartz C. 2013. Les sols de jardins, supports d'une agriculture urbaine intensive. *VertigO*, Hors-série 15, Pollutions atmosphériques, transport et agriculture.

Sharma R. K., Agrawal M. & Marshall F. M. 2009. Heavy metals in vegetables from production and market sites of a tropical urban area of India. *Food and Chemical Toxicology*, 47(3), 583–91.

Swartjes F. A. 2011. *Dealing with contaminated sites: From theory towards practical application* (1st ed., p. 264). Berlin: Springer Verlag.

United nations. 2014. *World urbanization prospects*.

World economic forum (WEF). 2015. *Rapport annuel « Global Risks »*.

Wu J., Dumat C., Lu H., Li Y., Hanqing Li, Yanhui Xiao, Ping Zhuang, Zhian Li. 2016. Synergistic improvement of crop physiological status by combination of cadmium immobilization and micronutrient fertilization. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(7), 6661-6670.

Xiong T., Leveque T., Shahid M., Foucault Y., Dumat C. 2014. Lead and cadmium phytoavailability and human bioaccessibility for vegetables exposed to soil or atmosphere pollution by process ultrafine particles. *J. Environmental Quality*, 43, 1593-1600.

Xiong T., Dumat C., Pierart A., Shahid M., Kang Y., Li N., Bertoni G., Laplanche C. 2016. Measurement of metal bioaccessibility in vegetables to improve human exposure assessments: field study of soil–plant–atmosphere transfers in urban areas, South China. *Environmental geochemistry and health*, 1-19.

Zask J. 2016. *La démocratie aux champs. Du jardin d'Éden aux jardins partagés, comment l'agriculture cultive les valeurs démocratiques*. *Les Empêcheurs de penser en rond* – 250 pages.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**GESTION *IN SITU* DES JARDINS FAMILIAUX CONTAMINÉS AU PLOMB :
CULTURE DE LÉGUMES TRÈS FAIBLEMENT ACCUMULATEURS ET PHYTOEXTRACTION**

D. BOUQUET ⁽¹⁾, A. LEPINAY ⁽¹⁾, P. GAUDIN ⁽¹⁾, C. LE GUERN ⁽²⁾, L. JEAN-SORO ⁽³⁾ et T. LEBEAU ⁽¹⁾

⁽¹⁾ LPG-NANTES, 2 RUE DE LA HOUSSINIÈRE 44322 NANTES CEDEX, FRANCE

⁽²⁾ BRGM RGM DIRECTION REGIONALE DES PAYS DE LA LOIRE, 1 RUE DES SAUMONIERES BP 92342 -
44323 NANTES CEDEX 3, FRANCE

⁽³⁾ IFSTTAR, ROUTE DE LA BOUAYE 44340 BOUGUENAI, FRANCE

RÉSUMÉ

Malgré sa faible disponibilité dans le sol, le plomb (Pb) peut être absorbé par les productions potagères cultivées sur sol contaminé et entraîner un risque de transfert vers la chaîne alimentaire. L'objectif de ce travail est de développer un système de culture adapté aux jardins familiaux permettant de maintenir l'activité potagère – légumes peu accumulateurs – tout en dépolluant par phytoextraction le sol en place. Deux modes de culture sont testés : association et rotation. Ces tests de mise en culture se font *in situ* et de manière participative. Les premières saisons de culture sur le site expérimental des Eglantiers (Nantes, France) ont confirmé la possibilité de cultiver sans risque la tomate et le chou ; teneurs en Pb dans les parties consommables inférieures à la valeur seuil réglementaire. La phytoextraction par *Brassica juncea* semble être plus efficace en rotation qu'en association mais est peu efficace sur sol modérément enrichi en Pb (178 mg/kg MS en moyenne).

Mots-clés : contamination diffuse, maintien de l'usage, *Brassica juncea*, tomate, chou.

ABSTRACT

***IN SITU* MANAGEMENT OF LEAD-CONTAMINATED ALLOTMENT GARDENS: CULTURE OF VERY LOW ACCUMULATING VEGETABLES AND PHYTOEXTRACTION**

Despite its low availability in soil, lead (Pb) can be absorbed in vegetables cultivated on contaminated soils and resulting in a risk of transfer to the food chain. The aim of this study is to develop a crop system adapted to contaminated allotment gardens which allows maintaining the gardening activity – low accumulating vegetables – while cleaning up soil by phytoextraction. Two cultivation methods are tested: co-culture and rotation. These assays are performed at the field scale using a participative approach. First seasons of culture on the experimental site of "Les Eglantiers" (Nantes, France) confirmed the possibility of cultivating tomatoes and cabbages without any risk. Lead concentrations in consumable parts are below threshold values. Phytoextraction by *Brassica juncea* seems to be more efficient cultivating in rotation than in co-culture but remains poorly effective with a moderately contaminated soil (178 mg/kg DM in average).

Key words: diffusive contamination, keeping soil use, *Brassica juncea*, tomato, cabbage.

INTRODUCTION

Le plomb est l'un des composés inorganiques les plus présents dans les sols pollués (Alkorta *et al.*, 2004), terres agricoles, industrielles et zones urbaines confondues. Très toxique en faible quantité, il fait partie des quatre seuls métaux réglementés dans l'alimentation humaine (CEE 1881/2006). Malgré sa faible disponibilité dans le sol, le plomb (Pb) peut être absorbé par les productions potagères cultivées sur sol contaminé et entraîner un risque de transfert vers la chaîne alimentaire (Jean-Soro *et al.*, 2015). Cette état de fait parfois observé dans les jardins familiaux, potagers communautaires souvent implantés dans ou en périphérie des zones urbaines et présentant en raison de leur contexte urbain, des teneurs en métaux lourds deux fois supérieures à celles des sols agricoles (Schwartz, 2013), doit être prise en compte par les propriétaires et les gestionnaires de ces sites, en raison du risque potentiel encouru par les usagers.

Dans le but d'éviter ce transfert sol-plante, une des solutions de gestion *in situ* serait d'en traiter la source, c'est-à-dire le sol. Cependant, la réhabilitation des sols contaminés peut s'avérer coûteuse lorsqu'il s'agit de techniques physico-chimiques. Selon Witters *et al.* (2012), la dépollution par lavage, qui implique d'excaver le sol, coûterait entre 54-118 dollars/m³ en Belgique et 70-187 dollars/m³ aux Etats-Unis. De même, l'apport de terre a été estimé à 141 dollars/m³ dans le cadre d'un plan de réhabilitation d'une zone de jardins familiaux de Nantes (France).

La phytoextraction est une alternative plus économique et écologique. Elle permet de traiter les sols *in situ* et ainsi de limiter la consommation de terre végétale, ressource épuisable. *Brassica juncea* est l'une des plantes capables d'accumuler significativement Pb dans ses parties aériennes (Huang et Cunningham, 1996). Cependant, la vitesse d'extraction des métaux est lente et peut demander des centaines voire des milliers d'années, sur la base des teneurs totales en métal (Brunetti *et al.*, 2011 ; Witters *et al.*, 2012) ; beaucoup moins en se basant sur la fraction phytodisponible. Pour réduire le temps de traitement, l'ajout au sol de chélatants chimiques a été testé avec succès (Alkorta *et al.*, 2004) bien que leur emploi à grande échelle soit inenvisageable (toxicité et coût élevé des complexants). Le couplage de la bioaugmentation (introduction de microorganismes exogènes) à la phytoextraction pourrait être une alternative. Les bactéries inoculées au sol peuvent augmenter la biomasse de la plante et/ou la mobilité des métaux dans le sol pour, *in fine*, augmenter la quantité de métaux extraits par la plante (Lebeau *et al.*, 2008). Malgré des innovations qui permettent de réduire fortement les durées de traitement, celles-ci demeurent le plus souvent trop importantes au regard des contraintes temporelles des aménageurs et/ou des jardiniers.

Une alternative pour la gestion *in situ* consisterait à cultiver des légumes très faiblement accumulateurs (Tremel-Schaub et Feix, 2005). Sans dépollution, le jardinage sans contrainte ne peut être restauré mais présente l'avantage de maintenir l'usage potager du site en l'adaptant à la qualité du sol en place. Coupler cette restriction d'usage (légumes peu accumulateurs) le temps de la dépollution par phytoextraction a été envisagé. En raison du prélèvement préférentiel des métaux par la plante utilisée en phytoextraction, les légumes accumuleraient moins ; on pourrait alors envisager d'élargir la gamme de légumes qu'il est possible de cultiver. Pour ce faire, différents systèmes sont possibles, la culture en association ou la culture en rotation (Kidd *et al.*, 2015). Ces systèmes de co-cultures ont surtout été testés pour la phytoextraction du cadmium sur des sols présentant souvent des contaminations multi-élémentaires (Yu *et al.*, 2014). Quasiment aucune étude de ce genre ne concerne le plomb.

L'objectif de ce travail est de développer un système de culture permettant de poursuivre l'activité potagère tout en dépolluant le sol en place (ici, enrichissement naturel en Pb). Les modes de culture, précédemment cités, sont testés : association et rotation. Ce travail répond aussi à un enjeu local de la ville de Nantes qui souhaite trouver une alternative au moyen de gestion actuel des sols contaminés (excavation puis transfert vers un centre de stockage, soit 50 % des terres polluées en France). Dans ce contexte, le Service des Espaces Verts de la ville a mis à disposition d'anciennes parcelles de jardins, sur lesquelles un enrichissement naturel au plomb du sol a été décelé (Jean-Soro *et al.*, 2015), pour tester ce dispositif de dépollution innovant.

MATERIEL ET METHODES

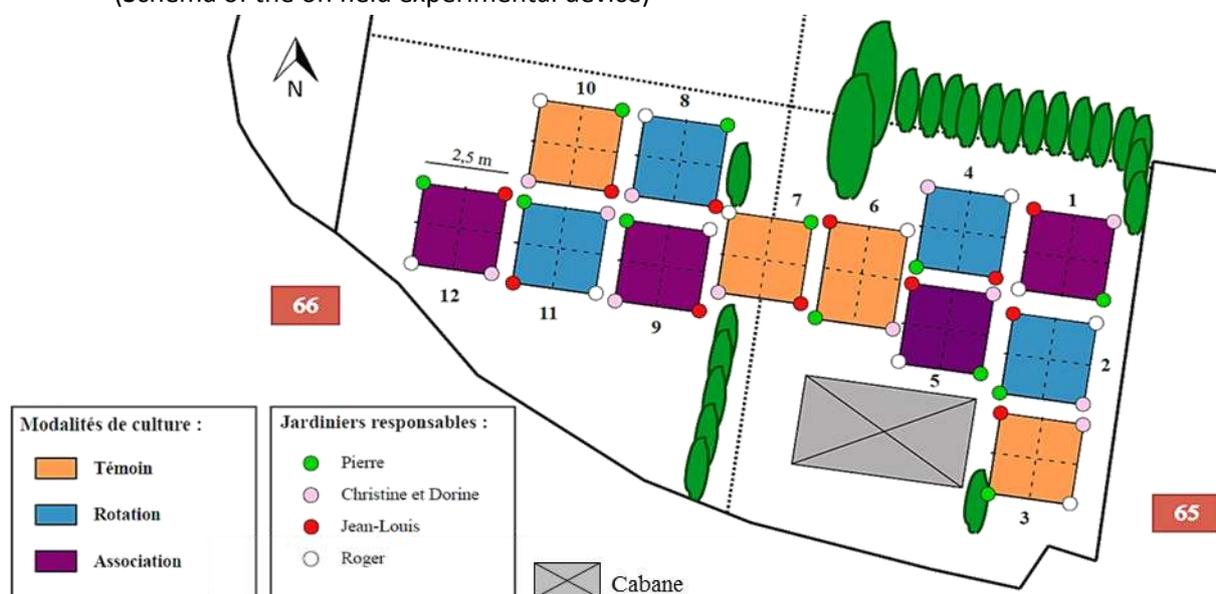
SITE ET DISPOSITIF EXPERIMENTAUX

Le site expérimental est situé au nord de Nantes (France), sur le site des jardins familiaux des Eglantiers (1° 34' 30.6'' O ; 47° 16' 00.3'' N). La teneur en Pb total de l'horizon cultivable (< 30 cm) est mesurée par spectrométrie à fluorescence X sur l'ensemble de la parcelle.

Le dispositif expérimental est constitué de 12 placettes bloc de 6,25 m² chacune placées perpendiculairement au gradient est-ouest de Pb du sol. Chaque placette, représentant une modalité de culture, est elle-même divisée en 4 carrés cultivés par 4 jardiniers différents. Les modalités sont les suivantes : Témoin – monoculture de légumes (successivement tomate en 2015, chou en 2015-2016, pomme de terre en 2016, poireau en 2016-2017 et haricot en 2017) ; Association – culture de ces mêmes légumes en association avec la plante dépolluante *Brassica juncea* cv. Vitamine ; Rotation – la plante dépolluante remplace le chou en saison 2 et le haricot vert en saison 5.

Chaque modalité est répliquée 4 fois (Figure 1). Le tableau I présente les différentes cultures par modalité. L'expérience est participative et fait intervenir 4 jardiniers amateurs se partageant le site.

Figure 1 : Schéma du dispositif de culture *in situ*
(Schema of the on field experimental device)



Brassica juncea cv Vitamine, communément appelée moutarde brune (Mb), a été fournie par Terrena, groupe coopératif agroalimentaire français. Les plants de légumes ont été fournis par les jardiniers eux-mêmes (différentes variétés de tomate) ou proviennent de la jardinerie Truffaut. La tomate, le chou et le haricot sont répertoriés comme étant des légumes peu accumulateurs de Pb.

Tableau I : Enchaînement des cultures pour les modalités « Témoin », « Rotation » et « Association »
(Crops succession on the modalities "Control", "Rotation" and "Co-culture")

	SAISON 1	SAISON 2	SAISON 3	SAISON 4	SAISON 5
Période	<i>Été 2015</i>	<i>Aut. 2015 / Hiver 2016</i>	<i>Printemps 2016</i>	<i>Été-Aut. 2016 / Hiver 2017</i>	<i>Printemps 2017</i>
Témoin	Tomate (différentes variétés)	Chou « de Milan »	Pomme de terre « Amandine »	Poireau	Haricot
Rotation	Tomate	Mb	Pomme de terre	Poireau	Mb
Association	Tomate + Moutarde brune (Mb)	Chou + Mb	Pomme de terre + Mb	Poireau + Mb	Haricot + Mb

DEROULEMENT DES CULTURES

Les cultures des saisons 1 et 2 ont débuté respectivement les 22 juin et 1^{er} octobre 2015. Les légumes ont été repiqués, un à deux par carré. Plusieurs variétés de tomate ont été testées : Marmande, Roma, Cœur de bœuf, Prune noire et Cornue des Andes. Seule la variété de Milan a été utilisée. La moutarde brune (Mb) a été semée le 10 juillet (saison 1 ; modalité « Association ») et le 1^{er} octobre 2015 (saison 2 ; modalités « Association » et « Rotation ») afin de faire coïncider le stade montaison de la Mb avec le développement des parties consommables des légumes plantés – développement des fruits pour les tomates et formation de la pomme pour le chou d’hiver. La densité de semis est de 100 graines par m². Les légumes et la moutarde ont été récoltés le 4 septembre 2015 pour la saison 1 (soit 11 semaines de culture pour la saison des tomates) et le 1^{er} avril 2016 pour la saison 2 (soit 5 mois de culture pour la saison des choux).

ECHANTILLONNAGE ET ANALYSES

Echantillonnage des végétaux

A la fin des saisons 1 et 2 (T1 et T2), les échantillons de moutarde ont été récoltés sur chaque placette où elle a été cultivée (« Association » pour T1 ; « Association » et « Rotation » pour T2). Des échantillons composites à partir de 4 plants ont été constitués par carré. Les plants ont été séparés en parties aériennes (PA) et en parties racinaires (PR). Les racines ont été rincées mécaniquement à l’eau du réseau, à l’eau distillée et à l’EUP. Les échantillons ont été séchés à 40° C pendant 5 jours. Pour la saison 1, une tomate à maturité, si possible, a été prélevée sur chaque plant de chaque carré. Concernant la saison 2, un chou sur les deux plantés a été entièrement récolté en ne conservant que les feuilles pommées (partie consommée). Les échantillons récoltés ont été placés à – 80° C, grossièrement écrasés puis lyophilisés. Ils ont ensuite été broyés afin d’obtenir un échantillon homogène.

Echantillonnage du sol rhizosphérique

Les prélèvements ont été effectués respectivement à T0, T1 et T2 sur une profondeur maximale de 30 cm correspondant à l’horizon cultivé. L’échantillonnage de sol à T1 et T2 a été fait au même moment que celui de la moutarde. Le sol a été prélevé dans un rayon de 5 cm de diamètre autour de la racine principale de chaque plante de l’échantillon végétal considéré comme étant rhizosphérique. Les sols prélevés autour des 4 plants d’un carré ont été rassemblés et homogénéisés afin d’obtenir un échantillon de sol composite. Les échantillons T0 (sols non rhizosphériques) ont été prélevés aux quatre coins de chaque carré pour former également un échantillon composite. Ils ont ensuite été mis à sécher à 40° C pendant 5 jours au minimum. Après séchage ils ont été tamisés à 2 mm.

Analyses des échantillons

A partir des échantillons composites de sol, le pH_{eau} a été mesuré selon la norme NF ISO 10390:2005 (ratio sol:eau (m:m) de 1:5). Tous les échantillons végétaux récoltés ont été minéralisés après avoir été mis en contact avec de l’acide nitrique (HNO₃ 65 % ; 8 mL) et de l’eau oxygénée (H₂O₂ 30 % ; 2 mL). Les teneurs en Pb dans les échantillons minéralisés ont été mesurées soit par Spectrométrie d’Absorption Atomique (SAA ; parties aériennes des plantes : Mb et légumes) soit par ICP-OES (parties racinaires de Mb).

ANALYSES STATISTIQUES

Des valeurs moyennes ont été calculées. Des Analyses de variance (ANOVA) et des t-tests de Student ont été réalisés au seuil de 5 %. Les facteurs de Bioconcentration (FBC) et de Translocation (FT) ont aussi été calculés ; FBC étant la teneur en Pb dans les parties aériennes de la plante (mg/kg MS) rapportée à la teneur totale du sol (mg/kg MS) et FT, la teneur en Pb dans les parties aériennes (mg/kg MS) rapportée à celle dans les parties racinaires (mg/kg MS).

RESULTATS

Actuellement, seules les deux premières saisons (cultures de tomates et de choux) ont été réalisées et analysées sur le site expérimental. La saison 3 (pommes de terre) est actuellement en cours. Avant l'expérimentation (T0), le terrain était en jachère. Les temps T1 et T2 correspondent respectivement à la fin de la saison 1 et de la saison 2.

CARACTERISATION DU DISPOSITIF

La cartographie des teneurs en Pb total du sol (Pb total ; Figure 2) révèle une répartition spatiale non homogène à l'échelle du site expérimental. Les teneurs de l'horizon de surface varient entre 123 et 253 mg/kg MS, avec une moyenne à $178,3 \pm 23,5$ mg/kg MS. La majorité des teneurs supérieures à cette moyenne est localisée à l'Est du site sauf pour les placettes 8 et 10 qui présentent les plus fortes teneurs en Pb total (> 200 mg/kg MS).

De même, l'analyse du pH des sols (données non montrées) met en évidence l'hétérogénéité spatiale de cette variable à l'échelle du site expérimental. Les variations restent cependant assez faibles, les valeurs étant comprises entre 7,22 et 7,59 (0,4 unité de différence). La comparaison des résultats de Pb total et du pH révèle qu'aux teneurs en Pb total élevées sont associées des pH élevés.

Figure 2 : Distribution des teneurs en Pb total à T0 par carré sur la parcelle expérimentale
(Distribution of Pb total concentration in soil at T0 by square on the experimental site)



COMPORTEMENT DES LEGUMES CULTIVES VIS-A-VIS DE L'ACCUMULATION DE Pb DANS LES ORGANES CONSOMMABLES

Les teneurs en Pb dans les parties consommables des fruits et légumes cultivés sur le site expérimental sont présentées pour les tomates (figures 3) et les choux pommés (figure 4). Les teneurs mesurées dans les tomates et les choux sont toutes inférieures à la valeur seuil réglementaire européenne CEE n°1881/2006, soit respectivement 0,1 et 0,3 mg/kg de matière brute (MB). Seuls les tomates cultivées sur le carré 1P (cv. Cornue des Andes) et les choux sur 10P affichent une teneur légèrement supérieure (respectivement 0,12 et 0,36 mg/kg MF) à cette valeur seuil.

EFFICACITE DE LA PHYTOEXTRACTION PAR *B. JUNCEA* SUR LE DISPOSITIF

Brassica juncea, largement étudiée en tant que candidate pour la phytoextraction, est utilisée dans cette étude comme plante dépolluante. Le tableau II présente les teneurs en Pb (mg/kg MS) dans les parties aériennes et racinaires de *B. juncea* ainsi que les valeurs des facteurs de Bioconcentration (FBC) et de Translocation (FT) pour les modalités « Association » et « Rotation » à la fin des saisons de culture 1 (T1) et 2 (T2). Seuls les résultats de la modalité « Association » peuvent être comparés d'une saison à l'autre, la moutarde brune n'étant cultivée en « Rotation » qu'en saison 2.

Figure 3 : Teneurs en plomb mesurées dans les tomates et dans le sol à T0
(Lead concentration analyzed in tomatoes and soil at T0)

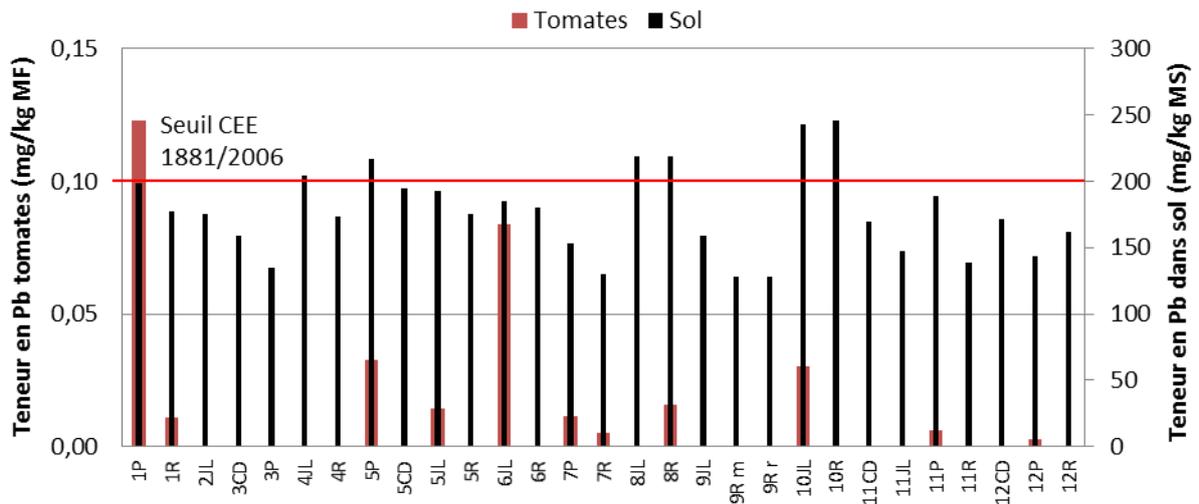
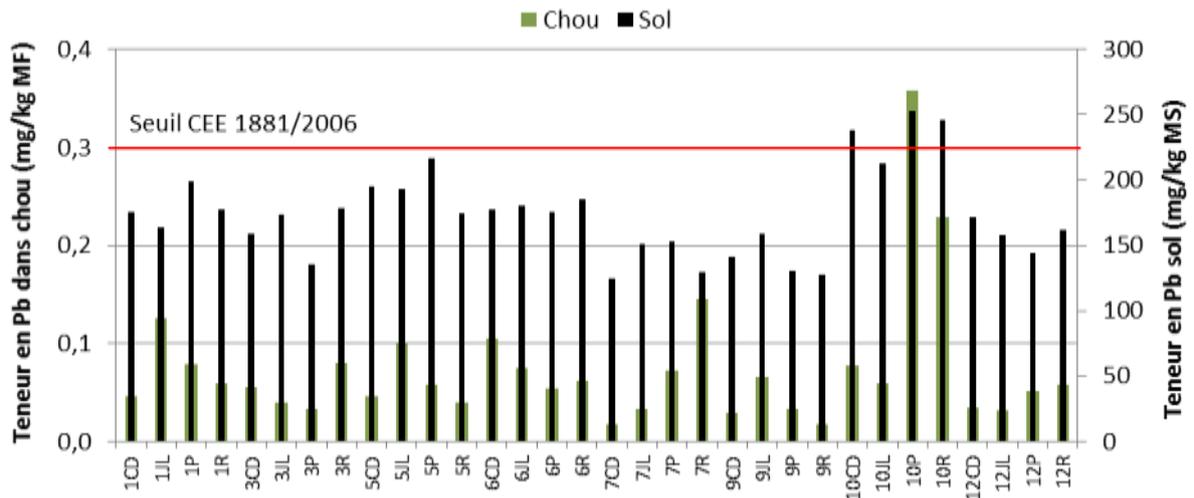


Figure 4 : Teneur en Pb dans les choux et dans le sol à T0
(Lead concentration analyzed in cabbages and soil at T0)



Tout d’abord, quelle que soit la saison de culture de la Mb ou la modalité, les teneurs moyennes en Pb dans les parties aériennes restent inférieures à 1,00 mg/kg MS. Celles analysées dans les parties racinaires sont plus élevées, comprises entre 1,1 et 5,31 mg/kg MS.

Tableau II : Teneurs en Pb (moyenne ± écart-type) dans les parties aériennes et racinaires de *B. juncea* cv. Vitamine et facteurs de Bioconcentration (FBC) et de Translocation (FT)

(Lead concentrations (mean ± sd) in shoots and roots of *B. juncea* cv. Vitamine and Bioconcentration (FBC) and Translocation (FT) factors)

Fin de culture	Modalité	Teneur moyennes en Pb (mg/kg MS)		FBC	FT
		Parties aériennes	Parties racinaires		
1 - T1	Association	0,80 ± 0,68	1,10 ± 0,56	0,0049 ± 0,0042	1,53 ± 1,61
2 - T2	Rotation	0,55 ± 0,39	3,01 ± 1,25	0,0031 ± 0,0022	0,20 ± 0,13
	Association	0,19 ± 0,16	5,31 ± 2,21	0,0010 ± 0,0008	0,03 ± 0,02

Les concentrations en Pb des parties aériennes de la modalité « Association » diminuent en moyenne entre T1 et T2 (0,80 et 0,19 mg/kg MS) alors que celles des racines augmentent (1,1 et 5,31 mg/kg MS). Ceci explique les différences importantes de FT (0,72 à T1 contre 0,03 à T2). De même, le FBC, déjà faible initialement, diminue entre les saisons 1 et 2 (0,0049 et 0,0010). La modalité « Rotation » (à T2) affiche des valeurs intermédiaires : 0,55 pour les parties aériennes, 3,01 pour les parties racinaires, un FT de 0,18 et un FBC de 0,0031.

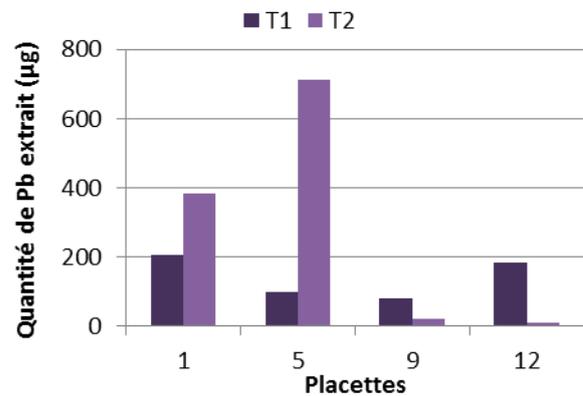
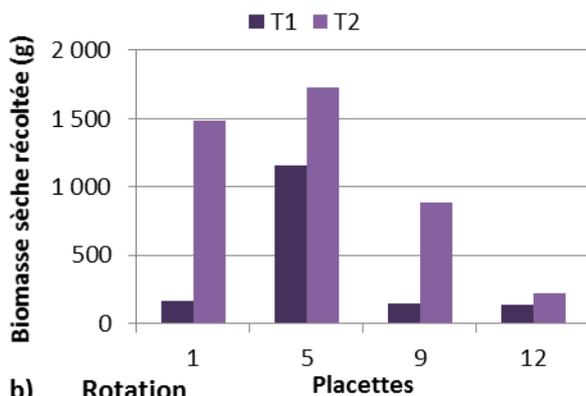
Pour évaluer pleinement l'efficacité de la phytoextraction, il est important de raisonner en quantité de Pb extrait (Figure 5) par placette. Cette variable permet de prendre en compte la biomasse végétale produite, un des critères de choix pour la plante dépolluante. La biomasse sèche récoltée sur les placettes « Association » à T2 est moins homogène (A-T2 : 1080,7 g ± 525,4) qu'à T1 (A-T1 sauf 5 : 152,8 g ± 10,9), où la placette 5 présentait un rendement 7,6 fois plus élevé que le rendement moyen récolté sur les autres placettes. La biomasse sèche récoltée à T2 pour la modalité « Rotation » est elle aussi homogène avec en moyenne 626,0 g ± 37,6 (R-T2).

En rapportant les biomasses fraîches récoltées à l'hectare, le rendement moyen obtenu sur les placettes « Association » est de 1,75 t/ha ± 0,16 (placettes 1, 9 et 12) à T1. La placette 5 présente un rendement beaucoup plus important, environ 7 t/ha. A T2, le rendement moyen est de 2,7 t/ha ± 1,53, avec respectivement 3,4 T/ha ± 1,97 et 2,0 ± 0,84 pour les modalités Association et Rotation.

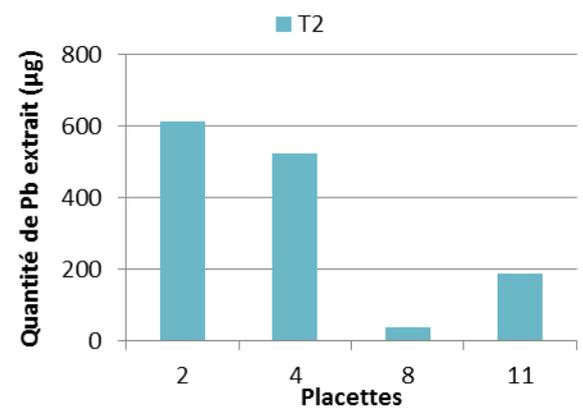
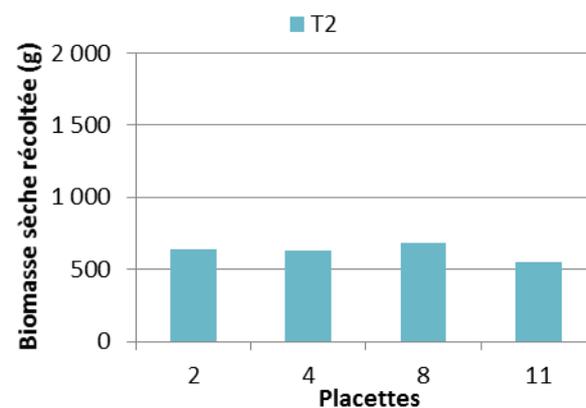
Figure 5 : Quantité de Pb extraite (μg) par *Brassica juncea* cv Vitamine et sa biomasse sèche (g) récoltée par placette des modalités « Association » (a) et « Rotation » (b)

(Lead amounts extracted (μg) by *B. juncea* cv. Vitamine and dry biomass (g) harvested on each plot on the modalities "Co-culture" (a) and "Rotation" (b))

a) Association



b) Rotation



De façon générale, une biomasse sèche élevée n'est pas forcément associée à une quantité de Pb extrait élevée ($r^2 = 0,21$ pour A-T1 ; 0,80 pour A-T2 et 0,003 pour R-T2). De même, l'accumulation de Pb par *B. juncea* diffère selon la placette. Pour A-T1, l'ordre est le suivant : 12 > 1 > 9 > 5 ; pour A-T2 : 9 > 12 > 1 > 5 et pour R-T2 : 2 > 4 > 11 > 8.

Il est possible d'observer sur les placettes « Association » deux comportements différents au cours des 2 saisons de culture. En effet, la quantité de Pb extraite et la biomasse sèche produite augmentent entre T1 et T2 sur les placettes 1 et 5 alors que sur les placettes 9 et 12, la quantité de Pb extraite est plus faible à T2 qu'à T1 malgré une production de biomasse sèche plus élevée.

EFFET DE LA MODALITE SUR L'EFFICACITE DE LA PHYTOEXTRACTION DE Pb PAR *B. JUNCEA*

La réalisation de t-tests entre « Association » et « Rotation » ne révèle aucune différence significative vis-à-vis de la quantité de Pb extraite à T2 (p-value = 0.791) mais met en évidence une différence significative entre « Association » et « Rotation » par rapport à l'accumulation de Pb par *B. juncea* dans ses parties aériennes (p-value = 0.009).

DISCUSSION

Les analyses de Pb et de pH du site expérimental révèlent des valeurs hétérogènes, ce qui n'est pas surprenant compte tenu de son histoire récente. En effet, ce site a été constitué en regroupant deux parcelles de jardins (65 et 66) anciennement occupés par deux jardiniers différents. Ainsi, il est très probable que d'autres paramètres ne soient pas homogènes sur l'ensemble du site. Cependant, un des objectifs de cette étude est de travailler dans des conditions réalistes de jardins incluant ces phénomènes d'hétérogénéités liés à la grande diversité des pratiques des jardiniers (Schwartz, 2013). Ce point a été pris en compte grâce au découpage de chaque placette (1 réplica) en 4 carrés. Ce dispositif permet d'étudier l'effet des pratiques culturales de chaque jardinier. Cependant, afin de contrôler au maximum cette variabilité intra-site, des analyses agronomiques de chaque placette sont prévues (CEC, MO, C/N, phosphates) pour caractériser au mieux le système complet.

La répartition particulière de Pb total sur le site peut être, d'une part, due au caractère naturel de l'enrichissement du sol en Pb. Il suivrait les veines minéralisées enrichies en Pb, présentes dans les micaschistes (Jean-Soro *et al.*, 2015). D'autre part, Pb total et le pH pourraient aussi être influencés par les anciennes pratiques culturales des jardiniers (apport de chaux, labour profond). Il serait intéressant d'estimer la fraction phytodisponible de Pb en réalisant des extractions chimiques au CaCl₂ et au DTPA.

Comme recensé dans l'ouvrage de Tremel-Schaub et Feix (2005), les deux légumes cultivés sont très faiblement accumulateurs. Les choux récoltés présentent toutefois des teneurs en Pb plus proches de 0,1 mg/kg MF mais qui restent en dessous de la valeur seuil. Ainsi, à l'exception de deux valeurs, la tomate et le chou sont bien tous les deux en dessous des valeurs seuils réglementaires – 0,1 mg/kg MF pour la tomate et 0,3 mg/kg MF pour le chou (CEE n°1881/2006) – donc consommables.

Ces résultats ne sont valables que pour les variétés testées *i.e.* la variété de Milan pour le chou et les variétés Marmande, Roma, Cœur de bœuf et Prune noire pour la tomate. Un doute persiste pour la Cornue des Andes avec une valeur légèrement au-dessus (0,12 mg/kg MB) de la valeur seuil.

Les rendements de biomasses fraîches récoltées au cours de cette étude sont en moyenne de 2 à 3 t/ha. Ils sont environ 8 fois plus faibles que ceux classiquement récoltés en agriculture (Kumar *et al.*, 1995). Les conditions de culture n'étaient cependant pas optimales. Les cultures n'ont reçu aucune fertilisation si ce n'est l'apport de compost avant le début de l'expérimentation (T0). Des conditions météorologiques défavorables et une attaque d'insectes/mollusques peuvent expliquer ces résultats.

Les facteurs de bioconcentration (FBC) et de translocation (FT) sont utilisés pour estimer l'efficacité de la phytoextraction (Brooks, 1998). Les concentrations en Pb dans les parties aériennes de *B. juncea* (0,19 ; 0,55 et 0,80 mg Pb/kg MS) sont faibles par rapport à celles de la littérature. Kumar *et al.* (1995) avait obtenu une teneur moyenne dans les parties aériennes de *B. juncea* de 10 300 ± 2 900 mg/kg MS ce qui correspond à un FBC de 16,5. L'étude avait cependant été faite en hydroponie, condition de culture où le plomb est entièrement disponible et donc facilement prélevé par la plante. Les résultats sont différents pour les expériences en champ. Par exemple, une expérimentation *in situ* menée par Del Rio *et al.* (2005) a révélé un FBC de 0,17 pour *B. juncea*. Bien que beaucoup plus faible que celui calculé par Kumar *et al.* (1995), il reste entre 35 à 170 fois supérieur au FBC obtenu au cours de cette étude. Une telle différence pourrait s'expliquer par la spéciation du plomb. Etant

d'origine naturelle, le plomb sur le site des Eglantiers est majoritairement dans la fraction résiduelle (plus de 80 % ; Bouquet *et al.*, soumis). La contamination du site d'Aznalcolla (Del Rio *et al.*, 2005) est quant à elle d'origine anthropique (épandage accidentel des liquides d'exploitation de la mine de pyrite située à proximité). Les déchets riches en métaux (dont Pb) et en sulfures ont non seulement pollué le sol mais ont aussi fortement abaissé son pH (jusqu'à 3 unités de différence ; Simon *et al.*, 1999). Le plomb est par conséquent plus disponible sur ce site que sur celui des Eglantiers (pH >7).

L'accumulation de Pb dans les racines est, comme attendu, plus élevée que celle analysée dans les parties aériennes de *B. juncea*. Sauf pour A-T2 pour qui le FT est faible (0,003), les autres valeurs sont du même ordre de grandeur que celles rencontrées dans la littérature pour *B. juncea* (ou autres *Brassicaceae*) soit 0,1 et 1 (Kumar *et al.*, 1995, Liu *et al.*, 2000, Brunetti *et al.*, 2011, Rahman *et al.*, 2013, Ramesar *et al.*, 2014) bien que Del Rio *et al.* (2005) ait obtenu des FT de 17,2 en 1999 et de 3,0 en 2000 pour l'expérimentation *in situ* ; différence explicable par l'origine naturelle de Pb.

Les valeurs du FT sont aussi plus élevées à T1 qu'à T2. Cela pourrait s'expliquer par la différence de durée de culture de la moutarde entre les saisons. Cette dernière était de 6 mois à T2 contre 11 semaines à T1. Au cours de la saison 2, les racines étaient beaucoup plus développées et anciennes et possédaient donc une plus grande capacité de fixation de Pb. Les racines ne seraient alors pas saturées ce qui limiterait le transfert vers les parties aériennes (Kumar *et al.*, 1995, Kabata-Pendias, 2011). Ainsi, cultiver la moutarde sur une longue durée ne serait pas nécessaire, cela pourrait même limiter l'efficacité de la phytoextraction vis-à-vis du FT.

Il pourrait aussi y avoir un effet de dilution de Pb dans la masse végétale 1/ à cause de la levée inégale des graines semées sur les placettes et 2/ si la croissance de la plante est plus rapide que le processus d'accumulation de Pb et de sa translocation vers les parties aériennes.

Lors d'une précédente étude, *B. juncea* (cv. 426308, le même que celui utilisé par Kumar *et al.*, 1995) a été cultivée en pots de sol des Eglantiers dans une enceinte de culture. L'accumulation dans les parties aériennes était limitée, en moyenne $0,30 \pm 0,08$ mg/kg MS, du même ordre que celle retrouvée *in situ* pour le cultivar Vitamine. L'ajout d'EDTA multiplie par 46 la concentration de Pb dans les parties aériennes (Bouquet *et al.*, soumis).

L'analyse des résultats a permis de détecter l'effet de la modalité de culture sur de Pb dans les parties aériennes de *B. juncea* mais cet effet n'est pas confirmé pour la quantité de Pb extrait. Les résultats ont pu être « brouillés » par l'hétérogénéité de la biomasse sur la modalité « Association ». L'effet du mode de culture reste toutefois à confirmer sur la prochaine saison où Mb reviendra dans la rotation. En effet, ce qui a été détecté peut ne pas être l'effet de la modalité de culture mais plutôt l'effet de la première saison de culture de *B. juncea* sur la modalité. Certes, la teneur en Pb dans les parties aériennes de *B. juncea* sur R-T2 (0,55) est significativement plus élevée que celle sur A-T2 (0,19). Mais Pb A-T1 (0,80) était aussi plus élevé que Pb A-T2. Cette différence pourrait être due à l'épuisement progressif du pool phytodisponible de Pb dans le sol, qui a commencé en saison 1 pour l'Association et en saison 2 pour la Rotation.

CONCLUSION

En réponse à un enjeu local mais aussi à une problématique plus globale, l'objectif principal de cette étude était de développer un système de culture qui permette le maintien de l'activité potagère sur les jardins familiaux contaminés en Pb, tout en dépolluant le sol en place. Les premiers résultats montrent que malgré l'enrichissement en Pb, il est tout à fait possible de continuer à cultiver de façon sécurisée des légumes. Les légumes testés, la tomate et le chou, sont bien des légumes très peu accumulateurs de Pb dans les parties consommables, avec des teneurs inférieures au seuil réglementaire fixé par la norme CEE n° 1881/2006 (0,1 et 0,3 mg/kg MF selon le légume). Ils sont donc consommables. En ce qui concerne la phytoextraction du plomb par la moutarde brune, son efficacité se révèle très limitée sur ce site (entre 0,2 et 0,80 mg/kg retrouvé dans les parties aériennes). La faible efficacité de cette méthode de dépollution peut être due à l'origine naturelle de la pollution, la majorité du plomb présent dans le sol (plus de 80%) n'étant pas associé aux fractions phytodisponibles. Un effet du mode de culture est cependant détecté ; une culture en rotation serait

plus efficace pour la phytoextraction que l'association. Ce résultat doit cependant encore être confirmé. Afin d'augmenter cette efficacité, il serait intéressant de tester le couplage de la bioaugmentation à la phytoextraction. Tout cela soulève cependant une question primordiale : quand considère-t-on que le sol ne nécessite plus d'être décontaminé ? Faut-il se baser sur le plomb total alors que nous savons que celui-ci ne pourra pas être éliminé entièrement à l'échelle de l'expérimentation ? Ne serait-il pas plus pertinent de se baser sur l'épuisement du pool phytodisponible dans le sol ?

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la ville de Nantes pour sa contribution financière à ces travaux (bourse de thèse CIFRE de Dorine Bouquet), pour la mise à disposition du site expérimental et pour la participation régulière du Service des Espaces Verts et de l'Environnement (SEVE), plus particulièrement Marie-France Ringiard et Romaric Perrocheau au suivi de la thèse, à l'entretien du site et à la mise en relation avec l'association du jardin des Eglantiers. Nous remercions également les jardiniers ayant contribué à cette expérience participative Christine Joly, Roger Neel, Jean-Louis Chausset et Pierre Samuel.

BIBLIOGRAPHIE

- Alkorta I., Hernandez-Allica J., Becerril J.M., Amezcaga I., Albizu I., Garbizu C., 2004 – Recent findings on the phytoremediation of soil contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead and arsenic. *Environ. Sci. Biotechnol.*, 3, 71-90.
- Bouquet D., Braud A., Lebeau T., soumis – *Brassica juncea* for phytoextraction of urban soils moderately contaminated by lead: origin of contamination and effect of chelates. *Int. J. Phyt.*
- Brooks RR., 1998 – *Plants that hyperaccumulate heavy metals*. Wallington: CAN International, 379 p.
- Brunetti G., Farrag K., Rovira P. S., Nigro F., Senesi N., 2011 – Greenhouse and field studies on Cr, Cu, Pb and Zn phytoextraction by *Brassica Napus* from contaminated soils in the Apulia region, Southern Italia. *Geoderma*, 160, 517-523.
- Del Rio M., Font R., De Haro A., 2005. *Differential accumulation of Pb, Zn and Cu by Brassica species grown on the polluted soil of Aznalcollar (Southern Spain)*. Del Valls T.A. & Blasco J. 55-60 p.
- Huang J.W., Cunningham S.D., 1996 – Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. *New Phytologist*, 134, 75-84.
- Jean-Soro L., Le Guern C., Béchet B., Lebeau T., Ringiard M.F., 2015 – Origin of trace elements in an urban garden in Nantes, France. *Journal of Soils Sediment*, 15, 1802-1812.
- Kabata-Pendias A., 1989. *Trace elements in soils and plants*. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Kidd P., Mench M., Álvarez-López V., Bertc V., Dimitrioud I., Friesl-Hanle W., Herzig R., Janssens J. O., Kolbasbh A., Mülleri I., Neui S., Renellaj G., Ruttensg A., Vangronsveldg J., Puschenreiterk M., 2015 – Agronomic practices for improving gentle remediation of trace element-contaminated soils. *Int. J. Phyt.*
- Kumar P.B.A., Dushenkov V., Motto H., Raskin I., 1995 – Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. *Environ. Sci. Technol.*, 29, 1232-1238.
- Lebeau T., Braud A., Jézéquel K., 2008 – Performance of bioaugmentation-assisted phytoextraction applied to metal contaminated soils: a review. *Environ Pollut.*, 153, 3, 497-522.
- Liu D., Jiang W., Liu C., Xin C., Hou W., 2000 – Uptake and accumulation of lead in roots and shoots of Indian Mustard [*Brassica juncea* (L.)]. *Bioresource Technology*, 71, 273-277.
- Rahman M.M., Azirun S.M., Boyce A.N., 2013 – Enhanced Accumulation of Copper and Lead in Amaranth (*Amaranthus paniculatus*), Indian Mustard (*Brassica juncea*) and Sunflower (*Helianthus annuus*). *PLoS ONE* 8: e62941. doi:10.1371/journal.pone.0062941
- Ramesar N.S., Tavares M., Ebbs S.D., Sankaran R.P., 2014 - Transport and Partitioning of Lead in Indian Mustard (*Brassica juncea*) and Wheat (*Triticum aestivum*). *Bioremediation Journal*, 18, 345–355.
- Schwartz C., 2013 – Les sols de jardins, supports d'une agriculture urbaine intensive. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Hors-série 15, mis en ligne le 18 octobre 2012, consulté le 21 juin 2016. URL : <http://vertigo.revues.org/12858> ; DOI : 10.4000/vertigo.12858
- Simon M., Ortiz I., Garcia I., Fernandez E., Fernandez J., Dorronsoro C., Aguilar J., 1999 – Pollution of soils by the toxic spill of a pyrite mine (Aznalcollar, Spain). *The Science of the Total Environment*, 242, 105-115.

- Soriano-Disla J., Speir T.W., Gomez I., Clucas L.M., McLaren R.G., Navarro-Pedreno J., 2010 – Evaluation of different extraction methods for the assessment of heavy metal bioavailability in various soils. *Water Air Soil Poll.*, 213, 471-483.
- Tremel-Schaub A. et Feix I., 2005. *Contamination des sols*. EDP Sciences/ADEME, France, 164 p.
- Witters N., Mendelsohn R., Van Passel S., Van Slycken S., Weyens N., Schreurs E., Meers E., Tack F., Vanheusden B., Vangronsveld J., 2012 – Phytoremediation, a sustainable remediation technology? *Biomass Bioenerg.*, 39, 470-477.
- Yu L., Zhu J., Huang Q., Su D., Jiang R., Li H., 2014 – Application of a rotation system to oilseed rape and rice fields in Cd-contaminated agricultural land to ensure food safety. *Ecotox. Environ. Safe.*, 108, 287-293.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

RISQUES ENVIRONNEMENTAUX ET SANITAIRES DANS LES JARDINS

P. BRANCHU ⁽¹⁾, S. JOIMEL ⁽²⁾, F. DOUAY ⁽³⁾, G. LEFEBVRE ⁽⁴⁾, E. REMY ⁽⁵⁾, B. BECHET ⁽⁶⁾, C. NEEL ⁽⁷⁾,
C. DUMAT ⁽⁸⁾, J. SCIMIA ⁽⁹⁾, T. LEBEAU ⁽⁶⁾, P. CAMBIER ⁽²⁾, H. CAPIAUX ⁽⁶⁾, C. SCHWARTZ ⁽¹⁰⁾

⁽¹⁾ Cerema Direction territoriale Ile de France, 12 rue Teisserenc de Bort, 78190 Trappes, philippe.branchu@cerema.fr

⁽²⁾ UMR Ecosys, Centre INRA Versailles-Grignon, route de St Cyr, 78026 Versailles, sophie.boulanger-joimel@grignon.inra.fr,
philippe.cambier@grignon.inra.fr

⁽³⁾ LGCgE Lille, Yncréa Hauts-de-France, 48 bd vauban, 59406 Lille Cedex, francis.douay@yncrea.fr

⁽⁴⁾ Cerema Direction territoriale Nord Picardie, 42 bis, rue Marais, Sequedin - BP 99, 59482 HAUBOURDIN Cedex,
gaetan.lefebvre@cerema.fr

⁽⁵⁾ Inra UMR SAD-APTAgroParisTech, équipe Proximités, 16 rue Claude Bernard 75231 Paris cedex, elisabeth.remy@agroparistech.fr

⁽⁶⁾ IRSTV, CNRS FR 2488, Ecole Centrale de Nantes, 1 rue de la Noë, BP 92101, 44321 Nantes cedex3, beatrice.bechet@ifsttar.fr,
thierry.lebeau@univ-nantes.fr, Herve.Capiaux@univ-nantes.fr

⁽⁷⁾ Cerema Direction territoriale Centre Est, 8-10, rue Bernard Palissy 63017 Clermond-Ferrand Cedex2, catherine.neel@cerema.fr

⁽⁹⁾ CERTOP, Institut national polytechnique de Toulouse, camille.dumat@ensat.fr

⁽⁹⁾ Ecobiosol - OPVT - Université de Rennes 1, Station Biologique de Paimpont, « Beauvais », 35380 Paimpont ,
daniel.cluzeau@univ-rennes.fr

⁽¹⁰⁾ Laboratoire Sols et Environnement, Université de Lorraine, 2 avenue de la Forêt de Haye, TSA 40602, 54518 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex, Christophe.Schwartz@univ-lorraine.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de cet exposé est de discuter de quelle façon l'état du système sol des jardins collectifs urbains (cf. Schwartz *et al.*, cette conférence) peut constituer, dans certains cas, un risque pour l'environnement et/ou un risque sanitaire pour les usagers de jardins potagers voire pour les consommateurs de légumes cultivés. En France, l'absence de limites réglementaires entre contamination des sols (*i.e.* présence en concentrations anormales de substances potentiellement dangereuses) et pollution des sols (*i.e.* cas où ces concentrations induisent une nuisance ou un risque pour l'homme et/ou l'environnement) engendre parfois des situations d'incertitude sur les risques encourus et les mesures de gestion à prendre. De plus, la réalisation d'une évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) ne lève généralement pas complètement cette incertitude, tant les hypothèses associées aux calculs des EQRS sont nombreuses.

La situation des jardins étudiés dans le cadre du projet de recherche national Jassur est discutée en termes de fertilité, de concentrations en éléments traces métalliques, de biodiversité des sols et de risques environnementaux. Un retour d'expérience mené autour d'EQRS menées sur certains sites de jardins est discuté. Enfin, nous concluons sur la nécessité pour les collectivités de s'appuyer sur la connaissance scientifique du système et sur les dire d'experts en cas d'incertitudes pour proposer des lignes directrices visant à la création de jardins collectifs en milieu urbain intégrant la prise en compte d'éventuelles pollutions.

Mots-clés : jardins urbains, fertilité, contamination, biodiversité, risques.

ABSTRACT

The objective of this presentation is to discuss how the state of the soil system of urban community gardens (see presentation from C. Schwartz) can be, in some cases, a risk to the environment and / or to the health of users or of consumers of the vegetables produced in the gardens. In France, the absence of regulatory limits between the soil contamination (*i.e.* presence of abnormal levels of potentially hazardous substances) and the soil pollution (*i.e.* case where these concentrations induce either nuisance or hazard to humans and / or to the environment) creates situations of uncertainty that a quantitative health risk assessment (EQRS) can not completely remove due to the numerous assumptions associated with EQRS calculations. The cases of the gardens studied in the Jassur ANR research project are discussed in terms of fertility, concentrations of trace metals, soil biodiversity and environmental risks. Examples of quantitative health risk assessments conducted on some garden sites are presented. Finally, we outline the necessity for communities to use both the scientific knowledge of the soil system and the statements of experts in order to propose guidelines for the creation of urban community gardens in case of remaining uncertainty.

Key words: urbancommunity gardens, fertility, contamination, biodiversity, risks.

INTRODUCTION

Les jardins potagers urbains et la qualité de leurs sols et de leurs productions potagères demeurent jusqu'à présent des espaces peu investigués par la recherche (Schwartz et al. 2013). La question de la qualité de ces sols et des risques induits mérite pourtant d'être posée à plusieurs titres, tout d'abord en raison des suspicions vis à vis de la qualité des sols urbains et plus généralement de l'environnement urbain, ensuite parce que les jardins sont le lieu de voies de transferts privilégiées des polluants potentiels vers l'homme (via la consommation des plantes et l'ingestion de sol). Les sources de contamination dans l'environnement urbain sont potentiellement nombreuses et variables en intensité du fait des pratiques des jardiniers, de l'usage passé du site (zone horticole, d'épandage de boues/gadoues urbaines, remblaiement avec des matériaux d'origine incertaine, passif industriel) ou de la proximité de sources actuelles ou passées de pollutions ponctuelles ou linéaires (Schwartz et al., 2013 ; Hursthouse et al., 2016). D'autres sources de pollution naturelles (plomb, arsenic, ...) associées à des anomalies géochimiques peuvent également être présentes (Jean-Soro et al., 2015). De ce fait, il n'est pas rare que les concentrations des sols de jardin, notamment en métaux, soient plus élevées que les concentrations habituelles des terres agricoles. D'autres facteurs tels que l'âge du jardin, vont également contribuer à augmenter les concentrations. Ces facteurs d'explication des contaminations métalliques, renseignés par la bibliographie (Schwartz et al. 2013) ont été retrouvés dans les résultats du projet Jassur - Jardins associatifs urbains : pratiques, fonctions et risques -(cf. Schwartz *et al.* cette conférence). De plus l'hétérogénéité spatiale des niveaux de contamination documentés de façon générale pour les sols urbains, se retrouve également dans les sols de jardins (Béchet et al., 2016). Si les connaissances associées à la physico-chimie des sols de jardins sont principalement limitées aux éléments nutritifs et métalliques, la question de la présence de micropolluants organiques tels que les produits phytosanitaires reste ouverte.

Il est important ici de rappeler ce que l'on appelle contamination et pollution des sols. Selon le site internet du ministère en charge de la santé, une **contamination** se définit comme la présence anormale de produits potentiellement dangereux dans un milieu. Une contamination peut être naturelle : les sols de certains bassins miniers sont riches en métaux ou en arsenic. A l'échelle d'un site, la contamination se définit par comparaison à des teneurs antérieures à l'émission de la source (état initial) ou à des concentrations locales (naturelles ou correspondant à celles de sols affectés par des usages habituels), hors du site et de la zone d'influence de la source (bruit de fond). Une contamination sera en outre qualifiée de **pollution** en cas de possibilité de nuisance ou de risque pour l'homme, la faune ou la flore, les eaux de surface ou souterraines, voire pour les constructions, le paysage, etc...

En France, contrairement à certains pays (eg. Suisse), l'approche réglementaire ne prend pas en compte les niveaux de pollution (niveau préjudiciable pour l'environnement ou pour un usage donné du sol) mais se base plutôt sur une évaluation au cas par cas, passant notamment par une évaluation des risques sanitaires (EQRS) en cas de suspicion de risque (Rémy et al., 2015). Si l'EQRS constitue une méthodologie reconnue et adoptée au niveau national par les services de la santé, l'évaluation des risques environnementaux (ERE) n'est pas encore répandue du point de vue opérationnel.

Au niveau réglementaire, les uniques seuils faisant référence en France concernent (i) les concentrations en plomb et en cadmium dans les produits de consommation, dont les légumes (Règlement (CE) no1881/2006 de la Commission du 19 décembre 2006 - modifié- portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires) et (ii) les limites maximales de résidus (LMR) qui fixent les niveaux supérieurs de concentration de résidus de pesticides autorisés dans ou sur les denrées alimentaires et les aliments pour animaux (règlement (CE) N° 396/2005 modifié). En ce qui concerne les sols, si la réglementation ne fixe pas de seuils, il est important de préciser que le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) propose en 2014 des valeurs d'alerte pour les principales sources de plomb dans l'environnement et notamment dans les sols. Ainsi la valeur de contamination du milieu sol devant déclencher un dépistage du saturnisme infantile est fixée à 300 mg/kg de plomb. De plus, le HCSP propose un niveau de vigilance au delà duquel une EQRS devrait être réalisée afin d'évaluer la nécessité de mettre en place des mesures de gestion - cette valeur est de 100 mg/kg de plomb dans les sols d'espaces collectifs habituellement fréquentés par des

enfants (aire de jeux, cour de récréation, parc public, jardins municipaux partagés, etc.). Au final; l'EQRS constitue la méthode permettant de juger du niveau de contamination d'un sol et de faire des choix de gestion du sol contaminé/pollué, le cas échéant. Les résultats de cette approche, en raison de choix, d'hypothèses, de simplifications ... restent cependant associés à de fortes incertitudes .

L'objectif de cette présentation est de montrer, au travers des travaux menés par le consortium du projet Jassur, quelle est la situation des jardins associatifs étudiés en termes de fertilité des sols, de leur contamination et de son influence sur la biodiversité; puis de discuter l'impact potentiel de ces contaminations sur l'écosystème. La question de l'évaluation des risques sanitaires est abordée au travers d'un retour d'expérience mené sur plusieurs EQRS récemment réalisées sur des jardins.

MATERIEL ET MÉTHODE

Dans le cadre du projet ANR JASSUR (www6.inra.fr/jassur/) sept territoires urbains ont été choisis (Lille, Grand Lyon, Marseille, Grand Nancy, Paris/Ile de France, Grand Toulouse, Nantes) car situés dans des contextes pédoclimatiques différents (figure 1) et présentant des trajectoires de développement urbain différentes. Des données sur la physico-chimie des horizons cultivés des sols de jardins ont été acquises sur plusieurs sites de jardins au sein de chaque territoire et de plusieurs parcelles de jardin au sein de chaque site selon une méthodologie de prélèvement et d'analyse homogène (cf. Schwartz *et al.* cette conférence). Sur certains territoires, des approches de caractérisation de la biodiversité du sol ont complété le diagnostic. Les jardins étudiés ne se veulent pas représentatifs de situations locales car les clefs de choix ou sélection des sites ont pu être différentes entre les territoires.

Figure 1 : Répartition des sept territoires d'étude du projet Jassur sur une carte des grandes régions climatiques.
Localisation of the seven study areas (Jassur project) on a map of the major climatic regions.



CARACTERISATION DES SOLS

Le projet Jassur a entrepris d'analyser des échantillons de sols représentatifs de parcelles individuelles en se focalisant sur l'horizon cultivé (cf. Schwartz *et al.* cette conférence). Les données acquises sur ces échantillons concernent :

- des paramètres agronomiques tels que pH, azote, carbone, phosphore Olsen, capacité d'échange cationique, texture, ...
- des éléments traces métalliques : concentrations totales en cobalt, chrome, cuivre, nickel, zinc, plomb, cadmium et concentrations de ces mêmes éléments après extraction au CaCl₂ pour déterminer la fraction échangeable.

Dans un premier temps, les valeurs obtenues ont été classées en 3 niveaux de fertilité pour les paramètres agronomiques (optimal, limite, défavorable) –cf. Joimel (2015)–. Les concentrations en polluants métalliques ont été comparées aux vibrisses supérieures (Villanneau *et al.*, 2008) fournies, à la maille de 16x16 km, par le Réseau de Mesure et de Surveillance de la Qualité des Sols (RMQS, cf.

www.gissol.fr). Cette approche permet de détecter des anomalies de concentration des sols de jardins, au regard de ce qui a été mesuré suivant un maillage systématique par ce réseau principalement sur des sols agricoles et forestiers. Cette comparaison permet donc de renseigner, dans une certaine mesure, le niveau de contamination des sols de jardins étudiés.

Pour le plomb, ces valeurs ont ensuite été comparées aux seuils du HCSP permettant ainsi, pour ce seul métal, d'avoir une première approche du niveau de pollution.

BIODIVERSITE

L'analyse de la biodiversité des sols a intégré la caractérisation de l'abondance, de la diversité de la flore des jardins, des micro-arthropodes (acariens, collemboles), des vers de terre et des communautés fongiques. L'influence des facteurs climatiques, édaphiques et anthropiques (i.e. pratiques des jardiniers) a été analysée par une approche statistique.

RISQUES

Risques environnementaux

Les risques environnementaux ont été appréhendés par une approche écotoxicologique qui permet, sur la base d'études existantes, d'approximations et d'hypothèses, de calculer une PNEC (Predicted Concentration of No-Effect) qui est la concentration maximale prédite en une substance donnée dans un milieu sans effet négatif sur les organismes de ce milieu. Cette PNEC peut ensuite être comparée aux données acquises sur les sites permettant ainsi de calculer un ratio de risque. Cette approche est réalisée en utilisant la feuille de calcul « Metal Soil PNEC Calculator » développée par Arche (cf. <http://www.arche-consulting.be/metal-csa-toolbox/soil-pnec-calculator/>) sur la base du travail accompli dans le cadre de la directive européenne REACH. Cette approche est indicative.

Risques sanitaires

Un retour d'expérience basé sur 13 études (12 portant sur des jardins collectifs existants et une sur un projet de création de jardin) a été mené dans le cadre du projet Jassur pour appréhender de quelle manière cette méthode est appliquée par les bureaux d'études dans le cas spécifique de jardins collectifs. Dans le panel des 13 études, 9 ont consisté en une interprétation de l'état des milieux (IEM) et quatre en une EQRS. Pour rappel, une EQRS s'effectue en suivant quatre étapes:

1. l'identification des dangers (détermination des effets indésirables que les substances chimiques sont intrinsèquement capables de provoquer chez l'homme),
2. l'estimation des relations dose-réponse (estimation du rapport entre le niveau ou la dose d'exposition et d'incidence et la gravité des effets),
3. l'estimation de l'exposition des populations,
4. la caractérisation des risques sanitaires.

En comparaison, l'IEM est une approche définie par le MEDDE en 2007 sur laquelle s'appuie la politique nationale de gestion des sites pollués (cf. note ministérielle du 08 février 2007). Elle consiste à s'assurer que l'état des milieux est compatible avec des usages déjà fixés, c'est-à-dire les usages constatés au moment de la réalisation de l'IEM. La démarche IEM a pour objectif de distinguer :

- les milieux qui ne nécessitent aucune action particulière, c'est-à-dire ceux qui permettent une libre jouissance des usages constatés sans exposer les populations à des niveaux de risques excessifs,
- les milieux qui peuvent faire l'objet d'actions simples de gestion pour rétablir la compatibilité entre l'état des milieux et leurs usages constatés,
- les milieux qui nécessitent la mise en oeuvre d'un plan de gestion. La zone concernée devient alors un site au sens du plan de gestion.

Les 4 étapes de l'EQRS sont présentes dans une IEM mais contrairement à une EQRS complète, l'IEM conduit à considérer les substances isolément :

- sans procéder à l'additivité des risques liés aux différentes substances d'une même voie d'exposition,
- ni à l'additivité des risques entre les différentes voies d'exposition.

A partir des risques calculés, des intervalles de gestion ont été définis pour interpréter les résultats de l'évaluation des risques sanitaires lorsqu'ils sont menés dans le seul cadre d'une démarche IEM.

LIGNES DIRECTRICES POUR LA CREATION DE JARDINS

Face au manque de directives ou guides méthodologiques pour la création de jardins collectifs intégrant la question des éventuelles pollutions en France, une approche comparative des politiques locales suivies à Toronto (Canada) et à Paris (France) a été réalisée.

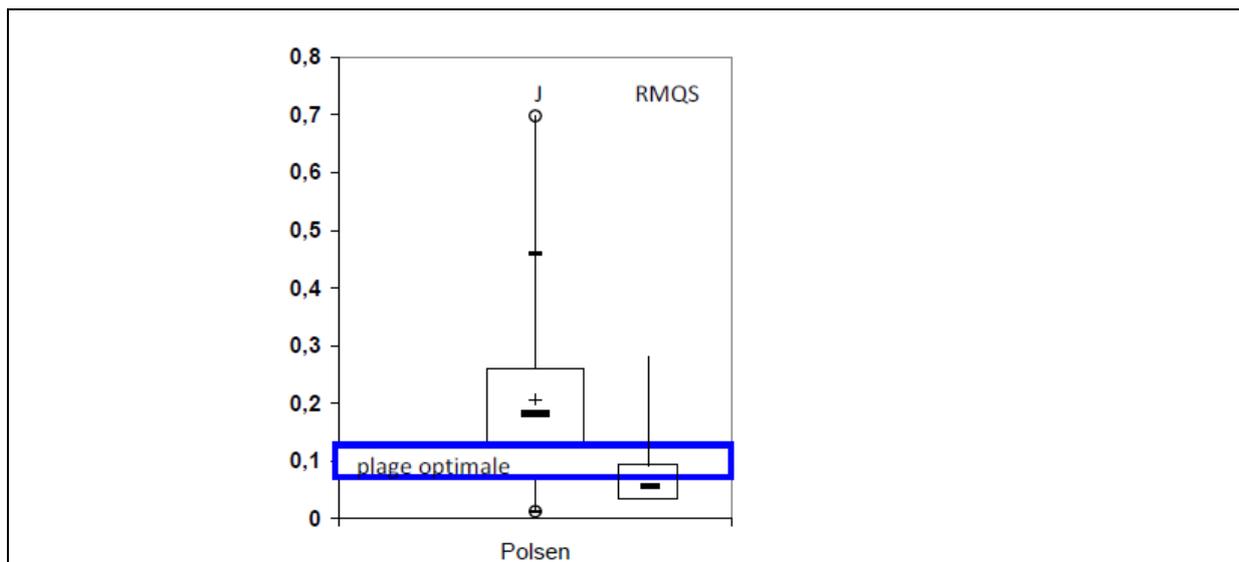
RESULTATS

Le projet Jassur a permis d'analyser le sol de près de 200 parcelles de jardins avec un protocole de prélèvement et d'analyses physico-chimiques homogène à l'échelle nationale (7 territoires urbains).

FERTILITE DES SOLS

Les paramètres tels que le carbone organique, le phosphore Olsen, le rapport C/N, le pH et la capacité d'échange cationique (CEC) montrent une variabilité relativement faible (coefficient de variation de 5 à 66%). Le pH des sols est plus basique que celui des échantillons du RMQS (médiane de 6,6 à l'échelle nationale), avec une médiane de 7,8. Le carbone organique est également plus élevé (médiane de 27,5 g/kg pour les jardins contre 14,5 g/kg pour le RMQS), ainsi que le Phosphore Olsen (0,18 g/kg contre 0,07 g/kg pour le RMQS). Le carbone organique est en concentration optimale dans 58 % des cas (limite dans 42% des cas par manque de matière organique). La valeur de CEC est optimale dans 74 % des cas et limite voire défavorable dans 35 % des cas. Pour le phosphore Olsen (figure 2), 64% des valeurs sont classées comme défavorables du fait d'un excès de phosphore (16% sont classées comme optimales). L'azote présente quant à lui un déficit (63% des analyses sont défavorables, 37% sont limites). 74% des valeurs de pH sont classées comme limites car trop élevées (25% sont favorables).

Figure 2 : Comparaison des concentrations (g/kg P_2O_5) en phosphore Olsen dans les sols de jardins étudiés dans Jassur (J) à gauche et dans les échantillons du RMQS à droite. La gamme des valeurs optimales est également représentée.
Comparison of soil concentrations for Olsen phosphorus (g/kg P_2O_5) between gardens studied in Jassur (J) and RMQS database. The range of optimal values is also shown



CONTAMINATION DES SOLS

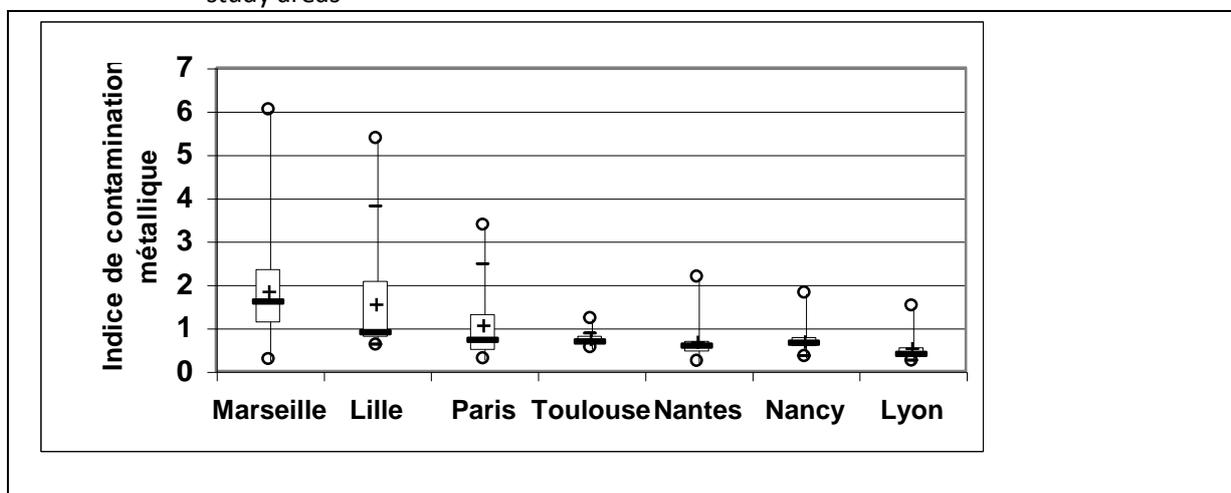
Concentrations totales

Le plomb, le cadmium et le molybdène sont les métaux connaissant le plus de variations de concentration entre les jardins, suivis par le cuivre et le zinc. Ce sont, de plus, les métaux caractérisés par le plus grand nombre de dépassements de la valeur 1 pour le ratio de concentration mesurée /concentration locale du RMQS : Pb (40% des échantillons), Cu (39%) et Zn (26%). La médiane de ce ratio pour ces trois éléments est proche de 1 (0,7 à 0,8). Cela signifie que, par rapport à la base RMQS (sols essentiellement agricoles et forestiers) et pour ces trois métaux (Pb, Cu et Zn), un peu moins de la moitié des sols de jardins présentent des concentrations « anormales ». Le ratio associé au cadmium présente une médiane faible (0,4) mais est également marqué par des ratios pouvant être élevés (pour 11% des échantillons il est supérieur à 1).

Un indice de contamination métallique par rapport au RMQS est construit sur la base de ces 3 éléments caractérisés par les plus forts ratios plus le cadmium (figure 3). Ceci permet de classer les territoires les uns par rapport aux autres. A noter que cet indice traduit uniquement un niveau de contamination global et n'est en aucun cas un indice de risque car non pondéré par la dangerosité de chacun des métaux le constituant. Il apparaît, sur la base de jardins dont la représentativité des situations locales n'a pas été recherchée, des différences de niveaux de contamination entre les 7 territoires étudiés .

Les concentrations en plomb sont pour 40% des parcelles de jardin caractérisées supérieures au seuil de vigilance de 100 mg/kg du HCSP et 9% dépassent le seuil de déclenchement théorique d'un dépistage du saturnisme.

Figure 3 : Distribution de l'indice de contamination métallique (Σ (concentration dans le jardin/RMQS)_{Pb, Cu, Zn, Cd}) entre les 7 territoires étudiés.
Polymetallic index (Σ (garden concentration/RMQS)_{Pb, Cu, Zn, Cd}) distribution among the 7 study areas



Mobilité des métaux

Les métaux présents dans les sols de jardins sont globalement peu extractibles au CaCl_2 . En ce qui concerne le chrome, le plomb et le nickel, les concentrations extractibles au CaCl_2 sont inférieures à la limite de quantification pour, respectivement, 100%, 97% et 65% des déterminations. Pour le cuivre et le cadmium, les valeurs extractibles au CaCl_2 sont en moyenne inférieures à 1 % du contenu total. Les caractéristiques physico-chimiques des sols (taux de matière organique élevé, pH basique) limiteraient ainsi leur mobilité et leur transfert vers les végétaux. Cependant, dans l'objectif d'une évaluation des risques, il est prudent de mettre en regard de ces mesures de mobilité des métaux à partir du sol des mesures de teneurs en métaux dans les légumes, l'extraction au CaCl_2 ne révélant qu'une partie de ce qui est biodisponible et/ou susceptible de le devenir au cours du cycle cultural. Toutefois, le nombre de végétaux analysés dans le cadre de Jassur est trop faible et ne permet pas de conclure.

IMPACT SUR LA BIODIVERSITE

Au niveau de la biodiversité, le milieu urbain, caractérisé par des pressions anthropiques fortes, induit une sélection des espèces de collemboles et des espèces végétales adaptées. Les conditions pédoclimatiques homogénéisent quant à elles, les espèces et les traits des collemboles au sein d'une même ville et différencient fortement les villes entre elles. Pour les communautés fongiques, le seul patron se dessinant est également celui des villes avec une empreinte spécifique à chaque ville. Les conclusions sont identiques pour la structure de la communauté microbienne. Les principales différences d'abondance et de diversité s'expriment entre les villes, en lien avec des conditions climatiques plus ou moins favorables. Ainsi, diversité et abondance des acariens, collemboles et vers de terre sont les plus importantes en climat océanique (doux et humide) et les plus faibles en climat continental (conditions plus drastiques). L'effet des pratiques des jardiniers est, quant à lui, principalement visible sur la flore alors qu'il n'influence ni l'abondance, ni la diversité ni les traits de la pédofaune analysée (Joimel, 2015). La présence de contamination dans près de la moitié des sols n'influencerait donc pas les paramètres de biodiversité caractérisés.

RISQUES ENVIRONNEMENTAUX

Les caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés permettent de calculer la PNEC pour chaque jardin et pour chacun des polluants métalliques (plomb, cadmium, zinc, nickel, cuivre, cobalt et molybdène). Le tableau I présente pour sept échantillons sélectionnés arbitrairement sur chacun des sept territoires leurs caractéristiques physico-chimiques, et pour deux éléments métalliques non essentiels (plomb et cadmium) et un élément essentiel (zinc) pour les plantes, la concentration mesurée dans le sol, la valeur minimale définissant une anomalie de concentration valable pour les sols locaux (RMQS), la PNEC, le ratio de risque associé (concentration mesurée/PNEC) et la fraction des espèces terrestres potentiellement affectées à la concentration mesurée (PAF). Il est clair que pour les métaux (plomb, zinc) pour lesquels les données issues de la bibliographie permettent d'estimer une biodisponibilité des métaux, la valeur de la PNEC dépend ainsi par exemple fortement des caractéristiques physico-chimiques des sols : de 158 à 350 mg/kg pour le plomb et de 108 à 295 mg/kg pour le zinc. Pour ces deux métaux la PNEC la plus faible est liée à une disponibilité plus forte du métal dans le sol caractérisé. Pour le cadmium, les données bibliographiques n'étant pas suffisantes pour intégrer la biodisponibilité, la PNEC ne varie pas avec les caractéristiques des sols. Ces calculs montrent que les concentrations en métaux dans les sols peuvent être responsables de risques environnementaux notamment pour les concentrations en plomb les plus importantes mais également pour le zinc, un élément essentiel, pour des concentrations plus courantes.

Tableau I : Caractérisations physico-chimiques de différents sols, valeurs de PNEC calculées, ratio de risque et fraction des espèces terrestres potentiellement affectées associés à la concentration mesurée pour le plomb, le cadmium et le zinc.
Physico-chemical characterisations of soils and values for computed PNEC, risk ratio and fraction of potentially affected land species for measured concentration of lead, cadmium and zinc.

	concentration mesurée mg/kg MS	Valeur RMQS mg/kg MS	CEC cmol/kg MS	pH	carbone organique %	Argiles %	PNEC mg/kg MS	concentration mesurée mg/kg MS	ratio de risque	PAF %
Plomb										
1-Ml	64	66	12	7,37	3,2	30	248	64	0,3	0,2
2-L	629	175	16,4		2,09	27	301	629	1,8	12,9
3-Nt	164	96	8,22	6,46	2,7	9	176	164	0,9	4,4
4-Nc	130	71,9	16,5	7,41	3,07	31	316	130	0,4	0,7
5-P_IdF	82	121	19,2	7,55	1,84	28	350	82	0,2	conc. <RMQS
6-Ly	24	87	7,36	-	1,36	-	158	24	0,2	conc. <RMQS
7-Tise	76	42	11,8	6,74	2,78	-	244	76	0,3	0,4
Cadmium										
1-Ml	0,7	0,9	12	7,37	3,2	30	1,1	0,7	0,6	2,4
2-L	0,5	1,0	16,4		2,09	27	1,1	0,6	0,5	1,4
3-Nt	0,3	0,4	8,22	6,46	2,7	9	1,1	0,3	0,3	0,4
4-Nc	0,6	1	16,5	7,41	3,07	31	1,1	0,6	0,4	1,2
5-P_IdF	0,3	1,1	19,2	7,55	1,84	28	1,1	0,3	0,2	0,4
6-Ly	0,1	1,0	7,36	-	1,36	-	1,1	0,1	0,1	0,1
7-Tise	0,4	0,7	11,8	6,74	2,78	-	1,1	0,4	0,3	0,8
Zinc										
1-Ml	237	166	12	7,37	3,2	30	188	237	1,3	7,8
2-L	196	169	16,4		2,09	27	132	196	1,5	10,7
3-Nt	107	188	8,22	6,46	2,7	9	108	107	1,0	conc. <RMQS
4-Nc	190	198	16,5	7,41	3,07	31	254	190	0,8	conc. <RMQS
5-P_IdF	107	166	19,2	7,55	1,84	28	295	107	0,4	conc. <RMQS
6-Ly	63	177	7,36	-	1,36	-	132	63	0,4	conc. <RMQS
7-Tise	126	176	11,8	6,74	2,78	-	137	126	0,9	conc. <RMQS

EVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES

Les 13 études analysées ont été menées entre 2009 et 2015 sur des jardins urbains ou péri-urbains. Tout au long du déroulement de l'IEM ou de l'EQRS, les choix effectués par les bureaux d'études (BE) diffèrent, ce qui influence le résultat final. Les principales conclusions de ce retour d'expériences sont exposées ci-dessous dans l'ordre des étapes de l'EQRS.

Une étude historique et documentaire du site trop souvent négligée

Aucune des évaluations étudiées ne comporte d'étude historique et documentaire suffisamment détaillée pour garantir la représentativité des prélèvements réalisés et des substances analysées. Sur la base de ce constat, l'ensemble des évaluations et leurs conclusions peuvent être remises en cause. Ce manque de connaissance sur les passifs et l'environnement actuel des sites constitue une source d'incertitudes extrêmement importante bien que difficilement quantifiable.

Certains référentiels sont à revoir

Les BE utilisent majoritairement des données de bruit de fond national pour interpréter les résultats des analyses de sols obtenus lors du diagnostic de site. Il est pourtant acquis que le territoire français comporte de nombreuses variations de concentrations naturelles en fonction de la localisation.

De même, l'utilisation par plusieurs BE de la base de données BAPPET comme référentiel pour les végétaux ne tient pas compte de la réponse parfois « site dépendante » du végétal vis-à-vis de l'accumulation du métal, sans compter les différences d'accumulation « variété-dépendante » non prises en compte dans BAPPET. L'utilisation de ce référentiel ne garantit en rien l'absence de risques sanitaires.

Des évaluations sans ingestion de végétaux !

L'ensemble des évaluations ont pour objectif de s'assurer de la compatibilité des sites avec un usage « jardins avec cultures de légumes ». Il est donc inconcevable de proposer une évaluation des risques pour cet usage sans retenir la voie d'exposition « ingestion de végétaux ». Pourtant, certains BE ne retiennent pas cette voie d'exposition faute d'analyses.

Cette pratique de certains BE est très inquiétante surtout que les évaluations menées en intégrant la voie d'exposition « ingestion de végétaux » montrent que c'est très souvent la voie d'exposition prédominante en termes de risque.

Des erreurs à signaler pour l'ingestion de sol

Pour l'ingestion de sol, la totalité des BE utilisent les références adaptées. Toutefois certaines erreurs sont à signaler. Un BE applique un ratio sur la quantité de sol ingérée par jour en fonction du temps passé sur site. Les quantités ingérées, préconisées par l'INERIS le sont indépendamment du temps de présence journalier sur site. Cette erreur provoque une sous estimation du risque chez l'enfant de plus de 90 % !

Des quantités ingérées de végétaux sous-estimées dans CIBLEX ?

La majorité des BE utilise la base de données CIBLEX pour définir les quantités de végétaux ingérées quotidiennement par les usagers des jardins. Les études où les enquêtes de terrain auprès des jardiniers qui ont été menées montrent que les quantités réellement consommées sont plus importantes que celles estimées par CIBLEX. Ce constat est pour le moment à nuancer du fait du faible nombre d'enquêtes de consommation réalisées et de la variabilité des résultats.

Il est également à signaler que la plupart des BE retiennent les moyennes nationales de CIBLEX et non les données affinées par département, taille de ville, catégorie socioprofessionnelle, classe d'âge, etc. ce qui affecte la représentativité des données utilisées.

Une contamination atmosphérique particulière à étudier pour la contamination des végétaux

Cette source de pollution n'est que très rarement retenue par les BE dans les évaluations analysées. Lorsque l'inhalation d'air ambiant extérieur est sélectionnée comme voie d'exposition pour l'évaluation, il apparaît que ce n'est pas la voie prédominante en termes de risque.

En revanche, plusieurs études montrent que la contamination atmosphérique particulière est tout de même à étudier car elle influence la qualité des végétaux cultivés (Xiong et al., 2016). Une des

études recommande même de placer tout nouveau jardin associatif à distance des axes de circulation dense.

Une démarche IEM privilégiée par les BE

La majorité des BE retient la démarche IEM pour réaliser leur prestation, ce qui semble adapté en première approche. En revanche, en cas de risque identifié dans la zone d'incertitude IEM, la plupart des BE ne poursuit pas la démarche jusqu'à une EQRS complète. Ils se limitent à des préconisations de mesures qu'ils qualifient de « simples », telles que le recouvrement par 50 cm de terre saine ou encore, ils procèdent uniquement à l'additivité des calculs au niveau de l'IEM, ce qui ne constitue en rien une EQRS complète.

Des incertitudes négligées par les BE

Cette partie de l'évaluation des risques permet de mettre en perspective les résultats obtenus et d'identifier les éventuelles réserves. Elle est essentielle mais trop souvent négligée par de nombreux BE. Une étude sans évaluation des incertitudes ne permet pas aux donneurs d'ordres d'avoir une vision suffisamment détaillée des risques encourus par les usagers des jardins et des mesures de gestion à prendre.

Face aux enjeux qui se posent (fermeture ou non de parcelles ou de jardins, restriction d'usage), la réalisation d'EQRS et d'IEM doit être maîtrisée et la spécificité du contexte de jardin doit être intégrée afin de pouvoir discuter les résultats notamment par rapport aux incertitudes associées.

DISCUSSION - CONCLUSION

La contamination des sols de jardins collectifs urbains étudiés dans le cadre du projet JASSUR est une réalité puisqu'environ 40% des parcelles échantillonnées présentent par exemple des concentrations en plomb anormales au regard des données du RMQS et supérieures au seuil de vigilance du HCSP. L'origine des contaminants est multiple mais une partie est liée aux pratiques d'utilisation d'intrants par les jardiniers. Ces pratiques d'intrants non maîtrisées ont certainement un impact sur la croissance des végétaux, la fertilité des sols pouvant être remise en question. Les caractéristiques des sols associées à ces pratiques : teneur en matière organique et pH élevés auraient tendance à favoriser cependant une certaine immobilité des polluants et un transfert faible vers les végétaux. Les PNEC associés à ces sols, notamment pour le plomb et le cadmium, sont relativement élevés limitant les impacts environnementaux. Dans certains cas, il est clair que la contamination d'un sol n'est pas rédhibitoire avec l'usage en potager, mais peut toutefois nécessiter des mesures de précaution. Il existe cependant des situations (pollution historique, anomalies géochimiques, ...) où les risques sanitaires ne sont pas compatibles avec la pratique du jardinage (Mombo *et al.*, 2015). Pour arriver à ces conclusions, les méthodes de l'EQRS et de l'IEM doivent être maîtrisées par les bureaux d'études pour obtenir un résultat fiable aux incertitudes connues et maîtrisées.

Les connaissances acquises dans le cadre de différents projets de recherche comme Jassur doivent maintenant être mobilisées pour construire, ou mettre à jour, des lignes directrices sur l'aménagement et la gestion des jardins associatifs urbains. En l'absence de réglementation spécifique, ces lignes directrices devront être confrontées aux choix techniques et politiques des collectivités (cf. politiques de la ville de Paris vs politique de la ville de Toronto) en prenant en compte l'incertitude liée à une connaissance partielle du système. La mise en place d'une expertise pluraliste et indépendante associant tous les acteurs concernés est donc nécessaire.

Les données acquises dans le projet Jassur concernent certains éléments métalliques. Cette connaissance partielle devra être élargie à d'autres substances. La concentration en d'autres éléments tels que l'arsenic dans les sols et les légumes suscite ainsi de nombreuses questions comme en témoigne la publication du 12/08/2015 au journal officiel de l'Union européenne d'une recommandation sur la surveillance de l'arsenic dans les denrées alimentaires. De plus, les effets de polluants comme le mercure ou l'arsenic, présents dans le sol des jardins, sont beaucoup moins connus. Se pose aussi la question des micro-polluants organiques émergents ou non, provenant notamment de l'usage non maîtrisé de produits phytosanitaires et celle de l'évaluation des possibles effets « cocktail » pour l'homme et l'écosystème lorsque plusieurs polluants (métalliques et/ou organiques) sont présents dans le sol.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Agence Nationale pour la Recherche qui a financé le projet Jassur dans le cadre de son appel à projet Villes et Bâtiments durables 2013 (projet JASSUR - ANR-12-VBDU-0011). Les collectivités, associations et jardiniers qui ont rendu ce projet possible sont également remerciés.

BIBLIOGRAPHIE

- Bechet B., Joimel S., Jean-Soro L., Hursthouse A., Agboola A., Leitão T.E., Costa H., Cameira M.R., Le Guern C., Schwartz C., Lebeau T., 2016. Spatial variability of trace elements in allotment gardens of four European cities: assessments at city, garden, and plot scale, *Journal of Soils and Sediments*, DOI 10.1007/s11368-016-1515-1.
- Hursthouse, A., Leitão, T.E., 2016. Environmental pressures on and the status of urban allotments. – In: Bell, S. et al. (Eds.), *Urban Allotment Gardens in Europe*. Routledge: 142-164.
- Jean-Soro L., Le Guern C., Bechet B., Lebeau T., Ringeard M.F., 2015. Origin of trace elements in an urban garden in Nantes, France, *Journal of Soils and Sediments*, 15, 8, 1802-1812.
- Joimel S., 2015. *Biodiversité et caractéristiques physicochimiques des sols de jardins associatifs urbains français*. Thèse de doctorat de l'Université de Lorraine, 308p.
- Mombo S., Foucault Y., Deola F., Gaillard I., Goix S., Shahid M., Schrek E., Pierart A., Dumat C., 2015. Management of human health risk in the context of kitchen gardens polluted by lead and cadmium near a lead recycling company. *Journal of Soils and Sediments*, 16, 4, 1214-1224.
- Schwartz C. et al., 2013. *Jardins potagers : terres inconnues?*, EDP Sciences, Collection « ADEME », ISBN : 978-2-7598-0723-9, 176 p.
- Rémy E., Douay F., Canavèse M., Lebeau T., Berthier N., Branchu P., Pinte E., 2015. Jardins collectifs urbains et contaminations des sols : quels enjeux en termes d'évaluation et de gestion des risques ? *Topia*, <http://topia.fr/travaux-de-chercheurs/travaux-de-l-axe-2/>, 18pp.
- Villanneau E., Perry-Giraud C., Saby N., Jolivet C., Marot F., Maton D., Floch-Barneaud A., Antoni V., Arrouays, D., 2008. Détection de valeurs anormales d'éléments traces métalliques dans les sols à l'aide du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols *étude et Gestion des Sols*, 15, 3 183 – 200.
- Xiong T.T., Dumat C., Pierart A., Shahid M., Kang Y., Li, N., Bertoni G., Laplanche C., 2016. Measurement of metal bioaccessibility in vegetables to improve human exposure assessments: field study of soil–plant–atmosphere transfers in urban areas, South China. *Environmental geochemistry and health*, online, 16p.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

QUALITE DE L'ECOSYSTEME JARDIN : SOLS, PLANTES ET BIODIVERSITE

C. SCHWARTZ ⁽¹⁾, S. JOIMEL ^(1,2), P. BRANCHU ⁽³⁾, J.-L. MOREL ⁽¹⁾, E.-D. CHENOT ⁽¹⁾ et J.-N. CONSALES ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Laboratoire Sols et Environnement, UMR 1120 Université de Lorraine-INRA
2 avenue de la Forêt de Haye, TSA 40602, 54518 Vandœuvre-lès-Nancy cedex,
christophe.schwartz@univ-lorraine.fr jean-louis.morel@univ-lorraine.fr
elodie.chenot@univ-lorraine.fr

⁽²⁾ UMR Ecosys, Centre INRA Versailles-Grignon
route de St Cyr, 78026 Versailles
sophie.boulanger-joimel@grignon.inra.fr

⁽³⁾ Cerema Direction territoriale Ile de France, 12 rue Teisserenc de Bort, 78190 Trappes
philippe.branchu@cerema.fr

⁽⁴⁾ Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional, Aix-Marseille Université
UMR 7303, TELEMME, CNRS
3, avenue Robert Schumann, F-13628 Aix-en-Provence, France
jean-noel.consales@univ-amu.fr

RÉSUMÉ

Les jardins potagers collectifs sont localisés dans des environnements anthropisés, souvent à l'interface d'activités urbaines et industrielles contrastées. A partir d'études passées très localisées géographiquement, nous savons qu'en moyenne, les sols de jardins présentent une fertilité élevée et sont potentiellement contaminés. Ceci résulte d'une infinité de pratiques de jardinage elles-mêmes définies par des contraintes et des convictions écologiques ou économiques variables. Les sols de jardins demeurent toutefois les supports de production alimentaire les moins connus. L'une des rares études française portant sur des jardins à l'échelle nationale est alors le programme JASSUR (Jardins Associatifs Urbains et villes durables : pratiques, fonctions et risques, projet ANR-12-VBDU-0011, Programme Villes et Bâtiments Durables). Des données d'inventaire de la fertilité, de la contamination des sols, du niveau de biodiversité végétale et de la faune du sol sont présentées.

Mots-clés : sol urbain, sol de jardin, fertilité chimique, contamination, faune du sol.

ABSTRACT

QUALITY OF THE GARDEN ECOSYSTEM: SOIL, PLANT AND BIODIVERSITY

Collective gardens are located in anthropogenic environments, often at the interface of contrasting urban and industrial activities. From past studies concerning very localized sites, we know that on average, garden soils have high fertility and are potentially contaminated. This results from an infinity of gardening practices defined by variable constraints and environmental or economic convictions of gardeners. However, garden soils remain the least studied food production supports. The research program JASSUR is then one of the few national studies on gardens (Jardins Associatifs Urbains et villes durables : pratiques, fonctions et risques, projet ANR-12-VBDU-0011, Programme Villes et Bâtiments Durables). Inventory data of fertility, soil contamination, level of plant and soil fauna biodiversity are presented.

Keywords: urban soil, garden soil, chemical fertility, contamination, soil fauna.

INTRODUCTION

Les jardins associatifs urbains, ou jardins collectifs, sont des formes de potagers mises en valeur et gérées de manière collective par une communauté de jardiniers, le plus souvent à des fins d'autoconsommation familiale, à distance du lieu d'habitation de ses membres. Sous des appellations, des statuts et des configurations variés, ces jardins sont en pleine expansion dans de nombreux pays industrialisés et notamment en France, sans pour autant que des études intégrées aient été réalisées sur des territoires nationaux. Le programme JASSUR (Jardins Associatifs Urbains et villes durables : pratiques, fonctions et risques, projet ANR-12-VBDU-0011, Programme Villes et Bâtiments Durables 2012 ; <http://www6.inra.fr/jassur>) se propose alors d'étudier de façon transdisciplinaire les fonctions, les usages, les modes de fonctionnement, les avantages ou les dangers potentiels en lien avec les jardins associatifs français. JASSUR entend ainsi identifier les modes d'action nécessaires au maintien, voire à la restauration, au développement ou à l'évolution de ces jardins associatifs sur des territoires urbains confrontés aux défis de la durabilité.

Pour ce faire, le programme s'appuie (i) sur un consortium de 12 partenaires de la recherche et du monde associatif (LSE, TELEMMMe, EcoLab/Certop, EcoSys, IRSTV, LER Isara, NORT, SAD-APT, Groupe Isa, Cerema, Pades, Plante&Cité) et (ii) sur une approche comparative entre sept agglomérations françaises : Lille, Grand Lyon, Marseille, Grand Nancy, Nantes, Paris/Ile-de-France, Grand Toulouse. Le programme JASSUR se fonde sur une question centrale : quels services assurent les jardins associatifs urbains dans le développement durable des villes ? Ces services écosystémiques, dans la complétude de l'acception du terme proposée par le Millenium Ecosystem Assessment (approvisionnement, régulation, soutien, services culturels), sont encore très mal connus. Face aux connaissances à élaborer pour les renseigner, le programme JASSUR fait l'hypothèse que l'étude des services alimentaires rendus par ces jardins associatifs urbains constitue un trait d'union entre :

- une caractérisation socio-technique des pratiques des jardiniers, tant dans le choix des cultures, de leurs modes de conduite technique que dans les formes qualitativement et quantitativement variées de participation des produits du jardin à l'alimentation et à la bonne nutrition familiale ;
- une caractérisation socio-politique de la gouvernance de ces espaces dans les agglomérations, notamment en termes de gestion des localisations, des modes de fonctionnement, des risques environnementaux et sanitaires éventuels ;
- une caractérisation bio-physico-chimique des sols et des produits issus de ces jardins. Cette partie du programme de recherche sera essentiellement présentée dans cet article, en focalisant sur la qualité des sols. La question des risques potentiels de pollution dus au contexte urbain (sols, atmosphère) étant ici centrale car pouvant contrecarrer le service d'approvisionnement alimentaire. Cet aspect complémentaire est traité dans la communication « Risques environnementaux et sanitaires dans les jardins » faite par Branchu et al.

Les sols de jardins entrent dans différentes classifications sous le terme d'Hortisols ou d'Anthrosols hortiques (Schwartz, 2013). Ces sols sont considérés comme ayant subi une fertilisation intense et ancienne. Si les sols de jardins ont, avant leur mise en service, des caractéristiques analogues à celles des sols agricoles, leurs propriétés vont alors évoluer au fil des actions du jardinier (Morel et Schwartz, 1999). Ils peuvent aussi être très différents si les jardins sont établis sur des zones qui ont fait l'objet de nombreuses transformations par l'Homme (zones urbaines et sub-urbaines) et présenter des fortes traces d'influence humaine (e.g. dépôts, excavations). Les sols de jardins de particuliers peuvent être constitués de matériaux qui ont été remaniés par les travaux de construction des habitations (e.g. terrassement, apports, déchets) (Schwartz et al., 1997). Enfin, en raison des activités urbaines et industrielles au voisinage des sols de jardin et du caractère très intensif du jardinage, la pollution des sols de jardins peut être suspectée (Schwartz et al., 2000 ; Alloway, 2004 ; Béchet et al., 2009 ; Schwartz et al., 2013).

A partir de travaux passés, souvent très localisés géographiquement et hors de France (Davies, 1978 ; Moir et Thornton, 1989 ; Crößman et Wüsteman, 1992 ; Kahle, 2000 ; El Hamiani et al., 2010 ; Mitchell

et al., 2014), nous savons que les propriétés physico-chimiques des sols de jardins sont fortement modifiées par rapport à d'autres sols supports de biomasse à vocation alimentaire. Les teneurs en nitrates et en phosphore (P) total sont élevées. A la différence des sols agricoles, les sols de jardins présentent dans 70% des cas de très fortes teneurs en éléments nutritifs. Les sols de jardins sont ainsi des sols agricoles spécifiques (Morel et Schwartz, 1999; Schwartz, 2000) et sur lesquels les jardiniers cultivent des plantes à vocation purement ornementale ou produisent des plantes potagères à vocation alimentaire, ces dernières pouvant être contaminées à partir des sols (Alt et al., 1981 ; Bahemuka et al., 1999 ; Fismes et al., 2004). Les sols de jardins potagers représentent des cas concrets de sols anthropisés. Ces sols sont le lieu d'une agriculture très intensive, générant des sols à haute fertilité et de grande diversité, en fonction de l'infinité des pratiques. Au sein des sols urbains, les sols de jardins potagers restent très certainement les sols à vocation de production alimentaire les moins étudiés, alors qu'ils font probablement l'objet des pratiques les plus intensives dans des environnements éminemment anthropisés. L'objectif est alors de mieux décrire la variabilité de la qualité des sols de jardins potagers à l'échelle du territoire en intégrant l'hétérogénéité des lieux (Béchet et al. 2016) et des pratiques de jardinage (Figure 1).

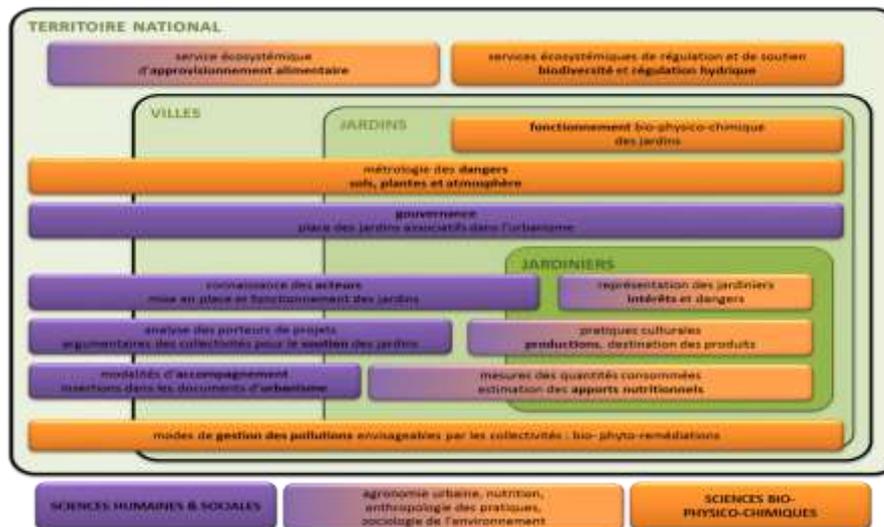
Figure 1 : Un enjeu de meilleure connaissance de la qualité de jardins aux caractéristiques très hétérogènes (The challenge of a better knowledge of the quality of gardens with very heterogeneous characteristics)



MATERIEL ET MÉTHODE

Eu égard à ses objectifs scientifiques d'éclairage de la filière des jardins associatifs urbains et à ses objectifs opérationnels d'aide à la décision publique, le programme JASSUR est structuré par une approche à la fois multiscalaire (du contexte national à la parcelle de jardin) et transdisciplinaire (par-delà sciences humaines et sociales et sciences bio-physico-chimiques) (Figure 2). Le management scientifique de programme Jassur est organisé par ville étudiée et par tâche thématique.

Figure 2 : Organisation générale du programme JASSUR : multi-scalaire, multi-acteurs et trans-disciplinaire (General organization of JASSUR program : multi-scale, multi-stakeholder and cross-disciplinary)



Une tâche de JASSUR traite des services écosystémiques de régulation et de soutien, en privilégiant ceux liés à la biodiversité et à la régulation hydrique. Cette tâche traite aussi de la métrologie des dangers à travers deux sources majeures de pollution potentielle, le sol et l'atmosphère. Une partie importante des travaux a permis de définir la méthodologie en s'attachant à : choisir, au sein de chacune des sept « villes » étudiées, réparties selon une diversité pédoclimatique et aux trajectoires urbaines différentes, environ 5 sites de jardins associatifs et pour chacun d'eux, 5 jardins. Les étapes suivantes ont été suivies : définir et appliquer systématiquement une méthodologie de diagnostic documentaire des jardins (e.g. usages, passés, occupation des sols) ; définir et appliquer systématiquement une méthodologie de prélèvement et d'analyse des sols (fertilité, contaminants métalliques, extractibilité des polluants) ; définir et appliquer des approches spécifiques à certaines « villes » sur (i) la biodiversité de la flore, de la mésofaune, de la microfaune et des communautés fongiques des sols, (ii) la pédologie des sols de jardin, (iii) les contaminants organiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)), l'arsenic (As) et le mercure (Hg), (iv) la traçabilité des terres et des polluants, (v) les transferts atmosphère - sols et atmosphère - plantes, (vi) le comportement hydrique de ces surfaces urbaines, (vii) la spatialisation des pollutions à l'échelle du site et du jardin. Cinquante deux sites sont ainsi étudiés sur l'ensemble du territoire, où 198 échantillons de terres de surface de jardins sont caractérisés d'un point de vue fertilité/niveau de contamination métallique, 112 pour leurs teneurs en HAP et plus de 900 échantillons pour répondre à des questions issues de thématiques particulières (e.g. infiltration de l'eau, variabilité intra-parcellaire de la qualité des sols), 80 jardins pour la caractérisation des vers de terre, 15 pour la caractérisation de la flore, de la microfaune et des communautés fongiques du sol. Afin d'étudier la biodiversité taxonomique de ces jardins familiaux, nous avons en effet choisi de centrer nos recherches sur trois groupes d'organismes distincts : (i) la flore cultivée pour mesurer l'incidence des jardiniers et de leur potager sur la biodiversité « agronomique » ; (ii) la flore spontanée car elle influence directement ou indirectement les processus écosystémiques en modifiant la quantité et la qualité des habitats et des substrats utilisés par d'autres organismes (Berendse 1998 ; Díaz et Cabido 2001 ; Hooper et al. 2005) ; la mésofaune des sols, composée majoritairement des microarthropodes (collemboles et acariens) pour son rôle de bio-indicateur de la qualité des sols et de leurs pollutions (Cortet et al., 1999 ; Santorufo et al., 2012). Parmi les très nombreux résultats obtenus seuls des résultats choisis sont présentés ci-après.

RESULTATS

A l'échelle nationale et par rapport aux terres agricoles et forestières, les sols des jardins associatifs urbains présentent des caractéristiques physico-chimiques particulières en termes de fertilité ou de niveau de contamination. Les caractéristiques des terres de jardins sont marquées par une augmentation des teneurs totales en cadmium (Cd), cuivre (Cu), plomb (Pb), zinc (Zn) totaux, en HAP ainsi qu'en phosphore assimilable (P_{Olsen}), pH et matières organiques. Si ces écarts sont en grande partie

liés aux pratiques de jardinage, dans certains cas, l'historique du site, l'environnement de proximité et même des anomalies géochimiques du sous-sol (Jean-Soro et al., 2015) vont entraîner une contamination accrue des sols. L'indice de contamination métallique met en évidence l'existence d'un gradient de concentrations au sein des « villes » étudiées. Il existe aussi des écarts entre celles-ci depuis « Lyon » « Nancy », « Nantes » et « Toulouse » vers « Paris » puis « Lille » et enfin « Marseille ». La comparaison des données JASSUR à différentes bases de données externes au niveau national, permet de mettre en évidence un gradient d'anthropisation lié à l'usage des sols qui s'accompagne d'un gradient de teneurs en contaminants et en (sur)fertilité depuis les forêts vers les prairies, les grandes cultures, les vignes et vergers, les jardins potagers urbains jusqu'aux sols de zones urbaines, industrielles, de trafic, minières et militaires hors jardins (SUITMA) (figures 3 et 4) (Joimel et al., 2016).

Le traitement statistique des données obtenues permet globalement d'identifier des indicateurs clés de l'état des sols de jardins associatifs urbains : pH, P_{Olsen} pour la fertilité ; Pb, Zn, nature des éléments grossiers présents dans les sols pour le degré de contamination.

Figure 3 : Distribution des teneurs en cuivre total dans les terres de surface de sols français en fonction de leur usage : forêt (n=582), prairie (n=623), cultivé (n=820), vignes et vergers (n=48), jardins associatifs urbains (n=104) et sols de zones urbaines, industrielles, de trafic, minières, militaires (SUITMA) (n=238) ; d'après Joimel et al., 2016 ; collaboration RMQS-INRA

(Distribution of total copper in French topsoils according to land use: forest (n=582), grassland (n=623), cultivated (n=820), orchard and vineyard (n=48), urban vegetable garden (n=104) and SUITMA (n=238))

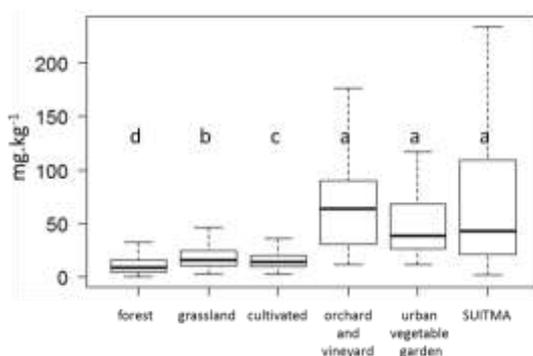
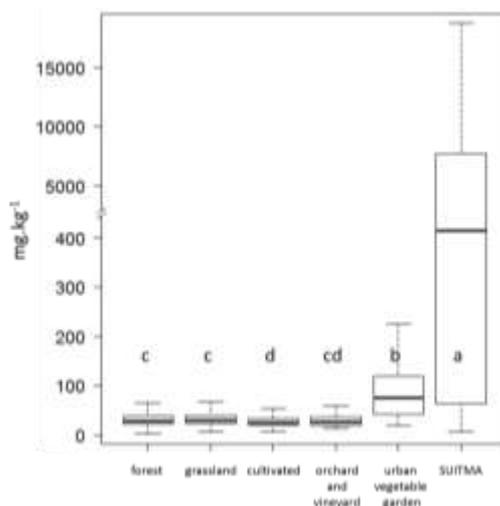


Figure 4 : Distribution des teneurs en plomb total dans les terres de surface de sols français en fonction de leur usage : forêt (n=582), prairie (n=623), cultivé (n=820), vignes et vergers (n=48), jardins associatifs urbains (n=104) et sols de zones urbaines, industrielles, de trafic, minières, militaires (SUITMA) (n=238) ; d'après Joimel et al., 2016 ; collaboration RMQS-INRA

(Distribution of total copper in French topsoils according to land use: forest (n=582), grassland (n=623), cultivated (n=820), orchard and vineyard (n=48), urban vegetable garden (n=104) and SUITMA (n=238))



Du point de vue de la biodiversité, le milieu urbain, caractérisé par des pressions anthropiques fortes, induit une sélection d'espèces de la mésofaune du sol (collembolles) et d'espèces végétales spontanées adaptées. Les conditions pédoclimatiques homogénéisent quant à elles les espèces et les traits des collembolles au sein d'une même ville et permettent de différencier fortement les villes entre elles. Les principales différences d'abondance et de diversité s'expriment en effet entre les villes, en lien avec des conditions climatiques plus ou moins favorables. Ainsi, diversités et abondances des acariens, collembolles et vers de terre sont les plus fortes en climat océanique (doux et humide) et les plus faibles en climat semi-continentale (conditions plus extrêmes). L'effet des pratiques des jardiniers va quant à lui être principalement visible sur la flore, alors qu'elles n'influencent ni l'abondance ni la diversité ni les traits de la faune. Le gradient de qualité biologique des sols en lien avec les usages des sols, qui augmente depuis les terres agricoles vers les SUITMA, jusqu'aux jardins potagers et enfin à la forêt, diffère de celui mis en évidence pour la qualité physico-chimique des terres de surface (Joimel et al., 2014, 2016). Les résultats obtenus remettent ainsi en question les *a priori* associant les milieux urbains à une qualité biologique faible et à une homogénéisation globale des taxons et des traits fonctionnels des organismes.

DISCUSSION

LA MEILLEURE CONNAISSANCE DE L'ETAT PHYSICO-CHIMIQUE DES SOLS DE JARDINS FRANÇAIS PERMET DE LES POSITIONNER DANS LE GRADIENT D'ANTHROPISATION DES SOLS

Les sols de jardin acquièrent des caractéristiques physico-chimiques liées à leur origine géochimique naturelle (que le sol soit en place ou reconstitué avec des matériaux naturels) qui peut dans certains cas être à l'origine de contaminations (exemple des sols « nantais » et de certaines anomalies naturelles en Pb et As liée aux micaschistes (Jean-Soro et al., 2015)). Ces caractéristiques vont néanmoins être modifiées au cours du temps par les pratiques culturales (amendements, engrais, produits phytosanitaires) et l'environnement de proximité (retombées atmosphériques). Cette modification se traduit d'un point de vue agronomique par une augmentation des concentrations en phosphore assimilable par les plantes (P_{Olsen}), du pH et en matière organique, par une baisse du rapport C/N, et d'un point de vue environnemental par une augmentation des concentrations totales en polluants (contaminations généralement mixtes, polymétalliques et organiques). Si le contenu en matières organiques peut être optimal pour la croissance des végétaux, les pratiques de jardinage vont être responsables de leur faible minéralisation et d'apports excessifs en P pouvant être pénalisants pour les plantes. Lorsque les sols sont contaminés préalablement à l'usage en jardin (*e.g.* apport de boues d'épuration urbaines sur des sols agricoles, apports atmosphériques de polluants industriels, remblaiement avec des déchets), les concentrations en polluants vont pouvoir être plus élevées. L'histoire industrielle ou artisanale des villes s'accompagne ainsi d'un gradient de contamination entre les villes et au sein d'une même ville.

La comparaison des données acquises dans JASSUR, aux données du Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS INRA) et de SUITMA d'une base de données du LSE, permet de discuter l'impact de l'intensification des activités humaines au regard de la qualité physico-chimique des sols. Les activités anthropiques impliquent une augmentation des pressions sur les sols le long d'un gradient forêts < prairies < grandes cultures < vignes et vergers < jardins potagers urbains < SUITMA hors jardins, qui se manifeste par une augmentation des concentrations en Cd, Cu, Pb, Zn et du pH. Si les jardins étudiés à l'interface entre milieux urbain et agricole, en raison de leur vocation/usage, ont une signature particulière marquée par des concentrations en métaux, ils sont également très fertiles et plus que les sols agricoles.

LES JARDINS ET LEURS SOLS SONT DES RESERVOIRS DE BIODIVERSITE

Les espèces végétales spontanées (non cultivées) les plus fréquemment rencontrées au sein de la flore des jardins potagers associatifs sont annuelles, communes à d'autres espaces verts urbains (pelouse, pieds d'arbres). Ces communautés végétales sont très homogènes en termes de traits fonctionnels

entre sites et entre villes, avec des espèces marquées par leurs forte capacité de colonisation du milieu et leur résistance aux pressions. Ce profil communautaire est classique de la flore herbacée du milieu urbain. Il semble y avoir une homogénéisation de la flore et une richesse plus faible associée aux jardins qui sont le lieu de pratiques intensives, les pratiques induisant une pression limitant la colonisation ou le maintien d'espèces plus sensibles à ces perturbations. Il semble de plus exister une similarité de richesse en espèces végétales et animales entre jardins privés (cultures potagères et ornementales) et associatifs (cultures majoritairement potagères), cette vision allant à l'encontre de celle figurant les jardins associatifs comme soumis à une pression anthropique supérieure.

Au niveau de la mésofaune des sols et plus particulièrement des collemboles, les espèces retrouvées sont bien adaptées au milieu urbain et aux jardins. Les collemboles sont ainsi adaptés à un milieu requérant une forte mobilité en raison de perturbations physiques et chimiques fréquentes. Au niveau des acariens, la prépondérance du groupe Acaridida peut s'expliquer par son affection pour des milieux bien pourvus en fumure ou en composts. Ces acariens sont de plus aptes à coloniser rapidement différents milieux. Il semble que les pratiques de jardinage n'ont pas d'effet sur l'abondance ou la spécificité des communautés de collemboles et de lombriciens. L'usage historiquement intensif de fertilisants dans les jardins permettrait ainsi d'augmenter richesse et abondance, compensant ainsi les effets des pratiques les plus intensives. Les fortes différences taxonomiques décrites entre les villes peuvent également expliquer l'absence d'effet visible des pratiques de jardinage. La diversité et l'abondance des acariens et des collemboles augmentent en lien avec des conditions climatiques plus favorables (conditions moyennement chaudes et humides) allant de « Nancy », vers « Marseille » puis « Nantes ». Pour les vers de terre on retrouve un gradient similaire dans la diversité, allant de « Nancy », vers « Paris », « Marseille », puis « Toulouse » et enfin « Nantes ». En termes d'abondance, on retrouve cette tendance au sein des vers épi-anéciques avec une exception à Nantes où la texture sableuse du sol semble être pénalisante. L'homogénéisation des taxons et des traits classiquement mis en avant en milieu urbain n'est pas observée sur la faune du sol, sans doute à cause d'une variabilité forte des contextes pédoclimatiques. Les conditions édaphiques et environnementales propres aux sols de jardins vont induire une sélection des espèces de collemboles et végétales adaptées aux milieux subissant des pressions anthropiques marquées. D'autres filtres vont ensuite s'exercer pour sélectionner les espèces les plus adaptées : un filtre pédoclimatique homogénéisant les espèces et les traits des collemboles au sein d'une même ville et une forte divergence entre les villes. La présence de contaminants ne semble pas balancer l'effet positif des facteurs édaphiques. Si les métaux n'influencent pas la diversité spécifique des collemboles, ils sélectionnent des espèces aux traits adaptés. C'est également vrai par rapport au facteur pédoclimatique. Le filtre des pratiques va, quant à lui, s'exercer de manière directe sur la flore et indirecte sur les collemboles.

OU SE PLACE LE RESERVOIR DE BIODIVERSITE DES SOLS DE JARDINS AU SEIN DU GRADIENT D'ANTHROPISATION GLOBAL ?

La théorie de l'appauvrissement de la qualité biologique le long d'un gradient d'anthropisation peut être discutée ici. Contrairement à l'*a priori* très répandu, les sols urbains (SUITMA et sols de jardins potagers) ne présentent pas une qualité biologique moindre que celle des sols agricoles. Leur qualité biologique, basée sur la présence de micro-arthropodes, serait en effet proche de celle des sols forestiers. La même conclusion ressort de l'étude menée dans JASSUR sur les communautés lombriciennes (travaux réalisés par Ecobiosol - OPVT - Université de Rennes 1, Station Biologique de Paimpont, « Beauvais », 35380 Paimpont). Le gradient de biodiversité en lien avec les usages du sol n'est ainsi pas le même que celui mis en évidence pour la qualité physico-chimique des sols.

DES RESULTATS VALORISABLES EN TERMES DE RECOMMANDATIONS AUX JARDINIERS

L'entretien de la fertilité des sols de jardin nécessite une bonne connaissance du sol. Celle-ci peut s'appréhender par les méthodes classiques de la science du sol (observation du profil, analyses de terre, enregistrement des différentes pratiques). Afin d'éviter d'inscrire la démarche de diagnostic des jardins dans le schéma contraignant de l'activité agricole professionnelle, il est souhaitable de mettre à disposition des jardiniers des moyens d'information et des outils adaptés (Schwartz, 2000). Peu de

jardiniers sont formés aux techniques agricoles et leur savoir est souvent empirique avec une conduite très intensive dans l'optique de maximiser les rendements et d'obtenir une bonne récolte. L'information qui permet, sans alarmer inutilement les populations, de transmettre aux jardiniers amateurs les pratiques de culture respectueuses de l'environnement et des produits, fondées sur des connaissances sérieuses devrait être renforcée.

Vue sous l'angle de la contamination par les éléments en traces, la gestion de la qualité des sols revêt une importance particulière. Des recommandations simples peuvent être faites considérant que les polluants sont souvent introduits par le jardinier lui-même. Il doit donc s'imposer une plus grande rigueur et aussi exiger une transparence plus grande des produits qu'il est amené à apporter sur sa parcelle. Il doit aussi systématiquement respecter les doses recommandées pour les produits commerciaux.

Même si des données supplémentaires ont été acquises par le programme JASSUR, l'état des sols de jardins potagers pris individuellement, reste mal connu. Cette méconnaissance de la qualité des sols de jardins est la conséquence de l'absence d'outils adaptés aux jardiniers pour faire un diagnostic rapide de la situation. Pour mieux connaître et, par là, mieux gérer au long terme les sols de jardins, il faudra développer des outils de diagnostic (Aelion et Davis, 2007 ; Sipter et al., 2008), afin que les jardiniers empruntent une approche plus rationnelle de la gestion de leur sol. Il y a là des voies de recherche et développement à suivre.

CONCLUSION

Les sols de jardins familiaux jouent un rôle essentiel dans la production alimentaire urbaine et dans le « contact à la nature » des citadins. Ils sont très majoritairement fertiles et constituent un réservoir de biodiversité. Les pratiques de jardinage conduisent cependant très souvent à la transformation radicale du sol initial et entraînent une très grande diversité de situations en fonction de la multiplicité des approches. Sols à vocation agronomique et aussi paysagère et récréative, voire lieu de gestion de déchets, ils sont à mi-chemin entre les sols agricoles et les sols urbains et industriels. Ils sont alors soumis à des influences et des pratiques très intensives, pas toujours bien maîtrisées, pouvant conduire à l'accumulation de polluants dans les sols et à la contamination de la chaîne alimentaire. Des données d'inventaire nécessaires dans le cadre d'évaluations des risques environnementaux et sanitaires liés aux activités de jardinage sont aujourd'hui disponibles. Si les risques d'intoxication des populations sont faibles, voire inexistantes dans la plupart des cas, il existe toutefois des situations où la conjugaison de facteurs défavorables vis-à-vis de la qualité des sols (activités antérieures, situation du jardin par rapport à des activités polluantes, fond géochimique) a contribué à l'accumulation de composés toxiques dans les sols avec un risque de transfert vers l'Homme. Ces cas, certes relativement marginaux sur la base des connaissances acquises à l'heure actuelle, doivent cependant être interprétés comme un signal incitant à une évolution des pratiques vers une meilleure gestion des sols de jardins. Compte tenu des tendances observées d'augmentation plus rapide des concentrations de contaminants dans les sols de jardins que dans les sols agricoles, il est d'ores et déjà souhaitable de promouvoir des recommandations pour la culture sur sols contaminés (choix d'espèces, de variétés, apports d'amendements) et de développer des technologies de traitement d'extraction des polluants pour restaurer la qualité des sols. Ces dernières ne peuvent se concevoir que simples, efficaces et respectueuses des propriétés agronomiques du sol, laissant alors entrevoir une application possible de la phytoremédiation (cet aspect complémentaire est traité dans la communication faite par Bouquet et al.).

REMERCIEMENTS

Cet article repose sur les travaux des programmes de recherche intitulés « Caractérisation des sols, des usages et des productions potagères dans les jardins français » (SOJA) qui a été initié par l'ADEME en 2009 et du programme « Jardins Associatifs Urbains et villes durables : pratiques, fonctions et risques » JASSUR, ANR-12-VBDU-0011. Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble des partenaires scientifiques,

associatifs, élus et techniciens des villes et jardiniers de ces programme de recherche pour les nombreux échanges et travaux sur le thème des jardins.

BIBLIOGRAPHIE

Alloway B.J., 2004 - Contamination of soils in domestic gardens and allotments: a brief overview. *Land Contamination and Reclamation*, 12, 3, 179-187.

Alt D., Sacher B., Radicke K., 1981 - Results of a survey investigation on nutrient and heavy metal contents of private vegetable gardens. *Landwirtschaftliche Forschung. Sonderheft* 38, 682-692.

Bahemuka T.E., Mubofu E.B., 1999 - Heavy metals in edible green vegetables grown along the sites of the Sinza and Msimbazi rivers in Dar es Salaam, Tanzania. *Food Chemistry*, 66, 1, 63-66.

Béchet B., Joimel S., Jean-Soro L., Hursthouse A., Agboola A., Leitão T.E., Costa H., do Rosário Cameira M., Le Guern C., Schwartz C., Lebeau T., 2016 - Spatial variability of trace elements in allotment gardens of four European cities: assessments at city, garden, and plot scale. *Journal of Soils and Sediments*, DOI 10.1007/s11368-016-1515-1

Béchet B., Carré F., Florentin L., Leyval C., Montanarella L., Morel J.L., Raimbault G., Rodriguez F., Rossignol J.P., Schwartz C., 2009. Caractéristiques et fonctionnement des sols urbains. In : Cheverry et Gascuel (éd) *Sous les pavés la terre*. Omniscience, Montreuil, 45-74.

Berendse F., 1998 - Effects of Dominant Plant Species on Soils during Succession in Nutrient-poor Ecosystems, *Biogeochemistry*, 42, 1998, 73-88.

Cortet J., Vauflery A.G.-D., Poinot-Balaguer N., Gomot L., Texier C., Cluzeau D., 1999 - The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects, *European Journal of Soil Biology*, 35, 115-134.

Crößman G., Wüsteman M., 1992 - Belastungen in Haus- und Kleingärten durch anorganische und organische Stoffe mit Schadstoffpotential. Forschungsbericht 1160868. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Davies B.E., 1978 - Plant-available lead and other metals in British garden soils. *Science of the Total Environment*, 9, 3, 243-262.

Díaz S., Cabido M., 2001 - Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, 16, 646-655.

El Hamiani O., El Khalil H., Lounatea K., Sirguy C., Hafidi M., Bitton G., Schwartz C., Boularbah A., 2010 - Toxicity assessment of garden soils in the vicinity of mining areas in Southern Morocco. *Journal of Hazardous Materials*, 177, 755-761.

Fimes J., Schwartz C., Perrin-Ganier C., Morel J.L., Charissou A.M., Jourdain M.J., 2004 - Risk of contamination for edible vegetables growing on polluted soils by PAHs. *Polycyclic Aromatic Compounds Journal*, 24, 827-836.

Hooper D.U., Chapin F.S., Ewel J.J., Hector A., Inchausti P., Lavorel S., Lawton J.H., Lodge D.M., Loreau M., Naeem S., Schmid B., Setälä H., Symstad A.J., Vandermeer J., Wardle D.A., 2005 - Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge, *Ecological Monographs*, 75, 3-35.

Jean-Soro L., Le Guern C., Béchet B., Lebeau T., Ringear M.F., 2015. Origin of trace elements in an urban garden in Nantes, France, *Journal of Soils and Sediments*, 15, 8, 1802-1812.

Joimel S., Cortet J., Jolivet C.C., Saby N.P.A., Chenot E.D., Branchu P., Consalès J.N., Lefort C., Morel J.L., Schwartz C., 2016 - Physico-chemical characteristics of topsoil for contrasted forest, agricultural, urban and industrial land uses in France. *Science of the Total Environment*, 545-546, 40-47.

Joimel S., Schwartz C., Auclerc A., Bel J., Branchu P., Chenot E-D., Consalès J.N., Hedde M. , Magnus B., Morel J.L. et Cortet J., 2014 - Soil invertebrates as bioindicators of soil quality in urban vegetable gardens. Global Soil Biodiversity I, Dijon, France (communication).

Kahle P., 2000 - Heavy metals in garden soils from the urban area of Rostock. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163, 2, 191-196.

Mitchell R.G., Spliethoff H.M., Ribaud L.N., Lopp D.M., Shayler H.A., Marquez-Bravo L.G., Lambert V.T., Ferez G.S., Russell-Anelli J.M., Stone E.B., McBride M.B., 2014. Lead (Pb) and other metals in New York City community garden soils: Factors influencing contaminant distributions. *Environmental Pollution*, 187, 162–169.

Moir A.M., Thornton L., 1989 - Lead and cadmium in urban allotment and garden soils and vegetables in the United Kingdom. *Environmental Geochemistry and Health*, 11, 3-4, 113-119.

Morel J.L., Schwartz C., 1999 - Qualité et gestion des sols de jardins familiaux. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture*, 85, 2, 103-114.

Santorufio L., Van Gestel C.A.M., Rocco A., Maisto, G., 2012 - Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality », *Environmental Pollution*, 161, 57-63.

Schwartz C., Fetzer K.D., Morel J.L., 1997 - Factors of contamination of garden soils by heavy metals. In Proceedings of the Third International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, CD Rom 107, Paris

Schwartz C., 2000. Connaître le sol de son jardin pour mieux le protéger. *Jardin Familial de France, Revue de la Ligue Française du Coin de Terre et du Foyer*, n°398, p.7.

Schwartz C., Fetzer K.D., Kubiniok J., Morel J.L. 2000 - Availability of pollutants in garden soils. In Proceedings of the First International Conference on Soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining Areas (SUITMA), Burghardt, W. et Dornauf, C. Eds, Essen, pp. 485-490.

Schwartz C., 2013. Les sols de jardins, supports d'une agriculture urbaine intensive. *Vertigo*, la revue électronique en sciences de l'environnement, Hors série 15, URL : <http://vertigo.revues.org/12858> ; DOI : 10.4000/vertigo.12858

Schwartz C. (coord) et al., 2013. *Jardins potagers : terres inconnues ?*, EDP Sciences, Collection « ADEME », ISBN : 978-2-7598-0723-9, 176 p.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**LE PROJET JARDINER AUTREMENT : PROMOUVOIR L'UTILISATION DES METHODES ALTERNATIVES
AUPRES DU GRAND PUBLIC
H. SURMELY**

Société Nationale d'Horticulture de France, 84 rue de Grenelle 75007 PARIS, France,
hannah.surmely@snhf.org

RÉSUMÉ

Le plan d'action national Ecophyto II a pour objectif de réduire progressivement l'usage des pesticides en France. L'axe 4 du plan porte sur sa mise en œuvre en jardins, espaces végétalisés et infrastructures (JEVI). La création et l'animation de la plateforme Jardiner Autrement, site d'échange de bonnes pratiques à destination des jardiniers amateurs a été déléguée par le ministère en charge de l'environnement à la Société Nationale d'Horticulture de France (SNHF) qui s'implique également dans le développement de l'épidémiologie dans les jardins d'amateurs. L'objectif de ces actions est de mettre à la portée de tous l'essentiel des connaissances techniques et méthodologiques nécessaire à un jardinage économe en pesticides, en mettant l'accent sur l'observation et le respect de la biodiversité.

Mots-clés : jardiniers – JEVI – ecophyto – pesticides – sensibilisation.

ABSTRACT

"JARDINER AUTREMENT": PROMOTING ALTERNATIVE METHODS FOR GARDENING AMONG THE GENERAL PUBLIC

The Ecophyto plan is the French National Action Plan for the reduction of pesticide by all types of users, including nonprofessional gardeners. Since 2010, the French National Horticultural Society (SNHF) has been part of this plan, working by delegation of the National Office for Water and Aquatic Environments. The SNHF has been managing two distinct projects: "Jardiner Autrement", official website in charge of informing and sharing best practices for nonprofessional gardeners and "Epidemiological surveillance" to create tools and to encourage gardeners to take part in epidemiological surveillance networks dedicated to private gardens. These projects aim at circulating all technical and methodological knowledge required to garden using the least amount of pesticide and emphasizes on observation and respect of biodiversity.

Keywords: nonagricultural areas – nonprofessional gardeners – ecophyto – pesticides – awareness.

INTRODUCTION

L'utilisation de pesticides¹ en jardins, espaces végétalisés et infrastructures (JEVI) représente environ 9,3% des tonnages de substances actives commercialisées en 2014 en France soit environ 6 057 tonnes dont environ 80% sont utilisées par les jardiniers amateurs².

Or les jardiniers amateurs semblent peu conscients des risques que ceux-ci présentent pour l'environnement ou pour leur santé, comme le montre l'étude Jardivert³ réalisée en 2010. D'après cette étude, pratiquement tous les jardiniers amateurs ont utilisé ou utilisent des pesticides sans avoir conscience de leur dangerosité, pour eux ou la nature. Seulement 32% estiment que ces produits sont dangereux ; 20 % considèrent même que ces produits ne présentent aucun danger.

L'usage des pesticides est pourtant loin d'être anodin. Des bilans annuels réalisés par le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM) montrent une présence de résidus de pesticides dans la quasi-totalité des eaux souterraines et superficielles⁴. Le non-respect des dosages, les usages inadaptés ou encore l'absence de précautions lors de l'application en font des produits potentiellement dangereux pour l'homme et son environnement. Même si au regard de la consommation globale des pesticides en France la part provenant des amateurs demeure somme toute assez faible, il est indispensable que les jardiniers amateurs contribuent à l'effort général, ne serait-ce que dans leur propre intérêt. Informer, sensibiliser et aider les 17 millions de jardiniers amateurs français à modifier leurs pratiques est donc un enjeu de santé publique, environnemental et de société.

Lancé en 2008 suite au Grenelle de l'environnement, le plan Ecophyto a pour objectif de réduire progressivement l'usage des pesticides en France. Un des axes de ce plan est spécifiquement dédié aux enjeux de réduction et de sécurisation de l'usage des pesticides en zone non agricole.

En 2010, le MEDDE, le Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (MAAF) et 11 acteurs principaux du monde du jardinage amateur⁵ ont signé un accord-cadre relatif à l'usage des pesticides par les jardiniers amateurs. Celui-ci présente plusieurs objectifs, parmi lesquels :

- améliorer la connaissance et la mise en pratique des méthodes alternatives à l'utilisation des pesticides, favoriser la biodiversité au jardin, participer au réseau de surveillance biologique du territoire ;
- recueillir et diffuser les expériences positives, favoriser les échanges et les rencontres entre jardiniers.

Dans le cadre de conventions avec l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA), la Société Nationale d'Horticulture de France (SNHF) participe à l'axe 4 du plan Ecophyto II et plus particulièrement :

- depuis 2010 à la création et l'animation d'une plateforme d'information et d'échanges de bonnes pratiques entre jardiniers ;
- depuis 2011 au déploiement de la surveillance biologique du territoire dans les jardins d'amateurs.

¹ On entend ici par pesticides les produits phytopharmaceutiques relevant de l'article L253-1 du code rural.

² Source : « Note de suivi 2015, tendances du recours aux produits phytopharmaceutiques de 2009 à 2014 », éditée par le MAAF sur le plan Ecophyto.

³ Source : SYNAPSE, 2010. Etude Jardivert - Etude comportementale sur les jardiniers amateurs face à l'usage des produits phytosanitaires.

⁴ Source : MEDDE, 2013. Les pesticides dans les eaux douces par secteur hydrographique et par nappe.

⁵ Association des Journalistes du Jardin et de l'Horticulture (AJJH), Conseil National des Jardins Collectifs et Familiaux (CNJCF), Fédération des magasins de bricolage et de l'aménagement de la maison (FMB), Fédération Nationale des Jardins Familiaux et Collectifs (FNJFC), Fédération Nationale des Métiers de la Jardinerie (FNMJ), Horticulteurs et Pépiniéristes de France (HPF), Jardiniers de France, Jardinot - le jardin du cheminot, Noé Conservation, Société Nationale d'Horticulture de France (SNHF), Union des entreprises pour la Protection des Jardins et des espaces verts (UPJ). Cette dernière s'est retirée de l'accord-cadre en 2014.

Début 2014, la réglementation a évolué avec l'adoption de la loi n°2014-110 (dite loi Labbé) visant à mieux encadrer l'utilisation des produits phytosanitaires sur le territoire national. Ce texte prévoit notamment l'interdiction de la commercialisation et la détention de produits phytosanitaires à usage non professionnel à partir du 1^{er} janvier 2019, mesure qui concerne particulièrement les jardiniers amateurs. Cette interdiction ne concerne pas les produits à faible risque, ni ceux autorisés en agriculture biologique, ni le biocontrôle. En octobre 2015, c'est le plan Ecophyto qui a évolué suite à un audit. Le plan Ecophyto 2 réaffirme les objectifs de réduction des pesticides et conserve un axe dédié aux JEVI visant à accompagner professionnels et amateurs des zones non agricoles vers des pratiques exemptes de pesticides de synthèse. Le développement du projet Jardiner Autrement est donc plus que jamais d'actualité.

La conviction de la SNHF est qu'il est indispensable de renforcer le conseil auprès du plus grand nombre d'amateurs. La poursuite des actions dans cette nouvelle direction permet à un public le plus large possible d'effectuer la transition vers un jardinage sans pesticides dans les meilleures conditions. C'est l'objectif principal poursuivi à travers les projets Jardiner Autrement et Epidémiosurveillance en JEVI amateurs.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

LA PLATE-FORME JARDINER AUTREMENT

La première action initiée par la SNHF dans le cadre du plan Ecophyto a été la création de la plateforme officielle d'information et de sensibilisation www.jardiner-autrement.fr, mise en ligne en janvier 2011. Ce site fournit à tous les internautes les conseils et outils nécessaires à une démarche de jardinage raisonné et économe en pesticides.

Figure 1 : Page d'accueil du site nouveau www.jardiner-autrement.fr.

Figure 1: www.jardiner-autrement.fr new website's homepage.



Inciter à raisonner les pratiques de jardinage et à évoluer vers des méthodes préventives et alternatives

L'objectif du site est d'expliquer aux jardiniers amateurs comment faire face aux problèmes phytosanitaires par l'utilisation de techniques alternatives. Pour cela il est nécessaire de pouvoir élaborer un bon diagnostic. Deux types d'outils répondent à cet objectif : des fiches techniques et des outils méthodologiques permettant de faire ses propres choix, son analyse de la situation, en étudiant toutes les solutions existantes et en choisissant la plus adaptée. Le site propose de plus aux internautes un service de réponses aux questions sur les techniques de jardinage et la santé des plantes. Ce service s'appuie sur un réseau de près de 150 experts bénévoles et les questions-réponses sont capitalisées sur le site pour que chaque visiteur puisse les consulter.

Les sujets abordés portent d'une part sur les bases nécessaires pour prévenir les problèmes phytosanitaires : connaissance du climat et du sol de son jardin, choix des végétaux, rotation des cultures, etc. D'autre part, de nombreux contenus permettent aux jardiniers de faire face aux problèmes éventuels : démarche de diagnostic, fiches techniques sur les ravageurs et maladies mais aussi auxiliaires, utilisation de techniques alternatives adaptées.

Encourager les échanges et le partage d'expériences entre jardiniers

La volonté de la SNHF ainsi que de tous les signataires de l'accord-cadre est non seulement d'apporter connaissances et conseils pratiques, mais aussi d'encourager les échanges entre les jardiniers. Pour cela, le site s'est doté :

- En 2011 d'un concours annuel qui permet de distinguer cinq lauréats pour leur démarche cohérente et originale de jardinage raisonné et le partage de leurs connaissances. Les cinq lauréats se retrouvent avec des membres du jury, des partenaires et l'équipe du projet Jardiner Autrement lors d'un week-end de remise de prix autour du végétal.
- En 2012 d'un forum qui compte environ 300 inscrits qui viennent échanger sur leur jardin, leurs pratiques et viennent poser leurs questions sur le jardin et la santé des plantes.
- D'un compte Twitter, qui regroupe aujourd'hui plus de 2 600 abonnés (principalement des associations, jardiniers amateurs ou professionnels, blogueurs, journalistes, etc.).
- En 2013 d'un compte Facebook qui a atteint plus de 6 680 mentions « j'aime ».
- En 2015 d'une page Google+, d'un compte Pinterest (partage de photos) et d'une chaîne YouTube (partage de vidéos).

Mise en valeur de l'épidémiosurveillance sur la plateforme Jardiner Autrement

Pour assurer la cohérence entre les différents projets menés envers le grand public, le guide d'observation et de suivi des bioagresseurs au jardin, support de l'épidémiosurveillance dans les jardins d'amateurs, est placé au cœur d'une rubrique dédiée à ce sujet sur le site Jardiner Autrement. Elle explique en quoi consiste la surveillance biologique du territoire, présente le guide d'observation et de suivi et incite les jardiniers amateurs à devenir observateurs dans leur région. Les Bulletins de Santé du Végétal (BSV) JEVI amateurs peuvent être consultés par les internautes grâce à une carte interactive et à un module indiquant les derniers bulletins parus sur l'ensemble du territoire.

Refonte de la plateforme Jardiner Autrement

En 2015, la SNHF a décidé d'initier une refonte du site Jardiner Autrement avec un double objectif esthétique et technique. En effet, après cinq années d'existence le design et la navigation n'étaient plus à la hauteur des contenus et rendre le site plus moderne et intuitif est donc devenu une priorité.

La refonte se concentre sur la mise au point d'un moteur de recherche avancé, la création de bases de données performantes, des optimisations techniques et sémantiques pour améliorer le référencement et le nouveau site sera en responsive design (affichage s'adaptant lors de la navigation sur tablette et mobile).

ACTIONS D'ACCOMPAGNEMENT ET DE PROMOTION DES PROJETS

En parallèle de la gestion et de l'animation de la plateforme nationale, des actions complémentaires ont pour objectif d'amener les jardiniers à découvrir les projets menés dans le cadre du plan Ecophyto JEVI amateurs par la SNHF.

Lettres d'information et communiqués de presse

La SNHF édite mensuellement une lettre d'information « Jardiner Autrement », qui valorise les activités menées dans le cadre du projet. Un programme de communiqués de presse accompagne également les évolutions et temps forts de l'action (concours, nouveaux contenus...), ainsi que les évènements (conférences, rencontres...).

Les réseaux sociaux

Depuis février 2012, la SNHF anime un compte Twitter @Jardiner_Autrem, visant un public « connecté » d'influenceurs et de blogueurs. Pour atteindre une cible plus large, une page « Jardiner Autrement » a été ouverte sur Facebook en mai 2013. Enfin, afin de promouvoir le site vers les réseaux sociaux, des « boutons de partage » sont présents sur chaque article, permettant aux internautes de partager facilement les contenus. En 2015, le déploiement sur les réseaux sociaux s'est poursuivi avec le lancement d'une page Google+, d'un compte Pinterest (partage de photos) et d'une chaîne YouTube (partage de vidéos).

Conférences et stands

En 2011, le conseil scientifique de la SNHF a organisé le colloque scientifique « Jardiner Autrement, stratégies environnementales au jardin ». Afin de démultiplier l'action au niveau régional, 10 journées de vulgarisation ont eu lieu depuis, sur les thèmes « Jardiner autrement », « Alliances au pays des racines » et « Les coulisses de la floraison ».

Parallèlement, la SNHF a co-organisé, sur le territoire de la France Métropolitaine, une trentaine de rencontres sur le thème « Jardiner Autrement : changeons nos habitudes au jardin ». Certaines rencontres font intervenir des lauréats du concours Jardiner Autrement et incluent une visite de leur jardin en complément de la demi-journée de conférences et d'échanges.

Enfin, « Jardiner Autrement » était la thématique des stands SNHF pour l'année 2012-2013. Elle a été mise en avant sur 8 salons, à travers une scénographie spécifique (kakémonos, banque d'accueil, végétaux mellifères, bac à compost, bassin, hôtel à insectes...) et des animations (quizz enfants et adultes, reconnaissance d'insectes, analyses de sol...). Les projets Jardiner Autrement et Epidémiosurveillance ont par ailleurs été régulièrement présentées sur les stands tenus par la SNHF en 2015 et 2016 lors de fêtes de plantes (Saint-Jean de Beaugard, Courson à Chantilly, Jardin, Jardins à Paris, etc.).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

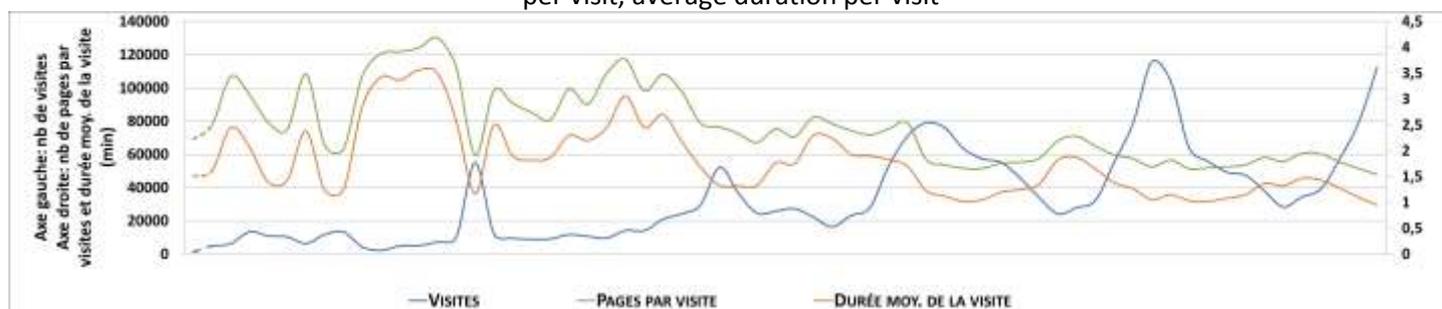
Des indicateurs permettent de mesurer de manière fiable le nombre de personnes touchées par les actions menées sur et autour de la plateforme. D'autres sont plus difficiles à évaluer, tels que la transmission et la reprise de l'information dans l'entourage et surtout, l'impact sur le changement de pratiques au jardin.

FREQUENTATION DU SITE JARDINER AUTREMENT

Depuis son ouverture, en janvier 2011, le site a accueilli plus de 2 230 000 visites, représentant 1 910 000 visiteurs uniques⁶ et 14,4% de visiteurs fidèles consultant le site régulièrement. Cela représente en moyenne 34 350 visites par mois. Ce nombre est croissant chaque année (tab. 1 et fig. 2), atteignant environ 55 000 visites par mois sur les dix premiers mois de 2014. Sur la figure 3 ci-dessous sont représentés les principaux paramètres de visite depuis ouverture. A noter que des périodes de fréquentation inhabituelles d'avril à septembre 2011, en mai 2012 puis en juin et juillet 2013 sont liées aux périodes de campagne de communication par le MEEM. L'accroissement du nombre de visites aux printemps 2014, 2015 et 2016 quant à lui n'est pas attribuable à une campagne du MEDDE mais à l'organisation d'un quiz en ligne sur le site, relayé sur les réseaux sociaux.

Figure 3 : évolution de la fréquentation mensuelle sur le site Jardiner autrement : visites, pages par visite et durée moyenne de la visite

Figure 3 : evolution of the monthly frequentation on the website Jardiner Autrement : visits, pages per visit, average duration per visit



⁶ Visites : nombre de visites enregistrées par le site. Visiteurs uniques : nombre d'internautes ayant effectué une ou plusieurs visites durant une période donnée. Source des données : Google Analytics.

Tableau I : Principales statistiques de fréquentation (15/01/2011-15/06/2016)
 Table I: Main web statistics (01/15/2011-06/15/2016)

Année	2011		2012		2013		2014		2015		2016 (au 15/06)
	/an	/mois	/an	/mois	/an	/mois	/an	/mois	/an	/mois	/mois
Nombre de visites	86 027	7.480	145 912	12 159	309 253	25 771	610 140	50 845	696 826	58 069	68 271
Nb de visiteurs uniques	70 242	6 108	132 547	11 045	262 141	21 845	530 404	44 200	606 800	50 567	60 214
Nb de pages vues	231 543	20 134	430 124	35 844	816 356	68 030	1 199 492	99 958	1 253 751	104 479	116 047
Nb de pages / visite	2,69		2,78		2,64		1,97		1,80		1,70
Durée / visite	00:01:48		00:02:00		00:01:51		00:01:22		00:01:13		00:01:08
Taux de rebond	64,83%		69,21%		70,42%		77,86%		79,58%		80,71%
% nouvelles visites	81,62%		84,94%		83,97		86,04%		85,86%		86,79%

En cinq ans et demi, environ 18% des visiteurs - soit 400 000 environ - ont passé plus d'une minute sur le site et peuvent être considérés comme sensibilisés à la réduction de l'usage des pesticides au jardin. La majorité des visiteurs restent moins d'une minute de visite, mais ont néanmoins pris connaissance de l'existence de la plateforme et sont donc susceptibles d'y retourner pour y chercher des conseils et des informations.

Les sources de trafic

Le trafic issu de recherche sur des moteurs (Google et autres) est la principale source de visites avec près de 75% du trafic généré vers le site. La forte utilisation du terme « Jardiner autrement » dans les moteurs de recherche, ainsi que le nombre d'accès directs au site (URL tapée directement dans la barre d'adresse, signets – 12% du trafic) sont des indicateurs de notoriété du site, tandis que le grand nombre d'autres mots-clés amenant vers la plateforme traduit la qualité du travail de référencement.

Les sites référents génèrent quant à eux moins de 10% du trafic : les internautes arrivent par le biais d'autres sites, essentiellement ciblés par les campagnes du MEEM. Les sites des signataires de l'accord-cadre ne contribuent qu'à une très faible part du trafic. Ils restent difficiles à mobiliser, tant pour relayer la plateforme que pour y participer. Des outils tels que la rubrique « Initiatives et retours d'expérience » présentant des témoignages d'associations, de collectivités, de chercheurs, etc. constituent un moyen de les impliquer davantage en leur permettant de présenter dans un article sur le site leurs actions et leur implication dans le plan EcoPhyto.

Enfin, les campagnes sponsorisées du MEEM (type Adwords) apportent environ 2% du trafic. Les campagnes balisées issues des communiqués de presse et lettres d'information du projet contribuent quant à elles à 1% des visites.

Les principaux centres d'intérêts des visiteurs

L'analyse du nombre de pages vues permet d'identifier les contenus les plus populaires parmi les visiteurs de la plateforme.

Les jardiniers recherchent en premier lieu des informations et des solutions concernant la santé du jardin, en utilisant les fiches techniques et le service HortiQuid (ces deux rubriques totalisant plus d'un tiers des pages vues sur le site). Avec 134 fiches techniques (2 sur les plantes invasives, 2 sur le biocontrôle, 11 sur les auxiliaires naturels et 119 sur les ravageurs et maladies) et 550 questions-réponses capitalisées, le site Jardiner Autrement constitue aujourd'hui une plateforme de référence sur la santé des plantes et les bioagresseurs du jardin.

Les mesures préventives favorisant la bonne santé des végétaux constituent également un thème populaire parmi les internautes à travers les rubriques « Prévenir » et « Les petits dossiers » (totalisant environ 20% des pages vues sur le site). Enfin, les pages relatives au partage d'expérience entre jardiniers, notamment celles concernant le concours, les reportages dans les jardins lauréats, les vidéos et le forum sont également très visitées (6% des pages vues).

La popularité de ces thèmes laisse à penser que le site répond aux objectifs qu'il s'est fixé, du moins du point de vue qualitatif. Du point de vue quantitatif, la notoriété du site est encore à développer pour toucher une plus grande part des 17 millions de jardiniers amateurs en France.

IMPACT DES ACTIONS D'ACCOMPAGNEMENT ET DE PROMOTION

Lettres et retombées presse

Chaque mois, la lettre d'information Jardiner Autrement est envoyée à plus de 6 600 inscrits directs via la plateforme. Chaque envoi de cette lettre d'information génère autour de 1 000 visites sur le site Jardiner Autrement.

Chaque communiqué de presse génère en moyenne autour de 200 visites. La diffusion des informations par les médias destinataires de ces communiqués permet de relayer l'action au niveau local ou national. Depuis octobre 2011 et jusqu'en juin 2016, près de 800 retombées médias ont été recensées. Celles-ci concernent majoritairement le concours (environ 40%), les conférences et journées à thème (environ 40%) ainsi que les contenus du site (environ 15%).

Réseaux sociaux

Les réseaux sociaux contribuent pour moins de 1% au trafic sur le site (autour de 13 000 visites comptabilisées sur Google Analytics mais chiffres incomplets) mais augmentent la notoriété du projet. Les principaux réseaux sociaux pourvoyeurs de visites sont Facebook (68,5%) et Twitter (11%) totalisant à eux deux près de 11 000 visites. 1 900 tweets ont été envoyés par le compte Twitter qui compte plus de 2 600 abonnés. Ouvert depuis trois ans, le compte Facebook compte déjà plus de 6 800 mentions « J'aime », pour une portée totale par semaine d'environ 25 000 personnes.

Les réseaux sociaux donnent un écho aux actualités de la plateforme (nouveaux contenus, conférences, forum...) et relaient les initiatives d'autres acteurs. Si Facebook et Twitter génèrent moins de 1% du trafic du site, ils sont incontournables dans la diffusion virale de l'information, notamment auprès d'un public non présent spontanément sur le site et qui apprécie la notion d'appartenance à une communauté.

Conférences et rencontres

En 2011, le colloque « Jardiner autrement, stratégies environnementales au jardin » a accueilli 180 personnes à Montpellier. Entre 2012 et 2016, les 15 journées de vulgarisation et les 40 conférences ont réuni plus de 4 000 participants sur toute la France. Ce sont ainsi plus de 4 200 personnes qui ont été sensibilisées à la réduction des pesticides au jardin, à l'existence de la plateforme nationale et au développement d'outils pour l'épidémiologie dans les jardins d'amateurs.

CONCLUSION

Les différents éléments exposés dans cet article montrent que Jardiner Autrement est véritablement un site de référence sur la santé des plantes et la réduction des pesticides au jardin, et un précieux support pour encourager la participation des jardiniers aux réseaux de surveillance biologique du territoire tout en fournissant une base d'informations aux animateurs pour gagner en efficacité dans la rédaction des BSV qui sont ensuite mis à disposition.

A plus long terme, il restera bien entendu nécessaire de délivrer des conseils d'actualité en réponse aux évolutions techniques notamment dans le domaine du biocontrôle, sanitaires et sociétales qui touchent la santé des plantes en jardin d'amateur. Un site de référence tel que www.jardiner-autrement.fr, pour continuer à assurer sa mission d'information et de sensibilisation doit en permanence rester attractif, c'est-à-dire innovant et vivant. Toutes les actions complémentaires, visant à développer la communauté de jardiniers "responsables" et la transmission des bonnes pratiques, constituent un moyen plaisant et non moralisateur de toucher les jardiniers réticents au changement de leurs pratiques d'utilisation de pesticides.

Enfin, les démarches des signataires de l'accord-cadre ou d'autres acteurs, citant ou non la plateforme Jardiner Autrement, ainsi que la campagne de communication menée depuis 2010 par le MEDDE sur le thème Jardiner Autrement contribuent également à atteindre l'objectif national de suppression des pesticides de synthèse dans les jardins, plus que jamais d'actualité.

La difficulté réside principalement dans l'établissement d'indicateurs fiables des modifications de pratiques de la part des jardiniers amateurs. Les chiffres seuls d'utilisation de pesticides en JEVI ou le Nombre de Doses Unité (NODU) pour les usages non agricoles ne sont en effet pas suffisants au vu de certains biais (achat de produits portant la mention « Emploi autorisé dans les jardins » par des professionnels ou inversement achat de produits professionnels par des amateurs via des moyens détournés par exemple). De tels indicateurs d'évolution des pratiques sont nécessaires pour justifier l'intérêt des actions entreprises par tous les acteurs impliqués dans le plan Ecophyto JEVI amateurs et une réflexion dans ce sens a été initiée.⁷

REMERCIEMENTS

La SNHF tient à remercier l'ONEMA, le MEEM et le MAAF pour leur confiance renouvelée dans les actions de la SNHF. Merci également aux bénévoles chefs de projets et membres des groupes de travail Jardiner Autrement et Epidémiologie et au conseil scientifique de la SNHF pour leur soutien et leur disponibilité, et à toute l'équipe de permanents pour leur implication. Merci enfin aux signataires et partenaires pour leur participation.

⁷ Source : « Note de suivi 2013, tendances du recours aux produits phytopharmaceutiques de 2008 à 2011 », éditée par le MAAF sur le plan Ecophyto.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**CŒUR DE BŒUF RECHERCHE GUEULE DE LOUP POUR PROJETS DURABLES : LA BIODIVERSITÉ AU
SERVICE DES JARDINS FAMILIAUX¹**

J.-N. CONSALES ⁽¹⁾ et S. JOIMEL ⁽²⁾

⁽¹⁾ L'INSTITUT D'URBANISME ET D'AMÉNAGEMENT RÉGIONAL, AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ, UMR
7303, TELEMME, CNRS, FRANCE, jean-noel.consales@univ-amu.fr

⁽²⁾ AGROPARISTECH, UMR INRA ECOSYS, FRANCE, soboulanger@grignon.inra.fr

RÉSUMÉ

Le présent article étudie les relations qui se tissent entre les jardins familiaux et la notion de biodiversité. Pour ce faire, il confronte deux échelles d'analyse. À l'échelle nationale, il montre que la biodiversité procède pleinement de la stratégie de la Fédération Nationale des Jardins Familiaux et Collectifs en faveur de la (ré)affirmation de ces potagers urbains. Cette structure déploie un panel d'actions allant de la sensibilisation des jardiniers, notamment à travers son magazine de liaison, à l'accompagnement de projets pensés comme durables et conçus pour être favorables à la faune et à la flore. À l'échelle locale, les mesures écologiques réalisées dans des sites marseillais présentent les jardins familiaux comme des réservoirs d'une biodiversité abondante mais ordinaire. Face à l'urbanisation, celle-ci sert souvent d'argument de défense pour les associations de gestion. Les jardins familiaux génèrent, par ailleurs, des considérations et des pratiques renouvelées, mais encore fortement empreintes de représentations et d'ambiguïtés à l'égard de la biodiversité.

Mots-clés : jardins collectifs, jardins familiaux, biodiversité, approche projectuelle, approche écologique.

ABSTRACT

BIODIVERSITY AT THE SERVICE OF ALLOTMENT GARDENS

This article studies the relationships between allotment gardens and the notion of biodiversity. To do so, it compares two levels of analysis. On the national level, it shows that biodiversity is an integral part of the strategy developed by the National Federation of Allotment and Community Gardens (in French Fédération nationale des jardins familiaux et collectifs) in support of these urban vegetable gardens. This association facilitates projects designed to be sustainable and to provide a favourable environment for plant and animal life. At the local level, ecological surveys conducted in certain locations in Marseille have designated allotment gardens as the reservoirs of an abundant although ordinary biodiversity. In a context of urbanisation, this often serves as an argument in favour of community garden management associations. Allotment gardens also give rise to renewed considerations and practises, but ones which are greatly marked by representations and ambiguities regarding the notion of biodiversity. As a result, the spontaneous growth of plants and animal life in the soil are the unplanned results of the vegetable garden.

Keywords: Community gardens, allotment gardens, biodiversity, project approach, ecological approach.

¹ Ce texte est tiré de la publication suivante : Jean Noël Consalès, Sophie Joimel, France Cordier, Cloé Jareno, Elodie-Denise Chenot et Christophe Schwartz, De l'argument à l'action : la biodiversité au service des jardins familiaux, publié dans Projets de paysage le 20/01/2016.

INTRODUCTION

Au cours de leur longue histoire, les jardins familiaux ont connu des phases d'évolution très marquées. En plein essor durant les périodes de crise du XXe siècle, notamment pendant les deux guerres mondiales, ils ont enregistré un fort déclin durant les Trente Glorieuses (Cabedoce et Pierson, 1996). Depuis peu, ils jouissent d'un vif regain d'intérêt et participent pleinement des réflexions plus générales sur l'agriculture urbaine (Aubry, 2014). À cet égard, la recherche française les analyse le plus souvent à travers le prisme de la multifonctionnalité (Fleury et Donadiou, 1997 ; Consalès, 2000 ; Scheromm, 2013), faisant ainsi écho à l'abondante littérature scientifique anglo-saxonne et notamment nord-américaine qui leur est consacrée (Duchemin *et al.*, 2010 ; Wegmuller et Duchemin, 2010 ; Lovell, 2010). Leurs fonctions sociales restent néanmoins les mieux renseignées (Guyon, 2008). À la suite de travaux précurseurs (Dubost, 2000 ; Weber, 2000), de nombreuses analyses démontrent la large gamme de représentations, d'attributions, de pratiques et d'usages qu'ils suscitent, et ce, dans des contextes urbains très différents. Jusqu'alors plus estimées que quantifiées, leurs fonctions économiques, productives et alimentaires donnent lieu à de récentes investigations tentant de mesurer précisément leur potentiel nourricier (Pourias *et al.*, 2014). Il en va de même pour leurs fonctions environnementales qui, en dehors de quelques travaux précoces (Schwartz, 1993), n'avaient, jusqu'à peu (projet ADEME-SOJA), jamais suscité d'études réellement fouillées. Par conséquent, si les jardins familiaux restent encore des « terres inconnues » (Chenot *et al.*, 2012) aux portées environnementales incertaines, ils suscitent de plus en plus de recherches émanant des sciences du vivant qui poussent à dépasser le cadre théorique de la multifonctionnalité pour tendre vers le concept, mieux adapté (Bonnal *et al.*, 2012), de « services écosystémiques » (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). En tant qu'espaces urbains structurés par la végétation, ils interrogent, notamment, quant à leur capacité à maintenir ou à générer de la biodiversité. Mais, force est de constater que la tendance nationale en faveur des jardins familiaux que traduit cet intérêt scientifique grandissant ne masque pas, à l'échelle locale, d'énormes disparités de situations révélant une certaine ambiguïté territoriale à l'égard de ce type de potagers. Bien souvent, les maîtrises d'ouvrage leur préfèrent, en effet, des formes beaucoup moins contraignantes, au premier rang desquelles figurent les très appréciés jardins partagés (Frauenfelder, 2014). Dans des cas extrêmes, les jardins familiaux sont perçus comme de véritables réserves foncières en attente d'urbanisation. Face à cet état de fait, leurs structures gestionnaires associatives sont de plus en plus appelées à déployer des stratégies de promotion, de valorisation, de défense et de projet au sein desquelles la biodiversité est pleinement mobilisée. Quels sont donc les tenants et les aboutissants de cette mobilisation ? Quelles acceptions ces structures gestionnaires donnent-elles à la biodiversité ? Quelle est la portée écologique réelle des jardins familiaux ? La biodiversité convoquée est-elle force de projet au sein de ces groupes de potagers dont les formes et les aménagements n'ont guère changé depuis la fin du XIXe siècle ? Autant de questions auxquelles nous nous proposons de répondre dans le présent article en conjuguant une approche projectuelle, destinée à évaluer la capacité d'entraînement qu'exerce la notion de biodiversité sur les acteurs des jardins familiaux, et une approche environnementale dédiée à la mesure de la biodiversité réelle de ces potagers. Inscrit dans le cadre du programme ANR JASSUR (ANR-12-VBDU-0011, Jardins associatifs urbains), notre propos confronte, pour ce faire, deux échelles d'analyse :

- l'échelle nationale, en considérant la manière dont la Fédération nationale des jardins familiaux et collectifs utilise la biodiversité comme élément fédératif (à partir de l'étude du contenu de sa revue *Jardin familial de France*) et comme argument projectuel (notamment à partir de l'analyse du discours de son bureau d'études) ;
- l'échelle locale, en décrivant la manière dont certaines associations et leurs jardiniers mettent la biodiversité (démontrée grâce à des analyses écologiques précises) au service de leurs projets de maintien et de développement de sites de jardins familiaux sis dans des contextes fonciers particulièrement tendus (une étude de cas portant sur Marseille sera ici mobilisée).

MATERIEL ET MÉTHODE

A L'ECHELLE NATIONALE : ANALYSER LE DISCOURS DE LA FNIJC

Nous avons cherché à comprendre à partir de quel moment et de quelle manière les concepts et les notions en lien avec la biodiversité ont été mobilisés et intégrés par la FNIJC. Il nous a semblé extrêmement difficile d'instruire ces questions par des méthodes traditionnelles d'investigation (entretiens). Nos enquêtes, réalisées sous forme d'entretiens auprès de 5 personnes ressources, nous ont en effet démontré que l'écologisation des considérations et des pratiques est difficilement conscientisée par les acteurs fédératifs, notamment dans sa dimension temporelle. Afin de pallier le manque d'informations précises, nous nous sommes tournés vers les discours textuels formulés, par la FNIJC, dans son magazine « Jardin Familial de France ». Nous avons constitué un corpus de 56 numéros disponibles sous format numérique soit 10 années de publication d'un magazine bimestriel². La numérisation du corpus et l'organisation chronologique des données, nous a permis, dans un premier temps, d'appliquer à la série un traitement quantitatif simple de lexicométrie réalisé via le logiciel TROPES³. Nous avons alors interrogé une liste de mots indicateurs⁴ et étudié leur répartition chronologique dans l'ensemble du corpus. En fonction de cette répartition, nous sommes revenus plus finement au sein du corpus pour, dans un second temps, analyser de manière qualitative l'évolution du sens donné à chacun des mots indicateurs durant les grandes périodes et les grands moments identifiés par le logiciel. Pour préciser notre propos, nous avons utilisé les informations, acquises lors des entretiens réalisés auprès des 5 personnes ressources de la FNIJC.

A L'ECHELLE LOCALE : MESURER LA BIODIVERSITE

L'échelle locale semble pertinente pour analyser de manière fine l'émergence de la biodiversité au sein des jardins familiaux. Nous avons souhaité mettre à l'épreuve de terrains marseillais cette assertion. Sur la seule commune de Marseille toutes les formes de jardins collectifs sont, en effet, présentes et les quelques 1000 parcelles de jardins familiaux dépendent d'associations soit non-affiliées, soit affiliées, soit directement intégrées (Comité local) à la FNIJC. Cette diversité de situations et de statuts, quasi-unique en France, justifie l'étude de cas. Afin d'évaluer les considérations et les pratiques des jardiniers marseillais en matière de biodiversité, nous avons effectué une enquête auprès de 36 individus, dans dix sites de jardins familiaux différents⁵. Celle-ci a été réalisée, in situ, sous la forme d'un questionnaire à passation directe dans lequel certaines questions d'opinion sont restées ouvertes. Lors de la pré-enquête, le terme de biodiversité est apparu comme trop peu maîtrisé par la population sondée pour être instruit directement. Il a donc été remplacé par le terme plus générique d'environnement. En nous fondant sur les pratiques des 36 jardiniers marseillais interrogés et sur les caractéristiques physico-chimiques des terres de surface de leur parcelle, nous avons distingué 5 jardins statistiquement représentatifs pour effectuer des relevés floristiques et faunistiques, au printemps et à l'automne 2013. Afin d'étudier la biodiversité taxonomique de ces jardins familiaux, nous avons choisi de centrer nos recherches sur trois groupes distincts sélectionnés :

² 10 années valent, en fait, 60 volumes. Mais il faut soustraire, à notre corpus, un volume non encore publié durant l'année en cours et 3 volumes non disponibles sous format numérique (n° 469, n°470, n°472 de l'année 2102).

³ Tropes est un logiciel développé par Pierre Molette et Agnès Landré sur la base des travaux de Rodolphe Ghiglione (<http://www.tropes.fr>).

⁴ Mots indicateurs interrogés : adventices, bio, biodiversité, développement durable, écologie, écosystème, environnement, faune, flore, Grenelle de l'environnement, mauvaises herbes, nature, nuisible, pesticide, pollution, Trame verte et bleue, urbanisation, végétation.

⁵ Ce travail de sélection s'est fait dans le cadre de la thèse de doctorat de Sophie Joimel (2015). Il s'est fondé sur une classification de jardins familiaux situés dans trois agglomérations (Marseille, Grand Nancy et Nantes) aux climats différents (méditerranéen, semi-continentale, océanique) et placés dans des contextes urbains variés (habitation, industriel, mixte). Au total, 104 parcelles situées sur 26 sites ont été investiguées, dont 36 à Marseille (sur 10 sites différents).

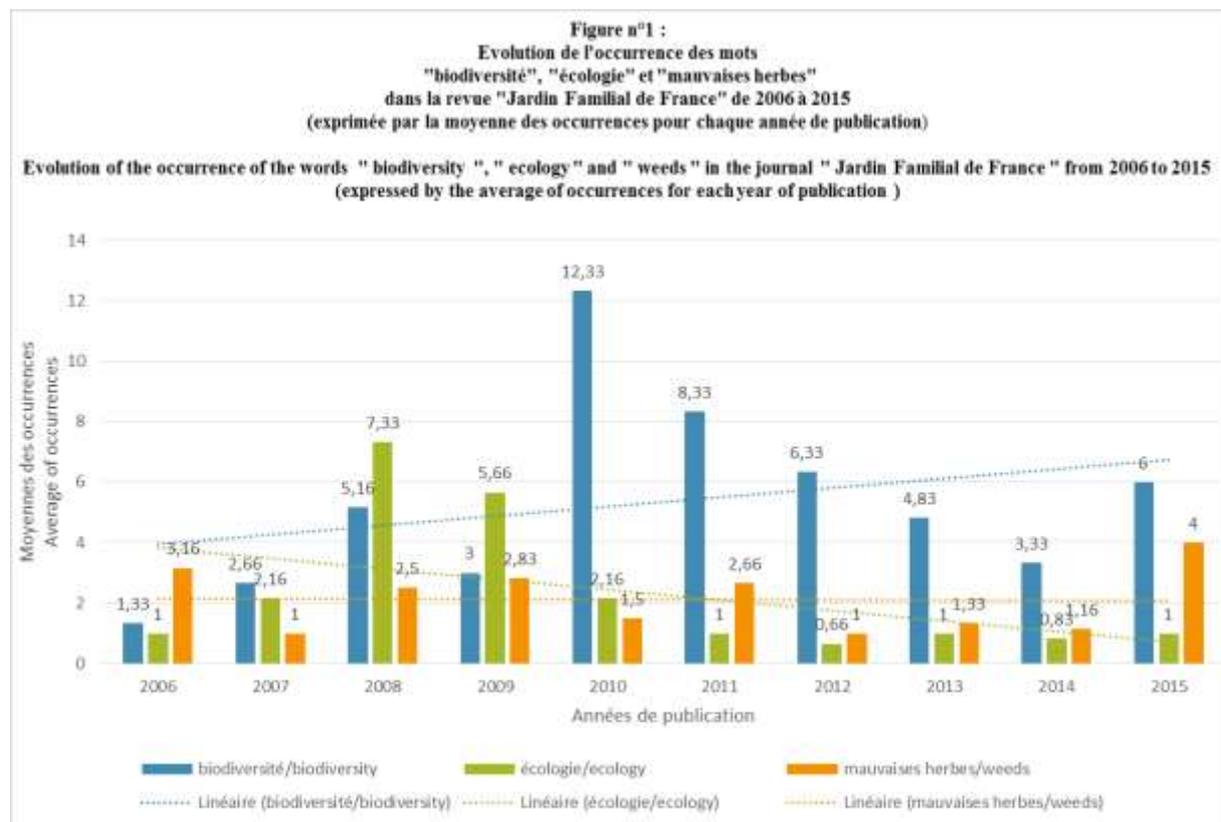
- la flore cultivée, pour mesurer l'incidence des jardiniers et de leur potager sur la biodiversité agronomique,
- la flore spontanée, car elle influence directement ou indirectement les processus écosystémiques en modifiant la quantité et la qualité des habitats et des substrats utilisés par d'autres organismes (Berendse 1998 ; Díaz et Cabido 2001 ; Hooper et al. 2005),
- la mésofaune des sols (investiguée grâce à la méthode des quadrats⁶), pour son rôle de bio-indicateur de la qualité des sols et de leurs pollutions (Cortet et al., 1999 ; Santorufo et al., 2012), composée majoritairement des microarthropodes (collemboles et acariens).

RESULTATS

A L'ECHELLE NATIONALE : LA BIODIVERSITE COMME STRATEGIE

La biodiversité en question

Face à leur perte d'influence, les instances fédératives qui se succèdent à la tête de la FNJFC depuis les années 2000 génèrent un puissant processus de modernisation fondé sur les principes du développement durable (Consalès 2008). La logique est simple : la promotion de la fédération passe par la réaffirmation de l'utilité des jardins familiaux. A cet égard, il s'agit notamment de démontrer, qu'en tant que lieux de nature urbaine, ces derniers sont support d'une biodiversité qui fournit des services écosystémiques variés aux territoires. Ce faisant, la biodiversité revêt une valeur programmatique importante rendant, en retour, service aux jardins familiaux. Cette logique induit un positionnement renouvelé de l'ensemble des acteurs fédératifs (instances dirigeantes, associations et jardiniers affiliés) sur les questions environnementales et se fait au rythme de l'évolution de considérations plus globales.



⁶ La parcelle de jardin est quadrillée avec des carrés d'un mètre de côté pour la zone cultivée et de trente centimètres de côté pour la zone non cultivée. Les microarthropodes sont prélevés au centre de douze de ces quadrats sélectionnées aléatoirement.

La figure n°1 présente les résultats les plus saillants de notre démarche. Elle montre, en effet, que la croissance continue de l'utilisation du terme « biodiversité » dans la revue « Jardin Familial de France » est liée à deux événements d'envergure : l'un de portée nationale avec l'adoption par l'assemblée nationale du premier Grenelle de l'environnement en 2008 et l'autre de portée internationale avec l'année internationale de la biodiversité en 2010. Depuis, la biodiversité fait partie intégrante du vocabulaire usuel de la FNJFC. Le terme participe alors de l'effacement du mot « écologie » dont la dimension politique apparaît comme trop clivante pour une institution qui entend rassembler autour du seul jardinage urbain. Par ailleurs, la biodiversité mobilisée dans les propos de la FNJFC est constamment requestionnée au cours du temps. L'évolution des discours sur les « mauvaises herbes », terme récurrent de notre série textuelle, en témoigne. En 2006, le verbe est hostile. En 2011, le propos est déjà plus nuancé. En 2015 enfin, le discours, désormais influencé par le concept de services écosystémiques, appelle les adhérents aux changements de considérations et de pratiques. Loin d'être un simple élément consensuel de langage ou de communication, la biodiversité devient, dans le même temps, une véritable piste d'actions concrètes destinée à assoir la stratégie de la FNJFC en matière de développement durable et d'environnement.

La biodiversité en action

La figure n°2 identifie les six axes d'action déterminant la stratégie fédérative en matière d'environnement et de biodiversité.

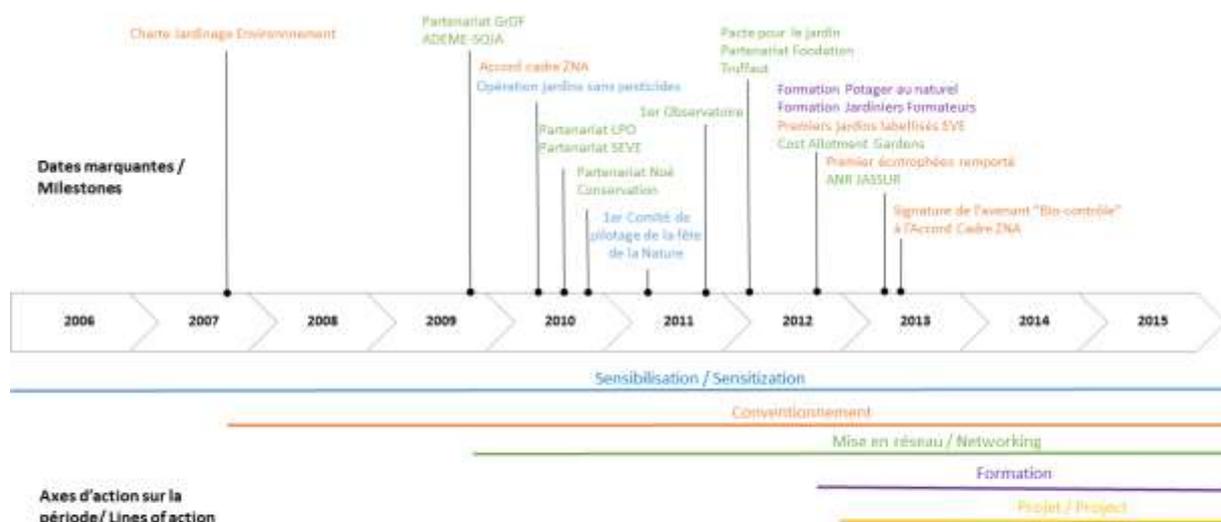


Figure n°2 : La stratégie de la FNJFC en matière d'environnement et de biodiversité de 2006 à 2015/ The strategy of FNJFC on environment and biodiversity (2006-2015)

Le premier axe s'étire sur l'ensemble de la période étudiée. Il procède d'une « sensibilisation » constante des adhérents de la FNJFC à l'égard des grands défis environnementaux (dont la biodiversité) par l'intermédiaire des outils de liaison. Le second axe, que nous qualifions de « conventionnement », consiste en une série d'engagements qui fixe un cadre programmatique concret à l'évolution fédérative. Le troisième axe, que nous qualifions de « mise en réseau », se traduit par le développement de multiples partenariats. Au-delà de la simple sensibilisation, le quatrième axe, que nous qualifions de « formation », induit un changement actif des considérations et des pratiques pour les adhérents de la FNJFC. La stratégie de la FNJFC évolue donc vers des actions de plus en plus concrètes, précises et efficaces en faveur de l'environnement et de la biodiversité. Cette tendance la conduit, à partir de 2013, à enclencher un sixième axe d'action, beaucoup plus opérationnel et projectuel. Celui-ci sous-tend des modifications au sein du bureau d'études qui lui est associé.

La biodiversité en projet

Créé en 1994, le bureau d'études associé à la FNJFC est devenu « Sites et Jardins » en 2013. Jusqu'à récemment, ses missions de diagnostic, de programmation ou de maîtrise d'œuvre étaient assurées par une petite équipe essentiellement composée de paysagistes-concepteurs. Cependant, la montée en puissance des considérations et des pratiques fédératives en matière d'environnement, en général, et de biodiversité, en particulier, a conduit à l'affirmation d'autres compétences salariales. De fait, l'équipe est aujourd'hui principalement constituée d'environnementalistes et le bureau d'études semble guidé par des savoirs et savoir-faire bien plus naturalistes qu'urbanistiques et projectuels. Les projets de création de jardins familiaux donnent donc lieu à des aménagements favorables à la biodiversité relevant parfois de la petite ingénierie écologique. Relayées par « Jardin Familial de France », ces initiatives sont souvent réinterprétées et adaptées dans les jardins familiaux existants, à l'initiative d'associations de plus en plus éclairées sur la biodiversité. A l'échelle locale s'inventent ainsi des bonnes pratiques que réceptionne, traduit et retransmet la FNJFC notamment par l'intermédiaire de son magazine. La biodiversité contribue, par conséquent, à établir des rapports ascendants dans l'organisation verticale de la fédération et à susciter une gouvernance renouvelée.

A L'ECHELLE LOCALE : LA BIODIVERSITE COMME ARGUMENT

La biodiversité pratiquée

Plus qu'à l'écologie, l'environnement reste associé, pour les jardiniers enquêtés, au cadre de vie. De fait, cette notion revêt une dimension spatiale forte et une valeur importante (Figure n°3). Les considérations et les pratiques de ces jardiniers semblent, par ailleurs, évoluer vers des modes de penser et de faire identifiés comme favorables à la biodiversité. La biodiversité cultivée suscite, par exemple, un vif intérêt de jardiniers toujours en quête de légumes soit plus savoureux (recherche de variétés anciennes notamment), soit mieux adaptés au climat méditerranéen (incorporation d'espèces associées à d'autres terroirs comme récemment la cristophine). Derrière l'apparente uniformité des cultures se cache, en réalité, une grande diversité d'espèces (figure n°4) et de variétés. L'utilisation des intrants de synthèse, parfois à hautes doses, ainsi que l'intensité du travail du sol restent cependant des enjeux majeurs en la matière. Par ailleurs, la flore spontanée et la faune du sol demeurent des impensés de l'écosystème du potager.

Figure n°3 :
Notes attribuées à la notion d'environnement par les jardiniers marseillais /
Ratings assigned to the concept of environment by the Marseilles gardeners

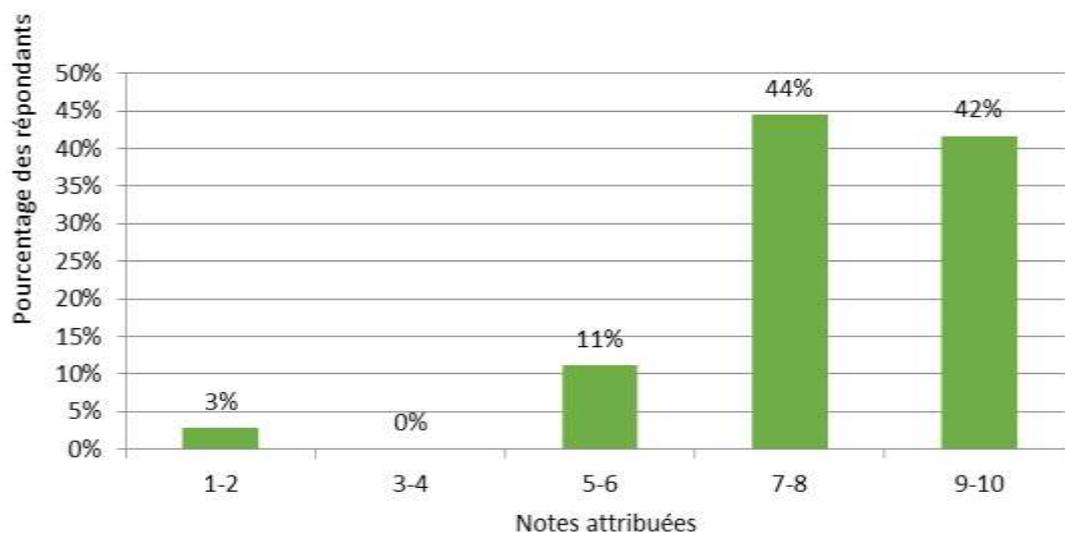
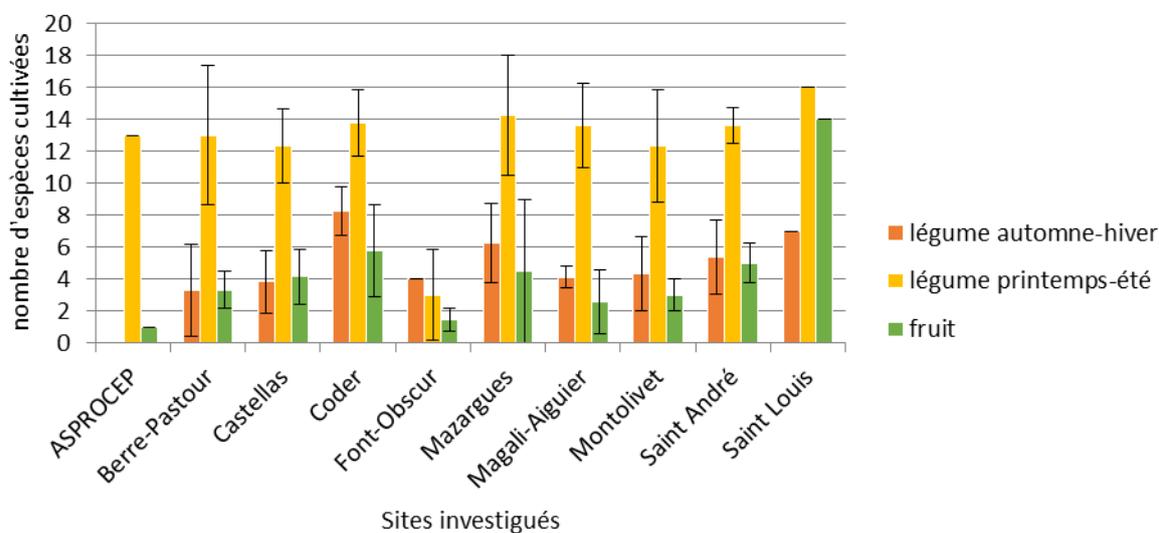


Figure n°4:
Nombre d'espèces cultivées mentionné par les jardiniers marseillais /
Number of crop species mentioned by the Marseilles gardeners

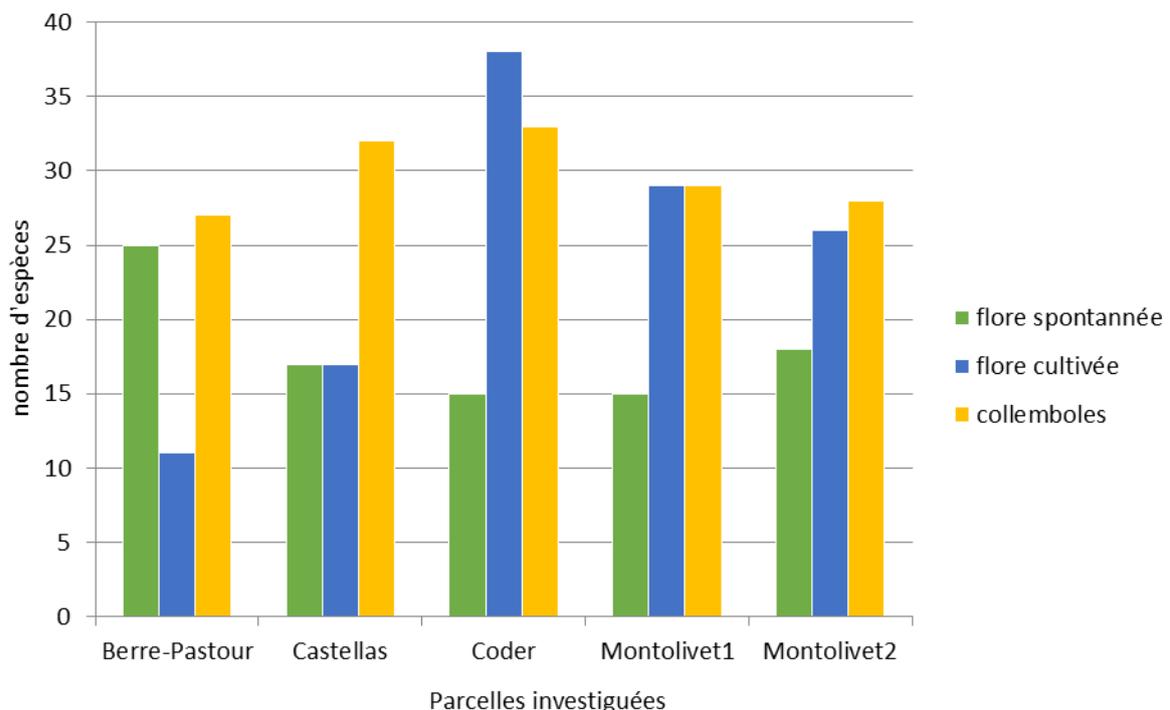


La biodiversité mesurée

Cet état de fait n'empêche pourtant pas la présence d'un total de 41 espèces végétales spontanées appartenant à 20 familles distinctes. Cinq de ces espèces sont présentes dans tous les jardins : *Taraxacum officinale* F.H. Wigg 1780 (Pissenlit commun), *Poa annua* L. 1753 (Pâturin annuel), *Stellaria media* (L.) Vill 1789 (Stellaire), *Veronica persica* Poir. 1808 (Véronique) et *Trifolium repens* L. 1753 (Trèfle blanc). Leur présence est aussi commune que dans d'autres habitats urbains tels que les jardins privés (Smith et al., 2006), les pelouses ou les pieds d'arbres. Elle s'explique par la propension élevée de ces plantes à la dispersion et à leur grande capacité d'installation en milieu urbain (Aronson et al., 2007). Les jardins familiaux semblent donc peu propices à l'établissement d'espèces

soit pérennes (les plantes annuelles dominent) soit plus exigeantes en quantité de substrat disponible. Le profil de leurs communautés végétales correspond à celui fréquemment retrouvé dans la flore herbacée du milieu urbain (Kleyer, 1999 ; Knapp et al., 2012). Par ailleurs, dans les cinq jardins familiaux investigués, 55 espèces de collemboles ont été identifiées, avec une moyenne de 30 espèces par jardin (figure n°5). La diversité taxonomique et l'abondance ici observées sont supérieures à celles mesurées en milieu agricole, notamment pour les grandes cultures (Joimel et al., 2014, communication). Les collemboles présents dans ces potagers sont des taxons à large répartition (*Mesaphorura* sp., *Proisotoma minuta* Tullberg 1871, *Protaphorura armata* Tullberg 1869), repérés dans de nombreuses études, y compris en milieux urbains (Kuznetsova, 2003 ; Santorufo et al., 2014). En revanche, le fait que *P. minuta* et *P. armata* soient parmi les espèces les plus recensées est peu courant dans la littérature. En milieu tempéré, l'espèce *Paristoma notabilis* Schäffer 1896 domine généralement (Potapow, 2001). L'abondance de *Folsomia similis* Bagnall 1939 est, elle aussi, peu commune dans les études sur les microarthropodes. Il convient enfin de souligner la présence d'espèces associées au milieu méditerranéen tel que *Proctostephanus stukeni* Börner, C, 1902. Au final, les jardins familiaux marseillais investigués apparaissent comme des réservoirs d'une biodiversité certes ordinaire (Mougenot, 2003) mais abondante, au sein desquels la faune du sol semble particulièrement remarquable. Peu visible et encore méconnue, ce n'est pourtant pas cette biodiversité qui est mobilisée par les associations pour défendre les sites de potagers menacés par l'urbanisation.

Figure n°5 :
Diversité taxonomique (richesse spécifique) détectée par l'inventaire complet
de la flore spontanée et cultivée et par la méthode des quadrats pour les collemboles
des jardins au sein de cinq parcelles de jardins familiaux marseillais /
Taxon



La biodiversité mobilisée

A Marseille, le statut foncier des jardins familiaux est ambigu (Consalès, 2000). Si certains sites se créent ou sont en cours de création, d'autres sont directement menacés par l'urbanisation. Dans ce dernier cas, les structures de gestion doivent en permanence trouver des arguments pour légitimer l'existence des potagers, face à des besoins jugés prioritaires : logements, activités, déplacements,

etc. En la matière, de véritables politiques de défense au sein desquelles la biodiversité tient une place centrale commencent à se déployer.

DISCUSSION

Face aux résultats obtenus, deux pistes de discussion s'offrent à nous. D'ordre scientifique, la première appelle à accroître les efforts de recherche sur les sols et leur biodiversité. Malgré l'intérêt grandissant qu'ils suscitent, ces derniers restent une sorte d'angle mort, d'impensé, de l'aménagement urbain, en général, et de l'écosystème des jardins, en particulier. Il appartient, sans doute, aux scientifiques de non seulement étendre les connaissances à leur sujet mais encore de trouver des modes opératoires de transmission et de conscientisation efficaces. D'ordre projectuel, la seconde conduit à considérer les limites de l'entrée sur les jardins familiaux par les seuls services ou fonctions. Bien qu'essentielle pour comprendre la portée sociale, culturelle, économique ou environnementale de ces potagers, elle ne saurait suffire pour penser leur conception. Car, au-delà de leur dimension utilitaire (Maris, 2014), les notions de services et de fonctions réduisent les jardins familiaux au rang de simples supports ou de simples outils. Elles appellent à des aménagements bien moins fondés sur la créativité et la fabrique de lieux uniques que sur des méthodologies et des techniques éprouvées, reproductibles, destinées à faire émerger des effets attendus. Ce faisant, elles placent le contenu au-dessus du contenant et privilégient le potager, cantonné à sa dimension productive, au détriment du jardin dont la portée ontologique (Assunto, 1973) ne peut être appréhendée par la seule notion de service. Ici, c'est la forme qui apparaît comme l'angle mort, l'impensé, du projet. Véritables *leitmotivs* des maîtrises d'ouvrage, les services et les fonctions, posés à la fois comme moyens et finalités de l'action, contraignent bien souvent les maîtres d'œuvre à des réponses d'autant plus convenues qu'elles s'appuient sur des budgets dérisoires. Or, en l'absence de qualité urbaine et paysagère, les services et les fonctions, si importants soient-ils, ne peuvent justifier, à eux seules, l'éclosion du bien commun au cœur des potagers. Dès lors, il appartient aux concepteurs de métier, au premier rang desquels figurent les paysagistes, d'investir plus massivement ce champ et de transformer le renouveau des jardins familiaux en véritable projet de paysage.

CONCLUSION

La confrontation des deux échelles d'analyse mobilisées dans le présent article montre donc que les jardins familiaux sont désormais autant au service de la biodiversité que celle-ci est à leur service. En effet, à l'échelle nationale, la biodiversité participe de la stratégie de réaffirmation de la Fédération nationale des jardins familiaux et collectifs. Dans un climat de plus en plus concurrentiel, il s'agit, pour elle, de démontrer que les potagers urbains sont des lieux de nature à part entière qui permettent le maintien et le développement de la faune et de la flore et qui fournissent, de ce fait, des services écosystémiques variés aux territoires. Ce faisant, elle soutient, depuis le début des années 2000, un processus d'évolution engageant autant les discours qu'elle défend que les pratiques qu'elle promeut à l'égard d'une biodiversité de mieux en mieux comprise et utilisée. Dans ce contexte, la biodiversité fait office de véritable programme d'actions, induisant un positionnement et des modes de faire renouvelés pour l'ensemble des acteurs fédératifs au premier rang desquels figure le bureau d'étude Sites et Jardins. De plus en plus organisée autour de savoirs et savoir-faire environnementalistes, cette structure porte des projets dont la durabilité repose en grande partie sur la prise en compte, dans l'aménagement, de la faune et de la flore. Cependant, malgré ces rapports symbiotiques grandissants, les relations qui se tissent entre la biodiversité et les jardins familiaux restent encore régies, à l'échelle locale, par des logiques ambivalentes. Car, d'un côté, les enquêtes réalisées sur Marseille montrent que la biodiversité est désormais assez maîtrisée par les associations de jardiniers pour être mobilisée comme un argument majeur dans la protection des jardins familiaux face à l'urbanisation. Cette mobilisation les conduit à dépasser des conceptions

uniquement centrées sur des espèces extraordinaires (rares ou protégées) pour intégrer, à leurs stratégies de défense, des réflexions sur des espèces certes plus ordinaires mais très abondantes dans les jardins familiaux. Il s'agit alors pour ces associations de présenter leurs potagers à la fois comme des réserves de biodiversité ordinaire, rendues exceptionnelles par les surfaces qu'elles occupent au sein du tissu urbain, et comme des patrimoines verts vivants, eu égard à l'épaisseur historique des sites cultivés. Dès lors, la biodiversité ordinaire que renferment les jardins familiaux et qu'entretiennent leurs jardiniers est désignée comme un bien commun du territoire urbain dont la préservation engage, au-delà de la petite communauté des cultivateurs, l'ensemble des habitants de la ville. Mais, d'un autre côté, les enquêtes réalisées montrent aussi que les pratiques quotidiennes des jardiniers restent fortement marquées par des considérations différenciées à l'égard de cette biodiversité ordinaire. Si leur intérêt pour la flore cultivée ne cesse de croître et de s'orienter vers des gammes de plus en plus larges de variétés, la flore spontanée demeure inconsiderée. Par ailleurs, si la faune sauvage visible est estimée en tant qu'incarnation de l'idée de nature au jardin (les oiseaux, les insectes et certains animaux sont appréciés comme de véritables auxiliaires), la faune des sols, abondante mais invisible, est largement ignorée.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent ici à remercier de leur précieuse collaboration Gil Melin, Hervé Bonnavaud, Jérôme Clément, Florent Roubinet, Honoré et Nicole Gelli ainsi que l'ensemble de la FNJFC. Ils tiennent également à témoigner de leur gratitude à l'égard de l'ANR Villes et Bâtiments durables pour son aide dans le cadre du programme JASSUR.

BIBLIOGRAPHIE

- Assunto, R., *Il paesaggio e l'estetica*, Naples, Giannini, 1973, 2 vol.
- Aronson, M.F.J., Handel, S.N., Clemants, S.E., « Fruit type, life form and origin determine the success of woody plant invaders in an urban landscape », *Biological Invasions*, n° 9, 2007, p. 465-475.
- Aubry, C., « Les agricultures urbaines et les questionnements de la recherche », *Pour. Agricultures Urbaines*, n° 224, Paris, GREP, 2014, p. 35-49.
- Berendse, F., « Effects of Dominant Plant Species on Soils during Succession in Nutrient-poor Ecosystems », *Biogeochemistry*, n° 42, 1998, p. 73-88.
- Bonnal, P., Bonin, M., Aznar, O., « Les évolutions inversées de la multifonctionnalité de l'agriculture et des services environnementaux », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 12, n° 3, Montréal, 2012, URL : <https://vertigo.revues.org/12882>.
- Cabedoce, C., Pierson, P., *Cent ans d'histoire des jardins ouvriers : 1896-1996. La Ligue française du Coin de Terre et du Foyer*, Grâne, Éditions Creaphis, 1996.
- Chenot, E.-D., Douay, F., Dumat, C., Pernin, C., Pourrut, B., Schwartz, C. (dir.), *Jardins potagers : terres inconnues ?*, Les Ulis, EDP Sciences, 2012, 171 p.
- Consalès, J.-N., « Les jardins familiaux marseillais : laboratoires territoriaux d'une agriculture urbaine en Méditerranée », *Méditerranée*, n° 95 (3-4), 2000, p. 81-88.
- Consales, J.-N., « Jardins familiaux et développement durable : entre discours théoriques et actes concrets », dans Da Lage, A., Amat, J.-P., Frérot, A.-M., Guichard-Anguis, S., Julien-Laferrrière, B., Wicherek, S.-P., (dir.), *L'Après développement durable*, Paris, Ellipses, 2008, p. 203-211.
- Corajoud, M., « Le projet de paysage, lettre aux étudiants », dans *Le Jardinier, l'Artiste, l'Ingénieur*, Besançon/Paris, Les Éditions de l'imprimeur, 2000, p. 37-50.
- Cortet, J., Vauflery, A. G.-D., Poinot-Balaguer, N., Gomot, L., Texier, C., Cluzeau, D., « The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects », *European Journal of Soil Biology*, n° 35, 1999, p. 115-134.
- Díaz, S., Cabido, M., « Vive la différence : plant functional diversity matters to ecosystem processes », *Trends in Ecology & Evolution*, n° 16, 2001, p. 646-655.

- Dubost, F., *Jardins ordinaires*, Paris, L'Harmattan, 2000.
- Duchemin, E., Wegmuller, F., Legault, M., « Agriculture urbaine : un outil multidimensionnel pour le développement des quartiers », *Vertigo, - la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 10, n° 2, Montréal, 2010, <http://vertigo.revues.org/10436>.
- Fleury, A., Donadieu, P., « De l'agriculture périurbaine à l'agriculture urbaine », *Courrier de l'Environnement de l'Inra*, n° 31, Paris, 1997, p. 45-61.
- Frauenfelder, A., Delay, C., Scalabrini, L., « Potagers urbains vs jardins familiaux ? Réforme urbaine et controverses autour du beau jardin et son usage légitime », *Espaces et Sociétés*, n° 158, Paris, Éditions Erès, 2014, p. 67-81.
- Guyon, F., « Les jardins familiaux aujourd'hui : des espaces socialement modulés », *Espaces et Sociétés*, n° 134, Paris, Éditions Erès, 2008, p. 131-147.
- Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J.-J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J., Wardle, D. A., « Effects of biodiversity on ecosystem functioning : a consensus of current knowledge », *Ecological Monographs*, n° 75, 2005, p. 3-35.
- Joimel, S., Schwartz, C., Auclerc, A., Bel, J., Branchu, P., Chenot, E.-D., Consalès, J.N., Hedde, M., Magnus, B., Morel, J.-L., Cortet, J., « Soil invertebrates as bioindicators of soil quality in urban vegetable gardens », The First Global Soil Biodiversity Conference, Centre des congrès, Dijon, France, 2 au 5 décembre 2014.
- Joimel, S., « Biodiversité et caractéristiques physicochimiques des sols de jardins associatifs urbains français », thèse de doctorat en sciences agronomiques, université de Lorraine, Vandœuvre-lès-Nancy, 2015.
- Kuznetsova, N. A., « New Approaches to the Assessment of Structural Organization of Communities in Springtails (Hexapoda : Collembola) », *Russian Journal of Ecology*, n° 34, 2003, p. 248-254.
- Kleyer, M., « Distribution of plant functional types along gradients of disturbance intensity and resource supply in an agricultural landscape », *Journal of Vegetation Science*, n° 10, 1999, p. 697-708.
- Knapp, S., Dinsmore, L., Fissore, C., Hobbie, S. E., Jakobsdottir, I., Kattge, J., King, J.-Y., Klotz, S., McFadden, J.-P., Cavender-Bares, J., « Phylogenetic and functional characteristics of household yard floras and their changes along an urbanization gradient », *Ecology*, n° 93, 2012, p. 83-98.
- Lovell, S. T., « Multifunctional Urban Agriculture for Sustainable Land Use Planning in the United States », *Sustainability*, n° 2, 2010, p. 2 499- 2 522.
- Maris, V., *Nature à vendre. Les limites des services écosystémiques*, Versailles, éditions Quæ, 2014.
- Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and Human Well-being 5*, Washington, DC, Island Press, 2005.
- Mougenot, C., *Prendre soin de la nature ordinaire*, Versailles, éditions Quæ, 2003.
- Pashchenko, O., Consalès, J. N., « Les jardins collectifs : derrière une seule notion, des réalités territoriales contrastées », *Durabilis, magazine expérientiel de l'environnement et du développement durable*, Montpellier, 2010, URL : <http://www.orientation-environnement.fr/les-jardins-collectifs-des-realites-territoriales-contrastees/>.
- Potapow, M., « Synopses on palaeartic collembola Isotomidae », *Staatliches Museum für Naturkunde*, Görlitz, Germany Staatliches Museum für Naturkunde, 2011.
- Pourias, J., Daniel, A.-C., Aubry, C., « La fonction alimentaire des jardins associatifs urbains en question », *Pour*, n° 215-216, Paris, GREP, 2014, p. 333-347
- Santorufu, L., Van Gestel, C. A. M., Rocco, A., Maisto, G., « Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality », *Environmental Pollution*, n° 161, 2012, p. 57-63.
- Santorufu, L., Cortet, J., Arena, C., Goudon, R., Rakoto, A., Morel, J.-L., Maisto, G., « An assessment of the influence of the urban environment on collembolan communities in soils using taxonomy- and trait-based approaches », *Applied Soil Ecology*, n° 78, 2014, p. 48-56.
- Scheromm, P., « Les jardins collectifs, entre nature et agriculture », *Métropolitiques*, 2013, URL : www.metropolitiques.eu/Les-jardins-collectifs-entre.html.
- Schwartz, C., « Facteurs de qualité des sols de jardins de l'est-mosellan », mémoire de DEA sciences

agronomiques, Institut national polytechnique de Lorraine, École nationale supérieure d'agronomie et des industries alimentaires, 1993, 44 p.

-Smith, R. M., Thompson, K., Hodgson, J. G., Warren, P. H., Gaston, K. J., « Urban domestic gardens (IX) : Composition and richness of the vascular plant flora, and implications for native biodiversity », *Biological Conservation*, n° 129, 2006, p. 312-322.

-Weber, F., *L'Honneur des jardiniers. Les potagers dans la France du XXe siècle*, Paris, Belin, 2000.

-Wegmuller, F., Duchemin, E., « Multifonctionnalité de l'agriculture urbaine à Montréal : étude des discours au sein du programme des jardins communautaires », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 10, n° 2, Montréal, 2010, <http://vertigo.revues.org/10445>.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

"VEGETAL LOCAL" ET "VRAIES MESSICOLES" : DEUX SIGNES DE QUALITE DES VEGETAUX SAUVAGES

D. PROVENDIER⁽¹⁻²⁾, S. MALAVAL⁽¹⁻²⁾, J. GARCIA⁽²⁾, J. CAMBECEDES⁽²⁾

⁽¹⁾ Fédération des Conservatoires botaniques nationaux
18 rue Beaumarchais, BP 87, Montreuil cedex.

⁽²⁾ Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, Vallon de Salut - BP 70315 -
65203 Bagnères de Bigorre cedex

flore.locale@fcbn.fr
sandra.malaval@cbnmpm.fr

RÉSUMÉ

Le génie écologique et l'écologie de la restauration sont souvent limités par la faible capacité des espèces à se disperser et par des sources de diaspores limitées, à proximité des sites à restaurer. Planter ou semer sont souvent nécessaires pour garantir la réussite de la restauration des sites. Aujourd'hui les végétaux sauvages commercialisés sont très rarement de provenance locale. Le marché du végétal sauvage n'est pas réglementé et les acheteurs ne s'y retrouvent pas. Face à la demande croissante en graines et en plantes sauvages indigènes, il était nécessaire de pouvoir garantir les origines génétiques des végétaux. Le Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie dans le cadre d'un appel à projets de la Stratégie nationale pour la Biodiversité (2011) a soutenu le développement d'une filière de végétaux indigènes d'origine locale. La Fédération des Conservatoires Botaniques Nationaux associés à Plante& Cité et l'Afac Agroforesteries ont développé deux labels qui garantissent les origines géographiques des semences et des plants : Végétal local et Vraies messicoles. Les régions d'origine ont été définies à partir de critères biogéographiques et écologiques. 28 unités naturelles ont été déterminées et les échanges avec les différents partenaires professionnels ont permis de définir 11 régions d'origine pour la collecte et la production des graines.

Mots-clés : végétaux sauvages, biodiversité, végétaux indigènes, restauration écologique.

ABSTRACT

"VÉGÉTAL LOCAL" AND "VRAIES MESSICOLES" : TWO LABELS FOR NATIVE WILD PLANTS QUALITY

Ecological restoration is often limited by poor target species dispersal and/or a lack of source populations in the surroundings of restoration sites. In such cases, sowing or planting is required to guarantee restoration success. The increasing demand for native plant material to be used in ecological restoration has resulted in a poorly controlled exchange between different regions and or even countries and continents..

In France, the Ministry for Environment opened in 2011 a call for proposals to create a framework for native plant production of local origin. In the framework of this call, a consortium of two NGOs (Plante& Cité, Afac Agroforesteries) and the National Botanical Conservatory Federation (FCBN) was commissioned in 2012 to develop guidelines for a national label of local native plant material. Seed zones limiting the cited risks of non-local introductions were elaborated using bio-geographical and ecological criteria that are known to shape plant species composition. The GIS-based approach resulted in 28 "natural units" recommended as sub-zones. Following discussions with local experts and taking into account the economic feasibility, these natural units were merged to 11 mandatory seed zones.

Keywords: wild plants, biodiversity, native plants, ecological restoration.

INTRODUCTION

Planter des haies, semer des prairies fleuries, restaurer des écosystèmes, créer des bosquets ou aménager des parcs publics... toutes ces actions nécessitent des végétaux choisis en fonction des usages escomptés. Si les critères esthétiques ou fonctionnels prévalent depuis longtemps, la notion d'origine ou de provenance du végétal utilisé entre aujourd'hui de plus en plus en ligne de compte chez les utilisateurs, notamment pour les végétaux sauvages proposés par les pépiniéristes et semenciers.

Et il ne s'agit plus seulement de savoir si l'espèce existe à l'état naturel dans la région. Aujourd'hui l'attente des utilisateurs en écologie de la restauration est bien de savoir si l'arbre acheté provient des forêts de la région. L'origine locale de ces végétaux est en effet une nécessité écologique et économique. Elle permet de reconstituer des communautés végétales cohérentes et favorise la réussite des semis et des plantations grâce à l'utilisation de végétaux adaptés aux conditions du site d'implantation. Les caractéristiques génétiques acquises localement par la flore sauvage au fil des siècles lui confèrent en effet un avantage lorsque celle-ci est utilisée dans son territoire d'origine. L'utilisation de végétaux indigènes d'origine locale limite aussi le risque de propagation de maladies ou de ravageurs, l'exemple récent de la pyrale du buis illustre les conséquences d'un marché international des végétaux non contrôlé.

La réglementation générale en vigueur limite la commercialisation des semences d'espèces inscrites au catalogue officiel des espèces et variétés et exclut du marché les plantes protégées prélevées dans le milieu naturel. Une réglementation spécifique vise les essences forestières utilisées pour le reboisement et le renouvellement des forêts (matériels forestiers de reproduction). Pour les autres végétaux sauvages, aucun contrôle en matière de provenance ou d'origine n'est imposé. Le consommateur, qu'il soit maître d'ouvrage d'aménagement, collectivité ou particulier ne pouvait donc disposer jusqu'alors d'aucune garantie sur la véritable origine du végétal « sauvage » acheté ou utilisé. La traçabilité était bien souvent inexistante sur cette gamme de végétaux.

En 2011, le Ministère en charge de l'écologie a proposé un appel à projets dans le cadre de la Stratégie nationale pour la biodiversité, intitulé « Conservation et utilisation durable d'espèces végétales indigènes pour développer des filières locales » visant à faire émerger des garanties dans ce domaine. Et c'est ainsi que trois associations, la Fédération des Conservatoires botaniques nationaux (FCBN), Plante & Cité et l'Afac-agroforesteries, ont répondu conjointement à cet appel en proposant un cahier des charges national de traçabilité des végétaux sauvages (projet « Flore-locale & Messicoles » de 2012 à 2014).

MATERIEL ET MÉTHODE

LES REGIONS D'ORIGINE

La première étape du projet a été de définir ce qu'était un végétal d'origine locale et ce qui limitait géographiquement la notion de « local ». Un panel de plus de 20 scientifiques et l'ensemble des Conservatoires botaniques nationaux ont été associés à la démarche pendant deux années, pour définir une carte des régions d'origine s'appuyant sur des critères géographiques, hydrographiques, climatiques, géologiques, pédologiques et relatifs aux végétations. 11 grands ensembles géographiques ont ainsi été identifiés sur la base de leur homogénéité écologique. 7 d'entre eux sont subdivisées en unités naturelles reflétant des différences biogéographiques au sein de chaque région d'origine. Ces unités sont au nombre de 28. Elles peuvent permettre d'avoir une approche plus fine de l'origine locale du matériel végétal.

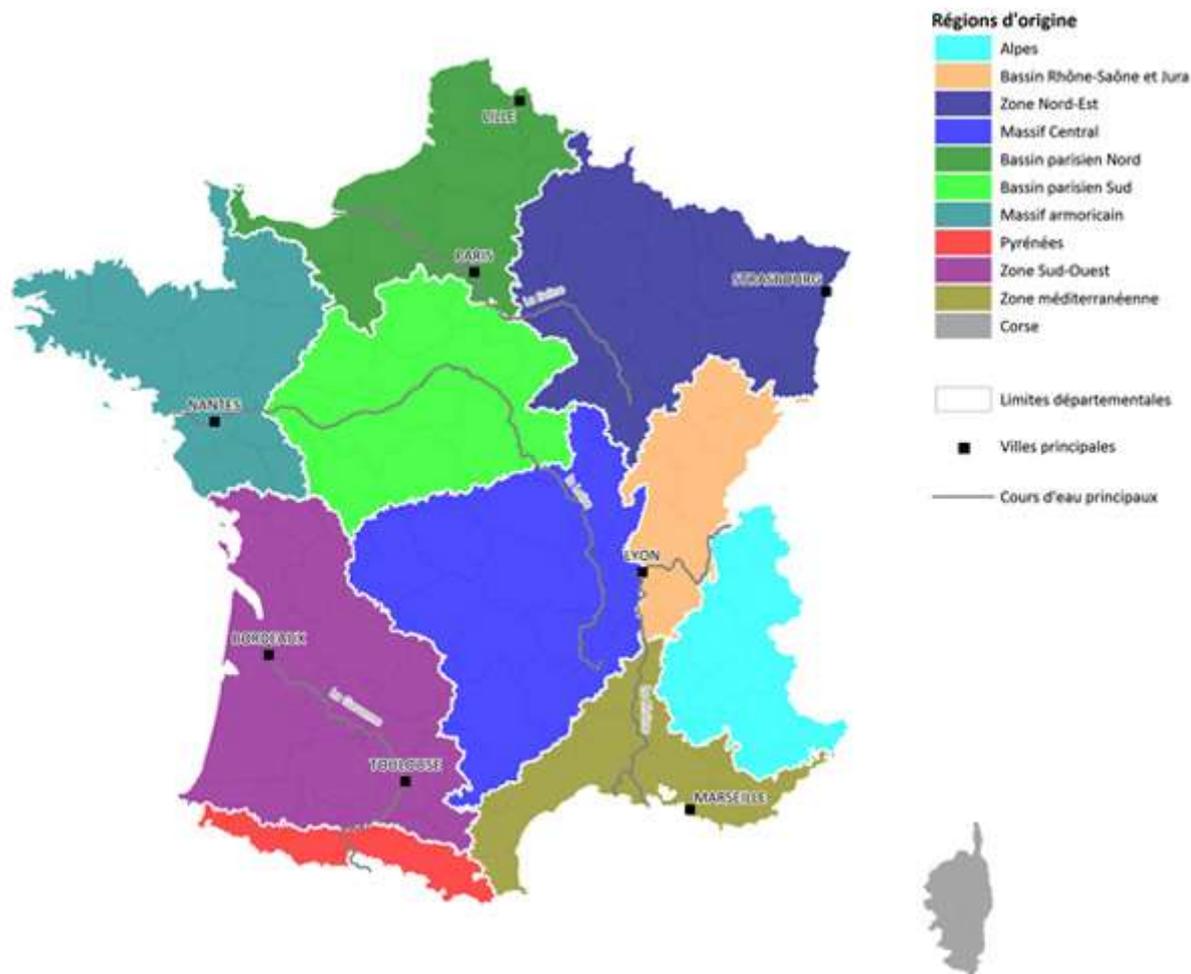


Figure 1 : Carte des régions d'origine Végétal local

LES LABELS VEGETAL LOCAL ET VRAIES MESSICOLES

Dans le même temps, pour qualifier un végétal sauvage de « local », les porteurs du projet ont conçu un cahier des charges précisant les conditions correctes de collecte, de production, de traçabilité et des modalités de contrôle assurant à la fois :

- Une conservation de la ressource *in situ*, pour éviter les destructions de populations de plantes sauvages par des prélèvements excessifs ;
- Une conservation de la diversité génétique des végétaux prélevés, depuis la collecte et au cours du processus de multiplication, jusqu'à la commercialisation ; il est essentiel d'éviter la production de clones de plantes sauvages ou une forte sélection des plantes multipliées ;
- Une traçabilité rigoureuse permettant d'écarter :
 - les risques de mélange de plantes ou graines issues de régions d'origine différentes
 - la vente de mélanges de semences ayant subi de trop nombreux cycles de multiplication, pouvant induire une sélection du matériel végétal ;
- Des audits indépendants et réguliers des producteurs, réalisés par le Service officiel de Contrôle et de Certification du Ministère de l'agriculture (SOC), rattaché au Groupement national interprofessionnel des semences et plants (GNIS) ; ils garantissent le respect des exigences techniques du cahier de charges, en matière de collecte, production, traçabilité, gestion des stocks...

L'ensemble de ces outils et principes ont été regroupés en deux règlements d'usage et référentiels techniques qui ont servi de base à la définition des signes de qualité « Végétal local » et « Vraies messicoles », déposés à l'INPI en Janvier 2015 sous forme de deux marques collectives simples.

Le label « Végétal local » qualifie les végétaux, herbacés et ligneux qui répondent aux exigences du référentiel technique tel qu'élaboré par le projet porté par la FCBN, Plante & Cité et l'Afac-agroforesteries. Il s'adresse aux pépiniéristes, semenciers, collecteurs et autres producteurs de végétaux qui souhaitent valoriser leurs productions issues de récoltes dans le milieu naturel par une garantie sur l'origine locale de leurs végétaux, et sur le respect des ressources naturelles de leur territoire.

Le label « Vraies messicoles » est dédié aux plantes compagnes des cultures. Les plantes messicoles sont les « habitantes des moissons ». Ce sont des plantes annuelles, le plus souvent dépendantes des pratiques liées aux cultures de céréales d'hiver, comme le coquelicot ou le bleuet. Ce label garantit la présence, dans les mélanges de semences bénéficiaires, de 100% d'espèces compagnes des cultures, d'origine locale et non horticoles. L'objectif prioritaire est la conservation des populations de plantes messicoles ayant subi une forte régression depuis l'intensification de l'agriculture, notamment du fait de l'utilisation d'herbicides de manière plus ou moins généralisée. Ce label garanti également des pratiques de collecte permettant la conservation des populations en place et une production maintenant des niveaux élevés de diversité génétique dans les lots de semences.

RESULTATS

Depuis l'annonce de lancement faite au Salon du végétal à Angers en février 2015, les candidatures au label « Végétal local » ont afflué. Déjà 37 pépiniéristes et semenciers ont proposé un dossier de candidature pour valoriser leurs semences et plants locaux via le label. Le label « Vraies messicoles », valorisant une démarche engagée de conservation des plantes messicoles en France, a été sollicité par 5 producteurs de semences. Suite aux audits, seize d'entre eux ont reçu du comité de Marque, l'autorisation d'utiliser le label « Végétal local » pour garantir l'origine locale de leurs productions. D'autres attributions du label auront lieu à l'automne 2016, par le comité. Celui-ci est constitué de différents collèges professionnels et scientifiques et se réunit deux fois par an pour examiner les dossiers de candidature et attribuer les avis d'autorisation à l'utilisation du label :

- un collège de producteurs ;
- un collège d'utilisateurs ;
- un collège de prescripteurs ;
- un collège scientifique ;
- des représentants des Ministères en charge de l'écologie et de l'agriculture ;
- les trois associations à l'origine du projet.

Les productions labellisées



Figure 2 : Les productions labellisées en juin 2016

DISCUSSION

D'autres pays européens ont déjà développé des filières d'approvisionnement en végétaux d'origine locale et des signes de qualité garantissant l'origine géographique (Allemagne, Autriche, Angleterre, Norvège, Suisse...). Certains de ces pays, comme l'Allemagne ou la Norvège, ont également fait évoluer leur réglementation qui oblige ou obligera prochainement les maîtres d'ouvrage des aménagements à utiliser des végétaux d'origine locale garantie.

C'est dans ce contexte de prise de conscience générale de l'importance de l'origine « génétique » des végétaux pour la conservation de la biodiversité que se développent les labels « Végétal local » et « Vraies messicoles ». Ces labels permettent de valoriser le travail de producteurs qui effectuent déjà des récoltes en milieu naturel de graines de base pour leur production. Mais ils encouragent également l'émergence de métiers jusqu'alors confidentiels (récolteurs de graines de ligneux sauvages ou d'herbacées, naisseur...), et de nouvelles filières dans les territoires, avec l'appui d'un réseau de correspondants locaux.

Citons ici l'exemple de la filière en construction dans les Pays de Loire visant à la production d'arbres et d'arbustes d'origine locale, issus de graines prélevées dans le milieu naturel et qui organise l'émergence d'une activité professionnelle pour cette production, grâce à une animation conduite par la Fédération régionale des chasseurs et le Lycée agricole du Fresne, avec le soutien du Conseil régional. Cette dynamique locale seracréatrice d'emplois non délocalisables et participera à la conservation de la biodiversité et des paysages régionaux.

Le label peut intéresser les collectivités engagées dans des démarches d'investissement durable et dans des actions en faveur de la biodiversité. Ainsi la communauté urbaine de Strasbourg a publié récemment le « Guide plantons local » et souhaite intégrer ces critères dans ses marchés d'achat de végétaux pour une conception et une gestion écologique des espaces de nature en ville.

CONCLUSION

Le succès de ces nouveaux signes de qualité dépend de l'appropriation des enjeux par les différents acteurs. Les paysagistes en lien avec les écologues sont souvent les prescripteurs pour les projets d'aménagement d'espaces naturels. Pour permettre aux pépiniéristes d'adapter leur gamme végétale dans le cadre du label Végétal local, les prescripteurs doivent dialoguer avec les fournisseurs en amont des projets à propos des végétaux qui les intéressent sur leurs territoires de projets. L'idéal est de pouvoir anticiper et mettre en place avec les pépiniéristes des contrats de cultures. Les réseaux de planteurs de haies de l'Afac Agroforesteries s'organisent pour structurer ces filières, du récolteur au planteur de jeunes plants ligneux.

BIBLIOGRAPHIE

Pour aller plus loin : <http://www.fcbn.fr/vegetal-local-vraies-messicoles>

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**LE FAUCHAGE EXPORTATION : QUELS INTERETS POUR LA GESTION DES DEPENDANCES VERTES DES
INFRASTRUCTURES LINEAIRES ROUTIÈRES ?**

C. PINEAU ⁽¹⁾ et A. VENDE ⁽²⁾

⁽¹⁾ Cerema Ouest, ANGERS - France – christophe.pineau@cerema.fr

⁽²⁾ Cerema Ouest, ANGERS - France – stagiaire : antoinevende@hotmail.fr

RÉSUMÉ

Depuis plus de 25 ans, les techniques de gestion différenciée se développent sur les dépendances vertes des infrastructures linéaires de transport. Plus récemment, des équipements de fauchage-exportation sont proposés pour récolter l'herbe et produire un substrat de méthanisation. Mais quels sont les intérêts et limites de l'application de ces techniques et matériels à la gestion des dépendances vertes. Comment les végétations gérées depuis plus de 50 ans par broyage évolueront-elles ? Quelles seront les incidences sur la flore patrimoniale ou les espèces indésirables ? Un suivi expérimental mené depuis 2015 par le Cerema Ouest sur les dépendances vertes de la DIR Ouest tentera d'y répondre.

Mots-clés : gestion différenciée, fauchage-exportation, herbe, dépendances vertes routière, plantes patrimoniales et indésirables.

ABSTRACT

MOWING COLLECTION: WHICH INTEREST FOR GREEN DEPENDENCIES MANAGEMENT OF LINEAR ROAD INFRASTRUCTURE ?

Since 25 years, differentiated management are in development on green dependencies around the roads linear infrastructure. In recent years, new equipment of mowing are build to collection biomass. Their aim is notably to generate renewable energy by integration of the residues in biogas plants. It would be relevant to assess the benefits and limitations of these new techniques of management compare to traditional mowing. For this purpose, an experimental monitoring protocol has been established on DIR Ouest dependencies since 2015 by Cerema Ouest, in order to study the impact of each mowing techniques on changes in vegetation in particular on heritage species and weeds.

Keywords: differentiated management, mowing collection, green dependencies, heritage species, weeds.

INTRODUCTION

Le réseau routier français (1 million km) est constitué à 62% de routes communales, 36% de routes départementales ; les routes nationales, ne représentent que 1% du réseau routier, les autoroutes concédées et non concédées moins de 1% chacune, (CGDD, 2015).

Les dépendances routières sont constituées par l'ensemble du domaine public routier à l'exception des chaussées (Setra, 1994). Elles sont qualifiées de vertes lorsqu'elles sont pourvues de végétation et de bleues pour le réseau des équipements d'assainissement (fossés, noues, bassins,...). Leur surface totale est assez difficile à évaluer ; pour le million de km que constitue le réseau routier français, différentes estimations ont été proposées en fonction des types de route. Les dépendances vertes peuvent varier de moins d'un mètre de large de chaque côté pour des routes communales à plus de 10 mètres de chaque côté pour des autoroutes. Ces surfaces étaient estimées par le Séttra à 3200 km² en 1994, soit autant à l'époque que les parcs nationaux. Depuis, le réseau autoroutier s'est accru, et les derniers outils cartographiques et connaissances permettent aujourd'hui de mieux estimer ces surfaces pour arriver entre 4500 et 5000 km² (évaluation interne Cerema Ouest). Les dépendances routières, milieux de transition entre la chaussée de la route et le paysage environnant assurent différentes fonctions (Cf figure 1).

Figure 1 : Les fonctions des dépendances routières (Vendé A.)

Figure 1 : Green dependencies road features (Vendé A.)



Ces dépendances offrent des milieux végétalisés très différents, des pelouses rases sur des substrats peu profonds en bord de route, des végétations prairiales, des formations arbustives jusqu'au stade forestier en passant par les milieux humides du réseau d'assainissement routier (cf figure 2).

Figure 2 : Les différents espaces de dépendances vertes (Vendé A. d'après Setra 1994)

Figure 2 : greens dependencies areas (Vendé A. according to Setra 1994)

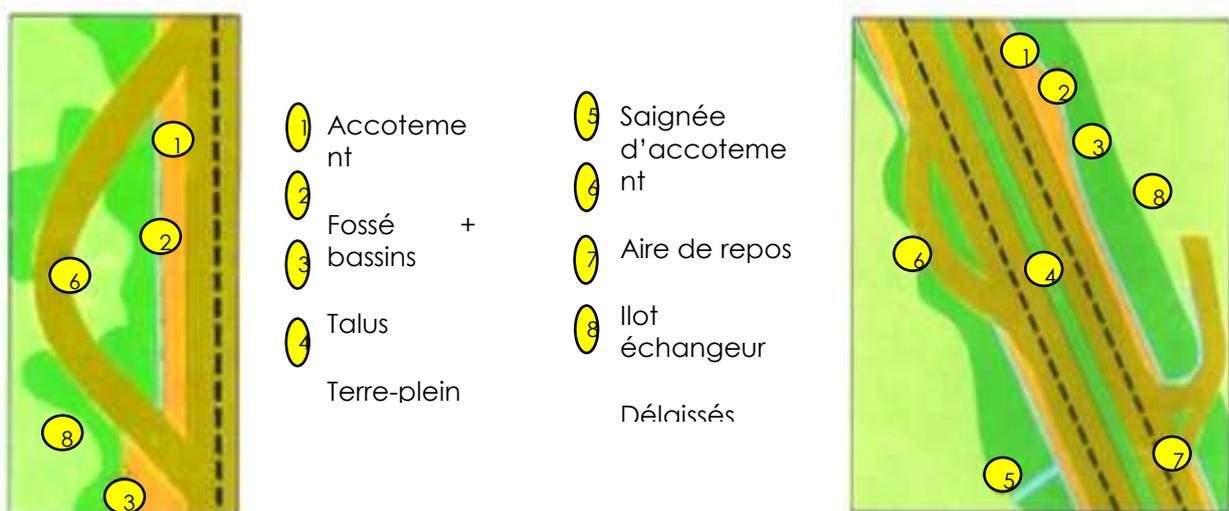
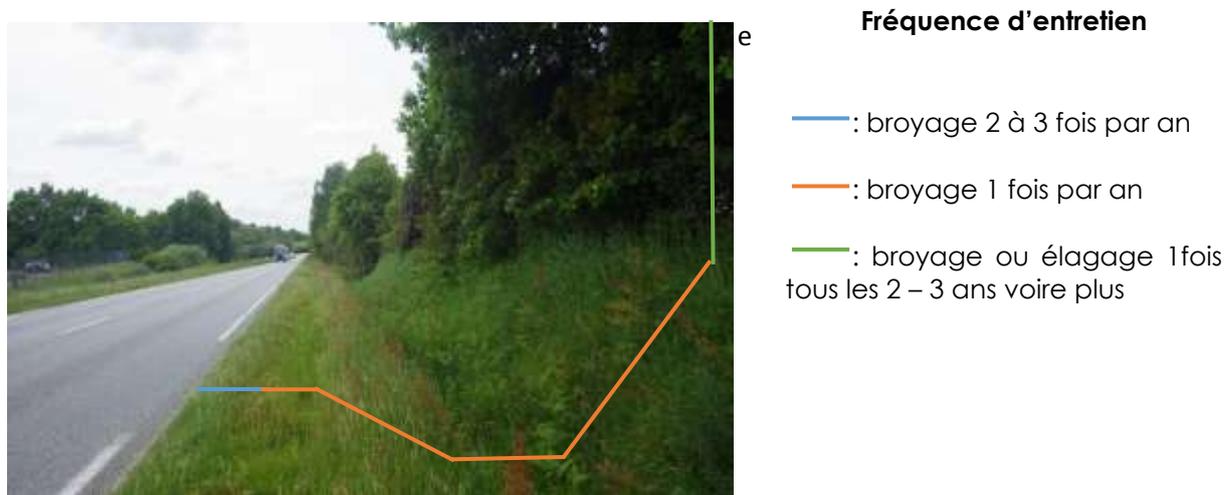


Figure 3 : Entretien des dépendances vertes (CEREMA Ouest)

Figure 3 : Green dependencies management (CEREMA Ouest)



L'entretien des dépendances

On appelle gestion des dépendances vertes les actions de planification des opérations d'entretien dans l'espace et dans le temps en fonction d'objectifs et de contraintes définis (Cf figure 3). L'entretien des dépendances permet de maintenir la végétation (herbacée, arbustive, arborée) à un niveau compatible selon les espaces avec les objectifs de gestion et les éventuelles contraintes spécifiques locales (incendies, avalanches, écharonnage). Les termes de gestion extensive, raisonnée, écologique ou différenciée des dépendances vertes ont été largement utilisés pour décrire la gestion des bords de route mise en place depuis les années 80. Le terme de gestion différenciée est celui qui représente mieux la gestion actuelle des bords de routes basée sur le respect des paysages, de l'environnement tout en maintenant les fonctions et usages de la route. Cette gestion connaît un regain d'intérêt depuis les années 2010 en raison :

- des réflexions issues du Grenelle de l'environnement notamment sur les aspects trame vert et bleu,
- des nouvelles possibilités offertes par le développement de certains outils mécaniques (technique d'élagage, aspiration),
- des nécessités sanitaires, environnementales et réglementaires de limiter les usages des produits phytosanitaires,
- de la volonté des gestionnaires de rationaliser les sommes consacrées à l'entretien des routes et de leurs dépendances.

Les techniques et le matériel d'entretien

Pour les gestionnaires routiers, le terme de fauchage regroupe l'ensemble des opérations consistant à réduire la hauteur de l'herbe des dépendances vertes et à supprimer les espèces ligneuses : coupe, broyage, et évacuation éventuelle des déchets. (Sétra, 2008). Dans la pratique on parle de fauche mais les outils utilisés s'apparentent à des outils de broyage. À l'image des techniques de fauche des prairies agricoles, la fauche-broyage des bords de routes a connu depuis les 50 dernières années de profondes modifications avec la mécanisation des interventions. Autrefois récoltée manuellement à la faux ou pâturée, la gestion de l'herbe des bords de routes doit de nos jours se faire rapidement notamment pour répondre aux contraintes de trafic et de sécurité.

Les principaux outils de fauche-broyage se différencient de part leurs équipements (marteaux, fléaux, couteaux), largeur, sens et vitesse d'avancement. Deux types de matériels de fauchage normalisés sont fréquemment utilisés sur les dépendances (Sétra 2008) : les roto-faucheuses et les faucheuses-débroussailleuses à bras articulé (ou FDBA). Leurs dénominations et leurs caractéristiques sont décrites par la norme NF EN 15436-1. (Sétra, 2010)

Le fauchage-exportation

Depuis peu, de nouveaux matériels permettent le ramassage de l'herbe des bords de route. La recherche de solutions énergétiques alternatives au pétrole devient notamment dans le cadre de la transition énergétique des territoires de plus en plus nécessaire. Dans ce contexte la DIR Ouest a inscrit dans son projet de service, suite à la révision de sa directive « dépendances vertes », une expérimentation à partir de 2015 de valorisation énergétique de la biomasse des bords de route. Cette gestion repose sur l'usage d'un matériel spécifique, avec un système de fauche-broyage classique combiné avec un système d'aspiration et un caisson de ramassage (Cf figure 4).

La DIR Ouest a donc chargé le Cerema Ouest de proposer un protocole expérimental de suivi d'une expérience de valorisation de la biomasse prévue sur 4 ans sur les dépendances vertes de la RN164 de la DIR Ouest à Loudéac. Cette mission complète le travail réalisé depuis 2014 en termes d'assistance à maîtrise d'ouvrage du Cerema Ouest sur la mise en place de la nouvelle directive « Dépendances vertes ».

Le fauchage-exportation est une technique de gestion différenciée récente et son impact sur l'évolution des communautés végétales à long terme n'a été que peu étudié jusqu'à aujourd'hui (Vende, 2016), seuls quelques études notamment dans l'ouest de la France s'y intéressent (Rouault H.P, 2013, Lebot N, ou Vallet J, 2014). L'analyse des quelques études existantes, nous indique toutefois un certain nombre d'hypothèses relatives aux effets des techniques de fauche sur la végétation et de l'intérêt du fauchage exportation par rapport au broyage classique sur la biodiversité qu'il convient de vérifier et de compléter :

- intérêt écologique des dépendances vertes routières avec le rôle de corridors écologiques pour la faune et la flore (De Redon, 2008) ;
- Intérêt écologique de l'exportation des résidus de fauche avec la diminution de l'apport de nutriment azotée dû à la décomposition de l'herbe (Schaffers *et al*, 1998) ;
- ralentissement de la pousse de l'herbe (Cauwer et al, 2005) ;
- augmentation de diversité végétale spécifique avec la diminution des poacées à croissance rapide au profit des espèces moins exigeantes en azote (Gentiana, 2005).

L'intérêt du fauchage-exportation peut donc être multiple et nécessite une évaluation pour comprendre ses avantages et inconvénients par rapport à la fauche classique sur :

- les coûts d'entretien à court et long terme (curage, de décapage, usure des matériels, ...) ;
- la fonction habitat et corridor pour la faune et la flore des dépendances vertes ;
- les problématiques d'eutrophisation de l'eau (érosion et pollution par lessivage des résidus de fauche/broyage) et d'inondation ;
- la gestion des espèces indésirables, comme le chardon des champs ou des espèces exotiques envahissantes ou patrimoniales.

Figure 4 : Le matériel de fauchage exportation (Cerema Ouest)

Figure 4 : Mowing collection tools (Cerema Ouest)



MATERIEL ET METHODE

L'objectif a été donc de suivre l'expérimentation de la RN 164 en utilisant un certain nombre d'indicateurs permettant de juger des résultats sous les aspects énergétique, technique, organisationnel, environnemental, sécuritaire, financier et ainsi de pouvoir extrapoler les conditions et opportunités d'une généralisation de ces nouveaux modes de gestion. L'année 2015 a été consacrée à la mise en place de l'expérimentation, d'un point de vue technique d'exportation et d'organisation ainsi qu'à une première description des faciès de végétation rencontrés. Un recalage de la technique et organisationnel a été fait sur la campagne 2016.

Dans cet article ne seront présentés que les aspects liés au protocole pour mesurer les effets de la technique de gestion sur les végétations de bords de route et les résultats sur la campagne de relevé effectuée sur la passe 1 d'accotement (richesse, intérêt pollinisateurs, effet gestion, ...).

Suivi de la végétation

En 2016, un protocole de suivi sur plusieurs années d'un panel de placettes sur accotement et délaissés a été élaboré. La zone d'étude se situe en majeure partie sur la RN 164 entre de Tremorel et Mûr-de-Bretagne dans le département des Côtes d'Armor. Le suivi concerne à la fois les accotements et délaissés entretenus par fauchage-broyage classique, tonte répétée, ou fauchage-aspiration.

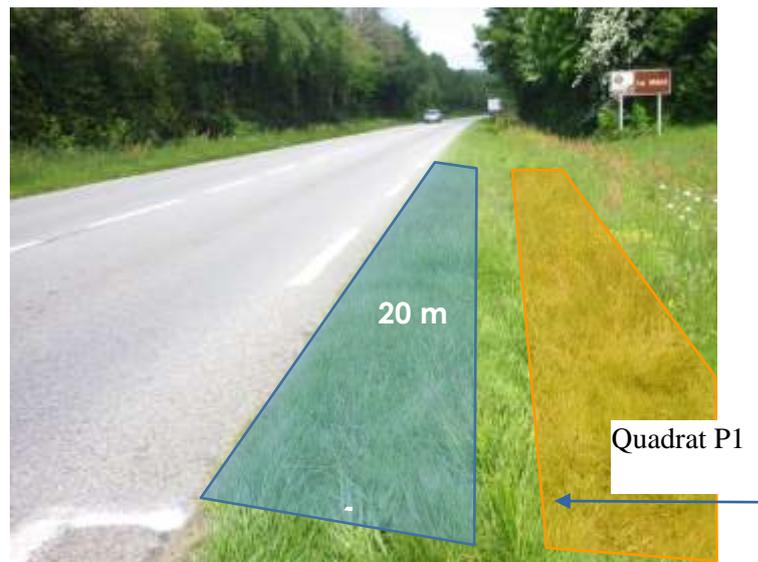
Figure 5 : clou de repérage dans la chaussée. (bleu)

Figure 5 : nail mark pavement



Figure 6 : limites des placettes pour la passe 1 (en et pour la passe 2 (en orange). (Cerema Ouest)

Figure 6 : plots limit 1 (bleu) and 2 (orange). (Cerema Ouest)



20 sites ont été physiquement marqués sur le revêtement en limite de fauche et géoréférencés. Ils ont fait l'objet de relevé de végétation afin de les suivre pendant 3 ans. Des quadrats de 20 m² ont été ensuite étudiés et localisés pour les faire correspondre aux différentes zones entretenues par fauchage-exportation, c'est-à-dire la passe 1 dite de sécurité (2 fauches par an) et la passe 2 dites d'entretien (1 fauche par an). Chaque station a été décrite suivant les paramètres physiques (sol, géologie, exposition, ...).

Des relevés phytosociologiques utilisant les coefficients d'abondance Braun-Blanquet et permettant de lister et quantifier les espèces présentes ont été réalisés sur chaque quadrat. Des informations complémentaires ont été recensées tels que le type de route, le profil et la largeur des accotements, la hauteur et le pourcentage de recouvrement de la végétation, la présence de haie et l'environnement à proximité (cultures, forêt, haies, ...).

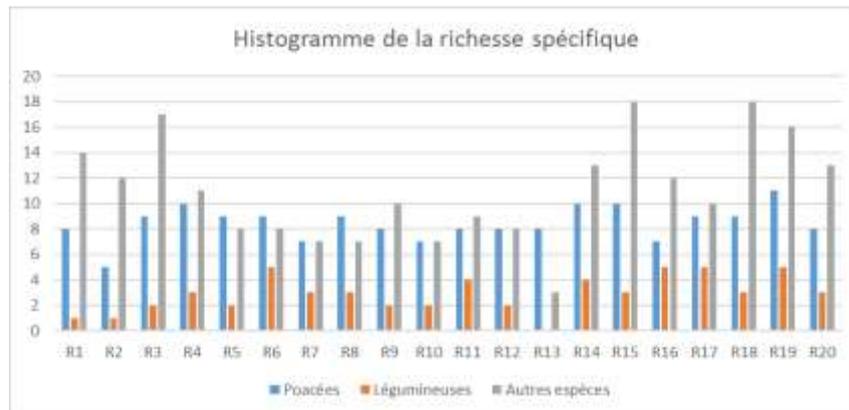
RESULTATS

Richesse spécifique

La présente publication ne traite que de l'analyse des P1. Lors de la première campagne de relevés (passe 1-accotements), 84 espèces ont été répertoriées sur un total de 20 placettes inventoriées. Elles font toutes parties de la strate herbacée. Ces espèces appartiennent à 21 familles différentes. On observe une dominance des espèces de la famille des poacées dans chaque relevé. En effet, l'entretien régulier des bords de route et les perturbations du trafic routier sont favorables aux espèces prairiales et empêche la succession écologique effectuée au sein des écosystèmes naturels. (Cf figure 7)

Figure 7 : Histogramme de la richesse en fonction des relevés

Figure 7 : Histogram of plant richness plots

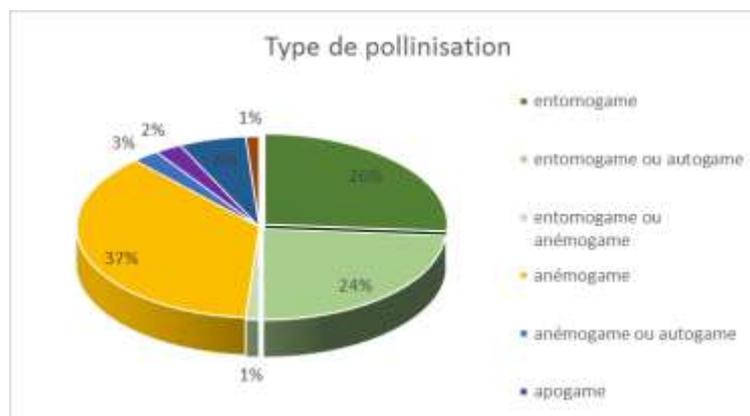


Type de pollinisation

A l'aide du référentiel « Baseflor » (Programme CATMINAT), le spectre biologique et le type de pollinisation de chaque espèce a pu être représenté. Un peu plus de 50% des espèces recensées sont pollinisées par les insectes. Ce sont toutes des dicotylédones herbacées. Mais leur coefficient de recouvrement n'est pas très élevé et dépasse rarement les 15 % (coefficient 2) dans l'ensemble des relevés. Au sein des placettes, les espèces dominantes en terme de recouvrement sont celles de la famille des poacées, en majeure partie anémogames et ne présentant donc pas d'intérêt particulier pour les insectes pollinisateurs. Néanmoins, des bourdons et des abeilles ont été observés à de nombreuses reprises sur certaines plantes mellifères. (Cf figure 8)

Figure 8 : Types de pollinisation des espèces recensées

Figure 8 : Types of pollination species



Comparaison des relevés par AFC

Une analyse factorielle des correspondances (AFC) a été réalisée sur les placettes P1 (accotement) pour comparer les relevés en fonction du coefficient de recouvrement des espèces présentes dans chacun d'entre eux. L'AFC consiste à réaliser une analyse des correspondances entre les lignes et les colonnes de la base de données brutes. Les espèces présentes dans moins de 3 relevés n'ont pas été intégrées dans l'AFC pour éviter les distorsions et l'éclatement du nuage de points. Les espèces sont représentées par un diminutif composé des trois premières lettres du nom de genre suivi des 3 premières lettres du nom d'espèce. L'AFC permet de réaliser une photo instantanée de la position des relevés en fonction de leur composition floristique. L'analyse de ces positions permet de voir quels sont les paramètres principaux qui influencent la composition floristique (type de fauche, pédologie, exposition, humidité), mais notre objectif est de voir si en premier lieu la technique de fauche est un paramètre qui influe sur la composition floristique. La plupart des relevés ont été fauchés par la méthode de fauchage-exportation, hormis 2 placettes témoins ; R2 tondu par une entreprise et R13 broyée par un agriculteur. Les coefficients de recouvrement ont été convertis en valeurs de milieu de classe (+ = 0,1 ; R =0,2;1=2,5;2=15;3 =37,5;4=62,5;5=87,5). Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Rstudio version 3.2.3.

Figure 9: A : Histogramme des valeurs propres (contribution des axes). B : Plan factoriel présentant la position des espèces. C : Plan factoriel présentant l'ordination des relevés.

Figure 9: A : Eigen value histogram . B : Factoriel plan of species. C : Factoriel plan of plots

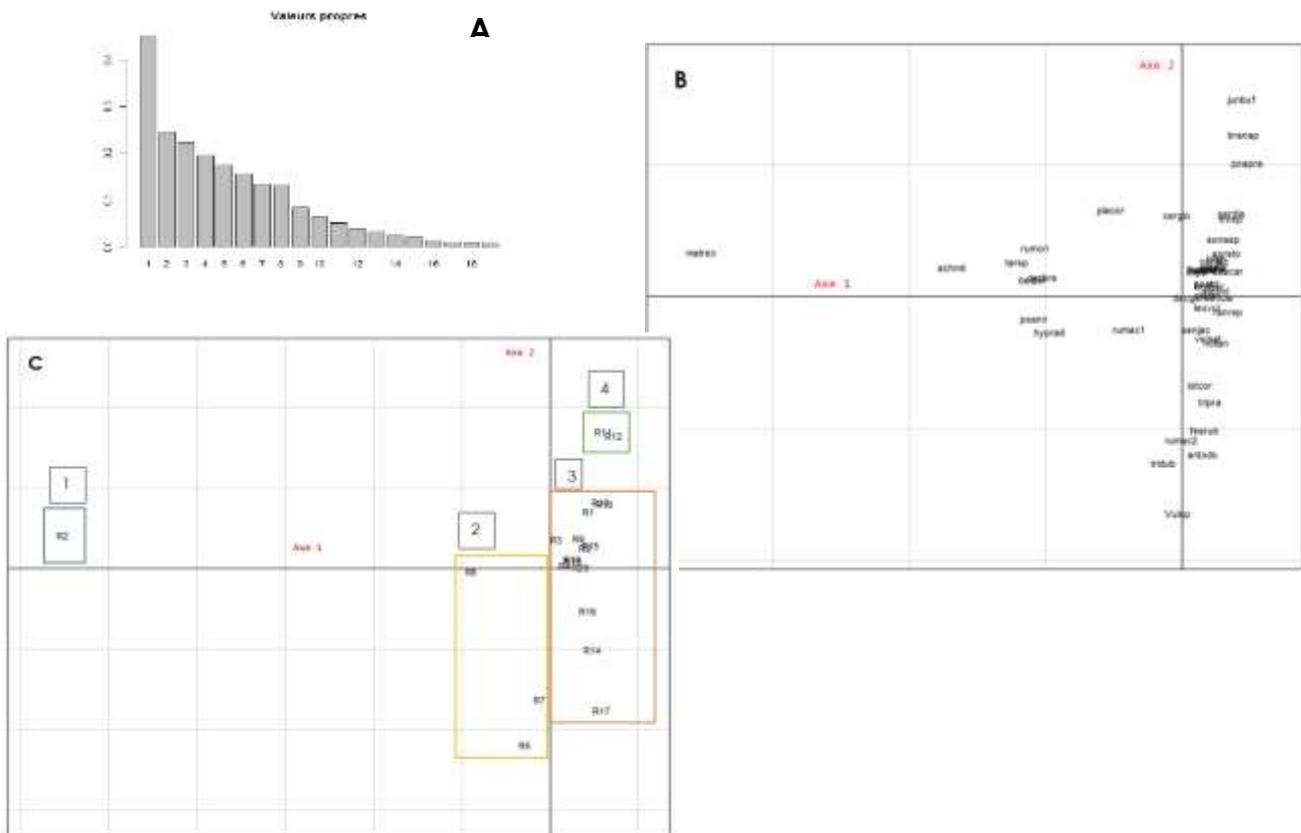
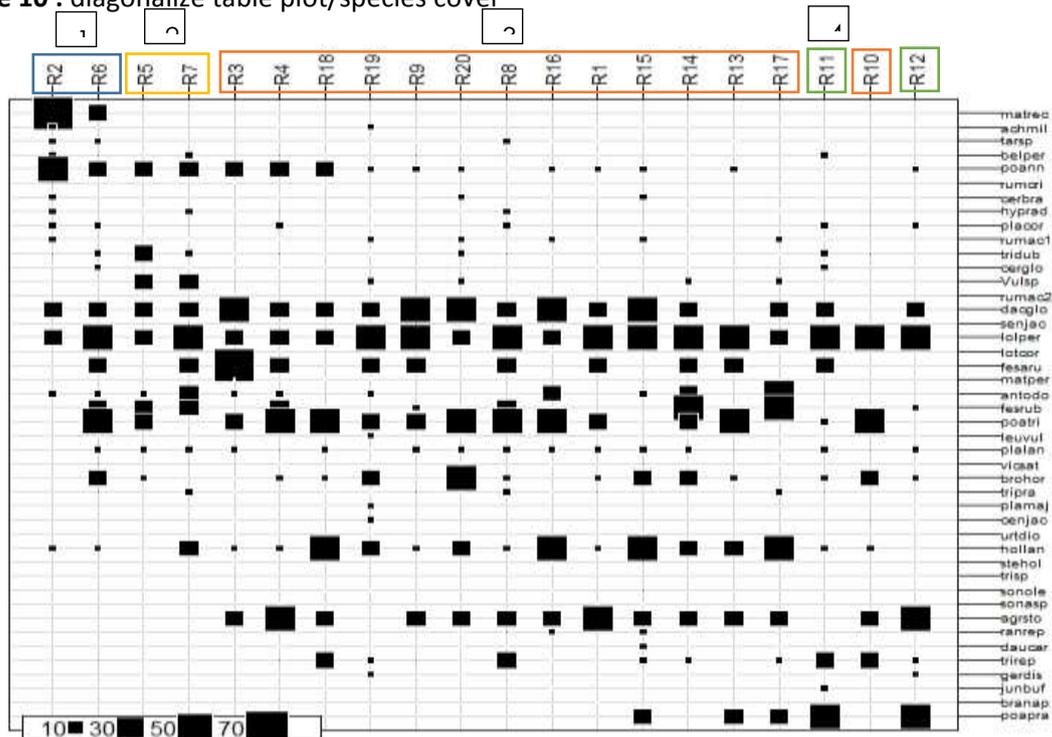


Figure 10 : Tableau diagonalisé relevés/espèces sur l'ensemble des relevés en fonction des coefficients de recouvrement des espèces.

Figure 10 : diagonalize table plot/species cover



Les espèces présentant la plus forte contribution relative aux axes sont *Poa annua* (poann) (Axe 1 : -7279, Axe 2 : -194) et *Matricaria recutita* (matrec) (Axe 1 : -9688, Axe 2 : 90). Concernant les relevés, le 2^{ème} (R2) présente clairement la plus forte contribution relative aux axes (Axe 1 : -9810, Axe 2 : 56). (Cf figure 9 et 10)

La proximité des placettes sur le plan factoriel s'explique principalement par la présence et les coefficients de recouvrement de *Poa Annua* et de *Matricaria recutita*. On peut voir que la répartition des placettes se fait surtout sur l'axe 1. Le tableau diagonalisé permet de juxtaposer les relevés dont la composition floristique se ressemble le plus et explique notamment la position des relevés sur le plan factoriel. D'après les résultats de la première AFC, on observe que la majorité de la variance est portée par l'axe 1 de l'AFC. Ainsi, 4 grands groupes ont été définis, majoritairement en fonction cet axe.

- Groupe 1 : Le relevé 2 est éloigné des autres sur le plan factoriel du fait du fort recouvrement de *Matricaria recutita* (62,5 %). Hors, il s'agit d'une placette témoin tondu régulièrement par une entreprise, ce qui traduit le fait que ce mode d'exploitation (tonte répétée, et récupération de l'herbe) à un impact fort sur la composition floristique.

- Groupe 2, 3 et 4 : Ces groupes sont composés de relevés dont la composition floristique est relativement similaire même si la fréquence d'apparition de nombreuses espèces est différente. Cela est surtout dû au fait qu'ils se trouvent dans la même région biogéographique. Cependant, on observe que les relevés 11 et 12, 8 et 9 ainsi que 18, 19 et 20 sont proches sur le plan factoriel et géographiquement. Cela vient du fait qu'ils ont des paramètres abiotiques similaires comme la pédologie, l'exposition ou encore l'humidité. Ces paramètres seront examinés ultérieurement et permettront d'apporter plus de précisions sur la position des points sur l'AFC. Le relevé 13 (témoin) broyé de façon traditionnelle ne semble pas présenter pour l'instant de différences de composition floristique par rapport aux autres. Cela traduit le fait que l'exportation des résidus n'a pas d'effet significatif à court terme (2 ans) d'où la nécessité de réaliser un suivi à plus long terme.

La comparaison pluriannuelle des AFC permettra de voir dans quelle mesure la position des relevés évolue en fonction du mode de fauche. Ce paramètre devra obligatoirement être associé à l'étude des paramètres météorologiques qui influencent beaucoup le cycle de vie des espèces végétales.

A long terme, cela permettra de déterminer plus précisément comment le mode de fauche fait évoluer les végétations. A ce titre, il serait intéressant de diversifier les types de relevés, c'est-à-dire réaliser des relevés floristiques sur plus de placettes témoins (tonte ou broyage traditionnelle) ou encore sur des passes 2 ou des délaissés pour étudier l'effet du type et de la fréquence de fauche dans l'espace et dans le temps.

DISCUSSION

Ces premiers résultats constituent l'année zéro du suivi, les effets des différentes gestions semblent se percevoir (tonte, broyage). Par contre, il est encore difficile de vérifier l'effet du changement de pratique. Les suivis des placettes sur plusieurs années devraient permettre ou non de vérifier les hypothèses avancées dans les quelques études disponibles et mieux cerner l'ensemble des effets.

En effet, l'exportation du produit de fauche ou de broyage permet sur le long terme de favoriser la diversification de la flore en diminuant la charge azotée restituée au sol. En effet, les expérimentations menées sur le réseau de la DIR Ouest permettent d'évaluer la productivité de ces végétations herbacées de l'ordre en moyenne de 5 tonnes de matières brute/ha (variation de 3 à 8 tonnes/ha), tonnage assez similaire à ce que l'on retrouve dans les prairies agricoles naturelles. Le broyage des végétaux de 1 à 3 fois par an sur certains secteurs sans exportation participe à l'enrichissement progressif du sol notamment en azote. Il favorise alors les plantes les plus concurrentielles vis-à-vis de l'azote pour aboutir à des végétations banales eutrophes souvent pauci-spécifiques (graminées, orties, chardon des champs, œnanthe safranée) et très peu de mellifères. Ces végétations sont basées essentiellement sur des plantes à pollinisation anémophile comme les graminées (ou poacées ray-grass, dactyle, fétuque, pâturin) 70 à 95 % du couvert. Les quelques suivis disponibles montrent que le fauchage-exportation (broyage exportation) ou la fauche semblent favorable à la diversification du couvert herbacée et à la diminution de la productivité.

La technique du broyage aspiration permettra non seulement de diminuer la charge azotée au sol ; en limitant les pollutions et le comblement des fossés mais favorise également le développement d'espèces moins concurrentielles que les graminées et plus favorables aux pollinisateurs. L'exportation des résidus doit permettre donc d'obtenir une plus grande diversité floristique et une croissance ralentie de la végétation.

Cette technique, en plus d'un changement de pratique interne au gestionnaire (modifications d'organisation, de matériel, ...) oblige ce dernier à se tourner vers l'extérieur afin de trouver des débouchés locaux à sa biomasse en cherchant des solutions d'alimentation du bétail, de compostage, retour au sol, ou de méthanisation. À cette « démarche commerciale », s'ajoute la nécessité de réfléchir à la problématique des coûts énergétiques associés à ces nouveaux débouchés, notamment relatifs aux transports. Des évaluations en cours doivent permettre dans les prochaines années de cadrer les conditions optimales de valorisation extérieures (matériels et techniques les plus appropriés, distance maximale de valorisation, modes opératoires, ...).

D'autres techniques de gestion sont également susceptibles de faire évoluer les couverts végétaux des dépendances routières ; la date ; la fréquence ; la hauteur ; ou le type d'outil de fauche.

La mise en place des techniques de gestion différenciée permet, en différenciant les espaces et en adaptant la date de gestion, d'offrir différents milieux au gré de la saison pour la réalisation du cycle de vie des espèces animales et végétales.

Le passage d'une hauteur de fauche-broyage de 5-7 cm à 12 cm permet en plus de faire des économies de carburant, de matériel (moins d'usure au sol) et d'augmenter la sécurisation des opérations d'entretien (limitation des projections) de favoriser la faune du sol et de modifier dans le temps la flore pour un aspect de bords de route (hauteur de la végétation) au final quasi identique au bout de 2 à 3 semaines.

Suite aux modifications des dates de fauche, certains végétaux pourront durablement s'installer dans les formations prairiales du fait de la réalisation de leur cycle végétatif complet et la formation de graines.

CONCLUSION

La végétation des accotements routiers est la résultante des conditions stationnelles et de l'historique de gestion. Les changements de pratique comme le fauchage exportation ou des dates, hauteur, de fauche induisent des changements de végétation sur le long terme. Le protocole de suivi mis en place en 2016 et sa répétitivité sur plusieurs années doit nous permettre d'étudier la cinétique d'évolution selon la nature et le positionnement des dépendances.

En complément de l'évaluation globale de la technique qui est faite sur l'organisation des chantiers, la sécurité, son intérêt économique, un projet de recherche (CARMEN) financée par l'ADEME et coconstruit avec l'INERIS et l'AILE, étudie la problématique des HAP métaux lourds dans la biomasse issue des bords de routes. L'objectif en suivant les dépendances vertes d'un panel de trafic de 5000 à 100 000 véhicules/jour est de connaître la pollution de l'herbe des bords de route et son effet dans le processus de méthanisation.

Enfin, il existe d'autres champs d'effets à analyser comme l'impact de ces techniques et matériels sur la faune. Mais le champ est vaste et difficile à étudier pour tous les groupes faunistiques. Un travail est toutefois en cours (Projet Pollinéraire) dans le cadre du programme ITTECOP avec IFSTTAR, l'INRA et le Cerema Dter Ouest et Sud Ouest. Il vise à connaître pour les dépendances d'infrastructure le rôle des dépendances vertes pour les pollinisateurs sauvages.

Les dépendances vertes des infrastructures linéaires de transport sont grâce, aux techniques et matériels de gestion différenciée, devenues partie intégrante de la trame verte et bleue d'un territoire en offrant des milieux intéressants pour la biodiversité. Elle constitue maintenant également des lieux de transition énergétique en offrant une biomasse végétale pour la production d'énergie. Le challenge à venir est de concilier les deux en maintenant ce double objectif tout en garantissant les fonctions routières et de sécurité de ces espaces !

REMERCIEMENTS

DIR Ouest

BIBLIOGRAPHIE

Cauwer B., Reheul D., D'hooghe K., Nijls I., Milbau A., 2005. Evolution of the vegetation of mown field margins over their first 3 years. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 109, pp. 87-96

CGDD, 2015. Les chiffres clés du transport.

De Redon L., Michel N., Garnier A., Haicourt R., Sourisseau A., Ricroch A., 2008. A three year study of weed management on plant community in field margins in an openfield landscape, In : *Interets ecologiques des bords de route en milieu agricole intensif*. These d'écologie du doctorat du Museum National d'Histoire Naturelle, Paris, pp. 111-126

Gentiana, 2005. Le guide de la gestion raisonnable : Le fauchage des bords des routes. Fiche12

Rouault H-P., 2013. Etude du fourrage-exportation sur le canton de Coglais, 47p.

Schaffers AP., Vesseur MC., Sýkora KV. 1998. Effects of delayed hay removal on the nutrient balance of roadside plant communities. *Journal of Applied Ecology* 35, 349- 364.

Setra 1994 : La gestion extensive des dépendances vertes. Guide technique. 119 p. ISBN 2-11 088529-7

Setra 2009 : Fauchez moins, fauchez mieux. Note d'information Chaussées-dépendances n°122. Référence : 0943w – ISSN : 1250-8675.

Setra, 2013. Entretien des dépendances. Éléments de réflexion sur la stratégie de choix des outils de fauchage et débroussaillage.

Vallet J., 2014. Effet des nouvelles pratiques de fauche des bords de route départementales sur la biodiversité floristique, Conservatoire botanique national du bassin parisien, 19p.

Vende A., 2016. Création d'un protocole de suivi de la végétation des bords de route pour l'étude de l'impact du fauchage-exportation. Mémoire M1, UCO. Cerema Dter Ouest.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

INFRASTRUCTURES LINEAIRES ET MAITRISE DE LA VEGETATION : QUELLES INNOVATIONS ?

T. AULLO⁽¹⁾, E. CUENOT⁽²⁾, G. DECOSTER⁽³⁾, C. HELAN⁽⁴⁾, M. LE LAY⁽⁵⁾, G. QUESNEL⁽⁶⁾

⁽¹⁾Transport et Infrastructures Gaz France – thomas.aullo@tigf.fr - 40 Avenue de l'Europe, CS 20522, 64000 Pau

⁽²⁾Autoroutes Paris Rhin Rhône - etienne.cuenot@aprr.fr - 36 rue du Docteur Schmitt 21850 Saint Apollinaire

⁽³⁾Voies navigables de France - gregory.decoester@vnf.fr - 175, rue Ludovic Boutleux CS 30820 62408 Béthune Cedex

⁽⁴⁾Réseau de Transport d'Electricité - cecile.helan@rte-france.com

Cœur Défense Tour B – 100 esplanade du Général de Gaulle 92932 Paris La Défense Cedex

⁽⁵⁾SNCF RESEAU - marine.le-lay@reseau.sncf.fr - 18 rue de Dunkerque 75010 Paris

⁽⁶⁾GRTgaz - gaetan.quesnel@grtgaz.com - 6 rue Raoul Nordling 92277 Bois Colombes Cedex

RÉSUMÉ

Le Club Infrastructures Linéaires et Biodiversité (CILB) réunit des gestionnaires du rail, des autoroutes, des voies navigables, des réseaux électriques, des réseaux de gaz autour des questions relatives au respect de l'environnement aux abords des ouvrages industriels. Tous ont besoin de maîtriser la végétation sur leurs emprises. Pour des raisons esthétiques ? - Non, pour la sécurité des personnes et pour le maintien en fonctionnement des infrastructures. A l'époque d'ECOPHYTO II les gestionnaires ont dû anticiper les changements, modifier leurs pratiques, et s'orienter vers une maîtrise optimale des utilisations de produits phytopharmaceutiques encore disponibles. Le CILB présente les motivations, les outils, les difficultés et les efforts pour diminuer le recours au désherbage chimique. Des pratiques innovantes et prometteuses de gestion différenciée et d'entretien non chimique apparaissent, mais aucune, aujourd'hui, ne constitue une solution alternative idéale et générique adaptée aux contraintes des industriels.

Mots-clés : infrastructures linéaires, désherbage, innovation, expérimentations, contraintes industrielles.

ABSTRACT

LINEAR INFRASTRUCTURES AND WEEDING: WHICH INNOVATIONS ?

The Linear Infrastructures and Biodiversity Club (CILB in French) gather rail, highways, waterways, electrical networks and gas networks managers about issues related to environmental care outskirts of industrial structures. All of them need to control vegetation on their rights of ways. For aesthetic reasons ? No, to insure human safety and to keep infrastructure operating. In the Ecophyto II era managers had to anticipate changes, change their practices, and move towards optimum control of pesticides uses yet available. The CILB introduces motivations, tools, troubles and efforts to reduce weed control chemicals uses. Innovative and promising practices of differentiated management and non-chemical maintenance appear but today none proves to be an ideal and generic alternative adapted to industrial confines.

Keywords: linear infrastructures, weeding, innovation, experiments, industrial constraints.

Sommaire

1. Introduction	3
2. Matériel et méthodes.....	3
3. Résultats	6
4. Discussion.....	9
4. Conclusion.....	9

Table des figures et illustrations

Figure 1. Schéma d'une coupe d'emprise ferroviaire.....	4
Figure 2. Schéma d'une coupe d'autoroute et de ses abords.....	4
Figure 3. Schéma d'une coupe de voie fluviale et ses abords.....	4
Figure 4. Photo d'un poste électrique et de ses objectifs de maîtrise de la végétation.....	4
Figure 5. Illustration d'un poste de sectionnement du réseau de gaz.....	5
Tableau 1. Résumé des techniques alternatives testées par les gestionnaires d'infrastructures...5	
Tableau 2. Retour d'expérience des techniques alternatives testées chez les gestionnaires d'infrastructures linéaires.....	8

1. INTRODUCTION

Les gestionnaires d'infrastructures linéaires ont pour missions le développement, l'exploitation et l'entretien de réseaux de distribution et de transport de grande longueur sur l'ensemble du territoire métropolitain. Ces missions sont associées à des impacts, positifs et négatifs, sur les milieux naturels traversés, tout au long de la vie de l'ouvrage. En particulier, les gestionnaires d'infrastructures linéaires, pour l'exploitation et la maintenance des réseaux, doivent maîtriser la végétation qui se développe naturellement aux abords des ouvrages et sur le réseau.

Les pratiques actuelles de désherbage reposent principalement sur des moyens mécaniques et chimiques. Ces derniers sont fortement restreints par les évolutions de la réglementation : directives européennes "paquet pesticides" (2009), lois Grenelle en France (2010), loi Labbé (2014), loi de transition énergétique (2015). Les pressions sociétales encouragent à la diminution du recours aux produits phytopharmaceutiques.

Depuis 2010, les gestionnaires d'infrastructures linéaires s'inscrivent dans ce contexte en expérimentant des solutions de maîtrise de la végétation permettant de diminuer le recours aux produits phytopharmaceutiques, tout en remplissant les conditions de sécurité et d'exploitation liées aux ouvrages.

Le présent article rappelle les contraintes associées aux infrastructures, et dresse un bilan des expérimentations et innovations mises en œuvre pour réduire les utilisations de produits phytopharmaceutiques aux abords des ouvrages. L'objectif est d'améliorer encore les pratiques en s'entourant de professionnels et scientifiques.

2. MATERIEL ET METHODES

Exposé des contraintes

Les gestionnaires d'infrastructures sont soumis à des contraintes de sécurité et de fonctionnement, certaines sont partagées et d'autres leurs sont propres. Il est nécessaire de les respecter lors de la mise en place d'expérimentations de gestion alternative de la végétation.

Les contraintes partagées par l'ensemble des gestionnaires sont les suivantes :

- Permettre l'accès et la circulation sur les emprises pour limiter les risques de chute ;
- Maîtriser les risques d'incendie liés à la végétation sèche ;
- Assurer une visibilité suffisante pour la surveillance des ouvrages ;
- Garantir l'intégrité fonctionnelle des ouvrages en maîtrisant le développement d'espèces arbustives et arborées (assainissement, clôtures, équipements de sécurité) ;
- Répondre aux contraintes réglementaires de lutte contre les nuisibles (chardon des champs - *Cirsium arvense*, lapin de garenne – *Oryctolagus cuniculus*) et les espèces envahissantes (ambrosie *Ambrosia artemisiifolia*, renouée du Japon *Reynoutria sp.*, canne de provence *Arundo donax*, herbe de la pampa *Cortaderia sp.*, ...).

Plus spécifiquement, la maîtrise de la végétation permet de répondre aux contraintes associées aux différents réseaux :

- 30 000 km de lignes ferroviaires (95 000 ha de dépendances), 9 000 km d'autoroutes (soit 45 000 ha de dépendances) et 6 700 km de fleuves, rivières et canaux, et près de 4 000 ouvrages d'art (écluses, pentes d'eau, barrages, etc.), soit 40 000 ha de domaine public fluvial.
 - Garantir la sécurité du transport (trains, automobiles et bateaux) sans risque de chute de branches, d'arbres ou d'incendie. Maîtriser le risque de perte d'adhérence ou d'allongement des distances de freinage des trains et automobiles ;
 - Assurer la visibilité de la signalisation et signalétique ;
 - Assurer l'accès aux pistes ferroviaires (pour le personnel, l'accès aux secours et en cas de transbordement) et à l'accotement de l'autoroute pour les usagers en détresse ;
 - Assurer la visibilité du tracé, de tous les éléments constitutifs de la plateforme, indispensables à la bonne circulation ;
 - Assurer le contrôle visuel des digues (voies navigables) ;
 - Permettre l'entretien des systèmes de drainage de part et d'autre des infrastructures et l'entretien du système d'alimentation en eau des canaux ;
 - Assurer l'intégrité des clôtures et empêcher le passage d'animaux.

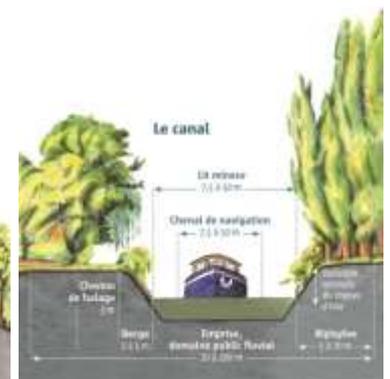
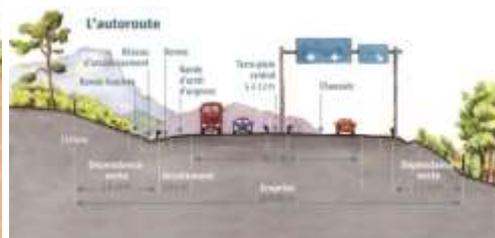
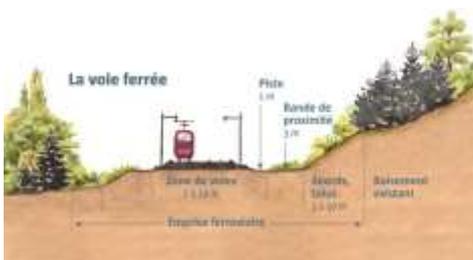


Figure 1. Schéma d'une coupe d'emprise ferroviaire

Figure 2. Schéma d'une coupe d'autoroute et de ses abords

Figure 3. Schéma d'une coupe de voie fluviale et ses abords

- Réseau de transport d'électricité (plus de 600 postes électriques à entretenir, soit 1 400 ha) :
 - Empêcher les amorçages entre les appareils à haute tension et la végétation ;
 - Empêcher les risques électriques liés à la présence de végétation pour les opérateurs intervenant sur les postes de transformation électrique ;
 - Permettre la détection d'éventuels désordres autour des appareils électriques.

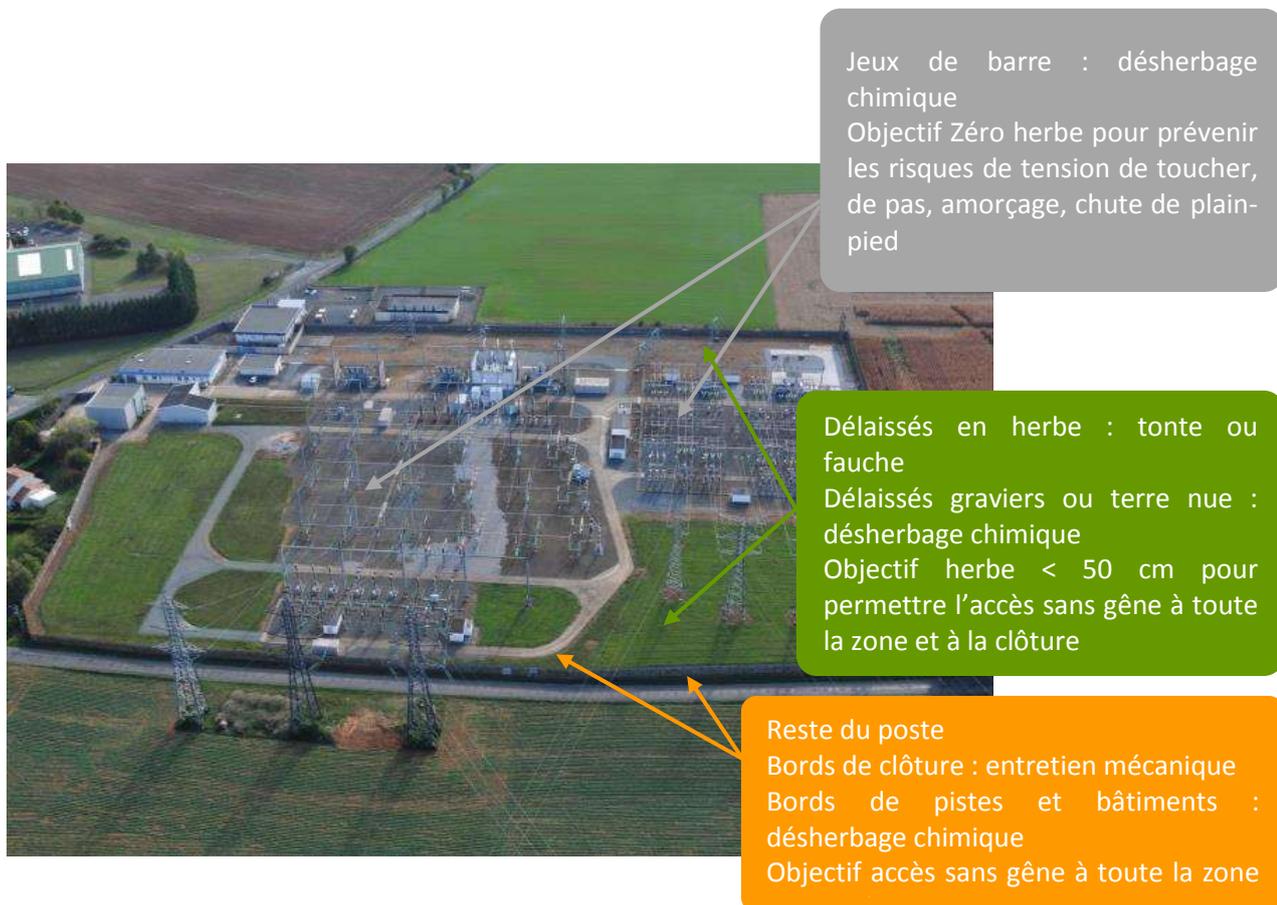


Figure 4. Photo d'un poste électrique et de ses objectifs de maîtrise de la végétation

- Réseau de transport de gaz (40 000 km de réseau avec un poste de sectionnement d'une surface moyenne de 500 m² tous les 10 à 20 km) :
 - Garantir l'accès aux postes de sectionnement, sans utiliser de sources d'ignition susceptibles de provoquer des étincelles ;
 - Garantir l'intégrité et la visibilité de la signalétique.



Figure 5. Illustration d'un poste de sectionnement du réseau de gaz

Choix des techniques alternatives

Les expérimentations de gestion alternative doivent respecter les contraintes de sécurité et de fonctionnement exposées.

Elles doivent de plus répondre aux exigences suivantes :

- Maîtriser les coûts de manière à les reproduire sur de grands linéaires ;
- Garantir les bénéfices en termes de maîtrise des pollutions, de réduction des gaz à effet de serre, de préservation de la biodiversité ;
- Gêner le moins possible la production et le trafic ;
- Etre industrialisables.

Techniques alternatives testées

Les différents gestionnaires d'infrastructures linéaires ont testé les solutions suivantes :

Tableau 1. Résumé des techniques alternatives testées par les gestionnaires d'infrastructures

Mesures de suivi et de planification		Solutions préventives de gestion			Solutions curatives non chimiques		
Plans de gestion pluriannuels	Bilans d'utilisation	Géotextile	Paillage	Végétation couvre-sol	Eco-pâturage	Solutions mécaniques	Solutions thermiques

Retour d'expérience

Le retour d'expérience sur les techniques alternatives testées porte sur :

- l'efficacité de la technique pour la maîtrise de la végétation ;
- le respect des contraintes énoncées ;
- la maîtrise des impacts environnementaux ;
- la maîtrise des coûts de mise en œuvre ;
- la reproductibilité : possibilités d'approvisionnement, disponibilité des prestataires ;
- les conditions de réussite ;
- Les avantages et inconvénients de chaque technique ;
- l'acceptabilité par l'entreprise.

3. RESULTATS

Un préalable : planification et suivi

Point de passage obligé pour faire évoluer les techniques : mieux connaître les pratiques de maîtrise de la végétation pour identifier les axes d'amélioration et organiser les interventions en amont, selon le profil de la végétation et les contraintes associées aux espaces.

- **Schémas directeurs de maîtrise de la végétation** élaborés par SNCF Réseau : il existe un schéma directeur par établissement. Quelle que soit sa forme, c'est un document de planification des chantiers à mener sur 5 ans après une première étape d'état des lieux de la végétation en place et de son évolution dans le temps. Ces schémas directeurs sont demandés aux établissements de maintenance et généralement élaborés par le « spécialiste maîtrise de la végétation » ou par une structure compétente (ex : Office National des Forêts).
Le schéma directeur doit tenir compte des priorités à traiter (ex : arbres dangereux ++) et permet de réfléchir sur du moyen terme, rendant ainsi les interventions plus régulières et raisonnées. Les interventions en urgence disparaissent peu à peu et les coûts de maintenance sont ainsi maîtrisés.

- **Bilan annuel des utilisations de produits phytopharmaceutiques**

L'analyse annuelle des utilisations de produits phytopharmaceutiques renseigne sur les pratiques de désherbage : produits, fréquence d'intervention, dosages. Ce bilan a permis à RTE de tirer des enseignements sur les leviers de maîtrise des utilisations de produits phytopharmaceutiques : adapter les exigences de résultats aux contraintes associées aux différentes zones des postes, et soustraire certaines zones au désherbage chimique pour les gérer de manière différenciée.

Les différents gestionnaires d'infrastructures constatent une convergence des résultats obtenus lors des expérimentations menées sur leurs ouvrages.

Solutions préventives de gestion

Ces solutions consistent à réaliser des aménagements limitant la pousse de la végétation indésirable afin de limiter les besoins en entretien.

- **Géotextile**

Plusieurs types de géotextiles, d'épaisseur et de composition variable, ont été installés chez les gestionnaires d'infrastructure, notamment sur des ouvrages de faible surface au niveau des installations gazières aériennes avec lesquelles ils sont compatibles ou encore sous les pistes qui longent les voies ferrées. Les premières expérimentations chez SNCF Réseau ont commencé en 2010 mais étaient largement perfectibles, notamment sur la continuité au niveau des caniveaux à câbles mais aussi sur la profondeur et le recouvrement. Par ailleurs, de nombreuses matières ont été testées et un partenariat visant à tester des géotextiles permettant de contenir la renouée du Japon est en cours d'élaboration.

De manière générale, leur pose demande une intervention dédiée, assez lourde et coûteuse sans garantie de la résistance et de la durée de vie. Sa généralisation est difficile du fait du temps de pose et du coût.

- **Paillage**

Le paillage est une technique qui consiste à recouvrir le sol de matériaux organiques ou minéraux afin d'empêcher la pousse de la végétation spontanée en la privant de lumière, d'espace et d'eau.

Les solutions de paillage minéral (ardoises, graviers roulés ou autres matériaux minéraux), associées à un géotextile et à une couche de graviers drainants, donnent de bons résultats sur les postes électriques lorsque le matériau est propre, de bonne qualité, et soigneusement mis en place. Cette solution est compatible avec les contraintes électriques des installations de haute tension et avec celles des installations gazières aériennes. En revanche, le coût du matériau et les difficultés d'approvisionnement, selon les régions, ne permettent pas la généralisation de la technique à l'heure actuelle.

Le paillage végétal est plus couramment utilisé aux abords des voies navigables et autoroutes car il permet également une valorisation *in situ* des déchets de « taille ». L'ensemble présente un bel aspect esthétique et une bonne stabilité au vent. La durée de vie est de 3-4 ans.

- **Végétation couvre-sol et prairies fleuries**

La végétalisation consiste à implanter un couvert végétal dense et couvrant, de hauteur maîtrisée compatible avec les contraintes des ouvrages, et ne laissant pas de place aux végétaux indésirables.

Les différents mélanges végétaux testés sur les postes électriques, abords des ouvrages fluviaux et emprises gazières (mélanges type prairie ou pelouse) donnent des résultats satisfaisants : un entretien réduit (1 à 2 fauches annuelles) permet de maintenir une hauteur contrôlée et empêche le développement de végétaux indésirables, à coûts maîtrisés. Outre leur valeur ornementale, les espaces végétalisés constituent des zones de refuge, d'alimentation et de

reproduction pour la faune et en particulier pour les insectes pollinisateurs, apicoles et auxiliaires (vers de terre). Elles constituent ainsi des véritables réserves de biodiversité.

Cette solution n'est cependant pas compatible en l'état avec les zones les plus contraignantes des postes électriques, sous les appareils de transformation à haute tension et à proximité immédiate des canalisations de gaz du fait du risque de propagation d'incendie.

- **Remplissage des joints aux abords des chaussées**

Grâce à un pontage par des produits colmatant les espaces entre éléments béton, l'intrusion d'éléments fins et la germination de plantes (glissières en béton, caniveaux, ...) sont évitées.

Solutions curatives non chimiques

- **Eco-pâturage**

L'éco-pâturage est réalisé principalement par des ovins, caprins ou bovins, et permet de maintenir une pression constante sur la végétation de la zone pâturée.

Cette technique est efficace lorsque le type et le nombre d'animaux sont adaptés aux zones à entretenir. Elle nécessite cependant des aménagements préalables (installations de clôtures, abreuvoirs, abris), une surveillance renforcée et peut avoir un coût important.

Cette solution n'est pas intéressante sur les faibles surfaces, et difficile voire impossible à mettre en œuvre dans certaines zones très contraignantes (ballast et pistes des voies ferrées, bords d'autoroutes, zones à proximité immédiate des installations électriques, ...) en raison des dangers pour les animaux, pour la sécurité du trafic et des difficultés d'accès pour les bergers. Elle ne peut donc pas être généralisée sur tous les ouvrages.

- **Techniques mécaniques**

Les techniques mécaniques testées sont : binette, hersage, ratissage du gravier, brossage, soufflage, eau à haute pression.

Ces techniques sont efficaces mais chronophages, coûteuses, et souvent pénibles pour les opérateurs.

Les techniques motorisées sont inapplicables à proximité immédiate des ouvrages gaziers (risques liés aux atmosphères explosives) et sur les voies ferrées (destruction de la plateforme).

La brosse métallique associée à une balayeuse aspiratrice trouve son utilité sur les surfaces imperméables des autoroutes.

Sur les surfaces gravillonnées stabilisées, VNF utilise régulièrement le hersage et souhaite développer le désherbage des perrés maçonnés avec de l'eau à haute pression.

- **Techniques thermiques**

Les techniques thermiques testées sont : eau chaude additionnée de mousse biodégradable Waipuna, flamme directe, infrarouge, eau chaude et vapeur d'eau.

Le Waipuna consiste à brûler les végétaux indésirables par application d'un mélange d'eau et de mousse de coco et maïs chauffé à 95°C. Les tests effectués montrent que la technique est efficace sur des végétaux peu robustes (au stade plantule notamment), mais qu'elle nécessite des passages répétés et un temps d'application important. La consommation d'eau et d'énergie pour chauffer la cuve, ainsi que les contraintes de transport de la machine, augmentent d'autant plus le coût de cette technique. Pour toutes ces raisons, elle n'est pas adaptée aux grands linéaires.

Adopté par VNF, le désherbage à vapeur d'eau est efficace sur les surfaces imperméables. Le matériel peut être transporté dans un véhicule utilitaire léger.

Les techniques thermiques, très consommatrices d'eau, d'énergies fossiles et émettrices de CO₂, ne sont pas adaptées aux contraintes d'exploitation des linéaires ferroviaires et autoroutiers.

Tableau 2. Retour d'expérience des techniques alternatives testées chez les gestionnaires d'infrastructures linéaires

	Mesures de suivi et de planification	Solutions préventives de gestion			Solutions curatives non chimiques		
Appréciation	Bilans, plans d'entretien de la végétation	Géotextile	Paillage	Végétation couvre-sol	Eco-pâturage	Solutions mécaniques	Solutions thermiques
Efficacité	+++	++ Durée de vie ?	++ Durée de vie ?	+++	+++	++	+ - Adapté aux applications ponctuelles
Adaptation aux contraintes de sécurité et fonctionnement	+++	+ -	++	+ - Selon les zones	+ - Selon les zones	+ - Solutions parfois dangereuses pour les opérateurs	+ - Solutions parfois dangereuses pour les opérateurs
Coût	++	-	--- Matériaux coûteux	++	- à --- Selon la formule	---	---
Reproductibilité	++	++	+ - Selon le matériau	+ - Nécessité d'adapter le couvert végétal au contexte	- Solution à traiter au cas par cas	-	---
Acceptabilité	+++	+++	+++	+ Nécessité de sensibilisation en interne	+ - Selon les zones	+	+

Légende :

+ à +++ : solution satisfaisante à très satisfaisante

+ - : solution satisfaisante ou non, selon les zones et le contexte

- à --- : solution peu satisfaisante à pas du tout satisfaisante

4. DISCUSSION

Chaque gestionnaire d'infrastructure s'est emparé de la question de la maîtrise de la végétation en expérimentant sur ses ouvrages les techniques alternatives les plus adaptées à ses contraintes.

Il se dégage des différentes expérimentations qu'il n'existe pas de solution idéale : aucune solution alternative ne peut être appliquée de manière générique sur toutes les emprises. Ce constat n'est pas réhibitoire et laisse place à l'utilisation de techniques distinctes répondant aux contraintes spécifiques de chaque gestionnaire. Néanmoins, certains gestionnaires sont confrontés à des impasses techniques et ne peuvent actuellement entretenir qu'en désherbage chimique des compartiments dont ils ont la gestion. Aucune technique alternative n'y est applicable pour des raisons diverses (circulation de trains, risques explosifs ou électriques, accidents du travail, ...).

Les techniques alternatives sont généralement plus coûteuses que l'entretien chimique et nécessitent d'importantes ressources matérielles et humaines. Les contraintes de mise en œuvre sur les sites industriels représentent un frein important à leur généralisation.

La mise en œuvre de modes de gestion innovants passe généralement par un diagnostic de site visant à définir un plan de gestion, pour adapter l'aménagement en fonction des caractéristiques et des contraintes des différentes zones.

5. CONCLUSION

Les membres du CLIB partagent des enjeux similaires dans leurs pratiques de désherbage :

- Contraintes de sécurité ;
- Freins économiques, techniques, et culturels ;
- Crainte d'une impasse du chimique dans les années à venir : attentes réglementaires, sociétales, disponibilité des produits phytopharmaceutiques.

Chacun est lancé dans une recherche de solutions alternatives qu'il doit inventer, expérimenter et adapter à ses contraintes propres. Un accompagnement est nécessaire pour mettre en œuvre l'évolution des pratiques.

La baisse des consommations de produits phytopharmaceutiques (zéro phyto chez VNF, moins 80% sur autoroutes entre 2008 et 2015, consommation divisée par 4 en 30 ans sur les emprises ferroviaires) chez les utilisateurs non agricoles, et la multiplication des efforts dans la recherche de solutions innovantes, attestent des progrès réalisés. Néanmoins, en 2016, aucune solution ne permet de s'affranchir totalement du recours aux produits phytopharmaceutiques.

Comment seront assurées la pérennité des ouvrages, la maîtrise des espèces invasives, les conditions de travail des personnels en cas d'interdiction des produits phytopharmaceutiques ?

L'effort d'innovation à accomplir reste important et à poursuivre. Les procédés de biocontrôle promis pour l'avenir sont inopérants pour les gestionnaires ainsi placés en situation d'impasse. Leur mission de gestion ne leur donne pas toute compétence et capacité de recherche et d'innovation. Des synergies sont à inventer et construire rapidement.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE 19 ET 20 OCTOBRE 2016**

UTILISATION D'UNE SOLUTION GPS POUR LE DÉSHERBAGE DES VOIES FERRÉES

G. DOYEMET ⁽¹⁾, R. ROBERT ⁽²⁾

⁽¹⁾ SNCF Réseau, Direction Projet Système Ingénierie, Division Environnement, 6 av François Mitterrand, 93574 Plaine Saint Denis Cedex, ext.bee-engineering.ghislain.doyemet@sncf.fr

⁽²⁾ SNCF Réseau, Direction Maintenance et Travaux, Département Voie, 18 rue de Dunkerque, 75 010 Paris, r.robert04@reseau.sncf.fr

RÉSUMÉ

Le désherbage des voies ferrées est nécessaire pour des raisons de sécurité des voyageurs et de pérennité des infrastructures. SNCF Réseau a développé une technologie de GPS embarqués, empruntée à la technologie agricole, pour équiper ses moyens de désherbage (trains désherbeurs et camions). Ces GPS dialoguent via 3G avec le logiciel de production de la Végétation, SIGMA, qui permet de cartographier les réglementations applicables aux traitements par produits phytosanitaires (exemple les Zones Non Traitées, les captages). Ces GPS permettent d'asservir automatiquement le respect de ces zones interdites (rattrapage en cas de défaillance de l'opérateur) et aussi de réduire les zones de recouvrement en coupant automatiquement les tranches (ou section d'épandage) notamment dans les installations complexes (exemple des triages où plusieurs voies peuvent s'intercepter). SNCF gère une flotte de 25 trains régionaux et de 27 camions tous équipés de GPS et connectés à SIGMA. Pour les 6 trains nationaux, les tests d'équipement de ces solutions sont en cours.

Mots-clés : voie ferrée, GPS, train désherbeur, SIGMA, SNCF Réseau.

ABSTRACT

Weed control on railway tracks is necessary for reasons of safety and sustainability of the network. SNCF has developed an embedded GPS technology borrowed from agricultural technology to equip its weeding resources (weeding trains and trucks). These GPS interact via 3G with vegetation GIS, SIGMA, which allows mapping specific regulations on treatment with pesticides (eg Untreated area, drinking water). These GPS can automatically ensure respect for these prohibited areas (if the operator fails) and also reduce the overlap areas by automatically cutting spray especially in complex installations. SNCF operates a fleet of 25 regional trains and 27 trucks all equipped with GPS and connected to SIGMA. For the 6 national trains, equipment tests of these solutions are underway.

INTRODUCTION

La nécessité de voies et de pistes sans végétation est commune à l'ensemble des chemins de fer internationaux notamment pour des raisons de sécurité des circulations. En effet, ce « zéro végétal » permet :

- de maintenir un bon drainage nécessaire à la bonne tenue de la géométrie de la voie et donc à terme sa pérennité,
- de garantir la surveillance des constituants de la voie que cette surveillance soit automatisée ou réalisée par les agents,
- de conserver l'isolement électrique et donc le bon fonctionnement de la signalisation,
- de dégager une bonne visibilité des signaux au sol,
- d'éviter les problèmes d'adhérence des trains (patinage à l'accélération ou diminution de l'efficacité des freinages),
- de ne pas entraver les installations mécaniques de commande des aiguilles,
- de permettre l'accès des secours et l'évacuation des trains en détresse,
- d'assurer la circulation des personnels de maintenance dans des conditions optimales de sécurité, ainsi que celle des conducteurs lors des visites du matériel (trains en détresse),
- de limiter les risques d'incendie.

Figure 1 : accès, secours, incendie, surveillance des constituants font partie des nécessités du désherbage des voies

Access, emergency, fire, monitoring are weeding requirements.



Pour arriver à cet objectif, l'ensemble des gestionnaires d'infrastructure ferroviaire internationaux utilise des produits phytosanitaires par pulvérisation, majoritairement grâce à des moyens enraillés tel que des trains désherbeurs. SNCF Réseau possède son propre parc de moyens de désherbage. Il est composé de :

- 6 Trains Désherbeurs à Grand Rendement (TDGR) effectuant le désherbage des voies principales,
- 25 Trains Désherbeurs Régionaux (TDR) traitant les voies secondaires et les voies de services,
- 27 Camions permettant de traiter les parcelles auxquelles les trains ne peuvent pas accéder.

La protection de la ressource en eau mise en place depuis 2006 (loi sur l'eau et les milieux aquatiques) a amené SNCF Réseau à réfléchir à une solution permettant de sécuriser les coupures de traitement. Effectivement le réseau ferré national est une infrastructure linéaire et près de 400 km de captages et 400 km de Zones de Non Traitement (ZNT) croisent une ligne du réseau, ceci amenant chaque année à plus de 40 000 commandes d'ouverture et de fermeture de pulvérisation.

Figure 2 : train désherbeur à grands rendements
National train (high efficiency train)



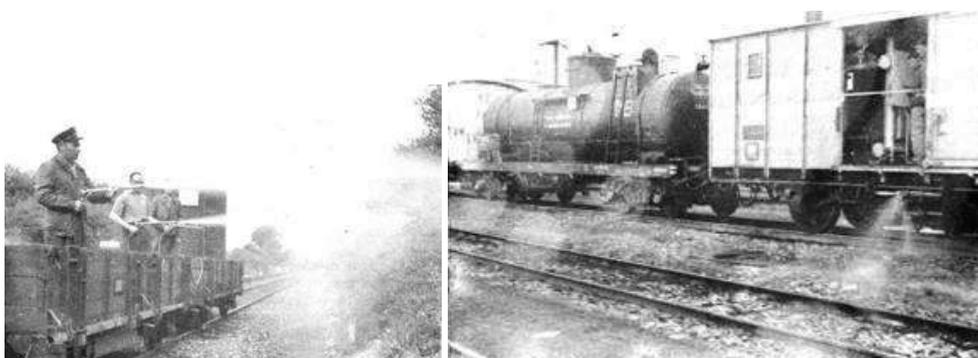
MATÉRIEL et MÉTHODES

Matériel

A l'origine, le désherbage du réseau ferré national fut effectué manuellement, puis il y eut des essais de désherbage mécanique et chimique entre 1923 et 1925. Le procédé mécanique coûteux, lent et dangereux pour le personnel fut abandonné au profit du procédé par traitements avec des produits phytosanitaires. Ce procédé fut généralisé du fait de son efficacité, de sa rapidité, de son moindre coût et de la simplification du travail du personnel. Depuis cette date, divers traitements se sont succédés ou sont utilisés concurremment, en alternance pour éviter les inversions de flore. Le chlorate de sodium a été utilisé seul de 1925 à 1958, puis pour limiter les dangers d'incendie, en association avec des désherbants de synthèse. Les désherbants de synthèse sont seuls utilisés depuis 1978. De nos jours seuls les désherbants totaux ayant une Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) délivrée par le ministère de l'agriculture et/ou l'ANSES pour un usage en zone non agricole et avec une mention utilisable en voies ferrées sont utilisés. Les produits sont utilisés à des dosages déterminés par SNCF Réseau suite à la mise en œuvre d'essais dans la partie piste. Ces dosages sont inférieurs aux dosages homologués par l'AMM pour la plupart des produits.

Les premiers trains désherbeurs à grand rendement sont apparus en 1951 ainsi que les premiers « groupe locaux » de désherbage. Les trains comportaient un dispositif de préparation de la solution herbicide à appliquer, à partir de chlorate de soude livré sous forme de sel. La nécessité d'une nouvelle préparation de solution limitait le rayon d'action à 120km.

Figure 3 : groupes locaux de désherbage et trains désherbeurs (vers 1950)
Local and weeding train (1950)



En 1970 la deuxième génération de matériel fut composée de TDGR neufs et des premières Désherbeuses Unifiées (DU, futur TDR) en remplacement des « groupes locaux ». Les TDGR pouvaient traiter à toutes les vitesses de 0 à 60 km/h. La préparation des solutions herbicides était automatisée. Les TDGR avaient la possibilité d'appliquer deux désherbants simultanément tout en réglant le dosage en cours de marche. Le linéaire de voies traitées pouvait atteindre 500km. Les DU avaient, quant à elles, trois vitesses de traitement prédéterminées (10, 20 et 40 km/h). Les pompes travaillaient à débit constant pour chacune des vitesses choisies. Les DU étaient équipées d'un pupitre de commande comportant 5 leviers agissant sur les jets suivant la répartition géographique de ceux-ci au sol. Les DU pouvaient traiter jusqu'à 60 km de voie simple.

En 1985, les matériels ont été modernisés. Les DU avaient un choix plus important de vitesses (10, 15, 20, 25, 30, 35 km/h), et une amélioration du dosage eau/produit en fonction de la vitesse. Les commandes à leviers ont été remplacées par des vannes pneumatiques. En parallèle, les TDGR pouvaient désormais utiliser trois produits simultanément et changer de produits instantanément. Le mélange était réalisé en continu. Ces progrès se sont avérés possibles par l'utilisation de débitmètres électroniques.

De nos jours, et suite à des modernisations successives, les TDGR peuvent traiter jusqu'à 70 km/h, un automate programmable gère le dosage qui est proportionnel à la vitesse et à la largeur traitée. Le train a la possibilité de mettre trois produits avec des dosages différenciés entre la partie piste et la partie voie. Les produits sont transférés sans manipulation, la traçabilité est automatisée.

Les TDR, bien que plus simples dans leur fonctionnement, ont les mêmes caractéristiques avec une injection directe de produits, un dosage proportionnel à la vitesse et à la largeur traitée géré par électronique mais, à l'origine, une vitesse maximum de 45 km/h (maintenant limitée à 30km/h) et la possibilité d'utiliser deux produits.

La dernière évolution en date des matériels de traitement a été la mise en place d'une technologie issue du monde agricole. En effet l'équipe SNCF de la région de Rouen a testé pour la première fois en 2012 l'équipement de leur propre TDR avec un système de guidage par satellite (GPS). Ce GPS permet de mieux cibler les zones à traiter, d'avoir une traçabilité précise et cartographique et de prendre le relais en cas de défaillance de l'opérateur sur la coupure des traitements dans les zones interdites.

Après la deuxième année d'utilisation, les GPS ont évolué vers un langage plus adapté au ferroviaire, il n'était donc plus question de « champs » mais de « travaux ».

Figure 4 : GPS utilisé dans les trains

GPS use in trains



Ce GPS professionnel issu du monde agricole américain dialogue par 3G avec le système d'informations géographiques de maîtrise de la végétation (SIGMA) de SNCF Réseau. SIGMA permet de cartographier les réglementations applicables à partir de données vectorisées sur tout le territoire national. Par exemple, les zones non traitées (au sens de l'arrêté du 12 septembre 2006) sont répertoriées dans SIGMA. Afin d'avoir une donnée géographique vectorisée, SNCF utilise le module hydrographique de la base de données TOPO de l'Institut Géographique National. Cette base de données contient une description vectorielle des éléments du territoire et notamment du réseau hydrographique (les cours d'eau, les surfaces d'eau...), de précision métrique, exploitable à des échelles allant du 1 : 5 000 au 1 : 50 000.

Les caractéristiques du GPS utilisé sont :

- un écran couleur tactile de 30,7cm,
- deux récepteurs GPS/GNSS (Global Navigation Satellite System),
- gestion de débit et de tronçons,
- correction CenterPoint® RTX, précision de 3,8cm et initialisation < 5 min (Europe).

Méthodes

Deux types de tests ont été réalisés.

Figure 5 : zone de test avec du colorant bleu.

Test area with blue dye



Le premier consiste à vérifier la bonne prise en compte des coupures de traitement par le GPS en cas de défaillance de l'opérateur. Pour cela, des ZNT fictives sont créées et chargées sur le GPS à bord du train désherbeur. Le train désherbeur applique ensuite en conditions réelles un colorant bleu permettant de repérer visuellement sur site les coupures de traitement. Les coordonnées GPS des coupures sur site ont été relevées et comparées à celles implémentées dans le GPS.

Le deuxième test consiste en une comparaison des surfaces traitées avec et sans système d'anti-recouvrement du GPS dans un endroit complexe du réseau ferroviaire : une tête de faisceau de triage (endroit de convergence de plusieurs voies). Cette comparaison est réalisée grâce à une requête spatiale sous SIG (Système d'Information Géographique) permettant

ainsi de comparer les surfaces traitées en 2012 avec la traçabilité GPS sans système d'anti-recouvrement avec les surfaces traitées en 2013 avec le système d'anti-recouvrement. Ce recouvrement est lié au chevauchement des jets lors du passage sur les voies contiguës. Ces traitements sont souvent réalisés sur plusieurs jours ne permettant pas ainsi aux opérateurs de pouvoir repérer l'endroit où les traitements ont déjà été réalisés et fermer les jets de pulvérisation.

RÉSULTATS

Test 1 : prise en compte des coupures de traitement

L'objectif du test est de vérifier les coupures de traitement au droit des ZNT. Une partie des résultats est présentée ci-après. Afin de faciliter la lecture de ces résultats, il n'est présenté que les moyennes

et les écarts types des valeurs de décalage à l'entrée et à la sortie de la ZNT pour le TDGR. Les tests ont été réalisés à plusieurs vitesses et dans les deux sens de circulation.

Tableau I : Moyennes et écarts types des valeurs de décalage de coupure à l'entrée de la ZNT et de reprise de traitement à la sortie de la ZNT

Average and standard deviations of the cut-off values

Vitesse (km/h)	Moyenne « Entrée » (m)	Ecart type « Entrée »	Moyenne « Sortie » (m)	Ecart type « Sortie »
5	0,35	0,43	0,77	0,42
10	0,57	0,41	0,74	0,44
20	1,03	0,87	1,33	0,5
30	0,55	0,45	0,47	0,54
60	1,35	0,98	0,72	0,69
70	1,25	0,84	1,03	0,9

Deuxième type de test

Le deuxième type de test est réalisé dans une tête de faisceau de triage.

Figure 6 : photo aérienne de la tête de faisceau de triage utilisée pour le deuxième test.

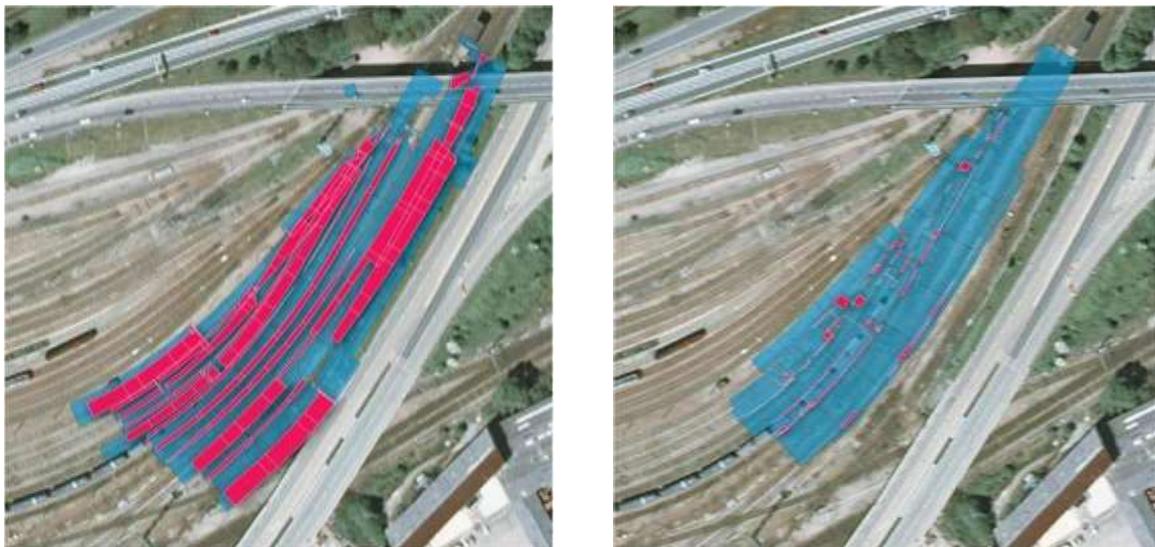
Photo of the area used in second test



Le résultat du traitement d'une tête de faisceau de triage en 2012 sans système d'anti-recouvrement a donné une surface traitée de 12 500 m² dont 7 200 m² ayant reçu un traitement deux fois (zone de recouvrement). En 2013 avec le système d'anti-recouvrement, le résultat de la surface traitée de la même tête de faisceau de triage a donné une surface de 6 500 m² dont 500 m² ayant reçu un traitement deux fois. Dans le premier cas, la surface recouverte est supérieure à 57% alors que dans le second cas, cette même surface est inférieure à 8%.

Figure 7 : Résultat du traitement en 2012 (à gauche) et en 2013 (à droite), en bleu les surfaces totales traitées et en rose, les surfaces de recouvrement.

Treatment in 2012 (left) and 2013 (right). In pink, the area covered twice. In blue total treated area.



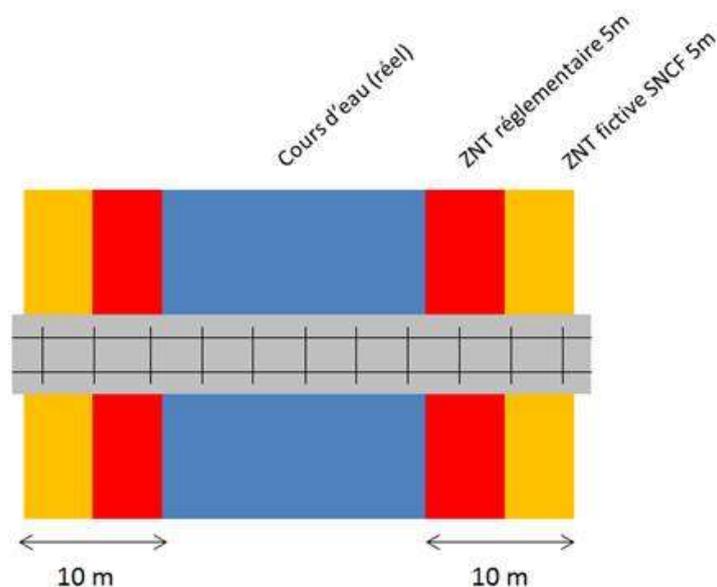
DISCUSSION

Les résultats du test de coupure (test n°1) permettent de montrer qu'il y a un décalage constaté entre la ZNT et la coupure effective des jets sur le terrain. La moyenne de cet écart est inférieure à 2m pour l'ensemble des vitesses. L'écart-type faible montre que la dispersion autour de la moyenne est faible, donc que les valeurs de décalage sont semblables et très proches. Aucune valeur aberrante n'est constatée.

Afin que cet écart ne soit pas préjudiciable à la protection de l'environnement, SNCF ajoute une ZNT fictive de 5 m systématiquement à chaque ZNT réglementaire. Les produits utilisés par SNCF ont tous une ZNT de 5m. Cette ZNT fictive est directement incorporée au logiciel SIGMA.

Figure 8 : schéma de principe d'ajout des ZNT fictives (en jaune)

Scheme of additional no spraying area



Le test du système d'anti-recouvrement (test n°2) montre des résultats très intéressants : une diminution de près de 50% des recouvrements et donc de 50% de l'utilisation d'intrants localement. Le risque de pollution est donc largement diminué. Dans la littérature, un article de Barthe *et Al* (2015) sur les GPS embarqués sur machines agricoles donne une économie de 5% de la solution épanchée qui varie en fonction du parcellaire. Effectivement plus le parcellaire est complexe (petite surface avec beaucoup d'obstacles) plus l'économie sera grande.

Figure 10 : exemple de zone de convergence de voies

Area with numerous tracks



Les zones ferroviaires de tête de faisceau font partie des zones les plus complexes à traiter. Effectivement de nombreuses voies convergent vers le même point avec de multiples aiguillages. La présence de végétation nuit fortement à la manipulation des appareils. Au-delà de la simple nuisance, les ligneux peuvent bloquer le fonctionnement de ces appareils complexes et ainsi amener à un déraillement.

Le traitement de ces zones est un facteur de stress pour l'opérateur. Ici, « le manque » est vite problématique et le surdosage est une mauvaise pratique. Au-delà de l'économie d'intrants, le GPS apporte lors du traitement une certaine «sérénité » aux opérateurs qu'il pourrait être intéressant de mesurer.

CONCLUSION

A l'instar de l'agriculture de précision, l'utilisation du GPS professionnel a permis un saut technologique pour le désherbage des voies ferrées. Cependant le prototype de TDGR équipé d'un GPS montre quelques limites à l'usage d'une technologie agricole : les trains nationaux, pouvant parcourir plusieurs centaines de km par jour, ont besoin de charger de nombreuses données pour une journée de traitement. La capacité de stockage du GPS s'avère limitée. Pour pallier à ce problème, SNCF étudie une possibilité de découpage cartographique du réseau compatible avec le parcours des trains désherbeurs ou la possibilité d'augmentation de l'espace de stockage en lien avec le fournisseur des GPS.

En complément, les jeux de données récoltés pendant les campagnes de traitement ont permis à SNCF de mettre au point un outil cartographique qui permet de suivre la production. Cet outil permet une représentation simple et sous forme de carte de différents indicateurs pertinents tel que le suivi des noms de produits. L'utilisation des GPS est donc le premier pas de l'utilisation du « Data Management » pour la gestion de la végétation sur le réseau ferré national.

BIBLIOGRAPHIE

Barthe N., Munoz L., Gavaland A., 2014. Les GPS embarqués sur les machines agricoles. INRA.

Corset M., 1925. Désherbage des voies ferrées.

Plet M., Couderc B., Hego G., 1974. Les nouveaux matériels de désherbage des voies. Revue générale des chemins de fer.

Porcheron M., Chavaudret G., 1986. Le désherbage des voies : évolution des traitements et des matériels. Revue générale des chemins de fer.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

FLORE PROTÉGÉE ET GESTION DIFFÉRENCIÉE DES BORDS DE ROUTE

J. GARCIA ⁽¹⁾, J. CAMBECEDES ⁽²⁾, A. LATTAGNANT ⁽³⁾ et E. CONSTENSOU ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées – Antenne de Caylus –
Maison du patrimoine – 82160 Caylus – France – jerome.garcia@cbnmpm.fr

⁽²⁾ Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées - Vallon de Salut - BP 70315 -
65203 Bagnères de Bigorre Cedex – France – jocelyne.cambedes@cbnmpm.fr

⁽³⁾ Conseil Départemental de la Haute-Garonne / DVI-STER - 1 Boulevard de la Marquette - 31090
Toulouse – France - aurelie.lattagnant@cd31.fr

⁽⁴⁾ Conseil Départemental de la Haute-Garonne / DVI-STER - 1 Boulevard de la Marquette - 31090
Toulouse – erick.constensou@cd31.fr

RÉSUMÉ

En périphérie toulousaine, certains bords de route abritent encore des populations d'espèces protégées. Dès 2006, le Conseil départemental de la Haute-Garonne s'est appuyé sur le Conservatoire botanique pour mieux les identifier et pour les intégrer dans leur planning d'interventions. En retour, les nouveaux projets qui concernent ces dépendances vertes sont signalés au Conservatoire botanique afin que ces populations soient considérées le plus en amont possible. Entre sensibilisation, préconisations et suivis des populations préservées, cette gestion différenciée s'est généralisée à l'ensemble des bords de route en s'appuyant sur des équipes d'agents de la voirie dynamiques et attentifs.

Mots-clés : Flore protégée / gestion différenciée / bord de route / aménagement.

ABSTRACT

PROTECTED FLORA AND DIFFERENTIATED MANAGEMENT OF ROADSIDE

On the outskirts of Toulouse, populations of protected flora still grow on some roadsides. In 2006, the Conseil départemental of Haute-Garonne relied on the Conservatoire botanique to better identify and integrate them into their schedule of interventions. In return, new projects concerning these green areas are reported to the Conservatoire botanique so that these populations are considered as early as possible. Thanks to awareness, recommendations and monitoring of preserved populations, this differentiated management has spread to all roadside based on teams of dynamic and responsive officers from the road.

Keywords: Protected flora / differentiated management / roadside / development.

INTRODUCTION

Dans le cadre de sa mission de conservation de la flore sauvage, le Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées met en œuvre un programme d'actions de conservation de populations menacées de plantes à statut en identifiant les menaces portant sur les stations, informant les acteurs concernés et recherchant avec eux des solutions de gestion adaptées pour les conserver.

En 2006, le Conseil départemental de la Haute-Garonne sollicite le Conservatoire botanique pour mieux connaître les éventuelles localisations de plantes protégées situées en bord de routes départementales afin de les prendre en compte dans l'élaboration de ses pratiques d'entretien. Un bilan des connaissances de répartition et d'état de conservation des populations d'espèces menacées situées en bord de route a ainsi été réalisé en partenariat avec l'association Nature Midi-Pyrénées.

Une information sur ces plantes a été transmise à la Direction de la voirie et des infrastructures (DVI) du Conseil départemental, des zones de gestion différenciées ont été définies et des préconisations précises ont été établies, de façon concertée, avec chaque pôle routier. En retour, le Conseil départemental s'est engagé auprès du Conservatoire botanique à indiquer le plus tôt possible, tout aménagement qui serait préjudiciable aux espèces protégées signalées.

Les principaux objectifs opérationnels de la démarche ont été arrêtés dans le cadre d'une convention de partenariat établie en 2013.

CONTEXTE

PRESENTATION DES STRUCTURES ET DES ACTIONS MENEES

Le Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées (CBNPMP)

En application de l'article L.414-10 du Code de l'environnement, le Conservatoire botanique est une personne morale publique, sans but lucratif, agréée par l'État (arrêté ministériel du 22 août 2008 publié au Journal officiel du 12 septembre 2008), qui exerce une mission de service public.

Il contribue, dans le respect des politiques conduites par l'État, les collectivités territoriales ou leurs groupements, dans la région Midi-Pyrénées et dans la montagne des Pyrénées-Atlantiques, à la connaissance et à la conservation de la nature dans les domaines de la flore sauvage et des habitats naturels et semi-naturels. Il participe à l'élaboration et à la mise en œuvre de l'inventaire du patrimoine naturel et procède à l'identification et à la conservation des éléments rares et menacés. Il prête son concours scientifique et technique à l'État, aux établissements publics, aux collectivités territoriales ainsi qu'aux opérateurs qu'ils ont mandatés. Il informe et sensibilise le public.

Dans le cadre du partenariat, il assure chaque année :

- la réalisation de suivis de populations de plantes protégées et le bilan des résultats ;
- la validation d'éventuelles nouvelles stations de plantes protégées et l'information des agents ;
- la fourniture au Conseil départemental d'une cartographie actualisée des stations de plantes protégées situées en bord de routes départementales de Haute-Garonne ;
- l'appui technique au Conseil départemental pour garantir une bonne prise en compte des stations de plantes protégées avant travaux.

Le Conseil départemental de la Haute Garonne - Direction de la Voirie et des Infrastructures

La Direction de la Voirie et des Infrastructures (DVI) du Conseil départemental a en charge un réseau routier départemental dense, représentant un linéaire de près de 6700 km. Elle est structurée en quinze pôles routiers, qui ont pour mission d'entretenir les routes départementales de leur secteur géographique et leurs abords. La DVI disposant de son propre parc matériel, les opérations de fauchage sont réalisées par des agents du parc, à la demande et sous contrôle des pôles routiers.

Depuis de nombreuses années, le Conseil départemental est résolument engagé pour promouvoir et mettre en œuvre des techniques routières répondant à des critères de développement durable. Il a également été soucieux, de la prise en compte de l'environnement et de la préservation de la biodiversité dans le cadre de la gestion et de l'entretien de son réseau routier qui constitue le 4^e réseau départemental de France.

Dans le cadre du partenariat, le Conseil départemental a en charge :

- la coordination des interventions des agents ;
- l'accompagnement, si nécessaire, du Conservatoire botanique pour la réalisation des suivis de plantes protégées ;
- l'intégration des nouvelles données de stations de plantes protégées aux plans de fauche ;
- la mise en œuvre des préconisations de gestion ;
- le signalement précoce de menaces liées à des projets de travaux.

Le Conservatoire botanique et le Conseil départemental travaillent conjointement à :

- l'actualisation des zones de gestion différenciées ;
- l'élaboration de préconisations de gestion pour les nouvelles stations identifiées ;
- la rédaction de textes de communication de portée générale.

RESULTATS

En Haute-Garonne, 105 sites en bord de voirie départementale sont concernés par la présence d'espèces protégées. Ce chiffre ne considère pas ceux en bords de routes communales et de chemins. Plus de 40 routes départementales abritent au moins une à deux espèces de flore remarquable parmi les 11 recensées à ce jour sur 38 communes. La responsabilité du Conseil départemental de Haute-Garonne est donc forte.

EN BORD DE ROUTE, UNE VEGETATION MAITRISEE

Caractéristiques des dépendances routières vertes

Un bord de route assure des services précieux dont le plus évident est celui de récupérer, filtrer et canaliser les eaux de pluie provenant de la chaussée. La végétation du bord de route contribue à ralentir l'écoulement de l'eau contrairement à un bord de voirie bétonné ou busé.

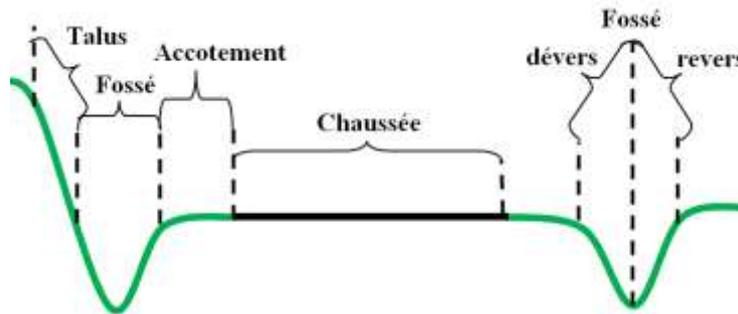
Un autre intérêt vient de leur organisation en réseau. Les bords de route constituent en effet des espaces de refuge et d'échanges pour des espèces de divers milieux (Burel, 1991). Ils assurent une connexion entre prairies, bois, friches, mares et ruisseaux. Ils sont des corridors susceptibles de relier des réservoirs de biodiversité, bien que la chaussée représente un véritable obstacle au franchissement pour certaines espèces.

Ces zones vertes sont cependant aussi des voies de propagation de plantes plus problématiques reconnues comme étant exotiques envahissantes : renouées, sorgho d'Alep, séneçon du Cap...

Physionomie et gestion conventionnelle d'un bord de route départementale

Vu de profil, un bord de route s'organise généralement en trois zones : un accotement plus ou moins large, un fossé au fond duquel l'eau s'écoule et parfois un talus. Un fossé présente deux pentes : le dévers, qui prolonge l'accotement, et le revers, qui lui fait face (Figure 1).

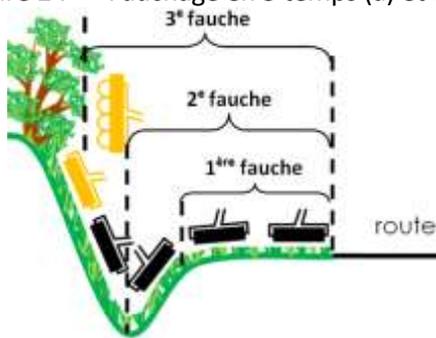
Figure 1 : Organisation et terminologie d'un bord de route vu de profil.



La végétation qui s'y développe, nécessite un entretien spécifique et régulier pour qu'il reste fonctionnel. La gestion actuellement suivie par le Conseil départemental consiste à faucher avec une épareuse, la végétation sur tout un linéaire, à 15 cm de haut, en deux ou trois passages dans l'année, selon la croissance des plantes et la zone du bord de route.

La première fauche se déroule généralement en mai et concerne surtout l'accotement, la deuxième a lieu en juin/juillet sur l'accotement et le dévers du fossé, enfin, la troisième s'opère entre octobre et janvier, sur accotement, fossé et éventuellement le bas du talus (Figure 2). Depuis quelques années, le Conseil départemental a modifié ses pratiques de gestion des hauts de talus, haies, lisières de bois, bords de prairie... qui accompagnent et prolongent les fossés de bord de route, mais sur le domaine privé. Ces espaces ne sont plus aussi régulièrement ou systématiquement fauchés ou taillés.

Figure 2 : Fauchage en 3 temps (a) et épareuse sécurisée en action sur accotement (b).



(a)



(b)

D'autres fauches ont lieu sur les bords de route où la sécurité l'exige, pour une meilleure visibilité de la signalisation et dans les virages et les intersections.

LA GESTION DIFFERENCIEE DES BORDS DE ROUTE

Les bases d'une gestion originale

La gestion différenciée des dépendances vertes consiste à entretenir différemment la végétation du bord de route dans l'espace et dans le temps. Concrètement, certaines portions de linéaires seront spécifiquement fauchées à différentes périodes de l'année selon les enjeux floristiques identifiés sur le linéaire. Par rapport au reste du réseau routier, cette gestion est une nouveauté.

Cette gestion particulière prend en effet en considération :

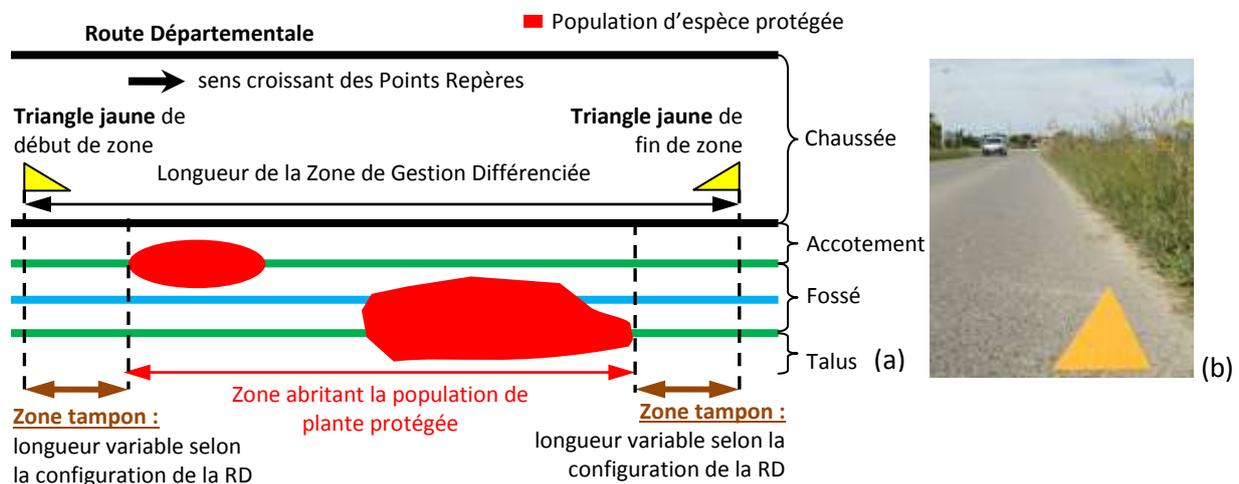
- le cycle biologique des espèces protégées : période de végétation, de floraison, de fructification et de dissémination des graines ;
- la position des plantes le long du linéaire et sur le profil du bord de route ;
- les contraintes de sécurité ;
- les moyens matériels et humains disponibles.

Il a fallu concilier ces différentes approches pour établir des préconisations d'entretien. Validées avec les agents de la voirie, ces préconisations sont intégrées au plan d'intervention de fauchage (PIF), outil qui leur sert de référence. Ces préconisations priorisent avant les plantes, la sécurité des usagers de la route. Elles permettent aussi à la flore protégée de disséminer ses graines ; car la fauche ne s'opère qu'une fois cette dissémination passée.

Matérialisation sur le terrain

Pour identifier les populations de plantes protégées, une zone de gestion différenciée (ZGD) est établie. Elle comprend un espace accueillant un groupe ou plusieurs groupes de plantes parfois disjoints, lui-même encadré par deux zones sans plante (zones tampon). Ces zones tampon garantissent une éventuelle marge d'extension aux plantes et une marge de manœuvre au conducteur d'épaveuse en cas « d'oubli ». La ZGD est matérialisée au sol au moyen de triangles jaunes collés en bord de chaussée (du côté où se trouve l'espèce protégée) et pointant vers l'intérieur de la zone (Figure 3). Ces triangles, identifiables par les agents de la voirie, rappelle la proximité d'une population d'espèce protégée.

Figure 3 : Vue du dessus d'une zone de gestion différenciée (a) et de sa signalisation (b).



La pose des triangles implique généralement un agent de la voirie. Sa connaissance de la gestion du bord de route permet de savoir s'il faut inclure dans une même ZGD, un ou plusieurs groupes de plantes espacés de quelques mètres.

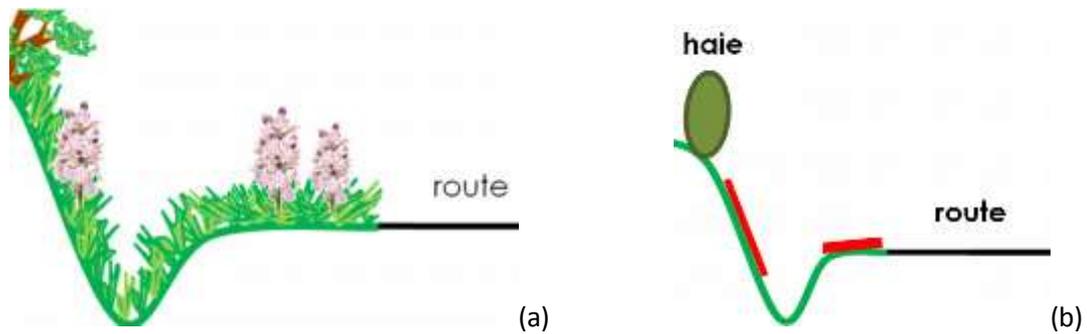
Près de 50 km de bords de routes départementales sont en ZGD et certains secteurs routiers sont plus concernés que d'autres par cette gestion.

Retranscription des informations

L'emplacement des triangles jaunes est relevé par la mesure des points repères (système de repérage le long des routes, équivalent aux bornes kilométriques) et de leur abscisse en début et fin de ZGD, et du côté droit ou gauche en suivant le sens des PR croissants. Ces informations sont ensuite saisies dans une base de données accessible aux secteurs routiers. Les agents connaissent ainsi les plantes protégées qui les concernent et leur localisation ; ce qui leur permet de bien préparer leur chantier de fauche.

Afin de prendre en compte également les plantes selon le profil du fossé, le Conservatoire botanique établit à l'attention de chaque secteur routier et pour chaque ZGD, un catalogue qui décrit où se positionnent les plantes : accotement et/ou fossé et/ou talus (Figure 4). Il indique également au cas par cas à quelle période et si la fauche doit être réalisée.

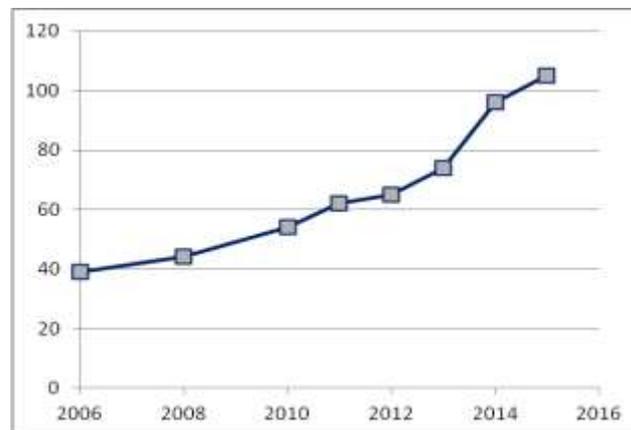
Figure 4 : Profils d'une ZGD théorique (a) et retranscrite pour un secteur routier (b)



Sensibiliser et mobiliser les agents

L'appropriation de la démarche par les agents des pôles routiers s'est faite progressivement depuis 2006. Les nouvelles pratiques ont été accompagnées pour intégrer les contraintes du terrain et répondre aux attentes. Des réunions, des bilans et des appuis techniques sont régulièrement organisés. Des populations sont suivies pour ajuster la fauche à la dynamique des populations. Le travail de suivi et l'implication des agents permettent aussi de recenser de nouvelles populations. D'une quarantaine en 2006, 105 sont aujourd'hui connues et d'autres sont probablement encore à découvrir (Figure 5). Leur nombre a augmenté suite à des recherches ciblées, à l'intérêt et à la reconnaissance des espèces par des agents informés et à une fauche extensive (plus tardive et à 15 cm du sol) qui permet à certaines espèces de fleurir, et donc d'être plus visibles.

Figure 5 : Evolution du nombre de nouvelles populations découvertes.



UN FAUCHAGE ORGANISE POUR CHAQUE ESPECES PROTEGEES

Parmi les 11 espèces concernées, 9 sont protégées et présentées ci-dessous avec la gestion différenciée qui s'y rattache ; le Lis des Pyrénées n'est pas protégé en Haute-Garonne et l'Anémone couronnée, espèce présente également dans un parc à proximité, suggère une origine non spontanée. Elles intègrent toutefois le programme pour leur caractère remarquable et l'intérêt que le secteur routier concerné leur porte.

La renoncule à feuilles d'Ophioglosse (Protection nationale)

Espèce annuelle discrète, les jeunes plants nés à l'automne survivent à l'hiver et reprennent leur développement au printemps. Des graines peuvent aussi germer en fin d'hiver. La plante fleurit en mai-juin et produit une multitude de petites fleurs jaune d'or.

Cette renoncule habite les milieux humides en bordure de points d'eau et dans des fossés détrempés temporairement. Ses populations sont souvent continues dans les linéaires de fossés où elles fleurissent et disséminent leurs graines sur le fond et le tiers inférieur. La plante étant annuelle, les secteurs d'observation et les effectifs varient selon les années. La banque de graines est cependant présente sur l'ensemble des linéaires. Cette continuité écologique est indispensable à son maintien.

Pour cette renoncule, le fauchage n'a pas d'incidence en 1^e et 3^e intervention. La 2^e intervention doit éviter le tiers inférieur et le fond du fossé ou être repoussée fin juillet. Par contre, le curage des fossés peut avoir un effet négatif important qui amène actuellement le Conseil départemental et le Conservatoire botanique à une réflexion sur les dispositions à prendre.

La céphalaire de Transylvanie (Protection en Midi-Pyrénées)

Plante annuelle à floraison estivale et automnale, ses fleurs se renouvellent de juillet à octobre et ses fruits sont disséminés jusqu'en novembre.

Cette espèce se rencontre sur quelques accotements et fossés, bords de champs cultivés et friches annuelles, sur sol calcaire et plutôt sec. Sa présence sur le bord de route concerne l'accotement, le contre-talus, talus et fond de fossé. Elle peut se développer abondamment et sans discontinuer sur de longs linéaires.

La 1^e fauche est à éviter ou à limiter sur une seule largeur de rotor, si la plante pousse sur l'accotement. Si la céphalaire est présente sur l'accotement ou le dévers de fossé, la 2^e fauche est à réaliser, si nécessaire, uniquement sur l'accotement et sur une seule largeur de rotor. La 3^e intervention pourra se faire sur la totalité du bord de route en janvier.

La rose de France (Protection nationale)

Vivace arbustive, à port étalé, parfois prostré, ce rosier forme des drageons souterrains permettant l'extension des individus par multiplication végétative. Sa floraison rose vif et odorante a lieu en mai. Elle est suivie d'une production de cynorrhodons rouges orangés visibles en hiver et consommés par les oiseaux ou tombant au printemps.

Cette plante des lisières de bois, haies et talus de bords de routes ou chemins et bois clairs, pousse plutôt sur des sols siliceux. Ses populations occupent de façon discontinue le linéaire de bord de route sur des surfaces souvent réduites. Accotement, dévers, revers de fossé et talus sont les plus concernés par sa présence. Elle est rarement observée en fond de fossé.

Si l'accotement abrite ce rosier, la 1^e intervention est à éviter ou à limiter à un seul passage de rotor. La 2^e fauche suit le même principe que la 1^e intervention si la plante est présente sur l'accotement ou le dévers du fossé. Une année sur deux, la 3^e intervention pourra se faire sur la totalité du bord de route entre septembre et janvier.

L'œillet superbe (Protection nationale)

C'est une plante vivace hémicryptophyte car la partie aérienne disparaît en hiver. Elle forme une touffe de tiges et est capable de marcottage. Sa floraison rose et parfumée a lieu en juillet-août. Elle est suivie d'une production de graines libérées en fin d'été.

Cette espèce fréquente les prairies et bois clairs humides, les lisières des prairies et des bois, les coteaux exposés et les milieux plus ou moins humides de la plaine à l'étage montagnard. Ses populations occupent de façon parfois continue un linéaire de bords de route. Accotement, contre-talus et talus de fossé sont les plus concernés par sa présence. Elle est rarement observée en fond de fossé.

Pour le fauchage, la 1^e intervention n'a pas d'incidence marquée quelque soit la situation de la plante. La 2^e intervention doit être annulée si l'œillet se trouve sur l'accotement ou le dévers de fossé. Enfin, le 3^e passage peut être réalisé en janvier.

L'orchis lacté (Protection en Midi-Pyrénées)

Orchidée trapue à tubercule, c'est une vivace dont les feuilles apparaissent dès novembre. La floraison a lieu à la mi-avril. Ses fleurs en épi court sont souvent d'un blanc de lait, parfois ponctué de rose. La fructification et la dissémination des graines s'opèrent entre mai et juin.

Cette plante affectionne les sols siliceux des prairies maigres de fauche, mais trouve aussi en jardin et en bord de route des conditions propices à sa présence, à condition de ne couper l'herbe qu'en juin. Sur le bord de route, elle se rencontre sur accotement et en partie haute de fossé.

La 1^e intervention est à annuler si la plante a été observée sur l'accotement. La 2^e fauche est à repousser début juillet si possible, si l'orchidée est présente sur l'accotement ou le dévers du fossé. La dernière intervention n'est pas modifiée.

Le lupin à feuilles étroites (Protection en Midi-Pyrénées)

Espèce annuelle assez rare en Midi-Pyrénées, ce lupin produit un long épi de fleurs d'un violet pâle en mai-juin. Ses graines marbrées présentes dans des gousses, sont expulsées une fois sèches début juillet. A l'occasion d'un travail du sol, l'espèce peut apparaître ici où là en bord de route, de culture ou sur friche. Un talus de bord de route récemment créé ou peu stabilisé ou un bord de culture sont propices à l'émergence et au maintien de cette espèce. Les effectifs d'une population auront toutefois tendance à décliner si le sol n'est pas annuellement perturbé.

Eviter la 1^e intervention si l'espèce se développe sur accotement. Privilégier la fauche mi-juillet en 2^e intervention si la plante fleurit et fructifie sur l'accotement ou le dévers du fossé. La 3^e intervention peut être maintenue sans modification.

L'anogramme à feuilles minces (Protection en Haute-Garonne, Hautes-Pyrénées et Ariège)

Il s'agit d'une petite fougère annuelle qui affectionne les vieux murs, rochers et talus humides et ombragés plutôt siliceux. En bord de route, elle a été observée sur un vieux muret de pierres d'une commune des Pyrénées.

Il n'y a pas de gestion particulière concernant cette espèce car il n'y a pas de fauchage sur le muret. Il faut cependant tenir compte de la présence de l'espèce en cas de désherbage ou de restauration de l'ouvrage.

L'orchis papillon (Protection en Midi-Pyrénées)

Orchidée terrestre à tubercules, sa floraison d'un violet intense se déroule en mai. Ses graines se disséminent fin juin. Elle occupe certaines prairies de fauche ensoleillées sur sol calcaire et trouve également des conditions favorables en bords de route fauchés tardivement.

Les pieds peuvent y être visibles sur accotement, haut de fossé et talus. Les bords de routes concernés par sa présence sont très localisés.

Les plantes présentes sur l'accotement sont évitées par la 1^e intervention qui est annulée. Le 2^e passage doit être entrepris courant juillet. Il n'y a pas de changement pour la 3^e intervention.

La tulipe sauvage (Protection nationale)

Tulipe à fleur jaune vif visible en mars, elle produit parfois une capsule qui libère fin juin des graines légères orange pâle. Occupant autrefois les vignes et vergers, elle fait partie des plantes « messicoles » vivaces et est aujourd'hui en déclin. Elle trouve sporadiquement en bord de champ et de route une place en sursis. Connue de quelques bords de route en Midi-Pyrénées, elle y occupe accotement, haut de fossés et talus.

Les pieds poussant sur l'accotement entraînent l'annulation du 1^{er} passage. La 2^e intervention est à mener courant juillet. La 3^e fauche n'est pas modifiée.

PREMIERS RETOURS D'EXPERIENCE

Prise en considération des espèces protégées en amont de projet

Un projet qui a une incidence sur un bord de route est porté à la connaissance du Conseil départemental. Si ce bord de route abrite une espèce protégée, il est convenu, dans le cadre du partenariat, qu'il alerte le Conservatoire botanique.

Plusieurs projets d'aménagement en bord de route en Haute-Garonne ont eu des impacts sur des populations de plantes protégées et notamment :

- la création de nouvelles routes et leur raccordement au réseau routier existant : 3 projets - 8 populations de plantes protégées concernées ;
- l'élargissement d'une route : 1 projet - 5 populations ;
- l'enterrement de réseaux électriques : 2 projets - 3 populations ;
- le reprofilage du bord de route (accotement ou fossé) : 3 projets - 3 populations ;
- la création de giratoires : 2 projets - 2 populations ;
- la création d'une piste cyclable : 1 projet - 1 population ;
- la création d'un arrêt de bus : 1 projet - 1 population ;
- le busage et la création de trottoir : 1 projet - 1 population détruite.

7 de ces 14 projets ont été signalés au Conservatoire botanique avant travaux et ont fait ou font l'objet d'un dossier de demande de dérogation aux interdictions de destruction d'espèces protégées. Le Conservatoire botanique a été informé tardivement de la réalisation de 2 projets alors que les travaux étaient déjà engagés. Enfin, 5 autres projets n'ont pas été signalés au Conservatoire botanique et ont entraîné des dégradations et la destruction d'une population de plante protégée.

Evolution des populations d'espèces protégées suivies

Excepté un cas de destruction, toutes les populations de bord de route connues depuis 2006 existent encore 10 ans après. Les résultats sont encore en cours d'analyse pour pouvoir qualifier les effets de la gestion différenciée sur l'évolution des populations de plantes protégées. A ces préconisations particulières s'ajoutent également celles précédemment citées et concernant le domaine privé. Sur ces zones non ou moins entretenues, la végétation arbustive occupe progressivement l'espace, ferme le milieu et empêche les strates herbacées inférieures d'accéder à la lumière. Depuis quelques années également, la fauche plus tardive (mai) d'une végétation haute laissée sur place, entraîne localement un enrichissement du sol en matière organique, mais conduit parallèlement à un appauvrissement de la diversité floristique.

Quelques grandes lignes peuvent être présentées. Globalement, les effectifs des populations de :

- renoncules à feuilles d'Ophioglosse : se maintiennent ou déclinent localement, probablement à cause d'une concurrence pour la lumière ;
- céphalaire de Transylvanie : restent stables avec des effectifs généralement très abondants, mais un manque de recul sur ces populations découvertes récemment, ne permet pas encore de qualifier la dynamique ;
- rose de France : soit sont restés stables, soit se sont étendues ;
- œillet superbe : se sont localement étendues ou ont localement diminué en lien avec une concurrence pour la lumière et un surplus de matière organique ;
- orchis lacté : sont restés stables ou ont localement diminué par manque de lumière (enrichissement) ou par enrichissement du sol en matière organique ;
- lupin à feuilles étroites : présentent déclin naturel des populations lié à une stabilisation progressive des talus où ils fleurissent ;
- anogramme à feuilles minces : affiche une stabilité de la population du muret ;
- orchis papillon : sont stables ou en légère progression ;
- tulipe sauvage : ont tendance à décliner en raison d'une concurrence pour la lumière et d'un enrichissement du sol en matière organique.

CONCLUSION

Les actions menées en partenariat avec le Conseil départemental ont permis de sensibiliser les agents de la voirie au sein des pôles routiers et de définir ensemble des préconisations de gestion tenant compte à la fois des exigences biologiques des plantes et des contraintes de sécurité et d'organisation du travail (Cambecèdes et Laborde, 2007). Si ces préconisations ne sont pas toujours optimales pour les plantes protégées, elles posent les bases d'une gestion différenciée qui prend progressivement sa place dans le quotidien des équipes d'entretien de la voirie et demande également une animation soutenue.

La démarche initiée et les premiers résultats font ressortir la nécessité d'organiser des suivis dans le temps et l'espace pour garantir la pérennité des 105 populations d'espèces protégées actuellement décrites. De nouvelles perspectives de gestion doivent également être étudiées qui nécessiteront probablement de revenir sur des pratiques aujourd'hui écartées (entretien de haies ou de lisières) et d'avoir recours à un équipement ou à des techniques permettant d'évacuer localement l'herbe fauchée.

La présence d'espèces protégées en bord de routes départementales a également été un prétexte à la généralisation, sur l'ensemble du réseau routier, de pratiques plus respectueuses de l'environnement : réduction et alternatives aux herbicides (0 phyto), fauche tardive, réduction du nombre de fauche, adaptation des épareuses pour faucher à 15 cm du sol, économie de carburant, moindre usure et entretien du matériel, disponibilité des agents...

Enfin, à partir du 1er janvier 2017, les routes départementales situées sur le territoire de Toulouse Métropole seront gérées par cette communauté urbaine qui en aura donc la responsabilité. De nouveaux interlocuteurs seront donc à sensibiliser pour poursuivre les actions engagées.

BIBLIOGRAPHIE

- Burel F., 1991 - Dynamique d'un paysage, réseaux et flux biologiques. Thèse d'Etat, Rennes.
- Cambecèdes J. et Laborde N., 2007 - Actions pour la préservation de populations de plantes protégées situées en bord de route en Haute-Garonne. Rapport de synthèse. CBN des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, 25p. + annexes.
- Meunier F-D., Gauriat C., Verheyden C. & Jouventin P., 1998 - Végétation des dépendances vertes autoroutières : influences d'un mode de gestion extensif et du milieu traversé. *Rev. Ecol. (terre & vie)* 53 : 97 -121.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**QUELLE DÉMARCHE ET QUELS OUTILS POUR UNE STRATÉGIE DE LUTTE ET DE PRÉVENTION
ADAPTÉE À SON TERRITOIRE ?**

E. KREBS ⁽¹⁾ et J. DAO ⁽²⁾

⁽¹⁾ Conservatoire botanique national méditerranéen de Porquerolles, 34 avenue Gambetta, 83400 Hyères, France, e.krebs@cbnmed.fr

⁽²⁾ Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, vallon du salut, 65203 Bagnères de Bigorre, France, jerome.dao@cbnpmp.fr

RÉSUMÉ

La gestion des plantes exotiques envahissantes concerne tous les acteurs de la filière des JEVI. Il est souvent difficile de définir une stratégie adaptée à son territoire et à ses compétences. Il existe pourtant des listes, des plans d'actions et des experts vers qui se tourner pour identifier les réelles priorités. Des exemples issus des travaux des Conservatoires botaniques nationaux serviront à montrer comment construire une stratégie de lutte et de prévention cohérente et avec quels outils.

Mots-clés : plantes exotiques envahissantes, liste d'espèces, liste de référence, liste opérationnelle, stratégie.

ABSTRACT

WHICH APPROACH AND TOOLS FOR A STRATEGY FOR FIGHTING AND PREVENTION ADAPTED TO ITS TERRITORY?

The management of invasive alien plants involves all JEVI stakeholders. It is often difficult to define a strategy adapted to its territory and its skills. There are lists, action plans and experts to turn to identify the real priorities. Examples from the work of the "Conservatoires botaniques nationaux" will show how to build a coherent strategy and with which tools.

Keywords: invasive alien plants, species lists, reference list, operational list, tools.

INTRODUCTION

Il existe différentes listes de plantes exotiques envahissantes. Certaines listes sont le fruit d'un consensus scientifique sur les espèces présentes ou potentielles sur un territoire donné, d'autres sélectionnent des espèces en fonction de leurs impacts pour un type de gestionnaire (impacts écologiques ; impacts pour la gestion des bords de route, des berges de rivières, des ouvrages, des aménagements ; impacts sur la productivité agricole...). Chaque liste est donc conçue à une échelle territoriale donnée et pour des objectifs prédéfinis. Pour construire une stratégie de lutte et de prévention adaptée à son territoire et à ses enjeux il faut apprendre à utiliser les listes pertinentes et ne pas hésiter à s'appuyer sur des relais locaux pour élaborer des objectifs cohérents avec les stratégies locales, nationales et européennes existantes.

I- COMPRENDRE LES LISTES D'ESPÈCES

LES DIFFÉRENTS TYPES DE LISTE

Les listes d'espèces sont la base de travail à l'origine des stratégies relatives aux plantes exotiques envahissantes. Le territoire d'étude (Europe, France, région, local...) doit être défini pour l'élaboration d'une liste. En effet, pour un même taxon, l'indigénat et le degré de naturalisation par exemple peuvent changer en fonction du territoire étudié. Par exemple, *Allium triquetrum* L. est indigène en région méditerranéenne (Noble *et al*, 2015) et naturalisé en Bretagne (Quere & Geslin, 2016). Une liste d'espèces est donc définie pour un territoire donné. La liste des plantes exotiques envahissantes d'une région ne s'applique pas à d'autres régions.

Il existe deux grands types de listes d'espèces.

Les listes de référence regroupent des taxons sélectionnés dans le cadre d'une méthodologie précise s'appuyant sur des critères préalablement définis. Elles résultent d'un travail d'expertise pouvant mobiliser de nombreux acteurs et sont souvent soumises à une validation scientifique. Elles sont valables pour un territoire donné et en l'état des connaissances du moment. Les listes de références sont ainsi révisées régulièrement. Il existe des listes de référence de plantes exotiques envahissantes compilées au niveau mondial, dont celles de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) (ISSG, 2015) et du Global Compendium of Weeds (GCW, 2007). L'Europe du nord a développé l'European Network on Invasive Alien Species (NOBANIS). L'Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes (EPPO) produit une liste valable pour 51 pays d'Europe et du bassin méditerranéen (EPPO, 2016). En France, la liste de référence a été publiée par le Muséum d'histoire naturelle en 2004 (Muller, 2004), et des listes de référence sont réalisées par les Conservatoires botaniques nationaux (CBN) sur leur territoire d'agrément. Les listes de référence servent de socle de travail pour construire une stratégie d'actions à l'échelle du territoire.

Les listes opérationnelles sont destinées à mettre en œuvre une stratégie d'actions. Elles sont souvent issues de la déclinaison d'une liste de référence. La stratégie d'action peut être orientée vers une stratégie d'alerte et de prévention, comme c'est le cas pour l'OEPP (Brunel *et al*, 2010 ;

EPPO, 2012) ou l'Union Européenne¹, dont le but est d'attirer l'attention des États sur certains taxons à distribution limitée pouvant présenter un risque. Le Groupe de travail national Invasions biologiques en milieux aquatiques (GT IBMA) a développé une stratégie de gestion des milieux humides en lien avec un guide pratique (Sarat *et al*, 2015). Des stratégies axées sur le territoire sont développées par de nombreux acteurs : Centres permanents d'initiatives pour l'environnement (CPIE), Parc naturels régionaux (PNR), Direction Interdépartementale des Routes du Sud-Ouest (DIRSO), bassin versant...

Les listes opérationnelles ont pour socle de travail les listes de référence et en extraient les taxons qui correspondent aux objectifs de la stratégie d'actions. Ce sont des outils pour la prévention, la surveillance, la détection précoce, l'intervention rapide et la gestion. Plusieurs listes opérationnelles peuvent découler d'une liste de référence en fonction de ces objectifs. Pour une action préventive, une liste de consensus peut être établie avec ou par les producteurs de végétaux, afin de limiter l'introduction de certaines espèces dans les milieux naturels et semi-naturels (Halford *et al*, 2015 ; VAL'HOR²). Sur les espèces peu présentes ou non présentes sur le territoire pour lesquelles l'enjeu est d'éviter la dispersion, les objectifs seront l'alerte et la détection précoce de nouvelles populations, sur la base d'une liste d'espèces à surveiller (Simpson *et al*, 2009 ; Brunel *et al*, 2010). Pour cibler des priorités de gestion, les espèces peuvent être classées en fonction des impacts économiques, écologiques ou sanitaires qu'elles occasionnent (Nel *et al*, 2004 ; Blackburn *et al*, 2014), ou selon les moyens de gestion disponibles sur le territoire. Selon l'acteur concerné, les listes peuvent identifier les espèces par type de milieu (bord de route, zone humide, forêt...) ou de territoire (tête de bassin, réserve naturelle régionale...). Les adaptations possibles sont nombreuses et spécifiques au domaine d'action des acteurs et aux objectifs visés.

Ces listes opérationnelles servent à hiérarchiser les actions relatives aux plantes exotiques envahissantes pour un acteur donné. Elles permettent de fixer des priorités, par exemple des espèces cibles à rechercher pour la détection précoce, ou territoires prioritaires à surveiller du fait d'un enjeu donné. C'est pourquoi il est particulièrement important que les listes opérationnelles soient établies de façon consensuelle avec l'ensemble des acteurs concernés, à la fois sur l'état des connaissances et la mise en œuvre de la déclinaison. Pour faciliter ce travail, la liste de référence doit être élaborée avec une méthode et des critères bien définis, permettant par la suite de la décliner aisément. De cette façon la liste sera approuvée par les parties prenantes et relayée au sein du réseau concerné par la problématique.

LES CRITÈRES D'ÉLABORATION DES LISTES DE RÉFÉRENCES

Trois paramètres sont toujours pris en compte dans la méthode d'élaboration d'une liste de plantes exotiques envahissantes :

¹ Règlement (UE) No 1143/2014 du Parlement européen et du Conseil du 22 octobre 2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes : <http://ec.europa.eu/environment/nature/invasivealien/>

² Code de conduite professionnel relatif aux plantes exotiques envahissantes en France métropolitaine : <http://www.codeplantesenvahissantes.fr>

- L'indigénat : la définition d'une espèce exotique est relativement homogène au sein de la communauté scientifique travaillant sur les invasions biologiques. Un taxon exotique est défini comme un taxon dont la présence sur un territoire donné est due à une intervention humaine, intentionnelle ou non (Richardson *et al*, 2000 ; Pysek *et al*, 2004 ; Noble *et al*, 2015). Ce critère est la première étape pour l'élaboration d'une liste. Seuls sont pris en compte les taxons exotiques.
- Le degré de naturalisation : un taxon exotique peut être occasionnel (il ne forme pas de population viable et dépend d'introductions répétées pour se maintenir) ou naturalisé (il forme des populations autonomes depuis au moins 10 ans, qui se reproduisent sexuellement ou par voie végétative sans l'aide de l'homme) (Richardson *et al*, 2000 ; Pysek *et al*, 2004). On peut également distinguer les taxons en voie de naturalisation, pour lesquels le recul n'est pas suffisant pour savoir s'il va persister sur le long terme.
- Le caractère envahissant : un taxon envahissant a une dynamique de colonisation rapide du fait de sa reproduction efficace et sa capacité à se propager rapidement. Cette définition, acceptée par une large partie de la communauté scientifique au niveau international, ne prend pas en compte la notion d'impact dans les milieux colonisés ni la nature de ces milieux (Richardson *et al*, 2000 ; Pysek *et al*, 2004).

Constituer des listes prédictives permet d'identifier les espèces actuellement non envahissantes sur le territoire considéré mais pouvant le devenir, et celles encore non présentes mais présentant un risque d'introduction. Elles sont basées sur une analyse de risque prenant en compte de nombreux critères précis sur la biologie, l'écologie, la répartition, ou encore la propagation, le niveau et le type d'impact dans des contextes écologiques similaires à ceux du territoire étudié, les voies d'entrée et de propagation (Baker *et al*, 2008 ; EPPO, 2011 ; D'hondt *et al*, 2015). Le but étant d'évaluer le risque que le taxon soit envahissant sur le territoire considéré.

LES CRITÈRES D'ÉLABORATION DES LISTES OPÉRATIONNELLES

Une espèce végétale exotique envahissante est une espèce naturalisée ou en voie de naturalisation sur le territoire considéré, qui a une dynamique de colonisation rapide du fait d'une reproduction efficace et qui a la capacité de se propager rapidement sur un large territoire.

L'établissement d'une liste opérationnelle d'espèces exotiques envahissantes doit répondre aux priorités de la stratégie d'actions. Selon les enjeux liés à la stratégie, l'intérêt des parties prenantes et les concepts scientifiques entrant en jeu, les critères utilisés vont varier. Ci-dessous sont listés certains de ces critères :

- Le type de milieux envahi : si l'espèce est présente dans un milieu urbain, naturel, ou dans un espace naturel protégé, le niveau de priorité et le type d'action à réaliser va différer. En milieu urbain, les actions seront plutôt portées sur la communication, la sensibilisation et la prévention. En espace protégé, des actions de gestion seront mises en œuvre pour réduire les impacts sur la biodiversité.
- Le type et niveau de l'impact : une espèce exotique envahissante, du fait de sa dynamique de colonisation rapide et de ses capacités à se propager rapidement forme des populations denses pouvant concurrencer les espèces indigènes et modifier le fonctionnement des

écosystèmes (Sax & Gaines, 2003 ; Hedja *et al*, 2009 ; Vilà *et al*, 2011). Le niveau d'impact sera différent pour chaque situation, certains milieux étant plus sensibles que d'autres aux invasions biologiques, certaines espèces plus vulnérables. De plus, des plantes exotiques envahissantes peuvent nuire à la santé humaine ou à la sécurité, ou avoir un impact négatif sur l'économie (Pimentel, 2000). Selon les impacts causés et leur degré, des priorités peuvent être dégagées.

- La fréquence sur le territoire et l'aire potentielle de dispersion : en règle générale, les actions de gestion sont prioritairement engagées sur les espèces très peu présentes sur le territoire et pouvant encore accroître significativement leur aire de répartition, pour lesquelles une éradication ou un contrôle de la progression peut être efficacement mis en place avec des moyens relativement faibles. En effet, pour une espèce très répandue sur le territoire, seule une gestion de certaines populations où il y a un enjeu particulier, de conservation de la biodiversité par exemple, est envisageable.
- La capacité à enrayer la progression des espèces émergentes ou l'installation des espèces potentielles : certaines de ces espèces seront prioritaires pour des mesures de contrôle ou d'éradication, en fonction l'importance de leurs impacts et de leur dynamique d'expansion, et en fonction des possibilités techniques d'agir avec succès.

DES LISTES RÉGULIÈREMENT MISES À JOUR

Quelle que soit la méthode choisie pour élaborer une liste, la vocation de la liste dépend des critères sur lesquels l'analyse est faite. Ces critères doivent être clairs pour être compréhensible par les acteurs concernés et précis pour que l'analyse puisse être reproductible lorsque que les connaissances évoluent. Une liste sera utilisée et relayée si elle est incontestable. L'établissement d'une liste demande des connaissances pointues sur les taxons et l'état de ces connaissances ainsi que le degré d'expertise de l'auteur influent fortement la composition de la liste. Une base de données sur la répartition de ces taxons permet d'actualiser régulièrement les connaissances, des recherches bibliographiques renseignent sur l'écologie, la biologie et le comportement de l'espèce dans d'autres régions. Mais une connaissance précise du comportement du taxon (reproduction, milieux occupés, dynamique d'envahissement...) sur le territoire reste indispensable pour attribuer un statut aux taxons et l'actualiser.

Souvent, ces listes sont mises à jour pour intégrer les changements du fait de la mise à jour des connaissances sur les espèces ou de l'évolution du caractère envahissant d'un taxon. En effet, le processus d'invasion n'est pas figé mais évolutif, la dynamique de prolifération des espèces végétales exotiques envahissantes pouvant évoluer très rapidement (Richardson *et al*, 2000).

II- IDENTIFIER LES STRATEGIES EXISTANTES

UNE NOUVELLE STRATÉGIE EUROPÉENNE

Des cadres réglementaires et des recommandations relatifs à ces espèces existent en France et en Europe. Le règlement européen n°1143/2014 du 22 octobre 2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes fixe un cadre commun pour les États membres pour la prévention et la gestion. Ce règlement cible

principalement des espèces peu répandues ou risquant d'arriver sur le territoire de l'Union Européenne. Il est basé sur une liste d'espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union Européenne. Le 13 juillet 2016, la Commission européenne a adopté une 1^{ère} liste de 37 espèces qui comprend 14 plantes exotiques envahissantes, dont 9 présentes en France.

UNE STRATÉGIE FRANÇAISE EN CONSTRUCTION

Une stratégie nationale de lutte contre les espèces exotiques envahissantes ayant un impact négatif sur la biodiversité (SNL-EEE) est actuellement en cours d'élaboration. Elle prévoit notamment (1) la constitution d'un réseau de surveillance pour agir dès l'arrivée d'une nouvelle espèce ou la propagation d'une espèce déjà installée ; (2) le renforcement des moyens de prévention de l'introduction d'espèces exotiques envahissantes en élargissant la liste des espèces actuellement réglementées en application de l'article L.411-3 du Code de l'environnement à d'autres espèces ; (3) la mise en place de plans nationaux de lutte contre les espèces exotiques envahissantes. La SNL-EEE permettra la mise en œuvre du règlement européen.

UN CODE DE CONDUITE DE L'INTERPROFESSION HORTICOLE

Parallèlement à ces stratégies, des démarches volontaires fédéralistes ont émergé (Bio Beri *et al*, 2014 ; VAL'HOR). Parmi celles-ci, le code de bonne conduite rédigé par l'interprofession horticole VAL'HOR décrit un ensemble de règles que le signataire s'engage à respecter. Une liste de consensus identifie les espèces à retirer de la vente, et une liste de recommandation fixe des restrictions d'usage pour d'autres taxons. Cette démarche permet d'identifier des espèces dont la plantation est à éviter et de choisir des prestataires sensibilisés à la problématique des plantes exotiques envahissantes.

DES STRATÉGIES LIÉES A DES TERRITOIRES

Au niveau local, des acteurs variés (Conservatoires botaniques nationaux, Conservatoires d'espaces naturels, Parcs naturels régionaux, Syndicats de bassin, Syndicats de rivière, Conseils départementaux, Conseils régionaux, collectivités territoriales, associations...) développent des stratégies pour leur territoire, en priorisant les espèces et/ou les actions à mettre en œuvre sur les plantes exotiques envahissantes. Ces stratégies tiennent compte des spécificités du territoire.

Il faut garder à l'esprit que même si les actions de gestion sont conduites à l'échelle locale, la problématique des plantes exotiques envahissantes s'appréhende à une échelle plus globale, celle de la population. Les actions menées sur une partie de la population doivent être pensées pour être efficaces à l'échelle de la population, quel que soit le but recherché (contrôle de la propagation ou éradication par exemple).

Se rapprocher des structures qui animent déjà des stratégies localement, permet de veiller à la cohérence de ses actions avec les stratégies existantes et à leur pertinence avec le territoire visé.

EXEMPLE DE LA STRATÉGIE EN RÉGION PACA

Pour répondre à certains objectifs de la Stratégie nationale pour la biodiversité (2011-2020) et de la Stratégie globale pour la biodiversité en région PACA, la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) PACA et le Conseil régional PACA ont mandaté les Conservatoires botaniques nationaux alpin et méditerranéen de Porquerolles pour élaborer une stratégie relative aux plantes exotiques envahissantes et un plan d'actions pour cette région. Finalisée en octobre 2014, cette stratégie repose sur un diagnostic biologique et une enquête menée au sein de l'ensemble des acteurs concernés par cette problématique. Elle répond ainsi aux enjeux et aux attentes identifiées par ces acteurs (Terrin *et al*, 2014).

Dans un premier temps, des listes des espèces exotiques envahissantes et potentiellement envahissantes ont été élaborées. Ces différentes listes ont pour but d'aider les gestionnaires à prioriser les actions de gestion. Elles sont définies en fonction :

- du recouvrement de l'espèce dans ses aires de présence ;
- de la fréquence de l'espèce sur le territoire considéré ;
- du caractère envahissant reconnu de l'espèce dans un territoire géographiquement et climatiquement proche ou du risque de prolifération en PACA (selon l'analyse de Weber & Gut, 2004 modifiée).

Les deux premiers critères évaluent la tendance des espèces exotiques à former des populations denses (fort recouvrement) et à proliférer sur le territoire considéré. Le troisième critère évalue le risque qu'une espèce peu présente en région et non envahissante le devienne en région PACA.

Ainsi les différentes catégories des plantes exotiques envahissantes sont les suivantes :

- majeure : espèce assez fréquemment à fréquemment présente sur le territoire et qui a un fort recouvrement dans ses aires de présence ;
- modérée : espèce assez fréquemment à fréquemment présente sur le territoire qui a un recouvrement modéré dans ses aires de présence ;
- émergente : espèce peu fréquente sur le territoire et qui a un fort recouvrement dans ses aires de présence.

Les catégories de plantes exotiques potentiellement envahissantes sont les suivantes :

- alerte : espèce peu fréquente sur le territoire, qui a un recouvrement modéré dans ses aires de présence, et qui est citée comme envahissante ailleurs ou a un risque intermédiaire à élevé de prolifération en PACA ;
- prévention : espèce absente du territoire et qui est citée comme envahissante ailleurs ou a un risque intermédiaire à élevé de prolifération en PACA.

Ensuite, une hiérarchisation des enjeux de gestion en fonction de la catégorie de l'espèce et du type de milieu a été définie. Ainsi, les actions sont prioritaires pour lutter contre:

- les espèces de la catégorie émergente quel que soit le milieu ;
- les espèces de la catégorie alerte uniquement pour les populations envahissantes ;
- les espèces de la catégorie prévention quel que soit le milieu dès que l'espèce est détectée sur le territoire ;
- les espèces des catégories majeure et modérée uniquement pour les secteurs où l'espèce concurrence une espèce rare et les secteurs à enjeux de sécurité ou de santé humaine.

Cette stratégie prend également en compte les spécificités liées au milieu urbain et identifie des axes de travail en fonction du statut de l'espèce et du type de milieu concerné.

Dans le cadre de cette stratégie, la plateforme web www.invmed.fr a été créée par le CBNMed afin de regrouper l'ensemble des informations et outils nécessaires aux gestionnaires et autres acteurs. Elle regroupe les informations contenues dans la stratégie, des fiches de synthèse par espèce (description, biologie, écologie, impacts, méthodes de gestion), les outils de suivi et d'évaluation des opérations de gestion, une cartographie des actions entreprises en région ainsi qu'un module de saisie de données. Cette plateforme a également pour objectif de mettre en relation les acteurs travaillant sur les plantes exotiques envahissantes afin d'échanger plus facilement les informations et retours d'expériences. Ces échanges sont indispensables pour une meilleure coordination et efficacité des actions menées en région.

III- POUR CONSTRUIRE UNE STRATÉGIE COHÉRENTE

Pour mettre en place une stratégie d'actions sur les plantes exotiques envahissantes adaptées à son territoire, il est nécessaire de contacter les structures ayant déjà engagé ce type de démarche. Se rapprocher du Conservatoire botanique national référent permet dans un premier temps de disposer d'une liste de référence à jour des espèces de son territoire.

Afin d'élaborer une stratégie cohérente, plusieurs étapes doivent être respectées, qui sont décrites ci-dessous.

FIXER SES OBJECTIFS

Fixer les objectifs d'une stratégie territoriale permet de sélectionner les outils adaptés (liste et stratégies existantes, méthodes d'évaluation et de suivis) aux buts visés et de mettre en œuvre des actions cohérentes au niveau territorial. Par la suite, une évaluation pourra être faite sur la base de ces objectifs de départ. En fonction des résultats, une éventuelle adaptation pourra être justifiée.

VEILLER À LA COHÉRENCE TERRITORIALE

La cohérence territoriale est indispensable pour agir efficacement contre les plantes exotiques envahissantes. En effet, comme évoqué précédemment, la problématique s'appréhende à une échelle globale afin d'agir efficacement dans la lutte contre ces espèces. Une action mise en œuvre localement doit s'intégrer dans une stratégie territoriale pour mieux cibler les actions et parvenir à des résultats optimaux à une plus large échelle.

Concrètement, il sera nécessaire de définir une stratégie d'action qui sera la déclinaison d'une stratégie territoriale existante. Cette démarche est inévitable et permettra non seulement de justifier les actions auprès des partenaires en montrant que l'on s'inscrit dans une démarche plus globale, mais également d'optimiser les moyens en ciblant les actions prioritaires et celles susceptibles d'être les plus efficaces. Pour cela, il sera nécessaire de se rapprocher des structures ayant développé ces stratégies. En PACA et LRMP, le CBNMed et le CBNPMP sont pilotes sur ces aspects. Ils ont élaboré des stratégies régionales en lien avec les acteurs concernés afin d'identifier les enjeux et attentes liés à de telles stratégies. Ainsi, ces stratégies sont reprises et déclinées au

sein des régions par les gestionnaires d'espaces naturels et urbains sur leur territoire. De plus, les Conservatoires botaniques nationaux mettent à disposition informations et outils pour faciliter la mise en œuvre de cette déclinaison

Si aucune stratégie n'existe sur son territoire, ou bien n'est pas adaptée aux objectifs que l'on s'est fixé, il sera nécessaire de développer sa propre stratégie, en adaptant celle d'autres territoires et/ou en sollicitant une expertise des structures travaillant sur la thématique.

HIÉRARCHISER LES INTERVENTIONS

A partir de la liste des espèces du territoire cible, constituer une base de connaissances par espèce permet de pouvoir hiérarchiser les espèces qui répondent le mieux aux objectifs opérationnels. Pour cela, il convient d'identifier les besoins de connaissances ou d'expertise nécessaires pour y parvenir. Le plus souvent, les connaissances à rechercher par espèce sont les suivantes :

- type de milieux envahis ;
- nature des impacts et des problèmes posés (santé, écologique, économique, propre à l'acteur i.e enjeu de sécurité routière ou de maintien des berges) ;
- efficacité et coût des moyens de lutte ;
- mode de dispersion, dynamique de population ;
- statut de présence à considérer sur le territoire (absente/émergente/installée).

Plusieurs catégories d'espèces peuvent être définies en fonction de ces caractéristiques et des objectifs opérationnels, chacune associée à un degré de priorité.

La hiérarchisation se fait en premier lieu sur les espèces afin de cibler celles qui sont prioritaires pour la gestion. Selon les objectifs fixés au départ, il peut être pertinent de développer une hiérarchisation plus poussée en fonction du type de milieu (espace protégé, milieu naturel, habitat abritant des espèces à enjeux...) et du type d'action (gestion, prévention, communication...). Des précisions seront apportées dans la partie suivante.

ORGANISER LES ACTIONS AUTOUR DES AXES « PRÉVENTION, SURVEILLANCE ET ALERTE, CONTRÔLE, SUIVI ET ADAPTATION »

La lutte contre les plantes exotiques envahissantes implique de prendre en compte l'ensemble des phases du processus d'envahissement, depuis les voies d'entrée sur le territoire jusqu'à la prolifération dans les milieux naturels. On identifie généralement quatre axes principaux (Genovi & Shine, 2004 ; règlement européen ; NNSS, 2016). Selon ses compétences, on s'inscrita différemment dans chacun de ces axes.

Pour chacun de ces axes on peut définir les actions qu'il est possible de mettre en œuvre et les hiérarchiser. Selon la stratégie adoptée, la hiérarchisation peut se faire à plusieurs niveaux : au niveau de la population ou de l'espèce, au niveau du type de milieu, au niveau du type d'action

...etc. L'important est de décliner à son niveau la stratégie existante identifiée pour conserver une cohérence territoriale qui découplera l'efficacité et la portée de ces actions.

Prévention

Cet axe regroupe des mesures variées visant à empêcher la dispersion des espèces et comprend des actions comme les bonnes pratiques de gestion des déchets verts et des terres issues de travaux, les techniques de gestion différenciée, le choix d'espèces à planter en fonction du type de milieu...etc. L'établissement de listes de consensus par la filière horticole aboutit à limiter les introductions à proximité de milieux naturels et les risques de dispersion. Des mesures réglementaires peuvent être prises à l'égard de certaines espèces en ce qui concerne leur diffusion et leur introduction.

Surveillance et alerte

On travaille ici sur la notion de détection et de signalement de nouvelles espèces, de nouvelles populations ou de changement de comportement d'une espèce exotique. L'existence d'un réseau d'acteurs efficace sur un territoire permet la circulation rapide de ces informations et d'agir ainsi rapidement si cela s'avère nécessaire pour prévenir l'installation de nouvelles espèces ou populations. Il faut identifier la personne ou structure ressource ou l'outil à l'aide duquel faire remonter l'information.

L'enjeu est de détecter le plus rapidement possible les nouvelles stations afin d'agir au plus vite. Une action mise en œuvre dès le premier stade d'installation aura plus de chances de réussir et ce à moindre coût. L'information doit circuler rapidement jusqu'à la structure à même de déclencher une opération si cela s'avère nécessaire, sachant que la personne recueillant l'information n'est pas forcément celle qui va réaliser l'opération. Identifier la structure référente sur son territoire est donc indispensable pour accélérer le processus.

A noter que la détection de nouvelles espèces exotiques peut nécessiter des compétences pointues en identification.

Gestion

Les objectifs de gestion doivent être clairement définis (contrôle ou éradication, surface à gérer) afin d'identifier précisément les moyens à mettre en œuvre pour les atteindre, mais aussi dans le but d'être capable d'évaluer le degré de réussite au terme des opérations et, si nécessaire d'adapter les mesures mises en place.

Il peut être pertinent de hiérarchiser les priorités d'intervention. Les priorités peuvent cibler :

- des espèces ou des catégories d'espèces : espèces émergentes encore peu présentes sur le territoire, espèces à enjeux de santé humaine... ;
- des types de milieux : espace protégé, site abritant une espèce rare ou menacée... ;
- des populations : population montrant une dynamique d'envahissement particulièrement importante, population source en amont d'un cours d'eau, nouvelle population isolée des autres stations connue de l'espèce...

Les deux premières catégories visent à limiter les impacts que causent les plantes exotiques envahissantes sur le territoire, alors que la dernière cherche à limiter la dispersion des espèces.

Suivi et adaptation

Le suivi est intimement lié à la gestion. Il permet d'évaluer l'efficacité des méthodes employées et de réadapter la gestion si nécessaire. Réaliser des opérations de gestion sans avoir en amont identifié quel suivi mettre en place pour ces opérations revient à agir à l'aveugle. Le suivi permet d'avoir un retour sur ces opérations et participe à l'amélioration des connaissances sur ces espèces, même si la méthode employée s'avère inefficace (d'autant plus si c'est le cas, un résultat négatif est tout de même un résultat et nous en apprend autant qu'un résultat positif).

Chaque structure amenée à gérer une plante exotique envahissante a des objectifs et des moyens qui lui sont propres. Les Conservatoires botaniques nationaux sont à même de proposer des suivis de population adaptés, qui vont également dépendre de l'espèce, du milieu et des compétences en botanique.

SENSIBILISATION ET COMMUNICATION

En plus de ces quatre axes de travail axés sur la lutte, selon les compétences de la structure et sa portée d'action, des mesures de sensibilisation peuvent être prises pour attirer l'attention du public sur les impacts que peuvent avoir les plantes exotiques envahissantes. Des préconisations d'utilisation et la proposition espèces de substitutions peuvent faire l'objet de démarches ciblées, par exemple sur une espèce, par la réalisation d'un guide, de formations...

Si des chantiers de gestion de plantes exotiques envahissantes sont réalisés, il est particulièrement efficace de faire appel à des bénévoles ou des élèves ou étudiant pour aborder de façon très concrète le sujet. Rien ne vaut une expérience de terrain pour se rendre compte des impacts que peuvent causer certaines espèces, et des moyens importants que demande la lutte contre celles-ci.

En marge de l'ensemble des actions réalisées, il est important de communiquer, d'une part auprès des acteurs et usagers qui sont concernés par la portée des actions pour leur faire comprendre la raison de ces opérations, et d'autre part auprès des autres acteurs travaillant sur les plantes exotiques envahissantes pour leur faire partager les expériences réalisées. Il est primordial que les connaissances acquises sur les espèces circulent au sein du réseau des acteurs pour améliorer l'efficacité des actions mises en place à une échelle plus large.

CONCLUSION

La problématique des plantes exotiques envahissantes est un processus dynamique, où sans cesse les limites évoluent. De nouvelles plantes émergent, d'autres développent un caractère envahissant qu'on ne leur connaissait pas, prennent pied dans des milieux inédits... Demain certaines régresseront peut-être grâce à un ravageur naturel qui ne s'est pas encore déclaré. Nos listes, nos stratégies, nos pratiques et nos connaissances doivent aussi sans cesse évoluer et s'articuler à des échelles différentes. La sensibilisation est plus que nécessaire pour parvenir à prévenir le phénomène collectivement.

RÉFÉRENCES

- Baker R., Black R., Copp G. H., Haysom K. A., Ward N. L. *et al.*, 2008. The UK risk assessment scheme for all non-native species. *In* : Rabitsch W., Essl F., Klingenstein F. *Biological Invasions – from Ecology to Conservation*. NEOBIOTA 7, 46-57.
- Bio Beri F., Adam Y., Beranger C., Voeltzel D., 2014 - *Guide « Espèces invasives sur les sites de carrière : comprendre, connaître et agir »*. UNPG.
- Blackburn TM., Essl F., Evans T., Hulme P. E., Jeschke J. M. *et al.*, 2014 - A Unified Classification of Alien Species Based on the Magnitude of their Environmental Impacts. *PLoS Biol*, 12, e1001850. doi: 10.1371/journal.pbio.1001850.
- Brunel S., Schrader G., Brundu G., Fried, G., 2010 - Emerging invasive alien plants for the Mediterranean Basin. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 40, 219-238.
- D'hondt, B., Vanderhoeven S., Roelandt S., Mayer F., Versteirt V., Adriaens T., Ducheyne E., San Martin G., Grégoire J.-C., Stiers I., Quoilin S., Cigar J., Heughebaert A., Branquart E., 2015 - Harmonia+ and Pandora+ : risk screening tools for potentially invasive plants, animals and their pathogens. *Biological Invasions*, 17, 1869-1883.
- EPPO, 2011 - *Guidelines on Pest Risk Analysis - Decision support scheme for quarantine pests*. European and Mediterranean Plant Protection Organization, EPPO Standards, 11-17053 PM 5/3 (5).
- EPPO, 2012 - EPPO prioritization process for invasive alien plants. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 42, 463-474.
- EPPO, 2016 - *EPPO Lists of Invasive Alien Plants*. European and Mediterranean Plant Protection Organization [En ligne] http://www.eppo.int/INVASIVE_PLANTS/ias_lists.htm (Consulté le 30/06/2016).
- GCW, 2007 - *Global Compendium of Weeds*. Department of Agriculture of Western Australia (AgWest) & Hawaiian Ecosystems at Risk project (HEAR). [En ligne] <http://www.hear.org/gcw/> (Consulté le 30/06/2016).
- Halford M., Mathys C., Heemers L., Vanderhoeven S., Branquart E., Mahy G., 2013 - The Code of Conduct on invasive plants in Belgium. AlterIAS LIFE project. Biodiversity & Landscape Unit, University of Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Belgium.
- Hejda M., Pyšek P., Jarošík V., 2009 - Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities. *Journal of Ecology*, 97, 393-403.
- ISSG, 2015 - *The Global Invasive Species Database. Version 2015.1*. Invasive Species Specialist Group. [En ligne] <http://www.iucngisd.org/gisd/> (Consulté le 30/06/2016).
- Muller S., (coord) 2004 - *Plantes invasives en France : état des connaissances et propositions d'actions*. Publications Scientifiques du Muséum national d'histoire naturelle coll. Patrimoines Naturels (Vol. 62), Paris, 168 p.
- Nel J. L., Richardson D. M., Rouget M., Mgidi T. N., Mdzek N., Le Maitre D. C., Van Wilgen B. W., Schonegevel L., Henderson L., Naser S., 2004 - Proposed classification of invasive alien plant species in South Africa: towards prioritizing species and areas for management action. *South African Journal of Science*, 100, 53-64.

NNSS, 2016. *GB Non-native species secretariat* [En ligne] <http://www.nonnativespecies.org/home/index.cfm> (Consulté le 30/06/2016).

NOBANIS. [En ligne] <http://www.NOBANIS.org>. (Consulté le 30/06/2016).

Noble V., Van Es J., Michaud H., Garraud L., (coord.) 2015 - *Catalogue de la flore vasculaire de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur - Version 2.3*. Conservatoires botaniques nationaux alpin et méditerranéen.

Pimentel D., McNair S., Janecka J., Wightman J., Simmonds C., O'connell C., Wong E., Russel L., Zern J., Aquino T., Tsomondo T., 2001 - Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 84, 1-20.

Pyšek P., Richardson D. M., Rejmánek M., Webster G. L., Williamson M., Kirschner J., 2004 - Alien plants in checklists and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists. *Taxon*, 53, 131-143.

Quere E., Geslin J., 2016 - *Liste des plantes vasculaires invasives de Bretagne*. DREAL Bretagne, Région Bretagne. Conservatoire botanique national de Brest.

Richardson D. M., Pyšek P., Rejmánek M., Barbour M. G., Panetta F. D., West C. J., 2000 - Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and distributions*, 6, 93-107.

Sarat E., Mazaubert E., Dutartre A., Poulet N., Soubeyran Y., 2015 - *Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques : Connaissances pratiques et expériences de gestion*. 2 Volumes. Onema, coll. Comprendre pour agir.

Sax D. F., Gaines S. D., 2003 - Species diversity: from global decreases to local increases. *Trends in Ecology & Evolution*, 18, 561-566.

Simpson A., Jarnevich C., Madsen J., Westbrooks R., Fournier C., Mehrhoff L., Browne M., Graham J., Selle E., 2009 - Invasive species information networks: collaboration at multiple scales for prevention, early detection, and rapid response to invasive alien species. *Biodiversity*, 10, 5-13.

Terrin E., Diadema K., Fort N., 2014 - *Stratégie régionale relative aux EVEC en PACA et son plan d'actions*. CBNA & CBNMed. DREAL PACA et Région PACA.

Vilà M., Espinar J. L., Hejda M., Hulme P. E., Jarošík V., Maron J. L., Pergl J., Schaffner U., Sun Y., Pyšek P., 2011 - Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology Letters*, 14, 702-708.

RESSOURCES UTILES

Stratégie régionale relative aux espèces végétales exotiques envahissantes en Provence-Alpes-Côte d'Azur et son plan d'actions :

<http://www.invmed.fr>

<http://www.cbnmed.fr/res/index.php?aff=telech>

Plan régional sur les plantes exotiques envahissantes en Midi-Pyrénées : <http://pee.cbnmpm.fr/>

Fédération des Conservatoires botaniques nationaux : <http://www.fcbn.fr/action/especes-exotiques-envahissantes>

Groupe de travail Invasions Biologiques en Milieux Aquatiques : <http://www.gt-ibma.eu/>

Centre de ressources du groupe de travail sur les espèces exotiques envahissantes du bassin Loire Bretagne : <http://centreressources-loirenature.com>

Code de conduite volontaire de l'interprofession VAL'HOR :
<http://www.codeplantesenvahissantes.fr/>

Commission européenne : http://ec.europa.eu/environment/nature/invasivealien/index_en.htm

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**LA STRATEGIE DE GESTION DES ESPECES EXOTIQUES ENVAHISSANTES DU BASSIN LOIRE-BRETAGNE
2014-2020, UN OUTIL DE MUTUALISATION**

S. VARRAY ⁽¹⁾ et S. HUDIN ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, 6 rue Jeanne d'Arc, Orléans, France,
sylvie.varray@reseau-cen.org

RÉSUMÉ

La création en 2002 d'un groupe de travail « plantes exotiques envahissantes du bassin Loire-Bretagne » a permis l'échange, l'amélioration des connaissances scientifiques et techniques, le retour d'expériences et la réalisation d'outils partagés sur la gestion des plantes aquatiques. Avec 10 ans d'expérience, ce groupe de travail et son réseau associé, rassemblant une grande diversité d'acteurs, a validé en 2015 une stratégie de gestion et un programme d'actions 2014-2020 pour le bassin Loire-Bretagne. Sur base de cette stratégie, l'objectif est de coordonner les lignes directrices d'approche de la thématique et les actions pertinentes à l'échelle du bassin versant, en cohérence avec les dynamiques européenne et nationale. Elle est la première stratégie ayant pour échelle d'application un bassin hydrographique majeur en France et sa mise en œuvre est soutenue dans le cadre du plan Loire grandeur nature 2014-2020.

Mots-clés : stratégie, mutualisation, gestion coordonnée, outils partagés, bassin versant.

ABSTRACT

MANAGEMENT STRATEGY FOR THE INVASIVE ALIEN SPECIES OF THE LOIRE-BRETAGNE BASIN 2014-2020, A MUTUALISATION TOOL

Since its creation in 2002, the Loire-Bretagne basin working group on invasive alien plants led to exchanges, scientific and technical advances, experience feedback and the realization of common tools concerning the freshwater invasive plants management. Based on the learnings of more than 10 years, the working group and its network of diverse stakeholders have validated in 2015 a management strategy with associated actions planning for the 2014-2020 time span on the Loire-Bretagne basin. This strategy identifies guidelines for an approach on the invasive species and relevant actions at the scale of the basin, in coherence with the European and national levels. This is the first strategy applied to a large river basin in France, which deployment will take place in the frame of the Loire nature program 2014-2020.

Keywords: strategy, mutualisation, coordinated management, shared tools, catchment.

INTRODUCTION

Les espèces ont de tout temps évolué en fonction des changements de leur environnement, tant biologique que physico-chimique (climat notamment) et se sont déplacées pour coloniser de nouveaux territoires. Le développement des sociétés humaines et ses impacts touchent l'ensemble des écosystèmes de la planète, notamment via le déplacement d'espèces animales comme végétales et leur implantation hors de leur aire d'origine, volontairement ou non (Foley *et al.*, 2005). L'expansion des espèces exotiques envahissantes est considérée comme l'une des causes majeures de perte de biodiversité à l'échelle mondiale (Gurevitch & Padilla, 2004). Les coûts induits à l'échelle mondiale par ces proliférations sont évalués à hauteur de plusieurs milliards de dollars d'euros par an (UICN, 2000). En Europe, près de 1100 espèces exotiques ont été recensées dont 10 à 15% ont des impacts négatifs (programme DAISIE) et engendrent des dépenses annuelles évaluées à 12,5 milliards d'euros, dont près de 77% sont liés aux dommages et 23% à la gestion (Kettunen *et al.*, 2009).

Si les invasions biologiques concernent l'ensemble des milieux, les milieux aquatiques sont parmi les plus touchés par les espèces exotiques envahissantes (Gherardi, 2007). Les invasions dans les milieux aquatiques sont sources de gêne pour les usagers et les riverains et d'impact sur le développement des espèces locales (Maman & Jomain, 2003). Depuis quelques dizaines d'années, les dommages induits par les invasions biologiques sont devenus de plus en plus perceptibles et ont progressivement conduit à une réflexion commune des chercheurs, des gestionnaires et des décideurs, pour une meilleure efficacité de la gestion des espèces responsables de ces invasions. En 2001, la DREAL des Pays de la Loire organisait ainsi une première réunion sur la thématique des végétaux exotiques envahissants, dans le cadre d'un comité de gestion régional des plantes aquatiques envahissantes ayant pour but l'échange d'expériences, l'amélioration des connaissances sur ces espèces et de la problématique posée dans les milieux gérés par les collectivités et leurs partenaires.

Sur ce modèle, un groupe de travail sur les plantes envahissantes des milieux aquatiques du bassin Loire-Bretagne a été créé par l'agence de l'eau Loire-Bretagne en 2002 et est animé par la FCEN depuis 2007. L'échange d'expériences, l'information sur les principales espèces posant problème et l'amélioration des connaissances sur leur biologie et leur écologie faisaient partie dès l'origine des objectifs de ce groupe. Dès la création du groupe de travail, la nécessité de coordonner les actions à l'échelle du bassin par la rédaction d'une stratégie d'action commune a été partagée par les membres du groupe. Cette stratégie a vu le jour en septembre 2014, grâce à l'expérience acquise depuis 2002.

DE LA COORDINATION DES ACTEURS A UNE STRATEGIE DE GESTION DES ESPECES EXOTIQUES ENVAHISSANTES A L'ECHELLE DU BASSIN LOIRE-BRETAGNE

UN GROUPE DE COORDINATION SUR LES ESPECES EXOTIQUES ENVAHISSANTES A L'ECHELLE D'UN BASSIN FLUVIAL

Le bassin versant de la Loire comme espace d'échange

Représentant un cinquième du territoire métropolitain et largement connecté par un réseau hydrographique dense, le bassin de la Loire a été le territoire des premiers projets de coordination et d'échange sur la thématique des invasions biologiques, au niveau bassin comme régional. Cette échelle de réflexion a été retenue afin d'élaborer une stratégie de lutte opérationnelle cohérente avec les objectifs des différentes politiques publiques en matière de restauration et de préservation des milieux aquatiques, voire de santé publique (Maman & Jomain, 2003). Élargir la prise en compte de la thématique à la Bretagne est une demande des gestionnaires qui a été confortée par la cohérence avec le territoire de l'agence de l'eau Loire-Bretagne, à l'origine du groupe de travail de bassin.

Un ensemble d'acteurs

Le groupe de travail de bassin regroupe une diversité d'acteurs, tels que les animateurs du groupe, les coordinateurs territoriaux du bassin (région, département, sous-bassin versant), les chercheurs et

experts associés, les partenaires institutionnels et les correspondants des groupes associés. Il bénéficie également de la participation de porteurs de projets de sensibilisation et de gestion sur les espèces exotiques envahissantes. Cette diversité importante des membres du groupe de travail permet des échanges riches sur les avancées des programmes d'action dans le bassin, sur les expériences de gestion, l'amélioration des connaissances, les besoins en recherche et les résultats des recherches-actions entreprises. Elle favorise également la création d'outils partagés utilisables par de nombreux acteurs, tels que le manuel de gestion et le guide d'identification des plantes exotiques envahissants les milieux aquatiques et les berges du bassin Loire-Bretagne (Haury *et al.*, 2010 ; Hudin *et al.*, 2010), accessibles en ligne grâce à un volet spécifique du site internet Centre de Ressources Loire nature.

Un réseau territorial

Des coordinations d'échange et d'animation dans les régions, départements et sous-bassins ont été développées dans le bassin de la Loire et en Bretagne. Portés par des acteurs du territoire concerné, ces groupes comprennent des structures de gestion des milieux naturels (Conservatoire d'espaces naturels Centre-Val de Loire, Auvergne, Pays de la Loire et Basse-Normandie), des associations (Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement) et des scientifiques et experts qui viennent en appui des travaux à ces échelles (Conservatoires botaniques nationaux, INRA, IRSTEA, Universités de Tours et d'Angers), des collectivités (Etablissements publics territoriaux de la Vienne et de la Vilaine) et des institutions du territoire (DREAL Pays de la Loire et Centre-Val de Loire, Forum des marais atlantiques, Observatoire régional Poitou-Charentes de l'Environnement).



Figure Erreur ! Pas de séquence spécifié. : emprise géographique du groupe de travail de bassin (Geographic limits of the territorial coordination in the basin)

Ce réseau de coordinations territoriales couvre actuellement la quasi-totalité du bassin versant (cf. Figure 1) et assure une animation locale dans les territoires de compétence auprès des acteurs de la gestion des milieux naturels, tout en participant aux travaux du groupe de travail de bassin (cf. Figure 2). Les coordinations territoriales ont pour objectifs principaux de coordonner la collecte de données sur les espèces exotiques envahissantes, d'organiser les échanges et le partage d'informations à l'échelle de leur territoire, le suivi de chantiers de gestion ainsi que la sensibilisation et la formation.

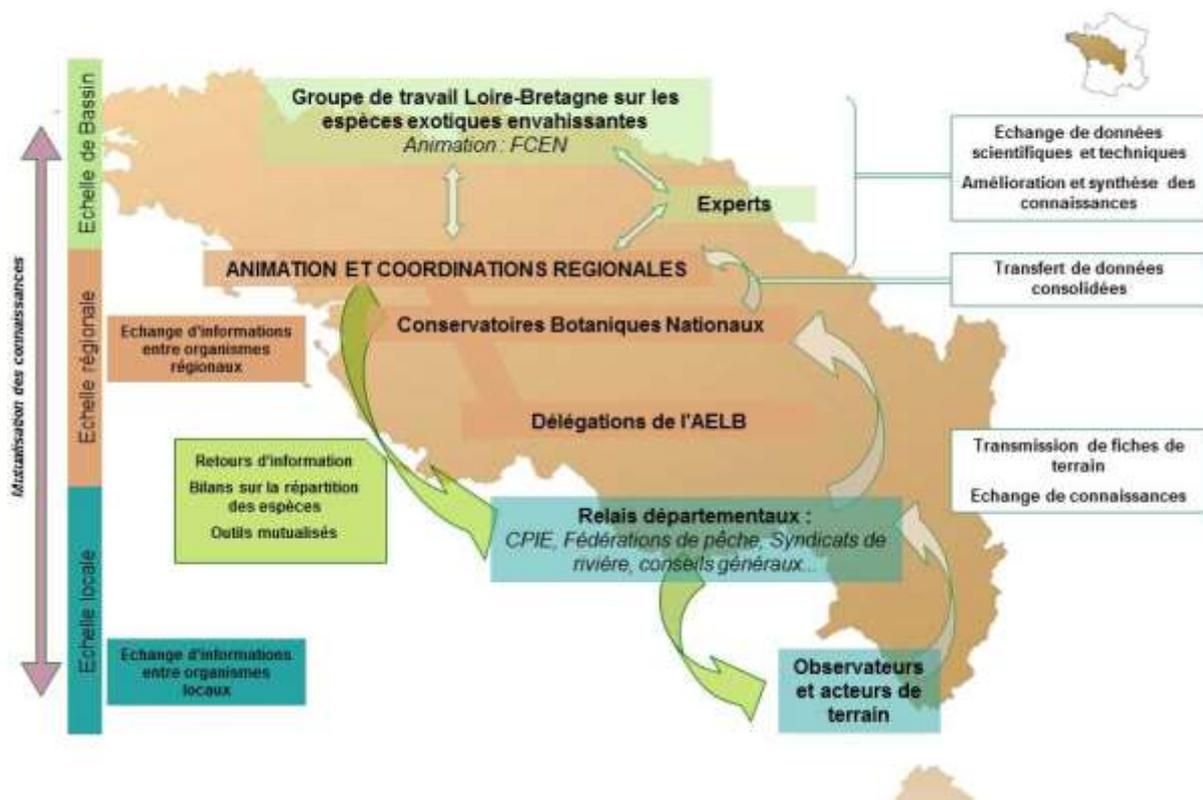


Figure 2 : organisation du groupe de travail « espèces exotiques envahissantes du bassin Loire-Bretagne » (Organization of the Loire-Bretagne basin working group on invasive alien species)

LE PLAN LOIRE GRANDEUR NATURE

En 1994, l'État lançait le premier plan d'aménagement global à l'échelle du bassin versant de la Loire : le plan Loire grandeur nature. Il visait à assurer la sécurité des biens et des personnes face aux risques d'inondation, satisfaire les besoins quantitatifs et qualitatifs en eau ainsi que restaurer la diversité écologique du milieu. Le plan Loire grandeur nature a permis lors de ses différentes phases d'associer des partenaires variés et de prendre en considération des préoccupations économiques, sociales et environnementales, dans un objectif de développement durable du bassin de la Loire.

La coordination de la gestion des espèces exotiques envahissantes a constitué l'une des thématiques prioritaires du plan Loire grandeur nature III (2007-2013). Cette phase avait mis l'accent sur l'importance des réseaux d'acteurs et la mutualisation des outils. L'animation territoriale aux différentes échelles a été développée, grâce aux soutiens financiers obtenus auprès de l'agence de l'eau Loire-Bretagne, de l'Etat et de l'Europe (fonds FEDER).

LA STRATEGIE DE GESTION DES ESPECES EXOTIQUES ENVAHISSANTES DU BASSIN LOIRE-BRETAGNE

Riche de ses 10 ans d'expérience, le groupe de bassin a initié les réflexions pour l'élaboration d'une stratégie de gestion ayant pour échelle le bassin Loire-Bretagne fin 2012. Ce projet a été mené en 2013 grâce à des échanges réguliers entre les membres du groupe de travail, pour aboutir en 2014 à un document final qui a ainsi été validé par l'ensemble des membres du groupe de travail de bassin, les institutions nationales et régionales de l'État (Ministère en charge de l'écologie, DREAL, ONCFS, Onema

et conseils régionaux) et les structures nationales concernées par les espèces exotiques envahissantes (UICN France, Réserves naturelles de France, Fédération des Parcs naturels régionaux, etc.).

Lors de la rédaction de la stratégie de gestion du bassin Loire-Bretagne, peu de stratégies régionales ou départementales avaient déjà été rédigées. Le travail de rédaction a ainsi pris en compte les travaux existants (Matrat *et al.*, 2012, CPIE des Monts du Pilat, 2013, Mercier, 2013) ainsi que la stratégie européenne (Genovesi & Shine, 2004), afin que la stratégie de bassin soit en cohérence avec ces dynamiques. D'une manière générale, cette stratégie a vocation à servir de support de travail, pour permettre aux coordinations territoriales une déclinaison des actions du programme d'actions en fonction de leur contexte local.

DES LIGNES DIRECTRICES POUR UNE APPROCHE PARTAGEE

La stratégie du bassin Loire-Bretagne (Hudin *et al.*, 2014) repose en priorité sur la pertinence des actions de gestion à l'échelle d'un grand bassin hydrogéographique. Ces actions répondent à des lignes directrices prenant en compte la problématique à cette échelle et à des objectifs pour optimiser les moyens mobilisés (humains et financiers) aux différentes échelles (bassin Loire-Bretagne, région, département, sous-bassin versant, territoire d'un syndicat de rivière, etc.).

Les actions proposées dans ce cadre sont également en cohérence avec les démarches nationales et européennes de prise en compte des espèces exotiques envahissantes, ainsi qu'avec les politiques publiques liées à la gestion de l'eau et de la biodiversité (SDAGE, Directive cadre sur l'Eau, SRCE, etc.).

Une stratégie de gestion commune pour la flore et la faune

Le travail réalisé depuis 2002 à travers l'animation du groupe et le soutien du plan Loire a permis de constituer un réseau d'acteurs et de coordinations territoriales en lien avec la thématique des invasions biologiques. Les plantes exotiques envahissantes des milieux aquatiques ont été les premières ciblées par les travaux du groupe de travail de bassin, mais la nécessité croissante de gestion d'autres groupes d'espèces ont mené à élargir les sujets des échanges pour traiter de l'ensemble des espèces exotiques envahissantes. Ainsi, la stratégie de bassin concerne la gestion des espèces de flore et de faune exotiques envahissantes.

UNE STRATEGIE AVEC 5 GRANDS AXES D'ACTION

La stratégie de gestion des espèces exotiques envahissantes du bassin Loire-Bretagne a pour but de proposer un cadre coordonné de travail pour améliorer la prévention, la gestion et la sensibilisation aux espèces invasives dans le bassin. Ses objectifs s'appliquent à l'échelle du bassin par le biais de la coordination de bassin ainsi qu'aux régions et territoires où une animation locale est organisée ou reste à construire, et sont déclinés en cinq volets d'action décrits ci-dessous.

Coordination

La stratégie repose sur les coordinations de bassin et territoriales des sous-bassins, régions et départements. Elle a pour but d'animer un réseau rassemblant les acteurs de la gestion et de la connaissance sur les espèces exotiques envahissantes animales et végétales et d'en faciliter les échanges. L'animation de bassin a pour rôle l'organisation des réunions de travail et d'échanges, la mise en lien et l'élaboration des documents et outils. Les travaux issus du groupe de bassin permettront de contribuer aux synthèses de connaissances, conseils dans la réalisation et le suivi de chantiers, production d'outils communs, etc. La stratégie de bassin précise également l'importance du lien avec les structures ou groupes d'animation hors bassin (Ministère en charge de l'écologie, groupe de travail Invasions biologiques en milieux aquatiques, etc.) afin que les travaux du groupe de travail de bassin soient en cohérence avec les démarches nationale et européenne concernant les espèces invasives, et plus globalement les politiques publiques liées à la gestion de l'eau et de la biodiversité.

Connaissances et échanges

L'acquisition de connaissances sur les nombreuses espèces exotiques envahissantes présentes sur le bassin Loire-Bretagne est un préalable incontournable à l'intervention. Une gestion efficace nécessite en effet de mobiliser les connaissances disponibles sur les espèces concernées, leurs impacts, les modes de gestion les plus efficaces connus, etc. La stratégie prévoit de mettre à disposition des gestionnaires et des acteurs des informations détaillées et actualisées pour faciliter une prise de décision éclairée concernant la gestion des espèces exotiques envahissantes dans le bassin et de contribuer à développer les échanges entre chercheurs et gestionnaires.

Veille et intervention précoce

Les flux d'introduction des espèces exotiques envahissantes dans les milieux peuvent être limités grâce à l'application d'une législation appropriée et d'une meilleure sensibilisation du public, mais ils ne peuvent être totalement évités. De nombreuses espèces exotiques se trouvent actuellement dans les milieux naturels sans avoir occasionné des impacts significatifs. Pour quelques-unes d'entre elles, le risque d'invasion est toutefois avéré car elles ont déjà démontré leurs capacités de nuisance dans des territoires voisins, comme par exemple la cas du Myriophylle du Brésil (Muller *et al.*, 2004). Il est d'autre part largement admis qu'il faut pouvoir agir le plus tôt possible afin de minimiser les impacts des invasions biologiques (Soubeyran *et al.*, 2012). La détection précoce et la réaction rapide sont ainsi des éléments fondamentaux de toute stratégie de gestion des espèces invasives. La stratégie de bassin prévoit ainsi de structurer les échanges pour permettre une prise de décision et une action rapides et efficaces lors de la détection de nouvelles espèces exotiques dans le bassin, ainsi que sur les fronts de colonisation pour des espèces déjà présentes.

Gestion

La planification et le cadrage de la gestion des espèces exotiques envahissantes sont particulièrement importants. Une préparation organisée et réfléchie des interventions de gestion peut permettre de réduire les coûts induits, concernant la réalisation du chantier et dans le temps. L'appui aux porteurs de projets dès les premières étapes de la préparation du chantier est donc important afin de maximiser l'efficacité de l'intervention envisagée. La stratégie cherche à améliorer les méthodes mises en place et de suivi de chantiers de gestion des espèces exotiques envahissantes grâce au lien avec les travaux scientifiques.

Sensibilisation, communication, formation

La reconnaissance des espèces présentes et émergentes, la sensibilisation du grand public et la communication sur les espèces exotiques envahissantes sont autant d'éléments importants pour une meilleure gestion des espèces invasives. En effet, de nombreuses espèces exotiques sont introduites ou relâchées dans les milieux naturels par méconnaissance des impacts qu'elles peuvent avoir sur les écosystèmes et les espèces indigènes (Haury *et al.*, 2010). Il est donc nécessaire de communiquer sur les espèces exotiques envahissantes pour sensibiliser l'ensemble des publics (professionnels ou non) aux invasions biologiques, grâce à l'utilisation de messages et de supports adaptés aux publics ciblés (gestionnaires, élus, collectivités, etc.).

UN PROGRAMME D' ACTIONS AMBITIEUX POUR LA PERIODE 2014-2020

La mise en œuvre de la stratégie de bassin s'appuie sur la traduction opérationnelle de ses objectifs, sous forme d'un ensemble de 24 actions. Ces actions ont fait l'objet d'une déclinaison détaillée au cours de la première année de la stratégie et sont décrites dans les fiches du programme d'actions 2014-2020. Celles-ci décrivent l'objectif, le contexte, le contenu de chaque action, ainsi que les partenaires associés, les produits attendus et les indicateurs pour en assurer le suivi (cf. Figure 3). La réalisation des actions repose d'une part sur l'animation de bassin mais aussi, de manière importante, sur les projets et la dynamique du réseau d'acteurs dans le bassin Loire-Bretagne, pour être la plus efficace possible.

Les actions proposées dans la stratégie de gestion des espèces exotiques envahissantes du bassin Loire-Bretagne s’inscrivent dans les objectifs de la phase IV du plan Loire (2014-2020) et de sa stratégie. En effet, il y est stipulé que la prise en compte de cette problématique doit dépasser les limites administratives et requiert des actions coordonnées à l’échelle des territoires concernés. L’animation du réseau d’acteurs à l’échelle du bassin (actions 1 à 3 du programme d’actions 2014-2020) permet la mutualisation et l’échange de connaissances (actions 4 à 10 et 17 à 24) et répond donc aux objectifs affichés dans le plan Loire 2014-2020 en cherchant à prévenir l’installation de nouvelles espèces exotiques envahissantes (actions 13 et 14) et à contenir les espèces déjà installées (actions 9, 15 et 16).

Dans le plan Loire, c’est la coordination et l’animation qui sont visées, la réalisation opérationnelle de travaux de gestion étant le plus souvent du ressort de l’échelle territoriale concernée. Le plan Loire prévoit cependant la possibilité d’un soutien plus particulièrement ciblé de la gestion d’espèces émergentes ou sur les fronts de colonisation d’espèces déjà répandues.

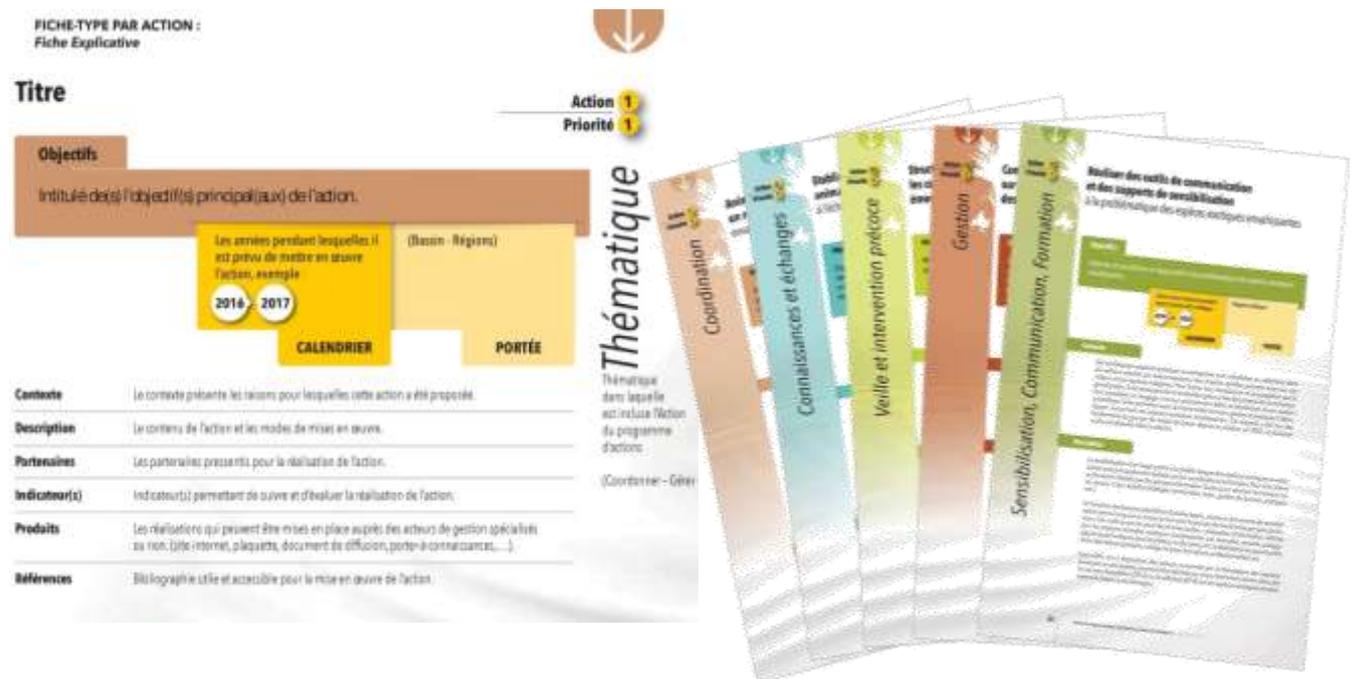


Figure 3 : contenu et exemple de fiche composant le programme d’actions 2014-2020 (Content and example sheet forming the action program for the 2014-2020 time span)

DISCUSSION

Les espèces exotiques envahissantes ont des impacts croissants et les moyens alloués à leur gestion ne sont pas à la hauteur des enjeux économiques, écologiques et sanitaires rencontrés. Leur prise en compte est, comme le changement climatique, sujet à controverse parmi les scientifiques et les collectivités comme les États ont des difficultés à structurer les efforts de gestion. Dans le bassin de la Loire, face à la multiplication des demandes d’aides des gestionnaires des milieux naturels, l’agence de l’eau Loire-Bretagne a réagi précocement et donné un cadre aux échanges et à un travail en commun. La multiplicité des questionnements auxquels ces acteurs devaient répondre s’inscrivait dans un contexte qui est apparu rapidement plus large et difficile à aborder. De ce fait, les échanges se sont structurés à travers le travail permanent et régulier ainsi que la réalisation d’outils de première nécessité tels que des fiches de description des stations et de chantiers ou encore une liste d’espèces. Dès les prémices de cette animation à l’échelle du bassin, l’idée d’une stratégie pour permettre une vraie coordination des moyens avait émergé (connaissances, outils, etc.).

L’échelle territoriale du bassin est apparue pertinente, le réseau hydrographique constituant l’un des moyens de dispersion les plus importants pour les espèces exotiques envahissantes (Lefevre, 2013), qu’elles soient aquatiques ou terrestres, constituant des voies naturelles de déplacement. Elle doit

également s'articuler avec les échelles des coordinations territoriales, correspondant aux limites administratives (département, région) finançant en général les actions de gestion. Ces échelles ne correspondant pas à des sous-échantillons du bassin lui-même, il existe cependant un certain déphasage et un risque de redondance dans les rôles de chacune des échelles. C'est dans ce but que le programme d'actions lié à la stratégie décline et identifie leurs rôles spécifiques.

CONCLUSION

Le suivi de la mise en œuvre de la stratégie et son évaluation s'appuieront sur les indicateurs mentionnés dans les fiches du programme d'actions. Un bilan sera ainsi effectué en 2017 puis en 2020 et permettra de formuler des propositions pour actualiser la stratégie. D'autre part, une synthèse des connaissances concernant la répartition des espèces exotiques envahissantes du bassin est actuellement en cours de réalisation. Ce travail sera renouvelé en 2020 et comparé à l'état initial afin de vérifier l'atteinte de l'objectif de non-aggravation de la situation lors de la quatrième phase du plan Loire.

En France, cette stratégie territoriale à l'échelle d'un bassin hydrographique majeur constitue une première. La coordination des actions dans le respect de lignes directrices et d'objectifs partagés est une initiative rendue possible grâce aux acteurs du bassin et au soutien des institutions et des collectivités engagées, notamment dans le cadre du plan Loire (2014-2020). Ce document a vocation à être partagé et diffusé largement vers les autres bassins versants de métropole et en Europe. L'expérience acquise depuis la création du groupe de travail de bassin est ainsi valorisée auprès d'autres bassins versants travaillant à l'élaboration de leur stratégie de gestion, tels que les bassins Rhône-Méditerranée-Corse et Rhin-Meuse.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les membres du groupe de travail "espèces exotiques envahissantes du bassin Loire-Bretagne" et les nombreux contributeurs aux divers travaux du groupe de travail. S'il n'est pas possible de les nommer individuellement car la liste serait trop longue, nous tenions à leur faire savoir que nous leur sommes reconnaissants pour leur implication dans le groupe de bassin Loire-Bretagne et dans la thématique des invasions biologiques.

BIBLIOGRAPHIE

CPIE des Monts du Pilat, 2013 – Stratégie de lutte départementale contre les plantes invasives 2012-2017. 24 p.

Foley J.A., Defries R., Asner GP *et al.*, 2005 – Global consequences of land use. *Science*, 309, 570-574.

Genovesi P., Shine C., 2004 – *Stratégie européenne relative aux espèces exotiques envahissantes: convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe (convention de Berne)*. Vol. 137. Council of Europe. 132 p.

Gherardi F., 2007 – Biological invasions in inland waters : an overview. *In* : Gherardi F. *Biological invaders in inland waters : profiles, distribution and threats*. Springer, The Netherlands, 3-25.

Gurevitch J., Padilla D.K., 2004 – Are invasive species a major cause of extinctions ? *Trends in Ecology and Evolution*, Vol. 19, 9, 470-474.

Haury J., Hudin S., Matrat R., Anras L. *et al.*, 2010 – *Manuel de gestion des plantes exotiques envahissant les milieux aquatiques et les berges du bassin Loire-Bretagne*. Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, 136 p.

Hudin S., Vahrameev P., *et al.* 2010 – Guide d'identification des plantes exotiques envahissant les milieux aquatiques et les berges du bassin Loire-Bretagne. Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, 45 p.

Hudin S. (coord.), Haury J., Matrat R., Anras L. *et al.*, 2014 – Gestion des espèces exotiques envahissantes du bassin de la Loire – stratégie et programme d'actions 2014-2020. Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, 70 p.

Kettunen M., Genovesi P., Gollasch S., Pagad S., Starfinger U, Brink P., Shine C., 2009 – *Technical support to EU strategy on invasive species (IAS) – Assessment of the impacts of IAS in Europe and the EU (final module report for the European Commission)*. Institute for European Environmental Policy (IEEP), Brussels, Belgium, 44 p. +Annexes.

Lefeuvre J.C., 2013 – *Les invasions biologiques, un danger pour la biodiversité*. Buchel Chastel, 336 p.

Maman L. & Jomain Y., 2003 – Les plantes envahissantes dans le bassin Loire-Bretagne – Mise en place d'un groupe de travail spécifique à l'échelle du bassin. Equipe pluridisciplinaire Loire grandeur nature, agence de l'eau Loire-Bretagne, 4 p.

Matrat R., Haury J., Anras L., 2012 – Stratégie régionale pour la gestion des plantes exotiques envahissantes pour le Comité des Pays-de-la-Loire pour la gestion des plantes exotiques envahissantes. DREAL Pays-de-la-Loire, AgroCampusOuest et Forum des marais atlantiques, 5 p.

Mercier F., 2013 – Stratégie de lutte contre les espèces invasives menaçant la biodiversité en Basse-Normandie. Conservatoires d'espaces naturels de Basse-Normandie, Agence de l'Eau Seine-Normandie, Région Basse-Normandie, DREAL Basse-Normandie et CBNBN, 75 p.

Muller S. (coord.), 2004 – *Plantes invasives en France*. Museum national d'Histoire naturelle, Paris, 168 p.

Soubeyran Y., Goarant A.C., Lavergne C., Manry C., Malau Atoloto, Meyer J.Y., de Thoisy B., Urtizbera F., 2012. Enjeux de la gestion des espèces exotiques envahissantes dans les milieux d'eau douce en outre-mer. *Sciences Eaux & Territoires*, 6, 34-37.

UICN, 2000 – Lignes directrices de l'UICN pour la prévention de la perte de diversité biologique causée par des espèces exotiques envahissantes. UICN, 25 p.

Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe : <http://www.europe-aliens.org/>

Centre de Ressources Loire nature : <http://centrederesources-loirenature.com>

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**CODE DE CONDUITE PROFESSIONNEL RELATIF AUX PLANTES EXOTIQUES ENVAHISSANTES :
UNE INITIATIVE DES PROFESSIONNELS DE LA FILIÈRE DU VÉGÉTAL**

R. MANCEAU ⁽¹⁾, P. ABADIE ⁽²⁾, V. BRUN ⁽³⁾, A. DAVAL ⁽⁴⁾, E. DE CHAUMONT ⁽¹⁾, J.-M. DEHAYE ⁽⁵⁾,
F. DEVOGHELAERE ⁽⁵⁾, C. DUCOURNEAU ⁽⁶⁾, O. FILIPPI ⁽³⁾, S. GAY ⁽²⁾, P. PINEAU ⁽³⁾ et J.-E. VOURC'H ⁽⁶⁾

⁽¹⁾ VAL'HOR, 44 rue d'Alésia 75014 Paris. romain.manceau@valhor.fr. ⁽²⁾ FNMJ, 22 rue Esquirol
75013 Paris. ⁽³⁾ FNPHP, 19 bd de Magenta 75010 Paris. ⁽⁴⁾ FFP, 4 rue Hardy 78000 Versailles. ⁽⁵⁾ UNEP,
44 rue Notre-Dame des Victoires 75002 Paris. ⁽⁶⁾ FELCOOP, 129 bd Saint-Germain 75006 Paris.

RÉSUMÉ

La lutte contre les espèces exotiques envahissantes est désormais clairement inscrite dans les objectifs de l'Union européenne (règlement européen n°1143/2014) et de la France (Loi n°2016/1087 du 8 août 2016 dite Biodiversité). Toute action relative aux plantes exotiques envahissantes est susceptible d'impacter la filière de l'horticulture et du paysage dont l'utilisation des plantes ornementales constituent l'essence même des activités des professionnels. Dans ce cadre, VAL'HOR, Interprofession française de l'horticulture, de la fleuristerie et du paysage, a élaboré le Code de conduite professionnel, qui vise à réguler l'utilisation des plantes envahissantes. L'élaboration de listes de plantes au sein du Code de conduite a été réalisée en suivant plusieurs étapes : le recensement des plantes réputées envahissantes en France métropolitaine, l'évaluation de leurs impacts négatifs et de leurs aspects positifs ainsi que la prise en compte du risque de propagation en dehors du lieu de plantation. Ce dernier point tient notamment compte des savoir-faire horticoles permettant de réduire les risques de dissémination et qui constituent ici une plus-value importante.

Mots-clés : Code de conduite, plantes exotiques envahissantes, Horticulture, Paysage.

ABSTRACT

CODE OF CONDUCT ON INVASIVE ALIEN PLANTS FOR THE METROPOLITAN FRENCH HORTICULTURE AND LANDSCAPE INDUSTRY

The control of invasive alien species is now fully part of the European Union (Regulation EU 1143/2014) and the French objectives (Law 2016/1087 about Biodiversity). Nonetheless, any action on invasive alien plants may impacts the whole ornamental horticulture industry. Indeed, production, selling and planting of ornamental plants are the main activities in the horticultural industry. In this context, VAL'HOR, the French branch organisation for horticulture and landscaping, committed to develop a voluntary approach: The Professional Code of conduct for horticulture and landscape industry, with the aim of reducing the use of invasive species having negative impacts. The elaboration of plants lists was realized by following several steps: inventory of invasive plants, evaluation of negative and positive impacts and evaluation of the propagation risk, taking into account horticultural skills which are an important aspect of the Code of conduct.

Keywords: Code of conduct, invasive alien species, Horticulture, Landscape.

INTRODUCTION

La lutte contre les invasions biologiques et les espèces exotiques envahissantes, dites espèces invasives, est spécifiquement inscrite dans la stratégie nationale pour la biodiversité 2011 - 2020, portée par le Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, dont l'une des ambitions est de préserver la diversité biologique. Au niveau européen, le règlement 1143/2014 du 22 octobre 2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes a été adopté pour une application en 2016. Ce règlement s'articule autour des axes suivants : la prévention, la détection précoce et l'éradication rapide ainsi que la gestion des espèces exotiques envahissantes largement répandues. Il s'applique en l'état dans tous les pays européens.

De nombreux végétaux ont été introduits en France et utilisés à des fins ornementales. Si la majorité de ces plantes horticoles ne pose pas de problème, une faible proportion d'entre elles présente le risque, dans certaines conditions, de devenir envahissante avec des impacts négatifs. Aussi, toute action relative aux plantes exotiques envahissantes concerne et impacte la filière de l'horticulture ornementale dans son ensemble. En effet, la production, la commercialisation et la mise en œuvre de ces plantes constituent l'essence même des activités des professionnels de la filière.

C'est dans ce cadre que VAL'HOR, l'interprofession française de l'horticulture, de la fleuristerie et du paysage qui rassemble les organisations professionnelles représentatives des 50 000 entreprises de la filière, s'est engagée dans une démarche volontaire, en élaborant le *Code de Conduite professionnel relatif aux plantes exotiques envahissantes*, afin que les professionnels de la filière s'engagent de manière proactive pour limiter les éventuels impacts négatifs des plantes exotiques envahissantes sur la biodiversité, la santé humaine et les activités économiques.

Les Codes de conduite constituent des outils d'autorégulation complémentaires aux instruments réglementaires, visant à l'adoption volontaire de mesures de prévention des introductions et de la dispersion des plantes envahissantes ayant des impacts négatifs. Ils sont recommandés par le Conseil de l'Europe, l'Organisation Internationale des Jardins Botaniques (BGCI) et l'Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes (OEPP) qui a proposé un cadre pour ces initiatives avec le *Code de Conduite sur l'horticulture et les plantes exotiques envahissantes* (Heywood et Brunel, 2009). Le Code de conduite s'inspire de démarches existantes à l'étranger, parmi lesquelles le Code de Conduite belge (Halford et Mathys, 2013), le Code de Conduite néerlandais (*Convenant waterplanten* - plantes aquatiques) ou encore le Saint Louis Code of Conduct aux États-Unis. En 2011, l'OEPP recensait en Europe 12 initiatives nationales relatives à la mise en place de Codes de conduite.

MATERIELS ET MÉTHODES

DEFINITION D'UNE PLANTE EXOTIQUE ENVAHISSANTE

La littérature scientifique et de vulgarisation sur le sujet des invasions biologiques est abondante et de nombreuses définitions ont été proposées pour décrire les espèces exotiques envahissantes, pour *définir l'indéfinissable* (Tassin, 2014). Ces définitions font appel à des terminologies différentes, parfois par inexactitude de leurs auteurs, le plus souvent en raison de divergences sur les périmètres temporels, biogéographiques ou concernant les impacts à prendre en compte (Pyšek, 1995 ; Richardson et al., 2000 ; Colautti et Maclsaac, 2004), de représentations diverses de la biodiversité voire de la nature, de préjugés sur l'exotisme en comparaison de l'indigénat ou d'opinions parfois opposées sur le rôle que notre société doit tenir face aux changements observés (Sagoff, 1997 ; Blandin, 2009 ; Prévot-Julliard et al., 2011).

Dans le cadre du Code de conduite, il était nécessaire de se doter d'une définition qui soit la plus neutre possible et capable de couvrir l'ensemble des situations rencontrées. Celle retenue, s'inspirant de la définition proposée par Loïc Valéry (Valéry et al., 2008), est la suivante :

« Une plante exotique envahissante est une plante dont certaines populations peuvent acquérir un avantage compétitif dans un territoire nouveau et devenir localement dominantes dans des milieux spécifiques. Dans certains cas, ces populations peuvent avoir des impacts négatifs sur la biodiversité locale, le fonctionnement des écosystèmes, la santé et/ou les activités économiques. La même plante peut cependant avoir des populations qui présentent des aspects sociaux, économiques, culturels ou écologiques positifs et non négligeables. »

Le terme *plante* a été préféré à celui d'*espèce*, pour deux raisons : le Code de conduite ne traite que du cas des végétaux et le terme *espèce* prête à confusion en laissant penser que tous les individus d'une espèce seraient envahissants. Parler de populations envahissantes et de populations non envahissantes lève cette ambiguïté (De Wit et al., 2001 ; Rouget et al. 2002).

Cette définition ne fait pas état d'une date limite d'introduction à partir de laquelle on considérerait une plante exotique plutôt qu'indigène. Cette approche distingue généralement les plantes néophytes des archéophytes, c'est-à-dire introduites respectivement après ou avant l'an 1500 (année de référence correspondant à l'accroissement des échanges mondiaux par le biais de la découverte des nouveaux continents). Bien qu'elle traduise indéniablement une réalité numérique et un fait historique, et d'autant plus pour les plantes ornementales introduites, cette approche correspond à une vision contemporaine qui semblerait accorder aux *exotiques* d'hier le statut d'*indigène* mais empêcher aux *exotiques* d'aujourd'hui de le devenir. Cette définition ne fait également pas état de zones biogéographiques qui définiraient à partir de quelle limite une plante est introduite dans un territoire floristique nouveau. Là encore, cette notion est abordée diversement par les auteurs, que ce soit au regard de l'échelle spatiale prise pour référence ou de la délimitation d'une aire de répartition naturelle d'une espèce, fixe pour certains et dynamique pour d'autres (Elton, 1958 ; di Castri, 1989 ; Wilson et al., 2009).

RECENSEMENT DES PLANTES EXOTIQUES REPUTÉES ENVAHISSANTES EN FRANCE METROPOLITAINE

Une liste de plantes exotiques réputées envahissantes en France métropolitaine a été établie sur la base de 12 listes régionales, couvrant la quasi-totalité du territoire métropolitain, rédigées par les conservatoires botaniques nationaux et représentant un total de 296 taxons (CBNMC, 2009 ; CBNBP, 2010 ; Quéré et al., 2011 ; Caillon, 2012 ; CBNFC, 2012 ; Bousquet et al., 2013 ; Dortel et al., 2013 ; Bart et al., 2014 ; Fontaine et al., 2014 ; Vahrameev et Nobilliaux, 2014 ; Levy et al., 2015 ; CBNMP, 2016). Le nombre moyen de taxons par liste s'élève à 77, avec un écart-type de 37.

Ces taxons ont ensuite été classés au regard du nombre respectif de citations en tant que "*invasive avérée*", "*invasive potentielle*" ou "*plante à surveiller*" (classement le plus fréquemment rencontré). La répartition des taxons selon le nombre de citations est présentée dans la **Figure 1**. Ce travail a ainsi permis de hiérarchiser les plantes les plus fréquemment citées et donc celles présentes sur l'ensemble du territoire à étudier en priorité dans le cadre du Code de conduite.

A ce stade, ce travail ne saurait préjuger l'importance des éventuels impacts négatifs localement induits par la présence d'une population envahissante. Une plante peut ne faire l'objet que d'une seule citation mais se montrer réellement problématique sur le territoire concerné au regard des conditions rencontrées localement : c'est notamment le cas de la région méditerranéenne où de nombreux taxons sont cités que l'on ne retrouve pas dans les autres régions françaises. A l'inverse,

une plante peut être citée plusieurs fois en tant qu'invasivante, mais cela ne saurait suffire à établir ses éventuels impacts.

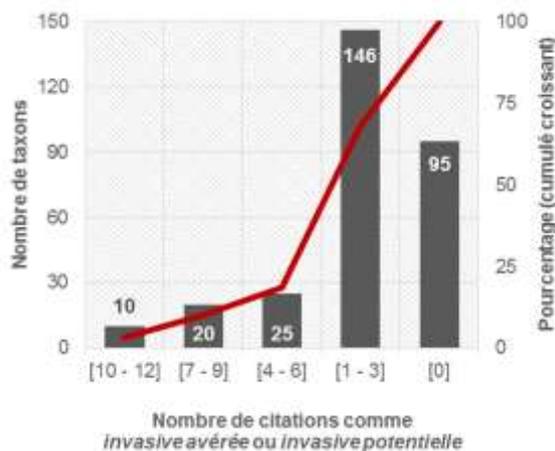


Figure 1 : Répartition des 296 taxons recensés en fonction du nombre total de citations en tant qu'*invasive avérée* ou *potentielle* (sur la base des 12 listes recensées).

- 19 % des taxons ont quatre ou plus de citations en tant qu'*invasive avérée* ou *potentielle*.
- 49 % des taxons ont entre une et trois citations en tant qu'*invasive avérée* ou *potentielle*.
- 32 % des taxons sont uniquement listés en tant que *plante à surveiller*.

PROTOCOLE D'ÉVALUATION MULTICRITERE

Dans le *Code de conduite sur l'horticulture et les plantes exotiques envahissantes* de l'OEPP (Heywood et Brunel, 2009), une classification des plantes envahissantes est proposée de telle sorte que, constatant leurs impacts négatifs, certaines seront à proscrire quel que soit le milieu d'utilisation et d'autres pourront être plantées uniquement dans les milieux où elles ne présentent pas le risque de se propager vers de nouveaux territoires. A ces deux aspects, évaluation des impacts négatifs et risque de dissémination, il est de plus en plus fréquent de voir s'ajouter un troisième volet prenant en compte les éventuels aspects positifs liés à l'utilisation ou à l'exploitation de ces plantes (Filippi et Aronson, 2010). Dans le cadre du Code de conduite français, ces trois aspects sont évalués pour chaque espèce réputée envahissante de telle sorte que l'application de ce protocole (**Figure 2**) doit permettre de fixer des restrictions d'utilisation. Ces trois critères d'évaluation sont détaillés ci-après.

Prise en compte des impacts négatifs

Dans leur milieu d'introduction, les plantes envahissantes sont susceptibles d'engendrer trois types d'impacts négatifs. Ces impacts négatifs ne sont toutefois pas propres aux plantes exotiques et certaines plantes indigènes peuvent présenter dans certaines situations des impacts comparables.

En premier lieu, les plantes envahissantes peuvent avoir des impacts sur la santé humaine : elles peuvent en effet être à l'origine d'allergies (par ex. respiratoires : *Ambrosia artemisiifolia*) ou d'irritations cutanées lors d'un contact (ex. *Heracleum mantegazzianum*). Ces impacts sont assez aisément quantifiables (ex. nombre de malades recensés).

Les plantes envahissantes peuvent aussi avoir des impacts sur des activités économiques, par exemple en altérant certaines infrastructures bâties (ex. *Ailanthus altissima*), en réduisant la productivité des productions agricoles ou sylvicoles (ex. *Prunus serotina*) ou encore en impactant certaines activités récréatives notamment dans les milieux aquatiques (ex. *Ludwigia* spp.). Ces impacts économiques apparaissent, selon les situations, plus ou moins faciles à évaluer mais il est toutefois peu fréquent de trouver des données chiffrées sur ces impacts dans les évaluations de plantes envahissantes. En contrepartie, ce sont les coûts de lutte contre les populations qui sont quelquefois exposés.

Enfin, les plantes envahissantes peuvent avoir des impacts sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes. Ces impacts sont plus complexes à décrire rigoureusement en raison de l'absence de méthodologie qui soit officiellement reconnue, bien que différentes approches aient été proposées (ex. Hulme et *al.*, 2007 ; ISEIA, 2007). Le niveau d'abondance ou de dominance d'une espèce, qui est l'état le plus visible de l'envahissement d'un milieu, constitue l'observation la plus fréquemment rapportée du terrain. S'il s'agit d'un élément important permettant d'évaluer l'impact d'une population envahissante, il ne constitue pas, à lui seul, un élément suffisant. Une évaluation complète tiendra compte, entre autres, de l'impact sur la biodiversité locale, de la valeur de conservation des milieux envahis (milieux protégés, naturels, semi-naturels, perturbés, anthropiques...), des modifications de trajectoire d'évolution des écosystèmes... De plus l'état de dominance d'une population dans un milieu donné ne constitue pas un état définitif dans toutes les situations d'invasion (Willis et Birks, 2006) et un suivi temporel des sites envahis constituerait un élément d'aide à la décision supplémentaire.

L'évaluation de ces impacts négatifs, directement attribués aux plantes envahissantes, doit enfin être objectivée par l'origine de l'envahissement du milieu, en d'autres termes, dans quelle mesure c'est l'invasion d'une espèce qui entraîne la modification du milieu ou la modification du milieu qui facilite l'invasion (Sax et *al.*, 2002 ; Gurevitch et Padilla, 2004). Déterminer la cause initiale d'un envahissement devrait permettre d'agir à la source du problème (Barbault et Teysseire, 2009).

Prise en compte des éventuels aspects positifs

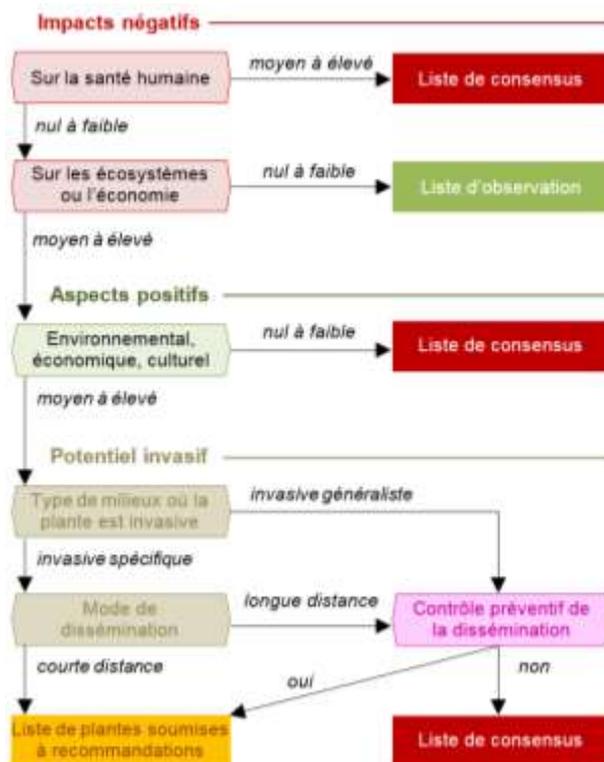
Des aspects positifs peuvent être associés à l'utilisation ou à l'exploitation de certaines populations de plantes réputées envahissantes, en dehors de leur utilisation par la filière du végétal d'ornement. Elles peuvent présenter des intérêts économiques lorsqu'elles sont exploitées, par exemple pour leur bois ou leur biomasse (ex. *Robinia pseudoacacia*, *Arundo donax*...) ou encore en tant que plantes médicinales. Elles peuvent aussi présenter des intérêts environnementaux, par exemple les plantes mellifères et nectarifères qui sont attractives pour les insectes (ex. *Buddleja davidii*). Leur utilisation dans les jardins et espaces verts peut également améliorer l'empreinte écologique de ces derniers : *Phyla nodiflora* var. *canescens*, originaire du continent américain, est par exemple une plante couvre-sol particulièrement résistante à la sécheresse et aux maladies, et en conséquence moins exigeante en intrants (eau, produits phytosanitaires...) (Filippi et Aronson, 2010). Enfin, certaines plantes peuvent revêtir des intérêts sociétaux ou patrimoniaux, tels que le mimosa (*Acacia dealbata*) dans le sud de la France où sa floraison jaune hivernale est célébrée chaque année.

Prise en compte du risque de propagation hors du lieu de plantation

Pour évaluer le risque de propagation d'une plante en dehors de son lieu de plantation, trois facteurs sont pris en compte. Tout d'abord, les milieux dans lesquels une plante peut potentiellement être envahissante doivent être identifiés : on distinguera dès lors des plantes envahissantes spécialistes, qui colonisent uniquement certains milieux spécifiques (à l'exemple de *Rosa rugosa* sur les dunes littorales sableuses du nord de la France) et d'autres généralistes, c'est-à-dire capables d'envahir différents types de milieux (*Buddleja davidii*).

Les modes de dissémination doivent également être décrits afin d'identifier les plantes susceptibles de se propager sur de longues distances (par anémochorie, hydrochorie...) et celles se limitant à de courtes distances de propagation (par barochorie, propagation végétative : drageons...).

Enfin, il convient d'évaluer la possibilité d'un contrôle préventif de la dissémination pour une espèce donnée. Par exemple, existe-t-il pour cette espèce des formes stériles ou avec peu de semences



fertiles (ex. : *Buddleja davidii*) ? S'agit-il d'une espèce dioïque pour laquelle des plantations d'individus de même sexe seraient envisageables (ex. : *Baccharis halimifolia*) ? Des techniques horticoles, comme le greffage, permettent-elles de limiter le drageonnement (ex. : *Acacia dealbata*) ?

L'application du protocole d'évaluation multicritère se traduit par la rédaction d'une fiche bibliographique pour chaque taxon étudié reprenant les différents points évoqués précédemment. Le protocole permet *in fine* de catégoriser les plantes en deux listes de plantes : une liste de consensus et une liste de plantes soumises à recommandations.

Figure 2 : Protocole d'évaluation multicritère

LISTE DE CONSENSUS ET LISTE DE PLANTES SOUMISES A RECOMMANDATIONS

Les listes complètes de plantes sont disponibles sur le site internet du Code de conduite : www.codeplantesenvahissantes.fr.

La liste de consensus (restriction totale d'utilisation)

La liste de consensus recense les plantes que les professionnels de l'horticulture et du paysage souhaitent ne plus voir produites, vendues, prescrites ou utilisées sur l'ensemble du territoire. Elle regroupe des plantes qui ne présentent pas ou peu d'aspects positifs pour les utilisateurs et qui ont des impacts négatifs importants et reconnus par tous. Parmi les plantes qui figurent actuellement sur cette liste on peut par exemple citer le Sénéçon en arbre (*Baccharis halimifolia*). Cet arbuste originaire d'Amérique du Nord est envahissant dans certains milieux à haute valeur de conservation sur les côtes atlantiques et méditerranéennes avec des impacts négatifs reconnus. Bien que non envahissant dans des régions non côtières, sa plantation n'y représente pas d'intérêt majeur puisque la principale raison de son utilisation relève de sa résistance aux embruns salés.

La liste de plantes soumises à recommandations (restrictions partielles d'utilisation)

Ces plantes ne sont envahissantes que dans certains milieux, où elles peuvent avoir des impacts négatifs. Elles présentent cependant des aspects positifs importants pour les utilisateurs. Après application du protocole d'évaluation, des conditions précises d'utilisation sont émises. Parmi les plantes qui figurent actuellement sur cette liste on peut par exemple citer le Buddléia (*Buddleja davidii*). Originaire du Tibet oriental, le Buddléia est particulièrement apprécié pour sa floraison et son attractivité auprès des insectes. La dissémination de la plante est assurée par ses graines, qui restent prisonnières des inflorescences tout au long de l'hiver avant de s'échapper au printemps à la faveur de périodes plus sèches. La principale recommandation citée dans la littérature, et justifiée, est ainsi de couper les inflorescences à la fin de l'automne ou au début de l'hiver. Cependant, afin de s'adresser aux

professionnels du végétal qui utilisent et entretiennent ces végétaux, il convient d'utiliser des références appropriées. Le Code de conduite se réfère ainsi aux *Codes qualités de la gestion des espaces verts en ville* (Chassaing, 2014) et recommande, entre autres, l'utilisation du Buddléia dans les milieux correspondants aux codes qualités 1 et 2 qui correspondent aux espaces de prestige et à entretien soutenu.

RESULTATS

LE CODE DE CONDUITE ET SES SEPT ENGAGEMENTS DES PROFESSIONNELS DU VEGETAL

Le Code de conduite est une démarche volontaire qui engage les professionnels de l'horticulture et du paysage au respect des sept points suivants :

1. Connaître la réglementation relative aux plantes exotiques envahissantes et se tenir informé de son évolution.
2. Participer à la détection précoce des plantes exotiques envahissantes : notamment, en informant le Comité de pilotage national interprofessionnel si de nouvelles plantes exotiques potentiellement envahissantes sont observées sur le terrain.
3. Connaître les listes du Code de Conduite et se tenir informé de leur évolution : ces listes sont comparées aux plantes que le professionnel produit, vend ou met en œuvre. Une attention particulière est accordée à l'identification des plantes, à leur nom et à leurs synonymes.
4. Arrêter la production, la vente, la prescription ou l'utilisation en France des plantes exotiques envahissantes figurant dans la liste de consensus. Les stocks résiduels de plantes exotiques envahissantes de la liste de consensus pourront être écoulés dans un délai d'un an à partir de l'engagement d'un professionnel dans le Code de conduite.
5. Suivre les restrictions d'utilisation des plantes soumises à recommandation. Ces plantes sont susceptibles d'être utilisées uniquement dans des milieux ou dans des secteurs géographiques bien précis, définis pour chaque espèce. Le professionnel adhérent s'engage à suivre ces recommandations et à les communiquer aux utilisateurs potentiels.
6. Promouvoir l'utilisation de plantes de substitution : autres espèces ou formes non envahissantes de l'espèce : cultivars stériles, plantes greffées non drageonnantes, ..., qui pourraient constituer des alternatives aux plantes de la liste de consensus ou soumises à recommandation et les mettre à disposition de leurs clients.
7. Communiquer et diffuser de l'information sur les plantes exotiques envahissantes : sur les risques présentés par l'usage des plantes de la liste de consensus, sur les restrictions d'usage concernant les plantes soumises à recommandation. Les professionnels sont libres de choisir le mode de communication le plus adapté selon leur activité : mentions dans les catalogues ou sites Internet, étiquetage spécifique ou panneaux d'information sur les points de vente, communication directe lors de conseils auprès des clients...

LISTES DE PLANTES

Le Code de conduite professionnel relatif aux plantes exotiques envahissantes comprend (à la date de rédaction de l'article – août 2016) 31 taxons *. Sur la liste de consensus : *Ailanthus altissima*, *Ambrosia*

artemisiifolia, *Artemisia verlotiorum*, *Baccharis halimifolia**, *Bidens frondosa*, *Cabomba caroliniana**, *Cortaderia selloana*, *Eichhornia crassipes**, *Heracleum persicum**, *Heracleum sosnowskyi**, *Hydrocotyle ranunculoides**, *Impatiens glandulifera*, *Lagarosiphon major**, *Ludwigia grandiflora**, *Ludwigia peploides**, *Lysichiton americanus**, *Myriophyllum aquaticum**, *Parthenium hysterophorus**, *Paspalum distichum*, *Persicaria perfoliata**, *Phytolacca americana*, *Prunus serotina*, *Pueraria montana* var. *Lobata**, *Reynoutria japonica*, *Reynoutria sachalinensis*, *Reynoutria* × *bohemica*, *Salpichroa origanifolia*, *Solidago gigantea*, *Symphotrichum lanceolatum*, *Symphotrichum squamatum*, *Symphotrichum* × *salignum*.

Sur la liste de plantes soumises à recommandations : *Acacia dealbata*, *Acer negundo*, *Amorpha fruticosa*, *Arundo donax*, *Buddleja davidii*, *Heracleum mantegazzianum*, *Phyla nodiflora* var. *canescens*, *Rhododendron ponticum*, *Rosa rugosa*, *Symphotrichum laeve*, *Symphotrichum novi-belgii*.

* Les espèces de la liste européenne publiée en juillet 2016 dans le cadre du règlement européen n°1143/2014 s'inscrivent *de facto* sur la liste de consensus.

COMMUNICATION DU CODE DE CONDUITE ET ENGAGEMENTS DES PROFESSIONNELS DE L'HORTICULTURE ET DU PAYSAGE

Afin de faire connaître le Code de conduite auprès des professionnels de la filière du végétal un site internet a été créé (www.codeplantesenvahissantes.fr) qui reprend tous les éléments d'informations relatifs à la réglementation, au Code de conduite et aux plantes des différentes listes.

Les entreprises peuvent s'engager directement depuis le site internet : une lettre d'engagement signée de l'entreprise concrétise son entrée dans la démarche. Ainsi, 200 professionnels se sont déjà engagés (à la date de rédaction de l'article – juin 2016) : horticulteurs, pépiniéristes, entrepreneurs du paysage, paysagistes concepteurs, jardineries... La liste des entreprises signataires est également disponible en ligne.

CONCLUSION

Le Code de conduite est une démarche volontaire élaborée par les professionnels du végétal afin de prévenir les éventuels impacts négatifs des plantes exotiques envahissantes. Il s'agit d'une démarche complète, qui intègre à la fois les connaissances scientifiques sur les plantes envahissantes mais aussi des données professionnelles, qu'elles soient économiques (nombre de plantes vendues, circuits de distribution) ou en lien avec les pratiques et les usages.

Au sein d'un comité de pilotage interprofessionnel, les travaux se poursuivent pour compléter les listes de plantes avec l'étude de nouveaux taxons, notamment les plantes aquatiques pour lesquelles un travail spécifique devrait être engagé. Le Code de conduite ainsi complété pourra faire référence auprès des professionnels de la filière. Les plantes inscrites sur les listes peuvent également être réévaluées au regard de l'acquisition de nouvelles connaissances.

Le Code de conduite français a pour objectif d'être un outil au service des professionnels de la filière du végétal, qui y trouveront des réponses concrètes aux questions qui peuvent se poser dans le fonctionnement quotidien de leur entreprise. Le Code de conduite a vocation à devenir un outil de dialogue reconnu auprès des organisations de protection de l'environnement et des services de l'État, puisqu'il montre la capacité des professionnels du végétal à se saisir d'un sujet et leur volonté d'exercer leur métier dans le cadre d'une activité durable et bénéfique à tous.

BIBLIOGRAPHIE

- Barbault R. et Teysse re A., 2009. La victime était le coupable ! *Dossier pour la Science*, 65 : 56-61.
- Bart K., Chabrol L., Antonetti P., 2014. Bilan de la problématique végétale invasive en Limousin. Conservatoire botanique national du Massif central et Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Limousin, 35 p.
- Blandin P., 2009. De la protection de la nature au pilotage de la biodiversité. Versailles, Editions QUAE, collection Sciences en question, 2009, 124 p.
- Bousquet T., Waymel J., Zambettakis C., Geslin J., Magnanon S., 2013. Liste des plantes vasculaires invasives de Basse-Normandie. Conservatoire botanique de Brest. 40 p.
- Caillon A., 2012. Liste des plantes exotiques envahissantes. CBN Sud-Atlantique. 3 p.
- CBNBP, 2010. Liste provisoire des espèces végétales exogènes invasives ou susceptibles de l'être en Champagne-Ardenne. Conservatoire botanique du Bassin parisien, délégation Champagne-Ardenne. 2 p.
- CBNFC, 2012. Liste des espèces invasives de Franche-Comté - octobre 2012. Conservatoire botanique de Franche-Comté. 2 p.
- CBNMC, 2009. Espèces envahissantes ou potentiellement envahissantes en Auvergne. Conservatoire botanique du Massif Central. 1 p.
- CBNMP, 2016. Espèces végétales exotiques envahissantes en France méditerranéenne continentale. En ligne : www.invmed.fr. Accès le 17 avril 2016.
- Chassaing B., 2014. La gestion différenciée : Méthodologie de mise en œuvre. Fiche de Synthèse. Publication Plante&Cit . 19 p.
- Colautti RI., Maclsaac HJ., 2004. A neutral terminology to define 'invasive' species. *Diversity and Distributions*. 10: 135-141.
- De Wit MP., Crookes DJ. et Van Wilgen BW., 2001. Conflicts of interest in environmental management: estimating the costs and benefits of a tree invasion. *Biological Invasions*, 3: 167-178.
- di Castri F., 1989. History of biology invasions with special emphasis on the Old World. In: Drake JA, et al., editor. *Biology invasions: a global perspective*. Chichester: Wiley. 1-29.
- Dortel F., Lacroix P., Le Bail J., Magnanon S., Vallet J., 2013. Liste des plantes vasculaires invasives des Pays de la Loire. Conservatoire botanique de Brest. 38 p.
- Elton CS., 1958. *The ecology of invasions by animals and plants*. Methuen, London.
- Filippi P. et Aronson J., 2010. Plantes invasives en région méditerranéenne : quelles restrictions d'utilisation préconiser pour les jardins et les espaces verts ? *Ecologia mediterranea*. Vol. 36 (2). 31-54.
- Fontaine M., Cambecedes J., Barascud Y., Birlinger A., Tribolet L., 2014. Plan régional d'actions : Plantes exotiques envahissantes en Midi-Pyrénées, 2013-2018. Conservatoire botanique des Pyrénées et Midi-Pyrénées et DREAL Midi-Pyrénées. 201 p.
- Gurevitch J. et Padilla D., 2004. Are invasive species a major cause of extinctions? *Trends in Ecology and Evolution*, 19: 470-474.
- Halford M., Mathys C., Heemers L. et al., 2013. Le Code de conduite sur les plantes invasives en Belgique - Plantons autrement. En ligne : 11 p.
- Heywood V. et Brunel S., 2009. Code de conduite sur l'horticulture et les plantes exotiques envahissantes.  ditions du Conseil de l'Europe, Strasbourg, 77 p.
- Hulme PE., Brundu G., Camarda I., Dalias P., Lambdon P., Lloret F., Médail F., Moragues E., Suehs CM., Traveset A., Troumbis A. et Vilà M., 2007. Assessing the risks to Mediterranean islands ecosystems from alien plant introductions. In: Tokarska-Guzik B., Brock JH., Brundu G., Child L., Daehler CC. et Pysek P. (eds). *Plant invasions: human perception, ecological impacts and management*. Backhuys Publishers, Leiden: 39-56.
- ISEIA (Invasive Species Environmental Impact Assessment), 2007. ISEIA guidelines. En ligne : http://ias.biodiversity.be/ias/documents/ISEIA_protocol.pdf [Accès le 15/06/2016]

- Levy V. (coord.), Watterlot W., Buchet J., Toussaint B., Hauguel JC., 2015. Plantes exotiques envahissantes du Nord-Ouest de la France : 30 fiches de reconnaissance et d'aide à la gestion. Centre régional de phytosociologie agréé Conservatoire botanique national de Bailleul, 140 p.
- Pyšek P., 1995. On the terminology used in plant invasion studies. In: Pyšek P., Prach K., Rejmanek M., Wade M. (eds). Plant invasions: General aspects and special problems, Amsterdam, SPB Academic Publishing, 1995, 71-81.
- Prévot-Julliard AC., Clavel J., Teillac-Deschamps P. et Julliard R., 2011. The need for flexibility in conservation practices: exotic species as example. *Environmental Management*. Vol. 47. 315-321.
- Quéré E., Ragot R., Geslin J., Magnanon S., 2011. Liste des plantes vasculaires invasives de Bretagne. Conservatoire botanique de Brest. 40 p.
- Richardson DM., Pyšek P., Rejmánek M., Barbour MG., Panetta FD., West CJ., 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Divers. Distrib.* 6, 93–107.
- Rouget M., Richardson DM., Nel JL. et van Wilgen BW., 2002. Commercially important trees as invasive aliens, towards spatially explicit risk assessment at a national scale. *Biological invasions*, 4: 397-412.
- Sagoff M., 1999. What's wrong with alien species? *Report of the Institute for Philosophy and Public policy*. 19, 16-23.
- Sax D., Gaines S. et Brown J., 2002. Species invasions exceed extinctions on islands worldwide: a comparative study of plants and birds. *Am. Nat.* 160: 766-783.
- Tassin J., 2014. La grande invasion : qui a peur des espèces invasives ? Ed. Odile Jacob. 210 p.
- Vahrameev P., Nobilliaux S., 2014. Liste des espèces végétales invasives de la région Centre, version 2.3. Conservatoire botanique national du Bassin parisien, délégation Centre, 41 p.
- Valéry L., Fritz H., Lefeuvre JC., Simberloff D., 2008. In search of a real definition of the biological invasion phenomenon itself. *Biological Invasions*. Vol. 10. 1345-1351
- Willis KJ. et Birks JB., 2006. What Is Natural? The Need for a Long-Term Perspective in Biodiversity Conservation. *Science*. Vol. 314. 1263-1265.
- Wilson EO., Dormontt EE., Prentis PJ., Lowe AJ., Richardson DM., 2009. Biogeographic concepts define invasion biology. *Trends in Ecology and Evolution*, 24, 586 p.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

FAUT-IL CONTINUER A PLANTER DES STIPES CHEVEUX D'ANGE (*NASSELLA TENUISSIMA*) ?

G. FRIED ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Anses - Laboratoire de la Santé des Végétaux Unité Entomologie et Plantes invasives
CBGP, 755 avenue du campus Agropolis, CS30016, 34988 Montferrier-sur-Lez cedex, France+ France,
guillaume.fried@anses.fr

RÉSUMÉ

Au cours des dernières décennies, suivant une mode largement dictée par des jardiniers célèbres, la plantation de massif de graminées est devenue très courante dans l'aménagement paysager des espaces verts publics. Parmi ces graminées le stipe cheveux d'ange (*Nassella tenuissima*) montre une forte capacité de naturalisation. Le suivi précis de l'établissement de semis spontanés à partir de plantations permet d'estimer la capacité de dispersion et la capacité d'établissement dans différents habitats. Notre étude indique que la dispersion par le vent semble bien plus effective que ce qui était supposé jusqu'ici, avec des individus retrouvés à plus de 400 m des plantations en l'espace de 4 ans. En revanche, l'établissement préférentiel de *N. tenuissima* dans des milieux perturbés et/ou ouverts avec une faible concurrence végétale suggère un impact environnemental limité à ce stade. Ce cas est toutefois l'occasion de s'interroger sur les procédures d'analyse de risque qui devrait accompagner l'introduction de matériel végétal destiné à être planté à grande échelle.

Mots-clés : analyse de risque, dispersion, résistance biotique, métapopulation, *Nassella tenuissima*.

ABSTRACT

SHOULD WE CONTINUE TO PLANTING MEXICAN FEATHER GRASS (*NASSELLA TENUISSIMA*)?

In recent decades, following a fashion mainly dictated by celebrity gardeners, the massive planting of grasses has become a commonplace in landscaping public parks. Among these grasses, Mexican feather grass (*Nassella tenuissima*) shows a strong ability to establishment. A detailed monitoring of spontaneous seedlings escaped from plantations can be used to estimate dispersal ability and establishment capacity in different types of habitats. Our study highlighted that wind dispersal seems much more effective than was previously assumed with individuals found at more than 400 m of plantations in the course of only 4 years. However, *N. tenuissima* establishes mainly in disturbed and/or open vegetation with low plant competition suggesting limited environmental impacts so far. However, this case is a good opportunity to reflect on the risk analysis procedures that should accompany the introduction of plant material to be planted on a large scale.

Keywords: risk analysis, dispersal, biotic resistance, metapopulation, *Nassella tenuissima*.

INTRODUCTION

Depuis 20 à 30 ans, l'aménagement paysager des espaces verts publics a vu l'émergence d'une nouvelle mode : la plantation de massifs de graminées. Ces espèces sont appréciées pour leur qualité ornementale grâce à leur feuillage persistant et/ou à leurs inflorescences plumeuses ou soyeuses qui bougent au gré du vent. En région méditerranéenne, certaines d'entre elles sont aussi vantées pour leur tolérance à la sécheresse et en conséquence l'absence d'entretien nécessaire et en particulier l'économie d'eau. Mais cet argument écologique peut dans certains cas être paradoxal, car l'adaptation à la sécheresse de certaines espèces pourrait également rendre plus facile leur naturalisation dans certains milieux méditerranéens. Or, ce genre d'espèces a été et continue d'être introduit sans qu'aucune analyse préalable de leur risque potentiel d'invasion ne soit réalisée. Cela, alors mêmes que certaines graminées ornementales d'origine exotique ont un historique bien connu de plantes envahissantes comme l'herbe de la Pampa (*Cortaderia sellonana* (Schult. & Schult.f.) Asch. & Graebn.) dans les régions européennes à climat atlantique et méditerranéen, ou *Cenchrus setaceus* (Forssk.) Morrone en Sicile et aux îles Canaries (Brunel *et al*, 2010). Certes, une partie des jardins botaniques et de la profession horticole à l'origine de l'introduction et/ou de la diffusion de ces plantes adoptent désormais des codes de conduites (Heywood, 2014 ; Manceau, 2015). A notre connaissance, ces codes ne semblent cependant pas prévoir un suivi systématique du risque post-introduction permettant d'évaluer les impacts négatifs potentiellement engendrés par l'utilisation d'une plante à grande échelle et pour éventuellement restreindre cette utilisation si cela s'avérerait nécessaire.

Dans cet article, nous proposons une première réflexion et quelques éléments d'évaluation du risque vis-à-vis de l'utilisation de l'une de ces graminées : *Nassella tenuissima* (Trin.) Barkworth. Cette espèce vendue sous le nom de stipe cheveux d'ange (mais à distinguer des cheveux d'anges des pelouses steppiques, indigènes en France : *Stipa pennata*, *Stipa gallica*, *Stipa iberica*) fait l'objet d'un véritable engouement au niveau international et bénéficie des meilleurs notations de la part des jardiniers paysagistes (Grounds, 2004).

UNE ALERTE LANCEE PAR LES JARDINIERS

En 2009, lors de l'aménagement de la Maison du Grand Site de France® Saint-Guilhem-le-Désert – Gorges de l'Hérault à proximité du Pont du Diable à Aniane (Hérault), des plantations de plusieurs graminées ornementales exotiques ont été réalisées avec *Cenchrus alopecuroides* (L.) Thunb. (synonyme : *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng.), *Miscanthus sinensis* Andersson et *Nassella tenuissima* (Trin.) Barkworth (synonyme : *Stipa tenuissima* Trin).

En 2013, nous sommes contactés par les gestionnaires du site qui s'interrogent sur le caractère envahissant des stipes cheveux d'anges vendus sous le nom de *Stipa tenuissima* Trin. (= *Nassella tenuissima* (Trin.) Barkworth). L'alerte a été donnée par les jardiniers du site qui ont été les premiers à se plaindre des nombreux ressemis de *N. tenuissima* dans et aux abords immédiats des plates-bandes, qui les obligent à procéder à des désherbages manuels supplémentaires. De manière très identique, des ressemis abondants de cette espèce ont également été observés par des employés de différents jardins botaniques en Californie (Joe DiTomaso, com. pers.).

A l'automne 2013, soit 4 ans après les plantations de la Maison du Grand Site à Aniane, *N. tenuissima* s'est déjà disséminée dans les alentours immédiats, à savoir : i) à l'est, dans une jeune oliveraie conduite en agriculture biologique (irriguée sur le rang et entretenue par fauche dans l'inter-rang), ii) à l'ouest, dans une aire de pique-nique gravillonnée, au sol nu avec des morceaux de pelouses à thérophytes annuels, et iii) au nord et au sud, dans le prolongement des plantations, le long du chemin et sur les talus avoisinants.

A l'été 2015, nous découvrons la présence de *N. tenuissima* à plusieurs centaines de mètres au sud du site, de l'autre côté du parking du Grand Site. Interloqué par le nombre d'individus disséminés à cette distance, nous décidons d'entreprendre une vaste campagne de pointage précis de l'ensemble des touffes de *N. tenuissima* sur le site afin de recueillir des informations utiles pour alimenter une évaluation du risque, notamment quant à la capacité de dispersion et les préférences écologiques de l'espèce.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

ÉCHANTILLONNAGE SYSTEMATIQUE

Durant l'automne 2015, l'ensemble des individus de *N. tenuissima* échappés des plantations du Grand Site ont été géolocalisés. Dans le cas de plusieurs touffes poussant à proximité, un seul pointage a été effectué, associé à un comptage précis du nombre de touffes sur une surface de 4m².

Évaluation de la capacité de dispersion

Connaissant le lieu et la date (2009) des plantations initiales, nous avons estimé la distance de dispersion moyenne d'après la position de la touffe la plus éloignée des plantations, en prenant également en compte l'âge estimé de la touffe. En effet, on peut aisément distinguer un jeune individu issu d'une germination de l'année qui forme une petite touffe peu fournie de 10-20 cm, d'individus adultes formant des touffes de grande taille en âge de fleurir et de produire des graines. Selon la Société Royale d'Horticulture du Royaume-Uni, *N. tenuissima* atteint sa taille maximale de 0.5-1m en 2 à 5 ans.

Capacité d'établissement

Le paysage agricole et naturel environnant la maison du Grand Site est composé d'une mosaïque de différents types d'habitats : olivettes, vignes, vignes abandonnées, friches, chênaies, ripisylves, et de structures linéaires : talus, chemins, routes. Afin d'identifier quels habitats sont les plus favorables à l'établissement de *N. tenuissima*, nous avons utilisé le nombre de touffes dans chaque parcelle d'habitat homogène, la densité de touffes à l'échelle d'une parcelle (en rapportant le nombre de touffes à la surface de la parcelle) et la densité locale maximum observée à l'échelle d'un quadrat de 4 m².

Relevés floristiques

Afin de caractériser plus finement l'écologie de *N. tenuissima* et les caractéristiques biotiques de son environnement (nature et abondance des espèces voisines), des relevés floristiques ont été réalisés dans trois des principaux habitats où l'espèce s'est établie (olivette fauchée, vigne abandonnée, pelouse ouverte sur graviers).

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE ET ANALYSE DE RISQUE SIMPLIFIEE

Pour compléter les observations de terrain, une recherche bibliographique a été menée, l'ensemble des connaissances acquises sur l'espèce permettant la réalisation d'une première analyse de risque simplifiée suivant le protocole de Weber et Gut (2004).

RESULTATS

DISTRIBUTION, CLIMAT ET HABITATS DE *NASSELLA TENUISSIMA*

Distribution mondiale et statut

N. tenuissima est originaire d'Amérique du Sud (Argentine, Chili) entre les latitudes S 25° et S 47° avec un prolongement jusqu'au Nord du Mexique et le Sud-Ouest des États-Unis entre les latitudes N 20° et N 35° (indigène uniquement dans les États du Nouveau-Mexique et du Texas). En dehors de son aire d'origine, *N. tenuissima* a été introduite et s'est naturalisée en Arizona, en Californie, en Afrique du Sud, en Australie et en Nouvelle-Zélande. En Europe, elle est signalée comme occasionnelle en Belgique (DAISIE European Invasive Alien Species Gateway, 2016) et au Royaume-Uni (Stace et Crawley, 2016), présente en Italie (EPPO, 2009) et en voie de naturalisation en France (Tison et de Foucault, 2014).

Climats et habitats dans sa zone d'origine

Dans son aire d'origine aux États-Unis, *N. tenuissima* se distribue dans des zones à précipitations annuelles ne dépassant pas 300 mm (Jacobs *et al*, 1998). Dans la Pampa (Argentine), *N. tenuissima* est dominant dans des zones semi-arides, à température annuelle moyenne de 15 °C et des précipitations annuelles de 344 mm (Moretto et Distel, 1998). En Nouvelle-Zélande, sa distribution suggère une limite supérieure de précipitations à 1250 mm. *N. tenuissima* atteint 2900 m d'altitude en Argentine et se distribue entre 600 et 2350 m dans le sud des États-Unis (Jacobs *et al*, 1998). Cette espèce est réputée tolérante à la sécheresse mais aussi au froid. Elle peut être plantée jusqu'en zone de rusticité 6 (-23.3°C), c'est-à-dire dans la partie sud du Canada. Au Royaume-Uni, la Société Royale d'Horticulture indique sa compatibilité avec la zone de rusticité H4 (-10°C to -5°C) ce qui correspond à pratiquement l'ensemble du Royaume-Uni. D'un point de vue climatique, une large partie de la France et de l'Europe présenterait donc un climat favorable à l'établissement de cette espèce.

En Argentine, *N. tenuissima* se développe dans les pelouses steppiques de la Pampa, dans les steppes herbeuses et arbustives de Patagonie, dans divers formations boisées sèches et semi-arides, et jusque dans des prairies alpines. En Amérique du Nord, *N. tenuissima* pousse sur des pentes rocaillieuses, souvent au sein de chênaies ou de pinèdes mais aussi au sein de prairies ouvertes, bien exposées. Elle est présente sur une extrême diversité de types de sol (State of Queensland, 2016). Il s'agit donc d'une espèce occupant une large gamme d'habitats prairiaux. En France et en Europe, les pelouses steppiques ouvertes pourraient se rapprocher de certains de ses habitats dans son aire d'origine.

ELEMENTS DE BIOLOGIE ET D'ÉCOLOGIE DANS SA ZONE D'INTRODUCTION EN FRANCE

Capacité de dispersion

Il n'existe pas de données précises sur le nombre de graines produites par *N. tenuissima*. Une espèce très proche, *Nassella neesiana* (Trin. & Rupr.) Barkworth, produit jusqu'à 22 000 graines par mètre carré formant une banque de graines pouvant persister environ 4 ans (State of Queensland, 2016). Les graines de *N. tenuissima* pèsent en moyenne 0.26 mg et sont dispersées par le vent, les véhicules, les animaux (par exemple, la toison des moutons) ou encore via de la terre contaminée. Une particularité de la propagation de *N. tenuissima* est la tendance des graines, dès fructification, à s'agglomérer sur la plante en pelotes qui roulent ensuite sur le sol en étant poussées par le vent ou le ruissellement sur les zones de terrain libre jusqu'à ce qu'elles rencontrent un obstacle (d'où des germinations abondantes le long des chemins, des barrières, des fossés ou des haies) (O. Filippi, com. pers., 2016). Des observations montrent aussi une dissémination locale par les fourmis (P. Ehret, com. pers., 2016).

Les résultats de l'échantillonnage systématique sont présentés sur la Figure 1. Nous avons recensés plus de 1150 individus de *N. tenuissima* échappés des plantations. Il est à noter par ailleurs que quelques individus de *Cenchrus alopecuroides* semblent également en cours de naturalisation dans l'olivette voisine des plantations. Le vent semble ici le principal facteur de dispersion. Le vent dominant est la Tramontane de secteur Nord-Nord Ouest. Cela explique la dissémination préférentielle vers le sud du site (Figure 1). Les pieds adultes les plus éloignés des plantations se trouvaient à l'automne 2015 à une distance de 434 m au sud dans une vigne abandonnée. Compte tenu de la taille des touffes, cela signifie que des propagules sont arrivées au minimum depuis 2013 (la première année après germination, les touffes sont généralement de taille bien plus réduite que celle observée ici). La fourchette haute de la capacité de dissémination serait donc > 400m si l'on suppose que l'individu le plus éloigné provient directement des plantations. Si l'on suppose au contraire qu'il provient d'individus déjà échappés des plantations, cela ferait sur 4 ans (2009-2013), une vitesse de propagation moyenne de 109 m/an.

Le long de la Départementale 27 reliant Aniane au Pont du Diable, une seule touffe a été observée en 2014 ; puis une deuxième est détectée 55 m plus loin en 2015. Les ordres de grandeurs des capacités de dispersion correspondent à celles des plantes à reproduction sexuée qualifiées d'invasives selon la définition de Richardson *et al* (2000).



Figure 1 : Géolocalisation des touffes de *Nassella tenuissima* autour de la Maison du Grand Site de France® Saint-Guilhem-le-Désert – Gorges de l’Hérault à Aniane – Hérault (Echelle indicative : 1/3000ème). La bande rouge représente la localisation des plantations initiales de 2009. Les points roses correspondent à des touffes isolées ou plusieurs touffes regroupés dans une aire de 4m². Carte établie à l’aide de SILENE (CBNMed, 2016).

La densité de touffes de *N. tenuissima* est corrélée négativement à la distance avec les populations sources (Figure 2) avec la plupart des densités élevées situées entre 0 et 75 m des plantations d’origines. Les densités importantes observés entre 200 et 250 m laissent supposer l’existence d’individus adultes bien naturalisés qui jouent le rôle de « semenciers » et qui participent activement à la dispersion secondaire de la plante.

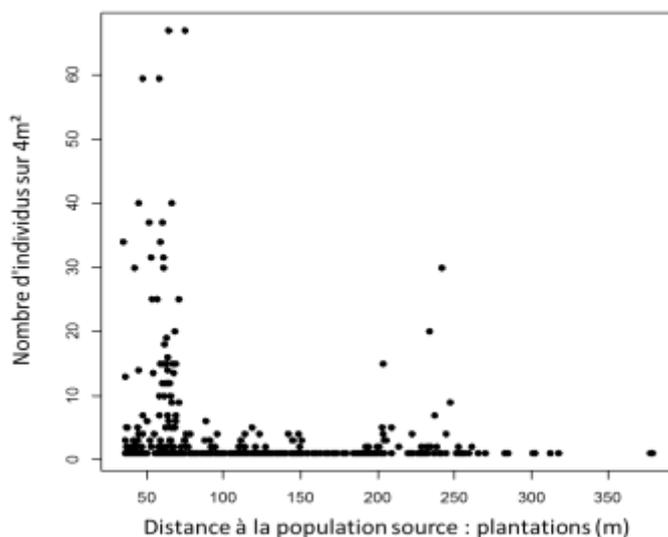


Figure 2 : Densité locale (nombre d’individus / 4m²) de *Nassella tenuissima* en fonction de la distance à la source (plantations de 2009).

Capacité d’établissement

Les habitats naturels les plus proches (garrigue, chênaie, ripisylve) ne sont pas colonisés à ce stade probablement du fait de la faible incidence lumineuse ou de la plus forte couverture végétale de ces milieux. A l’opposé du gradient de perturbations, les vignes et les oliveraies dont le sol est cultivé ou désherbé chimiquement de manière intensive ne comptent aucun pied (et presque aucune autre

végétation !) alors que des parcelles voisines (olivettes fauchées) situées à la même distance sont colonisées (Tableau I).

Tableau I : Nombre de touffes et densité de *Nassella tenuissima* dans les parcelles voisines des plantations. En gris les densités les plus élevés (>3 individus/m²).

Habitat	Gestion	Distance à la source	Nombre de touffes	Surface parcelle (m ²)	Densité (ind/m ²)	Densité max (ind/m ²)
Oliveraie	Fauche	126 m	258	13400	0.019	7.88
	Fauche	171 m	5	9807	0.001	1
	Fauche	413 m	4	6350	0.001	1
	Désherbage chimique	104 m	0	13023	0.000	0
Vigne	Travail du sol, désherbage chimique	401 m	0	15932	0.000	0
Vigne abandonnée	Sans gestion	270 m	75	6095	0.012	3.75
	Sans gestion	347m	5	10385	0.000	1
	Sans gestion	314 m	5	4874	0.001	1
	Sans gestion	425m	2	10188	0.000	1
Plantations d'arbres	Fauche	333 m	5	7425	0.001	1
Talus	Fauche	69 m	424	566	0.749	16.75
	Fauche	71 m	69	1557	0.044	10
	Fauche	125 m	28	2552	0.011	2.5
	Fauche	223 m	7	8562	0.001	1
	Fauche	116 m	6	2330	0.003	1
Friche	Sans gestion	87 m	35	1426	0.025	4.75
Parking	Fauche		84	36463	0.002	1.5
Bord de chemin	Fauche	-	490	-	-	-
Bord de route	Fauche	-	2	-	-	-

Les oliveraies entretenues par tonte/fauche ainsi que les talus et autres espaces gérées de la même manière (bords de routes et chemins) accueillent le plus grand nombre de pieds (Tableau I). Une densité maximum de près de 17 touffes au m² est atteinte sur les talus fauchés à proximité des plantations. De même les milieux sans gestion (vigne abandonnée, friche) sont favorables.

ANALYSE DU RISQUE

Weber & Gut

L'application de l'analyse de risque de Weber et Gut (2004) conduit à un score de 26 (sur une échelle de 3 à 39) qui signifie un risque intermédiaire. Ce score est notamment obtenu du fait de l'existence d'espèces envahissantes au sein du même genre (+3 points), d'une production abondante de graines (+3points), du caractère pérenne et de la taille >80 cm (+4points). D'autres auteurs utilisant le même protocole avec une approche plus conservatrice arrivent à un score de 33 (risque élevé) pour le territoire espagnole (Andreu et Vila, 2010).



Figure 3 : Touffes de *Nassella tenuissima* naturalisées dans une vigne abandonnée (surface ~ 4 m²).

DISCUSSION

NATURALISATION ET DISPERSION DE *NASSELLA TENUISSIMA* EN FRANCE

Il ne fait aucun doute que cette graminée massivement plantée sur les ronds-points, les terres pleines et autres aménagements publics est actuellement en voie de naturalisation en région méditerranéenne et atlantique et probablement ailleurs en France et en Europe.

L'une des premières observations hors plantation remonte à 2002 au sud de Montpellier où James Molina l'a récolté au « rond-point entre les Cabanes de Pérols et le Port de Carême, à coté de la 4 voies Carnon-Montpellier » en indiquant « planté et s'échappant sur les bords de trottoirs. Vendu sous le nom de *Stipa tenuifolia* » (CBNMed, 2016). Depuis cette date, elle a été notée dans un peu moins d'une dizaine de communes de l'Hérault ainsi que dans les Alpes-Maritimes (CBNMed, 2016). A Lattes (Hérault), une quantité importantes d'individus (45 à 80 touffes) ont été comptées à proximité de plantations d'un rond-point et d'une route (J. Molina in CBNMed, 2016), preuve que le processus observé à Aniane est loin d'être isolé. Cependant la distance de dissémination observée à Aniane (plus de 100 m par an) est assez largement supérieure à celle qui peut être observée dans les autres sites de l'Hérault. Par exemple au rond point de Pérols, au bout d'une vingtaine d'années, les touffes de *N. tenuissima* se sont ressemées uniquement sur les accotements fauchés de la périphérie immédiate du rond point, dans un rayon de l'ordre de 20 mètres. La capacité de dispersion potentielle est donc importante (>100m) , mais la dispersion réalisée dépend de la configuration du site.

Dans l'Ouest, l'espèce s'échappe très facilement à proximité de ses zones de plantation et a été notée depuis une dizaine d'années dans une quinzaine de communes de quatre départements : Maine-et-Loire, Morbihan, Loire-Atlantique, Vendée (Système d'information Calluna du Conservatoire botanique national de Brest, 2016). Sur cette période, les distances de dispersion observées, de l'ordre de quelques centaines de mètres (soit une fourchette de 10m à 100m/an) rejoignent nos observations (F. Dortel, CBN Brest, com. pers. 2016). Le Gall (2016) l'a détectée en plusieurs points sur l'île de Ré depuis 2013 et note également son expansion progressive.

En zone continentale, elle est signalée dans plusieurs communes du Rhône ainsi qu'en Haute-Loire (Conservatoire botanique national du Massif central, 2016). Cette brève compilation des données récoltées par les CBN n'est clairement qu'une première approximation qui sous-estime certainement l'ampleur de la naturalisation car il semble que *N. tenuissima* ne soit pas encore systématiquement relevée par les botanistes, notamment lorsqu'elle reste à proximité immédiates des plantations. Ainsi, bien que la base Digitale2 du CBN de Bailleul ne cite qu'une seule commune en Normandie, Buchet *et al* (2015) précisent pour cette même région que « cette graminée d'origine sud-américaine est très prisée depuis quelques années pour le fleurissement des espaces publics et des jardins. Les semis spontanés sont nombreux. À surveiller. »

QUELS RISQUES ?

La dispersion effective d'une espèce exotique n'est pas nécessairement corrélée à un impact sur les autres végétaux ou les milieux. Sur le site étudié, nos observations indiquent une colonisation préférentielle dans des milieux perturbés et/ou dans des zones où le sol est nu. Un modèle plus complexe devra être construit afin d'avoir une meilleure estimation de la capacité d'établissement par habitat prenant en compte la distance aux populations sources et donc de la pression de propagules.

En attendant, nos résultats rejoignent les observations écologiques effectuées dans d'autres sites en France où *N. tenuissima* a été observé sur des bermes routières (Le Gall, 2016), des talus de bords de routes, des trottoirs et dans les interstices des pavés en situation urbaine (D. Mercier, com. pers. 2013, CBNMed, 2016). En Argentine, Moretto et Distel (1998) ont constaté que l'établissement de semis de *N. tenuissima* n'a lieu qu'en l'absence de pousses et des racines d'autres plantes. Nos relevés confirment également ce point avec un nombre de semis spontanés plus élevés dans les zones où la couverture végétale est faible (relevés N°1078339 et N°1078338 du tableau II). Dans des essais où *N. tenuissima* a été planté à côté d'une parcelle à *Brachypodium retusum* (Pers.) P.Beauv., *N. tenuissima* ne semblent pas capables de se ressemer lorsqu'il y a une strate herbacée déjà bien en place (O. Filippi, com. pers., 2014). On peut donc qualifier cette plante d'*opportuniste* profitant des perturbations plutôt que d'une plante ingénieure (ou *transformer*) modifiant son milieu (MacDougall et Turkington, 2005). Par ailleurs, beaucoup de semis disparaissent en moins d'un an sans parvenir à s'établir (F. Dortel, pers. com. 2016). Reste que les quelques individus recrutés, une fois installés, peuvent former de grosses touffes qui pourraient entrer en compétition avec les espèces voisines (Figure 3 et relevés effectués dans les olivettes du Tableau II). L'impact potentiel de cette concurrence concernerait pour l'instant essentiellement des espèces rudérales, mais aussi quelques annuelles de milieu sec ouvert (cf. Tableau II). Il est cependant important de signaler que cette concurrence n'est que temporaire en un lieu donné : les touffes sont peu pérennes (5-8 ans) et au cours du temps on observe la régression, le déplacement voire la disparition de certaines populations. La formation de populations denses et stables ne seraient possible qu'en cas de perturbations renouvelées qui permettraient un réensemencement continu en absence de compétition (cf. surpâturage ci-dessous).

Il est difficile de prévoir le comportement à long terme de cette espèce une fois qu'elle sera plus largement naturalisée. Certains exemples historiques comme celui de la berce du Caucase (*Heracleum mantegazzinum*) montrent le passage progressif de milieux rudéraux à des milieux semi-naturels après une cinquantaine d'années (Fried, 2009). Dans le cas de *N. tenuissima*, elle semble d'ores et déjà présente dans des habitats naturels ouverts. Sur l'île de Ré, Le Gall (2016) mentionne par exemple l'espèce dans les ouvertures d'une chênaie verte et dans une pelouse sableuse, sans mentionner le niveau de perturbations de ces milieux. Il serait approprié d'envisager une surveillance de *N. tenuissima* dans ces milieux ouverts sensibles.

A l'instar d'une espèce proche, *Nassella trichotoma* (Nees) Hack., très envahissante en Australie et en Nouvelle-Zélande, où par sa faible palatabilité elle a déprécié des hectares de prairies de bonne qualité fourragère, le principal impact de *N. tenuissima* pourrait surtout concerner la dégradation de certaines prairies et parcours de milieux steppiques ouverts et arides (par exemple dans la plaine de la Crau). Dans le cas d'une forte pression de pâturage, les graines peuvent être véhiculées par la toison des moutons et la pression sélective du pâturage sur les autres espèces plus appétentes pourrait renforcer une éventuelle population émergente de *N. tenuissima* (O. Filippi, com. pers., 2014). Dans son aire d'origine en Argentine, elle est peu appétante pour le bétail et elle est considérée comme non-désirable dans les prairies (Moretto et Distel, 1998).

QUELLES MESURES ?

Sur la base des impacts connus de *N. trichotoma*, l'Australie et la Nouvelle-Zélande ont rapidement interdit l'importation et la vente de *Nassella tenuissima*. De même en Afrique du Sud, l'espèce est

réglementée. A l'opposé de ces mesures très conservatrices, la Californie et l'Europe ont des approches beaucoup plus libérales. En Californie, *N. tenuissima* a été ajouté à la liste d'observation en décembre 2010. Les autorités organisent un suivi de l'espèce notamment pour assurer une éradication précoce en cas de détection en milieu naturel. De même en Europe, l'OEPP a placé l'espèce sur sa liste d'alerte en 2009 puis, en l'absence d'éléments nouveaux, sur la liste d'observation en 2012.

Tableau II : Relevés floristiques effectués sur 1 m² dans différents habitats colonisés par *Nassella tenuissima*. Les coefficients d'abondance correspondent à 6 classes de recouvrement : + : <1%, 1 : 1-5%, 2 : 5-25%, 3 : 25-50%, 4 : 50-75%, 5 : 75-100%.

Numéro du relevé (Code SILENE)	1078340	1078339	1078338	1078791	1078792	1078793	1078800
Habitat	Talus de bords de routes	Pelouse à thérophytes ouvertes sur graviers	Pelouse à thérophytes ouvertes sur graviers	Olivette	Olivette	Olivette	Vigne abandonnée
% de couverture de végétation (sans <i>Nassella</i>)	85%	5%	5%	75%	85%	40%	35%
Nombre d'individus de <i>N. tenuissima</i>	1	21	34	1	3	5	6
Coefficients d'abondance-dominance							
<i>Nassella tenuissima</i> (Trin.) Barkworth, 1990	2	1	2	2	3	3	2
Espèces des <i>Sisymbrietea officinalis</i> (friche annuelle)							
<i>Crepis foetida</i> subsp. <i>rhoeadifolia</i>	1		+	1	2		+
<i>Anisantha madritensis</i>	1	1	1		1		
<i>Erodium ciconium</i>	1			+	1	2	
<i>Sonchus oleraceus</i>			+	+	+	+	
<i>Artemisia annua</i>		+	+				1
<i>Avena barbata</i>	1	1					
<i>Erigeron sumatrensis</i>		+					1
<i>Lactuca serriola</i>		+	+				
<i>Sorghum halepense</i>							1
<i>Hordeum</i>	2						
<i>Andryala integrifolia</i>							1
<i>Anisantha sterilis</i>				1			
<i>Sisymbrium officinale</i>						+	
Espèces des <i>Onopordetea acanthii</i> (friche vivace xérophile)							
<i>Carduus pycnocephalus</i>	+	+				+	
<i>Convolvulus arvensis</i>				1		1	
<i>Medicago sativa</i> subsp. <i>sativa</i>	1						
<i>Chondrilla juncea</i>		+					
<i>Daucus carota</i>							+
<i>Malva sylvestris</i>				2		1	1
Espèces des <i>Stipo capensis - Brachypodietea distachyi</i> (tousse basophile à thérophytes)							
<i>Medicago minima</i>		+	+	1	+	+	
<i>Vicia hybrida</i>				+		+	
<i>Rostraria cristata</i>		+	+				
<i>Galium parisiense</i>		+	+				
<i>Petrorhagia prolifera</i>			+				
<i>Arenaria leptoclados</i>		+					
<i>Catapodium rigidum</i>			+				
<i>Erodium cicutarium</i>			+				
<i>Trifolium campestre</i>					1		
<i>Minuartia mediterranea</i>			+				
Espèces des <i>Dactylo glomeratae subsp. hispanicae - Brachypodietea retusi</i> (pelouse basiphile méditerranéenne)							
<i>Piptatherum miliaceum</i>							1
<i>Tragopogon porrifolius</i> subsp. <i>porrifolius</i>					+		
<i>Dactylis glomerata</i>							1
<i>Convolvulus cantabrica</i>						+	
Espèces des <i>Stellarietea mediae</i> (culture)							
<i>Euphorbia helioscopia</i>						+	+
<i>Setaria italica</i> subsp. <i>pycnocoma</i>							1
<i>Avena sterilis</i>					1		
<i>Lathyrus cicera</i>					+		
<i>Silene nocturna</i>		+					
Autres taxons							
<i>Geranium molle</i>	+	+	+	+	+		+
<i>Campanula erinus</i>		+					
<i>Lolium perenne</i>		1	+	+	+	1	
<i>Helichrysum stoechas</i>			+				+

Au sein de l'Union européenne, le nouveau règlement N°1143/2014 permet d'interdire l'introduction d'espèces exotiques envahissantes si une analyse de risque démontre l'existence d'impacts sur la biodiversité ou les services écosystémiques. Dans le cas de *N. tenuissima*, il serait actuellement difficile de documenter de tels impacts, ceux-ci étant potentiellement uniquement de type économique pour les éleveurs (sur la base de son comportement dans les prairies en Argentine et sur les effets observés d'espèces proches en Australie : *N. trichotoma* et *N. neesiana*). Le texte réglementaire concernant plus largement les impacts sur les végétaux et notamment les aspects économiques (Directive 2000/29) ne contient actuellement qu'un seul taxon végétal (i.e., les espèces exotiques du genre *Arceuthobium*, un parasite des résineux). Il semble donc que le type d'impact produit par *N. tenuissima* ne serait potentiellement couvert par aucune réglementation en Europe.

On considère souvent que le temps de la réglementation est trop long face à une espèce qui présenterait un risque d'impacts négatifs et qu'il faudrait intervenir immédiatement pour « fermer le robinet » des introductions via des plantations. Reste alors l'utilisation des codes de bonne conduite des pépiniéristes et des jardineriers, autrement dit le retrait volontaire des catalogues de vente de certaines espèces. Ce type de démarche a déjà été effectué pour des espèces comme *Cenchrus longisetus* M.C.Johnst. et *Cenchrus setaceus* mais elle peut se heurter à l'intérêt économique important que représente une espèce à la mode comme *N. tenuissima*. A titre d'exemple, l'engagement de certains professionnels à ne plus produire, vendre ou utiliser les plantes figurant sur des listes de consensus concerne en fait surtout des espèces qui ne sont pas cultivées (ambroisie, armoise des frères Verlot), qui le sont très rarement de nos jours (renouée du Japon) ou qui sont déjà réglementées (baccharis, jussies). Il est donc important que scientifiques, preneurs de décision et professionnels de l'horticulture et du paysage travaillent ensemble autour d'un système commun d'analyse de risque, pour arriver à de réel compromis.

CONCLUSIONS & PERSPECTIVES

Il est difficile de répondre à la question que nous avons posé dans le titre de cet article. *N. tenuissima* montre une grande facilité à se naturaliser et selon toute vraisemblance elle va continuer à se disséminer à partir des massifs de plus en plus fréquents contenant cette espèce. Cependant, à ce stade, les éléments réunis dans cette étude semblent montrer une faible potentialité d'impacts sur la biodiversité (établissement lié aux perturbations, absence de peuplements denses, faible longévité des touffes établies). Le score obtenu par l'analyse de risque de Weber et Gut (2004) et le placement de cette espèce par l'OEPP sur liste d'observation semblent donc appropriés à la situation actuelle et il faudra continuer à suivre son comportement en particulier dans les milieux ouverts non perturbés.

Ce cas d'étude rappelle cependant que l'on peut toujours introduire avec une facilité déconcertante des espèces potentiellement envahissantes au nom du principe de la libre circulation des marchandises. Mais le vivant est-il une marchandise comme une autre ? Dans le cas d'une graminée dont tout le monde sait qu'elle se resème aisément de manière spontanée, l'acte de la planter massivement sur des ronds-points et dans divers aménagements paysagers revient presque à l'acte de disséminer volontairement cette espèce dans l'environnement. Cela ne va-t'il pas à l'encontre du principe de précaution inscrit dans la Constitution française ? Toujours est-il qu'on peut se demander qui peut légitimement prendre la responsabilité d'un tel acte dont les conséquences peuvent conduire à une forte modification des paysages (cas de l'herbe de la Pampa). Certes, la plupart des introductions sont bénéfiques et peuvent constituer un enrichissement de la biodiversité tandis que les cas d'invasions avec des impacts négatifs avérés restent rares bien que croissants. Mais ce constat n'est jamais possible qu'a posteriori. On pourrait donc souhaiter qu'une structure indépendante puisse effectuer des tests pour conduire de véritables analyses de risque avant d'autoriser l'introduction et/ou l'utilisation à grande échelle d'espèces suspectées d'avoir des impacts négatifs. A l'heure où l'on parle d'économie pour les finances publiques, force est de constater que les collectivités territoriales sont doublement perdantes en finançant l'achat et l'entretien de plantes ornementales, puis quelques années plus tard, les opérations de gestion contre ces mêmes plantes devenues envahissantes...

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Fabien Dortel (CBN Brest) et David Mercier pour les indications fournies sur le comportement de *N. tenuissima* dans l'Ouest ainsi qu'Olivier Filippi (pépiniériste), pour avoir partagé sa connaissance de la biologie et du comportement de la plante. Je remercie le CBNMed pour la mise à disposition des informations détaillées de la base de données SILENE et Pierre Ehret (DGAL) pour sa relecture du manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- Brunel S., Schrader G., Brundu G., Fried G., 2010 - Emerging invasive alien plants for the Mediterranean Basin. *EPPO Bulletin*, 40, 219-238.
- Buchet J., Housset P., Joly M., Douville C., Levy W., Dardillac A. 2015 - *Atlas de la flore sauvage de Haute-Normandie*. Centre régional de phytosociologie agréé Conservatoire botanique national de Bailleul, 696 p. Bailleul.
- CBNMed, 2016. SILENE Système d'Information et de Localisation des Espèces Natives et Envahissantes. http://saisie.flore.silene.eu/gestion_bdd/commun/index.php Accédé le 02 Juillet 2016.
- Conservatoire botanique national du Massif central. <http://www.cbnmc.fr/chloris> Accédé le 03 Juillet 2016
- DAISIE European Invasive Alien Species Gateway, 2016 - *Nassella tenuissima*. Available from: <http://www.europe-aliens.org/speciesFactsheet.do?speciesId=4215> [Accessed 9 July 2016].
- de Lange P.J., Gardner R.O., 1997 - *Stipa tenuissima*: unwanted weedy grass on the move. *Auckland Botanical Society Journal*, 52, 25–26.
- EPPO 2009 - *Stipa trichotoma*, *Stipa neesiana* and *Stipa tenuissima* in the EPPO region: addition to the EPPO Alert List. *EPPO Reporting Service*, 6, 16-20.
- Fried G., 2009 - Changement d'habitat d'*Heracleum mantegazzianum* (Apiaceae) au cours de son invasion en France. XIIIème Colloque international sur la Biologie des Mauvaises Herbes. Dijon, France, 8 – 10 septembre 2009, 473-476.
- Grounds R., 2004 - *Gardening with ornamental grasses*. David and Charles Publishers, Newton Abbot.
- Heywood V. H., 2014 - Voluntary Codes of conduct for botanic gardens and horticulture and engagement with the public. *EPPO Bulletin*, 44, 223–231.
- Jacobs S.W.L., Everett J., M. A.Torres, 1998 - *Nassella tenuissima* (Gramineae) recorded from Australia, a potential new weed related to Serrated Tussock. *Telopea*, 8(1), 41-46.
- Le Gall P., 2016 – Dernières nouvelles botaniques de l'île de Ré. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, 46, 131-135.
- MacDougall A. S., Turkington R., 2005 - Are invasive species the drivers or passengers of change in degraded ecosystems?. *Ecology*, 86(1), 42-55.
- Manceau, R. 2015. Val'hor– Code de conduite professionnel relatif aux plantes exotiques envahissantes en France métropolitaine. www.codeplantesenvahissantes.fr Accédé le 11 Février 2016.
- Moretto A.S., Distel R.A., 1998 - Requirements of vegetation gaps for seedling establishment of two unpalatable grasses in a native grassland in central Argentina. *Australian Journal of Ecology*, 23(5), 419-423.
- Richardson D. M., Pyšek P., Rejmánek M., Barbour M. G., Panetta F. D., West C. J., 2000 - Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and distributions*, 6(2), 93-107.
- Stace A.S., Crawley M.J., 2015 - *Alien plants*. HarperCollins publisher coll. The new naturalist library. London, 626 p.
- State of Queensland, 2016 - Invasive plant risk assessment: Mexican feather grass, *Nassella tenuissima*. Système d'information Calluna du Conservatoire botanique national de Brest : données de terrain recueillies à l'échelle infra communale (inventaire permanent de la flore du CBN de Brest) & données bibliographiques recueillies à l'échelle communale ou infra communale
- Tison J.-M. & de Foucault, B. 2014 - *Flora Gallica*. Flore de France. Biotopie, Mèze, xx + 1196 p.
- Weber E., Gut D., 2004 - Assessing the risk of potentially invasive plant species in central Europe. *Journal for Nature Conservation*, 12(3), 171-179.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**MISE EN PLACE D'UN PROTOCOLE DE DETECTION PRECOCE PAR L'OBSERVATOIRE REGIONAL DES
PLANTES AQUATIQUES EXOTIQUES ENVAHISSANTES EN POITOU-CHARENTES**

L. RABIN, F. THINZILAL ⁽¹⁾ et L. ANRAS⁽²⁾

Forum des Marais Atlantiques
Quai aux Vivres BP 40214
17304 Rochefort sur Mer Cedex
fthinzilal@forum-marais-atl.com – 05 46 87 85 34 ⁽¹⁾
lanras@forum-marais-atl.com - 05 46 87 08 00 ⁽²⁾

RÉSUMÉ

Dans le cadre des travaux de l'observatoire régional des plantes aquatiques exotiques envahissantes en Poitou-Charentes (ORENVA), il est apparu indispensable de disposer d'un système de veille ou de surveillance efficace et opérationnel. Il est dédié à la détection précoce et la mise en place d'actions rapides de gestion au sein du réseau régional d'acteurs. La cellule d'animation a conçu des guides à destination des observateurs et/ou gestionnaires pour permettre la détection et le signalement précoces de l'arrivée de nouvelles plantes aquatiques exotiques envahissantes dans la région : *Crassula helmsii*, *Cotula coronopifolia*...

Pour en savoir plus : www.orenva.org

Mots-clés : détection précoce, plante exotique émergente, observatoire, *Crassula Helmsii*, *Cotula coronopifolia*.

ABSTRACT

The ORENVA (observatoire régional des plantes aquatiques exotiques envahissantes en Poitou-Charentes) set up a partnership at regional scale to detect, observe and manage invasive plants. Early spotting of areas infested by invasive species done by regional partners should enable local stakeholders to undertake efficient managing plans. ORENVA produces guidelines about invasive species to enhance identification knowledge and map spotting techniques by technicians, for eg. *Crassula helmsii* or *Cotula coronopifolia*. The earlier invasive weeds are spotted, the easier is it to control their spread. Early detection improve management response and efficiency, lowering management budget.

Further information on the invasive species Regional partnership in Poitou-Charentes can be found on ORENVA's website: www.orenva.org

Keywords: invasive plants, invasive species, weeds, early detection of invasive or alien species, regional partnership on invasive species, France, *Crassula Helmsii*, *Cotula coronopifolia*.

INTRODUCTION

Selon l'UICN (Union internationale pour la conservation de la nature), les espèces exotiques envahissantes (EEE) sont considérées actuellement comme l'une des grandes menaces pour la biodiversité dans le monde (Sarat et al., 2015). Il est donc important de bien les connaître pour pouvoir les contrôler et du moins limiter leurs impacts.

« Une espèce exotique envahissante est : une espèce exotique (allochtone, non indigène) dont l'introduction (volontaire ou fortuite) par l'Homme, l'implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences négatives sur les services écosystémiques et/ou socio-économiques et/ou sanitaires » (UICN, 2000 ; Pyšek et al., 2009 ; Genovesi et Shine, 2011 ; Parlement européen et Conseil de l'Europe, 2013).

Face à cet enjeu, la Région Poitou-Charentes a souhaité accompagner les syndicats de rivières dans le contrôle des plantes exotiques envahissantes avec la mise en place d'un observatoire régional des plantes aquatiques exotiques envahissantes, l'ORENVA.

Afin de permettre d'améliorer les garanties de succès de gestion, il est préconisé la mise en place de mesures dès l'apparition d'une espèce exotique envahissante sur un nouveau site d'implantation.

« Les espèces prioritaires pour la détection précoce sont d'une part les espèces absentes d'une région et/ou du bassin mais connues ailleurs (région voisine, zone naturelle voisine, autre bassin versant, etc.) pour être très envahissantes et risquant d'être introduites, et d'autre part les espèces présentes mais très localisées, pas forcément envahissantes mais risquant de le devenir. » Source : Stratégie de bassin Loire-Bretagne.

Ainsi, le fait de disposer d'un système de veille et de surveillance opérationnel et efficace s'avère indispensable. Cette démarche a été instaurée en région Poitou-Charentes après que des signalements eurent été réalisés auprès de l'ORENVA au début des années 2010.

MATERIEL ET MÉTHODE

OBSERVATOIRE REGIONAL DES PLANTES EXOTIQUES ENVAHISSANTES DES ECOSYSTEMES AQUATIQUES DE POITOU-CHARENTES (ORENVA)

L'origine de cette démarche part d'un constat partagé : les plantes exotiques envahissantes (PEE) prolifèrent dans les milieux aquatiques de Poitou-Charentes. Face à ce constat, la Région Poitou-Charentes a pris l'initiative de rassembler les gestionnaires pour constituer un réseau d'acteurs. Il s'agissait de partager les expériences et les savoir-faire et de mettre à disposition un outil de connaissance et d'aide à la gestion.

En 2008, cet outil a pris la forme d'un observatoire, l'ORENVA. Celui-ci est mis au service d'une politique cohérente et intégrée des milieux humides et des cours d'eau de la région. L'observatoire régional s'appuie ainsi sur l'expérience acquise par les acteurs en Région. Le développement d'un réseau dense de partenaires locaux et la conception des outils tiennent compte de l'organisation territoriale existante.

Elle s'est ainsi structurée en quatre niveaux d'opérateurs :

- Niveau 1 (N1) : observateurs, chargés de réaliser les inventaires (essentiellement gestionnaires locaux : une centaine de contacts),

- Niveau 2 (N2) : neuf coordinateurs de bassin hydrographiques (structures départementales ou de bassin versant),
- Niveau 3 (N3) : cellule d'animation régionale de l'observatoire (Conseil Régional Poitou-Charentes, Observatoire Régional de l'Environnement et Forum des Marais Atlantiques),
- Niveau 4 (N4) : coordination inter-régionale (avec les régions voisines et les systèmes d'Information nationaux ou de bassin).

ELABORATION DE LA DEMARCHE DE VEILLE

Un document-cadre a été rédigé afin de définir une démarche de veille. Le niveau opérationnel est servi par deux guides synthétiques, dédiés à l'observateur local et au gestionnaire collectif. Ils décrivent le rôle de chaque acteur dans cette démarche, où compte le délai de réponse de chacun (délai court de deux semaines de réponse maximum) pour permettre :

- la détection la plus précoce possible de l'arrivée de nouvelles plantes aquatiques exotiques envahissantes en Poitou-Charentes,
- d'aider à la prise de décision de gestion, avec une mise en œuvre rapide,
- de diffuser l'alerte dans le réseau (du local au national).

Cette démarche de veille associe un grand nombre d'acteurs, à tous niveaux. Un niveau clef est celui du « groupe de référents de l'ORENVA », auquel contribue le Conservatoire Botanique National Sud Atlantique (CBNSA) (missions structurelles de connaissance de la flore sauvage) et des partenaires scientifiques et techniques expérimentés. Ce niveau permet d'assurer la validation de l'alerte, et opère le relais de l'alerte à différentes échelles de territoire (local, régional, bassin, national).

Deux alertes (*Crassula helmsii* en 2011 et *Aponogeton distachyos* en 2014) dans le département des Deux-Sèvres ont servi de base à la formalisation d'un circuit d'information et de décision. Deux premières fiches de signalement sont ainsi consultables dans l'onglet « plantes émergentes » du site de l'ORENVA (www.orenva.org).

ETAPE 1 : OBSERVATION – DETECTION PRECOCE

Lorsque qu'un observateur détecte une espèce inconnue, il envoie un échantillon au Conservatoire botanique (selon un protocole de conservation et un délai défini afin de faciliter sa détermination).

Le Conservatoire botanique retourne son diagnostic à l'observateur et, dans le cas de la détermination d'une plante exotique envahissante, en informe la cellule d'animation régionale de l'observatoire.

L'observatoire se charge ensuite d'en informer le coordinateur de bassin versant concerné et invite l'observateur à remplir une fiche « état des lieux » pour formaliser ce nouveau signalement.

Etape 1 : Observation – Détection précoce

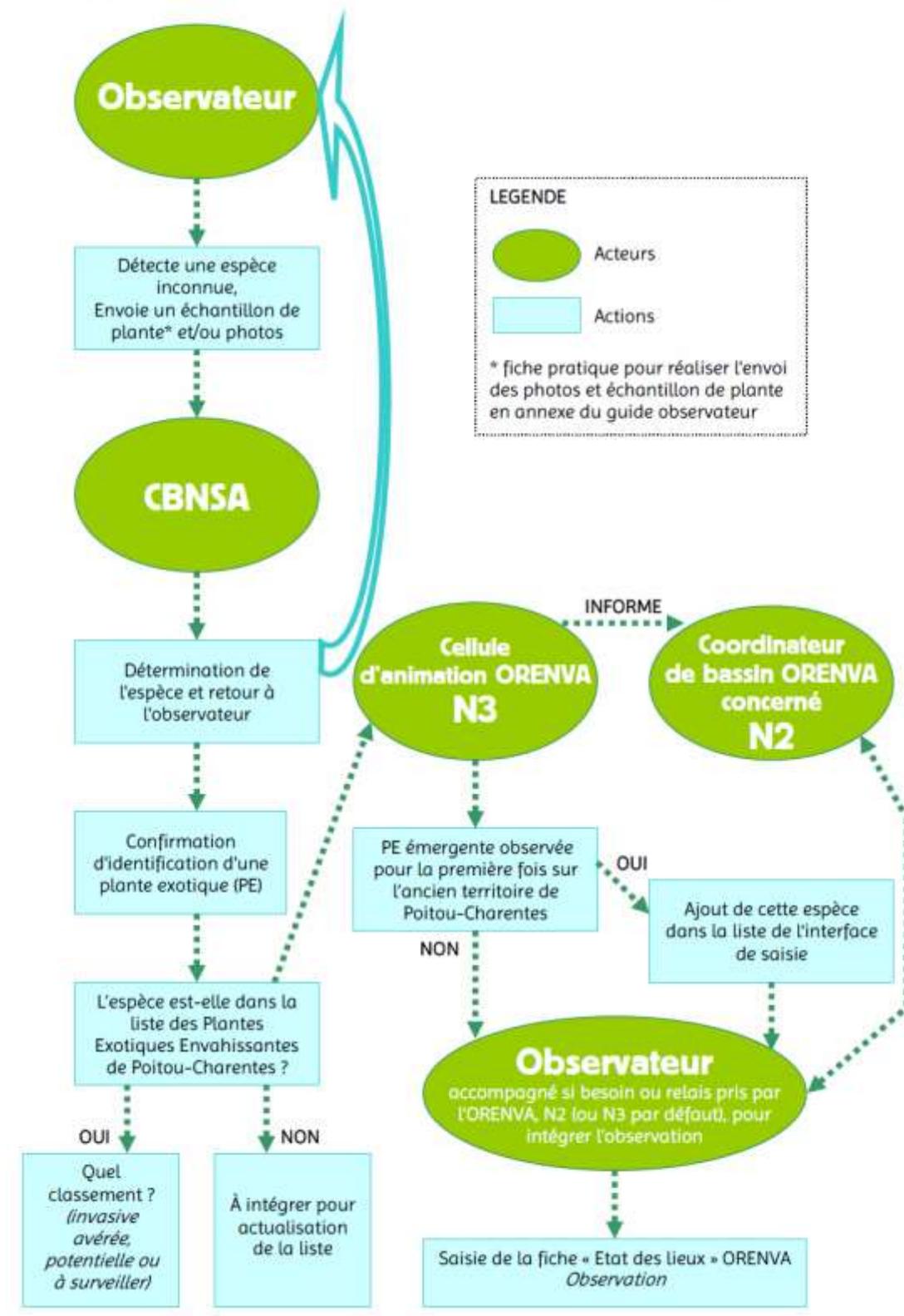


Figure 1 : Observation – détection précoce

ETAPE 2 : EXPERTISE, AIDE A LA DECISION DE GESTION

La détermination étant confirmée, le coordinateur de bassin versant contacte la structure de gestion (ou d'animation) locale, par exemple un technicien rivière, (dans le cas où il n'est pas l'observateur). Il confie la tâche au technicien (ou observateur) d'informer les riverains. Il doit réaliser en outre une visite de contrôle aux alentours de la station détectée afin de rédiger une fiche de « **détection précoce-alerte** » (trame prédéfinie à sa disposition).

Le « groupe de référents ORENVA », constitué d'experts, est ensuite destinataire de la fiche de « **détection précoce-alerte** ». Il émet un avis collégial, traitant des préconisations de gestion basées sur les avis experts de ses membres et des retours d'expériences connus.

L'information est retournée à la structure de gestion (ou d'animation) locale, qui pourra se baser sur cet avis pour la mise en place des mesures de gestion, qu'elle effectue en fonction de ses moyens humains et financiers à sa disposition.

Etape 2 : Expertise, aide à la décision de gestion

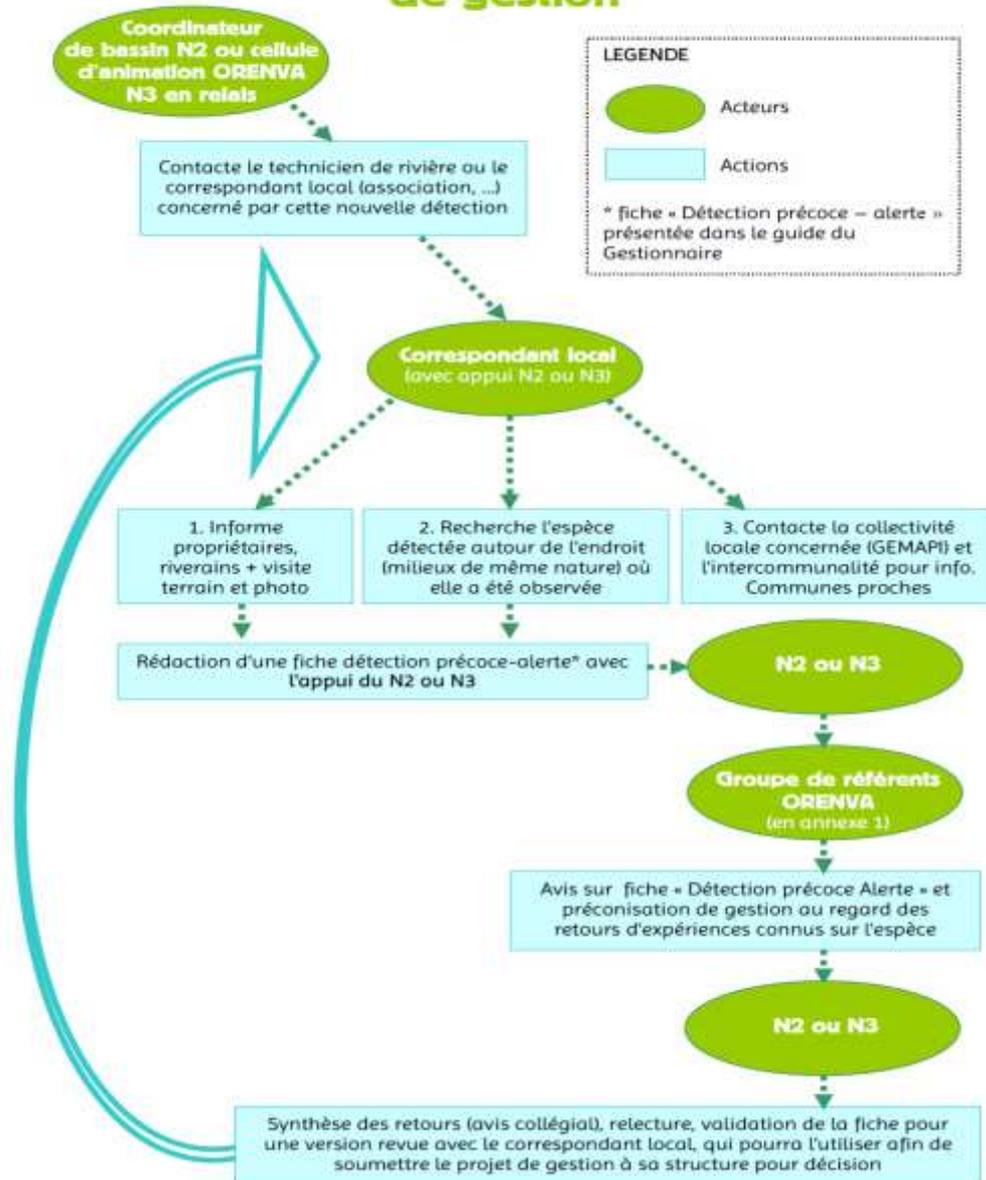


Figure 2 : Expertise – Aide à la décision de gestion

ETAPE 3 : DIFFUSION DE L'ALERTE

Il s'agit de toucher le public le plus large possible, en dehors du groupe d'experts déjà informés. Des personnes relais au sein de structures publiques et associatives ont été identifiées au niveau départemental (DDTM, Fédération de pêche) et régional (Conservatoire d'espaces naturels, associations naturalistes), afin qu'ils transmettent l'alerte à leurs réseaux respectifs.

A cet effet, la fiche de « détection précoce - alerte » peut être diffusée dans un premier temps. Elle peut s'effectuer avant toute prise de décision de gestion, afin d'alerter le plus tôt possible le réseau. Cette fiche est toutefois à rediffuser, une fois actualisée avec les modalités de gestion choisies, pour informer l'ensemble des acteurs des suites données (suivi renforcé, intervention ou aucune action).

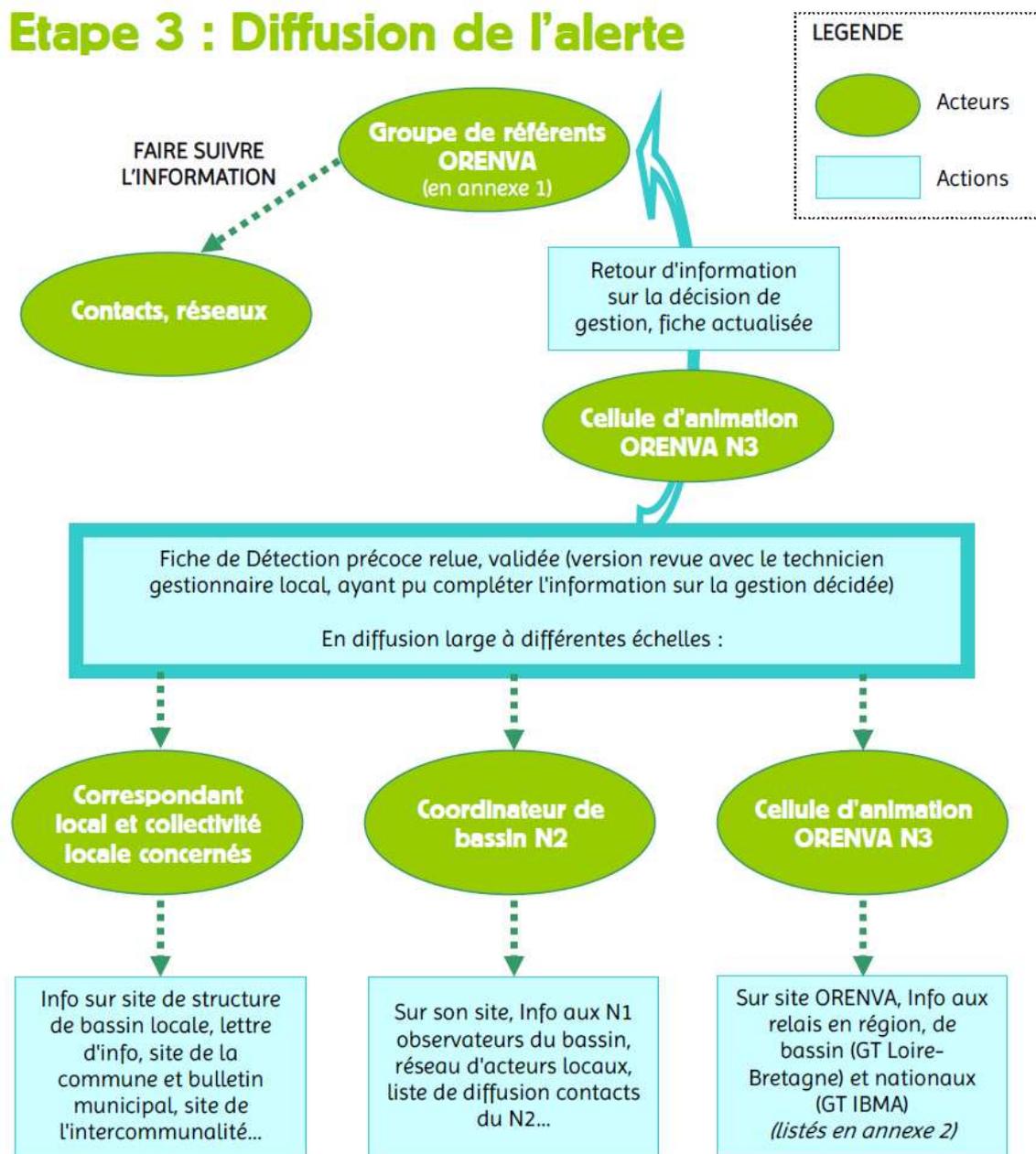


Figure 3: Diffusion de l'alerte

La fiche de « **détection précoce – alerte** » validée à l'étape 2 est le support privilégié de diffusion de l'alerte.

Cette diffusion doit être réalisée rapidement par le technicien-observateur auprès des coordinateurs N2 de l'ORENVA et de la cellule d'animation régionale N3, assurant chacun des relais à leurs propres listes de diffusion.

Si l'on récapitule, cette fiche validée est adressée :

- De nouveau au correspondant local identifié, afin qu'il puisse communiquer à l'échelle des collectivités ou intercommunalités avec ce support validé ;
- aux coordinateurs N2 afin qu'ils informent leur réseau d'observateurs sur leur bassin local et autres réseaux d'acteurs locaux.

La cellule d'animation de l'ORENVA (N3) assure la diffusion de l'information :

- à l'échelle régionale auprès des contacts relais identifiés comme les Fédérations de pêche ou Conservatoire d'espaces naturels (autres N2) ;
- au niveau « bassin » à la Fédération des Conservatoires d'espaces naturels (FCEN) et son groupe de travail EEE sur le bassin Loire-Bretagne (N4) ;
- au niveau national à l'UICN qui anime le groupe de travail national « Invasions Biologiques en Milieux Aquatiques » (GT IBMA) (N4).

RESULTATS

En intervenant rapidement et régulièrement depuis 2011 après la détection de la Crassule de Helms (*Crassula helmsii*) sur un petit plan d'eau en Deux Sèvres, l'Institution interdépartementale du bassin de la Sèvre niortaise et le Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique Autize Egray ont réussi à éliminer cette station. Cela a permis d'éviter qu'elle se propage au bassin versant proche de l'Egray. En 2015, comme preuve d'une éradication réussie, aucun pied de Crassule de Helms n'a été observé sur ce plan d'eau lors des différents passages de surveillance de la technicienne.

Un autre signalement en 2014 dans le département des Deux Sèvres concernait la Vanille d'Eau (*Aponogeton distachyos*) sur le territoire du Syndicat Mixte du Bassin de la Boutonne. Le plan d'eau concerné était isolé du réseau hydrographique du bassin versant. L'herbier n'étant composé que de cinq pieds, il a été décidé collégialement, en lien avec le technicien du Syndicat, de ne pas intervenir sur ce plan d'eau mais plutôt de surveiller l'évolution de la colonisation. Cette plante étant encore peu connue, l'objectif de cette surveillance était de mieux connaître son comportement sous nos latitudes. En 2016, l'herbier persiste sans progresser et le technicien le surveille régulièrement.

Depuis la mise en place du système de veille et détection précoce-alerte, d'autres observations de nouvelles espèces ont été signalées. On observe une fréquence croissante des signalements depuis la formalisation des procédures de veille fin 2015. De plus, une cinquantaine d'observateurs professionnels, en collectivité ou milieu associatif, ont été formés depuis 2012 à la reconnaissance des plantes aquatiques exotiques envahissantes les plus communes en Poitou-Charentes, puis celles en phase d'émergence depuis 2015. Ceci a pour effet de renforcer la probabilité de signalement de nouvelles stations.

Un accompagnement technique devant aboutir à des possibilités de gestion est actuellement en cours sur trois sites :

Le premier concerne la présence de *Cotula coronopifolia* à Charron (17) dans le jardin d'un particulier. Sa présence et sa détermination proviennent directement de la propriétaire du terrain, qui s'inquiétait d'une éventuelle toxicité pour ses chevaux. L'ayant achetée en jardinerie, elle connaissait son nom. Ne trouvant pas des conditions favorables à son développement dans sa veranda, elle l'avait ensuite plantée dans son jardin. Suite à un remaniement récent du jardin pour

l'entretien d'une mare servant à l'abreuvement de ses chevaux, la plante s'est ensuite rapidement propagée d'où l'inquiétude de la propriétaire et son signalement.

Le deuxième secteur bénéficiant d'un accompagnement technique concerne la Crassule de Helms sur le site de Pescalis à Moncoutant (79). Ce sont des étangs dédiés à la pêche de loisir. Aucun lien avec l'autre station de crassule de Helms des deux Sèvres n'a pu être établi. Deux hypothèses concernant son apparition sur le site des Pescalis sont, à ce jour, possibles. La première station de Crassule de Helms dans le Grand Ouest en 2009 a été signalée à Donges (44). Les travaux de gestion ont été réalisés par une entreprise des Deux Sèvres, basée à moins de 15 km de Pescalis. Cependant, il est fortement probable que les foyers de Crassule présents à Pescalis soient plutôt originaires des aquariums d'eau douce utilisés pour les activités pédagogiques. La vidange régulière des aquariums dans les mares pédagogiques pourraient expliquer cette apparition. Le piétinement dans les mares lors des animations pour les scolaires a probablement favorisé son extension par bouturage sur le site.

Enfin le troisième site concerne également la Crassule de Helms dans le canal de Rompsay à La Rochelle (17). Ce signalement est très récent. A ce jour nous ne disposons pas d'éléments quant à l'origine de ce foyer.

Au regard de ces premiers signalements via ce protocole, il semblerait que les stations signalées soient récentes et que leur extension rapide soit à l'origine de l'alerte. Dans tous les cas et à toutes les échelles (entreprise faisant des travaux, particulier en jardinerie, accueil touristique), on peut souligner que le manque de communication sur ces plantes est à l'origine de leur dispersion.

DISCUSSION /CONCLUSION

Ces premiers résultats concluant confirment l'importance d'agir le plus tôt possible sur ces plantes dites « émergentes » afin d'enrayer leur dynamique de progression dans les milieux naturels.

La formalisation opérationnelle du circuit d'information et la formation à la reconnaissance de ces nouvelles plantes sont deux principes efficaces pour tenter d'atteindre cet objectif. Le public professionnel est atteint mais il reste maintenant à mobiliser le grand public ou du moins les bénévoles naturalistes pour accentuer la pression d'observations, en réduisant progressivement les espaces non surveillés. Par exemple dans le département de la Charente, bien pourvu en poste de techniciens rivière (13), environ 85 % du linéaire hydrographique est couvert. Ce n'est pas forcément le cas dans les départements limitrophes. Des secteurs dans les départements de Charente maritime et de la Vienne sont très peu couverts. Afin de pallier ce manque d'observateurs dans ces secteurs et d'augmenter l'efficacité de ce protocole, il peut être envisagé de s'orienter plutôt vers des bénévoles pour ces observations.

Cependant, dans un contexte de réchauffement climatique et de contrainte budgétaire pour les collectivités territoriales, financeurs principaux de la gestion, quelle priorité donner à ces plantes émergentes ? Il est courant d'observer que les moyens sont affectés par les décideurs aux problèmes manifestes et visibles. Un véritable tournant dans les dépenses publiques pourrait toutefois s'opérer en affectant ceux-ci à la veille préventive, source d'importantes économies.

Cette question est d'autant plus d'actualité que la Nouvelle Aquitaine, région résultant de la fusion des ex- régions Limousin, Poitou-Charentes et Aquitaine, est en train de se mettre en place. Quel sera le devenir de ce dispositif ? Le Limousin semble inscrit dans la même démarche avec son Observatoire des Plantes Exotiques Envahissantes du Limousin (<http://www.plantes-exotiques->

envahissantes-limousin.fr). Le Conservatoire Botanique National Sud Atlantique a lancé un Observatoire de la Flore Sud Atlantique (<http://www.ofsa.fr>) avec des fiches espèces cartographiées, notamment consacrées aux plantes exotiques envahissantes. Des outils complémentaires existent, il conviendrait donc de les mutualiser dans ce sens pour rendre efficace une telle stratégie à l'échelle de cette nouvelle région.

REMERCIEMENTS

Tous les gestionnaires locaux des milieux aquatiques, 1^{er} maillon du territoire dans le lancement des alertes.

BIBLIOGRAPHIE

Coord. Hudin S., Haury J., Matrat R., Anras L. et al., 2014. Gestion des espèces exotiques envahissantes du bassin de la Loire – stratégie 2014-2020, Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, 18 p.

Sarat E., Mazaubert E., Dutartre A., Poulet N., Soubeyran Y., 2015. Les espèces exotiques envahissantes. Connaissances pratiques et expériences de gestion. Volume 1 - Connaissances pratiques. Onema. Collection Comprendre pour agir. 252 pages.

Ressources Internet

<http://www.orenva.org/Protocole-de-detection-precoce.html>

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

L'ACTION CIBLEE DU CEN CENTRE-VAL DE LOIRE SUR LES SOLIDAGES INVASIFS

H. GERVAIS ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Conservatoire d'espaces naturels Centre-Val de Loire, 3 rue de la Lionne 45 000 Orléans, France.
helene.gervais@cen-centrevaldeloire.org

RÉSUMÉ

Le Conservatoire d'espaces naturels Centre-Val de Loire met en œuvre et suit sur deux des sites naturels qu'il préserve dans les départements du Cher et de l'Indre des travaux d'élimination des solidages, plantes invasives nuisant à la biodiversité des espaces concernés. Ce travail mené depuis plusieurs années donne aujourd'hui quelques pistes pour une bonne gestion de cette plante ; un retour d'expériences étayé qui vient alimenter les travaux du groupe de travail « plantes invasives » de la région, chargé de coordonner les actions pour une meilleure gestion de ces espèces.

Mots-clés : plantes invasives, solidages, gestion, inondation, broyage.

ABSTRACT

MANAGEMENT WOK BY THE CEN CENTRE-VAL DE LOIRE IN FRANCE ON THE ELIMINATION OF THE INVASIVE GOLDENROD *SOLIDAGO SP.*

The « Conservatoire d'espaces naturels » of the « Centre-Val de Loire » practices and surveys work to eliminate the invasive plant Goldenrod (*Solidago sp.*), which is harmful to biodiversity, in two protected natural sites in the Cher and Indre departments in central France. Experience gained during the several years of this work provides an idea of how to manage the species effectively; the results of these well documented experiences have been included in the work of the region Centre's Invasive plants working group, responsible for the coordinated action of invasive alien plants management.

Keywords: invasive plant, Goldenrod, management, flooding, grinding.

INTRODUCTION

Les solidages invasifs (Solidage du Canada, *Solidago canadensis*, et Solidage glabre, *Solidago gigantea*) sont des astéracées américaines naturalisées en France depuis le XIXe siècle. Elles sont considérées aujourd'hui comme des plantes invasives en milieux naturels. Initialement introduites comme plantes ornementales rustiques, elles ont également été implantées pour leur fort potentiel mellifère. En région Centre-Val de Loire, ces plantes se retrouvent principalement le long des grands cours d'eau, notamment en Vallée de la Loire, où elles s'implantent dans les prairies, les milieux rudéraux et les zones humides.



Figure 1: Solidage du Canada

Si les premières données bibliographiques, des solidages glabre et du Canada en région Centre-Val datent de la seconde partie du XIXe siècle, leur présence sur les sites du Conservatoire d'espaces naturels (Cen) Centre-Val de Loire n'est avérée qu'à partir de 1996. Sur deux secteurs, les enjeux sont particulièrement importants, avec la présence d'habitats remarquables ; une colonisation potentielle et une compétition possible avec des espèces protégées étaient à craindre. Sur le site des Chenevières à Déols (36), des enjeux liés à la présence de chevaux étaient également à prendre en compte avec le risque de raréfaction de l'espace pâturable.

MATERIEL ET MÉTHODE

Les premiers travaux se sont déroulés en 2002 sur les Saulières à Herry (18) (Gressette et Grimaud, 2000, Gressette, 2008a) et en 2003 sur les Prairies des Chenevières (Gressette 2008b et Chorein, 2013). Ces actions étaient inscrites dans les plans de gestion des sites élaborés par le Cen Centre-Val de Loire (Maupoux, 2002 ; Chorein 2010) et ceux de la Réserve naturelle du Val de Loire (Forest et al., 2009). Les techniques mises en place sont comparables, avec des spécificités liées aux sites. Un broyage mécanique a été réalisé dans les zones les plus densément colonisées par les solidages. Une fauche manuelle avec débroussailluse à main a été effectuée en complément sur les zones moins accessibles. L'exportation des produits de broyage n'était pas prévue, les travaux se déroulant avant la germination. Si, sur Déols, les travaux se sont déroulés annuellement, à l'exception de 2008 et 2010 où le terrain trop humide n'a pas permis l'intervention du broyeur. Les opérations n'ont pas été aussi régulières sur Herry pour des raisons techniques et financières ; le broyage du Solidage glabre n'y a ainsi été réalisé que de 2002 à 2005, en 2008 puis de 2011 à 2013.



Figure 2 : travaux de broyage de solidages à Herry en 2013

En outre, sur Herry, un débroussaillage et un abattage sur 0,85 ha, préalables aux travaux, ont été réalisés en 2002 et 2003. En 2012, le Solidage glabre ayant tendance à se développer en lisière de milieux forestiers et le milieu à se fermer, cette action a été renouvelée sur 7,22 hectares.

14 îlots de Solidage dont la taille était comprise entre 7 et 67 m² ont été fauchés, la moitié en 2004 et l'autre en 2006. Une bâche noire a ensuite été solidement fixée à l'aide d'agrafes métalliques pour limiter la pénétration de la lumière et donc la croissance des plantes.

Partant du constat que la submersion des solidages (Michelot, 1994) affecte leur développement, des travaux de restauration hydraulique des Prairies de Chênevières furent réalisés en 2007 par une association d'insertion, avec l'installation d'une bonde, réglable manuellement à l'exutoire du réseau de fossés, associée à une série de seuils.

RESULTATS

L'INFLUENCE DU BROYAGE ET DES SUBMERSIONS SUR LES SOLIDAGES

Sur Déols, les surfaces entretenues sont passées de 0,98 ha en 2002 à 0,35 en 2012 et la superficie colonisée a diminué de 70 % entre 2002 et 2013. Trois plantes protégées régionalement sont apparues : la Samole de Valérand (*Samolus valerandi*), le Pigamon jaune (*Thalictrum flavu*) et la Germandrée des marais (*Teucrium scordium*).

Sur Herry, les surfaces colonisées ont régressé entre 2002 et 2008 de 21 %, passant de 5,77 ha à 4,55 au profit de groupements prairiaux (Gervais, et Gressette, 2015).



Figure 3 : les unités écologiques des Saulières à Herry en 2002 et 2008

La submersion proche de 21 jours continue ou non, est une perturbation majeure. Une régression des solidages suite à des périodes plus longues d'inondation a été observée sur les Prairies des Chênevières (Déols) en 2007 et sur les Saulières (Herry) après les événements de l'automne-hiver 2003-2004.

MAINTENIR LA VIGILANCE

Néanmoins, les fortes augmentations des superficies colonisées après une ou deux années sans intervention : 60 % de 2008 à 2009 et 28 % de 2010 à 2011 sur Déols et 47 % en 2008 sur Herry, prouvent que les opérations d'entretien courant doivent s'inscrire dans la durée.

Sur les Saulières, certaines zones envahies à 25 % en 2008 sont envahies à plus de 75 % en 2012. Cette reprise de l'invasion peut être mise en parallèle avec l'absence de broyage sur la zone en 2006, 2007, 2009 et une réalisation non optimale en 2011. Des actions de restauration ont même dû être effectuées pour faire face à la fermeture du milieu.

LE BACHAGE, UNE OPERATION EFFICACE SUR LES PETITES SURFACES

L'expérimentation de bâchage sur des îlots à Solidage, durant une saison de végétation, a une efficacité proche de 100 % quel que soit le milieu et la densité en Solidage et, cela, dès la première année. Cette méthode rend les rhizomes secs et le sol nu. Elle n'est cependant pertinente que sur de petites surfaces et la proximité de formations denses à Solidage dans un rayon de 10 à 50 mètres peut favoriser une recolonisation de la zone bâchée.

De plus, la création d'un sol nu peut être propice à l'arrivée d'autres espèces exotiques ou rudérales selon le contexte.

DES NOYAUX RESISTANTS, SOURCES D'INVASION

Sur Déols, malgré la diminution globale observée de 2002 à 2013, des îlots de zones fortement colonisées par le Solidage du Canada (densité supérieure à 75 %) subsistent. Ces noyaux résistants, topographiquement situés sur des points hauts doivent faire l'objet d'une attention particulière car ils constituent de futures sources d'invasion sur les Prairies des Chênevières, confirmées par les cartographies réalisées en 2009 et 2011.

CONCLUSION

Le Cen Centre-Val de Loire a ainsi su tirer les conclusions de ces expériences de gestion, y compris des échecs. En effet, pour tendre vers une éradication à moyen terme, les opérations d'entretien courant doivent être réalisées annuellement ; on observe qu'une seule année sans intervention fait perdre une partie de l'investissement accompli les deux années précédentes. Seule une gestion annuelle permet de diminuer fortement les densités et les taux de recouvrement de ces espèces, sur les deux sites.

De même, la mise en œuvre d'un panel de différentes techniques permettra de mener une gestion adaptée plus efficace de restauration d'espaces naturels envahis par ces espèces ; le contrôle de l'inondation, envisageable sur Déols, devrait être mieux quantifié car il semble que ce soit la méthode la plus efficace, les plus grosses régressions des solidages ayant eu lieu les années d'inondations les plus fortes.

REMERCIEMENTS

Ses actions n'auraient pu se dérouler sans le soutien financier de l'Europe, de la Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement, de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, du Conseil départemental du Cher et du personnel des équipes des conservatoires d'espaces naturels Centre-Val de Loire et Bourgoigne, gestionnaire de la Réserve naturelle du Val de Loire.

BIBLIOGRAPHIE

Chorein A., 2010 – Plan de gestion 2010-2017 des Prairies des Chênevières. Rapport, Conservatoire du patrimoine naturel de la région Centre, 53 p.

Chorein A., 2013 – Gestion expérimentale pour l'élimination du Solidage du Canada (*Solidago canadensis*) : Prairies des Chènevières à Déols. Rapport, Conservatoire du patrimoine naturel de la région Centre, 5 p. + annexes.

Forest C., Neyer C., Paris M., Pointecouteau N. & Fritsch B., 2009 – Plan de gestion de la Réserve naturelle du Val de Loire (58-18) 2010-2014 : section A, diagnostic. Rapport, Conservatoires d'espaces naturels des régions Bourgogne et Centre, 199 p. + annexes ; section B, gestion. Rapport, Conservatoires d'espaces naturels des régions Bourgogne & Centre, 129 p.

Gervais H., Gressette S., 2015 – L'action ciblée du Cen Centre-Val de Loire sur les solidages invasifs, in Recherches naturalistes n°1 Ns.

Gressette S., 2008a – Gestion expérimentale pour l'élimination du Solidage glabre (*Solidago glabra*) au sein de la Réserve naturelle du Val de Loire. Rapport, Conservatoire du patrimoine naturel de la région Centre, 12 p. + annexes.

Gressette S., 2008b – Gestion expérimentale du Solidage du Canada des Prairies des Chènevières à Déols (36), années 2001 à 2008. Rapport, Conservatoire du patrimoine naturel de la région Centre, 37 p. + annexes.

Gressette S., Grimault C., 2000 – Restauration de la prairie des Chènevières à Déols (Indre) : expérimentation pour l'élimination du Solidage du Canada (*Solidago canadensis*). Rapport, Conservatoire du patrimoine naturel de la région Centre, mars 2000, 10 p.

Maupoux J., 2002 – Plan de gestion Les Prairies des Chènevières 2003-2007. Rapport, Conservatoire du patrimoine naturel de la région Centre, 82 p. + annexes.

Michelot J.-L., 1994 – Gestion et suivi des milieux fluviaux: l'expérience des réserves naturelles. Rapport, Réserves naturelles de France, Quétigny, 440 p.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**LE TRAITEMENT DE L'AMBROISIE A FEUILLES D'ARMOISE PAR LE SEL EN SOLUTION : UNE
METHODE ALTERNATIVE POUR LES ZONES NON AGRICOLES ?**

R. BILON⁽¹⁾, M. MOTTET⁽¹⁾, J. JACQUIN-DANTIN⁽¹⁾⁽²⁾, B. CHAUVEL⁽¹⁾⁽³⁾

⁽¹⁾ Observatoire des ambrosies, Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France. observatoire.ambroisie@dijon.inra.fr

⁽²⁾ ICM, Université de Grenoble-Alpes, avenue du 8 mai 1945, 38130 Echirolles, France.
j.jacquin-dantin@hotmail.fr

⁽³⁾ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France.
bruno.chauvel@dijon.inra.fr

RÉSUMÉ

L'ambrosie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia* L.) est une espèce envahissante dont la présence en France cause des problèmes de santé publique importants. Le sel en solution est largement utilisé au Canada pour désherber l'ambrosie à feuilles d'armoise en bord de route. Ce produit offre un fort potentiel pour lutter contre cette plante allergisante, mais il n'est actuellement pas homologué en France ni en Europe pour un usage autre que le déneigement. Des tests de traitement par des solutions de chlorure de sodium (NaCl ; sel de déneigement) ont montré une destruction efficace de l'ambrosie à partir d'une concentration de 60 g.L⁻¹. Ce traitement détruit également d'autres espèces (famille des Fabacées) mais épargne les graminées (Poacées), ce qui évite de laisser un sol nu, propice à la recolonisation par l'ambrosie. Si le sel est intéressant pour la lutte contre l'ambrosie le long des voies de communication et éventuellement dans les espaces verts, il est toutefois nécessaire d'évaluer les éventuels impacts négatifs (faible sélectivité, effet environnemental) d'une telle utilisation en vue de l'homologation du produit.

Mots-clés : espèce envahissante, désherbage au sel, sélectivité, infrastructures de transports.

ABSTRACT

TREATING COMMON RAGWEED WITH SALINE SOLUTION: AN ALTERNATIVE METHOD FOR NON-CROP AREAS?

Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) is an invasive species which presence in France is the cause of a serious public health issue. Salt solution is largely used in Canada on that species on road sides. Although this ingredient has a high potential to control common ragweed, it is not yet authorized in France or in Europe other than for snow removal. Trial treatments were made with sodium chloride (NaCl; road salt) led to efficient destruction of ragweed with a minimal concentration of 60 g.L⁻¹. This treatment also destroys other species (from the Fabaceae family) but it saves Poaceae and does not lead to bare ground that would be quickly recolonized by ragweed. Sodium chloride seems to be an interesting means of fighting against ragweed along transports routes and possibly in parks and gardens. However, it is necessary to estimate its potential negative impacts (low selectivity, environmental effect) of such a use before authorizing it.

Keywords: invasive species, salt weeding, selectivity, transport routes.

INTRODUCTION

L'ambrosie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia* L., ici appelée simplement ambrosie) est une espèce envahissante importée d'Amérique du Nord vers l'Europe au cours de la seconde moitié du XIXe siècle. Aujourd'hui présente sur une grande partie du territoire français, elle a un impact très négatif sur la santé humaine. Cette espèce produit en effet des pollens fortement allergisants en fin d'été, avec des symptômes tels que la rhinite, la conjonctivite, l'apparition de l'asthme ou son aggravation et, parfois, des atteintes cutanées avec de l'urticaire ou de l'eczéma (Goldfarb, 1972). La prévalence de l'allergie est estimée à 13% de personnes allergiques dans l'ex-région Rhône-Alpes, avec jusqu'à 21% dans les zones les plus infestées de cette région (Anzivino *et al*, 2014). Le coût de santé annuel associé est de 14 à 20 millions d'euros.

L'ambrosie est une espèce annuelle rudérale que l'on retrouve dans les milieux anthropisés et à faible couvert végétal : en milieu agricole (tournesol, soja, chaumes céréalières...), en bord de route, sur les zones de chantier, les terrains en friches... Elle est également présente sur les grèves de certaines rivières comme la Loire et l'Allier et on la retrouve aujourd'hui dans la quasi-totalité des départements français (Albert *et al*, 2016). Les infrastructures linéaires constituent un vecteur de dissémination par les engins de fauches et d'entretien ainsi que les déplacements de terre le long des dépendances routières.

En bord de route, la méthode de gestion de l'ambrosie la plus utilisée est la fauche répétée et à des dates pertinentes (Delabays *et al*, 2008 ; Milakovic *et al*, 2014). Si celle-ci permet souvent de réduire les quantités de pollen puis de semences produites, sa mise en œuvre peut être complexe. La période optimale de fauche se situe en effet au cours de la période estivale, c'est-à-dire pendant les congés annuels et au moment où le trafic routier et autoroutier est le plus important, engendrant des problématiques de sécurité des agents en intervention.

Les produits phytosanitaires, efficaces pour détruire totalement des populations d'ambrosie et limiter le risque de dissémination, ont un impact négatif sur l'environnement, ce qui a conduit à leur interdiction à partir du 1^{er} janvier 2017 dans les zones non-agricoles (loi de transition énergétique pour la croissance verte du 22 juillet 2015). Seuls les produits de biocontrôle, les produits autorisés en agriculture biologique et les produits qualifiés à faible risque seront autorisés. Des modes de gestion alternatifs doivent donc être trouvés pour améliorer le contrôle des populations d'ambrosie dans ces milieux. Le sel (NaCl), substance naturelle minérale, pourrait constituer une solution.

A la fin des années 1920, le sel marin a été utilisé comme herbicide sous forme solide fine (pulvérulente) pour détruire les brassicacées- moutarde sauvage (*Sinapis arvensis* L.) et ravenelle (*Raphanus raphanistrum* L.) - au stade rosette dans les céréales. Pour optimiser l'effet déshydratant, le sel était dispersé par un distributeur d'engrais à une dose de 300 à 450 kg.ha⁻¹, très tôt le matin quand la présence de rosée et l'hygrométrie étaient importantes (Dessaisaix, 1925 ; Crépin, 1930a). La destruction de la moutarde sauvage dans les cultures de betterave pouvait aussi être réalisée avec du sel à 100 à 150 kg.ha⁻¹ (Crépin, 1930b). Si le sel semblait peu efficace sur bleuet (*Cyanus segetum* Hill) et grand coquelicot (*Papaver rhoeas* L.), la floraison des cirses (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) était ralentie. Bien que jugé moins efficace que l'acide sulfurique, le chlorure de sodium est cité comme herbicide jusqu'au milieu des années 1950. Surtout efficace au stade végétatif et au moment du démarrage de la végétation, l'emploi du sel comme herbicide de post-levée est décrit avec précision dans les ouvrages de l'époque (Rabaté, 1933). Il pouvait être utilisé seul ou en association (de 33 à 60% de sel suivant les produits), par exemple avec du chlorate de soude pour le désherbage des moutardes sauvages et des ravenelles ou pour du défanage. Le sel n'est plus cité comme produit homologué dans le premier index de l'Acta en 1961.

Le sel est autorisé depuis 2006 au Canada comme désherbant de l'ambrosie ou « petite herbe à poux » sur les bords de voie de circulation, les terrains résidentiels et les voies piétonnes (décision réglementaire RDD2006-06 ; Anonyme, 2006). Qualifié de molécule de « contrôle écologique », le produit est accessible aux professionnels comme aux particuliers. Le produit est vendu sous forme de

granules hydrosolubles et composé de sel quasi-pur (99,86%). Il est décrit comme actif sur des espèces dicotylédones annuelles et vivaces.

Dilué dans l'eau et utilisé comme un produit foliaire, le sel assèche par osmose les feuilles des plantes sur lesquelles il est répandu. Dans ce cas, son action est très rapide et s'exprime quelques heures après le traitement par un flétrissement des feuilles.

En vue d'une éventuelle homologation du sel comme produit qualifié à faible risque, nous avons évalué son efficacité à différentes concentrations sur des populations d'ambrosie, au moyen de trois expérimentations successives. L'objectif de ce travail était de vérifier l'action herbicide du sel (NaCl) sur des plantules d'ambrosie à feuilles d'armoise et de déterminer les doses qui permettent de détruire les plants d'ambrosie.

MATERIEL ET METHODE

Trois essais ont été réalisés, aux mois de juin, juillet 2015 et juillet 2016, avec des traitements de concentration allant de 30 à 240 g.L⁻¹ (Tableau I). A cette dose, le sel ne se dissout pas totalement dans l'eau, qui est donc saturée.

Les semences ont été récoltées en 2014 sur des populations d'ambrosie dans le Rhône. Après stratification à 4°C et germination en conditions contrôlées (chambres de culture), des ambrosies ont été repiquées en ligne dans une parcelle jardinée du centre Inra de Dijon, à raison d'un plant tous les 25 centimètres, dans un sol argileux. Les conditions de traitement sont rappelées dans le tableau I. Les traitements ont été effectués une à deux semaines après repiquage sur des plants au stade végétatif (de 6-8 à 10-12 feuilles).

Tableau I : Récapitulatif des conditions expérimentales
Summary of experimental conditions

Expérimentation	Date de traitement	Concentrations testées (g.L ⁻¹)	Nombre de plants par réplicat	Nombre de réplicats par modalité	Nombre de témoins	Stade de traitement
1	22/06/2015	120	19	4	1	10-12 feuilles
2	13/07/2015	30, 60	19	3	1	8-10 feuilles
3	08/07/2016	60, 120, 240	25	3	3	6-8 feuilles

Pour ces essais, le sel gemme de marque SALINS a été utilisé : 36,5% de sodium, additif E535 ferronitrile de sodium à 20 mg.kg⁻¹ au maximum, commercialisé pour le déneigement dans des sacs de 25 kg. Ce produit peut aussi être utilisé en alimentation animale.

L'application s'est faite avec un arrosoir de manière à recréer un traitement similaire à celui appliqué par un pulvérisateur (grosses gouttes de liquides sur les feuilles). Sur chaque zone, un volume de deux litres d'eau salée a été répandu sur une surface de 12,5 m². Les témoins ont reçu deux litres d'eau non salée.

Les plants ont ensuite été récoltés, soit directement après la mort ou au moment de l'apparition des premiers épis floraux en cas de survie. Le poids sec des plants a été relevé après séchage en étuve pendant 48 heures à 80°C.

En 2015 et en 2016, des bandes herbacées de 25 x 0.5 m, en bordure de l'essai, ont également été traitées. Un relevé des espèces ayant survécu aux différentes doses de traitement a été effectué. Ce point est crucial car si trop d'espèces sont sensibles au traitement, le sol peut être mis à nu, ce qui

favoriserait la germination de nouvelles semences d'ambrosies et réduirait considérablement l'efficacité globale du traitement.

RESULTATS

A la dose 120 g.L^{-1} , les effets de dessiccation sur la plante sont visibles au bout de quelques minutes (figure 1). On peut toutefois observer un redémarrage de la croissance de certaines plantes si le méristème terminal n'a pas été touché, avec réémission de nouvelles feuilles. Si le méristème terminal est touché, la plante meurt définitivement en quelques jours. Globalement, on observe une mortalité allant de 2% pour 30 g.L^{-1} à 100% à partir de 120 g.L^{-1} (pour l'expérimentation de 2016) (Figure 2).

A 120 g.L^{-1} , pour l'expérimentation 2015, les plantes survivantes ont une biomasse très réduite. La différence de mortalité pour cette dose entre l'expérimentation 2 (2015) et l'expérimentation 3 (2016) pourrait venir du fait qu'un soin plus important a été apporté à la dilution du sel pour l'expérimentation de 2016. En effet, en 2016, seule la dose 240 g.L^{-1} avait encore des cristaux de sel non dissous.

Figure 1 : Le même plant traité à la dose 120 g.L^{-1} , 45 minutes après le traitement (a) et 7h après le traitement (b)

Same plant treated with a 120 g.L^{-1} dose, 45 minutes after the treatment (a) and 7h after the treatment (b)

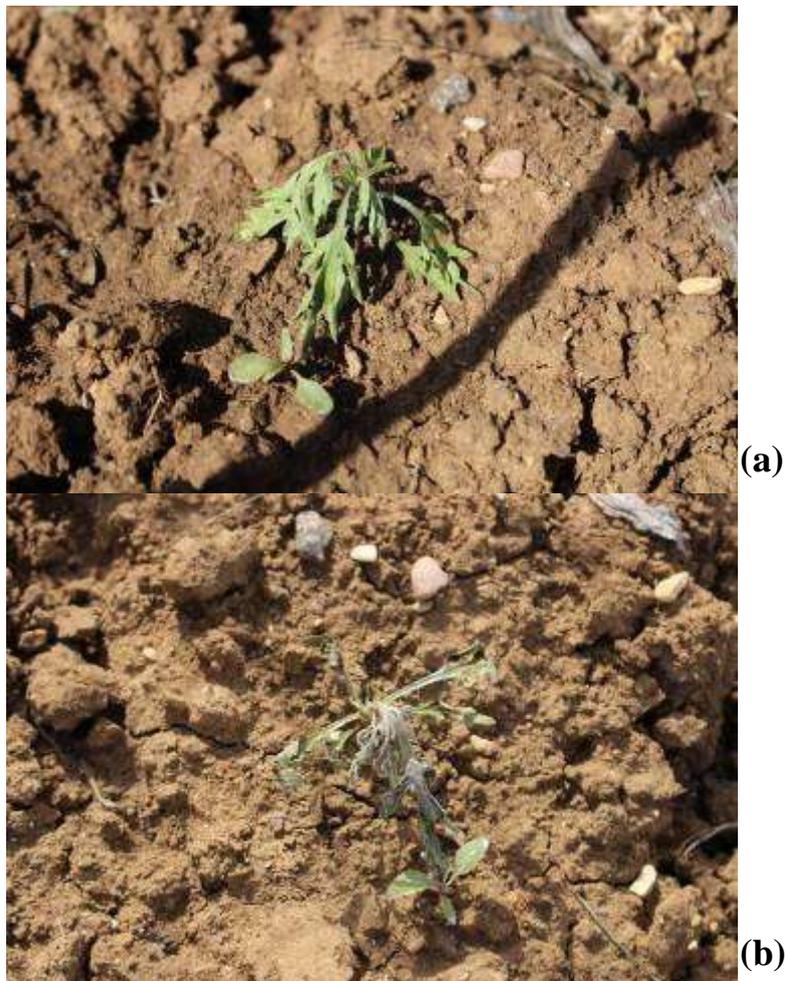
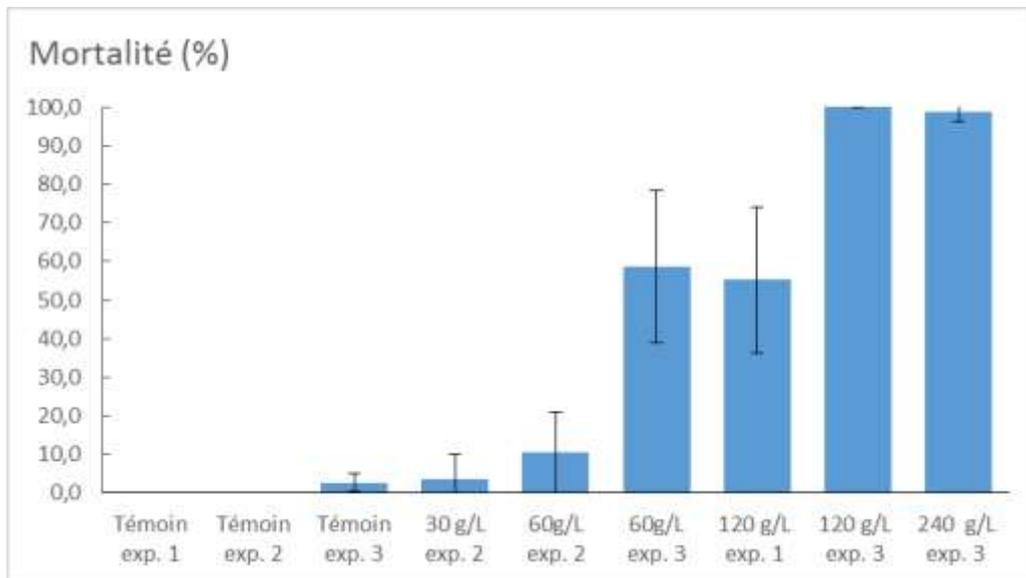


Figure 2 : Mortalité des plants aux différentes doses de traitement
Plant mortality rate after being salt treatment



Les zones herbacées traitées montrent que les graminées sont capables de survivre. Le milieu est d'ailleurs progressivement recolonisé suite à de nouvelles germinations. A la dose de 60 g.L⁻¹, en 2015 :

- Les Poaceae : ray grass (*Lolium* sp.), chiendent (*Elytriga repens*) et pâturin des prés (*Poa pratensis*) semblaient totalement indemnes, aucune tache (trace de dessiccation) n'étant même visible sur les feuilles.
- Pour les dicotylédones, les résultats ont varié en fonction des espèces. Certaines ne montraient aucune trace du traitement (*Polygonum aviculare*, *Lysimachia arvensis* et *Sonchus asper*). D'autres présentaient des taches plus ou moins importantes au niveau des feuilles, mais survivaient au traitement (*Plantago lanceolata*, *Taraxacum officinale*). Enfin, une dernière catégorie d'espèces semble très sensible au traitement avec une disparition rapide des plantes (*Trifolium repens*, *Trifolium pratense*, *Glechoma hederacea*).

En revanche, aux doses de l'expérimentation 2016, la plupart des espèces meurent (tableau III). Alors que le milieu est progressivement recolonisé pour 60 g.L⁻¹, aux doses supérieures il reste faiblement végétalisé (tableau III) près de trois semaines après le traitement.

Tableau II : Impact du traitement (T) des zones herbacées aux doses 60 g.L⁻¹, 120 g.L⁻¹, 240 g.L⁻¹
 Effect of the treatment (T) on herbaceous strips with 60 g.L⁻¹, 120 g.L⁻¹ and 240 g.L⁻¹ doses

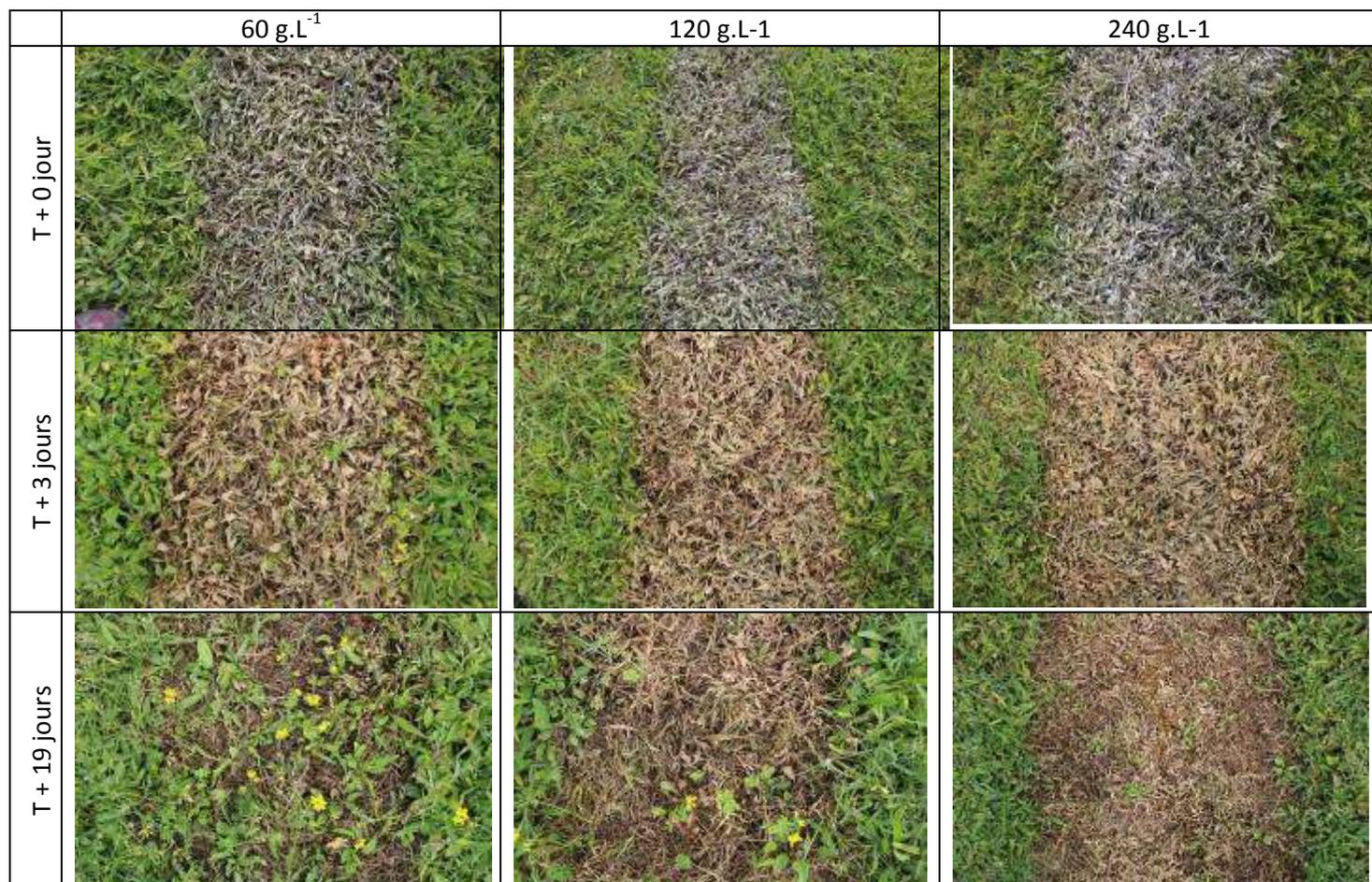


Tableau III – Liste des espèces présentes sur les bandes enherbées traitées aux différentes doses (60 g.L⁻¹, 120 g.L⁻¹, 240 g.L⁻¹, essai en 2016) trois semaines après traitement
 List of species present on the herbaceous strips with 60 g.L⁻¹, 120 g.L⁻¹ and 240 g.L⁻¹ doses (2016 experiment) after treatment

Espèces	Famille botanique	60 g.L ⁻¹	120 g.L ⁻¹	240 g.L ⁻¹
<i>Plantago lanceolata</i>	Plantaginaceae	x	x	
<i>Lolium sp.</i>	Poaceae	x	x	x
<i>Lotus corniculatus</i>	Fabaceae	x	x	x
<i>Centaurea jacea</i>	Asteraceae	x	x	x
<i>Festuca rubra</i>	Poaceae	x	x	
<i>Elytrigia repens</i>	Poaceae	x	x	x
<i>Taraxacum officinale</i>	Asteraceae	x	x	
<i>Trifolium pratense</i>	Fabaceae	x	x	
<i>Verbena officinalis</i>	Lamiaceae	x		
<i>Crepis vesicaria</i>	Asteraceae	x		
<i>Ajuga reptans</i>	Lamiaceae	x		

DISCUSSION

L'ambrosie semble particulièrement bien adaptée à la survie sur les bords de route, et ceci aussi bien d'un point de vue biologique que par sa capacité à supporter les pratiques de gestion (Chauvel et al. 2013). Devant la difficulté d'obtenir une efficacité correcte de désherbage avec la fauche du fait de la tolérance de l'ambrosie, le sel en solution pourrait constituer une alternative aux pratiques de désherbage classiques. Son utilisation serait limitée à certains milieux comme les linéaires routiers, à condition d'être utilisé à une concentration comprise entre 60 g.L⁻¹ et 120 g.L⁻¹, sur un stade précoce de l'ambrosie et dans des conditions météorologiques satisfaisantes : absence de pluie dans les heures suivant le traitement. Comme l'indique Rabaté (1933), « *une pluie survenant un ou deux jours après la pulvérisation anéantit les effets de l'arrosage à l'eau salée.* ». L'ambrosie n'est pas la seule espèce à être détruite par le sel, mais ces premiers résultats, s'ils sont confirmés par des études plus complètes, indiqueraient que l'on peut la détruire sans mettre le sol complètement à nu avec le maintien a minima d'un couvert de graminées et éventuellement de certaines dicotylédones. La tolérance des graminées au traitement au sel est essentiellement liée à la taille des gouttes d'eau salée qui ne sont pas retenues par les feuilles et qui tombent sur le sol sans que le sel ne puisse pénétrer dans la plante.

L'efficacité constatée sur le terrain, la rapidité de l'application du traitement et le maintien d'un couvert végétal (en-dessous d'une concentration de produit de 120 g.L⁻¹) constituent des atouts indéniables pour le développement de cet usage. Toutefois, certaines limites à cette pratique peuvent être soulignées : risques environnemental et biologique sur les communautés des espèces des linéaires routiers dont certaines espèces sont protégées.

Les expérimentations ont été réalisées à un stade précoce (6-8 feuilles). D'autres tests doivent être effectués pour connaître l'efficacité du traitement, aux mêmes concentrations, à un stade plus avancé. Par ailleurs, doses trop fortes détruisent la totalité du couvert végétal, probablement par une infiltration du sel dans le sol, attaquant la racine des plantes. Enfin, les conditions météorologiques de l'application sont à prendre en compte et à étudier.

En outre, bien que pouvant être considéré comme naturel, le sel n'est pas pour autant un produit totalement anodin : un certain nombre d'espèces y sont sensibles et, outre la préoccupation pour la préservation des sols (Legros, 2009), les risques de pollution des eaux ou de destruction de plantes rares présentes sur les linéaires routiers sont à prendre en compte (Sétra, 2011). La salinisation des sols pose problème actuellement dans les zones où l'utilisation de fondant routier est importante, comme au Canada où des solutions alternatives de déneigement sont recherchées.

Les doses à appliquer pour la destruction de l'ambrosie sont à comparer avec les quantités apportées chaque année pour le déneigement. L'autorisation de mise sur le marché canadienne précise qu'en général, « l'utilisation de ce produit entraîne le dépôt de chlorure de sodium dans l'environnement selon un degré de plusieurs ordres de grandeur inférieures à la quantité de chlorure de sodium déposée au cours de la fonte printanière et provenant du sel de voirie ». Cependant, à la dose de 120 g/L de produit que semble préconiser notre expérimentation, la quantité de sel à appliquer serait de 192 kg par hectare. Or, dans les régions françaises les plus utilisatrices de fondant routier, les doses appliquées sont comprises entre 100 et 800 kg par hectare (Setra, 2011). Nous serions donc dans le même ordre de grandeur, avec des conséquences environnementales à prendre en compte.

En ce qui concerne les quantités d'eau utilisées, elles sont bien supérieures à celles apportées pour appliquer les substances herbicides classiquement employées pour lutter contre l'ambrosie, avec 1250 à 1600 litres par hectare pour le sel, contre entre 100 à 300 litres pour le glyphosate et l'imazamox. Ces volumes importants sont à prendre compte et pourraient représenter des difficultés pratiques pour la mise en œuvre effective de cette méthode de gestion.

Par sa grande efficacité, l'utilisation du sel est déjà une réalité sur le terrain pour un certain nombre de gestionnaires. Toutefois la pratique reste illégale et une demande d'homologation serait la bienvenue pour une utilisation mieux ciblée sur les plants d'ambrosie.

Enfin, si la pratique se généralisait suite à une homologation, une adaptation de la plante aux milieux salés pourrait avoir lieu. Deux études ont d'ores et déjà montré une augmentation de la tolérance au sel des semences d'ambrosie de bord de route ainsi qu'une production de semences plus volumineuses et plus lourdes en conditions salines (DiTommaso, 2004 ; Eom et al., 2013). Cela pourrait entraîner l'augmentation des doses nécessaires pour contrôler la plante de manière satisfaisante.

CONCLUSION

Le sel en solution présente une réelle efficacité pour la destruction de l'ambrosie et pourrait devenir ainsi un moyen de lutte alternatif à la tonte et aux herbicides non sélectifs classiques dont l'utilisation est aujourd'hui fortement remise en cause (glyphosate) ou qui sont déjà interdits (aminotriazole). Le sel en solution semble particulièrement adapté à la gestion des zones dangereuses des bords de routes ou autoroutes par la rapidité de la réalisation de l'intervention qui limite le risque pour les personnels. Le risque d'exposition au produit est connu et nécessite un niveau de protection relativement réduit. Cette méthode « naturelle » doit toutefois être scientifiquement validée comme étant à faible risque pour l'environnement (eau, sol) et la biodiversité (flore, microfaune) en vue d'une homologation pour un usage dans les zones non agricoles comme les bords de route. Un autre risque signalé au Canada (Anonyme, 2006) est le problème du broutage par des grands mammifères dans les zones de bords de route. Mais la vitesse d'action du produit (flétrissement dans les heures qui suivent le traitement) décroît l'appétence et le risque de consommation. Toutefois, dans l'attente d'une solution de régulation biologique (Chauvel et al., 2016), l'utilisation du sel pourrait constituer une solution alternative.

Tout le travail d'évaluation des risques reste donc à faire et le produit doit également être reformulé pour être adapté à un usage herbicide. Il est en effet très peu probable que les sels de déneigement puissent être homologués tels quels du fait des produits secondaires que l'on peut y trouver. Ils sont en effet composés, suivant les utilisations, de chlorure de sodium, de chlorure de calcium ou de chlorure de magnésium auxquels sont ajoutés des antiagglomérants. En cas d'utilisation herbicide à l'image de ce qui se fait au Canada, seul le chlorure de sodium, donc le sel alimentaire, devrait être retenu. Notons qu'en Ukraine, un produit à base de chlorure de magnésium (Anonyme, 2016) spécifiquement dédié à la lutte contre l'ambrosie est en vente depuis 2015 auprès des particuliers. Enfin, dans le cadre d'une homologation, les doses, la période et le nombre de traitements par an devront être déterminés.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé par la Direction Générale de la Santé dans le cadre de la convention 2012-2013-2014 pour l'Observatoire des ambrosies. Le personnel technique de l'UMR Agroécologie est remercié pour son aide dans la mise en place et la réalisation de l'expérimentation.

BIBLIOGRAPHIE

Albert A., Bilon R., Just A., Chauvel B. 2016 - Les données d'observation sur l'ambrosie à feuilles d'arrose : quelles utilisations possibles ? *EcoVeg12*, Brest. 29-31 mars 2016. Livret des résumés. (poster).

Anonyme, 2006. <http://publications.gc.ca/collections/Collection/H113-6-2006-6F.pdf>.

Anonyme, 2016. <http://www.ambrosia.biz.ua/> (dernière consultation juillet 2016).

Anzivino L., Marant-Micallef C., Sonko A., 2014. *Etude de la prévalence de l'allergie à l'ambrosie en Rhône-Alpes*. ORS Rhône-Alpes, 78 p.

Chauvel B., Hanse H., Martinez Q., Cuénot E. 2013 - L'ambrosie marche le long des routes. *Phytoma – La santé des végétaux, – Dossier ZNA*, Octobre 2013, 667, 31-35.

Chauvel B., Bilon, R. Mouttet, E. Gachet E. Schaffner U., le Bourgeois T. 2016. -La lutte biologique contre l'ambrosie à feuilles d'armoise illustrée par l'exemple d'*Ophraella communa* : quels intérêts et quelles limites ? (dans ce volume).

Crépin C. 1930a - Emploi du sel en poudre pour la destruction des mauvaises herbes. *Journal d'Agriculture Pratique*, 53, 233-237.

Crépin C. 1930b - La destruction des sanves dans les betteraves. *Journal d'Agriculture Pratique*, 53, 337-338.

Delabays N., Bohren C., Mermillord G., Baker A., 2008 - Briser le cycle de l'ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pour épuiser son stock semencier dans les sites infestés. *Revue suisse d'agriculture*, 40, 3, 143-149.

Dessaisaix R. 1925 - Destruction des mauvaises herbes par le sel marin. *Journal d'Agriculture Pratique*, 53, 334-336.

DiTommaso A. 2004 - Germination behaviour of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) populations across a range of salinities. *Weed Science*, 52, 1002–1009.

Eom S. H., DiTommaso A., Weston L. A., 2013 – Effects of soil salinity in the growth of *Ambrosia artemisiifolia* biotypes collected from roadside and agricultural field. *Journal of plant nutrition*, 36, 2191-2204.

Goldfarb A.R., 1972 - Ragweed Pollen: A Review. *The Journal of Asthma Research*, 9, 8, 139-152.

Legros J-P. 2009 - La salinisation des terres dans le monde. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, 2009, Séance du lundi 22/06/2009, conférence n°4069, 40, 257-269.

Milakovic, I. Fiedler K., Karrer G. 2014 - Fine tuning of mowing regime, a method for the management of the invasive plant *Ambrosia artemisiifolia* L. at different population densities. *Weed Biology and Management*, 14, 232–241.

Rabaté E. 1933. La destruction des mauvaises herbes. 3e édition. Ed. Librairie Agricole. P.176.

Sétra, 2011. L'impact des fondants routiers. Etats des connaissances et pistes d'actions. Note d'information. *Série Economie Environnement*, 94 p.21.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**LA GESTION DES INVASIVES VÉGÉTALES SUR LES DÉPENDANCES ROUTIÈRES : QUELLES STRATÉGIES
METTRE EN PLACE ?**

C. PINEAU ⁽¹⁾, J.-P. MOULIN ⁽²⁾

⁽¹⁾ Cerema Ouest, ANGERS -France – christophe.pineau@cerema.fr

⁽²⁾ DIR Ouest, RENNES-France – jean-pierre.moulin@developpement-durable.fr

RÉSUMÉ

Les dépendances vertes routières constituent des espaces de développement et des corridors de déplacement importants pour les espèces végétales exotiques envahissantes. Les espèces invasives peuvent constituer pour le gestionnaire routier des enjeux importants d'un point de vue sanitaire (ambrosie, berce du Caucase) technique (ailante, robinier, renouées, jussies) voire de biodiversité (sénéçon du cap, buddleia,...). Face à cela, différentes stratégies et actions de lutte peuvent être mises en place. Leurs réussites passent par une bonne connaissance des espèces, de leur répartition, des enjeux routiers, sanitaires, de biodiversité. Cette politique doit se faire dans la durée en associant les agents d'entretien dans l'élaboration et l'approbation de la stratégie pour avoir l'adhésion collective et une vision partagée des solutions techniques.

Mots-clés : espèces exotiques envahissantes. Stratégies de gestion, dépendances vertes routière.

ABSTRACT

ALIENS PLANT MANAGE ON ROADSIDE VERGE: WHAT KIND OF STRATEGY MUST BE PLANNED ?

Green roadside verge constitute areas of development and corridors for the alien plants species. Alien species can be important issues for the road manager, concerning public health (common ragweed, Giant Hogweed) technique (tree oh heaven, false acacia, Japanese knotweed, Water primrose) or biodiversity (*Senecio inaequidens*, buddleia). In front of it, various strategies and actions of control can be organized. Management successes need a good knowledge of the species, of their distribution, and of the road related technical constraints and public health or biodiversity impact. But it has to make long-term policy by associating the road operators in the elaboration and the approval of the strategy to have the collective membership and a vision shared by the technical solutions.

Keywords: alien plants species, strategy of management, green road verges.

INTRODUCTION

Le réseau routier français (1 million km) est constitué à 62% de routes communales, 36% de routes départementales ; les routes nationales, ne représentent que 1% du réseau routier, les autoroutes concédées et non concédées moins de 1% chacune (CGDD, 2015).

Les dépendances routières sont constituées par l'ensemble du domaine public routier à l'exception des chaussées (Setra, 1994). Elles sont qualifiées de vertes lorsqu'elles sont pourvues de végétation et de bleues pour le réseau des équipements d'assainissement (fossés, noues, bassins,...). Leur surface totale est conséquente mais assez difficile à évaluer précisément ; pour le million de km que constitue le réseau routier français, différentes estimations ont été proposées en fonction des types de route. Les dépendances vertes peuvent varier de moins d'un mètre de large de chaque côté pour des routes communales à plus de 10 mètres de chaque côté pour des autoroutes. Ces surfaces étaient estimées par le Setra à 3200 km² en 1994, soit autant à l'époque que les parcs nationaux. Depuis, le réseau autoroutier s'est accru, et les derniers outils cartographiques permettent aujourd'hui de mieux estimer ces surfaces pour arriver entre 4500 et 5000 km² (évaluation interne Cerema Ouest). Les dépendances routières, milieux de transition entre la chaussée de la route et le paysage environnant assurent différentes fonctions (cf figure 1)

Figure 1 : Les fonctions des dépendances routières (Vendé A.)

Figure 1 : Green roadside verges features (Vendé A.)



Figure 2 : Les différents espaces de dépendances vertes (Vendé A. d'après Setra)

Figure 2 : Green roadside verges areas (Vendé A. d'après Setra)



Les végétations présentes

Ces dépendances offrent des milieux végétalisés très différents, des pelouses rases sur des substrats peu profonds en bord de route, des végétations prairiales, des formations arbustives jusqu'au stade forestier en passant par les milieux humides du réseau d'assainissement routier (cf. figure 2). Ces dépendances sont en contact avec la route et les véhicules (qui transportent terres et végétaux sur leurs pneus et carrosseries) mais aussi avec les milieux extérieurs (jardins, cultures, zones d'activités, ...) où des végétaux exotiques ont pu être installés. La présence d'espèces exotiques envahissantes se matérialise d'ailleurs plus nettement à proximité des villes. De plus certaines ont été volontairement introduites à travers les nombreuses plantations horticoles ou forestières qui agrémentent souvent les aménagements routiers. L'amendement des sols par les substrats résiduels des produits de fauche amplifie la prolifération.

Ainsi aujourd'hui, on retrouve par exemple sur le réseau DIR Ouest (1500 km), plus d'une vingtaine d'espèces invasives dont 6 ont été définies comme prioritaires (Annexe 1), et un travail en cours du CBN de Brest devrait sans doute compléter cette liste (Annexe 2). Celles-ci se retrouvent ponctuellement par endroits (ambrosie, berce du Caucase) sur les accotements, d'autres de façon continue (Séneçon du Cap) le long des infrastructures en limite de chaussée, tandis que d'autres se localisent dans certains bassins d'assainissement (Jussies) ou dans les plantations (ailante).

Figure 3 : Entretien des dépendances vertes (Cerema Ouest)

Figure 3 : Roadside verges management (Cerema Ouest)



L'entretien des dépendances, les techniques et le matériel

L'entretien des dépendances permet de maintenir la végétation (herbacée, arbustive, arborée) à un niveau compatible avec la vocation routière selon les espaces, les objectifs et les contraintes locales (incendies, avalanches, écharonnage). Un gradient de gestion est donc pratiqué selon la distance à la chaussée et le type de végétation (Cf figure 3).

Les gestionnaires routiers planifient et organisent leur entretien en utilisant différents outils au cours d'une saison en fonction des espaces. Ils procèdent à différentes opérations d'entretien des dépendances vertes : coupe, broyage, et évacuation au cours d'une saison. La gestion doit de nos jours se faire rapidement notamment pour répondre aux contraintes de trafic et de sécurité. Les principaux outils de fauche-broyage se différencient par leur constituant (marteaux, fléaux, couteaux), largeur, sens et vitesse d'avancement. Deux types de matériels de fauchage normalisés sont fréquemment utilisés sur les dépendances (Setra, 2008) : les roto-faucheuses et les faucheuses-débroussailleuses à bras articulé (ou FDBA). Leurs dénominations et leurs caractéristiques sont décrites par la norme NF EN 15436-1 (Setra, 2010). Des élagueuses de type lamier ou sécateur sont également utilisées pour la gestion de la strate arbustive et arborée. De nouveaux matériels visant à récolter notamment l'herbe des bords de routes sont en expérimentation (DIR Ouest) ou en utilisation (Conseil Départemental 53). Le recours aux produits phytosanitaires est devenu très rare pour la plupart des gestionnaires qui tendent vers le « Zéro phyto ».

Problématiques plantes invasives et dépendances routières

Les plantes invasives posent pour le gestionnaire routier, outre les différents problèmes sanitaires ou d'atteinte à la biodiversité, des difficultés pour garantir les fonctions techniques et routières des infrastructures. De plus, étant donné les fonctions d'interfaces (habitat, corridors, puits, ...) des dépendances des infrastructures, le gestionnaire routier doit se considérer plus largement comme gestionnaire d'un « milieu naturel » non isolé. D'où la nécessaire mise en place de stratégies de lutte à la fois adaptées à sa mission de gestionnaire routier mais également à l'intérêt général à travers sa contribution à la trame verte et bleue de notre environnement.

En effet, les réseaux routiers comme les cours d'eau sont des lieux de transit très favorables au déplacement et à l'installation d'espèces exotiques envahissantes. Les 1500 kms de routes de la DIR Ouest et les surfaces importantes de dépendances constituent des habitats et des réservoirs de dissémination pour ces végétaux. Ces espèces sont déjà bien présentes sur certaines parties du réseau. Des centres d'entretien (CEI) ont expérimenté avec plus ou moins de succès des méthodes de lutte, le plus souvent mécanique. En effet, les gestionnaires ont de plus en plus recours aux techniques alternatives à la fois pour gérer leurs dépendances (Cerema, 2016)

MATÉRIEL ET MÉTHODE (exemple de la DIR Ouest)

Pour assurer, une vision globale de cette problématique, la DIR Ouest (27 centres d'entretien et d'intervention réparti dans 5 districts sur les régions Bretagne et Pays de la Loire) a demandé au Cerema Ouest de l'accompagner dans la réflexion pour la mise en place d'une stratégie de gestion des plantes exotiques présentes sur son réseau. Cette réflexion s'intègre plus globalement dans la mise au point de la nouvelle politique dépendances vertes qui s'appuie sur :

- les réflexions issues du Grenelle de l'environnement notamment sur les aspects trame verte et bleue ;
- les nouvelles possibilités offertes par le développement de certains outils mécaniques (technique d'élagage, aspiration) ;
- les nécessités sanitaires, environnementales, réglementaires de limiter les usages des produits phytosanitaires ;
- la volonté des gestionnaires de rationaliser les sommes consacrées à l'entretien des routes et de leurs dépendances.

L'objectif stratégique est de concentrer les efforts de gestion sur les espèces et situations (enjeux, stade d'envahissement, positionnement sur les dépendances...) qui peuvent bénéficier d'une gestion « efficace » : élimination pour certaines plantes, régression pour d'autres, et surtout en supprimant des pratiques inefficaces ou celles augmentant les risques de propagation de ces espèces au sein des infrastructures ou vers les milieux extérieurs. Les actions ont donc consisté :

- au montage de sessions d'information-formation sur la problématique des espèces envahissantes ;
- à la mise en place d'un protocole d'inventaire sur la campagne 2015 sur les dépendances vertes et bleues du réseau routier de la DIR Ouest, concernant 6 espèces prioritaires et leur gestion ;
- un accompagnement technique sur les opérations de gestion pour des espèces nouvellement apparues.

Formation-information

Dans le cadre de la sensibilisation à la biodiversité, le Cerema Ouest a proposé à la DIR Ouest, la réalisation de 4 modules de formation à l'échelle de chaque district (enjeux de la biodiversité, faune, flore, biodiversité et travaux). Il s'agissait de 4 journées distinctes par district qui se déroulaient sous la forme d'une matinée en salle et d'une après-midi terrain visant à illustrer le propos. Ces journées étaient proposées à l'ensemble des agents des centres. Le module sur la flore avait pour objectif de préciser l'intérêt et le rôle de la flore et des végétations des dépendances, leur diversité, leurs caractéristiques et les principes d'entretien. Une intervention spécifique a également été ciblée sur les invasives, à travers des définitions, une présentation des principales espèces, des enjeux sanitaires, économique, de biodiversité et les principales techniques de lutte.

Inventaire des plantes invasives et des pratiques de gestion

La mise en place d'une stratégie implique de bien connaître la situation d'envahissement du réseau. Pour cela, il importe de localiser et d'identifier précisément ces espèces, leur stade d'envahissement, leur localisation sur les dépendances d'infrastructures. De même, pour les plantes qui ont fait l'objet d'une gestion de la part du CEI, un bilan des pratiques mises en place nous a semblé très intéressant (type d'intervention, durée, évolution du foyer,...). Pour cela nous avons proposé dans le cadre de la refonte de la directive « dépendances vertes », un protocole qui associe les agents de terrain.

Dès la campagne 2015, il a été demandé aux référents dépendances vertes des districts de faire remonter les données de présence et de gestion via un tableur et des fiches de relevé. Il était laissé à la discrétion du référent dépendances vertes l'organisation de la campagne d'inventaire (démarche spécifique ou bien au gré du travail des équipes chantier, exploitation, ...). Le suivi doit se pérenniser chaque année pour juger de l'efficacité ou non de la stratégie et ajuster au besoin les méthodes de gestion. L'ensemble des dépendances vertes et bleues devait être pris en compte afin d'avoir un état des lieux le plus fidèle possible à la réalité et d'adapter la stratégie aux situations rencontrées. La présence de plantes, par, exemple des massifs de Renouée du Japon (*Reynoutria Japonica*), dans la zone de visibilité ou de lisibilité en pied de talus est plus problématique qu'en sommet de talus. Autre exemple, le développement de Jussie (*Ludwigia peploides/grandiflora*) dans le système d'assainissement, en supprimant le volume mort des bassins, peut entraîner des difficultés d'assainissement de la plateforme (débordement) et donc des risques sécuritaire pour les usagers. La présence d'Ambrosie (*Ambrosia artemisifolia*) et/ou de Berce du Caucase (*Heracleum mantegazzianum*) dans les zones de travaux des agents pose des problèmes sanitaires (risques d'allergies et de brûlures/affections cutanées). Il a donc été proposé de suivre sur cette première année prioritairement 6 espèces exotiques envahissantes (cf. annexe 1) mais les données qui pourraient être recensées sur les autres espèces sont également prises en compte, car elles sont intéressantes dans une démarche de veille et de mise à jour des priorités à l'échelle de la Bretagne et des Pays de la Loire (cf. annexe 2). Certaines espèces bien présentes (buddleia, robinier, séneçon du Cap, ...) sur les réseaux routiers n'ont pas fait l'objet d'un inventaire exhaustif et systématique des stations mais pourront faire l'objet de fiches ponctuelles ciblées sur les expériences de gestion. Ces espèces seront intégrées à la stratégie de gestion et feront l'objet de recommandations précises.

Une fiche terrain a été fournie comme support de suivi de l'envahissement des espèces exotiques envahissantes. Il est proposé de remplir une fiche par espèce et par foyer, sachant qu'il est considéré qu'un foyer est distinct d'un autre à partir de 50 m de distance. La fiche terrain comprend 4 blocs thématiques :

- identification : observateur/observation : nom et prénom de l'observateur/ plante ;
- localisation : route ; point repère, commune, localisation sur les dépendances de l'infrastructure. Des photos peuvent être insérées ;
- caractéristiques du foyer : surface, forme du foyer, domaine public ou privé ;
- bilan des pratiques de gestion passées.

La compilation des relevés se fera à l'aide d'un tableur, le siège de la DIR Ouest se chargeant de la base de données cartographique sous système d'information géographique.

Accompagnement technique à la gestion

Durant la mise en place de la réflexion plantes envahissantes, deux espèces à forte problématique sanitaire ont été découvertes :

- l'ambrosie à feuille d'armoïse sur 2 stations (station ancienne) des CEI de Savenay (RN171) et Lorient (RN165)
- la Berce du Caucase sur une station (1 pied) du CEI de Goulaine (Périphérique Nantais), en 2014.

Le Cerema Ouest a accompagné les gestionnaires locaux dans la mise en place des opérations de surveillance et de gestion.

RÉSULTATS

Formation-information

5 sessions de formations avaient été initialement prévues, mais le manque de disponibilité des agents n'a permis d'en réaliser que 2 en 2014 (St Brieuc et Laval). Le format ; salle et terrain d'une journée a été apprécié par les agents présents. Cette formation n'a pu être reconduite en 2015 et donc pour poursuivre cette mission d'information des agents, un volet « plantes exotiques envahissantes » a été introduit dans la directive « Dépendances vertes » qui cadre l'ensemble des interventions de gestion sur les dépendances pour la DIR Ouest. Cette directive a été présentée dans chaque district en 2015.

En complément des listes des plantes visées et des supports de présentation des formations qui ont été largement distribués, le guide d'identification des plantes exotiques envahissant les berges et les milieux aquatiques du bassin Loire-Bretagne (Hudin, *et al* 2010) a été diffusé dans chaque CEI à destination du référent « dépendances vertes ».

Depuis ce travail, le référent DIR Ouest « dépendances vertes » est souvent interpellé par les CEI et peut relayer des demandes d'identification ou de conseils de gestion au Cerema Ouest. Le travail a été également mené sur une plante indésirable, le chardon des champs (*Cirsium arvense*), du fait de la proximité thématique et en raison des obligations de lutte contre cette espèce. Une aide à l'identification a donc été proposée, ainsi qu'un suivi de l'effet des techniques de gestion mécanique comme le fauchage exportation.

Inventaire des plantes invasives et des pratiques de gestion

Ce travail d'inventaire, demandé dans le cadre de la nouvelle directive dépendances vertes en 2015, se poursuit encore actuellement. Les données devraient être disponibles pour l'ensemble du réseau cet automne. Les données de localisation sont souvent remontées mais peu d'informations le sont sur les méthodes de gestion opérées. Les données sont souvent lacunaires et difficilement exploitables en l'absence d'état initial, de description précise du mode opératoire de gestion ? Ceci étant souvent dû à la perte d'information lors des transmissions et après les départs de personnes ressources. En complément, la DIR Ouest, dans le cadre d'une convention de travail avec le CBN de Brest, a lancé une étude sur 3 ans concernant la flore des bords de routes. Cette expertise, difficilement exhaustive vue les surfaces de dépendances vertes routières des 1500 km de routes pourra apporter par échantillonnage toutefois des informations sur la présence de nouvelles espèces exotiques invasives avérées, potentielles ou à surveiller.

Accompagnement technique à la gestion

Un site à berce du Caucase a été signalé par le Cerema Ouest fin juin 2014 sur le bas côté du périphérique nantais, et la plante a été supprimée par l'équipe du CEI le lendemain matin.

Il s'agissait d'un unique pied implanté en limite de la chaussée au niveau de la glissière de sécurité sur une zone de sol peu profonde (Cf figure 4). L'individu mesurait plus de 2 m de haut et était en phase de fructification avancée mais pas encore au stade de dissémination des graines. C'était, selon l'antenne du CBN de Brest à Nantes, le premier pied connu hors jardin en Loire-Atlantique. L'intervention encadrée par le Cerema Ouest a consisté au dessouchage du pied et à sa destruction par brûlage. Depuis, des prospections ont eu lieu dans les environs et aucun pied n'a été retrouvé à proximité. Par contre, à l'échelle des Pays de la Loire, c'est près d'une dizaine de stations qui ont été découvertes depuis 2 ans.

Concernant les sites à ambrosies, les Pays de la Loire et plus nettement encore la Bretagne constituent des zones encore peu concernées par cette espèce. Il importe donc d'agir rapidement après sa détection. Pour le site sur la RN171, il s'agissait d'une redécouverte. En effet, présente au début des années 2000, cette plante avait bénéficié de la réorganisation des services de l'État et d'un oubli au gré des changements d'affectation du personnel. La reprise en main par le référent dépendances vertes du sujet et la mise en place d'une prospection dirigée avec le Cerema Ouest de la zone potentiellement concernée a permis de la retrouver en octobre 2014 et d'enclencher directement une opération de gestion.

Le site de Lorient a été détecté, quant à lui, grâce à la découverte d'une station sur une zone adjacente par la FREDON Bretagne. Il s'agit dans les deux cas de petits foyers disséminés sur 100 m de long pour l'un et 500 m sur l'autre. Les plantes sont présentes en limite de la chaussée et de l'accotement, voire dans les interstices de l'enrobé ou dans les saignées pratiquées sur l'accotement pour l'assainissement de la chaussée. L'ambrosie a en effet la capacité de germer sur des sols très superficiels et peut réaliser son cycle de développement très rapidement.

Les opérations de gestion ont donc consisté, après une sensibilisation des agents à la reconnaissance de la plante et à sa gestion, en une surveillance des sites et à des interventions d'arrachage programmées tout au long de la saison de végétation. Deux à cinq sessions par site sont programmées chaque année ; la dernière en juin s'est caractérisée par l'enlèvement de 10 pieds sur la RN 171 et 40 pieds sur la RN 165, et aucun pied n'était en fleur. Pour information, la population initiale en 2014 était de l'ordre de plus de 1000 pieds sur la RN 171 (avec certains en floraison) et moins de 100 sur la RN 165. Le travail d'arrachage de ces stations localisées semble porter ses fruits mais le stock grainier est sans doute encore conséquent d'où la nécessité de pérenniser la surveillance et de former les agents.

Figure 4 et 5: Berce du Caucase sur le périphérique de Nantes et opération d'enlèvement d'ambrosie sur RN165 (Cerema Ouest)

Figure 4 et 5: Giant Hogweed on Nantes ring road and management of Common ragweed on RN165 (Cerema Ouest)



DISCUSSION

La mise en place d'une stratégie de lutte globale et partagée à l'échelle d'un gestionnaire routier est un travail de longue haleine, surtout sur 1500 km répartis sur 2 régions. Initié en 2014 avec les sessions de formation, cette démarche vise à terme à mettre en place une gestion adaptée aux différentes situations rencontrées sur le terrain. Les prochaines étapes vont consister en l'élaboration de la stratégie d'après les retours d'inventaires, et la mise en place de consignes de gestion précises. Le choix de se limiter à 6 espèces permet de prioriser les actions, sachant que la gestion générale des dépendances est également élaborée avec des solutions techniques qui limitent le recours aux produits phytosanitaires et favorisent les végétations autochtones.

Cette démarche s'accompagne également de l'information et la sensibilisation des services de la DIR qui assurent la conception des ouvrages, afin notamment de bien réfléchir à l'utilité et au choix des espèces plantées, ainsi qu'à la conception des ouvrages pour en faciliter l'entretien par voie mécanique.

Cette stratégie devra proposer au gestionnaire local la conduite à tenir face à un foyer de plantes invasives en fonction notamment :

- des enjeux liés à l'espèce et les éventuelles obligations réglementaires de gestion ;

- de la taille du foyer et de son positionnement au regard de la gêne occasionnée aux fonctions routières et techniques des dépendances ;
- des risques de dissémination sur et en dehors des dépendances des infrastructures.

Le travail d'information sur les plantes envahissantes à l'échelle de la DIR et plus largement à l'échelle de ces partenaires et grand public lui permet d'avoir une meilleure connaissance des plantes présentes sur son réseau ; une station de berce du Caucase a d'ailleurs été découverte à l'été 2016, à proximité du périphérique de Rennes (plus de 400 pieds) sur des anciens jardins faisant partie des dépendances routières.

L'absence d'intervention mécanique ou phytosanitaire fait partie des solutions techniques envisageables. En effet, en attendant d'avoir la solution technique, il est souvent préférable de ne rien faire et d'éviter des solutions apparemment simples mais qui souvent présentent de gros risques de dissémination de ces plantes.

CONCLUSION

La végétation des accotements routiers est la résultante des conditions stationnelles et de l'historique de construction et de gestion. Les changements de pratique comme la gestion différenciée, les techniques nouvelles comme le fauchage-exportation ou les modifications des dates et hauteurs de fauche induisent des changements de végétation sur le long terme. Les invasives profitent à la fois du rôle de transit des infrastructures mais aussi et le plus souvent des déséquilibres involontaires ou volontaires dans les formations végétales qu'induisent la conception et la gestion des dépendances.

La liste des espèces exotiques envahissantes (37 espèces de faune et flore) préoccupantes pour l'union européenne adoptée le 13 juillet 2016 vient de compléter le dispositif réglementaire mis en place en 2014 dans le cadre du règlement du 22 octobre 2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes.

Un guide Cerema en cours de préparation intégrera ce règlement et élargira cette réflexion stratégique à l'ensemble des infrastructures linéaire de transport, qu'elles soient routières, navigables ou ferrées. Ce guide examinera également la question de la faune exotique envahissante, pour laquelle ces infrastructures constituent également des lieux de vie et de migration.

BIBLIOGRAPHIE

CBNB. Juillet 2011. Liste des plantes vasculaires invasives de Bretagne.

CBNB. Mars 2013. Liste des plantes vasculaires invasives des Pays de la Loire.

CEREMA, 2016. Techniques alternatives à l'usage des phytosanitaires6 synthèse des types de gestions alternatives appliquées aux infrastructures du réseau routier national. Rapport technique, 47p.1632W-ISRN

CGDD, 2015. Les chiffres clés du transport.

Hudin S., Vahrameev P., et al, 2010. Guide d'identification des plantes exotiques envahissant les milieux aquatiques et les berges du bassin Loire-Bretagne, Fédération des conservatoires d'espaces naturels, 45p.

Setra, 2013. Entretien des dépendances. Éléments de réflexion sur la stratégie de choix des outils de fauchage et débroussaillage.

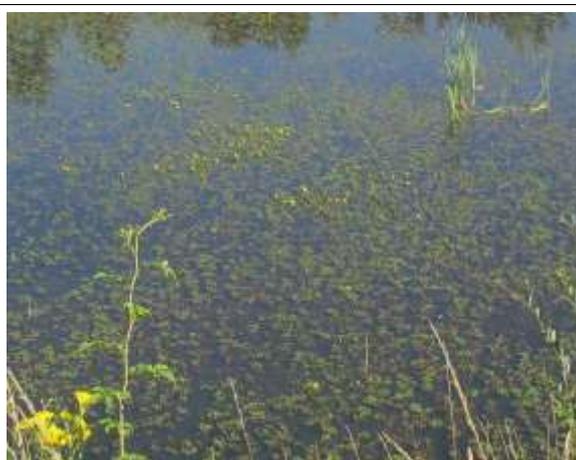
Setra 1994 : La gestion extensive des dépendances vertes. Guide technique. 119 p. ISBN 2-11-088529-7

DORTEL F., GESLIN J., 2016. Liste des plantes vasculaires invasives des pays de la Loire – Liste 2015. DREAL Pays de la Loire. Brest : Conservatoire botanique national de Brest, 36p., 3 annexes

Union européenne, 2014. Règlement 1143/2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes

Union européenne ; 2016. Règlement d'exécution (UE) 2016/1141 de la commission du 13 juillet 2016 adoptant une liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'union. JOE du 14.7.2016

**Annexe 1 : Les 6 espèces prioritaires (DIR Ouest)
Photos Cerema Ouest**



Les renouées asiatiques

Reynoutria japonica, *R sacchalinensis* et les hybrides

Les jussies

Ludwigia grandiflora et *L. peploïdes*



L'herbe de la pampa

Cortaderia selloana

L'ambrosie à feuilles d'armoise

Ambrosia artemesiifolia



Berce du Caucase

Heracleum mantegazzianum

Ailanthe faux vernier du japon

Ailanthus altissima

Annexe 2 : Liste des principales espèces exotiques envahissantes potentielles des bords de route (dépendances vertes et bleues) en région Bretagne et Pays de la Loire

P	Nom français	Nom latin	PDL	BZH	Dépendances vertes	Bleues
	Jussie rampante	<i>Ludwigia peploides</i>	IA	IA		
	Jussie à grandes fleurs	<i>Ludwigia grandiflora</i>	IA	IA		
	Myriophylle du Brésil	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	IA	IA		
	Egerie dense	<i>Egeria densa</i>	IA	IA		
	Elodée de Nuttall	<i>Elodea nuttallii</i>	IA	IP		
	Grand lagarosiphon	<i>Lagarosiphon major</i>	ES	IA		
	Herbe de pampa	<i>Cortaderia selloana</i>	IA	IA		
	Ailanthé	<i>Ailanthus altissima</i>	IA	IP		
	Renouée du Japon	<i>Reynoutria japonica</i>	IA	IA		
	Renoué de Sakhaline	<i>Reynoutria sachalinensis</i>	IA	IA		
	Robinier pseudo-acacia	<i>Robinia pseudoacacia</i>	IA	IP		
	Ambrosie à feuille d'armoise	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	IA	IP		
	Hydrocotyle fausse-renoncule	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	IA	IP		
	Crassule de Helms	<i>Crassula helmsii</i>	IA	IA		
	Séneçon en arbre	<i>Baccharis halimifolia</i>	IA	IA		
	Berce du Caucase	<i>Heracleum mantegazzianum</i>	IP	IP		
	Rhododendron des parcs	<i>Rhododendron ponticum</i>	ES	IA		
	Buddleia de David	<i>Buddleja davidii</i>	IP	IP		
	Lentilles d'eau	<i>Lemna minuta</i>	IA	IP		
		<i>Lemna turionifera</i>	ES	IP		
	Ail triquètre	<i>Alium triquetrum</i>	ES	IA		
	Balsamine de l'Himalaya	<i>Impatiens glandulifera</i>	IP	IA		
	Balsamine de Balfour	<i>Impatiens balfourii</i>	IP	IP		
	Séneçon du Cap	<i>Senecio inaequidens</i>	IP	IP		
	Sainfoin d'Espagne	<i>Galega officinalis</i>	IP	ES		
	Pois de senteur	<i>Lathyrus latifolius</i>	ES	ES		
	Cotonéasters	<i>Cotoneaster sp</i>	ES	ES		
	Raisin d'Amérique	<i>Phytolaca americana</i>	ES	ES		
	Laurier sauce	<i>Laurus nobilis</i>	IP	IP		
	Laurier palme	<i>Prunus laurocerasus</i>				
	Sumac de Virginie	<i>Rhus typhina</i>	ES	ES		
	Vergerette du Canada	<i>Conyza canadensis</i>	ES	ES		
	Erable negundo	<i>Acer negundo</i>		ES		
	Souchet comestible	<i>Cyperus esculentus</i>	ES			
	Souchet robuste	<i>Cyperus eragrostis</i>	EP			

Case rouge : espèces prioritaires pour le réseau Dir ouest

Classement des plantes invasives : IA : Invasive Avérée ; IP Invasive Potentielle ; ES : Espèce à surveiller

Liste réalisée d'après : CBNB. Juillet 2011. Liste des plantes vasculaires invasives de Bretagne.

CBNB. Mars 2013. Liste des plantes vasculaires invasives des Pays de la Loire.

En rouge les espèces figurant sur la liste du règlement européen 1143/2014 parue le 13 juillet 2016.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**BIOSECURITE EN MILIEUX AQUATIQUES ET PREVENTION DES INVASIONS BIOLOGIQUES :
DE LA PLANETE AU COIN DE PECHE ?**

A. DUTARTRE⁽¹⁾, E. SARAT⁽²⁾

(1) 21, Avenue du Médoc, 33114 LE BARP (France), alain.dutartre@free.fr
(2) UICN, Musée de L'Homme, 17, Place du Trocadéro, 75016 PARIS (France),
emmanuelle.sarat@uicn.fr

RESUME

En l'absence de précautions spécifiques, les déplacements de nombreux usagers des milieux aquatiques peuvent faciliter la dispersion d'espèces exotiques envahissantes sous forme de diaspores (graines, fragments de plantes ou plantes entières) et conduire à des colonisations de nouveaux milieux. Des préconisations de biosécurité portant sur le matériel et les vêtements utilisés par ces usagers peuvent être proposées pour éviter cette dispersion. Cet article fait état de l'organisation, des campagnes de sensibilisation et des outils mis à disposition des usagers en Grande-Bretagne et Irlande ainsi que des dernières recherches appliquées menées sur l'amélioration des techniques de désinfection. La sensibilisation de l'ensemble des usagers concernés est indispensable pour améliorer la prise de conscience de ces risques, les réduire et favoriser de bonnes pratiques.

Mots-clés : plantes exotiques envahissantes, biosécurité, prévention, sensibilisation.

ABSTRACT

BIOSECURITY IN AQUATIC ENVIRONMENTS AND PREVENTION OF BIOLOGICAL INVASIONS: FROM THE PLANET TO FISHING SPOTS?

Without specific precautions, movements of the many users of aquatic environments can facilitate the dispersion of invasive alien species as diaspores (seeds, plant fragments or entire plants) and lead to the colonisation of new natural areas. Biosecurity measures on material and equipment used by different stakeholders can be implemented in order to avoid this risk. This article reviews the organization, awareness campaigns and tools developed in Britain and Ireland as well as the latest applied researches on disinfection techniques and their improvement. Raising public awareness on this issue is essential for a better understanding of those risks in order to promote best practices among users.

Keywords: invasive alien plants, biosecurity, prevention, awareness.

INTRODUCTION

En quelques décennies, au fur et à mesure que les implications écologiques, économiques et plus globalement sociétales, des invasions biologiques à l'échelle planétaire devenaient plus perceptibles et mieux évaluées, des efforts ont été progressivement mis en œuvre par les états et les organisations intergouvernementales pour réduire leurs conséquences négatives. Des interventions de gestion sont ainsi appliquées aux espèces déjà installées, à l'échelle de territoires délimités mais quelquefois très vastes. D'autres interventions ont été engagées sur des espèces dites "émergentes", venant juste d'arriver sur un nouveau territoire. Ces actions peuvent être tout à fait ponctuelles et porter sur les flux d'espèces transitant de manière intentionnelle ou non entre les continents, pour lesquelles des modalités de prévention d'introduction restent encore possibles.

La complexité des processus en cause dans ces phénomènes mondiaux est importante. Les améliorations pourtant constantes des perceptions, des évaluations des enjeux de leur gestion, des possibilités techniques d'intervention et des moyens mis en œuvre pour cette gestion n'ont pas permis de ralentir suffisamment la progression des invasions biologiques. Elles sont maintenant devenues des enjeux indéniables de développement humain et des objets de communication - et d'inquiétude - largement évoqués par l'ensemble des médias.

En effet, aux insuffisances des connaissances sur l'écologie des espèces en question et de leurs impacts sur leurs communautés d'accueil viennent s'ajouter les inerties de tout système social élaboré. Les lenteurs d'évolution des connaissances et des représentations, des modifications de la réglementation, de la recherche de financements d'une disponibilité immédiate, etc., conditionnent fortement les améliorations possibles des interventions de gestion, leurs optimisations et leurs efficacités. De plus, le choix des modalités envisageables de gestion des trois grands "types" d'espèces invasives, (les "installées", les "émergentes" et les "à venir peut-être") est lui-même complexe. Ces modalités sont notamment en lien étroit avec les multiples caractéristiques intrinsèques des fonctionnements des sociétés humaines (depuis la circulation de personnes et de marchandises à l'échelle du globe jusqu'aux usages humains locaux s'appuyant sur les espèces locales) et des très nombreuses espèces de flore et de faune qui sont ainsi transportées.

Pour les espèces "installées", dès lors que les besoins humains sont impactés de manière importante par leurs colonisations, et sous réserve que des moyens humains et/ou matériels puissent y être appliqués, des interventions destinées à éliminer ou réduire leurs populations peuvent être mises en place. Il s'agit d'actions directes sur les plantes ou les animaux invasifs, dont la réalisation concrète donne des résultats visibles sur un territoire donné et peut permettre d'établir un bilan en termes d'efficacité (immédiate ou non).

Les interventions sur les espèces "émergentes" relèvent d'une autre démarche. En effet, les décisions de leur mise en œuvre ne peuvent intervenir qu'après une évaluation préalable des risques de l'installation de telle ou telle espèce dans une région donnée, c'est-à-dire une analyse scientifique d'enjeux. Il s'agit bien d'espèces ne causant pas encore de dommages écologiques ou de gênes aux usages humains là où elles viennent d'arriver mais pour lesquelles les décisions de gestion reposent sur des évaluations de risques à des échelles géographiques ou administratives quelquefois assez larges et pas seulement sur des constats locaux d'impacts négatifs avérés. Elles impliquent des échanges d'information et d'éventuelles négociations permettant de valider des propositions à faire accepter par les gestionnaires concernés alors même que les espèces en question ne posent présentement aucune difficulté significative.

Enfin, les actions envisageables sur les flux d'espèces relèvent de la prévention. Destinées à prévenir de futures introductions et colonisations, elles reposent sur des réflexions à l'échelle des échanges

intercontinentaux. Elles comportent nécessairement des aspects de réglementation du commerce et des procédures de contrôle des arrivées d'espèces et peuvent émaner de chaque état dans le cadre d'une réglementation nationale et comporter des accords multilatéraux en lien avec diverses conventions internationales (Dutartre *et al.*, 2010 ; Sarat *et al.*, 2015).

Parmi les dernières évolutions réglementaires s'appliquant à une large échelle, citons le "Règlement du Parlement européen et du Conseil relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes" (Le Botlan et Deschamps, 2104). Voté fin 2014, en vigueur depuis le 1^o janvier 2015, ses objectifs passent par "*des mesures ciblant l'introduction intentionnelle d'EEE dans l'Union et leur libération intentionnelle dans l'environnement, l'introduction et la libération non intentionnelles d'EEE, la nécessité de mettre en place un système d'alerte précoce et de réaction rapide et la nécessité de maîtriser la menace que représente la propagation des EEE dans toute l'Union*" (Sarat *et al.*, 2015).

Au fil des années, cette multiplicité de réflexions, de mise en place d'organisations, de réglementations et d'actions sur un phénomène mondial aussi répandu et aussi complexe s'est donc développée pour produire un ensemble de mesures réglementaires et de propositions concrètes destinées à réduire les risques de dispersion des espèces, en organisant leur surveillance et leur gestion à toutes les échelles possibles, "de la planète au coin de pêche", dans un vaste ensemble de mesures dites de "biosécurité".

LES INVASIONS BIOLOGIQUES ET LA BIOSECURITE ?

Les acteurs institutionnels agricoles et environnementaux ("*agricultural and environmental communities*") ont été les premiers à utiliser le terme "biosécurité" (Koblentz, 2010). Initialement utilisée pour décrire une approche destinée à empêcher ou à réduire la transmission de maladies infectieuses d'origine naturelle, les maladies du bétail et les ravageurs des cultures, cette définition a évolué pour inclure les menaces posées à l'économie et à l'environnement par des organismes exotiques envahissants puis, ultérieurement, sur les aspects liés aux risques de bioterrorisme.

En 2002, Meyerson et Reaser avaient proposé une approche unifiée de biosécurité sur les invasions biologiques. Leur objectif était d'illustrer la nécessité pour les états d'adopter une approche globale destinée à minimiser les risques de dommages causés par des organismes exotiques ("*non native*") à l'économie, à la santé humaine et à l'environnement, dont la biodiversité. Cette proposition s'appuyait sur les connaissances disponibles sur la gestion des espèces invasives et les diverses recommandations largement diffusées sur les espèces elles-mêmes et les modalités de leur gestion (prévention, détection précoce, intervention rapide). Les auteurs rappelaient également que ces mesures de biosécurité dépendaient toutes du fonctionnement d'équipes multidisciplinaire bien formées, du soutien d'une politique et des cadres législatifs rigoureux, de la coordination et des partenariats entre les principaux intervenants, du soutien du public, et de la disponibilité d'informations actualisées (Meyerson et Reaser, 2002). Ce qui sous-entend qu'en cas d'insuffisance des moyens, humains et financiers, appliqués à la mise en œuvre concrète de ces mesures, les objectifs de gestion des EEE ne pourront être atteints.

C'est pourquoi l'organisation de ces mesures tente de couvrir l'ensemble du continuum "réflexion – intervention", en d'autres termes depuis l'organisation internationale jusqu'aux précautions sur le terrain, et de pousser le détail jusqu'au niveau maximum de précision (espèces, types de milieux, usages humains, etc.) pour espérer une efficacité maximale.

EXEMPLES DU ROYAUME-UNI ET DE L'IRLANDE

Les pays anglo-saxons ont été les premiers à développer et mettre en œuvre des politiques organisées de biosécurité sur leurs territoires et les démarches nationales les plus connues sont sans doute celles de la Nouvelle Zélande et de l'Australie. La situation insulaire de ces pays, le fort taux d'endémisme et les dommages considérables qui y ont été causés par les introductions d'espèces exotiques sont sans doute à l'origine de ces volontés fortes d'empêcher toute nouvelle arrivée d'organismes étrangers. La Nouvelle-Zélande en est une bonne illustration, avec son Biosecurity act (1993), qui a permis la mise en œuvre des contrôles renforcés aux frontières (cargaisons, passagers, bagages, etc.) et de stricts protocoles de décontamination.

En Europe, Le Royaume-Uni et l'Irlande ont commencé à développer leurs propres politiques de biosécurité dans les années 2000. Sans attendre l'évolution de la législation européenne, ces deux pays ont mis en place une coordination sur les espèces invasives leur permettant de prévenir et de mieux gérer les introductions d'espèces sur leur territoire qui nous semble être un bon aperçu d'un fonctionnement efficace dans ce domaine.

UNE ORGANISATION EXISTANTE ET OPERATIONNELLE

En Grande-Bretagne, la mise en place d'une coordination concernant les espèces invasives date de 2005. Ce "*Great-Britain Non-native Species Mechanism*" a été conforté en 2008 par l'élaboration d'une stratégie britannique sur les espèces invasives non indigènes (Booy *et al.*, 2012) récemment actualisée (DEFRA, 2015). Il met en relation différents groupes de travail et comporte un conseil ayant pouvoir de décision, le "*Programme Board*", composé de représentants des administrations. Ce conseil définit les priorités de mise en place de la stratégie et des actions et participe à l'élaboration de directives destinées notamment à la prévention, à la détection ou au contrôle des espèces invasives. Un secrétariat exécutif, le "*Non-Native Species Secretariat*" relaie les décisions et les actions de ce conseil, entretient une communication efficace entre les différentes instances du "*GB Mechanism*" et joue également un rôle de collecte et de diffusion d'informations concernant les EEE, à l'échelle nationale mais aussi européenne et mondiale, par le biais de son site internet.

En Irlande, l'Agence de l'Environnement d'Irlande du Nord et le service national des parcs et de la faune sauvage de l'Eire ont mis en place une initiative sur les espèces invasives : *Invasive species Ireland*. Cette initiative travaille en partenariat avec des instituts de recherche et dispose d'un groupe de réflexion plus large "*steering group*" rassemblant différents services de l'état. Des instances du Royaume-Uni sont également présentes dans ces partenariats et groupe de réflexion, dont le Great-Britain Non-Native species secretariat, leur permettant d'échanger expériences et outils sur le sujet. La création de cette initiative a fait suite au rapport de Stokes *et al.*, 2006 qui dresse une série de recommandations pour la prévention et la gestion des espèces exotiques envahissantes, parmi lesquelles figurent la réduction des risques de nouvelles invasions, le développement de codes de bonnes pratiques, la sensibilisation du grand public et la mise en œuvre de plans de contrôle et de gestion des espèces invasives et de leurs voies d'introduction.

DES PLATEFORMES INTERNET RELAIS DE L'INFORMATION

La Grande Bretagne et l'Irlande disposent de plateformes internet distinctes qui rassemblent toutes deux de très nombreuses informations sur la réglementation, l'organisation de la gestion, les espèces, les interventions, la documentation disponible, etc. (<http://www.nonnativespecies.org/home/index.cfm>, <http://invasivespeciesireland.com/>).

Des pages y sont consacrées à la biosécurité et à la prévention et des liens renvoient sur différents aspects de la démarche, tels que les campagnes de sensibilisation du public, des conseils d'amélioration de la biosécurité sur le terrain, des informations sur des codes de pratique et d'autres documents pour les entreprises et les importateurs de marchandises et d'animaux et des guides destinés aux jardiniers et paysagistes. Sur le site du GB NNSS, des modules d'apprentissage en ligne sont également disponibles, dont certains portent spécifiquement sur l'identification de plantes aquatiques, de plantes de berges ou d'invertébrés aquatiques. Le module sur la biosécurité comporte une dizaine de questions à choix multiples sur les pratiques de terrain, dont le nettoyage du matériel.

DES CAMPAGNES DE SENSIBILISATION PARTAGEES ET DES OUTILS MIS A DISPOSITION DES USAGERS

Deux grandes campagnes de sensibilisation lancées au Royaume-Uni ont ensuite été utilisées en Irlande, permettant d'optimiser les outils existants et de bénéficier de l'expérience britannique.

Lancée par le DEFRA (Agence de recherche sur l'alimentation et l'environnement du Royaume-Uni) et le gouvernement écossais, la campagne de sensibilisation "*Be Plant Wise*" (<http://www.nonnativespecies.org/beplantwise/>), ce que l'on peut traduire par "Soyez prudents avec les plantes !", est destinée aux jardiniers, propriétaires d'étangs et vendeurs de plantes. Elle concerne les plantes aquatiques et son sous-titre énonce clairement son attente "*...and don't dump aquatic plants in the wild*" (et ne jetez pas les plantes aquatiques dans la nature). Elle est soutenue par plusieurs organismes nationaux tels que la Royal Horticultural Society. Elle propose des documents en ligne (posters d'information, en particulier) et les adresses des organismes à contacter sur les questions de plantes envahissantes. Elle fait appel à la réflexion de ses interlocuteurs par des messages clairs, "*Know what you grow*" (sachez ce que vous plantez) puis "*Stop the spread*" (arrêtez la dispersion) et enfin "*Compost with care*" (compostez avec soin) et des précisions sont fournies sur les manières de gérer "correctement" cinq des taxons de plantes aquatiques invasives les plus problématiques de Grande Bretagne : l'hydrocotyle fausse-renouée (*Hydrocotyle ranunculoides*), le myriophylle du Brésil (*Myriophyllum aquaticum*), la crassule de Helms (*Crassula helmsii*), les jussies (*Ludwigia grandiflora*, *Ludwigia peploides*) et l'azolle fausse-fougère (*Azolla filiculoides*). Trois guides téléchargeables sont également disponibles pour les jardiniers et les paysagistes, présentant des espèces indigènes de substitution aux espèces exotiques dans les jardins, les aménagements paysagers, les bassins extérieurs et les aquariums.

Plus large que la précédente, la campagne de sensibilisation "*Check Clean Dry*" s'applique également aux animaux (<http://www.nonnativespecies.org/checkcleandry/index.cfm?#>). Son objectif affiché est de demander aux usagers des milieux aquatiques de contribuer à stopper la dispersion des espèces végétales et animales invasives dans les eaux britanniques. Les trois messages qu'elle comporte sont très explicites :

- Vérifiez la présence d'organismes vivants sur votre équipement et vos vêtements. Portez une attention particulière aux parties qui restent humides ou difficiles à inspecter.
- Nettoyer et laver soigneusement tous les équipements, les chaussures et les vêtements. Si vous repérez des organismes vivants, laissez-les dans le milieu où vous les avez trouvés.
- Séchez tous les équipements et vêtements ; certaines espèces peuvent survivre pendant plusieurs jours dans des conditions humides. Assurez-vous de ne pas transférer l'eau de nettoyage ailleurs.

Les informations disponibles dans le site rassemblent environ 70 fiches descriptives d'espèces, différentes plaquettes, une diapotheque et une vidéothèque. Des prescriptions très concrètes de biosécurité complétant les trois messages principaux sont déclinées à destination des usagers des

milieux aquatiques en général et plus spécifiquement aux utilisateurs de bateaux et de kayak et aux pêcheurs. Les partenaires officiels de cette campagne rassemblent des organismes d'état (DEFRA, agences de l'Environnement) et les grandes associations de pêcheurs ("*Angling Trust*") et de canoéistes ("*British Canoe Union*").

En Irlande, cette campagne a été relayée par Inland Fisheries Ireland (IFI), agence d'Etat chargée de la protection, de la gestion et de la conservation des pêches intérieures de l'Irlande. Cet organisme a développé une démarche de biosécurité auprès de divers usagers des milieux aquatiques proposée en 5 étapes "Inspectez, enlevez, nettoyez, jetez et notifiez" ("*Inspect, remove, clean, dispose and notify*") (<http://www.fisheriesireland.ie/Biosecurity/biosecurity.html>). Le programme européen LIFE CAISIE (Contrôl of Aquatic species and restoration of natural communities in Ireland), porté par l'IFI sur la période 2008 à 2013, a permis de développer des outils de communication sur la désinfection du matériel de pêche (plaquettes, interventions auprès des écoles et du grand public). Il est également à l'origine de lignes directrices pour les pêcheurs (*Angling biosecurity guidelines*). Plus largement, le programme CAISIE a permis d'amorcer une démarche globale sur la biosécurité et le développement d'une politique dédiée par Inland Fisheries Ireland (Caffrey, 2013). Ainsi, depuis 2013, l'IFI a proposé des protocoles de biosécurité destinés à différents acteurs : gestionnaires d'espaces naturels, pêcheurs, plaisanciers, plongeurs et plus récemment, canoéistes. Adaptés à ces différents utilisateurs, ils fournissent des consignes détaillées et illustrées de désinfection du matériel et de l'équipement utilisé pour chaque activité concernée. En complément de ces protocoles, l'IFI a mis à disposition le matériel de désinfection nécessaire à leur bonne application. Des pédiluves et bacs de nettoyages ont ainsi été installés dans certains coins de pêche ou remis aux associations de pêche et de canoë pour encourager les usagers à appliquer ces mesures de biosécurité.

DES ANALYSES SCIENTIFIQUES ET DES PROPOSITIONS DE BIOSECURITE SUR LE TERRAIN

Des prescriptions de biosécurité appliquées au terrain et concernant spécifiquement de nombreuses espèces végétales invasives déjà installées figurent depuis environ deux décennies dans une partie notable des documents disponibles sur ces espèces et leur gestion (fiches présentant les espèces, plaquettes et guides de gestion, etc.), généralement sous la forme de "ce qu'il ne faut pas faire en présence de l'espèce". Elles s'appuient sur les connaissances sur la biologie et l'écologie des espèces en question, notamment sur leurs caractéristiques de reproduction, comme la production de graines viables, ou de développements végétatifs, dont les capacités de bouturage des fragments de tiges, et sur les risques de dispersion de ces propagules par les vents, les eaux, les animaux et les humains...

Elles sont donc incluses dans les informations diffusées en direction des gestionnaires et du grand public. Toutefois, elles y restent fréquemment très générales ou approximatives et, jusqu'à présent, faute de travaux de recherche largement diffusés sur ces sujets, elles ne peuvent présenter d'argumentaire valide permettant de les consolider et de les rendre plus acceptables pour les usagers devant les appliquer.

Diverses publications de recherche sont cependant disponibles depuis une vingtaine d'années sur les risques de dispersion d'espèces invasives par certaines activités humaines, comme la pêche ou la navigation (Ludwig et Leitch, 1996 ; Johnson *et al.*, 2001). Plus récemment, des recherches appliquées spécifiquement aux espèces invasives elles-mêmes pour en évaluer la résistance lors des phases éventuelles de dispersion ont commencé à se mettre en place. Elles permettent de réaliser des évaluations de risques de même nature que celles appliquées aux espèces invasives émergentes. La publication en avril 2014 dans la revue en ligne PLoS ONE (<http://www.plosone.org/>) des résultats des recherches de Lucy Anderson et de ses collègues (Anderson *et al.*, 2014) en est un bon exemple.

Les deux équipes de chercheurs ont travaillé sur l'évaluation de la "menace potentielle" ("*potential threat*") que posent en Angleterre pêcheurs et canoéistes comme vecteurs de transports de pathogènes et d'espèces invasives. Selon ces auteurs, les risques inhérents aux activités des différents types d'usagers de ces milieux avaient reçu jusqu'à présent assez peu d'attention et ce constat les a amenés à mettre en place une enquête par Internet auprès de l'ensemble des associations de pêche (316) et de canoë-kayak (241) d'Angleterre. Le questionnaire comportait diverses questions sur les pratiques de ces utilisateurs des milieux aquatiques comme le nettoyage et le séchage des équipements après utilisation, les destinations, les fréquences et l'ampleur des déplacements, le nombre de bassins versants concernés par ces déplacements sur des périodes courtes, etc. Les réponses ont ensuite été évaluées en termes de risques de dispersion, de 1 (risque faible) à 5 (risque élevé). Les taux de réponses complètes de canoéistes et de pêcheurs ont été respectivement de 17 et 25 % des personnes effectivement contactées.

La liste des organismes invasifs choisis par cette analyse comportait neuf pathogènes pouvant toucher amphibiens et poissons, huit espèces animales et deux plantes, l'hydrocotyle à feuilles de renouées (*Hydrocotyle ranunculoides*) et le myriophylle du Brésil (*Myriophyllum aquaticum*). Pour évaluer les risques de dispersion de ces organismes, les auteurs ont fait un bilan des connaissances disponibles sur leurs durées connues de survie, en l'occurrence des durées estimées à quelques jours en conditions non humides pour les deux plantes.

Les analyses des résultats de l'enquête permettent une première évaluation de risques. Par exemple, près de deux-tiers des pêcheurs et trois-quarts des canoéistes utilisent leur équipement dans plus d'un bassin versant durant la même période de quinze jours, temps de survie possible de plusieurs des organismes considérés dans l'étude, dont les plantes. De même, seuls 12 % des pêcheurs et 50 % des canoéistes procèdent à un nettoyage ou un séchage de leur équipement entre deux utilisations. Par ailleurs, près de la moitié des pêcheurs et des canoéistes ont utilisé leur équipement à l'étranger, en grande majorité dans d'autres pays d'Europe. Parmi eux, 8 % des pêcheurs et 28 % des canoéistes ont utilisé cet équipement sans nettoyage ni séchage, ce qui pourrait faciliter à la fois l'introduction et la propagation secondaire de ces organismes en Grande Bretagne.

Ces analyses ont également permis aux auteurs de présenter des cartes montrant la localisation des sites visités par un pêcheur ou un canoéiste ayant visité plus d'un bassin versant durant la même quinzaine de jours sans nettoyer ou sécher son équipement entre les utilisations. Les tracés des lignes reliant les sites visités par une même personne durant la quinzaine de jours en question visibles sur les cartes présentes dans l'article illustrent très bien le réseau d'interconnexions entre bassins versants que créent ces usagers. Considérant que plus d'un tiers des introductions d'espèces en Europe est causé par la pêche, la navigation de plaisance et les activités de loisirs, les auteurs concluent évidemment sur les risques potentiels en tant que vecteurs de pathogènes ou d'espèces invasives de ces usagers des milieux aquatiques, sur l'importance d'une amélioration en termes de biosécurité des pratiques associées et sur les besoins de sensibilisation du public.

Une nouvelle contribution de trois de ces auteurs sur cette problématique porte sur l'application d'eau chaude comme moyen de nettoyer les équipements (vêtements, waders, filets, etc.) (Anderson *et al.*, 2015). Une des deux expérimentations présentées dans cet article concernaient sept espèces considérées comme des invasives avérées en Grande Bretagne : trois invertébrés et quatre plantes : le grand lagarosiphon (*Lagarosiphon major*), l'hydrocotyle à feuilles de renouées (*Hydrocotyle ranunculoides*), la crassule de Helms (*Crassula helmsii*) et le myriophylle du Brésil (*Myriophyllum aquaticum*).

Les plantes obtenues auprès de détaillants spécialisés ont été séparées en fragments de 60 mm pour des tests comportant quatre modalités appliquées chacune à 60 fragments de plantes, c'est-à-dire utilisation d'eau chaude seule, utilisation d'eau chaude puis séchage, séchage seul et témoin de contrôle sans traitement. Les plantes ont été trempées durant 15 minutes dans une eau à 45 °C. Des contrôles de survie des organismes ont été réalisés au bout d'une heure puis d'un, deux, quatre, huit et seize jours. Durant la période de test, les plantes ont été laissées à l'air libre dans une pièce à température contrôlée à 14 °C.

Le passage dans l'eau chaude seul a causé 100 % de mortalité de six des sept espèces testées à l'exception de la crassule de Helms (90 % de mortalité). La modalité "passage dans l'eau chaude + séchage" a donné des résultats similaires, avec 100 % de mortalité pour les mêmes six espèces et 80 % pour la crassule de Helms. Le séchage seul s'est avéré nettement moins efficace et la mortalité dans le groupe témoin a été relativement faible puisque 30 % des individus étaient toujours en vie après 16 jours.

Selon les auteurs, cette application très efficace d'eau chaude à une température ne provoquant pas de brûlure pour les applicateurs est un moyen simple, rapide et efficace pour nettoyer les équipements ("*a simple, rapid and effective method to clean equipment*"), aussi recommandent-ils qu'elle soit préconisée en matière de biosécurité dans les futures campagnes de sensibilisation.

Ils indiquent également que cette technique de nettoyage des équipements pourrait être utilisée par toutes les personnes utilisant des combinaisons ou des équipements en milieux aquatiques, pour des raisons professionnelles ou personnelles, et pas seulement les pêcheurs.

Un des acquis importants de cette expérimentation est l'évaluation de la grande résistance des espèces testées puisque après séchage, 10 % des individus testés étaient encore vivants au bout des 16 jours et 30 % dans la modalité "contrôle". Parmi ces espèces, la crassule de Helms s'avère particulièrement résistante puisque les 60 fragments de cette espèce testés dans la modalité "contrôle" ont tous survécu aux 16 jours de l'expérimentation. Cette plante aux tiges et aux feuilles apparemment fragiles semble donc présenter des capacités de résistance beaucoup plus élevées que des plantes plus grandes et à l'apparence plus solide, comme par exemple le myriophylle du Brésil, ce qui devrait renforcer la nécessité de la gérer dès sa découverte.

REMARQUES FINALES

Mêmes encore largement insuffisants, les efforts engagés sur toute la planète pour mieux gérer les invasions biologiques, en réduire les impacts négatifs et protéger plus efficacement la biodiversité dont nous avons absolument besoin vont continuer à se développer. Cette démarche de biosécurité sort sans conteste renforcée par la communication croissante qui est faite pour la diffuser, pour accroître la sensibilisation du public à tous les aspects de la gestion des invasions biologiques. Mais elle reste également à consolider par le développement de recherches spécifiquement appliquées à la gestion des espèces invasives, telles que les deux exemples présentés ici. Des évaluations des risques de dispersion des espèces végétales (et animales) se fondant sur les caractéristiques de résistances de ces espèces aux conditions environnementales devraient nous obliger à reconsidérer certaines modalités de nos activités collectives ou individuelles dans les milieux naturels. La collecte de telles "preuves scientifiques" des risques d'invasion par une espèce donnée pourrait être un moteur puissant dans l'évolution de cette démarche et amener à poursuivre la construction de cette biosécurité à toutes les échelles géographiques et administratives, de la planète au coin de pêche.

Au-delà de l'organisation étatique de cette biosécurité, la sensibilisation du public sur l'importance de sa mise en œuvre à toutes ces échelles est probablement l'enjeu actuel le plus important de la démarche. Les médias communiquent de plus en plus sur les invasions biologiques, développant dans presque tous les cas un discours catastrophiste et anxiogène. Aussi est-il sans doute temps de tenter de déplacer les objectifs de cette communication grand public vers une prise de responsabilité collective et individuelle vis-à-vis de ces espèces, de leurs dynamiques et de leur gestion.

Cette problématique de biosécurité et les enjeux, écologiques, économiques et humains, auxquels elle tente de répondre, devraient donc nous amener à changer de mode de relation avec les milieux naturels, dès lors que nous les fréquentons pour des raisons personnelles ou professionnelles. En effet, nous ne pouvons plus considérer que se déplacer dans ces milieux est sans risques ultérieurs pour l'environnement. De même, nous ne pouvons plus ignorer la responsabilité collective et individuelle qui est la nôtre dans les possibilités de dispersion d'espèces invasives, de maladies ou de parasites lorsque nous nous déplaçons sans précaution d'un milieu à un autre. Ces connaissances acquises doivent nous amener à assumer cette responsabilité au sens de l'impératif catégorique proposé par Hans Jonas dans son ouvrage "Le principe de responsabilité" : *"Agis de telle sorte que les effets de ton action soient compatibles avec la permanence d'une vie authentiquement humaine sur terre"*¹.

A notre connaissance, la campagne britannique de sensibilisation du grand public "Be Plant Wise" a fait l'objet d'une communication active durant une année : il est évidemment impossible d'évaluer à court terme son efficacité mais les informations qui s'y réfèrent en permanence dans toutes les pages disponibles sur internet maintiennent une pression qui devrait donner des résultats.

Aucune démarche de biosécurité aussi organisée que celles proposées au Royaume-Uni et en Irlande n'est actuellement mise en œuvre en métropole. De multiples informations sur ces risques de dispersion sont effectivement accessibles sur divers sites internet, sans toutefois se présenter comme des éléments convergents et coordonnés d'une démarche qui serait jugée nécessaire à l'échelle nationale et donc défendue comme une "cause nationale". Les gestionnaires d'espaces naturels confrontés aux invasions biologiques sont sensibilisés à la problématique, mais plus fréquemment sur les risques causés par la transmission de pathogènes à la faune autochtones (peste des écrevisses, chytridiomycose pour les amphibiens) que sur la dispersion de plantes et leurs propagules. Ils sont en attente de protocoles de biosécurité adaptés aux réalités de leurs interventions et leur démarche mérite d'être encouragée et valorisée.

Peut-être serait-il temps qu'une grande campagne de sensibilisation du public et des usagers de la nature soit déployée en France enfin pour qu'une prise de conscience de ces risques et de la manière de les réduire permette d'améliorer les pratiques dans ce domaine.

¹ Article en ligne de Laurence Hansen-Love : L'Humanité à venir a-t-elle des droits ? <http://la-philosophie.com/principe-responsabilite-jonas>

BIBLIOGRAPHIE

- Anderson L. G., White P. C. L., Stebbing P. D., Stentiford G. D., Dunn A. M., 2014 - Biosecurity and vector behaviour: evaluating the potential threat posed by anglers and canoeists as pathways for the spread of invasive non-native species and pathogens. *PLoS ONE*, 9(4), 10 p.
- Anderson L. G., Dunn A. L., Rosewarne P. J., Stebbing P. D., 2015 - Invaders in hot water: a simple decontamination method to prevent the accidental spread of aquatic invasive non-native species. *Biol. Invasions*, 17, 2287–2297
- Biosecurity Act, 1993. Public Act 1993. No 95. Reprint as at 22 April 2010. New Zealand Government, Wellington, New Zealand, 299 p. (<http://www.biosecurity.govt.nz/biosec/pol/bio-act>)
- Booy O., Copp H. G., Mazaubert E., 2012 - Réseaux d'experts et prise de décisions : l'exemple du Royaume-Uni. *Revue Les invasions biologiques en milieux aquatiques. Sciences, Eau et Territoires*, N° 6, p. 74-77. (Disponible sur : <http://www.set-revue.fr/>)
- Caffrey J. 2013. Control of Aquatic species and restoration of natural communities in Ireland (CAISIE). Layman's report. 17 p.
- DEFRA, 2014 - Protecting Plant Health. A Plant Biosecurity Strategy for Great Britain. Department for environment, food and rural affairs. 34 p.
- DEFRA, 2015 - Great Britain Invasive Non-native Species Strategy. Department for environment, food and rural affairs. 38 p.
- Dutartre A., Spiegelberger T., Mazaubert E., 2010 - Évaluation critique des politiques publiques mises en œuvre pour gérer les espèces envahissantes. *Revue Politiques publiques et biodiversité. Sciences, Eau et Territoires*, N° 3, 140-146. (Disponible sur : <http://www.set-revue.fr/>)
- Johnson L. E., Ricciardi A., Carlton J. T., 2001 - Overland dispersal of aquatic invasive species: a risk assessment of transient recreational boating. *Ecol. Appl.*, 11, 1789–1799
- Koblentz G. D., 2010 - Biosecurity Reconsidered: Calibrating Biological Threats and Responses. *International Security*, Vol. 34, No. 4, 96-132.
- Le Botlan N., DESCHAMPS S., 2014 - Un règlement européen relatif à la gestion des espèces exotiques envahissantes : grands axes d'actions et points de débats. *Revue Les macrophytes et nous. Sciences, Eau et Territoires*, N°15, 38-43. (Disponible sur : <http://www.set-revue.fr/>)
- Ludwig H. R., Leitch J. A., 1996 - Interbasin transfer of aquatic biota via anglers' bait buckets. *Fisheries*, 21, 14–18.
- Meyerson L. A., Reaser J. K., 2002 - Biosecurity: Moving toward a Comprehensive Approach. *BioScience*, Vol. 52, No. 7, 593–594.
- National Research Council, 2006 - Globalization, Biosecurity, and the Future of the Life Sciences, Washington, D.C.: National Academies Press. 317 p. (Disponible sur : <http://www.nap.edu/catalog/11567/globalization-biosecurity-and-the-future-of-the-life-sciences>)
- Sarat E., Mazaubert E., Dutartre A., Poulet N., Soubeyran Y., 2015 - Les espèces exotiques envahissantes. *Connaissances pratiques et expériences de gestion. Volume 1 - Connaissances pratiques. Onema. Collection Comprendre pour agir.* 252 p.
- Stokes K., O'Neill K., McDonald R. 2004. Invasive species in Ireland. Report to Environment & Heritage Service and National Parks & Wildlife Service. Quercus, Queens University Belfast, Belfast. 152 p.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**GESTION D'UNE PLANTE AQUATIQUE EXOTIQUE ENVAHISSANTE, LE MYRIOPHYLLE DU BRÉSIL
(*MYRIOPHYLLUM AQUATICUM* VERDC.), AU CŒUR D'UN MARAIS A FORT ENJEU ECOLOGIQUE**

F. MERCIER ⁽¹⁾

(1) Conservatoire d'Espaces Naturels de Basse-Normandie, 320 quartier le Val, bâtiment A,
14200 HEROUVILLE SAINT-CLAIR - FRANCE - contact@cen-bn.fr

RÉSUMÉ

Plusieurs espèces invasives sont recensées dans le marais de Chicheboville-Bellengreville et l'une d'entre elles est particulièrement préoccupante : le myriophylle du Brésil. Originaire d'Amérique du sud, cette plante se développe en milieu aquatique et prolifère à grande vitesse dans les étangs et les canaux, recouvrant à terme totalement l'eau libre et causant la disparition de la faune et de la flore locales. Gestionnaire du site, le Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie (CEN-BN) réalise des actions de gestion et de régulation de cette plante aquatique depuis sa découverte en 2011. Retour sur 4 ans de gestion au cœur d'un marais à fort enjeu écologique menacé par le myriophylle du Brésil : cartographie, chantier d'envergure d'arrachage mécanique, veille annuelle, arrachages manuels réguliers... Autant d'actions nécessaires pour éviter l'expansion de cette plante, qui pourrait compromettre les usages de pêche et de chasse dans le marais.

Mots-clés : espèce exotique envahissante, *Myriophyllum aquaticum*, gestion, arrachage mécanique, retour d'expérience, Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie.

ABSTRACT

Several invasive species are listed in the swamp of Chicheboville-Bellengreville and one of them is particularly worrisome : the parrot feather watermilfoil. Native of South America, this plant develops in aquatic environment and proliferates at high speed in ponds and channels, recovering eventually totally the free water and causing the local disappearance of the flora and fauna. Administrator of the site, of the Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie (CEN-BN) realizes actions of management and regulation of this water plant since his discovery in 2011. Return over 4 years of management at the heart of a swamp with strong ecological stake threatened by the parrot feather watermilfoil: mapping, mechanical removal, the annual watch, regular manual pulling... So many necessary actions to avoid the expansion of this plant, which could compromise the uses of fishing and hunting in the swamp.

Keywords: alien species, *Myriophyllum aquaticum*, ecological management, mechanical removal, feedback, Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie.

INTRODUCTION

Le marais alcalin de Chicheboville-Bellengreville s'étend sur 150 hectares, et est localisé dans le département du Calvados en Normandie, à une dizaine de kilomètres au sud-est de Caen. Il s'agit d'un marais tourbeux alcalin, constitué de mares, roselières, prairies humides et tourbeuses, cladiaies, mégaphorbiaies, boisements humides et d'un réseau de canaux. D'une grande richesse biologique, il héberge des habitats terrestres et aquatiques remarquables ainsi que de nombreuses espèces rares et protégées (*Ranunculus lingua*, *Potamogeton coloratus*, *Sparganium minimum*, *Epipactis palustris*, *Utricularia minor*, *Coenagrion mercurialis*, *Arvicola sapidus* etc.). Ce marais fait l'objet de plusieurs démarches de conservation :

- ZNIEFF de type 1;
- Site Natura 2000 n° FR2500094 « marais alcalin de Chicheboville-Bellengreville »;
- ENS du département du Calvados d'intérêt local;
- Sites du Conservatoire d'Espaces Naturels de Basse-Normandie (CEN-BN) : 19 ha sont gérés par le CEN-BN, à savoir, des parcelles dont le CEN-BN est propriétaire, quelques parcelles privées et l'ensemble des propriétés de la commune de Chicheboville.

Le Conservatoire d'Espaces Naturels de Basse-Normandie s'implique sur le marais depuis les années 2000. L'association est gestionnaire de certaines parcelles du marais et opérateur du site Natura 2000 depuis 2004.

Le myriophylle du Brésil (*Myriophyllum aquaticum* Verdc.), plante aquatique exotique envahissante, a été découvert dans le marais de Chicheboville-Bellengreville au printemps 2011 par le Conservatoire Botanique National de Brest, sur des parcelles privées au cœur du marais.

Plusieurs nuisances et enjeux ont été identifiés suite à cette découverte. Un impact sur la biodiversité remarquable est à craindre, le développement du myriophylle du Brésil menaçant donc à court et moyen terme l'habitat d'intérêt communautaire «plans d'eau eutrophes avec végétations enracinées avec ou sans feuilles flottantes». Le maintien de la vie aquatique associée à l'étang est également compromis par la présence de cette plante. Un risque important de dissémination par le réseau hydrographique est également à redouter, le plan d'eau envahi, situé au cœur du marais, étant relié au réseau de fossés du marais. Ainsi d'autres mares et étangs pourraient être aisément touchés, la dissémination de l'espèce étant possible dans tout le marais, via l'important réseau de fossés.

Pour un gestionnaire d'espaces naturels, le cantonnement d'une telle station d'espèce invasive dans ce contexte et avec des enjeux écologiques forts est-il possible ? Peut-on effectuer une gestion efficace voire même espérer une éradication de la plante sur le site ?

Le Conservatoire d'Espaces Naturels de Basse-Normandie s'est lancé dans plusieurs actions de cartographie et de gestion, en accord avec les différents propriétaires, afin de tenter une maîtrise du myriophylle du Brésil sur le site.

Figure 1 : Plan d'eau colonisé par le myriophylle du Brésil au printemps 2013 – Water body colonized by the the parrot feather watermilfoil in spring 2013

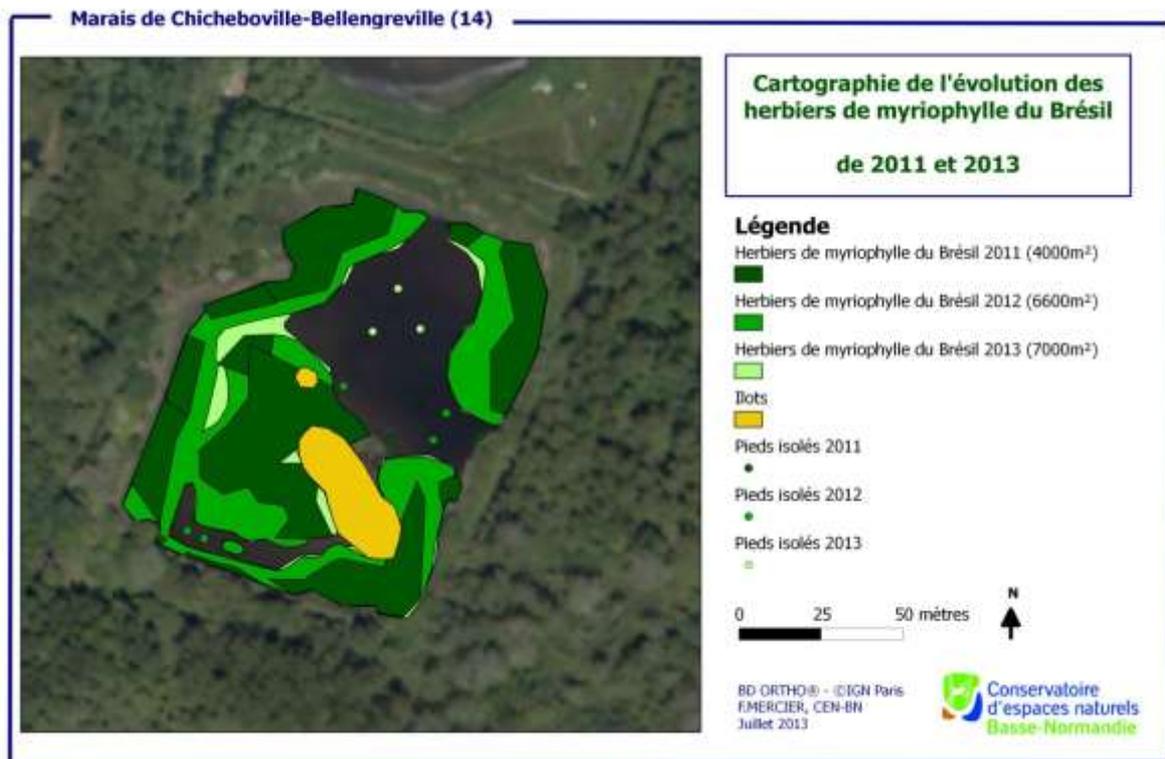


MATERIEL ET MÉTHODE

CARTOGRAPHIE DE L'ÉVOLUTION DE LA STATION DE MYRIOPHYLLE DU BRÉSIL DEPUIS SA DÉCOUVERTE EN 2011

Une cartographie précise des herbiers de myriophylle du Brésil à compter de l'automne 2011 a permis de suivre l'évolution du foyer depuis sa découverte, et avant toute intervention. La figure 1 présente l'évolution de la superficie de l'espèce sur le plan d'eau. Ainsi, en deux années sans intervention, entre l'été 2011 et le printemps 2013, la superficie des herbiers a pratiquement doublé pour atteindre plus de 75% de la pièce d'eau, partant d'une surface d'environ 4000 m² lors de sa découverte. Ce site comportait alors le foyer le plus important connu en Basse-Normandie (environ 7000 m² avant arrachage).

Figure 2 : Cartographie du foyer de Myriophylle du Brésil depuis son apparition sur les parcelles - Mapping of the station of parrot feather watermilfoil since its appearance on the site



ACTIONS MENEES DEPUIS 2011 POUR GERER LE MYRIOPHYLLE DU BRÉSIL PRESENT SUR LE SITE

Suite à la découverte de la station de Myriophylle du Brésil sur des parcelles privées au cœur du marais en 2011, le Conservatoire d'Espaces Naturels de Basse-Normandie a rapidement rencontré les propriétaires pour les informer et les sensibiliser à la problématique des espèces invasives, et en particulier sur cette plante aquatique invasive recouvrant environ 4000m² de leur plan d'eau d'un hectare. Avec leur accord, un chantier-bénévole d'arrachage manuel sur deux jours a été mené en octobre 2011. Des filets ont été posés à l'exutoire de l'étang, afin de prévenir la dissémination de boutures de la plante dans le réseau de fossé attenant. Une infime partie des herbiers présents, à savoir à peine 10% de la surface de myriophylle du Brésil présent à l'époque, ont été arrachés et exportés pour dessiccation avant incinération (Hélie, 2011).

En 2012, les propriétaires ont décidé de mettre en vente les parcelles concernées. Le CEN-BN a alors accompagné la commune pour l'acquisition des parcelles, avec l'aide de financements publics et dans le cadre de la politique des ENS (Espaces Naturels Sensibles) du département du Calvados. Le Conservatoire s'est donc retrouvé officiellement gestionnaire des parcelles envahies par le myriophylle du Brésil, au travers d'une convention de partenariat avec la commune. Un suivi de la progression des herbiers et une veille des filets posés en 2011 ont donc été facilités (Hélie, 2013).

Figure 3 : Chantier bénévole d'arrachage manuel en 2011 – Volunteer's event of hand pulling in 2011

Durant l'année 2013, arrivant à une superficie conséquente de myriophylle du Brésil, à savoir plus de 7000m², seule une intervention mécanique pouvait être envisagée. Trois semaines de chantier mécanique en août ont permis d'extraire l'intégralité des herbiers sur le site. Du matériel assez lourd, et devant être adaptés à des interventions en milieux peu portants ont été utilisés par les prestataires.



Le déroulement du chantier s'est passé comme décrit ci-après :

- Dégagement des berges du plan d'eau pour faciliter l'accès aux engins
- Pose de 4 filtres aux entrées et sorties d'eau et nettoyage régulier
- Arrachage mécanique des herbiers depuis les berges avec une pelle mécanique 24 tonnes et création d'un godet spécifique au chantier
- Arrachage mécanique des herbiers de pleine eau depuis une barge flottante
- Finition en arrachage manuel (équipe de 4 personnes, avec barques et épuisettes pour récupérer les boutures flottantes et les pieds isolés)
- Creusement d'une fosse sur la berge protégée par un géotextile pour le stockage et le ressuyage des herbiers
- Exportation hors site avec benne imperméable de 25m³ jusqu'aux parcelles agricoles sèches, pour une valorisation agricole des herbiers arrachés sur la commune.

La figure 4 reprend en image le déroulé du chantier d'arrachage.

Figure 4 : Déroulement du chantier d'arrachage mécanique en 2013 – Different stages of the mechanical digging in 2013



Pour pérenniser l’investissement lié au chantier mécanique, deux journées d’arrachage manuel ont été menés par des salariés du CEN-BN à l’automne 2013. L’objectif était de limiter la repousse automnale de l’espèce et la quantité d’herbiers à arracher pour l’année suivante (Mercier et Hélie, 2014 ; Hélie, 2014).

En 2014, étant donné qu’il était difficile d’anticiper le taux de repousse suite au chantier d’arrachage mécanique d’envergure de l’année précédente, le CEN-BN a décidé de faire appel à une association d’insertion pour effectuer des arrachages manuels des herbiers. Un forfait de 2 jours mensuels sur 6 mois a été convenu avec le prestataire. Le plan d’eau étant assez dangereux suite au déplacement de la barge flottante et des mouvements de vases liés au chantier de 2013, des planches à voile ont été utilisés pour sécuriser les déplacements sur l’eau des personnes intervenants sur le site (Mercier, 2014).

Figure 5 : Intervention manuel sur le plan d’eau envasé, à l’aide d’une planche à voile en 2014 et photo du site en 2015 – Manual worker in siltation pond by means of windsurfing board in 2014 and picture of the site in 2015



Enfin en 2015, des arrachages manuels ont été effectués en août et septembre par des salariés du CEN-BN, avec les mêmes moyens techniques que l’année précédente (Mercier et al., 2015 ; Labouille, 2016). Le tableau I présente les méthodes d’intervention et le matériel utilisé sur 4 ans pour contenir le myriophylle du Brésil sur le site.

Tableau I : Méthodes d’intervention et matériels utilisés – Interventions and equipments

Année	2011	2013	2014	2015
Type d’intervention	chantier-bénévole	arrachage mécanique + manuel	arrachage manuel	arrachage manuel
Matériels utilisés	filets maille 5mm	grilles de maille 5mm	waders	waders
	barque	2 pelles mécaniques 24 tonnes avec pour l’une bras de 12m	planche à voile	planche à voile
	géotextile	1 benne chenillée	poubelles plastiques	poubelles plastiques
	waders	1 barge flottante	seaux	géotextile
	crocs	1 camion-benne 25 m ³	géotextile	
		géotextile		
		barque		
		waders		
	crocs			

RESULTATS

Sur les 4 années de gestion du myriophylle du Brésil présent sur le site, il apparaît aujourd’hui un net recul de la superficie de la plante invasive sur le plan d’eau. On ne peut malheureusement pas encore parler d’éradication totale de l’espèce au sein du site, puisqu’encore en 2015, quelques boutures de myriophylle du Brésil étaient présents. Mais l’opération mécanique menée en 2013 a permis de

diviser les superficies et le volume d'herbiers exportés de manière significative (d'un facteur 10 000 pour la surface et 100 000 pour les volumes exportés).

Tableau II : Evolution surfacique et quantité arrachée de Myriophylle du Brésil - Surface evolution and quantity extracted from Parrot feather watermilfoil

année	superficie de myriophylle du Brésil avant gestion (m ²)	intervention	méthodes de gestion	durée des interventions	type d'intervention	volume exporté (m ³)
2011	4000	oui	arrachage manuel	2 jours en octobre	chantier-bénévole	20
2012	6600	non	-	-	-	-
2013	7000	oui	arrachage mécanique + manuel	3 semaines en aout + 3 jours à l'automne	prestation + régie CEN-BN	450
2014	30	oui	arrachage manuel	13 jours étalé sur 6 mois	prestation	0,115
2015	1	oui	arrachage manuel	2 demi-journées en aout et septembre	régie CEN-BN	0,005

Figure 6 : Avant-pendant-après chantier d'arrachage mécanique en 2013 – Before-during-after mechanical digging in 2013



DISCUSSION

Le chantier-bénévole d'arrachage manuel en 2011 a été mené afin d'estimer le temps nécessaire quant à la gestion du myriophylle du Brésil sur la parcelle. Ainsi, en 96 heures cumulées d'arrachage manuel (8 personnes pendant 2 jours), 370m² d'herbiers ont été arrachés, représentant à peine 1/10^{ème} de la superficie totale de myriophylle du Brésil présents à l'époque sur le plan d'eau.

Le suivi de 2012 a permis de constater que la totalité de la surface arrachée à l'automne 2011 était à nouveau recouvert d'herbiers de myriophylle du Brésil. Au vu de l'envergure du foyer et de la nécessité de traiter l'ensemble de la station pour espérer des résultats probants, seul l'arrachage mécanique semblait envisageable.

En 2013, l'opération d'arrachage mécanique, avec création d'un godet spécifique pour l'arrachage d'herbiers aquatiques (godet de curage classique sur lequel est soudée une série de « griffes ») a donné des résultats probants puisque la repousse des herbiers de myriophylle du Brésil après arrachage a été très faible.

La finition en arrachage manuel est une action qui nous semble incontournable, afin de minimiser le taux de repousse l'année suivante. Elle a également permis de gérer des zones non traitées par la pelle

mécanique, à savoir l'îlot central du plan d'eau et la roselière bordant une partie de l'étang. Les parcelles agricoles sèches qui ont accueillis les récoltes de myriophylle du Brésil ont fait l'objet de suivis réguliers et scrupuleux et aucune repousse n'a été constatée. A l'automne 2013, 2 journées d'arrachage manuel ont été menés par l'équipe du CEN-BN pour limiter la repousse automnale et ainsi réduire les quantités en 2014. Seuls 400 L ont été récoltés.

Le chantier d'arrachage mécanique a permis de mener une opération d'envergure innovante pour la Basse-Normandie, et ainsi de gérer la plus importante station de myriophylle du Brésil connue en région. Le CEN-BN a été satisfait du sérieux du prestataire et du soin qui a été pris pour éviter la dispersion de l'espèce, contraintes techniques pas toujours évidentes à comprendre par des prestataires (cahier des charges pointilleux, suivi quotidien du chantier, nettoyage minutieux du matériel dont mise en place de pédiluve...).

En outre, malgré l'arrachage mécanique, des herbiers d'espèces aquatiques indigènes ont pu être conservés dans l'étang. Ces herbiers de Characées se sont depuis bien étendus et peuvent ainsi faire concurrence au myriophylle du Brésil à terme.

Par la suite, les opérations d'arrachage manuel effectuées en régie par le CEN-BN ou via une association d'insertion ont mis en évidence les faibles quantités récoltées, et donc l'efficacité du chantier mécanique mené en 2013. Ainsi, seuls 115L ont été récoltés sur la saison 2014, et à peine 5L en 2015.

Ces résultats montrent donc qu'il semble possible pour un gestionnaire confronté à une station conséquente de plante aquatique invasive, et dans un contexte délicat avec des enjeux écologiques, de maîtriser et cantonner une espèce exotique envahissante. Bien évidemment, tout chantier ou résultat ne sont pas reproductibles, chaque site et situation nécessitent des connaissances approfondies sur le contexte, l'espèce invasive concernée, les moyens techniques adaptés, les précautions indispensables pendant tout chantier de gestion... Dans ce cas précis du marais de Chicheboville-Bellengreville, les résultats sont plus qu'encourageants !

CONCLUSION

Par ce retour d'expérience de plus de 4 années d'efforts pour tenter de contenir et de réduire la présence du myriophylle du Brésil au cœur d'un marais, les résultats montrent avec le recul qu'une action de gestion sur cette plante aquatique et dans ce contexte particulier peut être pertinente et efficace à condition que toutes les précautions soient prises lors des chantiers de gestion. La réussite d'une telle action est liée aux attentions portées durant les chantiers de gestion, et à la veille réalisée régulièrement par le gestionnaire du site.

Même si les résultats sont plus qu'encourageants, il est nécessaire de continuer les efforts engagés depuis 2013 sur le site pour espérer parler d'éradication du myriophylle du Brésil dans le marais.

REMERCIEMENTS

Le Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie remercie la commune de Chicheboville pour son investissement sur le site. Que les différents partenaires financiers ayant participé à tout ou partie des subventions apportées pour les différents chantiers de gestion depuis 2013, à savoir l'Agence de l'eau Seine-Normandie, la Direction Régional de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) et le Conseil Départemental du Calvados soient également remerciés.

BIBLIOGRAPHIE

Hélie C., 2011 – Site Natura 2000 « Marais alcalin de Chicheboville-Bellengreville ». Rapport d'activités 2011. Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie. Caen, 15 p.

Hélie C., 2013 – Site Natura 2000 « Marais alcalin de Chicheboville-Bellengreville ». Rapport d'activités mai 2012 à avril 2013. Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie. Caen, 31 p.

Hélie C., 2014 – Site Natura 2000 « Marais alcalin de Chicheboville-Bellengreville ». Rapport d'activités 2013. Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie. Caen, 47 p.

Labouille A., 2016 - Site Natura 2000 « Marais alcalin de Chicheboville-Bellengreville ». Rapport d'activités avril 2015 à février 2016. Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie. Caen, 47 p.

Mercier F., Hélie.C., 2014 – Bilan de l'opération de lutte contre le Myriophylle du Brésil en 2013. Marais de Chicheboville-Bellengreville (14). Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie. Caen, 11 p.

Mercier F., 2014 – Bilan de l'opération de lutte contre le Myriophylle du Brésil en 2014. Marais de Chicheboville-Bellengreville (14). Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie. Caen, 11 p.

Mercier F., Marie M., Ordonneau T., Schmitt E., 2015. Brigade espèces invasives 2015, un appui aux territoires. Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie. Caen, 122 p.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE - 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**UNE BRIGADE DE GESTION PREVENTIVE SUR LES ESPECES INVASIVES :
UN APPUI AUX TERRITOIRES**

F. MERCIER, E. SCHMITT, R. CHALMEL⁽¹⁾

Conservatoire d'Espaces Naturels de Basse-Normandie, 320 Quartier du Val, Bâtiment A,
14200 HEROUVILLE SAINT-CLAIR - FRANCE – f.mercier@cen-bn.fr

RÉSUMÉ

Myriophylle du Brésil, écrevisse de Louisiane, frelon asiatique, renouée du Japon... Autant d'espèces venues d'ailleurs et désormais présentes en Normandie. Elles prennent la place des espèces locales, perturbent les milieux naturels et peuvent nuire à la santé et aux activités économiques. C'est suite à ce constat qu'un programme régional d'actions sur la thématique a été écrit pour la Basse-Normandie, issu des réflexions du Comité Régional sur les espèces invasives. Ce programme est porté et animé par le Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie (CEN-BN) depuis 2009. Afin de mutualiser les interventions et fort de son expérience de gestionnaire, le CEN-BN a créé en 2015 une équipe saisonnière de gestion préventive de ces espèces, renouvelée en 2016. Un appui technique et une réelle force d'action au service des collectivités et des particuliers.

Mots-clés : espèce invasive, brigade préventive, gestion manuelle, communication, Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie.

ABSTRACT

Brazilian Milfoil, Crayfish from Louisiana, Asian Hornet, Japanese Knotweed ... Many species from elsewhere and now present in Normandy. They take the place of local species, disrupting the natural environment and can harm the health and economic activities. It is further to this report that a regional program of actions on the theme was written for the Basse-Normandie, stemming from reflections of the Régional Committee on the invasive species. This program is carried and led by the Conservatoire d'Espaces Naturels de Basse-Normandie since 2009. To mutualize the interventions and fort of its experience, CEN-BN created in 2015 a seasonal team of preventive management of these species, renewed in 2016. A technical support and a real strenght of actions in the service of communities and private individuals.

Keywords: invasive species, preventive brigade, manual management, communication, Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie.

INTRODUCTION

Les échanges commerciaux ainsi que les déplacements des hommes et des animaux, qu'ils empruntent les voies maritimes, fluviales ou terrestres, entraînent l'introduction volontaire ou involontaire d'espèces animales et végétales exogènes. Dans la mesure où ces phénomènes de migrations interviennent partout dans le monde, une espèce dite « autochtone » ou « indigène » à un endroit donné de la planète, est nécessairement considérée comme « allochtone » ou « exogène » à un autre endroit de la planète.

Lorsqu'elles sont introduites dans une région étrangère à leur aire de répartition naturelle, la plupart de ces espèces allochtones ne se maintiennent pas, n'étant pas capables de supporter des contextes écologiques et climatiques différents de ceux qui prévalent dans leur aire d'origine. D'autres, en revanche, sont capables de se naturaliser et de s'incorporer durablement aux communautés animales ou végétales locales. Certaines de ces espèces naturalisées (1 pour 1000 en moyenne selon Williamson, 1996) sont capables de développer un caractère envahissant, c'est-à-dire de former des populations parfois très denses, se dispersant massivement sans intervention directe de l'être humain, s'étendant rapidement dans les milieux naturels et pouvant alors entrer en concurrence avec la flore et la faune locale. Les invasions biologiques peuvent aussi créer des dommages à la santé humaine (diffusion de pollens allergisants par exemple) et avoir localement des conséquences économiques importantes (en zone agricole ou en milieu aquatique notamment). Cependant, c'est bien parce qu'elles constituent l'une des causes majeures d'érosion de la biodiversité que ces espèces dites invasives (espèces exogènes réalisant une invasion biologique avec un impact avéré ou potentiel) font désormais partie des préoccupations des acteurs de l'aménagement du territoire et de la gestion des milieux naturels (Bousquet *et al*, 2016).

Cette problématique est abordée en Basse-Normandie depuis les années 2000, et plus concrètement depuis 2007 avec la création d'un Comité régional sur les espèces invasives, organe décisionnel orientant les actions à mener sur le territoire. En 2013, une stratégie de lutte contre les espèces invasives menaçant la biodiversité de Basse-Normandie a été adoptée (Mercier *et al*, 2013) et elle se décline de manière opérationnelle par un plan d'actions 2013-2015 aujourd'hui reconduit.

Le Conservatoire d'espaces naturels de Basse-Normandie (CEN-BN) anime ce programme d'actions. Gestionnaires d'espaces naturels, l'association conseille divers acteurs confrontés à la problématique des espèces invasives.

Afin de mutualiser les interventions et fort de son expérience, le CEN-BN a créé en 2015 une équipe saisonnière de gestion préventive des espèces invasives, renouvelée en 2016. Mise à disposition gratuitement, l'équipe se veut être un réel appui technique et scientifique au service des collectivités et des particuliers. Principalement axée sur la gestion des plantes vasculaires invasives dites avérées selon la liste du Conservatoire Botanique de Brest, la brigade préventive du CEN-BN réalise également des prospections et des actions de communication pour faire connaître plus largement la problématique des espèces invasives.

Mais une brigade saisonnière de lutte contre les espèces invasives suffit-elle à une région, malgré qu'elle soit axée sur la prévention et en se positionnant en appui supplémentaire aux acteurs du territoire ? Peut-on véritablement obtenir des résultats concluant des actions de gestion et de préventions à l'échelle d'un territoire régional sur la durée ?

LES ESPECES CONCERNEES PAR DES ACTIONS DE GESTION DE LA BRIGADE PREVENTIVE

L'équipe saisonnière intervient sur les espèces invasives avérées de Basse-Normandie, considérées comme prioritaires en matière de gestion dans le plan d'actions de la stratégie de lutte contre les espèces invasives menaçant la biodiversité de Basse-Normandie. Les espèces invasives avérées identifiées, correspondent aux espèces non indigènes ayant, dans leurs territoires d'introduction, un caractère envahissant avéré et un impact négatif sur la biodiversité et/ou sur la santé humaine et/ou sur les activités économiques. Les 7 espèces concernées ici sont, pour la plupart, affiliées aux milieux aquatiques :

- Balsamine de l'Himalaya (*Impatiens glandulifera*) ;
- Berce du Caucase (*Heracleum mantegazzianum*) ;
- Renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) ;
- Crassule de Helms (*Crassula helmsii*) ;
- Myriophylle du Brésil (*Myriophyllum aquaticum*) ;
- Jussie à grandes fleurs (*Ludwigia uruguayensis*) ;
- Ecrevisse de Californie (*Pacifastacus leniusculus*).

Figure 1 : Arrachage manuel de jussie à grandes fleurs dans un marais - Uprooting manual Primrose with large flowers in a swamp



En partie financés par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, les deux agents et le technicien de la brigade interviennent principalement sur les zones humides (mares, cours d'eau et berges, marais...) où sur des stations pouvant porter atteinte de près ou de loin aux milieux aquatiques.

LES METHODES D'INTERVENTIONS

L'approche préventive étant la priorité quant aux chantiers à mener sur les espèces invasives, la gestion manuelle des stations a été privilégiée. Pour la majorité des espèces, l'arrachage manuel a été choisi, limitant l'impact sur le milieu et permettant une efficacité sur les foyers récents plus importante. Les méthodes de gestion varient selon l'espèce concernée, mais également selon le contexte et la période d'intervention. Globalement, voici les méthodes utilisées par espèce :

- Myriophylle du Brésil et Jussies : Pose de filets pour éviter la propagation de l'espèce, arrachage manuel des herbiers, récupération des boutures flottantes avec une époussette et exportation des végétaux sur parcelles sèches pour dessiccation.
- Crassule de Helms : Arrachage manuel ou étrépage des stations sur vasières ou berges, récupération des boutures flottantes avec une époussette et exportation des végétaux sur parcelles sèches pour

dessiccation.

- Balsamine de l'Himalaya : Arrachage manuel, déchets végétaux laissés sur place pour dessiccation.
- Renouée du Japon : Coupe manuelle, déchets végétaux laissés sur place, bâchage de la station.
- Berce du Caucase : Coupe des hampes florales, exportation des hampes pour incinération si présence de graines, décolletage des racines et déchets végétaux laissés sur place une fois coupés.

Les chantiers se déroulent en fonction de la phénologie des espèces. Le début de saison est donc consacré aux chantiers sur la balsamine de l'Himalaya et la berce du Caucase. La fin d'été est dédiée aux plantes invasives aquatiques (crassule de Helms, myriophylle du Brésil et jussies) ainsi qu'aux prospections sur les écrevisses du Pacifique.

Pour chaque chantier effectué, l'équipe prend systématiquement un point GPS afin d'avoir la localisation exacte de l'intervention sur un logiciel de cartographie. Elle renseigne également la fiche de suivi de chantier, précisant ainsi l'espèce gérée, la méthode d'intervention utilisée, les quantités arrachées, le temps passé...

Tableau II : Fiche de suivi de chantier « type » numérisée - Monitoring fieldwork digital sheet

GENERALITES	
Organisme	nom de la structure effectuant le chantier
Nom(s) de(s) observateur(s)	nom des observateurs et personnes effectuant le chantier
Nom de l'espèce	nom de l'espèce gérée
LOCALISATION	
Département	localisation géographique du site
Commune	
Nom du Bassin Versant	
Nom du cours d'eau	
Lieu-dit	
Types de milieux	précisions sur le milieu et le contexte du site
N° carte terrain	référence indiquée sur la carte
INTERVENTIONS	
Méthode d'intervention	méthode employée lors du chantier
Détails méthodes	précisions apportées: matériel nécessaire, accès...
Gestion des déchets	précisions apportées: matière exportée ou laissée sur place, devenir des déchets...
Remarques	Remarques éventuelles quant à l'implantation, la surface, l'évolution de la station...
Date chantier 1	date du 1er passage
Surface traitée (m ²)	surface gérée au réel (calculée à partir de la couche SIG)
Linéaire traité (mètre linéaire)	linéaire géré au réel (à partir de la couche SIG)
Nombre de personnes	nombre de personnes présentes lors du chantier
Nombre d'heures/personne	nombre d'heures par personne dédiée à la gestion (ne sont pas inclus le trajet ni l'accès au chantier)
Volume récolté (L)	si exportation : estimation du volume récolté
Date chantier 2	si second passage sur le site : date du second passage
Surface traitée (m ²)	surface gérée au réel (calculée à partir de la couche SIG)
Linéaire traité (mètre linéaire)	linéaire géré au réel (à partir de la couche SIG)
Nombre de personnes	nombre de personnes présentes lors du chantier
Nombre d'heures/personne	nombre d'heures par personne dédiée à la gestion (ne sont pas inclus le trajet ni l'accès au chantier)
Volume récolté (L)	si exportation : estimation du volume récolté
CHIFFRES GLOBAUX	
Nombre d'heures total/personne	nombre total d'heures par personne sur le chantier
Nombre d'heures total/équipe	nombre total d'heures de l'équipe (et des partenaires) passé sur le chantier
Surface traitée totale (m ²)	surface totale gérée (pas de cumul de la surface si gestion de la même station à différents passages)
Linéaire traité total (mètre linéaire)	linéaire total géré (pas de cumul du linéaire si gestion de la même station à différents passages)
Volume total récolté (L)	si exportation : estimation du volume total récolté

LE MATERIEL NECESSAIRE A LA BRIGADE DURANT LA SAISON

Pour mener à bien les chantiers de gestion sur les espèces invasives, l'équipe d'intervention a besoin de matériels techniques, d'outils de cartographie et d'un moyen de locomotion adapté, afin d'avoir une totale autonomie dans la réalisation des chantiers. N'ayant pas de véhicule disponible au sein du CEN mobilisable par l'équipe saisonnière, la location d'un véhicule est nécessaire. Le choix s'est arrêté sur la location d'un camion-benne 3 places en 2015, afin de faciliter le transport du matériel et pouvoir également exporter ponctuellement les végétaux arrachés. Un utilitaire a été préféré en 2016 puisque l'année passée, la benne ayant peu servi, le coût de la location pouvait être réduit.

Concernant le matériel technique, le figure 2 présente la liste du petit matériel acheté ou mise à disposition durant toute la saison de terrain.

Figure 2 : Liste du matériel technique disponible – List of the technical equipment

<p>Habillement et matériel de protection/sécurité :</p> <ul style="list-style-type: none">- Des paires de bottes- Des paires de waders- Plusieurs paires de gants- Des T-shirts destinés à la brigade- Une trousse de secours spécifique- Une corde de sécurité de 100m- Plusieurs combinaisons de protection intégrales à usage unique, pour les chantiers de berce du Caucase- Plusieurs masques de protection, pour les chantiers sur la berce du Caucase- Du désinfectant Virkon, pour nettoyer le matériel utilisé lors des prospections écrevisses et éviter la propagation de la peste de l'écrevisse	<p>Matériel pour accéder aux chantiers :</p> <ul style="list-style-type: none">- Un véhicule type camion-benne- Un GPS voiture- Un GPS de terrain- Un canoé gonflable, pour se déplacer sur cours d'eau/plans d'eau- 2 planches de planches à voile, pour se déplacer sur des mares/plans d'eau très envasés- Une débroussailleuse avec matériel de protection, pour dégager les accès difficiles
<p>Matériel pour réaliser les chantiers :</p> <ul style="list-style-type: none">- Des louchets- Des sécateurs- Du filet à maille de 3mm de diamètre, pour isoler du réseau hydrographique les chantiers d'arrachage en milieu aquatique- Des épuisettes, pour ramasser les boutures flottantes suite aux chantiers d'arrachage de plantes aquatiques- De la bâche de bassin type EPDM, pour bâcher la station de renouée- Des agrafes en fer, pour fixer la bâche- Des nasses à écrevisses	
<p><i>Intervention de l'équipe avec le canoé sur une retenue de barrage ▲</i></p>	<p>Matériel pour exporter les végétaux gérés :</p> <ul style="list-style-type: none">- Plusieurs poubelles plastiques de 80L avec couvercles- Des seaux de 5L avec couvercles- Des big-bag de 0,5 et 1m³- De nombreux sacs poubelles

RESULTATS

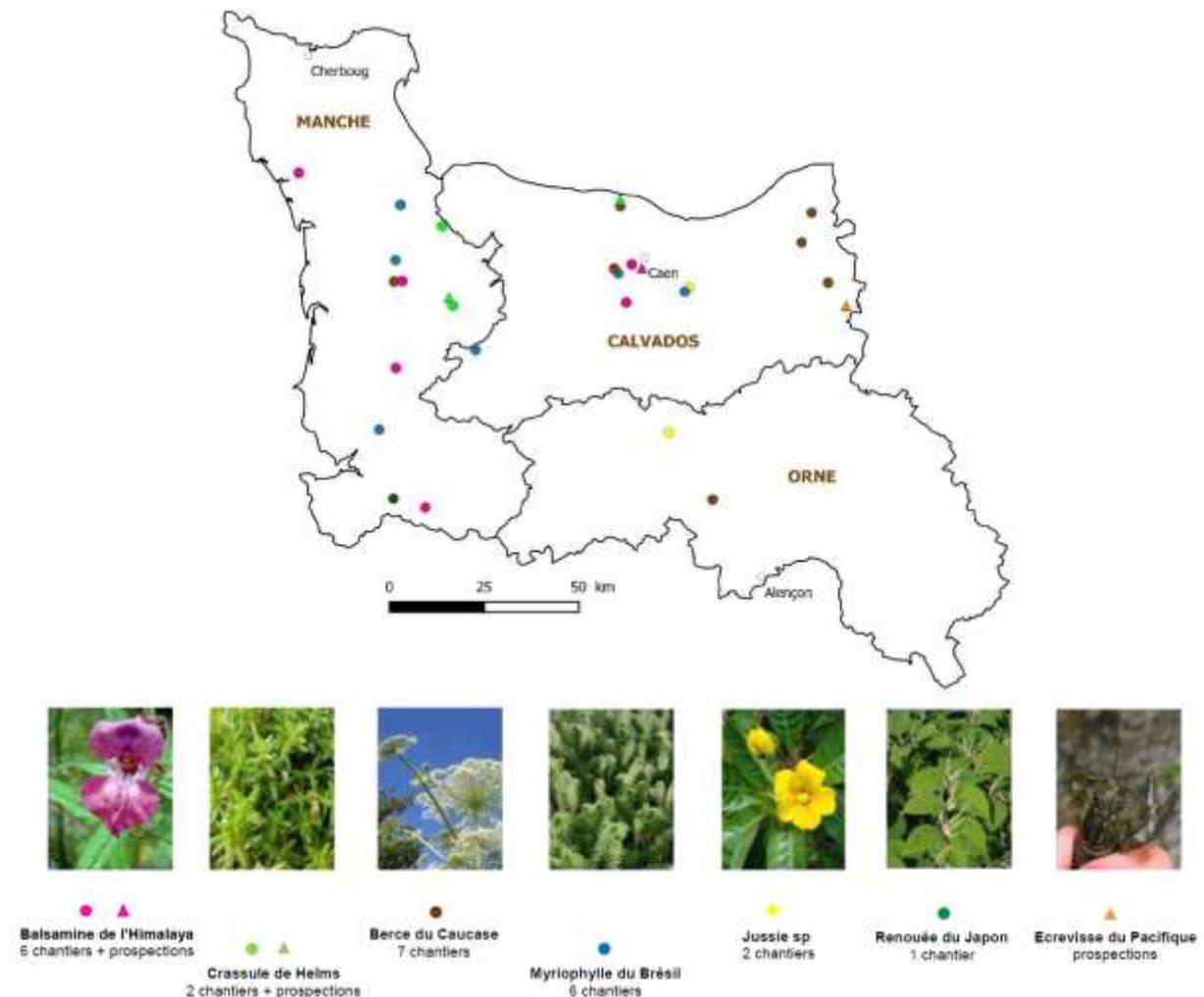
En se basant sur les résultats de l'année 2015 (Mercier *et al*, 2015), trois personnes ont été embauchées au sein du CEN-BN pour une durée de 3,5 mois (4,5 mois en 2016), intervenant gratuitement sur toute la Basse-Normandie et encadrées par la coordinatrice du programme sur les espèces invasives. Une approche préventive et une gestion manuelle (arrachage, décolletage, coupe...) a été menée sur 7 espèces invasives avérées.

23 chantiers et 4 prospections ont été réalisés, concernant près de 40 partenaires bénéficiaires (syndicats de bassin versant, communes, communautés de communes, DDTM, Fédération de pêche...) pour un coût total de 40 000€ (frais salariaux de l'équipe saisonnière + matériel). Une enquête de satisfaction auprès des partenaires révèle que le projet est une réussite puisque 90% des sollicitations furent atteintes, avec des critiques positives sur l'initiative du projet et la réactivité d'intervention de la brigade.

Les 24 chantiers ont permis de couvrir :

- 4900 m de linéaire total toutes espèces confondues ;
- 9700 m linéaire prospectés (balsamine et crassule) ;
- 24 682 L récoltés ;
- 110,5 journée-homme sur la prospection et la gestion.

Figure 3 : Localisation des chantiers et prospections de la brigade « espèces invasives » 2015 - Location of sites and surveys of the 2015 invasive species team



Concernant la communication et la prévention grand public, collectivités et structures, la brigade préventive a permis de faire connaître plus largement les problèmes liés à l’envahissement d’espèces exotiques en région. Les échanges sur le terrain avec les usagers, élus et habitants ont été fréquents, permettant ainsi de les sensibiliser à travers des cas concrets liés à une espèce invasive présente sur leur territoire. En parallèle, de nombreux articles sont parus dans la presse locale pour informer et sensibiliser un plus large public.

Plusieurs communiqués ont été faits durant l’été 2015 sur les réseaux sociaux, tantôt pour informer sur les chantiers réalisés, tantôt pour alerter sur la découverte d’espèces invasives sur un territoire précis. La conception d’un T-shirt destiné à la brigade préventive a facilité l’identification sur le terrain de l’équipe et par la même, la communication avec les acteurs du territoire. Enfin, des prises de vues de chantiers couplés à des témoignages de différents partenaires ont été réalisées durant l’été.

Figure 4 : Article de presse sur la balsamine de l’Himalaya sur l’Ollonde dans la Manche Libre et T-shirt de l’équipe - Article on Himalayan balsam on Ollonde in the periodic La Manche Libre and T-shirt



DISCUSSION

Ce projet de création d’une équipe saisonnière dédiée à la gestion d’espèces invasives à l’échelle d’une région est une démarche innovante, qui a nécessité en 2015 pour la première année de mise en place, un temps conséquent lié au montage du projet, à l’organisation des chantiers et à l’encadrement de l’équipe.

L’équipe saisonnière est intervenue sur l’ensemble de la Basse-Normandie, de mi-juin à fin septembre 2015. Sur sollicitations, elle a réalisé de nombreux chantiers d’arrachage manuel sur les espèces invasives avérées de la région. La gestion préventive sur de jeunes foyers a été privilégiée. Elle a également effectué ponctuellement des prospections, afin de compléter les connaissances sur la répartition de ces espèces. Mise à disposition gratuitement auprès des acteurs locaux, l’équipe s’est avérée être une réelle force d’action et de sensibilisation, ainsi qu’un précieux soutien technique aux collectivités, gestionnaires d’espaces naturels, particuliers... qui se sont appropriés ces enjeux de fonctionnalité des cours d’eau et de préservation de la biodiversité locale.

En ce sens, le projet est une réussite en soit. Les interventions sur le terrain de la brigade préventive ont permis de faire s’interroger les usagers et élus sur les espèces présentes dans leur environnement, et leurs origines.

Cette brigade semble dynamiser les actions à mener sur le territoire autour de la thématique des espèces invasives. En effet, c’est un élément moteur qui permet l’accompagnement de ceux, sur tout le territoire, qui veulent s’impliquer sur le projet et réaliser des actions concrètes de leurs côtés. Cela

permet également de renforcer le réseau d'acteurs par des actions concrètes de gestion. De plus, le renfort de communication généré permet à la fois la sensibilisation mais aussi la prise de conscience des risques par les usagers bas-normands. A travers la démultiplication des appels téléphoniques et des demandes, le CEN-BN obtient ainsi de plus en plus de visibilité quant à son programme régional d'actions sur les espèces invasives, et la reconnaissance de ses actions. Un faire-valoir important pour l'avenir (Mercier, 2015).

Ce projet novateur et précurseur au niveau national reste cependant récent et nous n'avons aujourd'hui pas assez de recul pour évaluer l'impact des actions de régulation de ces espèces. Pour certaines d'entre elles, comme la Berce du Caucase, les capacités de productions de graines sont tellement importantes qu'il convient d'agir sur le long terme. La brigade « invasives » est donc un projet à programmer sur la durée afin d'obtenir des résultats encourageants.

La nouvelle équipe de la brigade 2016 reprend ainsi le relais des actions engagées l'année passée, sachant que de nouveaux chantiers auront lieu. La demande est de plus en plus importante... La brigade de gestion préventive des espèces invasives semble ainsi être un véritable appui aux territoires. Si le projet est renouvelé d'année en année, nous pouvons espérer observer l'impact des chantiers sur les zones colonisées. Un projet qui s'inscrit dans la durée et dans la confiance et le soutien apporté par les financeurs et les partenaires, qui n'aurait pu voir le jour sans une mobilisation importante des partenaires techniques et financiers engagés dans la démarche de préservation des milieux naturels et de la régulation des espèces invasives de la région.

CONCLUSION

Le projet de brigade préventive aura permis de mener de nombreux chantiers préventifs en gestion manuel sur les espèces invasives émergentes de la Basse-Normandie, avec une réactivité adaptée à la pertinence d'actions de gestion. Il aura également servi à faire connaître la problématique des espèces exotiques envahissantes auprès de nombreux acteurs locaux et usagers.

Réelle force d'action et de sensibilisation, l'équipe saisonnière s'avère être un précieux soutien technique aux gestionnaires d'espaces naturels, collectivités et particuliers.

Au vu de la thématique, la réussite de ces actions préventives est toutefois conditionnée par la veille des stations gérées et d'éventuelles interventions supplémentaires qui pourraient être assurée par une nouvelle brigade de gestion des espèces invasives d'année en année. Tel est le souhait des acteurs locaux et partenaires techniques, pérenniser le projet sur le long terme.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout particulièrement l'Agence de l'Eau Seine-Normandie pour son soutien financier, ainsi que l'Europe via les fonds FEADER, le Conseil Régional de Normandie et la fondation Nature&Découvertes.

Que soit également ici remercier l'intégralité du réseau d'acteurs participant à mener des actions dans le cadre du programme régional d'actions sur les espèces invasives de Basse-Normandie, qu'ils soient gestionnaires d'espaces naturels, associations, élus, collectivités, bénévoles, propriétaires privés...

BIBLIOGRAPHIE

Bousquet T., Waymel J., Zambettakis C., Geslin J., 2016. Liste des plantes vasculaires invasives de Basse-Normandie 2016. Conservatoire Botanique National de Brest. Brest, 39 p.

Mercier F., Clet F., Lecointe S., Zambettakis C., 2013. Stratégie de lutte contre les espèces invasives menaçant la biodiversité en Basse-Normandie. Conservatoire d'Espaces Naturels de Basse-Normandie. Caen, 75 p.

Mercier F., 2015. Programme régional d'actions sur les espèces invasives. Bilan annuel 2015. Conservatoire d'Espaces Naturels de Basse-Normandie. Caen, 8 p.

Mercier F., Marie M., Ordonneau T., Schmitt E., 2015. Brigade espèces invasives 2015, un appui aux territoires. Conservatoire d'Espaces Naturels de Basse-Normandie. Caen, 122 p.

Williamson M., 1996. Biological invasions. Cornwall, Chapman and Hall. University of York, UK, 245 p.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 ET 20 OCTOBRE 2016**

**LA LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE L'AMBROISIE A FEUILLES D'ARMOISE ILLUSTRÉE PAR L'EXEMPLE
D'*OPHRAELLA COMMUNA* : QUELS INTERETS ET QUELLES LIMITES ?**

B. CHAUVEL^{1,2}, R. BILON², R. MOUTTET³, E. GACHET⁴, U. SCHAFFNER⁵, T. LE BOURGEOIS⁶

1 - Agroécologie, AgroSup Dijon, CNRS, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon.
bruno.chauvel@dijon.inra.fr

2 - Observatoire des ambrosies, Inra, 17 rue Sully, BP 86510, F-21065 Dijon.
observatoire.ambrosie@dijon.inra.fr

3 - Anses, Unité Entomologie et Plantes invasives, CBGP, 755 avenue du campus Agropolis, CS30016,
F-34988 Montferrier-sur-Lez. raphaelle.mouttet@anses.fr

4 - Anses, Laboratoire de la santé des végétaux, 7 rue Jean Dixmèras, F-49044 Angers.
Emmanuel.GACHET@anses.fr

5 - CABI, Rue des Grillons 1, CH-2800 Delémont. U.SCHAFFNER@cabi.org

6 - Cirad, UMR AMAP, TA A51 / PS2, Boulevard de la Lironde, F-34398 Montpellier.
thomas.le_bourgeois@cirad.fr

RÉSUMÉ

Introduite en France il y a plus de 150 ans, la progression sur le territoire d'*Ambrosia artemisiifolia* (ambrosie à feuilles d'armoise) semble inexorable. La biologie particulière de cette annuelle estivale pose des problèmes nouveaux aux gestionnaires des différents milieux où l'on retrouve la plante. La réduction ou l'impossibilité d'utiliser des moyens de lutte traditionnelle dans certaines conditions environnementales amène à envisager la lutte biologique comme un des seuls recours possibles pour ralentir, voire faire reculer la distribution de cette plante envahissante et allergisante. A travers l'exemple d'*Ophraella communa* est présentée la réflexion qui peut être faite sur la balance « bénéfice-risque » de l'introduction d'un insecte exotique pour la gestion d'une envahissante à fort impact sur la santé humaine. Le cas de l'ambrosie pourrait servir de modèle aux différentes espèces envahissantes à effet sur la santé humaine visée dans le nouveau projet de loi santé.

Mots-clés : *Ambrosia artemisiifolia*, effet indirect, gestion durable, chrysomèle, prédation.

ABSTRACT

Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) was introduced in France over 150 years ago and its spreading across France now seems inexorable. The specific biology of this summer annual creates new problems for the managers of the various habitats where the plant can be found. The reduced possibility, or even the impossibility, to use traditional control means in certain environment conditions brings managers to consider biological control as one of the few possible means for slowing down the spread, or even pushing back the distribution area, of this invasive and allergenic plant. With *Ophraella communa* as an example, a reflection is presented on the benefit-risk balance of the introduction of an exotic insect for managing an invasive plant with a strong impact on human health. The case of Common ragweed might serve as a model for the various invasive species affecting human health which are targeted by the new health bill.

Keywords: *Ambrosia artemisiifolia*, indirect effect, integrated management, leaf beetle, predation.

INTRODUCTION

Le développement d'espèces exotiques envahissantes pose différents problèmes de gestion, notamment dans des milieux souvent rendus fragilisés par les activités humaines et où les impacts environnementaux des pratiques mises en place peuvent être importants sur la diversité des communautés locales. Les opérations de gestion classique sont souvent remises en cause du fait des coûts engagés, des impacts environnementaux et d'une faible efficacité à court et moyen terme. Aussi, dans le cas particulier d'espèces qui ont des effets sur la santé humaine, de nouvelles méthodes doivent aujourd'hui être développées pour limiter rapidement leurs effets négatifs (Martin *et al.*, 2015).

Dans le cas de l'ambroisie à feuilles d'armoise (dans la suite du texte, le terme *ambroisie* désignera spécifiquement *A. artemisiifolia*), la diffusion de cette espèce annuelle allergisante dans différents milieux (bords de route, berges de rivière, parcelles cultivées) nécessite une lutte coordonnée (Chauvel et Gard, 2009) qu'il n'est pas possible de mettre en place par les méthodes classiques. L'extension constante de l'ambroisie, malgré les efforts des gestionnaires, implique un renforcement et un changement des méthodes actuelles.

Déjà désignée comme espèce nécessitant une gestion particulière à travers un certain nombre d'arrêtés préfectoraux et/ou communaux (Bilon et Chauvel, 2015), la gestion de l'ambroisie a été inscrite dans le Plan Santé voté au mois de janvier 2016. Un décret particulier visant différentes espèces du genre *Ambrosia* sera proposé au cours de l'année 2016 obligeant à la mise en place de moyens de lutte pour limiter la production de pollen et de semences chez les espèces visées (*A. artemisiifolia*, *A. trifida* et *A. psilostachya*). Dans ce contexte particulier, tous les moyens doivent donc être mis en œuvre pour gérer l'ambroisie.

En 2013, le signalement en Italie du Nord d'une chrysomèle (*Ophraella communa*) qui s'attaque à l'ambroisie (Müller-Schärer *et al.*, 2014) a peut-être ouvert de nouvelles possibilités de régulation de cette plante. Les questions qui se posent alors, sont d'évaluer l'efficacité de ce coléoptère à réguler les populations d'ambrosies en France et les risques encourus par les cultures, les milieux naturels et les populations, si cet insecte venait à entrer en France ou à être utilisé comme agent de lutte (Anses, 2015). Quelles vont être les conséquences de l'arrivée de cet insecte sur les populations d'ambroisie en France ?

Contexte

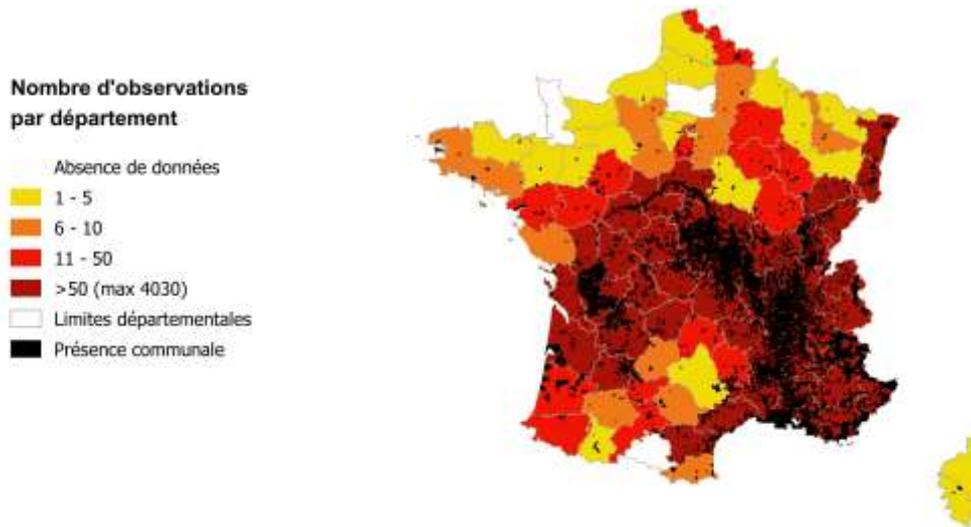
1 - L'ambroisie à feuilles d'armoise

Introduite dans les années 1860 en France, l'ambroisie, originaire d'Amérique du Nord, semble aujourd'hui s'installer durablement sur l'ensemble du territoire français. Si les zones d'altitude, avec des gelées précoces en automne, et les zones méditerranéennes, avec des stress hydriques importants en fin de printemps et début été, semblent encore aujourd'hui protégées de la présence de l'ambroisie, la progression vers l'ouest et le nord de la France est continue, plus particulièrement le long des voies d'eau (Allier, Loire et le Rhône ; figure 1).

L'ambroisie est une espèce annuelle estivale qui se développe essentiellement dans les milieux perturbés soit par les activités humaines soit par des perturbations naturelles. Très visible dans les parcelles cultivées, l'espèce est présente dans les zones non agricoles à faible recouvrement végétal.

Figure 1 : Nombre d'observations départementales (données 2015) pour *Ambrosia artemisiifolia* ; carte réalisée par la Fédération des conservatoires botaniques (FCBN ; Anaïs Just).

Number of observations by Département (data 2015) of Ambrosia artemisiifolia; map produced by the FCBN (Anaïs Just).



L'espèce est très facilement reconnaissable quand elle est en fleur avec une longue inflorescence terminale composée de fleurons mâles contenant chacun des fleurs mâles qui libéreront ensuite les grains de pollen, (plusieurs centaines de millions de grains sur une plante moyenne). Les feuilles, très découpées, vertes des deux côtés, sont opposées à la base puis deviennent alternes. La morphologie de la plante varie de façon considérable suivant les conditions de croissance avec une taille qui varie de 0,20 m à plus de 2,00 m. La floraison est induite par le raccourcissement des jours avec un pic de pollinisation se situant généralement fin août et une production de semences matures dès le début septembre au sud de la vallée du Rhône.

Figure 2 : *Ambrosia artemisiifolia* (dessin réalisé par Vanessa Damianthe)
Ambrosia artemisiifolia (drawing by Vanessa Damianthe)

A - plante entière

B – plante végétative



C – plantule

L'information disponible sur l'ambrosie est maintenant importante (www.ambrosie.info) et est facilement accessible quels que soient les milieux touchés. Néanmoins, des zones de plus en plus vastes sont concernées du fait d'un manque de mise en place de pratiques efficaces de prophylaxie. Cette situation est en partie liée aux contraintes budgétaires actuelles, mais aussi à la persistance d'une confiance élevée dans les pratiques classiques de gestion des plantes envahissantes malgré nombre d'échecs.

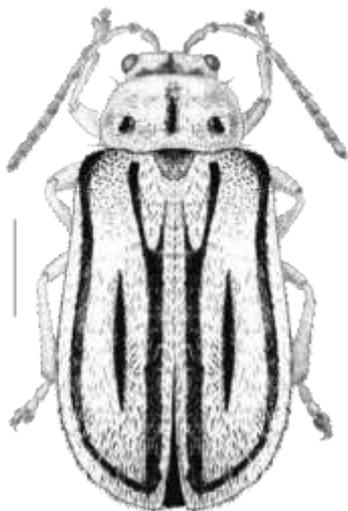
Du point de vue de la santé publique, le décalage de 10 à 15 ans entre la notification de la présence effective de la plante et l'apparition de symptômes allergiques importants ne facilite pas la mobilisation des services (agences régionales de santé, chambres d'agriculture, conseils départementaux) pour la mise en place de mesures précoces et efficaces. Dans les zones non agricoles, la réduction importante de l'utilisation des produits phytosanitaires et la perspective de leur future interdiction a contraint les gestionnaires à augmenter la fréquence de passages de fauche quelque fois sans succès ou à se tourner vers des pratiques de gestion non encore autorisées comme l'utilisation de sel de déneigement (voir article dans ce colloque : Bilon *et al.* 2016).

La chrysomèle de l'ambrosie (*Ophraella communa*)

Ophraella communa Lesage, 1986 est un coléoptère d'origine nord-américaine de la famille des Chrysomelidae. Il mesure environ 4 mm de long et 2 mm de large. Le corps, couvert de poils fins, est brun-jaune pâle à brun. Les ailes antérieures, ou élytres, présentent des bandes noires spécifiques, variables selon les individus (Figure 2). C'est notamment le motif de coloration et la pubescence des élytres qui permettent de différencier les adultes de cette chrysomèle des autres espèces de chrysomèles.

Figure 2 : La chrysomèle de l'ambrosie (*Ophraella communa* ; dessin réalisé par Raphaëlle Mouttet, d'après Futuyma, 1991 ; échelle = 1 mm).

Ragweed leaf beetle (*Ophraella communa*; drawing by Raphaëlle Mouttet, according Futuyma, 1991 ; scale = 1 mm).



Phylum :	Arthropoda
Classe :	Insecta
Ordre :	Coleoptera
Sous ordre :	Polyphaga
Super- famille :	Chrysomeloidea
Famille :	Chrysomelidae
Genre :	<i>Ophraella</i>
Species:	<i>O. communa</i>

C'est un insecte oligophage qui se nourrit d'un petit nombre de plantes qui appartiennent à une unique famille botanique, celle des Asteraceae. En l'occurrence, *O. communa* est inféodé à certaines espèces de plantes de la tribu des Heliantheae et plus particulièrement à l'ambrosie à feuilles d'armoise.

En conditions naturelles, la chrysomèle de l'ambrosie passe l'hiver au stade adulte dans la litière. En Europe, les adultes quittent leurs sites d'hibernation et commencent à se nourrir à partir du mois d'avril. Les œufs sont pondus en groupes à la surface des feuilles. Les larves, qui passent par trois stades larvaires, s'alimentent des parties les plus tendres des feuilles. Avant la nymphose, elles tissent un cocon qu'elles attachent au bout des feuilles. Les adultes restent sur les plantes hôtes jusqu'à la fin de l'automne puis entrent en hibernation au niveau du sol.

Le nombre de générations par an varie en fonction des conditions climatiques : il peut aller de deux générations au Canada à six générations dans le Sud de la Chine. Les générations se chevauchant, les différents stades de développement de l'insecte peuvent se trouver simultanément sur une même plante. Les adultes présentent des capacités de vol importantes. Les données de la littérature donnent une vitesse observée de dissémination proche de 80 km par an (Yamamura *et al.*, 2007).

- Distribution d'*Ophraella communa*

La chrysomèle de l'ambrosie est originaire d'Amérique du Nord. Elle est présente au Mexique, aux États-Unis ainsi qu'au Canada (LeSage, 1986). Au cours des dernières décennies, elle a été signalée dans plusieurs pays d'Asie (au Japon, en Corée du Sud, en Chine et à Taïwan) où elle aurait été introduite accidentellement (Zhou *et al.*, 2011).

La chrysomèle de l'ambrosie a été observée pour la première fois en Europe en 2013, en Suisse (dans le canton du Tessin) et en Italie (dans les régions de Lombardie, Piémont et Emilie-Romagne ; Boriani *et al.*, 2013 ; Müller-Schärer *et al.*, 2014). C'est dans les environs de Milan que les densités les plus importantes ont été trouvées. Le moyen d'introduction de cet insecte en Europe n'est pas connu avec certitude mais la proximité des aéroports de Milan pourrait laisser penser à une introduction par voie aérienne. L'origine géographique de la population introduite est en cours d'étude grâce à l'utilisation de marqueurs moléculaires.

L'insecte n'a pour le moment jamais été signalé en France mais les observations réalisées en 2015 en Italie, indiquent une expansion de la population vers la frontière française avec des localisations à moins de 50 km de la frontière.

Quelle utilisation d'*Ophraella communa* en lutte biologique pour lutter contre l'ambrosie ?

* Au niveau mondial

Dans différents pays, *O. communa* est déjà utilisé comme agent de lutte biologique contre l'ambrosie, principalement sous la forme de lutte inondative (lâcher massif et saisonnier du vecteur de lutte). C'est en Chine (Zhou *et al.*, 2011) qu'ont eu lieu les plus importants lâchers d'insectes pour lutter contre cette plante envahissante et des essais ont aussi été réalisés au Canada (Teshler *et al.*, 2004). Il est à noter qu'en Australie, l'introduction d'*O. communa* en tant qu'agent de lutte biologique a été refusée, en raison de résultats d'études réalisées en laboratoire et montrant que l'insecte, en situation de non choix, a pu compléter son cycle de développement sur tournesol (Palmer et Goeden, 1991). Cette précaution est aujourd'hui remise en question dans des travaux récents tant la pression sur les plants de tournesol semblait faible (Dernovici *et al.*, 2006).

Sans qu'il y ait de lutte dirigée intentionnelle, des fortes prédatons par des populations d'*O. communa* introduites accidentellement sont observées sur des plants d'ambrosies au Japon (Yamazaki *et al.* 2000) tandis que des effets plus légers sont observés à Taïwan et en Corée.

En Chine, où la chrysomèle est utilisée comme agent de lutte biologique, l'efficacité de cette pratique est augmentée par l'ajout d'un second insecte *Epiblema stenuana* ce qui peut permettre la destruction totale des pieds d'ambroisie avant la production de semence (Zhou *et al.* 2014).

* En Europe

Les observations réalisées en Suisse et en Italie ont montré que les dommages observés au début de l'été sur les pieds d'ambroisie sont occasionnés principalement par les larves qui s'attaquent aux jeunes feuilles. Les effets sur les plants d'ambroisie augmentent au cours de la saison et des générations successives d'insectes et des dégâts peuvent même être observés sur les tiges malgré une appétence certainement moindre. La présence de centaines de larves et d'adultes sur une plante peut entraîner sa mort par défoliation complète.

La prédation réalisée par les populations de chrysomèle au cours de ces 3 dernières années semble s'être montrée suffisamment importante pour qu'une réduction de la quantité de pollen de plus de 80% en comparaison de la production moyenne entre 2000 et 2010 soit observée. Les données des récents travaux italiens suggèrent, malgré les incertitudes liées aux aléas climatiques (pluviométrie), que la présence de l'insecte pourrait contribuer de façon significative à soulager les personnes allergiques (Bonini *et al.*, 2016).

DISCUSSION - QUELS SONT LES RISQUES ?

Dans les milieux agricoles

Une analyse de risque réalisée par l'Anses (2015) indique que le risque lié à *O. communa* pour les cultures de tournesol et de topinambour, et plus largement pour l'environnement, ne semble pas nécessiter la préconisation de mesures de gestion de l'insecte. Toutefois, le caractère oligophage d'*O. communa* appelle à la prudence quant à son usage en tant qu'agent de lutte biologique. Une des craintes est que la gamme de plantes hôtes puisse évoluer sous l'effet de fortes populations d'insectes. Toutefois, dans les zones d'établissement actuelles, aucune observation n'indique que l'insecte ait un impact négatif sur des espèces végétales cultivées du genre *Helianthus*, en particulier sur le tournesol.

Dans les zones non agricoles

En Italie, il a été observé des attaques sur certaines espèces du genre *Inula* et à moindre degré du genre *Artemisia* mais cela n'implique pas que toutes les espèces de ces genres puissent être concernées.

L'impact environnemental négatif d'*O. communa* pourrait se mesurer par des attaques de plantes proches phylogénétiquement des plantes-hôtes connues (tribu des Heliantheae) présentes en France. Il apparaît que seules deux espèces (*Artemisia insipida* Vill. (danger critique) et *Artemisia molinieri* Quézel, M. Barbero, R.J. Loisel (vulnérable)) ont le statut d'espèces menacées selon les critères UICN. De plus, avant d'envisager de tester si ces deux espèces d'*Artemisia* sont susceptibles d'être attaquées par *O. communa*, il conviendrait de tester la capacité d'autres espèces communes d'*Artemisia* présentes dans la zone ARP comme par exemple *A. vulgaris* L. ou *A. verlotiorum* Lamotte à servir d'hôte à *O. communa*.

CONCLUSION

Il n'existe pour le moment que peu d'exemples de réussite de lutte biologique contre des plantes exotiques envahissantes en France (Della Mussia et Le Bourgeois, 2009) mais de nombreux exemples existent dans d'autres régions du monde (Etats-Unis, Afrique du Sud, Australie, etc.). Dans les milieux aquatiques, l'utilisation d'un insecte de la même famille des Chrysomelidae (*Lysathia ludoviciana*) comme agent de lutte biologique contre la jussie à grande fleurs est une méthode de contrôle efficace (McGregor *et al.*, 1996) mais, comme dans le cas d'*O. communa* en France, le problème de l'introduction d'un insecte exotique est à prendre en considération.

Sans être « résistante » aux pratiques de désherbage, la très grande variabilité phénotypique et la très grande plasticité de l'ambrosie à feuilles d'armoise rendent sa gestion extrêmement difficile avec des preuves de succès qui sont rares. Le décalage dans le temps de la floraison mâle (production de pollen allergisant) et de la floraison femelle (production de semences responsables de l'invasion de l'ambrosie) ne facilite pas la mise en place de règles de décision simples. La réduction et la suppression de l'utilisation des herbicides en Jardins et Espaces Verts, si elle est totalement souhaitable voire nécessaire dans un certain nombre de cas, apportera un degré de complexité supplémentaire à la gestion de l'espèce (formation des intervenants, coût d'intervention).

Les évolutions attendues du climat vont sans doute aller vers un renforcement des problématiques liées à cette espèce envahissante. Seules des méthodes de gestion prophylactiques sur les fronts de colonisation peuvent se montrer véritablement efficaces. En effet, l'enjeu de la lutte contre l'ambrosie réside dans la possibilité d'éviter une densité de population d'ambrosies trop élevée dans une zone géographique donnée afin d'éviter l'apparition de nouvelles personnes sensibles au pollen. De ce fait, l'ambrosie, par ses effets négatifs sur la santé humaine, sa capacité à occuper différents d'habitats et sa biologie reproductive, constitue un bon candidat pour un programme de lutte biologique. Différents agents (insectes et pathogènes) ont déjà été testés pour une lutte biologique contre l'ambrosie en Europe (Gerber *et al.*, 2011). Les résultats obtenus jusqu'à présent ne sont pas suffisamment constants pour permettre de lancer un programme de lutte biologique avec ces organismes. L'introduction accidentelle de la chrysomèle de l'ambrosie dans la plaine du Pô en 2013 a modifié le contexte et son arrivée en France est sans doute inéluctable.

Si les milieux agricoles disposent d'un éventail assez large d'outils pour lutter contre l'ambrosie, les solutions sont plus restreintes dans les autres habitats de l'ambrosie. Aussi, l'utilisation d'un agent de lutte biologique pourrait constituer une des rares solutions durable et disponible rapidement. Si les bords de route ne sont peut-être pas le milieu idéal pour obtenir une efficacité optimale de la lutte biologique, les gravières ou les bords de rivières le sont beaucoup plus et une régulation de l'ambrosie sur les bords de cours d'eau serait fondamentale pour une limitation de la quantité de pollen émise et surtout de la diffusion de l'ambrosie.

L'utilisation de la chrysomèle de l'ambrosie ne constitue peut-être pas la solution idéale pour lutter contre l'ambrosie en France Si la gamme d'hôtes de la chrysomèle semble très étroite dans la zone américaine, le nombre d'espèces consommées semble plus large dans les zones envahies compte tenu notamment de possibles changements évolutifs de l'espèce *O. communa* introduite (Fukano *et al.*, 2016), ce qui pourrait constituer un problème écologique et agronomique. La recherche de solutions biologiques reste fondamentale pour espérer mettre en place une gestion durable de l'ambrosie à feuilles d'armoise.

BIBLIOGRAPHIE

- Anses, 2015 - Évaluation des risques pour la santé des végétaux liés à l'introduction accidentelle ou en tant qu'agent de lutte biologique, d'*Ophraella communa*, un insecte ravageur de l'ambrosie à feuilles d'armoise. Rapport d'expertise collective. P.64.
- Bilon R., Chauvel B., 2015 - La lettre de l'Observatoire des ambrosies, 33, P.2.
http://www.ambrosie.info/docs/Lettre_observatoire_033.pdf.
- Bilon R., Mottet M., Jacquin-Dantin J., Chauvel B., 2016. Le traitement de l'ambrosie par le sel en solution : une méthode alternative pour les zones non agricoles ? AFPP – 4e Conférence Sur L'entretien Des Jardins Espaces Végétalisés et Infrastructures. Toulouse (France), 19 et 20 octobre 2016. (dans ce recueil).
- Bonini M., Sikoparija B., Prentovic M., Cislighi G., Colombo P., Testoni C., Grewling Ł., Lommen S., Müller-Schärer H., Smith M., 2016 - A follow-up study examining airborne Ambrosia pollen in the Milan area in 2014 in relation to the accidental introduction of the ragweed leaf beetle *Ophraella communa*. *Aerobiologia*, 32, 2, 371–374.
- Boriani M., Calvi M., Taddei A., Tantardini A., Cavagna B., Andreani F., Montagna M., Bonini M., Lommen S., Müller-Schärer H., 2013 - *Ophraella communa*, segnalata in Italia su Ambrosia. *Journal Informatore Agrario*, 69, 34, 61-62.
- Chauvel B., Gard B., 2010 - Gérer l'ambrosie à feuilles d'armoise. *Phytoma, La Défense des Végétaux*, 633, avril 2010, 12-16.
- Della Mussia S., Le Bourgeois T., 2009 - Un insecte efficace contre la vigne marronne à La Réunion. *Insectes*, 153, 17-19.
- Dernovici S.A., Teshler M.P., Watson A.K. 2006 - Is sunflower (*Helianthus annuus*) at risk to damage from *Ophraella communa*, a natural enemy of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*)? *Biocontrol Science and Technology*, 16, 7, 669-686.
- Futuyma D.-J. 1991 - A new species of *Ophraella* Wilcox (Coleoptera: Chrysomelidae) from the Southeastern United States. *Journal of New-York Entomological Society*, 99, 4, 643-653.
- Gerber E., Schaffner U., Gassmann A., Hinz H.L., Seier M., Muller-Schärer H., 2011. Prospects for biological control of *Ambrosia artemisiifolia* in Europe: learning from the past. *Weed Research*, 51, 559–573.
- Fukano Y., H. Doi, E. Thomas, M. Takata, S. Koyama, Satoh T., 2016 – Contemporary evolution of host plant range expansion in an introduced herbivorous beetle *Ophraella communa*. *Journal of Evolutionary biology*, 29, 757-765.
- LeSage L., 1986 - A taxonomic monograph of the nearctic Galerucine genus *Ophraella* Wilcox (Coleoptera: Chrysomelidae). *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 133, 1-75.
- Martin J-C., Damoiseau L., Tabobbe E., Frerot B., Guéerin M., 2015 - Gestion de la processionnaire du pin - les pratiques ont évolué. *Phytoma, La santé des végétaux*, 682, mars 2015, 42-47.
- McGregor M.A., Bayne D.R., Steeger J.G., Webber E.C., Reutbuch E., 1996 - The potential for biological control of water primrose (*Ludwigia grandiflora*) by the water primrose flea beetle (*Lysathia ludoviciana*) in the southeastern United States. *Journal of Aquatic Plant Management*, 34, 74-76.
- Müller-Schärer H., Lommen S., Rossinelli M., Bonini M., Boriani M., Bosio G., Schaffner U., 2014 - *Ophraella communa*, the ragweed leaf beetle, has successfully landed in Europe: fortunate coincidence or threat? *Weed Research*, 54, 2, 109-119.
- Palmer, W. A., Goeden, R. D., 1991 - The host range of *Ophraella communa* Lesage (Coleoptera, Chrysomelidae). *Coleopterists Bulletin*, 45, 2, 115-120.
- Teshler M. P., Dernovici S. A., DiTommaso A., Coderre D., Watson A. K., 2004 - A novel device for the collection, storage, transport, and delivery of beneficial insects, and its application to *Ophraella communa* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Biocontrol Science and Technology*, 14, 4, 347-357.

- Yamamura K., Moriya S., Tanaka K. & Shimizu T., 2007 - Estimation of the potential speed of range expansion of an introduced species: characteristics and applicability of the gamma model. *Population Ecology*, 49, 51-62.
- Yamazaki K., Imai C., Natuhara Y. 2000 - Rapid population growth and food-plant exploitation pattern in an exotic leaf beetle, *Ophraella communa* LeSage (Coleoptera: Chrysomelidae), in western Japan. *Applied Entomology and Zoology*, 35, 2, 215-223.
- Zhou Z.-S., Guo J.-Y., Zheng X.-W., Luo M., Chen H.-S., Wan F.-H., 2011 - Reevaluation of biosecurity of *Ophraella communa* against sunflower (*Helianthus annuus*). *Biocontrol Science and Technology*, 21, 10, 1147-1160.
- Zhou Z.-S., Chen H.-S., Zheng X.-W., Guo J.-Y., Guo W., Li M., Wan F.-H, 2014 - Control of the invasive weed *Ambrosia artemisiifolia* with *Ophraella communa* and *Epiblema strenuana*. *Biocontrol Science and Technology*, 24, 7-8, 950-964.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

VERS UNE VALORISATION DES DECHETS DE PLANTES INVASIVES EN REGION CENTRE-VAL DE LOIRE

H. GERVAIS⁽¹⁾

⁽¹⁾ Conservatoire d'espaces naturels Centre-Val de Loire, 3 rue de la Lionne 45 000 Orléans, France.
helene.gervais@cen-centrevaldeloire.org

RÉSUMÉ

Une étude a été réalisée par le Conservatoire d'espaces naturels en 2014 pour déterminer les différentes voies de traitement à privilégier pour les déchets de plantes invasives en région Centre-Val de Loire. La gestion des déchets peut en effet être vectrice de dissémination de ces plantes. Ce travail s'appuyant sur une recherche réglementaire sur la notion de déchets de plantes invasives a permis d'obtenir un maillage territorial des structures pouvant accepter ces résidus mais aussi de préciser leurs conditions tarifaires et techniques. Divers outils ont ainsi pu être mis en place pour proposer des solutions de proximité. Il ne s'agit pas d'un plan de valorisation figé, mais plutôt de pistes de réflexion sur les différents modes de traitement possibles pour les gestionnaires.

Mots-clés : déchets, plante invasive, compostage, méthanisation, législation.

ABSTRACT

SETTING UP A PROGRAM FOR THE RECYCLING OF INVASIVE PLANT WASTE IN CENTRE-VAL DE LOIRE

A study was made in 2014 to compare the different processes recommended for the treatment of invasive plant waste in Centre-Val de Loire. Waste management can indeed be a vector of dissemination of these plants. This work based on regulatory research has allowed us to determine a territorial network of structures accepting these wastes and details of their prices and technical conditions. Various tools were set up to provide local solutions. It is not a fixed recovery plan. It is rather reflections about different ways of treatment for managers.

Keywords: wastes, invasive plant, composting, methanisation, legislation.

INTRODUCTION

La bonne gestion des plantes invasives passe par la bonne gestion des déchets qu'elle génère. Il est en effet indispensable de prendre garde au risque de dissémination. Une fois extraites de leur aire d'implantation, certaines plantes peuvent conserver leurs aptitudes à se reproduire, que ce soit par graines ou par bouturage. Ainsi, au regard de ces risques et de la réglementation en vigueur, il est inenvisageable de laisser sur place, sans surveillance, les déchets des chantiers de gestion des plantes invasives : il s'agit donc, aujourd'hui, de valoriser cette matière, mais avec une grande prudence.

MATERIEL ET MÉTHODE

Le rapport s'est, en premier lieu, penché sur une étude du statut réglementaire des déchets de plantes invasives et les modes de traitement imposés.

Les gestionnaires de milieux naturels ayant réalisé des travaux de gestion de plantes invasives ont été contactés pour connaître les modes de traitement et de valorisation des déchets.

Un recensement des structures pouvant accepter ces déchets a ensuite été effectué dans le courant de l'été 2014. Il s'agit :

- des unités de méthanisation à la ferme,
- des unités de méthanisation territoriales,
- des plateformes industrielles de compostage,
- des agriculteurs composteurs acceptant de faire du co-compostage avec leurs effluents agricoles.

Pour les trois premiers types de centres de traitement, le recensement a été réalisé grâce à des outils en ligne mis en place par l'ADEME. Les contacts des agriculteurs composteurs furent obtenus grâce aux chambres d'agriculture et aux différentes coopératives d'utilisation du matériel agricole.

Une enquête auprès des différentes structures a permis d'obtenir ou non leur accord pour l'acceptation de plantes invasives.

RESULTATS

STATUT REGLEMENTAIRE DES DECHETS DE PLANTES INVASIVES

A la date de l'étude, il n'existait pas de définition législative des plantes exotiques envahissantes au niveau national. De fait, il n'existait pas non plus de définition spécifique au déchet de plantes invasives, ceux-ci sont donc soumis aux dispositions générales des déchets verts.

Les résidus issus de l'enlèvement de plantes sont assimilés à des déchets organiques et plus précisément des déchets verts (article R 541-8 du code de l'environnement). Les déchets organiques sont des déchets d'origine animale ou végétale fermentescibles. Dans l'annexe II de l'article L541-8 du code de l'environnement, les déchets verts peuvent être désignés comme :

- des déchets de tissus végétaux (s'ils proviennent de l'agriculture, de l'horticulture, de l'aquaculture, de la sylviculture, de la chasse et de la pêche ainsi que de la préparation et de la transformation des aliments),
- des déchets biodégradables (s'ils proviennent de jardins et de parcs, y compris les déchets de cimetières).

Dans le cadre de la circulaire du 10 janvier 2012 relative aux modalités d'application de l'obligation de tri à la source des biodéchets par les gros producteurs (article L 541-21-1 du Code de l'environnement.), on apprend que ces derniers ont l'obligation de valoriser ces biodéchets, par une collecte séparée, le compostage domestique et de proximité, le compostage industriel et la méthanisation.

A noter : en 2014, les jussies étaient les seules plantes invasives soumises à réglementation concernant le colportage. L'arrêté du 2 mai 2007 interdisait en effet leurs commercialisation, utilisation et introduction dans le milieu naturel. Lors des chantiers de gestion de ces espèces, le « transporteur » doit veiller de ne pas disperser la plante et ses déchets.

QUELLES STRUCTURES POUR QUELS DECHETS ?

Le compostage

Le compostage peut recevoir tout type de plantes invasives (terrestres, aquatiques, amphibies) en suivant les protocoles mis en place pour chaque espèce. Dans la mesure du possible, il faudra s'assurer que le déchet soit exempt de matières inertes et polluantes (sable, gravier, verre, plastique...). Il convient aussi de faire une différenciation entre les groupes privés, dont la production de compost est l'activité principale, et les agricomposteurs, qui procèdent en mélangeant des déchets verts à leurs propres déchets agricoles ; de telles structures n'ont pas forcément les capacités d'assurer un suivi du processus de compostage, et notamment de contrôler les températures atteintes ; il faut veiller à ne pas apporter de plantes montées en graines dans ce type de compost (Agricomposteur de France, 2005).

La méthanisation

La température est un facteur qu'il faut impérativement prendre en compte. En effet, si des graines sont potentiellement présentes dans les déchets de plantes invasives, il convient de dépasser 50°C pendant huit jours pour neutraliser le pouvoir germinatif des graines de jussies (Djebri, 2005) et 60°C pendant quatre jours pour les renouées (Gilles, 2012). Certaines installations, pour produire la même quantité de biogaz en un temps réduit, atteignent des températures comprises entre 48 et 60°C. Ce sont des processus thermophiles. Généralement cependant, les processus sont mésophiles et fonctionnent à une température avoisinant les 38°C (optimale pour les bactéries). Certaines installations doivent procéder à une étape préalable d'hygiénisation qui fait passer les sous-produits à 70°C pendant une heure afin de les débarrasser d'éventuels agents pathogènes (ADEME, 2007).

Les déchets ligneux ne sont pas recevables par un digesteur car les bactéries qu'abrite ce dernier ne sont pas aptes à les dégrader. Ainsi, on privilégiera d'y diriger des plantes aquatiques ou amphibies dont les tissus ne sont pas ou peu lignifiés. La méthanisation en voie sèche semble plus apte à recevoir des déchets des déchets plus structurants, dont la teneur en matières sèches peut excéder 25%.

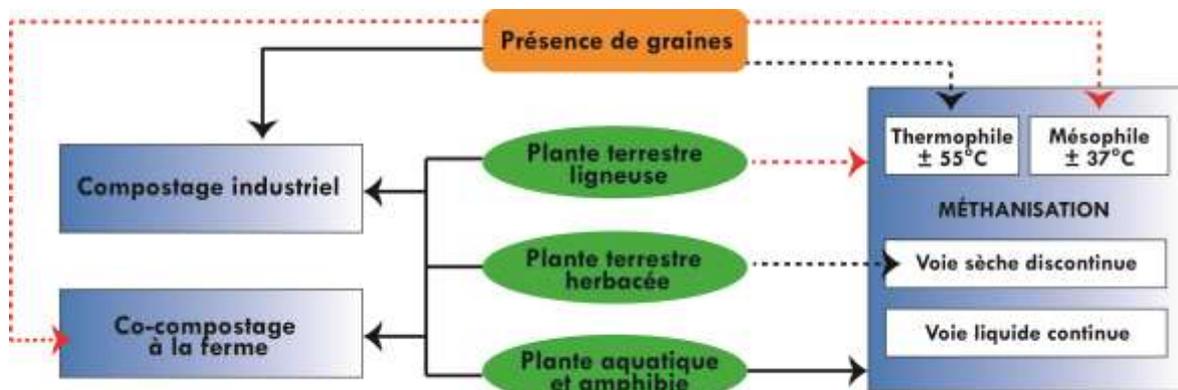


Figure 1: les modes de valorisation à privilégier suivant le type de plantes récoltés

DES STRUCTURES VOLONTAIRES

Quarante-six structures industrielles ont pu être recensées en région Centre-Val de Loire : trente-deux plateformes de compostage et quatorze unités de méthanisation. Quarante de ces structures ont été contactées et donc sensibilisées à la problématique des plantes invasives. Vingt ont donné leur accord de principe pour traiter les plantes invasives et douze présentent des réserves.



Figure 2: centres de traitement susceptibles de recevoir des déchets de plantes invasives en région Centre-Val de Loire

DES OUTILS POUR LES GESTIONNAIRES

Des cartographies des structures ont été réalisées pour les gestionnaires à l'échelle de la région et des départements, ainsi que des fiches de description précisant pour chacune les conditions d'acceptation, les coûts de traitement afférents, les techniques utilisées. Un annuaire, avec une interface géographique de tous les centres de traitement, intégrant les agricompoteurs de la région, est consultable sur demande auprès du Conservatoire d'espaces naturels Centre-Val de Loire. Il contient plus de 340 contacts susceptibles d'accepter et de valoriser les déchets de plantes invasives.

Nom	Type de traitement	Acceptation des déchets végétaux	Commune	Numéro (s)
Espace de traitement de la région Centre-Val de Loire	Agrochimie-compostage	non-déchet des déchets	France Les Fontaines	4 787027120049
Espace de traitement de la région Centre-Val de Loire	Agrochimie-compostage	non-déchet des déchets	France Les Fontaines	4 787027120049
Espace de traitement de la région Centre-Val de Loire	Agrochimie-compostage	non-déchet des déchets	France Les Fontaines	4 787027120049
Espace de traitement de la région Centre-Val de Loire	Agrochimie-compostage	non-déchet des déchets	France Les Fontaines	4 787027120049
Espace de traitement de la région Centre-Val de Loire	Agrochimie-compostage	non-déchet des déchets	France Les Fontaines	4 787027120049
Espace de traitement de la région Centre-Val de Loire	Agrochimie-compostage	non-déchet des déchets	France Les Fontaines	4 787027120049
Espace de traitement de la région Centre-Val de Loire	Agrochimie-compostage	non-déchet des déchets	France Les Fontaines	4 787027120049
Espace de traitement de la région Centre-Val de Loire	Agrochimie-compostage	non-déchet des déchets	France Les Fontaines	4 787027120049
Espace de traitement de la région Centre-Val de Loire	Agrochimie-compostage	non-déchet des déchets	France Les Fontaines	4 787027120049
Espace de traitement de la région Centre-Val de Loire	Agrochimie-compostage	non-déchet des déchets	France Les Fontaines	4 787027120049

Figure 3 : annuaire des centres de traitement avec une interface géographique

DISCUSSION

Malgré une obligation réglementaire de valorisation des déchets verts, les coûts occasionnés par ce type de démarche restent difficiles à prendre en charge pour les gestionnaires, le transport et la gestion des déchets par voie industrielle pouvant devenir le plus grand poste de dépense. De plus certaines habitudes concernant le traitement des déchets (épandage direct sur plateforme agricole ou sur des surfaces artificielles) sont profondément ancrées dans les pratiques... Néanmoins, la valorisation des déchets issus des chantiers de plantes invasives peut devenir, pour les structures pouvant les traiter, une source de revenus potentiellement intéressante. Toutefois, il peut être compliqué pour les entreprises d’adapter leurs processus de traitements à une ressource qui est encore mal définie et peu pérenne.

CONCLUSION

La région Centre Val-de-Loire est aujourd’hui dotée d’un plan de valorisation des déchets issus du traitement des plantes invasives. Toutefois, il reste encore des zones où peu de données sont disponibles. Cette étude a essentiellement permis de mettre en lumière auprès des gestionnaires les aspects réglementaires de la gestion des déchets et les pistes potentielles de valorisation sur ou à proximité de leur territoire. Les contacts des centres de traitements de déchets ou des agriculteurs de proximité sont dorénavant donnés lors des conseils de gestion auprès des gestionnaires de milieux de naturels et des espaces verts.

REMERCIEMENTS

Le rapport de stage sur lequel se base l’étude de valorisation des déchets des plantes invasives en région Centre-Val de Loire et les travaux en découlant ont été réalisés par Dorine Vial. La mise en page du poster a été effectuée par Isabelle Gravrand, Conservatoire d’espaces naturels Centre-Val de Loire.

BIBLIOGRAPHIE

AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE, Mars 2007 - La valorisation de la biomasse - Guide d'information à l'attention des administrations et des établissements publics. 39 p.

AGRICULTEURS COMPOSTEURS DE FRANCE, avril 2005 – Charte des bonnes pratiques de compostage agricole « Ensemble pour l'environnement » - Disponible sur : www.ordif.com/public/document.srv?id=12176 (consulté le 27/08/2014)

DEBRIL J. (DIREN/DREAL des Pays de la Loire) sous la direction de MATRAT R. (DIREN des Pays de la Loire) & HAURY J. (UMR INRA Agrocampus EQHC), août 2005 - Gestion des déchets de Jussie par le compostage, 37 p.

GILLES C., octobre 2012 - Expérimentation de compostage de renouées géantes (Présentation lors du Colloque national renouées asiatiques au Technopôle de Saint-Etienne) - FRAPNA74, 11 p.

VIAL D., 2014 – Plan régional de valorisation des déchets issus des chantiers de gestion de plantes invasives – Conservatoire d'espaces naturels de la région Centre, 99p.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

VERS UN OBSERVATOIRE DES PRATIQUES DE GESTION ÉCOLOGIQUE DES PLANTES ENVAHISSANTES

M. GUERIN ⁽¹⁾, M. HEDONT ⁽¹⁾, D. PROVENDIER ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Plante & Cité, 26 rue Jean Dixmèras 49066 ANGERS Cedex 1, France, maxime.guerin@plante-et-cite.fr, marianne.hedont@plante-et-cite.fr

RÉSUMÉ

Plante & Cité a lancé en 2015 un programme pluriannuel sur la gestion écologique des plantes envahissantes terrestres par les gestionnaires de JEVI (Jardins, Espaces Végétalisés et Infrastructures). Une analyse de la bibliographie scientifique et une enquête auprès des acteurs de terrain ont permis de dresser un état des lieux des techniques testées et mises en œuvre. Les plantes exotiques envahissantes terrestres qui posent le plus de problèmes sont les renouées asiatiques et l'ailante. L'analyse des 148 réponses révèle une grande diversité de pratiques et de stratégies de management, mais le plus souvent des interventions mécaniques, du bâchage et de la végétalisation. Par ailleurs l'enquête a mis en évidence les attentes et besoins des praticiens en matière de gestion des plantes envahissantes. Pour y répondre, un observatoire des pratiques de gestion écologique cherchera à faciliter la mise en réseau des acteurs et la mutualisation des bonnes pratiques.

Mots-clés : plante exotique envahissante, plante proliférante, gestion écologique, observatoire, partage d'expérience.

ABSTRACT

TOWARDS AN OBSERVATORY OF ECOLOGICAL MANAGEMENT PRACTICES AGAINST INVASIVE PLANTS

Invasive plant management is still a technical and economic challenge for landscapes managers and practitioners. Faced with these current issues, we conducted a significant survey of professionals' practices in 2015 to better identify and analyze on-the-field ecological practices used to manage invasive species in green infrastructures. Most problematic species are Asian knotweed and tree of heaven. The analysis of the 148 replies underline a diversity of practices and management strategies but most frequently mechanical management (reaping, pruning, uprooting), sheeting and revegetation. This study highlight that stakeholders need to share innovative ideas and experience feedback regarding invasive species management. In 2016, scientific and technical partnerships will be implemented to support an ecological practices observatory, for developing and sharing good practices about current and future invasive terrestrial alien species.

Keywords: invasive plant, vigorous plant, ecological management, observatory, sharing of experience.

INTRODUCTION

Pour la gestion des JEVI (jardins, espaces végétalisés et infrastructures), le principal poste d'utilisation de produits phytosanitaires reste encore aujourd'hui le désherbage. Parmi les espèces cibles, on trouve notamment les plantes envahissantes et proliférantes. Elles peuvent se développer localement dans les massifs ou parcs et jardins, où elles nuisent au développement des végétaux plantés, mais surtout à grande échelle le long des infrastructures linéaires notamment, où elles représentent alors une menace pour la biodiversité et les écosystèmes naturels. En effet, une enquête conduite par Plante & Cité en 2014 auprès de 65 gestionnaires avait montré que 20 % des répondants utilisaient encore la lutte chimique pour gérer les plantes envahissantes (Guérin et al., 2014).

Après avoir travaillé de 2011 à 2014 sur la gestion préventive et les processus de concertation entre acteurs, Plante & Cité a lancé en 2015 un programme pluriannuel sur la gestion écologique des plantes envahissantes terrestres dont l'objectif est d'identifier et de valider scientifiquement l'intérêt de pratiques mises en œuvre ou expérimentées par les gestionnaires de JEVI. Par plantes envahissantes, on entend ici des plantes à caractère proliférant posant des problèmes de gestion (plantes listées comme exotiques envahissantes et autres plantes posant des problèmes d'envahissement).

Afin de donner aux gestionnaires les moyens de choisir et d'optimiser leurs pratiques, Plante & Cité propose un observatoire des pratiques de gestion dans les JEVI. Pour mieux cibler les problématiques à étudier et en vue de structurer ce futur observatoire, une pré-enquête a donc été réalisée en 2015. Cet article résume les principaux enseignements tirés de cette enquête.

MATERIEL ET MÉTHODE

CATEGORISATION DES TECHNIQUES DE GESTION

Un important travail de bibliographie - sur plusieurs centaines d'articles scientifiques et de publications techniques (dont les fiches espèces des bases gérés par le programme DAISIE, le CABI et l'ISSG) - a permis d'identifier les principales techniques de gestion expérimentées ou utilisées dans le monde. Pour alimenter l'enquête, celles-ci ont été regroupées en grandes catégories (cf. tableau I) :

Tableau I : Catégories de techniques de gestion

Tonte, fauchage, broyage, débroussaillage, coupe, taille	Arrachage manuel ou mécanique	Autre intervention mécanique (encerclage, anelage ...)
Décaissement, déblaiement, excavation, décapage du sol	Pâturage, pastoralisme urbain	Enfouissement
Végétalisation, enherbement	Restauration, renaturation du milieu	Lutte thermique
Lutte biologique	Bâchage, pose de géotextile	Autre

ESPECES CIBLES

L'objectif était d'interroger les gestionnaires sur des plantes posant de forts problèmes de gestion dans les JEVI et pour lesquels il n'existe actuellement pas ou peu de méthodes ou techniques de gestion alternative efficaces.

La sélection finale des espèces cibles s'appuie sur des retours de professionnels (consultations aux différentes instances de Plante & Cité), des résultats d'enquête (enquête sur la gestion curative des plantes exotiques envahissantes 2013 - 65 réponses (Guérin et al., 2014), enquête usage orphelins 2014 - 149 réponses (données non publiées)) ainsi que sur un travail bibliographique.

Au final, les professionnels ont été interrogés sur 9 espèces (tableau II).

Tableau II : Plantes listées dans l'enquête

Plantes exotiques envahissantes terrestres		Plantes à caractère proliférant	
- Renouées asiatiques	- Herbe de la Pampa	- Canne de Provence	- Liseron des champs
- Ailante	- Arbre aux papillons	- Erigerons	- Cirse des champs
	- Ambroisie		

GRILLE D'ENQUETE

Après avoir ciblé les espèces et catégorisé les techniques de gestion, 10 questions ont été formulées afin de comprendre et analyser les pratiques et les besoins des gestionnaires (tableau III).

Tableau III : Questions et modalités de réponse

Question	Modalité de réponse
Quelle(s) type(s) d'activité en lien avec la gestion des plantes envahissantes mettez-vous en place dans le cadre de votre activité ?	Cases à cocher
Parmi ces 3 plantes, quelles sont les 3 espèces que vous avez le plus de difficulté à contrôler / maîtriser dans le cadre de votre travail ?	Cases à cocher
Dans quels contextes rencontrez-vous ces espèces ?	Cases à cocher
Quelles techniques utilisez-vous / testez-vous / conseillez-vous pour gérer ces espèces ?	Cases à cocher
Si vous utilisez d'autres techniques, veuillez les préciser	Question ouverte
Gérez-vous ces espèces en interne ? avec des entreprises prestataires ? dans le cadre d'une stratégie locale / régionale ? dans le cadre d'un programme de recherche ou d'expérimentation ?	Cases à cocher + complément ouvert
Sur quel territoire intervenez-vous ?	Question ouverte
Comment gérez-vous la biomasse issue des opérations de gestion contre les plantes envahissantes ?	Question ouverte
Seriez-vous prêt à participer à un observatoire sur la gestion écologique des plantes envahissantes terrestres ?	Oui / Non
Qu'attendriez-vous d'un tel observatoire ?	Question ouverte

L'enquête est restée en ligne du 4 novembre 2015 au 15 janvier 2016.

ANALYSE

Pour faciliter l'analyse et la représentation des résultats, les questions ouvertes ont été codées : les expressions similaires ont été regroupées sous une expression générique correspondant au terme le plus couramment utilisé par les répondants. Une représentation graphique des données a ainsi pu être envisagée.

RESULTATS

L'ensemble des résultats sont tirés du rapport Guérin et al., 2016.

PROFIL DES REpondANTS

On observe une bonne répartition des répondants sur le territoire métropolitain avec des professionnels provenant de différentes régions (figure 1). Le Sud Est, et en particulier la région Rhône-Alpes (13% des réponses), est le plus largement représenté avec près d'1/3 des réponses (30%), suivi par la région Ile-de-France (16 %).

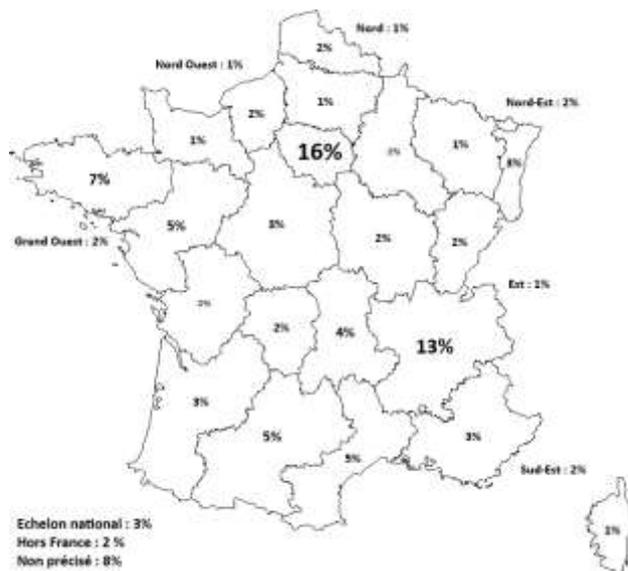


Figure 1 : Origine géographique des répondants / © Plante & Cité

La moitié des répondants appartient à des structures gestionnaires d'espaces publics - communes (42%) et autres collectivités territoriales (10%). Les autres profils (8 à 15 %) s'équilibrent entre gestionnaires d'autres types d'espaces, entreprises de paysage, établissements d'enseignement agricole, bureaux d'étude ou établissements d'expérimentation, de recherche et de conseil.

Les actions en lien avec la gestion des plantes envahissantes mises en œuvre par ces structures sont nombreuses et souvent multiples (figure 2). La majorité des répondants sont gestionnaires d'un espace (89 % des réponses) et possèdent en parallèle d'autres activités liées notamment à la sensibilisation des professionnels à cette problématique (45 % des réponses), ou au suivi des populations de plantes envahissantes (47 % des réponses).

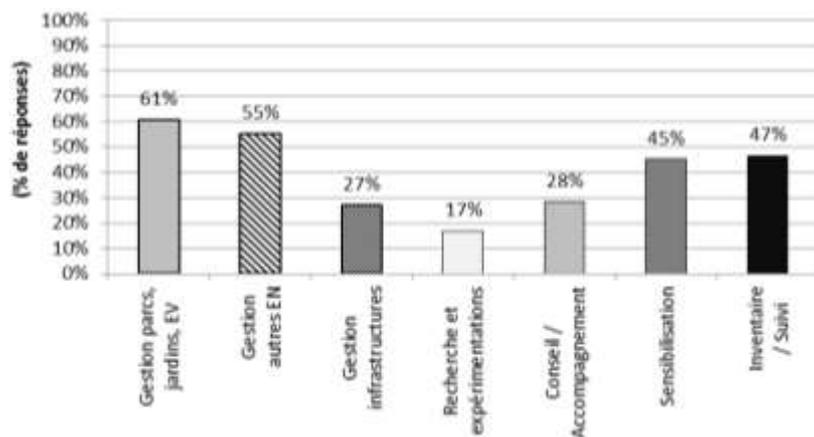


Figure 2 : Types d'actions mis en œuvre par les répondants / © Plante & Cité

ESPECES GERÉES

Les espèces les plus largement citées par les répondants sont les renouées asiatiques (82%), suivi par l'ailante (52%) et l'arbre aux papillons (45%). En termes de difficultés de gestion, on retrouve encore en tête les renouées asiatiques et l'ailante, suivis par le liseron des champs. Ces espèces sont considérées pour au moins 70 % des répondants comme l'une des 3 espèces les plus difficiles à gérer sur son territoire d'action (figure 3).

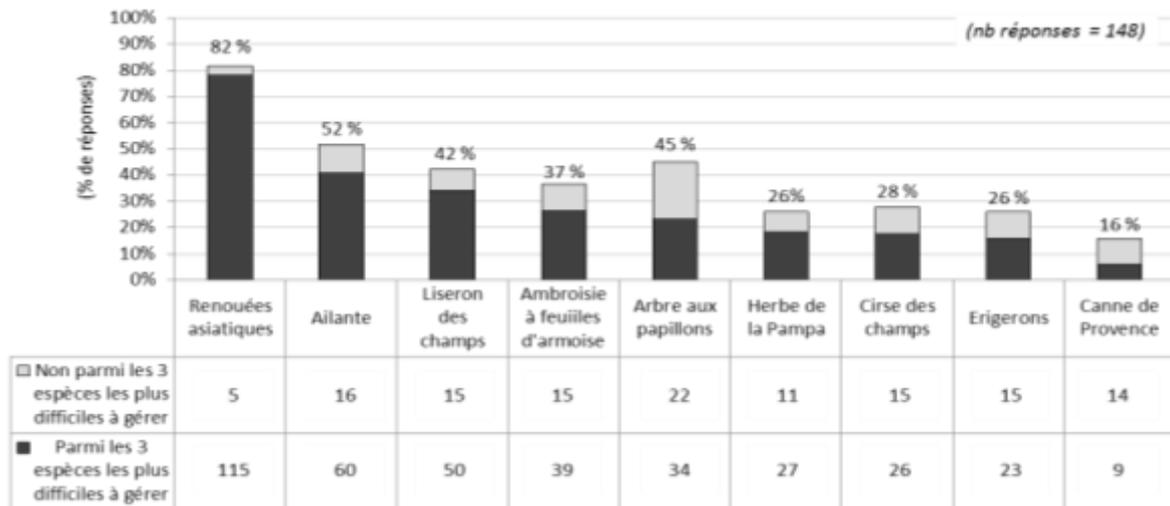


Figure 3 : Espèces gérées par les répondants / © Plante & Cité

L'ensemble des espèces se retrouvent potentiellement sur tous types de milieux (figure 4). Pour nos répondants, les milieux qui ressortent comme les plus touchés sont cependant les voiries et infrastructures de transport, les délaissés urbains - pour les plantes exotiques envahissantes - et les espaces verts - pour les espèces proliférantes en particulier. En lien avec les caractéristiques propres à chaque espèce, les milieux dans lesquels ces plantes sont les plus problématiques diffèrent d'une espèce à l'autre : les renouées asiatiques sont surtout rencontrées sur les berges, le long des infrastructures de transport ou dans les délaissés urbains tandis que le liseron des champs pose surtout problème dans les parcs et jardins.

GESTION DES FOYERS

Techniques utilisées

Toutes espèces confondues, les techniques les plus largement utilisées restent des techniques de gestion mécanique : arrachage (76 % des réponses) et fauche, taille (72 %). On trouve ensuite pour environ 1/3 des répondants le bâchage, la végétalisation et le décaissement. Les autres techniques - pâturage, enfouissement, restauration, lutte biologique ou thermique - sont utilisées de manière plus marginale. Dans la catégorie autre, 7 % ont indiqué utiliser la lutte chimique, 5 % le paillage.

Si l'on s'intéresse aux techniques espèce par espèce, on constate que pour toutes se sont là aussi la fauche/tonte et l'arrachage qui sont les techniques les plus utilisées. Pour l'ambroisie, la végétalisation est également une technique largement employée. Pour gérer les renouées asiatiques, les gestionnaires font appel à une plus grande diversité de techniques, souvent utilisées de manière combinée - notamment la gestion mécanique, le bâchage et la végétalisation. Parmi les espèces utilisées pour le pâturage, on trouve des ânes ou moutons sur érigerons, des chèvres et des brebis sur renouées asiatiques (Figure 5).

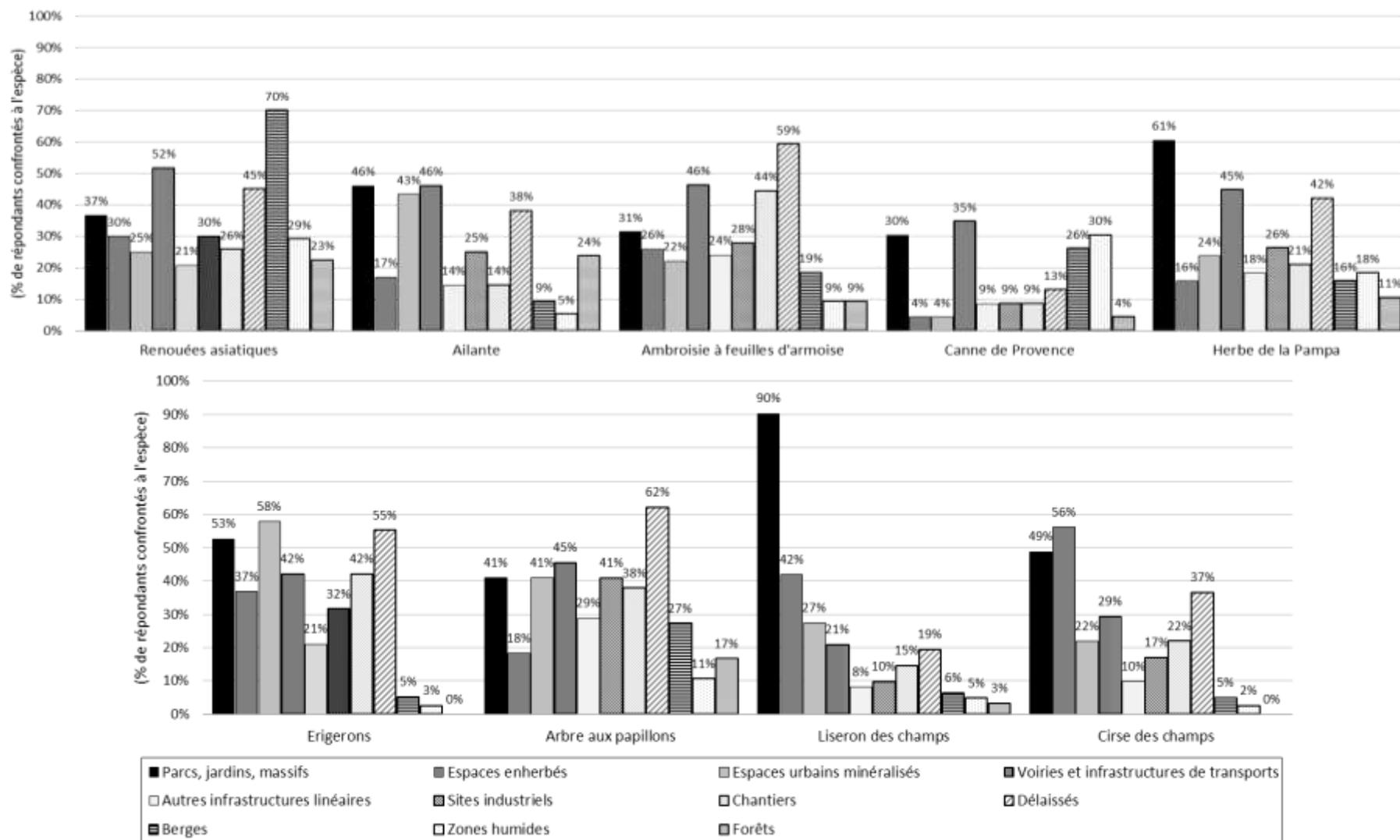


Figure 4 : Milieux sur lesquels sont rencontrées les plantes envahissantes / © Plante & Cité

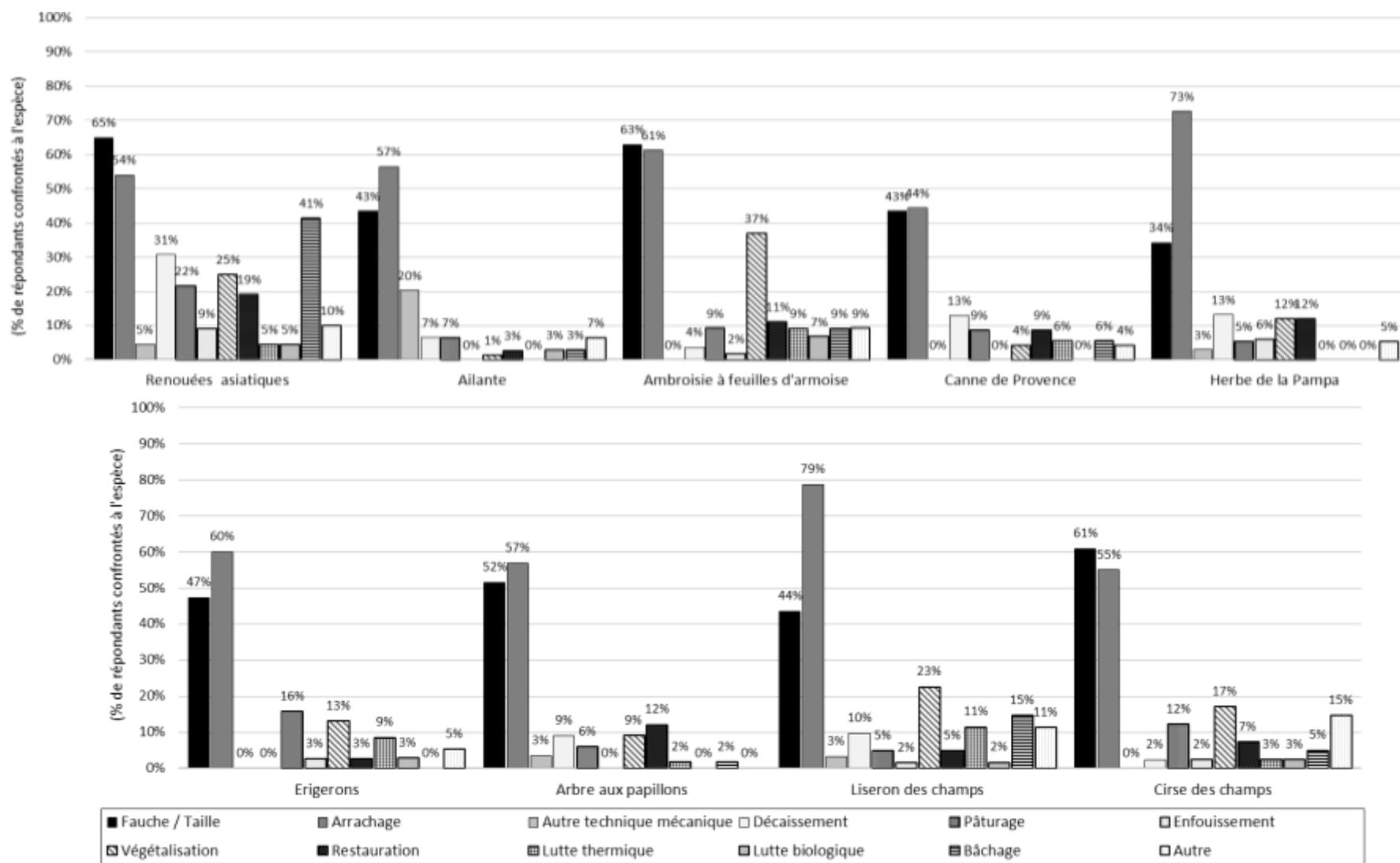


Figure 5 : Techniques utilisées espèce par espèce / © Plante & Cité

Modalités de gouvernance de la stratégie de gestion

Les réponses concernent ici uniquement les structures gestionnaires soit un total de 128 répondants. Le territoire géré par les différentes structures peut varier considérablement en termes de surface (de l'échelle d'un espace vert à l'échelle interrégionale).

Une large majorité des répondants (85 %) gèrent la lutte contre les plantes envahissantes en interne, au moins en partie. Dans ce cas, la gestion est confiée au service technique de la structure (service en charge des espaces verts ou de l'environnement), qui peut parfois faire appel à des citoyens volontaires pour assister les agents de terrain sur les chantiers de gestion (Figure 6). Un peu moins de la moitié des gestionnaires fait également appel à une entreprise prestataire, telles que des entreprises d'insertion. Sur l'ensemble, ils sont 17 % à gérer ce problème de manière concertée dans le cadre d'une stratégie de gestion locale - portée par la région, le département, une agglomération, une ARS ...- et relativement peu via des programmes de recherche et d'expérimentation (7 %) - portés par des bureaux d'étude, des associations, dans le cadre d'un programme LIFE ...

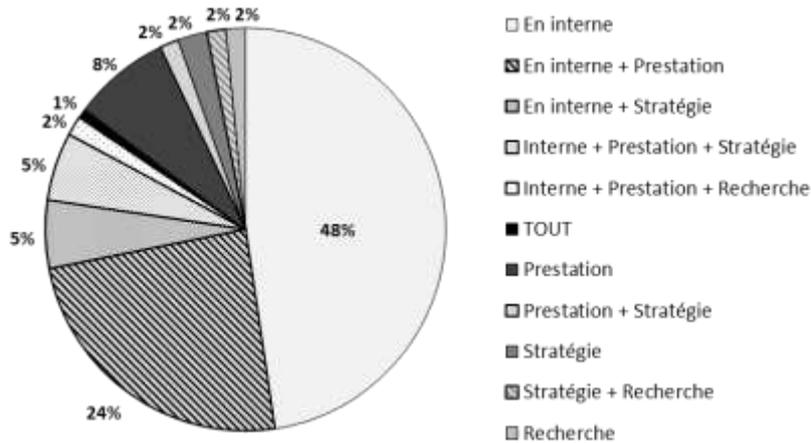


Figure 6 : Modalités de gouvernance des stratégies de gestion / © Plante & Cité

GESTION DES RESIDUS ISSUS DES OPERATIONS DE GESTION

Seuls 3% des répondants ne mettent en place aucune gestion de leurs résidus (figure 7). Parmi ceux qui les gèrent, plus de la moitié (65%) exportent leur résidu - qui sont alors gérés dans des déchetteries / décharges, ou encore via les ordures ménagères ou encore avec les autres types de déchets verts. Les autres gèrent leurs résidus directement sur place.

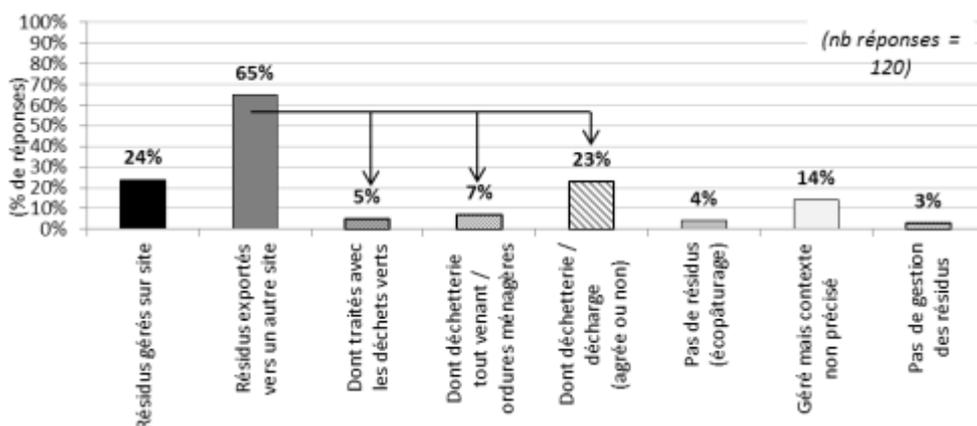


Figure 7 : Modes de gestion des résidus issus des opérations de gestion / © Plante & Cité

Pour ceux qui ont précisé les techniques utilisées, le compostage arrive en tête (20 %). Les autres techniques sont moins largement utilisées (figure 8). Parmi ceux n'ayant pas précisé la technique utilisée, on trouve les structures faisant appel à des prestataires pour gérer leurs plantes invasives.

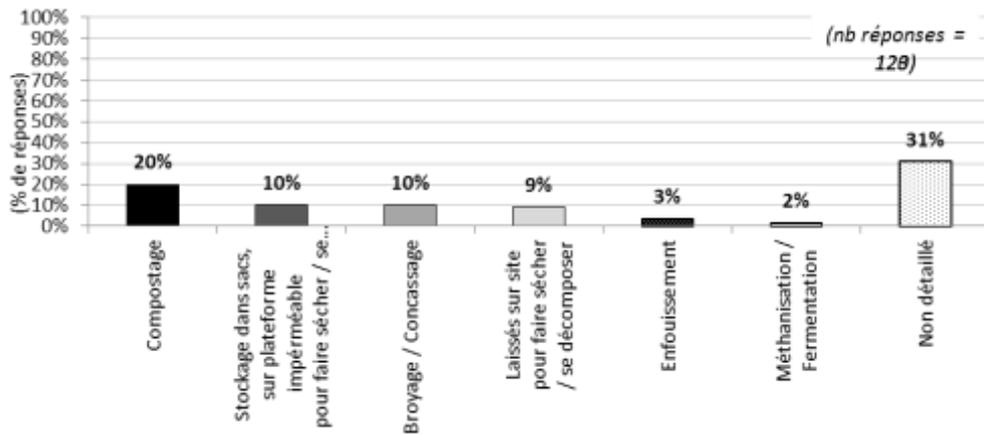


Figure 8 : Techniques de gestion des résidus issus des opérations de gestion / © Plante & Cité

VERS L'OBSERVATOIRE DES PRATIQUES DE GESTION

79 % des répondants (soit 117 professionnels) sont prêts à continuer à contribuer à l'étude en participant au futur observatoire. Ils souhaiteraient que celui-ci permette avant tout le partage d'expériences (43%) - recensement et échanges sur les pratiques et leur mise en œuvre – ainsi que la diffusion de bonnes pratiques (37%) - conseils et préconisations adaptés, prescriptions techniques, protocoles de mise en œuvre. A cela, s'associe un besoin d'évaluation de leur efficacité, de leur coût et de leur transférabilité (18%). Les gestionnaires souhaiteraient également que l'observatoire conduise au développement de techniques de gestion innovantes (35%) - permettant l'éradication des espèces, techniques les plus écologiques possibles (figure 9).

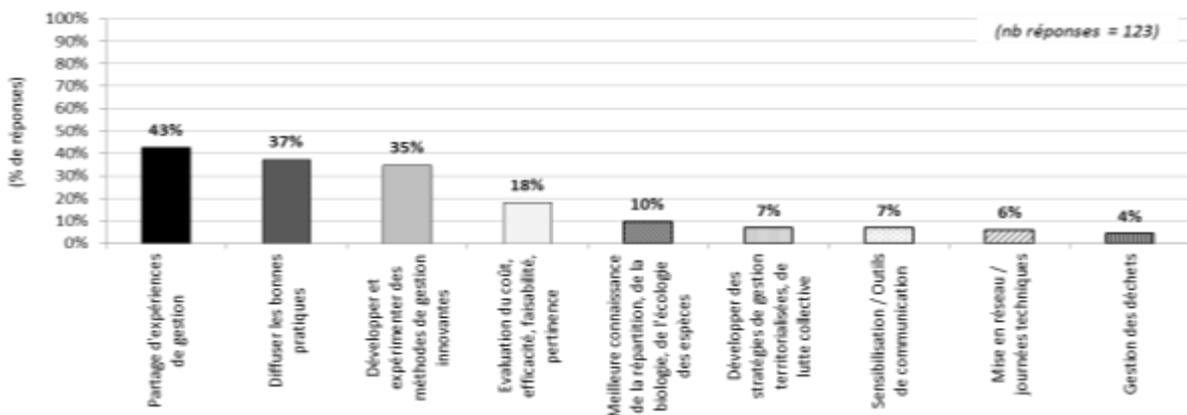


Figure 9 : Attentes sur ce que doit apporter l'observatoire / © Plante & Cité

DISCUSSION

Les acteurs concernés, les enjeux et les techniques peuvent fortement varier entre espèces, et notamment entre les plantes exotiques envahissantes et les autres plantes proliférantes. De plus, dans l'état des connaissances sur le sujet, les perspectives d'innovation en matière de gestion pour les plantes proliférantes sont à l'heure actuelle beaucoup plus limitées. Ces spécificités seront à prendre en compte dans la collecte et l'interprétation des données issues de l'observatoire des pratiques de gestion.

Les gestionnaires sont en demande de partage d'expérience sur les pratiques ou techniques testées et mises en œuvre pour la gestion des plantes envahissantes. La difficulté à s'approprier ces techniques ou outils peut s'expliquer par la méconnaissance de leur existence, par manque d'informations sur leur mise en œuvre ou leur coût, ou encore par manque d'informations sur les contextes pour lesquels ils sont adaptés. En croisant les données de l'observatoire aux données existantes sur les techniques et matériels adaptés, on cherchera à aider le gestionnaire à mieux appréhender les conditions d'utilisation des techniques et matériel adaptés et l'impact de ses pratiques.

Par ailleurs au-delà des difficultés ou impasses techniques, ont été mis en évidence d'autres facteurs d'échec potentiels, qui limitent fortement l'efficacité des mesures mises en œuvre. Parmi ces facteurs, on peut citer :

- Des moyens limités dans le temps : en effet, dans la plupart des cas, le foyer doit être géré pendant des années et de manière régulière pour être contenu. Une unique intervention de grande ampleur n'aura en revanche que peu, voire pas d'efficacité à moyen ou long terme.
- Des interventions mutualisées avec d'autres tâches : des interventions telle que la tonte ou la fauche sont parfois mutualisées avec l'entretien courant du site. Parfois positionnées à la mauvaise période pour des raisons logistiques (sans lien avec la phénologie de la plante), ces interventions peuvent n'avoir aucun impact sur la réduction des populations, voir favoriser le développement du foyer.

CONCLUSION

Cette enquête constitue un préliminaire à la construction d'un observatoire des pratiques de gestion écologique des plantes envahissantes terrestres. Elle a permis de mieux comprendre les pratiques et contraintes actuelles et de cibler les attentes des gestionnaires.

En 2016, la construction de l'observatoire a été lancée avec le développement de partenariats scientifiques et techniques. Il aboutira au développement d'une base de données et d'une cartographie des retours d'expérience. L'analyse des données de terrain et des données techniques et scientifiques à disposition permettront dans un premier temps la réalisation de fiches de synthèse sur les techniques et matériel, à construire comme outil d'aide à la décision. Par ailleurs cet observatoire pourra identifier des pratiques de gestion innovantes à développer ou expérimenter selon l'évolution du contexte réglementaire et technique.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble des professionnels, chercheurs et experts ayant contribué à l'enquête ou participé à l'étude, ainsi que l'Onema (plan Ecophyto) et l'interprofession Val'hor pour le soutien financier.

BIBLIOGRAPHIE

CABI, 2016. *Invasive species compendium - Datasheets*. CABI, consulté le 29/02/16,

<http://www.cabi.org/isc/search/?q=&types=7,19&sort=DateDesc>

DAISIE European Invasive Alien Species Gateway, 2008. *Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe - Species factsheet*. DAISIE, consulté le 29/02/16, [http://www.europe-](http://www.europe-aliens.org/speciesSearch.do)

[aliens.org/speciesSearch.do](http://www.europe-aliens.org/speciesSearch.do)

Invasive Species Specialist Group (ISSG), 2016. *Global Invasive Species Database*. ISSG, consulté le 29/02/16, <http://issg.org/database/welcome/>

Guérin M., Provendier D. (2013). *Enquête sur la gestion curative des plantes exotiques envahissantes*. Ed. Plante & Cité, 19 p.

Guérin M., Hedont M., Provendier D. (2016). *Gestion écologique des plantes envahissantes terrestres dans les Jardins, Espaces Végétalisés et Infrastructures (JEVI) - Rapport d'enquête*. Ed. Plante & Cité, 15 p.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**GRUPE DE TRAVAIL NATIONAL "INVASIONS BIOLOGIQUES EN MILIEUX AQUATIQUES » : VERS
UNE AMELIORATION DE LA CONNAISSANCE ET DES PRATIQUES DE GESTION DES ESPECES
EXOTIQUES ENVAHISSANTES**

E. SARAT¹, A. DUTARTRE², Y. SOUBEYRAN¹, N. POULET³

¹IUCN comité France 17 place du Trocadero, 75016 Paris, France, emmanuelle.sarat@uicn.fr, yohann.soubeyran@uicn.fr

²Hydrobiologiste, expert indépendant, 21 avenue du Médoc, 33 114 Le Barp, France, alain.dutartre@free.fr

³Office national de l'eau et des milieux aquatiques, Département Recherche Développement Allée du professeur Camille Soula, 31400 Toulouse, France, nicolas.poulet@onema.fr

RÉSUMÉ

Afin d'apporter un appui à tous les acteurs concernés par les espèces exotiques envahissantes et les impacts qu'elles engendrent dans les milieux aquatiques, un groupe de travail national « Invasions biologiques en milieux aquatiques » (GT IBMA) a été créé en 2009. Son objectif principal est d'améliorer les capacités de gestion de ces espèces par la production de connaissances et leurs mises à disposition et par le développement d'outils opérationnels à destination des gestionnaires et des décideurs. Coordonné conjointement par l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques et le Comité français de l'Union internationale pour la conservation de la nature, le groupe de travail rassemble plus de 60 membres. Ses activités sont définies en fonction des besoins exprimés par le réseau d'acteurs ainsi formé. Des exemples de réalisations sont le développement d'une plateforme internet (www.gt-ibma.eu) donnant accès à de nombreuses ressources, la publication d'un guide pratique présentant des retours d'expériences de gestion détaillés et la création d'une base d'informations sur les espèces introduites en milieux aquatiques et leur gestion.

Mots-clés : gestion des espèces exotiques envahissantes, bonnes pratiques, réseau d'acteur, outils opérationnels, milieux aquatiques.

ABSTRACT

A FRENCH WORK GROUP ON BIOLOGICAL INVASIONS IN AQUATIC ENVIRONMENTS: ORIGINS, MAIN ACHIEVEMENTS AND FUTURE PROSPECTS

In order to respond to the growing concern on Invasive alien species and their impacts in freshwater environments, a French work group on Biological invasions in freshwater environments was created in 2009. Its main objective is to increase management capacities by developing guidelines and operational tools for managers and decision-makers. Coordinated by the French National Agency for Water and Aquatic Environments (Onema) and the IUCN French Committee, the group brings together more than 60 experts and stakeholders. The group's activities are determined by the shared needs of the formed network. Examples of projects include: the development of an internet platform (www.gt-ibma.eu) to provide access to information; the publication of a best practices guide with fully detailed management feedback and the setting up of an information database on introduced aquatic species in France.

Keywords: IAS management, best practices, operational tools, networking, freshwater environments.

INTRODUCTION

Les espèces exotiques envahissantes sont reconnues comme l'une des principales causes de l'érosion de la biodiversité mondiale. Du fait de l'importance du sujet, la Convention sur la Diversité Biologique l'a inscrit parmi ses grands thèmes sectoriels de travail et il fait l'objet d'un objectif spécifique du plan stratégique 2011-2020 approuvé par la Convention, que les Etats signataires, dont la France, se sont engagés à atteindre d'ici à 2020. À l'échelle de l'Union européenne, la gestion des invasions biologiques est désormais inscrite comme un objectif fort puisqu'un règlement relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes est en vigueur depuis le premier janvier 2015.

La France n'échappe pas à ce phénomène et les exemples en milieux aquatiques sont nombreux, aussi bien en ce qui concerne la flore (jussie, renouée, etc.) que la faune (écrevisses, ragondin, etc.). Par leurs développements, ces espèces sont en compétition avec les espèces indigènes, modifient les habitats naturels et les services rendus par les écosystèmes, et impactent les activités économiques et la santé humaine. Cette problématique est devenue une des préoccupations majeures des gestionnaires d'espaces naturels autant que des décideurs.

Depuis une quinzaine d'années, un nombre croissant de gestionnaires de territoires à des échelles administratives ou géographiques très diverses se mobilise pour tenter de gérer les difficultés créées par les dynamiques de colonisation de différentes espèces exotiques envahissantes. Des besoins ont rapidement fait jour en matière d'accès aux informations et de coordination des actions, pour organiser la surveillance, évaluer les impacts, développer des programmes de recherche, définir des stratégies et intervenir de manière efficace. C'est dans ce contexte et pour répondre à ces besoins que le groupe de travail national « Invasions biologiques en milieux aquatiques » (GT IBMA) a été créé en 2009.

ORIGINES, OBJECTIFS ET FONCTIONNEMENT

CREATION DU GROUPE DE TRAVAIL

La mise en place du GT IBMA est la conséquence directe de la création de l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (Onema) en 2007 et de l'organisation, la même année, d'une convention cadre avec le Cemagref (devenu depuis Irstea) : dans les possibilités de propositions thématiques inter-organismes figuraient les espèces exotiques envahissantes (Dutartre *et al.*, 2012).

La durée prévisionnelle du groupe était de trois ans (2008-2010), mais ses diverses activités ont été poursuivies depuis lors, conséquence de la qualité du réseau d'acteurs constitué, des résultats positifs obtenus et des besoins permanents de connaissance, de communication et de coordination à satisfaire à l'échelle nationale (Sarat *et al.*, 2015). Le partenariat de départ Onema-Cemagref s'est ainsi transformé en partenariat Onema-Irstea (2010-2013) et depuis 2014, sa coordination est assurée conjointement par l'Onema et le Comité français de l'Union internationale pour la conservation de la nature, dans le cadre d'une convention partenariale sur la période 2014-2017.

Son financement est assuré par l'Onema. Une équipe dédiée (les co-auteurs) assure l'animation du groupe et la coordination des activités. La figure 1 schématise l'organisation et le fonctionnement du groupe et les liens entre les différentes catégories d'acteurs représentées.

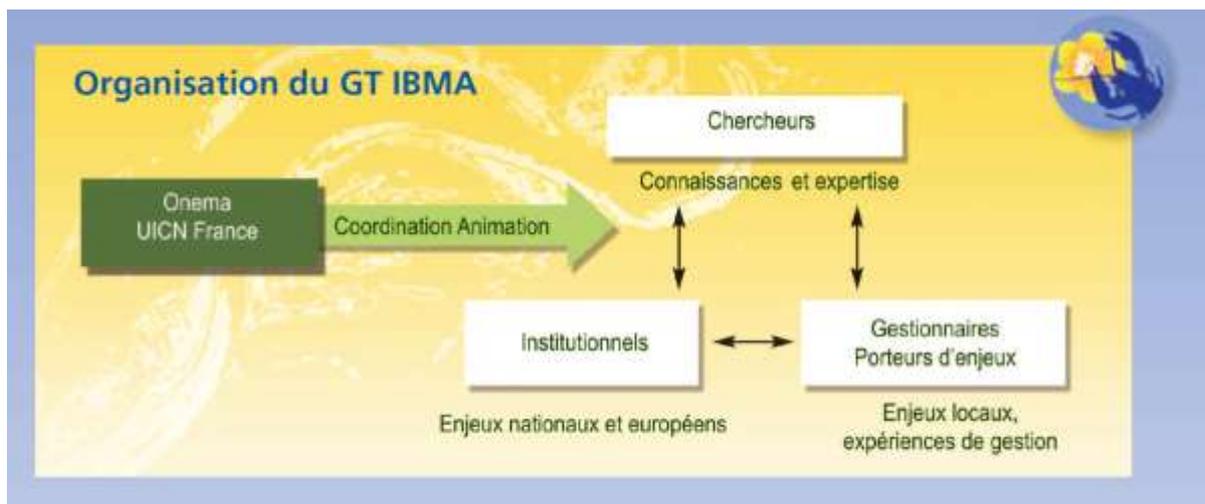


Figure 1. Organisation et fonctionnement du GT IBMA. D'après Sarat *et al.*, 2015a.

OBJECTIFS ET FONCTIONNEMENT

Objectif

L'objectif principal du groupe est de « venir en aide » aux gestionnaires et d'apporter un appui aux décideurs. Il synthétise et rend accessible les connaissances acquises sur les modes de gestion des espèces exotiques envahissantes :

- développement d'outils opérationnels pour améliorer la connaissance et la gestion de ces espèces ;
- identification d'enjeux scientifiques et proposition de programmes de recherche appliquée ;
- appui au développement des stratégies et des politiques publiques en matière de gestion des espèces exotiques envahissantes ;
- échange d'informations, relais et mise en contact d'acteurs ;
- contributions à la mise en œuvre d'opérations de gestion de certaines espèces.

Membres et principaux domaines d'expertises

Il s'agit de rassembler, dans un même groupe de réflexion, toute la « gamme » des intervenants potentiels sur ces questions de gestion d'espèces exotiques envahissantes, depuis les « producteurs de connaissances scientifiques » jusqu'aux « intervenants de terrain », de manière à créer dès le départ des liens couvrant toute la problématique de gestion (Dutartre *et al.*, 2012).

Constitué d'environ 25 membres à sa création, le GT IBMA en compte aujourd'hui une soixantaine issus des diverses parties prenantes : gestionnaires d'espaces naturels, chercheurs, associations, établissements publics, services de l'état et des collectivités, etc., et dont la liste actualisée est disponible sur le site du GT IBMA (<http://www.gt-ibma.eu/le-groupe-de-travail-invasions-biologiques-en-milieu-aquatiques/membres-du-gt-ibma/liste-des-membres/>). En tant qu'interface de communication et d'échanges, le groupe accueille régulièrement de nouveaux membres qui viennent renforcer et enrichir ses compétences dans de nouveaux domaines ou disciplines (ethnologie, gestion des infrastructures, invertébrés exotiques envahissants, gestion des EEE en milieu urbain, etc.).

Plus de dix grands domaines d'expertise peuvent être répertoriés au sein du GT IBMA :

- Flore exotique envahissante : biologie, écologie et gestion (macrophytes et plantes aquatiques principalement) ;

- Faune exotique envahissantes : biologie, écologie et gestion (invertébrés, vertébrés) ;
- Espèces exotiques nuisibles aux végétaux ;
- Gestion des espèces exotiques envahissantes (Faune et Flore) : méthodologie et techniques d'intervention ;
- Gestion des déchets et sous-produits des interventions de gestion ;
- Réglementation (européenne et nationale) ;
- Recherche appliquée ;
- Sociologie ;
- Ethnologie ;
- Économie ;
- Espèces exotiques envahissantes dans les territoires d'outre-mer ;
- Stratégie nationale ;
- Écologie aquatique et hydrobiologie ;
- Gestion de la flore invasive en milieu urbain ;
- Espèces exotiques envahissantes et infrastructures.

Animation

Les échanges entre membres du groupe se font régulièrement par le biais d'une liste de discussion. Le groupe se réunit deux fois par an et depuis 2015, une réunion par an a lieu en région (Nîmes en 2015 et Metz en 2016), avec une sortie sur le terrain. Ces réunions « délocalisées » permettent de valoriser les dynamiques locales et de renforcer la création de réseaux d'acteurs régionaux. La participation est ouverte aux membres du GT IBMA ainsi qu'aux acteurs locaux concernés par la problématique.

PRINCIPALES REALISATIONS

Tournées principalement vers les gestionnaires, les réalisations du groupe contribuent au développement d'un réseau d'informations sur toutes les questions qui se posent autour invasions biologiques. Elles peuvent se décliner en trois grandes catégories :

- **production d'outils opérationnels** d'aide à la gestion et à la décision : guide pratique de gestion, retours d'expériences de gestion, base d'informations sur les espèces introduites dans les milieux aquatiques et leur gestion ;
- **communication et échange d'informations** : plateforme internet, lettre d'information bimestrielle, informations sur les espèces à surveiller, actualités et événements ;
- **relais et mise en contact d'acteurs** : suivi des comités territoriaux, organisation d'un séminaire en 2010, participation à des sessions de formation.

OUTILS OPERATIONNELS D'APPUI A LA GESTION

Guide pratique sur la gestion des espèces exotiques envahissantes en milieux aquatiques

Résultant d'une demande explicite des membres du GT IBMA dès 2009, un bilan complet des connaissances disponibles en matière de gestion des espèces exotiques envahissantes en milieu aquatique a été réalisé par le groupe. Mis en œuvre après une enquête auprès des gestionnaires, ce bilan avait pour objectif final la publication d'un guide permettant d'identifier les méthodes de gestion les plus fréquemment utilisées pour chaque espèce, leurs coûts et leurs efficacités, pour optimiser les futures actions de gestion.

Une centaine de contributeurs a été mobilisée pour rassembler des éléments nécessaires à une réflexion claire et une démarche argumentée d'aide à la mise en place d'actions de gestion. Ce bilan a été valorisé dans deux volumes de la collection Comprendre pour agir de l'Onema, publiés en 2015 (Sarat *et al.*, 2015a et 2015b).

Le premier volume dresse un état des lieux sur les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques de métropole. Six chapitres proposent un panorama sur les connaissances scientifiques, la législation et la réglementation en vigueur à l'échelle internationale, européenne et nationale, les stratégies et les actions mises en œuvre, la démarche générale et les problématiques de gestion, les techniques de gestion ainsi que les outils à disposition des acteurs.

Le second volume offre un panorama illustré de la gestion des espèces exotiques envahissantes en milieux aquatiques, une base de réflexion et une démarche d'aide à la mise en place d'actions de gestion, tentant de tenir compte des spécificités de chaque situation (intégrant le site lui-même, l'espèce exotique à gérer et les besoins humains concernés). Vingt-six espèces différentes et cinquante-deux expériences de gestion y sont décrites.

Retours d'expérience de gestion

La rédaction de retours d'expériences de gestion est réalisée de façon continue par le GT IBMA et passe par un appel à contribution permanent. Depuis la publication du guide pratique de gestion en 2015, dix retours d'expériences de gestion supplémentaires ont été rédigés, et une quinzaine sont en cours. 62 expériences de gestion portant sur 30 espèces de faune et de flore sont actuellement disponibles sur le site internet du GT IBMA (www.gt-ibma.eu). Une cartographie dynamique a été créée afin de visualiser les résultats sur différentes échelles territoriales (figure 2).



Figure 2. Cartographie dynamique des retours d'expériences de gestion rédigées par le GT IBMA.

Chaque expérience de gestion présente :

- la structure porteuse du projet ;
- une description du site d'intervention avec une cartographie ;
- les nuisances et enjeux sur ce site ;
- les techniques d'intervention : méthode choisie, déroulement des opérations, calendrier, contraintes techniques ;
- les résultats et le bilan financier des interventions ;
- les perspectives suite à cette expérience ;
- la valorisation des actions ;
- de la documentation et les personnes ressources pour en savoir plus.

Base d'informations sur les espèces introduites et leur gestion

La base d'informations sur les espèces introduites dans les milieux aquatiques en France créée par le GT IBMA vise à centraliser, structurer et rendre disponibles les informations sur les possibilités de gestion de ces espèces. Dans sa version actuelle (2016), des informations sont accessibles sur plus de 500 espèces introduites dans les milieux aquatiques. Pour chacune d'entre elles, la base met à

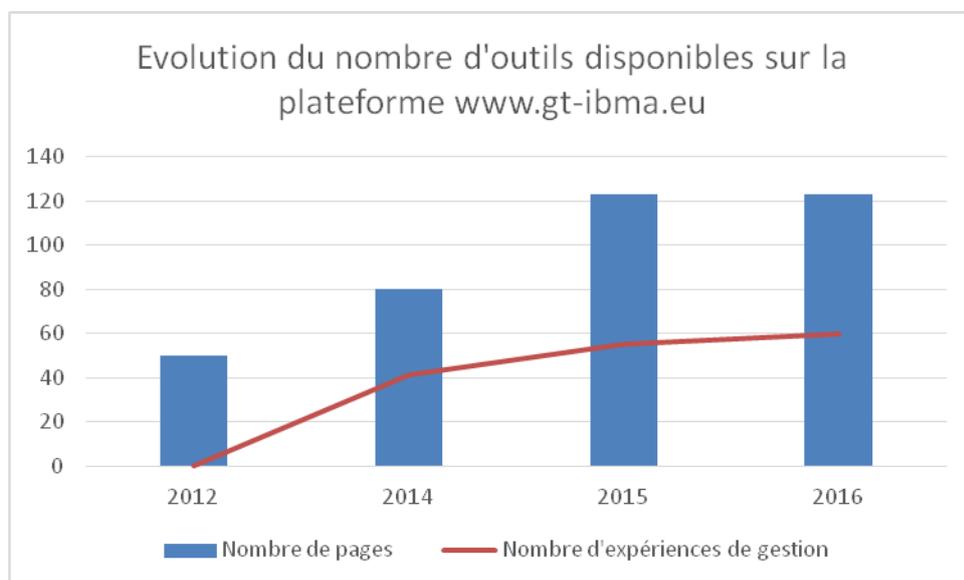
disposition les informations disponibles sur les modalités de gestion applicables en milieux aquatiques, leur historique d'introduction, les impacts qu'elles occasionnent et des liens vers leur répartition en France et en Europe. Diverses ressources sont consultables : retours d'expériences de gestion, illustrations et fiches d'identification, liens utiles, documents techniques, bibliographie et réglementation. Elle sera accessible en ligne sur le site Internet du GT IBMA à partir de l'automne 2016.

COMMUNICATION, ECHANGES ET MISE A DISPOSITION D'INFORMATION

Plateforme internet : www.gt-ibma.eu

Créé en 2012, le site internet du GT IBMA constitue une plateforme d'information sur les espèces exotiques envahissantes et leur gestion. Il met à disposition de tous les visiteurs de très nombreuses ressources et l'ensemble des outils développés par le GT IBMA : retours d'expériences de gestion, guide de gestion, base d'informations, ressources documentaires, cartographies dynamiques, éléments sur les stratégies et la réglementation à l'échelle internationale, européenne et nationale, espèces à surveiller, actualités, lettre d'information, etc.

Depuis sa création, le site a subi de nombreuses améliorations, avec notamment l'ajout de nouvelles rubriques et ressources documentaires (figure 3 et 4). Sa fréquentation a été multipliée par cinq de 2014 à 2016 et le nombre de documents téléchargés a été quadruplé durant cette même période (figure 5). Cette forte croissance de fréquentation témoigne de l'utilité du site internet du GT IBMA pour les acteurs concernés et de l'importance de cette plateforme sur le sujet à l'échelle nationale.



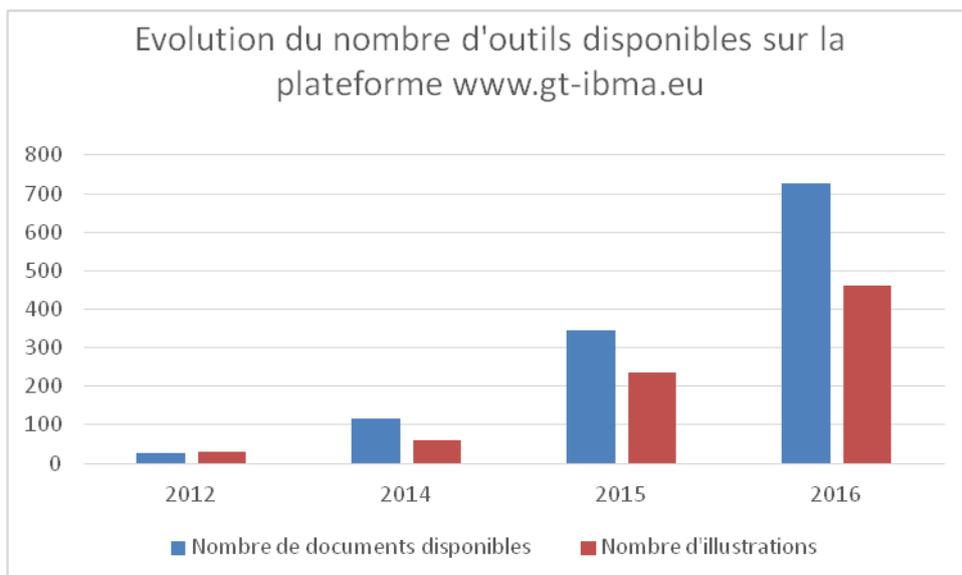


Figure 3 et 4. Evolution du nombre d'outils mis à disposition sur plateforme www.gt-ibma.eu de 2014 à 2016.

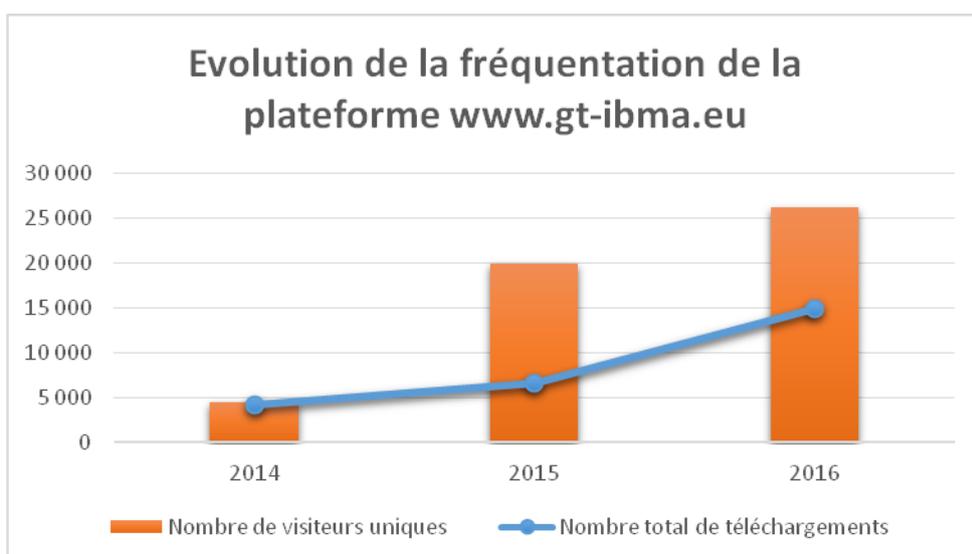


Figure 5. Evolution de la fréquentation de la plateforme www.gt-ibma.eu de 2014 à 2016.

Lettre d'information bimestrielle

Depuis 2014, à la demande des membres, le GT IBMA diffuse une lettre d'information bimestrielle à plus de 800 abonnés. Axées principalement sur des informations liées à la gestion des espèces exotiques envahissantes, différentes rubriques permettent d'informer les lecteurs sur les actions en cours à différentes échelles : international et européen, national et territorial. Elle est alimentée par les membres et le réseau élargi du GT IBMA.

D'un format de six pages, elle présente très régulièrement des dossiers complets sur des thématiques spécifiques : par exemple, le contrôle biologique, la biosécurité, la détection d'espèces par la technique de l'ADN environnemental ou encore des découvertes récentes de nouvelles espèces sur le territoire français.

En complément de sa diffusion par courriel aux abonnés, elle est accessible en ligne sur le site internet du groupe.

Organisation d'événements nationaux sur les invasions biologiques

Afin de réaliser un premier bilan sur les connaissances scientifiques et les outils et méthodes utilisés pour la gestion de ces espèces en France, le GT IBMA a organisé un séminaire sur la gestion des espèces invasives en milieux aquatiques en 2010. Cette manifestation a réuni plus de 120 participants et a permis de multiples échanges entre les acteurs de la gestion et les chercheurs sur les pratiques actuelles, les évolutions techniques et les interrogations des gestionnaires. Son succès a été notable et il a également été propice à des propositions d'orientations en matière de recherche et développement.

Outre la mise à disposition des présentations sur Internet, une valorisation des échanges qui ont eu lieu lors de ce séminaire s'est notamment faite au travers de la parution d'une note de synthèse dans la collection « Rencontre » de l'Onema. Un numéro spécial de la revue « Sciences, Eaux & Territoires » d'Irstea issu des travaux du groupe et du séminaire, dédié aux espèces invasives en milieux aquatiques et rassemblant une vingtaine d'articles est également paru en 2012.

L'équipe de coordination du groupe a activement participé à l'organisation en 2014 des premières Assises nationales « Espèces exotiques envahissantes : vers un renforcement des stratégies d'action », organisées par le Comité français de l'UICN et ses partenaires. Réunissant 200 acteurs de métropole et d'outre-mer concernés par cette problématique, les assises ont permis d'élaborer une série de recommandations et d'actions prioritaires pour renforcer et structurer l'action collective sur ces enjeux. Les recommandations concernent notamment la prévention et la sensibilisation, la mise en place de mécanismes de surveillance et de réaction rapide, l'amélioration du cadre juridique et le renforcement des moyens de gestion et de coordination. Une synthèse de ces assises a été publiée (UICN France, 2015) et constitue une base qui pourra accompagner tous les acteurs dans leurs réflexions et leurs actions pour améliorer la gestion des espèces exotiques envahissantes dans une approche globale.

Suivi des groupes de travail et comités territoriaux

Depuis 2000, différents groupes de travail en métropole et outremer ont été créés sur la thématique des invasions biologiques et de la gestion des EEE avec des modalités d'organisation et de fonctionnement très diverses. Les efforts réalisés par ces différents groupes ont permis de mieux coordonner les interventions sur diverses espèces et dans de nombreuses parties du territoire français. Le GT IBMA accompagne certains de ces groupes en métropole en assistant à leurs réunions, en alimentant leurs réflexions et en leur apportant un appui pour la réalisation d'outils. Une dizaine de groupes territoriaux sont ainsi suivis par an.

En 2015, le GT IBMA a mis en place une cartographie dynamique des groupes de travail territoriaux et acteurs impliqués en métropole dans la gestion des espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques (figure 6). Son objectif est de présenter les principaux groupes de travail territoriaux et d'illustrer la diversité d'acteurs et de territoires concernés, par le biais d'une interface conviviale et facile d'accès. Consultable sur le site du groupe, elle permet aux acteurs locaux impliqués dans la gestion des EEE d'identifier rapidement sur leur propre territoire les principaux interlocuteurs susceptibles de répondre à leurs éventuels besoins d'informations sur les EEE. Pour chaque région administrative concernée, des liens renvoient vers des pages dédiées aux groupes de travail territoriaux et structures existants.



Figure 6. Cartographie dynamique des groupes de travail territoriaux et acteurs impliqués dans la gestion des EEE en milieux aquatiques.

PERSPECTIVES

En conformité avec son programme d'action 2015-2017, le GT IBMA a prévu deux études :

- évaluation de l'efficacité des interventions de gestion des EEE en milieux aquatiques. Actuellement, les gestionnaires disposent de peu d'outils pour évaluer l'efficacité des interventions qu'ils mettent en œuvre. Il s'agira de synthétiser les informations nécessaires pour disposer de données permettant cette évaluation (diagnostics avant intervention, suivis et bilans de chantier, suivis post-interventions). Un rapport sera livré fin 2017.
- évaluation de la valorisation socio-économique des EEE en milieux aquatique comme outil de gestion en milieux aquatiques. Réalisée avec l'appui de l'Office international de l'Eau, elle présentera un panorama des projets existants en France et à l'international sur cette problématique. L'analyse des informations recueillies permettra d'établir des constats, de dresser des conclusions et de livrer quelques préconisations.

CONCLUSION

De par sa constitution, son mode de fonctionnement et ses réalisations, le GT IBMA constitue dans le contexte national actuel une plateforme originale de communication et de discussion sur la gestion des espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques.

Après presque 10 ans d'existence, quelques « ingrédients » de son succès peuvent être identifiés. L'un d'entre eux est sans conteste le mode de fonctionnement flexible et ouvert du groupe : toute personne intéressée, disposant de compétences sur le sujet et souhaitant partager informations et réflexions sur les invasions biologiques peut le rejoindre. Cette souplesse est à l'origine de la richesse des réflexions, de la créativité des échanges et de la diversité des membres, mêlant ainsi gestionnaires, institutionnels et chercheurs.

L'animation et la coordination des activités du GT IBMA repose sur une équipe (les co-auteurs) et s'inscrit dans le cadre d'un partenariat entre un établissement public et une association nationale. Finançant le fonctionnement du groupe, l'Onema est implanté à l'échelle territoriale et nationale et impliqué dans l'élaboration de politiques publiques en matière de gestion des milieux aquatiques et de projets de recherche appliquée. Le Comité français de l'UICN, grâce à son réseau d'organismes

membres et d'experts, est une plate-forme unique de dialogue et d'expertise sur les enjeux de la biodiversité. Il dispose d'une expertise nationale sur les espèces exotiques envahissantes (outre-mer et métropole), formule des recommandations pour renforcer les actions face à cette menace et assure le lien entre les connaissances et les politiques publiques.

Enfin, le partage et le dialogue entre les différents acteurs de la gestion des espèces exotiques envahissantes sont indispensables. La coordination, le transfert d'informations scientifiques et/ou techniques validées à l'ensemble des parties prenantes confrontées à ces espèces est nécessaire et constitue le meilleur moyen d'améliorer à moyen terme la gestion de ces espèces. Le GT IBMA offre cet espace de partage et de dialogue, par le biais des différentes manifestations organisées (réunions, événements, sessions de formation) et contribue à la création, dans une ambiance conviviale, de réseaux d'acteurs durables sur la thématique.

BIBLIOGRAPHIE

Dutartre, A., Mazaubert, E., Poulet, N., 2012. Le groupe «Invasions biologiques en milieux aquatiques»: origines, réalisations, perspectives. Sciences Eaux et Territoires, 6 : 12–17.

UICN France. 2015. Synthèse des assises nationales « Espèces exotiques envahissantes : vers un renforcement des stratégies d'action » - Orléans, 23, 24 et 25 septembre 2014. Paris, France. 77 p.

Sarat E., Mazaubert E., Dutartre A., Poulet N., Soubeyran Y. 2015a. Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques : connaissances pratiques et expériences de gestion. Volume 1 : Connaissances pratiques. Onema. Collection comprendre pour agir. 252 p.

Sarat E., Mazaubert E., Dutartre A., Poulet N., Soubeyran Y. 2015b. Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques : connaissances pratiques et expériences de gestion. Volume 2 : Expériences de gestion. Onema. Collection comprendre pour agir. 242 p.
gestion. Volume 2 : expériences de gestion. Onema. Collection comprendre pour agir. 240 p.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**NOUVELLE METHODE DE FERTILISATION POUR AMELIORER L'ACTIVITE
PHYSIOLOGIQUE DES GAZONS**

S. GROLLEAU⁽¹⁾

⁽¹⁾ COMPO EXPERT – 49, avenue Georges Pompidou 95593 Levallois Perret cedex – France ;
Stephane.grolleau@compo-expert.fr

RÉSUMÉ

Les gazons sportifs ou d'ornement peuvent être des poumons verts dans les villes urbanisées. Leur activité physiologique est une des clés pour que ce rôle soit rempli. La fertilisation écologiquement responsable des gazons associée à certains micro-organismes naturels de type rhizobactéries PGPR peut apporter des solutions.

C'est dans ce but que l'entreprise COMPO EXPERT France s'est appuyé sur deux partenaires du réseau Astredhor (GIE et STEPP) pour mener des études de séquestration du CO₂, par le gazon nourri avec de nouvelles technologies d'engrais à libération lente issues de la Recherche développement associées à l'inoculum E4CDX2, préparation microbienne homologuée comme additif agronomique pour les matières fertilisantes en France. Des études complémentaires ont également été menées sur la présence d'herbes indésirables en partenariat avec un lycée agricole. (Fonlabour-Albi-82).

Mots-clés : Fertilisation – Rhizobactérie – CO₂ – Gazons – Engrais à libération lente.

ABSTRACT

NEW METHOD OF FERTILIZATION TO IMPROVE THE PHYSIOLOGICAL ACTIVITY OF LAWNS

The sports lawns or of ornament can be green lungs in the urbanized cities. Their physiological activity is one of the keys for this role to be filled. The fertilization ecologically responsible of the lawns associated with certain natural microorganisms of type rhizobacteria PGPR can bring solutions. It is to this end that the COMPO EXPERT France company relied on two partners of the network ASTREDHOR (GIE and STEPP) to conduct CO₂ sequestration studies, by the lawns nourished with new technologies of manure with slow release exits of Research development associated with inoculum E4CDX2, microbial preparation approved as additive agronomic for the fertilizing matters in France. Des complementary studies were also carried out on the presence of undesirable grasses in partnership with an agricultural college. (Fonlabour-Albi-82).

Keywords : Fertilization – Rhizobacteria – CO₂ – Lawns – Slow release fertilizer.

INTRODUCTION

Le réchauffement climatique est un problème mondial qui a des conséquences sur l'avenir de notre planète. Les activités humaines, industrielles ou agricoles sont des accélérateurs du phénomène. En Europe de l'Ouest, les zones montagneuses (fonte des glaciers) sont particulièrement concernées. L'impact dans les grandes villes est également important notamment dans les zones très urbanisées. L'une des pistes à explorer pour tenter de freiner le phénomène, au-delà de réduire nos consommations d'énergie, est d'encourager à la végétalisation de ces grandes métropoles en favorisant la création d'espaces verts. Dans le même temps, les autorités françaises, dans le cadre du plan ecophyto puis des différentes lois (Labbé, article 68 de la loi de transition énergétique), ont pour objectif de limiter voire d'interdire le recours à l'utilisation de produits phytopharmaceutiques dans les JEV (Jardins, Espaces Végétalisés et Infrastructures) tout en encourageant dans le même temps l'innovation au travers d'itinéraires alternatifs.

COMPO EXPERT est une entreprise d'origine Allemande spécialisée dans la fabrication d'engrais spéciaux de haute technologie selon 2 critères prioritaires : l'efficacité et le respect de l'environnement. L'entreprise investit beaucoup dans l'innovation et propose à partir de l'automne 2016 deux innovations : la première consiste en la mise au point d'engrais à libération lente dotés de 2 formes d'azote de synthèse organique pour la première fois associées, la 2e consiste en l'obtention de l'homologation de l'inoculum E4CDX2 (souche de *Bacillus amyloliquefaciens*) en tant qu'additif agronomique aux matières fertilisantes. L'étude proposée vise à vérifier si l'association d'engrais à libération lente de nouvelle génération associé à cette rhizobactérie pouvait apporter une solution d'avenir pour pérenniser la qualité des gazons et si le rôle de poumons verts des végétaux pouvait être renforcé avec une fertilisation adaptée et raisonnée.

MATERIEL ET MÉTHODE

L'essai est mis en place en mars 2015 (semaine 12) pour une durée d'un an. Il est localisé sur une plateforme extérieure couverte d'une toile hors sol sur le site du GIE Fleurs et Plantes du Sud-ouest (Villeneuve d'Ornon - 33) et de la STEPP Bretagne ((Langueux-22).

L'essai est mené sur un gazon de plaquage type « sport » Sa composition est la suivante :

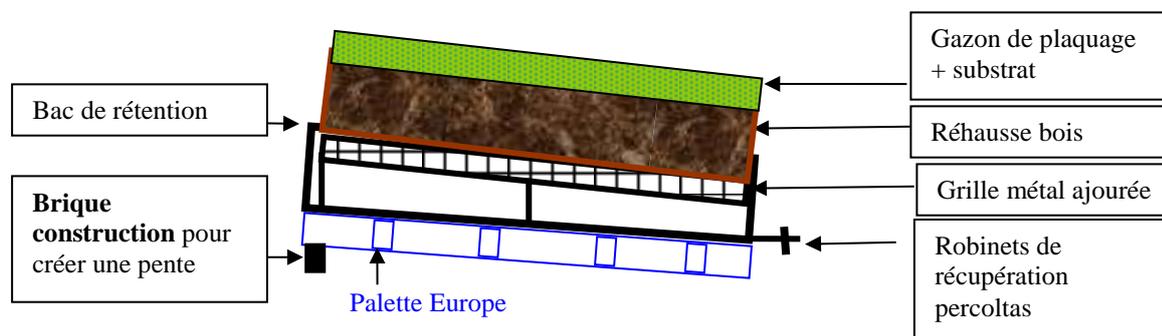
- Ray Grass Anglais (50%)
- Pâturin des Prés (40%)
- Fétuque Rouge demi-traçante (10%)

Le sol est constitué de 60% terre végétale, 40% de sable, et enrichi avec l'amendement organique Karisol, à hauteur de 2%.

L'arrosage se fait par 15 tuyères escamotables RainBird Série VAN 1804 et Buses MPR 10 VAN pour une portée de 2,7 m à 1,5 bars. Cinq tuyères sont centrales pour un arrosage à 360 °, 4 tuyères sont situées en coin pour un arrosage à 90°C ; et 6 tuyères sont positionnées latéralement avec un arrosage à 180°. L'eau d'arrosage provient du forage. Environ 10 L/m² à chaque apport. Les apports sont définis en fonction de la température et des conditions météorologiques.

Chaque casier lysimétrique (Figure 1) est constitué d'une cuve de rétention de 250 L en PEhd (1,2 m de long x 0,80 m de large x 0,33 m de haut) posée sur une palette inclinée et mise à niveau. La cuve est équipée d'un robinet pour évacuer les lixiviats. Un caillebotis en métal est posé sur le bac de rétention. Il est recouvert d'une toile hors sol perméable pour limiter les infiltrations de substrat. Une rehausse bois est posée sur le bac pour servir de cadre au support de culture : elle fait 20 cm (nouveaux modèles, 12 bacs) ou 30 cm de haut (anciens modèles, 21 bacs) selon les bacs. Chaque bac est entouré individuellement d'un plastique pour limiter la pénétration de l'eau d'arrosage par d'autre moyen que l'infiltration.

Figure 1 : Détail d'un casier lysimétrique



Les modalités expérimentales sont au nombre de 11 et correspondent aux différents programmes de fertilisation résumés dans les tableaux ci-dessous (Tableaux 1 et 2). Au total 4 applications d'engrais ont été effectuées à l'aide d'une 'salière' en mai, juillet, septembre et décembre L'essai est réalisé en 3 blocs complets.

Tableau I : Composition des différents programmes de fertilisation par modalité sur le site du GIE

Code COMPO	Dose g/m ²	Mai	Juillet	Sept.	Déc.	Equiv. N total/ha/an
TNF	Témoin Non fertilisé	-	-	-	-	0
01.E.EV.15	Floranid Gazon	25	25	25	20	190
02.E.EV.15	Floranid Twin Gazon	25	25	25	20	190
16.E.EV.15	Basafilm gazon extra	26	26	26	21	190
17.E.EV.15	Basafilm Twin gazon	26	26	26	21	190
04.E.EV.15	Floranid club	50	50	50	40	190
05.E.EV.15	Floranid Twin club	50	50	50	40	190
18.E.EV.15	Basafilm club extra	50	50	50	40	190
19.E.EV.15	Basafilm Twin club	50	50	50	40	190
09.E.EV.15	Floranid permanent	31	31	31	25	190
10.E.EV.15	Floranid Twin permanent	31	31	31	25	190

Tableau II : Composition des différents programmes de fertilisation par modalité sur le site de la STEPP

Code COMPO	Dose g/m ²	Mai	Juillet	Sept.	Déc.	Equiv. N total/ha/an
TNF	Témoin Non fertilisé	-	-	-	-	0
01.E.EV.15	Floranid Gazon	25	25	25	20	190
02.E.EV.15	Floranid Twin Gazon	25	25	25	20	190
16.E.EV.15	Basafilm gazon extra	26	26	26	21	190
17.E.EV.15	Basafilm Twin gazon	26	26	26	21	190
04.E.EV.15	Floranid club	50	50	50	40	190
05.E.EV.15	Floranid Twin club	50	50	50	40	190
18.E.EV.15	Basafilm club extra	50	50	50	40	190
19.E.EV.15	Basafilm Twin club	50	50	50	40	190
09.E.EV.15	S. Floranid Twin gazon BS	31	31	31	25	190
10.E.EV.15	Floranid Twin Résistance BS	31	31	31	25	190

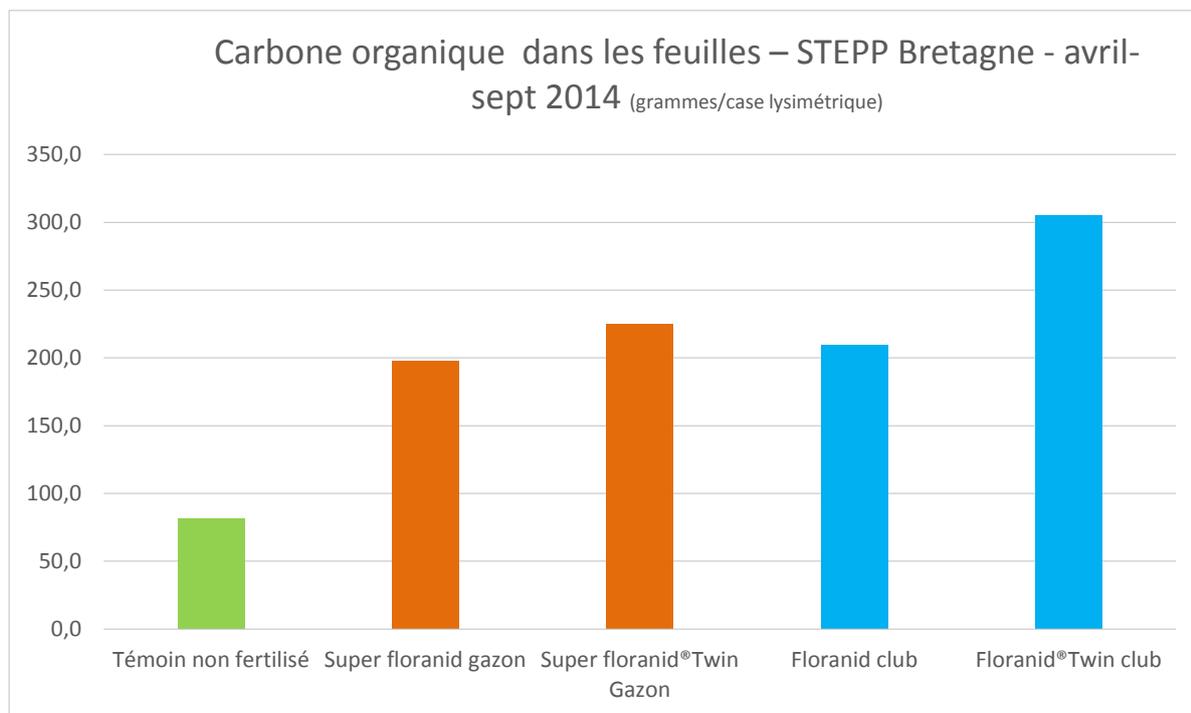
Tableau III : Composition des différents programmes de fertilisation par modalité sur le site du lycée agricole de Fonlabour

Modalités		Avril	mi Juin	mi Sept	Mi-Nov	Equiv. N total/ha/an	
Modalité	Produit	Dose g/m2	Dose g/m2	Dose g/m2	Dose g/m2		
1	0	Témoin	0	0	0	0	
2	50	Super floranid Twin gazon BS	7g d'engrais soit 12,5 unités de N	7 g d'engrais 12,5 unités de N	7 g d'engrais 12,5 unités de N	7 g d'engrais 12,5 unités de N	50
3	100	Super floranid Twin gazon BS	13 g d'engrais 25 unités de N	13 g d'engrais 25 unités de N	13 g d'engrais 25 unités de N	13 g d'engrais 25 unités de N	100
4	150	Super floranid Twin gazon BS	19 g d'engrais 37,5 unités de N	19 g d'engrais 37,5 unités de N	19 g d'engrais 37,5 unités de N	19 g d'engrais 37,5 unités de N	150
5	200	Super floranid Twin gazon BS	25 g d'engrais 50 unités de N	25 g d'engrais 50 unités de N	25 g d'engrais 50 unités de N	25 g d'engrais 50 unités de N	200
6	250	Super floranid Twin gazon BS	32 g d'engrais 62,5 unités de N	32 g d'engrais 62,5 unités de N	32 g d'engrais 62,5 unités de N	32 g d'engrais 62,5 unités de N	250
7	300	Super floranid Twin gazon BS	38 g d'engrais 75 unités de N	38 g d'engrais 75 unités de N	38 g d'engrais 75 unités de N	38 g d'engrais 75 unités de N	300
8	350	Super floranid Twin gazon BS	44 g d'engrais 87,5 unités de N	44 g d'engrais 87,5 unités de N	44 g d'engrais 87,5 unités de N	44 g d'engrais 87,5 unités de N	350
9	400	Super floranid Twin gazon BS	50 g d'engrais 100 unités de N	50 g d'engrais 100 unités de N	50 g d'engrais 100 unités de N	50 g d'engrais 100 unités de N	400

RESULTATS

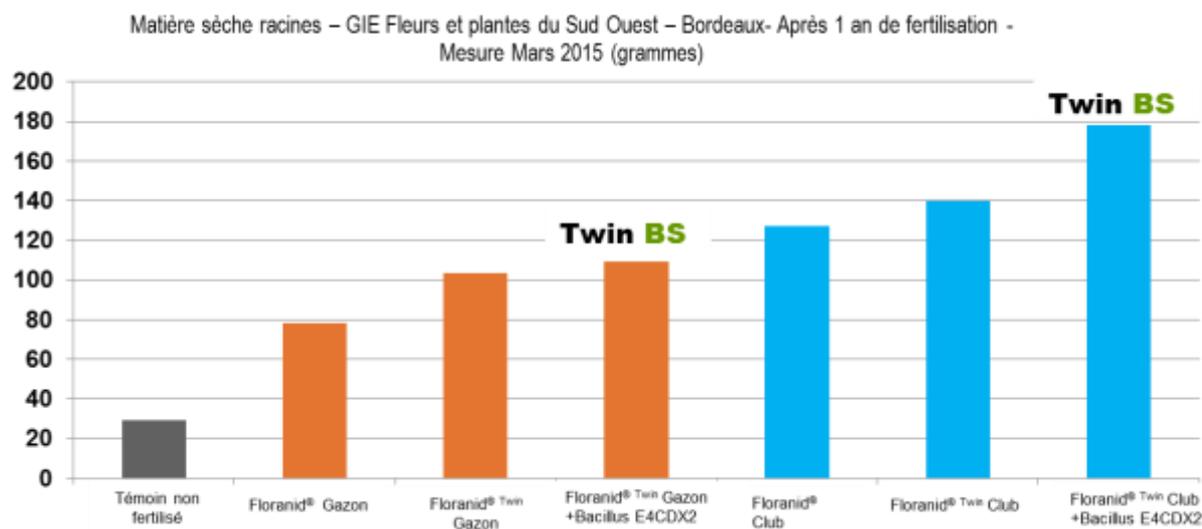
Mesure du carbone organique dans les feuilles de gazon.

Cette mesure est effectuée par un laboratoire privé sur la matière sèche foliaire produite d'avril à septembre 2014. Le carbone organique est significativement plus élevé dans les modalités fertilisées comparé au témoin non fertilisé ; La nouvelle technologie Twin apporte un plus, notamment pour l'équilibre potassique.



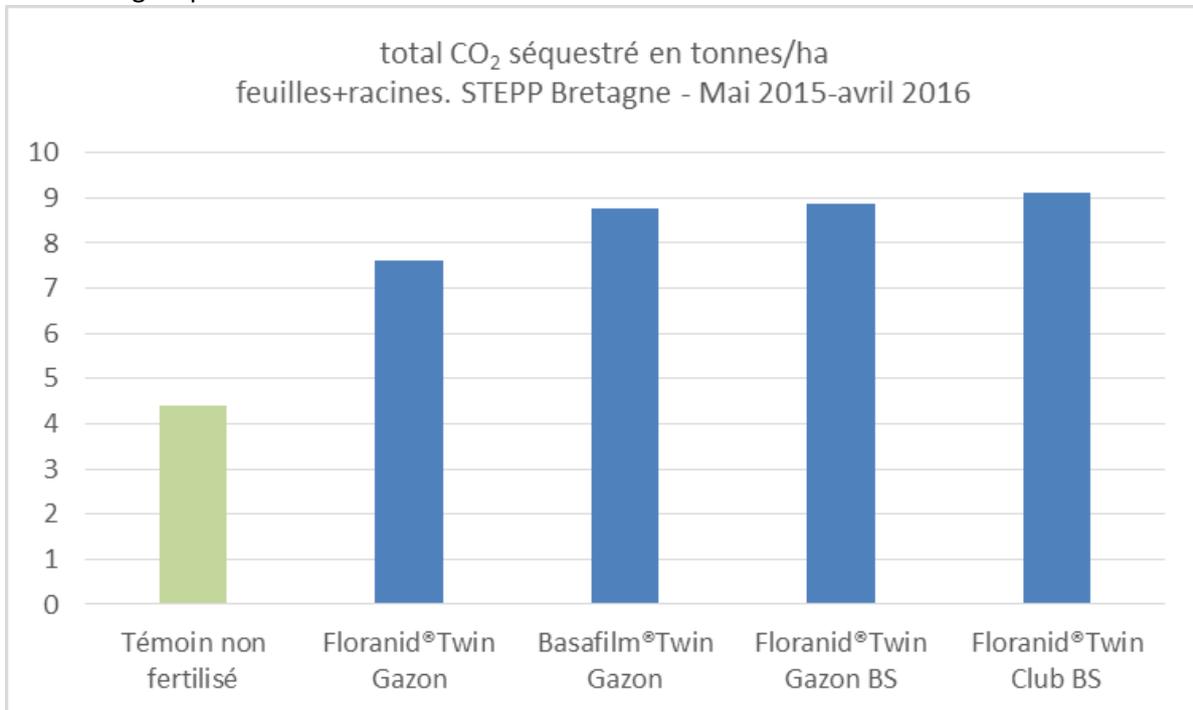
Mesure du développement du système racinaire

Mesure effectuée par récolte du système racinaire après 1 an de fertilisation. Le système racinaire est nettoyé du substrat puis passé en étuve. Mesure effectuée sur la matière sèche. Le gazon fertilisé présente un système racinaire dense très ramifié. La combinaison azote à libération lente avec l'inoculum Bacillus E4CDX2 apporte un plus non négligeable.



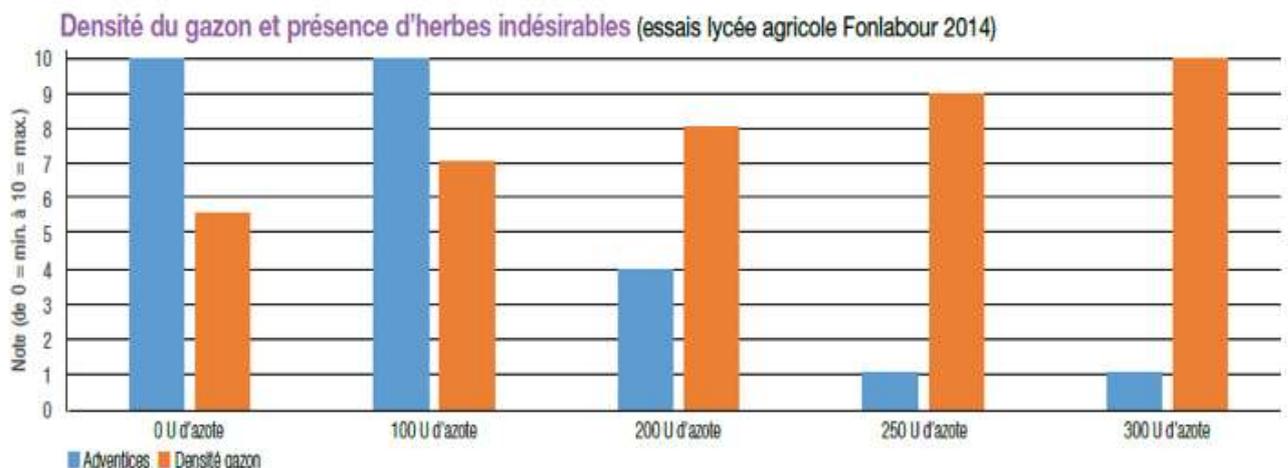
Mesure du CO₂ séquestré dans le gazon

La valeur est obtenue par calcul à partir du cumul de carbone organique mesuré dans le cumul de matière sèche provenant des feuilles de gazon et du système racinaire. L'apport d'engrais à libération lente accentue de manière significative le CO₂ capté par la végétation et séquestré sous forme de carbone organique.



Evaluation de la présence d'herbes indésirables dans le gazon.

Cette évaluation en pourcentage de surface occupée est effectuée à plusieurs niveaux de fertilisation basée sur la fertilisation azotée (élément nutritif le plus important pour le gazon) pour un même engrais (Super Floranid Twin Gazon avec Bacillus E4CDX2). Les résultats démontrent une corrélation entre le niveau de fertilisation effectué, la densité du gazon et la présence d'adventices. Un niveau de nutrition suffisant du gazon accentue grandement sa densité et par conséquent indirecte, la place laissée aux herbes indésirables pour s'installer est réduite.



À partir de 200 U d'azote, la densité du gazon est nettement améliorée et la présence d'herbes indésirables réduite.

- elles présentent l'indice d'activité le plus élevé (grande efficacité de l'azote, peu de pertes par lessivage ou volatilisation)
- Leur mode de dégradation différent les rend complémentaires : l'une se minéralise principalement par hydrolyse (Isobutylidène diurée) et l'autre principalement par voie microbienne (Crotonylidène diurée). Le Crotonylidène diurée présente aussi une vitesse de minéralisation plus progressive grâce, semble-t-il, à sa forme cyclique lui conférant une stabilité plus élevée à la minéralisation.

Enfin l'association de ces formes d'azote à libération avec l'inoculum bactérien E4CDX2 ouvre une nouvelle voie dans la fertilisation des gazons. Ce micro-organisme dispose d'une homologation matière fertilisante en France (AMM n°1000030) depuis le printemps 2016 en tant qu'additif agronomique. La notion d'additif agronomique est clairement définie aujourd'hui : il s'agit d'un constituant visant à donner à l'engrais ou à l'amendement minéral basique (ou au support de culture) une propriété fertilisante nouvelle que ne permettent pas d'obtenir les composants principaux. Tout additif agronomique doit disposer d'une homologation en France pour être mis en marché.

Après un travail des professionnels entre 2007 et 2010, les autorités françaises ont publié des normes « additif agronomique » et notamment la NFU 44-204 (septembre 2011) qui permet d'associer un additif agronomique homologué à des engrais à condition que ceux-ci rentrent dans le cadre de la norme NFU42001 ou du règlement CE 2003/2003

Bacillus amyloliquefaciens E4CDX2 est une bactérie PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria). Elle rentre dans la catégorie des Biofertilisants. Le terme biofertilisant désigne des microorganismes PGPR capables d'augmenter la disponibilité et l'absorption des éléments nutritifs (Vessey et al. 2003)

Elle se développe dans la rhizosphère en formant un biofilm sur le système racinaire du gazon. La relation est de type mutualiste : *Bacillus* E4CDX2 va se nourrir des exsudats racinaires et va alors générer un spectre de composés « hormone like », biologiquement actifs qui élicitent la promotion de la croissance et de l'enracinement sur le gazon et sa tolérance aux stress abiotiques. Le comportement général du gazon est alors amélioré. *Bacillus amyloliquefaciens* E4CDX2 va ainsi rendre l'alimentation du gazon plus optimale grâce à une meilleure exploration des racines dans le sol mais aussi par son action sur la solubilisation de certains éléments nutritifs notamment le phosphore organique ou minéral du sol grâce à la synthèse d'enzymes de type phosphatases. L'association des engrais à libération lente avec cette bactérie E4CDX2 permettra ainsi de réduire la fertilisation phosphatée.

CONCLUSION

Grâce à un travail de recherche et développement et un travail réglementaire important mené par l'entreprise, il est désormais possible d'associer dans un même engrais plusieurs formes d'azote à libération lente très performantes, L'Isodur et le CrotoDur, avec un micro-organisme naturel de type bactérien homologué en tant qu'additif agronomique *bacillus amyloliquefaciens* E4CDX2. Cette association apporte un vrai bénéfice pour l'entretien des gazons car en rendant le gazon plus dense plus actif, plus apte à tolérer les stress abiotiques, son métabolisme est amélioré rendant d'une part plus importante sa faculté à capter le CO₂ atmosphérique et donc de contribuer à rendre les zones urbaines plus agréables à vivre en limitant l'effet des gaz à effet de serre. D'autre part, ce gazon plus dense laisse moins de place aux herbes indésirables de s'installer afin de les maintenir à un seuil acceptable pour l'entretien et l'aspect esthétique des espaces publics.

REMERCIEMENTS

L'entreprise COMPO EXPERT France tient à remercier les stations du GIE Fleurs et Plantes du Sud Ouest et la STEPP Bretagne pour la mise en œuvre et le suivi des essais menés pour son compte entre 2013 ET 2016. L'entreprise remercie également le lycée agricole de Fonlabour pour la mise en place et le suivi du programme pédagogique proposé aux élèves dans le cadre de l'expérimentation sur les herbes indésirables.

BIBLIOGRAPHIE

- Adesemoye A.O., Torbert H.A., Kloepper J.W.** (2009). Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbiology Ecology*, 58: 921-929
- Beauregard P.B., Chai Y., Vlamakis H., Losick R., Kolter R.** (2013). *Bacillus subtilis* biofilm induction by plant polysaccharides. *Proceedings of the National Academy of Science*, 110 (17): 1621-1630
- Borris R.** (2011). Use of Plant-associated *Bacillus* strains as biofertilizers and biocontrol agents in agriculture ; Chapitre 3 in "*Bacteria in Agrobiologie : Plant Growth Responses*" ; Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011
- Chisso- Asahi Hir Kabushiki Kaisha**—Tokyo- Mode de dégradation du crotonylidène diurée – (1971)
- Kloepper J.W., Reddy M.S., Rodriguez-Kabana R.** (2004). Application for rhizobacteria in transplant production and yield enhancement. *Acta Horticulturae*, 631: 217-229
- Kloepper J.W., Guttierrez-Estrada A., McInroy J.A.** (2007). Photoperiod regulates elicitation of growth promotion but not induced resistance by plant growth-promoting rhizobacteria. *Canadian Journal of Microbiology*. 53: 15-167
- Kumar A., Prakash A., Johri B.N.** (2011). *Bacillus* as PGPR in Crop Ecosystem ; Chapitre 2 in "*Bacteria in Agrobiologie : Crop Ecosystems*" ; Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011
- Lugtenberg & Kamilova** (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63: 541-56
- Qiao J.Q., Wu H.J., Huo R., Gao X.W., Borriss R.** (2014). Stimulation of plant growth and biocontrol by *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* FZB42 engineered for improved action. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1:12
- Dr Sigrid Jürgens-Gschwind** – Les engrais azotés à action lente : propriétés et avantages (Limburgerhof-1974)
- Société Française des Gazons**- Encyclopédie des gazons – Septembre 1990

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DU RAYONNEMENT REÇU PAR LA PELOUSE DE QUATRE
STADES DE L'EURO 2016**

S. LABOISSE^{(1),(2)}, A.-J. ESCOBAR-GUTIERREZ⁽¹⁾, J.-M. HURLUS⁽²⁾ et D. COMBES⁽¹⁾

⁽¹⁾ INRA UR4 – Unité de Recherche Pluridisciplinaire Prairies et Plantes Fourragères, Centre de recherche de Poitou-Charentes, Le chêne – RD150 – CS 80006, 86600 LUSIGNAN, FRANCE, samuel.laboisse@inra.fr, abraham.escobar@lusignan.inra.fr, didier.combes@lusignan.inra.fr

⁽²⁾ TERENVI, Le Zand Put Houck, 59670 WINNEZEELE, FRANCE, jmhurlus@terenvi.com

RÉSUMÉ

La qualité d'une pelouse naturelle dans un stade de football dépend du microclimat régnant dans celui-ci. Elle joue non seulement un rôle important dans la pratique sportive mais aussi vis-à-vis de la perception des spectateurs et du rendu télévisuel. Des pelouses de mauvaise qualité impliquent un changement régulier de ces surfaces pour un surcoût financier important. Or la majorité des stades n'a pas été configuré pour optimiser les conditions microclimatiques pour la pelouse. On se propose ici de se focaliser sur un paramètre microclimatique fondamental pour la croissance des plantes : la lumière. L'objectif est de simuler l'architecture de quatre stades utilisés lors de l'Euro 2016 en France pour calculer l'éclairement reçu au niveau de la pelouse. Cette approche a permis d'identifier des différences d'éclairement selon la position sur la pelouse, et de déterminer l'effet de la latitude et de l'architecture des stades.

Mots-clés : pelouse sportive, environnement lumineux, stade de football, simulation, microclimat.

ABSTRACT

SPACE-TIME ANALYSIS OF RADIATION RECEIVED BY PITCH OF FOUR STADIA USED DURING EURO 2016

Quality of natural grass pitch in a football stadium largely depends on the microclimate prevailing inside. This area not only plays a key role in the match but also in the spectator perception and for the television aesthetics. Bad quality pitches requires a regular change of this turf for a significant financial cost. The majority of stadia has not been built to optimize the microclimate for pitches yet. This study focuses on a fundamental microclimatic parameter for plant growth: light. The goal is to simulate the architecture of four stadia used in Euro 2016 in France to calculate the irradiance received at the pitch level. This approach allowed to identify irradiance differences depending on the position on the pitch, and to determine the effect of latitude and stadia architecture.

Keywords: pitch, light environment, football stadium, simulation, microclimate.

INTRODUCTION

Les stades sont devenus des édifices multifonctionnels en plus de leur vocation première d'accueillir des matchs de football (Van Hooff et al., 2011). Des milliers de spectateurs ainsi que des équipes professionnelles les utilisent, et ils servent de vitrine au monde entier pour montrer la capacité d'un pays à organiser des événements de grand envergure comme la coupe du monde ou un championnat à l'échelle continentale. La pelouse en particulier est un des éléments majeurs de ces édifices puisque dans le cas des événements sportifs c'est la partie du stade qui concentre l'attention des spectateurs et qui conditionne en partie la qualité du match. Cette surface doit être de grande qualité pour permettre un jeu fluide et spectaculaire (Hughes et al., 2013), de bons appuis pour les joueurs, et une bonne esthétique en termes de retransmissions télévisées.

Pour ces raisons, au cours du championnat d'Europe de football UEFA 2016 (Euro 2016) qui a été organisé en France en 2016, qui est une des compétitions de football les plus importantes du monde (Winter and Pfeiffer, 2016), les pelouses de certains stades accueillant des matchs ont été changées quelques semaines avant le début de la compétition. Les nouvelles pelouses étaient conditionnées en rouleaux et provenaient de gazonnières de plein champs. Les graminées présentes dans les gazons ont vu leur qualité décroître dans les semaines suivant leur installation. Cette diminution de la qualité globale des pelouses sportives semble fortement liée aux changements des conditions microclimatiques entre les gazonnières et l'intérieur des stades. En effet les caractéristiques microclimatiques de l'environnement influencent la qualité d'une pelouse (Beard, 1974). Par ailleurs les stades sont considérés comme des espaces semi-extérieurs (Spagnolo and de Dear, 2003), donc avec des environnements microclimatiques différents par rapport à un espace ouvert.

De manière générale, les plus grands stades de football sont dessinés avant tout pour répondre à des attentes en termes de confort des spectateurs (Van Hoof et al., 2011). Des études microclimatiques ont été conduites pour comprendre l'évolution de la température, de la lumière ou du vent en fonction des éléments d'architecture et leurs effets sur le confort des spectateurs (Bouyer et al., 2005 ; Szücs et al., 2007, 2009 ; Van Hoof et al., 2011). Il a été prouvé par Szücs et al., 2006 que l'ombre portée sur les tribunes des stades dépendait de l'orientation et de la géométrie du stade ainsi que des caractéristiques des matériaux utilisés pour les avancées de toiture, les casquettes. Néanmoins peu d'études évoquent la quantité de lumière reçue par la pelouse dans des stades comme ceux qui ont accueilli des matchs de l'Euro 2016.

Or la lumière est un élément de l'environnement primordial pour assurer la survie des plantes. Elle est la source d'énergie qui permet la réalisation de la photosynthèse. Ce procédé est contrôlé par la densité de flux du rayonnement incident (Woodward and Sheehy, 1983). Elle joue également un rôle dans la température des feuilles, puisque le surplus de photons absorbé et non utilisé par la photosynthèse contribue à l'établissement de la température de l'organe. Des processus vont alors se mettre en place pour réguler cette température, comme par exemple l'évapotranspiration.

Notre étude se propose d'analyser la quantité de rayonnement reçu au niveau des pelouses à l'intérieur des stades. Cette approche est basée sur des simulations qui prennent en compte les effets de l'architecture de chacun des stades évalués ainsi que les variations saisonnières de rayonnement solaire incident. Une telle étude contribue à une meilleure compréhension du microclimat lumineux des stades et d'envisager les raisons des faibles qualités des pelouses pour certains d'entre eux.

MATERIEL ET MÉTHODE

Choix des stades

Parmi les 10 stades utilisés pour l'Euro 2016, quatre ont été sélectionnés pour cette étude.

Tableau I : Caractéristiques des stades choisis pour l'étude
(Stadia characteristics selected for the study)

Nom	Pierre Mauroy	Stade de France	Matmut Atlantique	Vélodrome
Localisation	Villeneuve-d'Ascq (près de Lille)	Saint-Denis (près de Paris)	Bordeaux	Marseille
Coordonnées GPS	50.61° N 3.13° E	48.92° N 2.36° E	44.90° N 0.56° W	43.27° N 5.40° E
Catégorie et sous-catégorie (Bouyer et al., 2005)	2. stade compact semi-ouvert 2. A. Elliptique ou rectangulaire avec des coins arrondis	2 stade compact semi-ouvert 2. A. Elliptique ou rectangulaire avec des coins arrondis	2 stade compact semi-ouvert 2. A. Elliptique ou rectangulaire avec des coins arrondis	3. Stade discontinue 3. A. Symétrique
Type	Construit	Conservé sans modification	Construit	Rénové

Les catégories et sous-catégories proposées sont issues de la classification morphologique établie par Bouyer et al., 2005. Le type fait référence à la voie de modernisation engagée pour les stades en rapport avec l'organisation de l'Euro 2016 en France. Les stades de Bordeaux et de Lille ont été construits pour l'événement, le stade de Marseille a vu sa capacité augmenter de 7000 places et un toit a été construit. Enfin le Stade de France n'a pas connu de modification importante depuis sa construction à l'occasion de la Coupe du Monde de football en 1998.

Les stades choisis présentent quelques-unes des plus grandes capacités en termes de public sur le territoire français. Le stade de France est le plus grand (81338 places), puis vient le stade Vélodrome (67354 places). Le stade Pierre Mauroy est 4^{ème} (49834 places) et le stade Matmut Atlantique 6^{ème} (42115 places). Tous ces stades sont considérés comme « fermés », c'est-à-dire que la structure latérale accueillant le public ne contient pas d'espace permettant le passage de vent ou de lumière.

La localisation des quatre stades étudiés suit un gradient de latitude du plus septentrional pour le stade de Lille au plus méridional pour le stade de Marseille. Par ailleurs ils sont exposés à quatre climats différents (Joly et al., 2010) :

- Le stade de Marseille se situe sous climat méditerranéen ;
- Le stade de Bordeaux se situe sous climat océanique ;
- Le stade Saint-Denis se situe sous climat océanique dégradé ;
- Le stade de Villeneuve-d'Ascq se situe au niveau de la transition entre climat océanique vrai et climat océanique dégradé.

Choix des éléments architecturaux

Les éléments architecturaux correspondent à l'ensemble des caractéristiques physiques d'un stade qui détermine sa position dans l'espace comme par exemple la hauteur de ses côtés, son ouverture centrale, la dimension de son toit, son nombre de tribunes. D'après (Szücs et al., 2006), la dimension de plusieurs éléments d'architecture a été comparé, dans les deux sens de la pelouse (longueur et largeur) : la distance entre l'aplomb de la casquette et le bord de la pelouse, la dimension de l'ouverture centrale du toit et la hauteur de la casquette à l'extrémité supérieure. La casquette désigne l'avancée du toit sur la partie centrale du stade.

Table II : Caractéristiques des éléments architecturaux des stades sélectionnés.
(Characteristics of architectural elements selected for each stadium)

	Longueur			Largueur		
	Distance pelouse / aplomb du toit (m) ⁽¹⁾	Dimension ouverture centrale (m) ⁽³⁾	Hauteur toit (m) ⁽²⁾	Distance pelouse / aplomb du toit (m) ⁽¹⁾	Dimension ouverture centrale (m) ⁽³⁾	Hauteur toit (m) ⁽²⁾
Lille	+8	121	45	+6	80	45
Saint-Denis	+28	161	46	+17	102	43
Bordeaux	+6	117	31	+6	80	32
Marseille	+13	131	41	+9	86	63

⁽¹⁾ L'écart positif signifie que la pelouse n'est pas couverte à l'aplomb du bord de la casquette.

⁽²⁾ Le segment est mesuré au niveau du bord supérieur de la casquette, à l'aplomb du sol.

⁽³⁾ La dimension donnée passe par le centre du terrain.

Détermination du rayonnement incident au niveau de la pelouse

Le modèle SPCTRAL2 (Bird and Riordan, 1986) a été utilisé pour calculer les composantes directes et diffuses de l'éclairement à la surface de la Terre pour des conditions de ciel sans nuage. L'éclairement incident théorique que nous avons calculé est la somme de l'éclairement direct et de l'éclairement diffus reçu par unité de surface à un instant donné.

Le rayonnement théorique correspond au rayonnement incident juste au-dessus des stades, en ne tenant pas compte des modifications dues aux effets de l'atmosphère et à ses changements physiques journaliers (nébulosité). Il a été utilisé pour calculer les valeurs de rayonnement à l'intérieur des stades en prenant en compte le taux de transmission de leurs éléments architecturaux qui ont tous été considérés comme opaques.

Le logiciel de simulation VegeSTAR (Adam et al., 2006), qui a été développé pour calculer le rayonnement intercepté par un couvert végétal à partir de sa représentation 3D, a été utilisé pour déterminer le pourcentage de rayonnement solaire transmis entre les éléments architecturaux des stades à partir du rayonnement solaire théorique.

Sorties du modèle et traitement des données

Les dimensions officielles pour un terrain utilisé dans la pratique du football en compétition, recommandée par l'UEFA et la FIFA sont 105 x 68 m (Ragain et al., 2011). Chaque terrain est divisé en unité de surface carré de 1m de côté. Pour chacun de ces carrés, l'éclairement heure par heure pour chaque jour de l'année est simulé. Il s'agit du produit du rayonnement incident théorique et du pourcentage de rayonnement transmis entre les structures du stade. Ces deux éléments prennent en compte les rayonnements directs et diffus. L'éclairement journalier pour chaque unité de surface est calculé en faisant la somme des éclairagements de toutes les heures du jour considéré. La moyenne de l'éclairement pour les extrémités Nord et Sud de la pelouse est également calculée. Les extrémités Nord et Sud correspondent à des bandes de 1m de largeur sur toute la largeur de la pelouse. Ces bandes sont situées dans les parties les plus au Nord et les plus au Sud de l'aire de jeu. La moyenne se fait sur toutes les valeurs d'éclairement journalier des unités de surface présentes dans les bandes.

RÉSULTATS

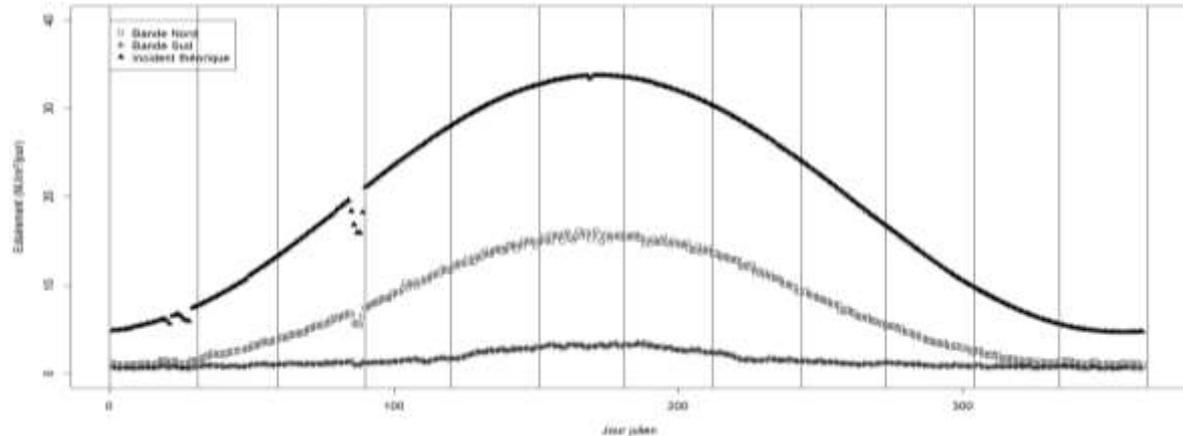
Les résultats présentés correspondent à l'évolution en fonction de l'année de la valeur d'éclairement cumulé par jour. Dans une première partie, trois types d'éclairement sont exposés pour chacun des quatre stades : l'éclairement journalier incident théorique, l'éclairement pour la bande Nord et celui pour la bande Sud. Dans une seconde partie pour un même type d'éclairement, l'évolution de l'éclairement est comparée pour les quatre stades.

Pour l'ensemble des figures, les traits verticaux représentent les mois de janvier à décembre.

Evolution temporelle de l'éclairement reçu par la pelouse

Figure 1 : Evolution de l'éclairement journalier pour la bande Nord et la bande Sud sur la pelouse ainsi que de l'éclairement incident journalier théorique pour le stade de Lille.

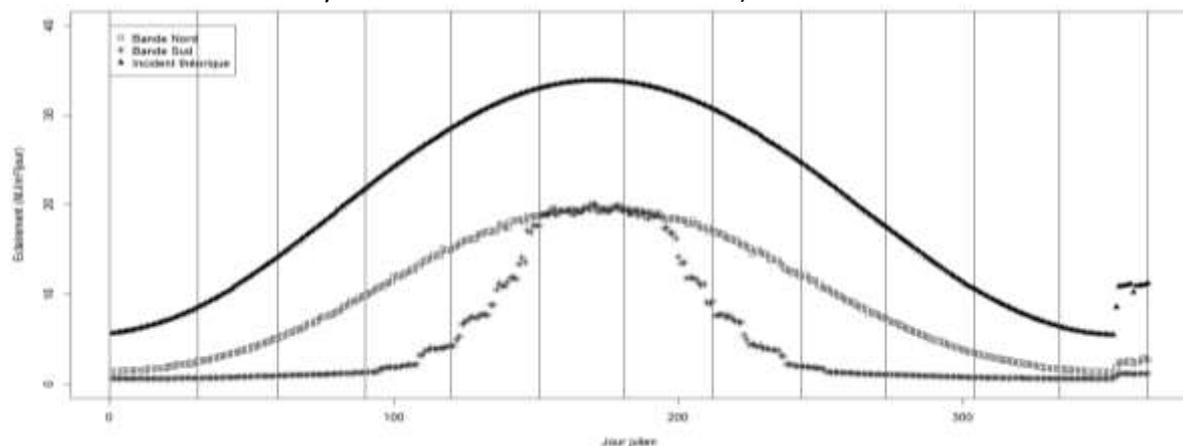
(Evolution of the incident daily irradiance for the North and the South positions on the pitch and for the theoretical daily irradiance for Lille stadium)



Sur la pelouse du stade de Lille, l'éclairement de la bande Nord est un peu moins de 5 fois supérieur à celui de la bande Sud au printemps et en été, jusqu'à un peu moins de 6 fois supérieure en automne et n'est plus 1,6 fois supérieure en hiver. Le maximum d'éclairement journalier atteint en juin est de $16.23 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}$ sur la bande Nord et de $3.53 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}$ pour la bande Sud.

Figure 2 : Evolution de l'éclairement journalier pour la bande Nord et la bande Sud sur la pelouse ainsi que l'éclairement journalier incident théorique pour le stade de Saint-Denis.

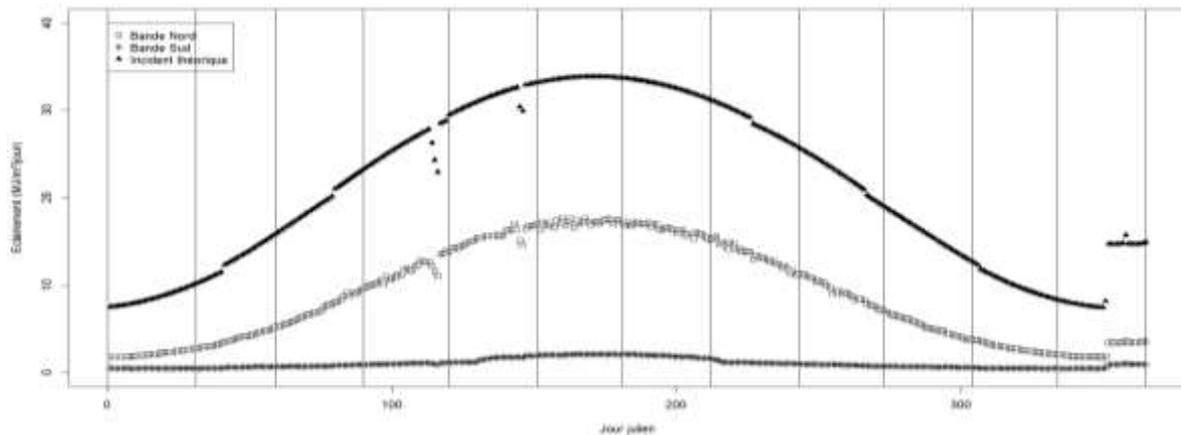
(Evolution of the incident daily irradiance for the North and the South positions on the pitch and for the theoretical daily irradiance for Saint-Denis stadium)



A Saint-Denis, l'éclairement moyen journalier de la bande Nord est légèrement au-dessus de celui de la bande Sud en janvier et décembre (environ 2 fois plus élevé), au même niveau en juin et début juillet et très largement au-dessus le reste de l'année (environ 7 fois plus élevé). Nous avons une augmentation très nette de l'éclairement de la bande Sud à partir de la mi-avril, il atteint son maximum en juin, diminue de mi-juillet à fin août pour atteindre des niveaux faibles au-delà. Pour les deux bandes l'éclairement maximum est égal à $20 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}$.

Figure 3 : Evolution de l'éclairement journalier pour la bande Nord et la bande Sud sur la pelouse ainsi que l'éclairement incident théorique journalier pour le stade de Bordeaux.

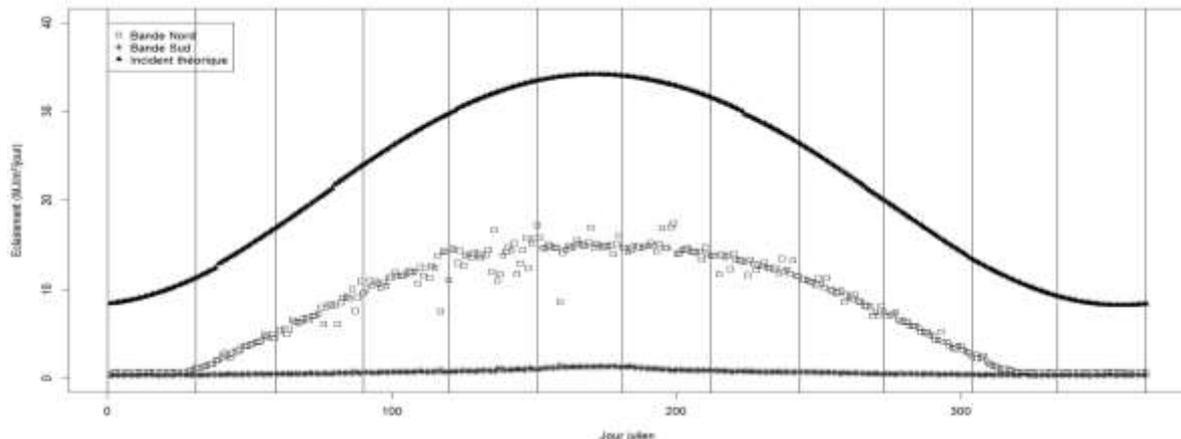
(Evolution of the incident daily irradiance for the North and the South positions on the pitch and for the theoretical daily irradiance for Bordeaux stadium)



Sur le stade de Bordeaux, les valeurs d'éclairement journalier de la bande Nord sont toujours supérieures à celles de la bande Sud. Elles sont 10 fois supérieures au printemps et en automne, 8 fois en été et un peu moins de 4 fois en hiver. Le maximum d'éclairement atteint en juin pour les deux bandes est de $17.7 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}$ pour la bande Nord et de $2.15 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}$ pour la bande Sud.

Figure 4 : Evolution de l'éclairement journalier pour la bande Nord et la bande Sud sur la pelouse ainsi que l'éclairement incident journalier théorique pour le stade de Marseille.

(Evolution of the incident daily irradiance for the North and the South positions on the pitch and for the theoretical daily irradiance for Marseille stadium)



A Marseille, les valeurs d'éclairement pour la bande Nord sont très largement supérieures (15 fois supérieure au printemps, 12 fois en été et 14 fois en automne) à celles de la bande Sud, sauf en janvier et de mi-novembre à fin décembre où elles sont globalement les mêmes (1.7 fois supérieure au 21 décembre par exemple). Le maximum d'éclairement atteint en juin est de $17.5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}$ pour la bande Nord et de $1.5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}$ pour la bande Sud.

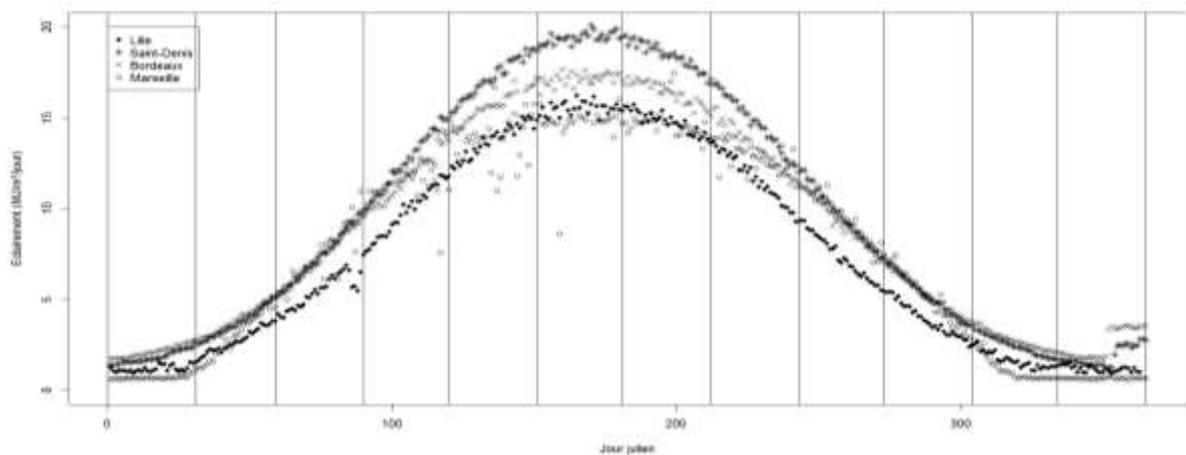
Au niveau de la bande Nord de chacun des stades étudiés, les pertes d'éclairement par rapport à la valeur théorique sont situées entre 50 et plus de 90%. Concernant la bande Sud les pertes sont de 85 à plus 97% de l'éclairement théorique. Seul l'éclairement pour les deux bandes à Saint-Denis en été est légèrement inférieur à 40%. C'est à Marseille que l'on constate le plus de perte par rapport au rayonnement théorique, principalement en été et en hiver pour la bande Nord, et sur l'ensemble de l'année pour la bande Sud. Lille présente le plus d'atténuation du rayonnement au printemps et en été. En revanche la bande Sud présente le moins de perte principalement au printemps, en automne et en hiver.

Comparaison par type de rayonnement entre stades.

Il s'agit ici de comparer pour un même type d'éclairement (Nord, Sud, incident théorique) les valeurs entre les stades.

Figure 5 : Comparaison pour les quatre stades de cumuls journaliers d'éclairement de la bande Nord en fonction du temps.

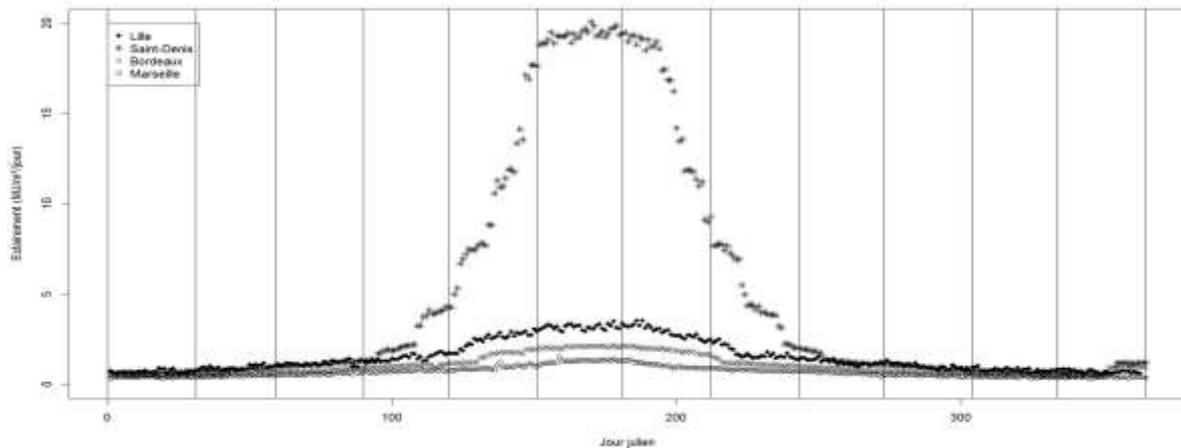
(Comparison of daily North position's irradiance for four stadia)



Au-niveau de la bande Nord, au mois de janvier, c'est à Bordeaux que les valeurs d'éclairement journalier moyen sont les plus élevées, suivent Saint-Denis, Lille et enfin Marseille. Au cours du mois de février, l'éclairement à Marseille augmente pour atteindre des valeurs similaires à Saint-Denis et Bordeaux jusqu'à début mai où il reprend des valeurs minimales par rapport aux autres stades. De février à mars les valeurs à Saint-Denis et Bordeaux sont similaires. L'éclairement à Marseille est supérieur aux valeurs d'éclairement de Lille en août, présente des valeurs similaires à Saint-Denis et Lille jusqu'en octobre, et passe sous celles de Lille en novembre et décembre. A partir de mars, Saint-Denis a les valeurs les plus élevées jusqu'en début septembre où elles restent similaires jusqu'à fin octobre pour ensuite être inférieures à celles de Bordeaux en hiver.

Figure 6 : Comparaison pour les quatre stades de cumuls journaliers d'éclairement de la bande Sud en fonction du temps

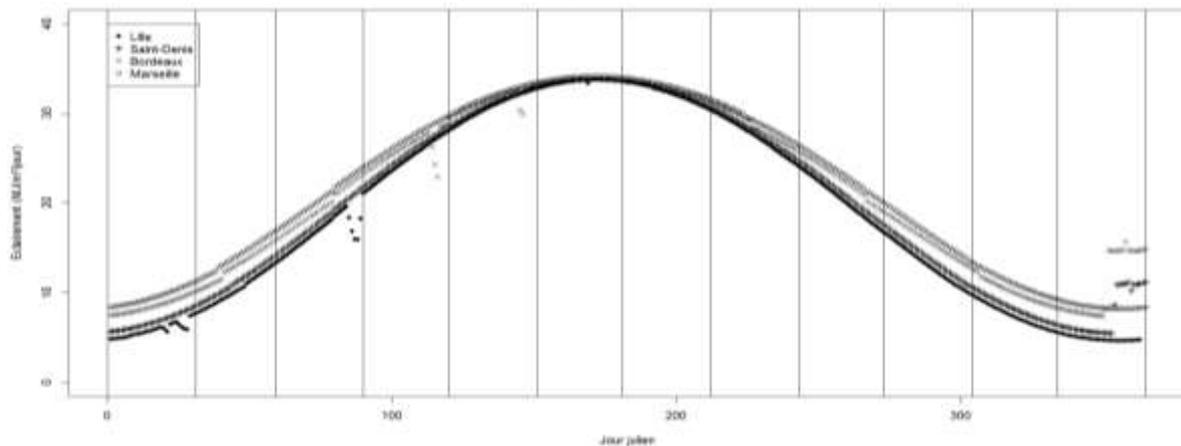
(Comparison of daily South position's irradiance for four stadia)



Concernant la bande Sud, de janvier à mars et de octobre à décembre, les valeurs d'éclairement sont similaires, avec des valeurs à Lille et Saint-Denis légèrement supérieures aux deux autres. Entre avril et août les différences deviennent très significatives : les valeurs de Saint-Denis sont très largement supérieures à celles de Lille, Bordeaux et enfin Marseille dans l'ordre décroissant. Les valeurs maximales se situent pour tous les stades durant le mois de juin.

Figure 7 : Comparaison pour les quatre stades de cumuls journaliers d'éclairement incident théorique en fonction du temps

(Comparison of incident daily theoretic position's irradiance for four stadia)



Tout au long de l'année les valeurs du rayonnement théorique restent dans l'ordre croissant comme suit : Lille, Saint-Denis, Bordeaux et Marseille. En hiver les différences sont beaucoup plus significatives qu'en été. Elles sont similaires au printemps et en automne.

DISCUSSION

Pour tous les stades considérés, il existe une dépendance entre la latitude et l'éclairement incident théorique. Or Milankovitch, 1930 nous indique que l'angle zénithal du Soleil est fonction de la latitude. Cet angle est impliqué dans le calcul de l'éclairement direct et dans les composantes de l'éclairement diffus d'une surface horizontale (Bird and Riordan, 1986). Par ailleurs les différences de valeur dans l'éclairement incident théorique en fonction de la position géographique sont plus marquées en hiver qu'en été. En hiver les radiations solaires traversent une épaisseur plus importante d'atmosphère de par l'inclinaison de la Terre. Cette épaisseur étant également dépendante de la latitude, une plus grande épaisseur d'atmosphère sera traversée par une radiation solaire à une latitude plus élevée. Ainsi les différences entre latitude pour une même saison sont plus marquées en hiver qu'en été.

En hiver le stade de Marseille présente un éclairement incident théorique journalier plus important que celui de Bordeaux. Ce résultat est cohérent avec le fait que les plus faibles latitudes présentent un rayonnement incident théorique journalier plus élevé. Or les éclairagements cumulés journaliers de la bande Nord sont plus importants à Bordeaux qu'à Marseille. Le stade Vélodrome présente une hauteur de casquette dans la longueur supérieure de 12m par rapport à celle de Bordeaux. Cette caractéristique semble être le paramètre déterminant pour expliquer les différences d'éclairement en hiver.

Au printemps la quantité de rayonnement reçue augmente et le soleil est plus haut dans le ciel, ce qui atténue les effets des casquettes plus hautes et favorisent les stades ayant les ouvertures centrales les plus grandes. Ainsi à Marseille, les valeurs d'éclairement théoriques cumulées sont les plus fortes, dès que le rayonnement est direct sur des zones de pelouse, ces valeurs augmentent. C'est pour cette raison que les valeurs d'éclairement cumulé augmentent plus que dans les autres stades au printemps. Par ailleurs une ouverture centrale plus grande permet un cumul de rayonnement direct plus grand. C'est le cas à Saint-Denis. Un rayonnement incident théorique faible, associé à des casquettes hautes et une ouverture centrale faible ne favorise pas l'augmentation du cumul d'éclairement à Lille.

On peut voir le plus l'effet de l'architecture sur le cumul d'éclairement en été. Alors que les différences d'éclairement incident théorique sont faibles entre les stades, les différences dans les éclairagements reçus par les pelouses sont les plus importantes. Les plus grosses pertes par rapport au rayonnement incident en été ont lieu à Marseille. Même si ce stade présente une grande ouverture centrale, son hauteur de toit est importante, en particulier dans le sens est-ouest. Or c'est le sens de la course du soleil, il doit avoir atteint une position au-dessus de l'horizon suffisamment haute pour que le rayonnement direct atteigne la pelouse, plus haute que dans les autres stades. De plus cet effet n'est pas compensé par l'écart de l'aplomb de la casquette avec la pelouse. L'ouverture centrale est quant à elle fortement impliquée dans la quantité de rayonnement reçue dans un stade. En effet les effets d'une hauteur de toit importante peuvent être compensés par une ouverture centrale conséquente. Le Stade France présente les hauteurs de toit les plus importante dans le sens de la longueur mais il présente les niveaux d'éclairement les plus élevés pour les bandes Nord et Sud.

Deux types d'écart de rayonnement ont été constatés entre les bandes Nord et Sud : un écart en termes de quantité de rayonnement pour une même date et un écart dans le cumul au fil des saisons. Les écarts en termes d'intensité de rayonnement ont des effets sur la photosynthèse (Wilkinson et al., 1975) avec des conséquences sur la croissance des plantes. Par ailleurs lors de la reprise de croissance au printemps, des niveaux de rayonnement doivent être suffisants pour engendrer de nouveaux tissus (Porcar-Castell et al., 2008) or pour les positions au Sud, les niveaux de rayonnement restent faibles tout au long de l'année. Ces conditions pourraient ne pas favoriser cette reprise de croissance.

CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons adopté une approche de simulation pour étudier le rayonnement reçu par la pelouse de quatre stades utilisés lors de l'Euro 2016 en France. Cette étude a permis d'expliquer les différences en termes d'éclairement cumulés journaliers au-niveau de la pelouse par rapport à des éléments d'architecture. La latitude des stades joue un rôle important dans la valeur de l'éclairement

incident théorique mais n'explique pas les différences constatées au fil de l'année et de la position sur la pelouse. Selon les saisons, il semble que différents éléments d'architecture interviennent dans l'établissement de la valeur de l'éclairement journalier. En hiver, c'est la hauteur du toit qui joue le rôle le plus déterminant. Par la suite c'est l'ouverture centrale qui devient le paramètre déterminant, associée à un fort écart pelouse-aplomb du toit. Une hauteur importante du toit induit une diminution de l'éclairement journalier mais son effet peut être compensé par une grande ouverture centrale. Cette approche de simulation nous a aussi permis de mieux cerner les variations d'éclairement par rapport à la position sur la pelouse mais également au fil de l'année. Ces variations spatio-temporelles nous permettent d'envisager des pistes de réflexion pour expliquer les difficultés de croissance des graminées dans ces pelouses. Dans la perspective d'étendre la gamme d'éléments architecturaux à analyser mais aussi d'identifier des interactions entre ces paramètres, une analyse de sensibilité sera effectuée en tenant compte des variations des valeurs de ces paramètres dans différents contextes géographiques. Ainsi il nous sera possible d'évaluer la meilleure configuration architecturale pour optimiser les valeurs d'éclairement au-niveau de la pelouse pour une région donnée.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient M. D'ARGENLIEU responsable du stade de Marseille, M. PRESSARD pour le stade de Bordeaux, l'entreprise TERENVI pour le stade Pierre Mauroy de Lille et les responsables du stade de France pour l'accès aux données concernant l'architecture des stades.

BIBLIOGRAPHIE

- Adam B., Dones N., Sinoquet H., 2006. VegeSTAR : software qui calcule l'interception lumineuse et la photosynthèse. INRA, Clermont-Ferrand.
- Beard J.B., 1974. Turfgrass : science and culture. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- Bird R.E., Riordan C., 1986. Simple solar spectral model for direct and diffuse irradiance on horizontal and tilted planes at the Earth's surface for cloudless atmosphere. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 25.
- Bouyer J., Vinet J., Delpech P., Carré S., 2005. Thermal comfort assessment in semi-outdoor environments: Application to comfort study in stadia. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 95, 963–976.
- Hughes M.G., Birdsey L., Meyers R., Newcombe D., Oliver J.L., Smith P.M., Stembridge M., Stone K., Kerwin D.G., 2013. Effects of playing surface on physiological responses and performance variables in a controlled football simulation. *J. SPORTS Sci.* 31, 878–886.
- Joly D., Brossard T., Cardot H., Cavailhes J., Hilal M. et Wavresky P., « Les types de climats en France, une construction spatiale », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Cartographie, Imagerie, SIG, document 501, mis en ligne le 18 juin 2010, consulté le 30 juin 2016. URL : <http://cybergeo.revues.org/23155>
- Porcar-Castell A., Juurola E., Ensminger I., Berninger F., Hari P., Nikinmaa E., 2008. Seasonal acclimation of photosystem II in *Pinus sylvestris*. II. Using the rate constants of sustained thermal energy dissipation and photochemistry to study the effect of the light environment. *Tree Physiol.* 28, 1483–1491.
- Ragain E., Hayden R., Lavelle D., 2011. Stades de football - Recommandations et exigences techniques (5ème édition). FIFA.
- Spagnolo J., de Dear R., 2003. A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Build. Environ.* 38, 721–738.
- Szucs A., Perraudeau M., Allard F., 2006. Assessment of visual comfort of spectators in stadia. Presented at the PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Architectural Press, Genève.
- Szucs A., Moreau S., Allard F., 2007. Spectators' aerothermal comfort assessment method in stadia. *Build. Environ.* 42, 2227–2240.
- Szucs A., Moreau S., Allard F., 2009. Aspects of stadium design for warm climates. *Build. Environ.* 44, 1206–1214.

- Van Hooff T., Blocken B., Van Harten M., 2011. 3D CFD simulations of wind flow and wind-driven rain shelter in sports stadia: Influence of stadium geometry. *Build. Environ.* 46, 22–37.
- Wilkinson J.F., Beard J.B., Krans J.V., 1975. Photosynthetic-respiratory responses of “Merion” Kentucky bluegrass and “Pennlawn” red fescue at reduced light intensities. *Crop Sci.* 15, 165–168.
- Winter C., Pfeiffer M., 2016. Tactical metrics that discriminate winning, drawing and losing teams in UEFA Euro 2012®. *J. Sports Sci.* 34, 486–492.
- Woodward F.I., Sheehy J.E., 1983. *Principles and measurements in environmental biology*, Butterworth & Co. ed.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

ENQUETE NATIONALE ECOPHYTO AUPRES DES GOLFS FRANÇAIS

T. CHARRIER ⁽¹⁾

⁽¹⁾ ffgolf – 68 rue anatole France – 92309 LEVALLOIS-PERRET - France ; thomas.charrier@ffgolf.org

RÉSUMÉ

Dans le cadre de la Charte Nationale « Golf et Environnement », la Fédération Française de Golf et l'ensemble des acteurs de la filière professionnelle du golf se sont engagés à mettre en œuvre toutes les mesures pour préserver l'environnement et notamment la ressource en eau. Avec le concours de l'institut Ecoumène Golf et Environnement et des Agences de l'eau, la ffgolf a lancé en 2014 une nouvelle enquête auprès des golfs français avec terrain (hors practice), ayant pour objectif de dresser un état des lieux des pratiques en matière d'utilisation de produits phytosanitaires. Il s'agit d'une déclinaison de l'enquête en région du plan Ecophyto 2018 - Axe 7 : « Réduire et sécuriser l'usage des produits phytopharmaceutiques en Zone Non Agricoles ». La dimension technique de ce questionnaire le destinait prioritairement aux intendants de terrain. 58% des golfs ont répondu aux 135 questions posées, permettant de collecter près de 50 000 données.

Mots-clés : Golfs – Enquête – Charte – Ecophyto – Etat des lieux.

ABSTRACT

NATIONAL SURVEY ECOPHYTO WITH FRENCH GOLF

As part of the National Charter "Golf and the Environment", the French Golf Federation and all the representative organizations of the golf in France pledged to implement their best efforts to protect the environment including water resources. With the assistance of the Institute Écoumène Golf and Environment and Water Agencies, the ffgolf launched in 2014 a new survey with the French golf (excluding driving range), which aims to examining their practices regarding use of pesticides. This is a variation of the regional survey Ecophyto 2018 - Axe 7: "Reducing and secure the use of plant protection products in Non-Agricultural Zone." The technical dimension of this survey intended it mainly to the greenkeepers. 58% of golf answered 135 questions, to collect almost 50 000 data.

Keywords: Golf - Survey - Charter - Ecophyto - situation analysis.

INTRODUCTION

Dans la continuité des actions entreprises depuis la signature de la Charte sur l'eau en 2006 et de la Charte Nationale golf et Environnement en 2010, la ffgolf poursuit sa démarche volontariste visant à améliorer la connaissance et la perception des pratiques des golfs en faveur de la préservation de l'environnement. Après avoir réalisé un premier état des lieux de la gestion quantitative de la ressource en eau par les golfs français, et remis son rapport en mars 2013 aux 3 Ministères signataires de la Charte (Sports, Ecologie et Agriculture), la ffgolf s'est engagée aux côtés de la filière à dresser un nouvel état des lieux, cette fois en matière de préservation qualitative de la ressource en eau.

L'entretien des parcours de golf est actuellement en pleine mutation. La convergence de différents paramètres bouleverse les outils, les techniques et les pratiques des golfs, tandis que l'objectif de maintien des surfaces engazonnées pour la pratique sportive du golf et l'équilibre économique des structures perdure : durcissement réglementaire en faveur de la préservation de l'environnement, changements climatiques plutôt favorable au développement du parasitisme et à l'émergence d'adventices d'origine méditerranéenne ou tropicale, évolution du comportement et des attentes des joueurs, augmentation de la pression économique sur les gestionnaires de golfs...

Dans ce contexte, cette enquête s'attache à faire la lumière sur les progrès réalisés et les difficultés rencontrées par les golfs pour franchir de nouveaux paliers en matière de préservation de l'environnement.

MATERIEL ET MÉTHODE

ADMINISTRATION DE L'ENQUETE

Pour être en phase avec les objectifs nationaux, le questionnaire a été bâti à partir d'une déclinaison de l'enquête en région du plan Ecophyto 2018 – Axe 7 (« Réduire et sécuriser l'usage des produits phytopharmaceutiques en Zones Non Agricoles »). Le concours de plusieurs référents des Agences de l'eau et de l'Institut Ecoumène golf et environnement a permis de le contextualiser en tenant compte des spécificités d'entretien des parcours de golf.

Le questionnaire comportait donc 135 questions, et a été construit :

- de manière à bâtir des indicateurs fiables et des données agrégeables,
- avec la validation de référents des Agences de l'eau,
- en garantissant la confidentialité des réponses des golfs.

Le concours des organes déconcentrés de la ffgolf (ligues régionales de golf) et celui des organisations représentatives du golf (Association des intendants et jardiniers de terrains de golf français, l'association des directeurs de golfs français, les groupements des golfs associatifs et des entrepreneurs de golf) a permis de relancer régulièrement les golfs et assurer ainsi la collecte d'un maximum de données des golfs sur une période de 6 mois.

Ces 3 modes de collecte de données et cette mobilisation des acteurs de la filière golfigues a permis de réunir un nombre de réponse très significatif puisqu'il s'agit du meilleur taux de réponse à une enquête fédérale sur le thème de la préservation de l'environnement. Il est important de signaler que selon les répondants, il a fallu de une à deux heures, voire plus, pour compléter les 135 questions posées.

DEPOUILLEMENT DE L'ENQUETE

Parmi les 620 golfs avec terrain consultés, 58% ont répondu à cette sollicitation. Les données collectées ont été évaluée selon différents critères de représentativité :

- territoriale (% de réponses par région)
- par catégorie de club (golfs et petites structures)
- par nombre de trous (9, 18, 27, 45 trous)
- par type de gestionnaire (associatif ou commercial)
- par type de propriétaire (public ou privé)

Le retour d'enquête reste dans des proportions fidèles et représentatives au parc d'équipement golfique français.

Les observations tirées de l'enquête pourront donc être admises pour l'ensemble du parc.

RESULTATS

Les résultats de l'enquête ont fait l'objet d'un rapport de restitution synthétique dont l'objectif était de mettre en perspective l'univers de la gestion de l'entretien des golfs dans son contexte réglementaire au regard des objectifs nationaux des Grenelles de l'environnement et des Plans Ecophyto.

Les 135 questions ont été analysées une à une et ont pu faire l'objet de tri-croisés pour faire apparaître différents constats, tendances, attentes de la filière et perspectives pour l'avenir. En voici ci-dessous une restitution permettant d'appréhender chaque thème traversé par le questionnaire :

Structure et organisation de l'application

- Une mission confiée à des professionnels expérimentés :
 - o 94% des golfs réalisent les applications phytosanitaires par le personnel salarié.
 - o Les répondants au questionnaire sont les décideurs en matière de gestion et d'utilisation des produits phytosanitaires. 80% des répondants déclarent avoir plus de 10 ans d'expérience.
- Un budget annuel raisonnable et maîtrisé dans un contexte d'augmentation globale des prix des produits phytosanitaires :
 - o 2/3 de golfs allouent un budget de moins de 10 000 €/par an aux produits phytosanitaires.
 - o Le dernier tiers réserve un budget supérieur à 10 000€/an à ce poste, il se compose principalement de golfs de 18 trous, 27 trous et plus.
 - o Seuls 8% des golfs consacrent à ce domaine un budget supérieur à 20 000 €/an.
- Un traitement adapté pour chaque surface.

A partir des données recueillies, il est possible de construire une photographie de la fréquence des interventions phytosanitaires réalisées sur chacune des zones de jeu, à l'échelle du parc golfique français et de ses 33 150 Ha. Le climat et la pression des organismes nuisibles étant variables d'une année sur l'autre, les clubs ont renseigné le nombre d'interventions par an et par zone sous forme de fourchettes.

Tableau 1 : représentation du nombre de traitement moyen par tranche de jeu.

Representation of the number of average treatment by slice of game.

	Surface d'une tranche de 9 trous (Ha)	Surface totale du parc golfique (Ha)	%	Nombre de passages par zone
Greens	0,7	770	2%	5 à 9 passages
Départs	0,7	730	2%	1 à 4 passages
Fairways	7,4	9 150	28%	1 à 3 passages
Rough	7,3	8 840	27%	0 à 3 passages
Rough extensifs et zones naturelles	12,2	13 660	41%	0 à 1 passage
TOTAL SITE	29,5	33 150	100%	11 passages /an

Les produits utilisés : les fongicides et herbicides en tête :

- les fongicides sont des outils de gestion des maladies indispensables. 96% des golfs utilisent des fongicides sur greens en particulier.
- Le contrôle de la végétation spontanée et des mousses des gazons reste une préoccupation majeure des gestionnaires des gazons. 91% des golfs utilisent des herbicides. A noter que l'application d'herbicide est extrêmement rare sur les greens sur les dicotylédones en dehors de la lutte contre les graminées adventices estivales.
- Suivent les anti-mousses (54%) et, enfin, les régulateurs de croissance (42%).
- La problématique des organismes nuisibles du sol. 70% des golfs déclarent rencontrer des problèmes avec les ravageurs du sol. La présence dans le sol de vers blancs, vers gris, tipules, noctuelles terricoles, courtilières... peut générer des impacts à la fois directs sur les surfaces de jeu (attaque du système racinaire du gazon), mais aussi indirects du fait des dégradations causées par des corvidés et sangliers qui s'en nourrissent. La filière professionnelle continue signaler le manque de solutions insecticides de nature chimique disponibles dans le cadre des usages orphelins pour réguler ces populations de ravageurs qui prennent un essor incontestable depuis quelques années. L'activité des vers de terre et leur prolifération excessive peut localement porter atteinte à la jouabilité des terrains de golfs. Les gestionnaires de golfs et terrains de sport se trouvent toujours devant une impossibilité pratique pour réduire les populations et leurs nuisances résultant des rejets de turricules au cours de la période hivernale et en sortie d'hiver.
- Un suivi rigoureux via le cahier d'enregistrement des pratiques phytosanitaires.
- L'enquête révèle que les golfs utilisent des moyens d'épandage classiques : 83% des golfs sont équipés d'un pulvérisateur à rampe porté avec cabine tracteur ou véhicule porte-outil (ouvert). 52% emploient un pulvérisateur à dos pour de petits traitements localisés.
- Des responsables à jour en ce qui concerne la réglementation : 100% des responsables se tiennent informés de la réglementation, principalement par leurs fournisseurs (95%), l'AGREF / Institut Ecoumène Golf et Environnement (84%), ou encore par la formation (49%) et la presse (39%).

Les pratiques phytosanitaires

- Des choix concertés avec des spécialistes. 91% des responsables de parcours de golf font les choix de produits et de dosage avec un technicien de leur fournisseur. 24% s'adressent à l'AGREF / Institut Ecoumène Golf et Environnement (intendants référents via l'épidémiosurveillance) et 18% ont recours à des consultants lorsque la décision devient très technique.
- Les conditions météo en tête des critères de décision de déclencher un traitement.
- L'expérience détermine majoritairement l'utilisation d'un traitement.
- Des traitements principalement curatifs pour limiter les quantités de produits phytosanitaires :
 - 51% des interventions phytosanitaires effectuées sont des traitements curatifs précoces contre les maladies des gazons appliqués dès l'apparition des premiers symptômes (concerne principalement les fongicides) ;
 - pour la maîtrise des adventices 31% sont des traitements curatifs prenant en compte le seuil d'infestation maximum admissible afin d'espacer les traitements. L'intervention s'effectue lors des stades de croissance des adventices et dans l'immense majorité des cas à l'aide de produits ayant un mode d'action systémique ;
 - Seuls 28% des traitements sont préventifs. Ils correspondent notamment à des opérations d'épandage d'anti-germinatif pour empêcher l'apparition des graminées adventices estivales ou tropicales sur les surfaces de jeu.
 - Un choix de produits homologués de plus en plus limité : Les produits utilisés sont largement choisis d'après deux critères indissociables :
 - en fonction des produits homologués disponibles (81%) ;
 - après détection visuelle de la cible (adventices ou ravageurs ou autre... 72%) ;

- le choix du produit phytopharmaceutique est décidé en fonction du mode d'action de la spécialité afin d'alterner les modes d'action afin d'éviter les résistances (59%).
- Des précautions multiples pour protéger la santé des applicateurs et les utilisateurs :
 - 77% des répondants prennent deux à trois précautions :
 - 95 % de port d'équipement de protection visuelle ;
 - 90% de vérification du matériel de pulvérisation ;
 - 56% de précaution de remplissage.
 - Pendant le traitement, 97% portent des gants, 94% un masque avec filtre, 88% une combinaison, 70% des bottes ;
 - Afin d'assurer la sécurité des joueurs, 68% des golfs font leurs applications en dehors des heures de présence du public, 59% affichent des panneaux informatifs indiquant qu'un traitement va avoir lieu, 40% ferment partiellement le parcours ;
 - 100% des golfs nettoient systématiquement leur matériel après chaque traitement ;
 - Rappel : l'employeur est responsable de la santé des salariés.
 - Une filière de collecte des déchets organisée (EVPP et PPNU) :
 - 60% font appel à une société spécialisée (ex. collecte ADIVALOR...) pour les emballages vides et les produits phytosanitaires non utilisables (PPNU) ;
 - Dans 46% des cas, les emballages vides et les PPNU sont récupérés par le fournisseur ;
 - 55% des golfs disposent d'un local dédié pour stocker les emballages vides et les PPNU.

Utilisation des produits phytosanitaires et risques :

- 94% des golfs disposent d'un local de stockage pour leurs produits phytosanitaires bien protégé et aux normes.
- Des produits jugés dangereux mais un bon niveau d'information et de connaissance des risques des applicateurs. 95% des répondants s'estiment suffisamment informés concernant les doses et usages homologués. Ce bon niveau d'informations est dû, selon les répondants, au certificat individuel (72% des réponses mais le certificat n'était pas encore obligatoire au moment de l'enquête), à des formations AGREF ou autres (62%), ou dans la moitié des cas, au fabricant ou au revendeur. Mais aussi à des sources externes comme l'UPJ.

Réduction et sécurisation des intrants

- Les principales actions mises en œuvre consistent à :
 - intensifier les opérations mécaniques pour l'équilibre du sol (eau, air, nutriments) et limiter le feutre et l'accumulation de matières organiques ;
 - raisonner la fertilisation et le type de fertilisant:
 - s'appuyer sur des analyses de sols dans le raisonnement de la fertilisation afin d'éviter les carences conduisant à des chloroses, nécroses, croissance diminuée, dépérissement, amoindrissement du système racinaire sont autant de symptômes pouvant être dus à une carence en éléments minéraux (N,P,K) et des oligo-éléments le soufre (S), le fer (Fe), le magnésium (ou magnésie, Mg), le calcium (Ca), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le molybdène (Mo) et le bore (Bo).
 - utiliser lorsque c'est possible des amendements d'origine organiques.
 - Stimuler les défenses naturelles du gazon.
 - choisir des espèces de graminées adaptées aux conditions édapho-climatiques locales et résistantes aux maladies et effectuer des regarnissages réguliers ;
 - lutter contre le développement du pâturin annuel. *Poa annua* L. est la flore dominante sur les greens pour 55% des golfs. Il s'agit de l'espèce de graminée la plus sensible aux maladies, à la sécheresse et au stress du fait de sa faible profondeur moyenne d'enracinement. Il fleurit toute l'année, ce qui lui permet de s'installer d'une manière spontanée et progressivement aux dépens d'espèces plus adaptées comme les agrostides ou les fétuques (plus résistantes et moins gourmandes en eau).

- utiliser des produits biologiques et la lutte biologique pour retarder l'échéance de traitement ;
 - relever les seuils de nuisibilité et d'acceptation des imperfections. Cela ne peut se faire qu'en concertation avec les joueurs ;
 - optimiser les techniques d'application en utilisant des buses anti-dérives.
- L'intensification des opérations mécaniques pour prévenir les maladies :
- Ces opérations d'aération du gazon (verticut, aération, sablage,...) sont vitales pour assurer un équilibre du sol (eau, air, nutriments) favorable au maintien de surfaces engazonnées qualitatives pour la pratique du jeu de golf. Ce travail permet de prévenir les maladies, dont l'apparition est favorisée par la compaction naturelle des sols, l'excès de feutre, l'humidité..., et de contrôler l'envahissement d'espèces de graminées estivales et indésirables.
 - Le nombre d'opérations réalisées sur les golfs varie entre 25 et 85 interventions par an.
 - Les greens concentrent les moyens employés avec entre 20 à 50 interventions par an selon les golfs.
 - En fonction du standing de qualité des parcours, les opérations mécaniques sur les départs, fairways et roughs sont plus ou moins nombreuses. Elles varient entre 5 et 35 opérations par club et sont globalement en augmentation.
 - Sursemis, défoutrages, sablages, roulages, aérations profondes, légères et de surfaces
- Une gestion variée des déchets de tontes selon les espaces concernés.
- Sur les greens, les déchets de tontes sont exportés (61%) ou collectés (34%). Le mulching sur les greens est incompatible avec l'exigence de propreté pour le jeu.
 - Sur les autres surfaces, le mulching permet un apport complémentaire de fertilisation. Il est utilisé à 41% sur les départs, 68% sur les fairways et 78% sur les roughs.
 - Le rehaussement ciblé des hauteurs de tonte pendant certaines périodes de l'année (surtout estivale) fait partie des techniques culturales utilisées sur les greens (33%), les départs (24%) et les fairways (28%). L'été, il est préférable de rehausser au maximum la hauteur de tonte, il faut aussi alterner le sens de la tonte afin d'éviter les compactages. Il est nécessaire de collecter et d'exporter les déchets de tonte. Des tontes inadaptées sur un gazon manquant de densité vont forcément le dégarnir un peu plus : autant de risques supplémentaires de favoriser le Pâturin annuel et des maladies estivales. En réalité, c'est surtout le manque de densité de certaines variétés qui est la principale cause des invasions pendant cette période. Cela signifie aussi qu'il faut accompagner le rehaussement de la hauteur de tonte par des regarnissages.
- Une irrigation et un drainage performants pour ne pas accentuer les problèmes sanitaires :
- 89% des golfs disposent d'un système de gestion centralisé pour l'irrigation.
 - 82% des golfs ont un ou des systèmes de drainage sur une ou plusieurs surfaces de jeu. Ces systèmes de drainage concernent surtout les greens (89% des golfs) et les bunkers (74%).
 - 85% des golfs ont un système d'irrigation qui permet, suite à un traitement herbicides ou fongicides (et après un temps de séchage), d'effectuer 5 minutes d'arrosage automatique (ces équipements pourraient contribuer à limiter la présence de résidus délogeables, s'ils existent).
 - 97% des golfs pensent qu'une mauvaise gestion de l'irrigation a un lien avec le développement de problèmes sanitaires. L'humidité est un des principaux facteurs favorisant la maladie. La pression de dollar spot est forte en été et la prolongation de la rosée après un cycle d'arrosage nocturne peut être catastrophique. Le gestionnaire programmera ces irrigations tôt le matin afin d'écourter les longues périodes d'humectation et limiter le plus possible les rosées. C'est pourquoi les golfs doivent disposer d'un

maximum d'outils de contrôle de l'irrigation pour prévenir les problèmes sanitaires (système de gestion centralisé, sonde d'humidité, station météo...).

- Une fertilisation ajustée aux besoins vitaux du gazon, et différenciée selon les surfaces de jeu.
 - o Les greens :
 - 100% des golfs fertilisent les greens ;
 - 82% s'appuient sur des analyses de sols pour ajuster la fertilisation ;
 - 65% des golfs effectuent jusqu'à 8 passages maximum par an sur les greens ;
 - 54% fractionnent les apports de fertilisants (application d'une dose en plusieurs fois) ;
 - 73% utilisent des engrais « retard » (à diffusion lente, sans perte en lessivage) ;
 - Nombre d'unités moyen par an par hectare (N-P-K) : 169–68–207.
 - o Les départs :
 - 85% des golfs fertilisent les départs ;
 - 35% d'entre eux s'appuient sur des analyses de sols pour la fertilisation ;
 - Nombre d'unités moyen par an par hectare (N-P-K) : 124–48–127.
 - o Les fairways :
 - 76% des golfs fertilisent les fairways ;
 - 42% d'entre eux s'appuient sur des analyses de sols pour la fertilisation ;
 - Nombre d'unités moyen par an par hectare (N-P-K) : 79–34–85.
 - o Les roughs :
 - 15% des golfs fertilisent les roughs ;
 - 15 d'entre eux s'appuient sur des analyses de sols pour la fertilisation.
- Les effets de la réduction de la fertilisation. 44% des répondants ont fait part des effets positifs (173 réponses) ou négatifs (97 réponses) de la réduction de la fertilisation. Le nombre de commentaires témoigne de l'importance de la fertilisation dans la gestion sanitaire des parcours de golf :
 - o État sanitaire : Les commentaires des répondants sont assez hétérogènes ce qui exprime la grande diversité des sites du territoire français (climat, substrats, exposition, durée de la saison végétative, etc.) ainsi que l'impérieuse nécessité de raisonner les apports de fertilisants et d'amendements pour pérenniser un équilibre physique et biologique des sols et par là même maintenir un état sanitaire satisfaisant des gazons.
 - o Esthétique et qualité de jeu : Les intendants recherchent une pousse régulière et modérée des gazons afin de limiter le nombre de tonte tout en procurant des surfaces de jeu de qualité. Ils veillent à ce que la densité de la couverture soit suffisante pour limiter le développement des mauvaises herbes (adventices) et l'apparition de zones dégarnies impropres au jeu.
 - o Économie : une baisse raisonnée de la fertilisation réduit la pousse du gazon, les besoins en eau, la fréquence des tontes, les différentes opérations mécaniques (défeutrage). Les aérations profondes incitent le gazon à s'enraciner plus profondément pour aller chercher les nutriments et l'eau. Il devient ainsi plus résistant aux maladies et nécessite par conséquent moins de traitements. Les gazons carencés sont plus sensibles aux maladies mais en règle générale cela n'arrive que sur les surfaces où on exporte les déchets de tontes: les greens et les départs... Cela ne s'applique que dans quelques rares cas aux fairways.
 - o Espèces invasives : Une diminution des apports d'engrais à un mauvais moment de la saison peut amener à une augmentation de la population d'espèces indésirables et notamment des graminées estivales. Leur présence génère inévitablement un impact sur la qualité de jeu et l'esthétique du parcours.
 - o Environnement : une baisse de la fertilisation conduit à limiter les risques de lessivages et contribue à réduire l'impact potentiel sur l'environnement. Les golfs ayant réussi à rendre le

gazon plus résistant en baissant la fertilisation ont pu réduire le nombre de traitements pour être plus en adéquation avec le principe du plan Ecophyto de réduction de 50% de l'utilisation des produits phytosanitaires.

- Réévaluation des doses en cours de campagne :
 - 79% des golfs réévaluent les doses d'éléments fertilisants en cours de campagne, principalement en fonction de l'aspect du gazon.
 - 72% des golfs utilisent un ou plusieurs amendements : 47% organiques, 46% algues, calciques 34% et inorganiques 20%. Dans 73% des cas, l'objectif de l'usage de ces amendements est de réduire l'utilisation de produits phytosanitaires.
 - En améliorant la structure et le fonctionnement du sol (activité biologique, assimilation d'engrais, prévention des carences, régulation du pH, oxygénation du sol, réduction des doses d'engrais minéral, réduction de l'arrosage,...), ces amendements contribuent « indirectement » à réduire le nombre de traitements.
- Les certificats individuels.

Désormais, depuis l'entrée en vigueur de la réglementation en novembre 2015, chaque golf compte à minima une personne titulaire du certificat individuel – catégorie « décideur en travaux et services ». Ce certificat autorise son titulaire à acheter et à appliquer des produits phytopharmaceutiques pour le compte de son golf pendant une durée de 5 ans après sa délivrance. Tout autre applicateur de produits phytopharmaceutiques parmi le personnel devra être titulaire d'un certificat individuel – catégorie « opérateur en travaux et services » pour être habilité à appliquer ces produits pour une période de 5 ans après sa délivrance.

Tableau II : les différentes opérations d'entretien sanitaire, mécaniques et de fertilisation réalisées sur les golfs.

the various golf course maintenance realized sanitary, mechanicals and fertilization

		GREENS		DEPARTS		FAIRWAYS		ROUGHES	
		En valeur	%	En valeur	%	En valeur	%	En valeur	%
Caractéristiques des différentes zones	SURFACE moyenne par tranche de 9 trous (en Ha et %)	0,7	2%	0,7	2%	7,4	28%	7,3	27%
	Hauteur de tonte moyenne	3-5 mm		6-12 mm		12-15 mm		15-55 mm	
Applications phytosanitaires	Part des clubs réalisant des applications phytosanitaires	100%		75%		72%		25%	
	Fréquence moyenne d'interventions phytosanitaires par an	de 5 à 9		de 1 à 4		de 1 à 3		1	
Opérations mécaniques	Nombre d'opérations réalisées par an (hors tonte)	20 à 50		5 à 20		0 à 10		0 à 5	
Fertilisation	Part des clubs réalisant des opérations de fertilisation	100%		85%		76%		15%	
	Clubs s'appuyant sur des analyses de sol pour décider la fertilisation	82%		35%		42%		15%	
	Mulching (complément de fertilisation)	0%		41%		68%		78%	

Les problématiques de gestion

- Les contraintes des délais de rentrée et des ZNT.
- o L'application des délais de rentrée est problématique pour la gestion de la clientèle et donc l'exploitation commerciale des parcours de golf ;
- o la gestion des zones non traitées est parfois complexe en raison de l'architecture des parcours de golf (exemple des greens « pieds dans l'eau »).
- o La complexification de l'entretien des parcours de golf.

Chaque difficulté est étroitement liée aux autres. La fermeture des zones traitées oblige le gestionnaire à fermer son parcours entièrement ou partiellement. L'exploitation devient complexe pour plusieurs raisons : la quasi-totalité des golfs sont ouverts 7 jours sur 7, l'impossibilité de mettre en place des jours de fermeture constitue une difficulté majeure pour prévoir et organiser les interventions du personnel. Les traitements curatifs privilégiés par les golfs pour réduire l'utilisation des produits phytosanitaires exigent souplesse et réactivité du personnel pour traiter la cible au moment idéal. Ils sont difficilement compatibles avec la diffusion préalable d'une information à la clientèle, ce qui occasionne des plaintes lorsque le parcours ou des zones de jeu sont fermées. Ces contraintes d'exploitation ont un impact économique important. Avec des produits phytosanitaires à 48 heures de DRE, un golf réalisant sur une année, 10 traitements sur ses greens + 5 sur ses fairways et/ou ses départs à d'autres moments que les greens, serait contraint de fermer l'accès à son parcours pendant 30 jours, soit plus ou moins un mois sur une période cumulée sans pouvoir commercialiser son parcours.

Une large majorité des répondants déclarent avoir réduit de manière significative les quantités de produits phytosanitaires.

Depuis 2004, les efforts ont été réalisés :

- au regard de la prise de conscience collective des enjeux environnementaux ;
- des moyens financiers réduits ;
- de la réduction du panel de produits homologués pour les golfs ;
- de la formation pour optimiser l'utilisation des produits phytosanitaires ;
- du matériel plus performant ;
- de l'intensification du travail mécanique, il passe en premier lieu par diverses façons culturelles comme la pratique du regarnissage, le choix d'une fertilisation équilibrée, la gestion des quantités, fréquences et horaires de l'irrigation, élimination de la rosée le matin, drainage des greens et correction du pH voisin de la neutralité, aérations du sol pour limiter le feutre.

La filière golf a, bien avant la mise en œuvre du plan Écophyto, déjà réduit considérablement l'utilisation des produits phytosanitaires et d'intrants. Elle a vraisemblablement déjà atteint l'objectif de réduction de 50%. A ce stade de progrès, aller plus loin sans solutions alternatives devient de plus en plus incompatible avec les contraintes d'exploitation d'un golf.

Les répondants relèvent également les difficultés à mettre en place des techniques alternatives aux produits chimiques. Selon les commentaires, les fertilisants biologiques sont encore trop chers, les produits de lutte biologique également, et leur efficacité variable et limitée.

DISCUSSION

Le professionnalisme et la responsabilité des personnels d'entretien des parcours de golf sont palpables à travers leur niveau de formation, leur expérience, leur connaissance et leur respect de la réglementation. Leur volonté de réduire l'usage de produits phytosanitaires est manifeste. Ils seraient les premiers ravis de ne plus y avoir recours et les résultats de l'enquête montrent qu'ils sont conscients et responsables vis-à-vis des risques liés à l'utilisation de ces derniers.

Au travers des nombreux commentaires, on peut comprendre l'ambiguïté dans laquelle se trouvent les intendants de terrain et des jardiniers : ils sont d'un côté très fiers de leur travail, de leur degré d'exigence et de compétences, du niveau de qualité atteint sur les parcours, des progrès réalisés pour limiter l'impact de l'entretien sur l'environnement... Et d'un autre côté, ils sont très circonspects quant à l'avenir de leur métier, dénonçant notamment un manque de reconnaissance, par les pouvoirs publics et les golfeurs, des efforts réalisés dans un contexte où les pressions concurrentielles, économiques et budgétaires sont croissantes sur les structures golfiques. En effet, le durcissement de la réglementation en faveur de la préservation de l'environnement, aussi souhaitable, légitime et admis soit-il, exacerbe ce sentiment d'inquiétude.

il est essentiel de conserver des solutions techniques permettant d'entretenir dans des conditions durables et soutenables des surfaces engazonnées de qualité : que ce soit pour la qualité du spectacle dans le cas des sports télévisés, pour les golfeurs dans le cadre de leur pratique sportive ou loisir du golf, pour préserver les modèles économiques, leurs emplois et leur richesse patrimoniale, et rester compétitif vis-à-vis des pays voisins qui n'ont pas les mêmes réglementations et les mêmes contraintes.

CONCLUSION

Le rayonnement du golf français sur les plans sportifs, touristiques, économiques, et environnementaux est un enjeu fort pour la France et il doit se poursuivre dans la concertation avec l'ensemble des acteurs institutionnels (Ministères, Agences d'Etat, collectivités locales...).

C'est une exigence pour soutenir et accompagner la dynamique de progrès en faveur de la préservation de l'environnement, tout en favorisant un développement harmonieux de l'activité. C'est notamment l'enjeu du renouvellement prochain, avec les Ministères des Sports, de l'Ecologie et de l'Agriculture de l'accord-cadre en 2016 : la « charte nationale golf et environnement ».

« La recherche de nouvelles pistes pour mieux préserver la ressource en eau est une priorité tout en garantissant un développement sportif et commercial normal de la discipline » Charte Nationale Golf et Environnement.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'ensemble des organisations ayant contribué à la réalisation de cette enquête :

- l'Association Française des Personnels d'Entretien des Terrains de Golf (AGREF)
- l'Association des Directeurs de golf Français (ADGF)
- le Groupement des Entrepreneurs de Golfs Français (GEGF)
- le Groupement Français des Golfs Associatifs (GFGA)
- le rapporteur national gazons, Ollivier DOURS
- les ligues régionales de golf
- les services de la Fédération française de golf
- les référents des Agences de l'eau

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

METHODES ALTERNATIVES SUR GAZON POUR LA REDUCTION DES IFT

T. VERFAILLE⁽¹⁾ ; O. DOURS⁽²⁾

⁽¹⁾ KOPPERT France, 14 rue de la Communauté - 44860 Pont Saint Martin - France ;
tverfaille@koppert.fr

⁽²⁾ Quartier La Lauze - Les Rhôdes - 07110 Largentière - France ; dours.ollivier0822@orange.fr

RÉSUMÉ

La société Koppert, leader du biocontrôle, propose aujourd'hui un panel de solutions biologiques pour une gestion écologique des gazons de graminées à vocation sportive. En effet, des macro-organismes tels que les nématodes entomopathogènes ont démontré leur intérêt dans la gestion des ravageurs des gazons, notamment tipules et hannetons. Et depuis 2015, le Trianum, biofongicide préventif à base de *Trichoderma harzianum* souche T22, a obtenu une extension d'homologation sur gazons de graminées contre les agents pathogènes responsables de maladies. Ainsi, les gestionnaires ont aujourd'hui la possibilité d'adapter leurs stratégies de protection phytosanitaire en intégrant ces solutions de biocontrôle dans leurs itinéraires techniques afin de réduire les IFT.

Les résultats du test grande parcelle *Trichoderma*/Dollar Spot et de l'expérimentation nématodes/hannetons viendront illustrer et confirmer l'intérêt de ce couple de solutions et mettre en lumière l'importance des modalités d'application pour s'assurer d'un biocontrôle efficace de ces bioagresseurs.

Mots-clés : gazons, biocontrôle, *Heterorhabditis bacteriophora*, *Trichoderma harzianum*, conditions et méthodes d'application.

ABSTRACT

ALTERNATIVE TOOLS IN ORDER TO REDUCE CHEMICAL TREATMENTS IN TURF

Koppert Biological Systems, market leader in biological crop protection and natural pollination, offers today several biological solutions for an ecological management of sports turfgrass. Indeed, macro-organisms such as entomopathogenic nematodes already showed their interest in white grubs and crane flies management. And from 2015, the preventive bio-fungicide Trianum (*Trichoderma harzianum* strain T22) got the registration for an official use in turfgrass against several diseases. So, nowadays, greenkeepers can adapt their phytosanitary standards by integrating biocontrol solutions in the final strategy in order to reduce chemicals uses.

Results from the trial with entomopathogenic nematodes against white grubs and the field trial with *Trichoderma harzianum* strain T22 against Dollar Spot will emphasize the interest of such biocontrol tools in turfgrass management and the significance of applications modalities in order to optimize the biocontrol of such pests.

Keywords: turf, biocontrol, *Heterorhabditis bacteriophora*, *Trichoderma harzianum*, treatment conditions and methods.

INTRODUCTION

Les gestionnaires de gazons de graminées à vocation sportive sont aujourd'hui confrontés à des freins et des impasses à la fois techniques et réglementaires (retrait de matières actives, réduction des intrants) dans la gestion de certains bioagresseurs (ravageurs et maladies). C'est pourquoi il paraît indispensable aujourd'hui d'identifier et d'intégrer des méthodes alternatives dans une stratégie globale de gestion de ces bioagresseurs. Dans ce cadre, les résultats d'essais de différents moyens de biocontrôle sont exposés dans cet article avec notamment une mise en exergue de l'intérêt des nématodes entomopathogènes dans la lutte contre les hannetons.

BIOCONTROLE DES BIOAGRESSEURS SUR GAZONS DE GRAMINEES

LE DOLLAR SPOT *SCLEROTINIA HOMEOCARPA*

TEST GRANDE PARCELLE A GERLAND - LA PLAINE - TERRAIN D'HONNEUR N°10

La plaine de Gerland représente de nombreux terrains d'entraînement et de jeu pour la pratique du football, et le gestionnaire a fait de la gestion raisonnée des gazons un objectif prioritaire. Concernant les maladies, la principale présente en période estivale sur Gerland est le dollar spot. L'efficacité du *Trichoderma harzianum* souche T22 sur *Sclerotinia homeocarpa*, qui affecte aussi bien les fairways que les greens et gazons à vocation sportive, devait être démontrée. Après plusieurs années de mise au point de méthode de lutte, Koppert a reçu une autorisation de mise sur le marché en France en 2015 pour le TRIANUM (*Trichoderma harzianum* souche T22) 2 formulations sont proposées : une formulation poudre mouillable (WG) et une formulation granulée (G) pour l'usage Gazons de graminées*Trt Sol*Champignons (pythiacées) et l'usage champignons autres que pythiacées. Le *Trichoderma harzianum* souche T22 s'installe sur les racines du gazon et occupe donc la rhizosphère, il permet de retarder l'application de fongicides pour le contrôle du dollar spot et donc de limiter le nombre d'applications. Sur le long terme, il devrait permettre de baisser peu à peu l'inoculum de *Sclerotinia homeocarpa* présent dans le sol.

Lutter contre le dollar spot, c'est d'abord de mettre en œuvre des opérations d'entretien pertinentes telles des interventions mécaniques, la gestion de l'arrosage, le plan de fertilisation ... pour en limiter la virulence. Les deux formulations ont un intérêt Trianium P en traitement d'entretien tous les mois à partir d'avril jusqu'en septembre – octobre et Trianium G à positionner lors des aérations-sablage. L'impact sur les pratiques est supportable si on optimise l'emploi de ces préparations en même temps que la fertilisation comme Proparva développé par Koppert ainsi que les aérations pratiquées en cours d'année.

Un gazon vigoureux est un gazon moins sensible aux attaques mais dans le cas du test effectué à Gerland, un seuil d'intervention ne dépassant pas les 8 taches/m² a été retenu. En cas de dépassement, la préparation microbiologique pourra être combinée avec un fongicide si besoin pour obtenir des résultats encore plus performants dans le cadre d'une lutte intégrée.

LES HANNETONS

Diversité, biologie, et dégâts

Les hannetons sont en recrudescence en France métropolitaine depuis les années 2000 sur différentes espèces végétales telles que les gazons de graminées (à vocation sportive ou non), en pépinières ornementales et forestières et sur des prairies à l'environnement boisé (DGAL-SDQPV, 2013). En terme d'occurrence des ravageurs nuisibles des gazons, les hannetons arrivent en 3^{ème} position avec 33% d'occurrence derrière les tipules (86%) et les vers de terre (79%) mais devant les vers gris de noctuelles (31%) (Dours, 2011).

Il est important de mentionner ici la diversité d'espèces de hannetons pouvant être rencontrée. En effet, on retrouve par ordre d'importance le hanneton commun *Melolontha melolontha* L., le hanneton des jardins *Phyllopertha horticola* L. et dans une moindre mesure le hanneton de la Saint Jean *Amphimallon solstitiale* L. et *Anoxia villosa* F. D'autres espèces telles que le hanneton européen *Amphimallon majalis* R. et le hanneton d'été *Rhizotrogus aestivus* O. peuvent être rencontrées en zones urbaines (DGAL-SDQPV, 2013). Bien qu'ils aient une biologie comparable, le cycle de vie diverge selon les espèces de hannetons, pouvant s'étaler sur 1 an (ex : *A. majalis*, *P. horticola*), sur 2 ans (*A. solstitiale*) voire 3 ans (*M. melolontha*, *R. aestivus*). Le stade adulte comporte trois phases distinctes d'environ une semaine chacune : une phase souterraine, une phase d'activité épigée et une phase de ponte (Piron, 2006). Dans le cas des espèces à cycles pluriannuels, l'hivernation des vers blancs a lieu en profondeur, de mi-octobre à mars, et c'est au printemps que les larves remontent en surface pour s'alimenter et changer de stade.

Les dégâts engendrés, le plus souvent ponctuels et spectaculaires, sont observés en général de juillet à septembre et peuvent être de deux sortes : directs et indirects. En effet, les dégâts directs sont causés par les stades larvaires qui consomment directement le système racinaire induisant un dessèchement du végétal concerné. Dans le cas du gazon, l'ampleur des dégâts dépend de la population larvaire, de la vigueur de la plante et de la pluviométrie. Les dégâts secondaires, souvent les plus dommageables d'un point de vue esthétique et de la pratique du sport concerné, sont quant à eux occasionnés par les prédateurs naturels des larves de hannetons (oiseaux et sangliers) qui, en explorant le sol pour prélever les larves, détruisent totalement le gazon (cf photo 1 ci-dessous).

Figure 1 Dégâts indirects dûs aux prédateurs (oiseaux) de larves de hannetons et tipules.

Indirect damage in turf due to natural predators of white grubs and craneflies.



Des seuils de nuisibilité et donc d'intervention ont été établis sur différentes cultures, dont la variabilité dépend de la vigueur et de l'état hydrique du végétal, ainsi que de la fertilité des sols. Ainsi, ils peuvent passer de 4 à 5 larves/m² en pépinières et cultures légumières à une population comprise entre 20 et 50 larves/m² sur prairies. Dans le cas des golfs, deux seuils de nuisibilité sont considérés selon le type de surface : 25 larves/m² sur avant-green et 10 larves/m² sur greens, pouvant aussi varier selon les niveaux d'entretien exigés corrélés aux niveaux de jeu attendus.

Moyens de gestion des hannetons : vers une solution de biocontrôle

A ce jour, aucune matière active n'est homologuée en France contre les ravageurs du sol en gazons de graminées. Ainsi, les moyens de biocontrôle ont toute leur place dans la gestion de ce type de bioagresseurs. Parmi les nématodes commercialisés, *Heterorhabditis bacteriophora* est celui qui offre la meilleure efficacité (Piron, 2006).

Concernant le hanneton commun *Melolontha melolontha*, des essais menés en Hollande par DLV Adviesgroep nv ont montré une nette réduction des populations lorsque les applications de *Heterorhabditis bacteriophora* sont effectuées en août ou septembre sur jeunes stades larvaires (L1/L2), (avant que ces derniers ne s'enfoncent dans le sol) sur plusieurs années de suite. Ces applications sont notamment nécessaires lorsque des adultes sont observés au printemps ou en début d'été (Lascaux et al., 2013).

Quant à *Phyllopertha horticola*, une efficacité au champ de plus de 90% a été démontrée lorsque le traitement à base de *H. bacteriophora* est appliqué en juillet sur le 2^{ème} stade larvaire ou en août sur le 3^{ème} stade larvaire (Smits, 1999). De nombreux essais ont également été réalisés en Allemagne sur plusieurs années, tout d'abord *in vitro* en laboratoire puis *in situ* sur terrain de golf (Ehlers, in Piron, 2006). Plusieurs facteurs ont été étudiés (doses et période d'application) et les résultats ont permis de démontrer que les traitements doivent être appliqués lorsque les larves sont dans les couches supérieures du sol, de juillet à septembre. En effet, des essais menés en 2003, ont montré une efficacité de 88 % pour une application au 18 juillet contre 60 % pour une application au 10 septembre. Par ailleurs, l'efficacité maximale est observée six ou huit semaines après l'application, pouvant atteindre plus de 90%. Une autre étude (Sulistyanto et Ehlers, 1996) confirme l'intérêt de *H. bacteriophora* vis-à-vis de *P. horticola*, en présence d'*Aphodius contaminatus*, avec une efficacité allant de 65% à 83% selon la dose de nématodes appliquée (0.5 et 1.5 millions IJ/m² respectivement). L'application a été réalisée en juin et c'est le chevauchement des cycles de ces deux espèces de hannetons qui a permis aux nématodes de se maintenir dans le sol, en se multipliant consécutivement dans les hôtes présents. De plus, il est important de noter ici que la modalité *H. bacteriophora* est la seule modalité dont les parcelles élémentaires n'ont pas subi de dégâts par les corbeaux au printemps suivant.

Vis-à-vis de *Amphimallon solstitiale*, une efficacité maximum de 60% a été observée sur les stades L3 et nymphes suite à un traitement avec des nématodes de la famille Heterorhabditidae (Tomalak, 2004).

Enfin, *H. bacteriophora* a démontré une efficacité n'excédant pas 30% sur *Amphimallon majalis* selon les doses d'emploi (Simard et al., 2001 ; Koppenhöfer et al., 2004).

Au vu de la diversité d'espèces de hannetons caractérisés biologiquement par des cycles de vie différents, il paraît indispensable d'identifier clairement l'espèce afin de pouvoir positionner au mieux les traitements.

Importance des conditions et méthodes d'application des solutions de biocontrôle

Comme souvent dans les stratégies de biocontrôle, les méthodes et conditions d'application sont primordiales pour s'assurer de la meilleure efficacité possible de ce type de solutions alternatives (micro- et macro-organismes). Au-delà du bon positionnement dans le temps du traitement vis-à-vis du cycle biologique du ravageur cible qui conditionne l'efficacité des nématodes, d'autres paramètres sont à considérer. Un certain nombre de pratiques culturales et de facteurs édapho-climatiques peuvent influencer sur le comportement, l'efficacité et la survie des nématodes entomopathogènes dans le sol (Alumai et al., 2006).

En effet, dans le cas des golfs, il a été démontré que la gestion différenciée de ces espaces avait une influence sur la présence naturelle et la persistance des nématodes entomopathogènes (*Heterorhabditis bacteriophora*, *Steinernema carpocapsae* et *S. glaseri*), que l'on soit sur un système intensif (greens) ou un système plus extensif (rough). Ainsi, il existe une corrélation négative entre la présence et la survie des nématodes et un mode de gestion intensif des gazons (interventions mécaniques régulières, irrigation, intrants, etc), les trois espèces de nématodes précitées étant retrouvées sur 57% des roughs, 43% des fairways contre 0% sur greens. Par ailleurs, de nombreuses études ont mis en évidence l'impact négatif des applications de certains insecticides, fongicides et herbicides mais aussi de fertilisants sur les nématodes auxiliaires (Shapiro *et al.*, 1996 ; Alumai and Grewal, 2004 ; Koppenhöfer and Grewal, 2005).

D'autres paramètres tels que la structure du sol (densité apparente, porosité), sa texture, l'humidité et le pH ainsi que le taux de matière organique entrent également en ligne de compte. Ainsi, l'occurrence des nématodes, leur capacité de déplacement, leur efficacité et leur persistance sont accrues dans des sols plutôt sableux, avec un pH bas et un taux de matière organique et une humidité élevés (Portillo-Aguillar *et al.*, 1999 ; Alumai *et al.*, 2006).

L'irrigation est également un paramètre important dont il faut tenir compte dans le cadre de traitements à base de nématodes entomopathogènes. En effet, des taux d'efficacité supérieurs à 80% sont régulièrement observés lorsque des arrosages pré- et post-traitement (dans les 24h suivants) sont déclenchés (Downing, 1994). Cependant, bien qu'une humidité importante du sol soit primordiale pour la survie et le déplacement des nématodes, elle peut être néfaste pour la virulence des nématodes lorsqu'elle est couplée à de fortes températures. A titre d'exemple, pour un sol donné avec un taux d'humidité de 15%, le taux de parasitisme des nématodes (les trois espèces précitées sur des larves de *G. mellonella*) après cinq semaines chute de 20% à 20°C contre 80% à 30°C (Grant and Villani, 2003). Néanmoins, cet essai a pu montrer que dans le cas de conditions desséchantes, la virulence des nématodes pouvait être restaurée en réhumidifiant le sol.

MATERIEL ET MÉTHODE

PROTOCOLE DE L'ESSAI HANNETONS

L'objectif de cet essai était d'évaluer l'efficacité d'une application de nématodes entomopathogènes *Heterorhabditis bacteriophora* avec et sans aération puis sablage sur des populations larvaires de hannetons sur gazon de graminées.

Site d'essai

L'essai a été mis en place sur un fairway du golf de Chiberta (Anglet) le 24 septembre 2015. La parcelle de gazon considérée était constituée de ray-grass, fétuque et de pâturin annuel, d'une hauteur d'environ 1 à 2 cm, le tout sur un sol sableux sensible à la sécheresse, et présentait une infestation naturelle de larves de hannetons. Cette dernière a été estimée suite à un déplacement du gazon et à un dénombrement des populations de larves de hannetons présentes. Les populations naturelles du ravageur étaient de l'ordre de 24 larves/m², seuil légèrement inférieur à celui envisagé initialement (25 larves/m²) pour valider la réalisation de l'essai.

Par ailleurs, une identification de l'espèce de hanneton présente a été effectuée en laboratoire (5 échantillons larvaires) et a permis de mettre en évidence que le type de hanneton présent sur la parcelle était le Hanneton Européen *Amphimallon majalis* (Coleoptera: Scarabaeidae).

Modalités étudiées

Trois modalités ont été mises en place :

- **TNT** : Témoin non traité ;
- **M2** : Application par pulvérisation de TROJAN H (*Heterorhabditis bacteriophora*) à la dose de 500 000 individus/m² ;
- **M3** : Application par pulvérisation de TROJAN H (*Heterorhabditis bacteriophora*) à la dose de 500 000 individus/m², suivie d'une aération et d'un sablage.

Les nématodes étant sensibles aux rayonnements UV, le traitement a été réalisé dans la nuit du 24 au 25 septembre 2015. L'irrigation pré-traitement préconisée n'a pas été nécessaire étant donné que les arrosages et conditions climatiques des jours précédents le traitement ont permis d'atteindre un niveau d'humidité du sol satisfaisant et propice au bon développement des nématodes. Un arrosage de 4mm a cependant été effectué dans la demi-heure suivant le traitement afin de permettre aux nématodes de traverser le feutre et d'atteindre la rhizosphère où se trouvaient les larves de hannetons.

Dispositif expérimental

Le choix du dispositif expérimental s'est porté initialement sur un dispositif en blocs aléatoires complets à 4 répétitions, avec une surface de parcelle élémentaire de 12,5 m² (8,33 m x 1,5 m).

Cependant, un dispositif en blocs éclatés a finalement été mis en place afin de pallier l'hétérogénéité d'infestation initiale constatée entre les différentes parcelles élémentaires. Ces dernières ont été classées selon quatre niveaux d'infestation correspondant aux 4 blocs (Bloc 1 : >20 larves, Bloc 2 : entre 15 et 20 larves, Bloc 3 : entre 5 et 15 larves, Bloc 4 : ≤ 5 larves) puis ont été distribuées de manière aléatoire au sein de ces différents blocs (cf Figure 1 ci-dessous).

Figure 2. Schéma du dispositif expérimental mis en place sur le golf de Chiberta.
Experimental design plan at Chiberta's golf.

P7	P8	P9	P10	P11	P12
M3	M2	M3	M2	T	M3
5	1	25	23	44	16
P1	P2	P3	P4	P5	P6
T	M2	T	M3	M2	T
20	15	14	1	8	5

Observations et notations

Une première notation du nombre de larves de hanneton a été effectuée avant traitement (T0), le jour même, afin d'estimer les populations initiales du ravageur sur les parcelles de l'essai. Une seconde notation du nombre de larves de hannetons a eu lieu 21 jours après traitement (T1+21j) afin d'évaluer l'efficacité du traitement seul et de la combinaison de ce dernier avec une aération puis sablage.

Pour cela, 10 quadrats de 25 cm de côté et sur une profondeur de 15 cm (déplacage du gazon) ont été échantillonnés de manière aléatoire sur chacune des parcelles élémentaires.

Analyse des résultats

L'analyse statistique du nombre de larves vivantes par m² de gazon a fait appel à une ANOVA.

Un calcul de l'efficacité corrigée, selon la formule de Henderson-Tilton (1947), permet de prendre en compte les différences des niveaux d'infestation des modalités traitées par rapport à la modalité Témoin

ainsi que de la dynamique des populations dans cette dernière, le cas échéant.

$$\text{Efficacité corrigée (\%)} = \frac{1 - (N_{\text{TNT_avant traitement}} \times N_{\text{Traité après traitement}})}{N_{\text{TNT après traitement}} \times N_{\text{Traité avant traitement}}} \times 100$$

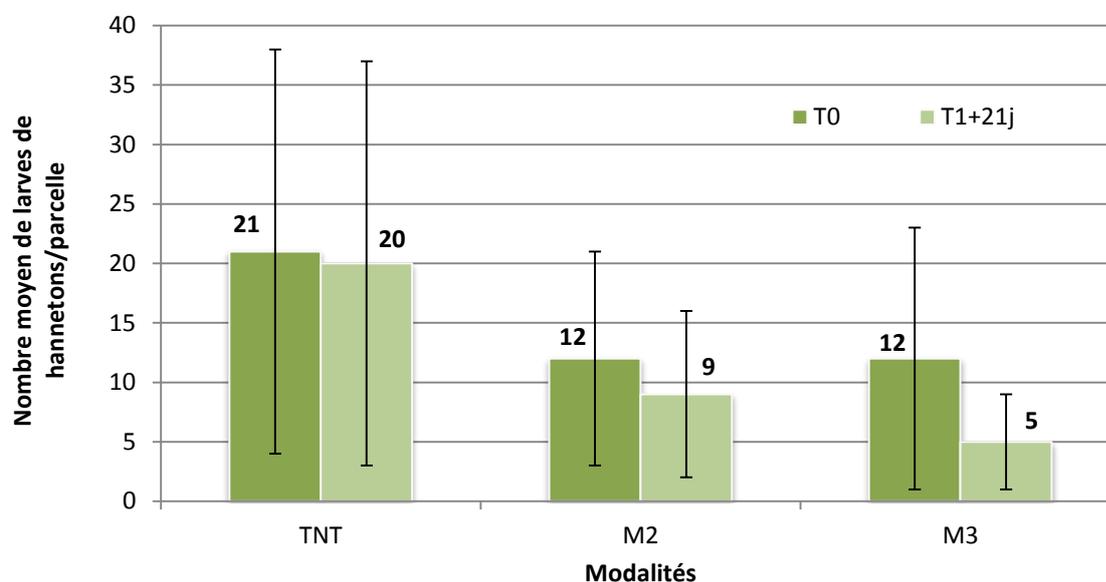
$$N_{\text{TNT après traitement}} \times N_{\text{Traité avant traitement}}$$

RESULTATS

La Figure 3 met en évidence l'hétérogénéité d'infestation initiale entre la modalité TNT (Témoin) et les modalités traitées M2 (nématodes seuls) et M3 (nématodes + aération + sablage). En effet, la pression en ravageurs (différents stades larvaires) est en moyenne deux fois plus importante dans la modalité Témoin que dans les deux autres modalités (21 larves en moyenne dans le Témoin contre 12 larves en moyennes dans les deux modalités traitées). Par ailleurs, une variabilité importante intra-modalité est également observée à T0, les parcelles élémentaires des différents blocs présentant des niveaux d'infestation différents.

Figure 3. Dynamique des populations larvaires de hanneton après traitement à base de nématodes entomopathogènes dans chacune des modalités (avant traitement, T0, et trois semaines après traitement, T1+21j).

Evolution of white grub larval populations after a treatment with entomopathogenous nematodes (T0: before treatment; T1+21J: 3 weeks after treatment).



Cependant, la dynamique des populations montre que les populations larvaires de hanneton dans la modalité TNT est plus ou moins constante en moyenne avant et après traitement, passant de 21 larves à T0 à 20 larves trois semaines après traitement. A l'inverse, les populations de hannetons diminuent après traitement dans les deux modalités traitées, passant de 12 à 9 larves dans la modalité M2 et de 12 à 5 larves dans la modalité M3 trois semaines après traitement.

Le Tableau I ci-dessous permet de mettre en exergue l'efficacité de chacune des modalités. En effet, bien que l'on observe une légère baisse des populations dans la modalité TNT, la chute des populations dans les modalités traitées trois semaines après traitement est conséquente mais non statistiquement significative, avec une efficacité constatée de l'ordre de 28% et de 62% dans les modalités M2 et M3 respectivement. Par ailleurs, il est important de noter ici que des larves de hannetons parasitées par *H. bacteriophora* ont été retrouvées dans les parcelles des deux modalités traitées.

Tableau I. Evolution du nombre moyen de larves de *Amphimallon majalis* par modalités avant et après traitement à l'aide de nématodes entomopathogènes *H. bacteriophora* et efficacité corrigée.

Larval populations dynamic of *Amphimallon majalis* before and after treatment with entomopathogenic nematodes and corrected efficacy.

	T0	T1+21j	Mortalité (%)	Efficacité corrigée (%)
M1	21 ± 17 a	20 ± 17 a	2,4	-
M2	12 ± 9 a	9 ± 7 a	27,7	25,9
M3	12 ± 11 a	5 ± 4 a	61,7	60,8

Etant donné que la modalité TNT présente une évolution à la baisse des populations de larves de hanneton de l'ordre de 2% avant et après traitement, il est nécessaire de calculer une efficacité corrigée pour les modalités traitées (M2 et M3) tenant compte de cette évolution dans le Témoin. Par conséquent, l'efficacité corrigée des modalités traitées est finalement de l'ordre de 26% pour la modalité M2 et de 61% pour la modalité M3. Bien qu'il n'y ait pas de différence statistiquement significative entre le Témoin et les modalités traitées trois semaines après traitement, qui est notamment due à une forte variabilité des niveaux d'infestation entre blocs, une tendance générale à la baisse des populations de hanneton dans les modalités traitées est constatée. Ainsi, le traitement à base de nématodes entomopathogènes *H. bacteriophora* semble démontrer une certaine efficacité, d'autant plus importante lorsque ce dernier est couplé à une opération d'aération et de sablage.

DISCUSSION

Les résultats de l'essai hannetons démontrent l'intérêt des nématodes entomopathogènes (*Heterorhabditis bacteriophora*) comme moyen de lutte contre *Amphimallon majalis* et met en évidence l'importance des méthodes et conditions d'application. En effet, les résultats de l'application de nématodes entomopathogènes seuls confirment des résultats antérieurs mitigés, avec une efficacité ne dépassant pas 30% (Simard et al., 2001 ; Koppenhöfer et al., 2004). Cependant, l'application de cet auxiliaire de lutte biologique couplée à une intervention mécanique telle qu'une opération d'aération puis de sablage permet d'atteindre un niveau d'efficacité de l'ordre de 60%. Ceci confirme la nécessité de construire une stratégie globale de lutte associant des moyens de biocontrôle à des opérations mécaniques. En effet, l'opération d'aération puis de sablage a certainement eu une incidence directe sur le ravageur cible (destruction mécanique des larves) mais a également favorisé la pénétration des nématodes dans le sol et leur permettant aussi d'atteindre plus facilement les larves de hannetons. Il est par ailleurs primordial de tenir compte du positionnement dans le temps du traitement et des méthodes et conditions d'application afin de s'assurer d'une efficacité optimale de tels auxiliaires.

Quant à la problématique Dollar Spot, les résultats du test grandeur nature effectué à la Plaine de Gerland ont démontré l'intérêt du *Trichoderma harzianum* souche T22 dans la lutte contre le dollar Spot, permettant ainsi de réduire l'incidence du pathogène et le nombre d'interventions chimiques. Les deux formulations du produit commercial Triatum, poudre mouillable à pulvériser et granules à épandre en surface, permettent au gestionnaire de choisir le mode d'application. Ainsi, la formulation poudre hydrosoluble permet une application mensuelle par pulvérisation tandis que la formulation granulée peut être mélangée au sable lors d'un top dressing souvent pratiqué après une aération plus importante comme avec des louchets creux. L'application mensuelle de la préparation doit être si possible en phase avec les aérations, et si un top dressing est effectué, la préparation sous forme de granules peut être mélangée au sable.

CONCLUSION

Sur gazon, deux solutions biologiques existent permettant de contrôler le nombre de fongicide ou d'insecticide appliqués sur gazon, mais aussi d'améliorer la qualité d'enracinement du gazon. Ainsi, les nématodes entomopathogènes ont démontré leur efficacité sur vers blancs à condition de bien positionner les applications en fonction des cycles biologiques. De plus, les opérations de sablage-aération ont démontré leur intérêt lorsqu'elles sont couplées aux nématodes. Par ailleurs, au travers du

test grandeur nature mené en 2015, la préparation *Trichoderma harzianum* souche T22 a fait ses preuves en permettant notamment de limiter l'impact du Dollar Spot et le nombre d'applications à un traitement en août 2015. En pratique, *Trichoderma harzianum* doit être apporté au cours d'opérations d'aération qui donne de l'oxygène à la rhizosphère et permettent dans le même temps au champignon antagoniste de coloniser rapidement les nouvelles racines mais aussi en traitement d'entretien d'avril jusqu'à septembre.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la DGAL et FREDON Aquitaine pour la réalisation de l'essai hannetons ainsi que Patxi ITHURRY du Golf de Chiberta pour la mise à disposition du site d'essai et des interventions mécaniques réalisées dans le cadre de cet essai.

Par ailleurs, nous remercions également Thierry Hornebeck (*Direction des Sports - Responsable Service-Entretien des Terrains et Travaux de la mairie de Lyon*) et son équipe pour leur investissement dans l'essai Dollar Spot grandeur nature réalisé sur la Plaine de Gerland.

BIBLIOGRAPHIE

Alumai A. and Grewal P.-S., 2004. Tank-mix compatibility of the entomopathogenic nematodes, *Heterorhabditis bacteriophora* and *Steinernema carpocapsae*, with selected chemical pesticides used in turfgrass. *Bicontrol Science and Technology*, 14, 7, 725-730.

Alumai A., Grewal P.-S., Hoy C.-W., Willoughby D.-A., 2006. Factors affecting the natural occurrence of entomopathogenic nematodes in turfgrass. *Biological control*, 36, 368-374.

DGAL-SDQP, 2013. Note nationale BSV, 2013. Hannetons et vers blancs.

Dours O., 2011. Situation phytosanitaire des gazons en 2010 : Appréhendée à partir du réseau de surveillance des surfaces herbacées des golfs. *PHYTOMA - La Défense des Végétaux*, 645, 21-25.

Downing A., 1994. Effect of irrigation and spray volume on efficacy of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Heterorhabditidae) against white grubs (Coleoptera: scarabaeidae). *J. Econ. Entomol.*, 87,3, 643-646.

Grant J.-A., Villani M.-G., 2003. Soil moisture effects on entomopathogenic nematodes. *Environ. Entomol.*, 32, 1, 80-87.

Koppenhöfer A.M., Fuzy E.M., Crocker R.L., Gelernter W.D. and Polavarapu S., 2004. Pathogenicity of *Heterorhabditis bacteriophora*, *Steinernema glaseri* and *S. scarabei* (Rhabditida : Heterorhabditidae, Steinernematidae) against 12 white grubs species (Coleoptera : Scarabaeidae). *Bicontrol Science and Technology*, 14, 1, 87-92.

Koppenhöfer A.M. and Fuzy E.M., 2006. Effect of soil type on infectivity and persistence of the entomopathogenic nematodes *Steinernema scarabaei*, *Steinernam glaseri*, *Heterorhabditis zealandica*, and *Heterorhabditis bacteriophora*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 92, 11-22.

Piron M., 2006. Utilisation des nématodes auxiliaires Steinernematidae et Heterorhabditidae pour la protection des principaux ravageurs du sol en gazon. CR de la 1ère conférence AFPP sur l'entretien des espaces verts, jardins, gazons, forêts, zones aquatiques et autres zones non agricoles, Avignon, 11 et 12 octobre 2006.

Portillo-Aguillar C., Nyrop J.-P., Tauber M.-J., Tauber C.-A., Villani G., 1999. Entomopathogenic nematode (Rhabditida: Heterorhabditidae and Steinernematidae) response to soil texture and bulk density. Environ. Entomol., 28, 6, 1021-1035.

Shapiro D.I., Lewis L.C., Tylka G.L., 1996. Effects of fertilizers on virulence of *Steinernema Carpocapsae*. Appl. Soil Ecol., 3, 27-34.

Smits P.H., 1999. Field efficacy of an early and late application of *Heterorhabditis bacteriophora* against the garden chafer (*Phyllopertha horticola*) in turf. 9p.

Suggars Downing A., 1994. Effect of irrigation and spray volume on efficacy of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Heterorhabditidae) against white grubs (Coleoptera: scarabaeidae). J. Econ. Entomol., 87,3, 643-646.

Sulistyanto D., Ehlers R.-U., 1996. Efficacy of the entomopathogenic nematodes *Heterorhabditis megidis* and *Heterorhabditis bacteriophora* for the control of grubs (*Phyllopertha horticola* and *Aphodius cantaminatus*) in Golf Turf. Biocontrol Science and Technology, 6, 247-250.

Tomalak M., 2004. Susceptibility of the june chafer, *Amphimallon solstitiale*, to entomopathogenic nematodes. COST 850: use of entomopathogenic nematodes to control with grubs in turf; Belgium may 2004.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

COLLECTION VARIETALE AU GOLF DE TOURAINE

L. MURAIL⁽¹⁾ ET O. DOURS⁽²⁾

⁽¹⁾ Golf de Touraine Château de la Touche - 37510 Ballan-Miré – France ; laurent.murail@wanadoo.fr

⁽²⁾ Quartier La Lauze « Les Rhôdes » - 07110 Largentière - France ; dours.ollivier0822@orange.fr

RÉSUMÉ

Il s'est avéré nécessaire de mettre en œuvre une collection variétale de gazon selon un protocole harmonisé au sein du golf de Touraine, pour déterminer les variétés qui seront utilisées en regarnissage dans un programme de conversion de flore.

Il est également apparu nécessaire de décrire le contexte dans lequel s'effectuait ce choix selon les termes précis des objectifs poursuivis.

La méthodologie adoptée est mise en œuvre au sein d'une plate-forme gazon, sachant que ce protocole a des applications pour le réseau d'épidémiologie. Ces zones peuvent servir de support au suivi biologique des organismes nuisibles puisque ce dispositif est un système non traité capable d'extérioriser l'apparition des maladies sans antériorité de protection.

L'objet de cette communication est de décrire les modalités de ce dispositif situé en amont de l'épidémiologie et de formaliser le choix des graminées à retenir pour chaque zone de jeu.

Mots-clés : Collections-Variétés-Gazons-Dispositifs-Epidémiologie.

ABSTRACT

VARIETAL COLLECTION AT GOLF DE TOURAINE

A varietal collection according to a harmonized protocol has been essential to clarify the choice of turfgrasses varieties that should be used in an overseeding program to achieve a flora conversion at Golf de Touraine.

Likewise, it has been necessary to describe the context within this choice was carried out according to the specific terms of the purpose.

The methodology arose under a turfgrass test platform, knowing that this protocol will have applications for the epidemiology. Since these areas can provide an excellent support for the biological monitoring of pests organisms since this device is an untreated system that is able to show the appearance of diseases without previous protection program.

The purpose of this communication is to describe this device upstream of epidemiology and formalize the choice of turfgrasses to be used for each turfgrass areas of a golf course.

Keywords : Collections- Variety - Lawns-Devices- Epidemiology and surveillance.

INTRODUCTION

La problématique du choix des espèces et variétés les mieux adaptées à un biotype est une difficulté à laquelle tout intendant est confronté pour la sélection des différents types de gazons d'un golf. Ce raisonnement par induction et présomption permet au gestionnaire d'intégrer les contraintes sensibles de son milieu, qu'elles soient d'ordre techniques, pédoclimatiques, économiques ou environnementales ainsi qu'une connaissance de la pratique du jeu. C'est un ensemble de critères qui va le guider dans son choix. Cette démarche empirique apparaît en l'état insatisfaisante. Une collection variétale concrète devrait permettre de mieux formaliser ce choix. Il faut se placer dans le contexte du jeu de golf et des attentes de sa pratique en tenant compte de l'environnement (eau-protection sanitaire-fertilisation) et du type de tapis végétal que l'on recherche.

Parmi la diversité des espèces, l'espèce de graminée (ou le mélange de graminées) choisie devra répondre à des exigences agronomiques plus ou moins larges. Son aptitude à s'établir et à proliférer est conditionnée par une alimentation hydrique qui est de fait limitée en quantité et par les tontes fréquentes pour chaque typologie de zones. Plusieurs caractères rendent la composition variétale d'un gazon à vocation sportive performante : tout d'abord sa faculté à coloniser le lieu où elle est destinée à être implantée dans l'espace et le temps, puis sa résistance vis-à-vis des bio-agresseurs, et sa résistance mécanique et physique aux contraintes découlant des activités de jeu répétées puisque la pérennité du gazon est un objectif important recherché. La mise en place de ces plates-formes au sein du golf de Touraine est un support pour évaluer le comportement de différentes espèces et variétés vis-à-vis des agresseurs fongiques et des plantes indésirables, mais aussi un outil pédagogique et un lieu de production de données permettant de renforcer les connaissances des situations phytosanitaires pour une meilleure épidémiologie. Afin que l'utilisation de variétés gazon résistantes ou tolérantes soit rationnelle et préserve la diversité, ce dispositif proposé aux intendants de golf de toutes les régions constitue un outil d'aide à la décision du choix variétal sur tout le territoire français.

MATERIEL ET MÉTHODE

DISPOSITIF

Si chaque intendant produit ses propres plans de plates-formes, il est cependant demandé un minimum de surface et de pratiques culturales en utilisant un ensemble d'intrants (engrais, amendements, irrigation) pour à la fois homogénéiser ces dispositifs spéciaux, et en assurer la pérennité.

Situé aux portes de Tours, le Golf de Touraine (créé dans les années 70) bénéficie d'un climat tempéré d'influence océanique, et se situe dans un écrin arboré sur les terrasses du Cher et de la Loire sur un sol riche, argilo-calcaire. Le dispositif mis en place au Golf de Touraine comprend 19 micro-parcelles sans répétition : **surface de 3 m²** (2 m x 1,5 m), pour pouvoir juger correctement les différents choix variétaux ou de mélange d'espèces. Soit une surface totale de 57 m².

Semis

Le semis est fait à la main, la dose nécessaire de semences est pesée au gramme près pour l'ensemble des espèces.



Photo 1 : plate-forme au semis



Photo 2 : semis mi-mai

Le semis est réalisé sous voile de forçage (type P17) pour optimiser la levée, puis la bâche est retirée après germination après une durée d'environ 10 jours à l'exception du *Cynodon dactylon* qui présente des difficultés particulières à lever sur un sol riche assez humide de type argilo-calcaire car les hybrides de *Cynodon* n'aiment pas les sols lourds et humides présents au golf de Touraine. Les traitements de semences des variétés semées sont permis car il s'avère complexe pour les semenciers de fournir des semences non traitées.

Façons culturales :

Post-semis + 3 jours, les opérations suivantes ont été réalisées :

1. Fertilisation : organo-minérale NPK : 10 - 3 - 7 à 20 grammes/ parcelle.
2. Sablage de reprise de niveau pour l'obtention d'une surface plane à la dose 3 litres/m².

Rythme de tonte :

La première tonte intervient un mois après la levée lorsque les parcelles les plus « poussées » atteignent entre 40 à 60 mm. Les deux premières tontes sont effectuées au roto fil et la hauteur de coupe de la tondeuse hélicoïdale est amenée alors à 13 mm. Les tontes suivantes sont bihebdomadaires en période de pousse importante (printemps et début d'automne).

Irrigation :

L'irrigation est pratiquée, si nécessaire, pour assurer l'implantation ou la survie de la plate-forme. La gestion de l'irrigation est raisonnée au même rythme que celle pratiquée dans le golf correspondant à la zone de jeu du fairway en fonction des besoins de la plante afin de se tenir en permanence à un taux d'humidité du sol toujours supérieur à 20% et la quantité d'eau apportée correspond à 50% de l'ETP journalière.

FORMULER UNE LISTE DES ESPECES PRESENTES DANS CHAQUE DISPOSITIF

Au golf de Touraine le choix s'est porté sur 15 espèces, plus 4 mélanges laissés au choix de l'intendant. Appliqué à la collection dans toute leur diversité, qu'il soit issu de la filière du golf ou des pelouses à vocation sportive, le choix des variétés ou mélanges constituant la collection est laissé au libre arbitre du gestionnaire.

Dispositif de la plateforme :

19 parcelles : 4 mélanges et 15 espèces.

Tableau I : Liste des espèces figurant dans la plate-forme gazon du Golf de Touraine
(List of species listed in the grass of "Golf de Touraine" platforms)

Parcelles	Espèces		Variétés	Quantités semées/ parcelle
Mélange 1	Fétuque rouge demi-traçante	<i>Festuca rubra L. Ssp litoralis et Ssp pruinosa</i>	Rosita	25 g
	Fétuque rouge gazonnante	<i>Festuca rubra L.</i>	Olivia	
	Agrostide ténue	<i>Agrostis capillaris L.</i>	Egmont	
Parcelle 2	Ray-grass anglais	<i>Lolium perenne L.</i>	Greenway	40 g
Parcelle 3	Ray-grass anglais	<i>Lolium perenne L.</i>	Fandango	40 g
Mélange 2	30% Fétuque rouge demi-traçante	<i>Festuca rubra L. Ssp litoralis et Ssp pruinosa</i>	Colline	25 g
	30% Fétuque rouge demi-traçante	<i>Festuca rubra L. Ssp litoralis et Ssp pruinosa</i>	Garance	
	Ray-grass anglais	<i>Lolium perenne L.</i>	Trancate	
	Pâturin des près	<i>Poa pratensis L.</i>	Conni	

Parcelles	Espèces		Variétés	Quantités semées/ parcelle
Parcelle 5	Pâturin des près	<i>Poa pratensis</i> L.	Conni	25 g
Parcelle 6	Pâturin commun	<i>Poa trivialis</i> L.	Solo	25 g
Parcelle 7	Fétuque rouge traçante	<i>Festuca rubra</i> L. Ssp. <i>Rubra</i>	Mystic	30 g
Mélange 3	60 % Canche Cespiteuse	<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv.	Barcampsi	30 g
	20% Fétuque rouge demi-traçante	<i>Festuca rubra</i> L. Ssp <i>litoralis</i> et Ssp <i>pruinosa</i>	Baroyal	
	20% Ray Grass Anglais	<i>Lolium perenne</i> L.	Bargold	
Parcelle 9	Fétuque rouge gazonnante	<i>Festuca rubra</i> L. Ssp. <i>Commutata</i>	Olivia	25 g
Parcelle 10	Fétuque rouge demi-traçante	<i>Festuca rubra</i> L. Ssp <i>litoralis</i> et Ssp <i>pruinosa</i>	Green light	25 g
Parcelle 11	Fétuque rouge demi-traçante	<i>Festuca rubra</i> L. Ssp <i>litoralis</i> et Ssp <i>pruinosa</i>	Rosita	25 g
Parcelle 12	Fétuque ovine DURETTE	<i>Festuca ovina</i> L.	Clio	25 g
Parcelle 13	Fétuque élevée gazonnante	<i>Festuca arundinacea</i> Schreber	Olivine	40 g
Parcelle 14	Cynodon	<i>Cynodon Dactylon</i> L.	La paloma	10 g
Parcelle 15	Dactyle	<i>Dactylis glomerata</i> L.	Luron	40 g
Parcelle 16	Agrostide ténue	<i>Agrostis capillaris</i> L.	Egmontwo	10 g
Parcelle 17	Agrostide ténue	<i>Agrostis capillaris</i> L.	Allure	10 g
Parcelle 18	Agrostide stolonifère	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	Alpha	10 g
Mélange 4	Fétuque rouge traçante	<i>Festuca rubra</i> L. Ssp. <i>Rubra</i>	Herald	40 g
	Ray-grass anglais	<i>Lolium perenne</i> L.	Lex 86	
	Ray-grass anglais	<i>Lolium perenne</i> L.	Titus	

CRITERES DE MESURES

La prise en compte, par les firmes semencières, de la résistance variétale aux maladies est devenue une des actions prioritaires de travail assurées par les sélectionneurs. C'est un axe de recherche très important qui doit rester en amont de ce dispositif. Le choix des notations à réaliser sur « maladies » « plantes adventices » et comportement des variétés vis-à-vis des critères agronomiques est un élément essentiel qui a motivé aussi la mise en œuvre de cette plate-forme isorisque gazon au golf de Touraine. Son protocole de suivi sur une année de cycle complet des variétés et mélanges constituant la plate-forme est le suivant : apparitions des maladies sur mélange ou variétés

constituant la plate-forme (notation du type 0 à 4, 0 à 3 pour les adventices) et jugement du comportement (notation de type 0 à 4) en fonction des critères de jeu du golf.

Critères maladies :

La notation des critères maladie est chiffrée identique au rythme hebdomadaire de vos observations de terrain exigées dans le cadre de la veille phytosanitaire. Afin de disposer d'une détection précoce de toutes les maladies des gazons, il est nécessaire de bien renseigner les différentes maladies avec la grille de notation proposée afin de produire un renseignement objectif de la situation sanitaire de cette zone non traitée afin d'en rendre la synthèse adaptée au réseau d'épidémiosurveillance existant. Ce n'est en aucun cas une notation qui a pour but d'évaluer le comportement des variétés en comparaison avec des variétés témoins de référence, travail réalisé dans les limites des notations réalisées par les organismes officiels du CTPS et des obtenteurs ayant des variétés en étude dans leurs essais. Pour le choix des variétés ou mélange, les critères se sont resserrés sur les trois maladies qui sont les plus récurrentes au golf de Touraine.

Tableau II : Légende maladies des gazons
(*Turfgrass diseases legend*)

Fusariose hivernale <i>Microdochium nivale</i> (Fr.) Samuels & Hallett		Anthracnose <i>Colletotrichum graminicola</i> (Ces.) G.W.Wilson		Dollar spot <i>Sclerotinia homeocarpa</i> F.T.Benn.	
<i>Remarque :</i> la fusariose hivernale et le dollar spot concernent toutes les surfaces de jeu, l'anthracnose est plus problématique aux greens.					
Critères maladies	Note 0 :	Attaque généralisée			
	Note 1 :	Plusieurs foyers			
	Note 2 :	Premiers foyers ou dessèchement de feuilles			
	Note 3 :	Premiers symptômes			
	Note 4 :	RAS			

Critères plantes adventices :

Dans les cas de pollution par les dicotylédones et les graminées indésirables dans les gazons de la plate-forme, l'observateur doit renseigner les espèces présentes dans le cadre de l'épidémiosurveillance. Pour le critère adventice relatif au choix des variétés à retenir, trois espèces adventices sont considérées plus gênantes que d'autres, il s'agit des véroniques, de la pâquerette ainsi que le pâturin annuel.

Tableau III : Légende adventices
(*Turfgrass adventices legend*)

Véronique <i>Veronica</i> sp		Pâquerette <i>Bellis perennis</i> L.		Pâturin annuel <i>Poa annua</i> L.	
<i>Remarque :</i> les adventices pour ce critère sont les plantes le plus représentées dans le golf.					
Critères adventices	Plantes	Note 0 :	> 5 m ² ou > 10% de la surface		
		Note 1 :	1 à 5 m ² ou 1 à 10% de la surface		
		Note 2 :	Présence		
		Note 3 :	RAS		

Critères sur le comportement des espèces :

Ils concernent sept compartiments qui sont jugés selon des critères qualitatifs ou mesurés selon les attentes agronomiques adaptées aux différentes zones de jeu du golf de Touraine, les critères pris en compte sont :

- Installation-Densité du gazon: c'est une mesure, elle est appréciée visuellement d'après l'importance de la végétation mesurée 40 jours après le semis et à deux mois afin d'évaluer l'agressivité et la densité de la future espèce retenue pour le regarnissage.
- Aspect esthétique global : critère qualitatif et mesurable, c'est l'état de recouvrement du sol par le tapis végétal apprécié selon les critères du jeu du golf recherché (balle parfaitement portée et posée au-dessus des brins sur les différentes zones de jeu constituant le golf, couleur du tapis végétal uniforme et vitesse de roulement de la balle, ce dernier est un critère mesurable).
- Comportement vis-à-vis des tontes hélicoïdales : critère qualitatif, il estime le comportement de la variété ou du mélange par rapport au travail de la tondeuse hélicoïdale (coupe net de la feuille) adaptée aux différentes hauteurs de tontes d'un parcours de golf.
- Tolérance à la satiété et la sécheresse : c'est un critère qualitatif l'irrigation est très suivie au golf de Touraine afin de limiter en quantité les apports hydriques, par extension l'alimentation des plantes est aussi un intrant qui est raisonné dans la même optique.
- Comportement hivernal et estival : critère qualitatif c'est la reprise du gazon en sortie d'hiver et résistance au forte chaleurs durant l'été.
- Tolérance à l'ombre : le golf de Touraine est très arboré, les zones d'ombre portée sur le gazon sont courantes sur toute les surfaces de jeu (greens, départs et fairways). C'est un critère qualitatif.

Tableau IV : Légende étude agronomique
(*agronomic studies legend*)

Densité du gazon	Tolérance à l'ombre	Comportement hivernal, capacité de régénération ou de récupération sortie hiver et durant l'été.	Comportement vis-à-vis des tontes hélicoïdales
Aspect esthétique global vis-à-vis de la pratique du golf	Rapidité d'installation et agressivité en regarnissage	Tolérance à la satiété : sècheresse et carence	
<i>Remarque : pour chaque compartiment, on a donné une valeur de 0 à 4</i>			
Critères agronomiques	Note 0 :	Sans intérêt (inadapté)	
	Note 1 :	Insatisfaisant	
	Note 2 :	Moyen	
	Note 3 :	Bon	
	Note 4 :	Très bon à excellent	

RESULTATS

5 parcelles ont été abandonnées très rapidement en raison de leurs inaptitudes à répondre aux critères du jeu de Golf notamment sur l'installation 40 jours après le semis et leur agressivité en regarnissage concernant l'aspect général (critères sur les différentes zones de jeu du golf de Touraine).

Tableau V : Espèces ou mélanges écartés en raison de l'aspect général
(*Turfgrasses excluded because of the general agronomic studies*)

Parcelle 4 : Mélange 60% Fétuque rouge ½ traçante 20% RGA 20% Pâturin des près			Abandon : problème d'installation critère jugé à 40 jours après le semis : la parcelle 4 n'est pas apparue assez dense.
Parcelle 8 : Mélange 60% Canche cespiteuse 20% RGA 20% RGA			Abandon : la canche ne s'installe pas après 40 jours, il ne reste plus que les Ray-grass anglais.
Parcelle 14 : <i>Cynodon dactylon</i>			Abandon : problème d'installation (levée difficile à 40 jours, sol trop argilo-calcaire et humide qui ne convient pas à cette espèce).
Parcelle 15 : dactyle			Abandon après 40 jours : aspect feuilles trop grossières pour les critères esthétique global retenu pour le golf de Touraine.
Parcelle 19 : Mélange 30% fétuque rouge traçante. 50% RGA. 20% RGA.			Abandon : gazon trop creux à 40 jours et deux mois après le semis.

Critère du Green : 5 critères recherchés :

Greens :

La résistance aux maladies, la couleur de la variété (critère esthétique évaluer en fonction du pâturin annuel), et leur capacité de densification et de régénération ainsi que leurs performances après **des tontes courtes (4,5 mm)** sont les principaux critères de choix.

Pour cette zone les critères retenus qui pèsent le plus dans le choix de la variété au final :

1. Sa résistance aux maladies.
2. Aspect général.
3. Comportement vis-à-vis du *Poa annua*.
4. Rapidité d'installation en regarnissage.

Sursemis des greens



Le choix se resserre naturellement sur les agrostides, on élimine les Ray-grass, Pâturins et Fétuques et les mélanges qui ne peuvent pas s'adapter à la hauteur de tonte.

Tableau VI: choix variétal des greens

(Greens : Turfgrass choices)

	Aspect général	Tolérance à l'ombre	Tontes hélicoïdales	Résistance aux maladies			Sur-semis		Adv. <i>P. annua</i>	Hiver-été		Tolérance à la satiété	
				Anthraxnose	<i>M. nivale</i>	Dollar spot	agressivité	rapidité		hiver	été	Sécheresse	Carence
Parcelle 16 : <i>Agrotis capillaris</i>													
Parcelle 17 : <i>Agrotis capillaris</i>													
Parcelle 18 : <i>Agrotis stolonifere</i>													
Choix final	<i>Agrotis capillaris</i> « Egmontwo »												
													
<p>Argument : On peut retirer de ce choix plusieurs enseignements utiles : sa faible consommation d'eau et d'engrais, cette variété a été retenue aussi en raison de son port et sa couleur se rapprochant du <i>Poa annua</i> et sa résistance à l'anthraxnose. Elle est très bien adaptée au climat continental océanique de la région Tourangelle avec des hivers plus cléments et des étés plus doux.</p>													

Critère départ : 2 critères recherchés.

Départs :

Remplacement des divots

Sursemis des zones dégarnies

La rapidité d'installation en regarnissage sur des zones où les stress mécaniques (piétinements, divots) sont importants est le critère principal.

Pour cette zone les autres critères retenus qui pèsent le plus dans le choix de la variété au final :



1. Sa résistance aux maladies.
2. Aspect général.

Zones des Départs

Le choix se resserre naturellement sur les Ray-grass, on élimine les Agrostides, Pâturins et Fétuques et les mélanges qui ont une levée plus lente.

Tableau VII: choix des variétés des départs

(Tees : Turfgrass choices)

	Aspect général	Tolérance à l'ombre	Tontes hélicoïdales	Résistance aux maladies			Sursemis		Adventices			Hiver-été		Satiété	
				Anthraxose	M .nivale	Dollar spot	Agressivité	Rapidité	Pâquerette	Véronique	Poa annua	hiver	été	Sécheresse	carence
Parcelle 2 RGA 1															
Parcelle 3 RGA 2															
Choix final	Ray grass anglais à feuillage fin : Greenway														
															
<p>Argument : Le ray-grass anglais Greenway a été retenu en raison de la faible surface des départs et le stress mécanique auxquels il est soumis nécessitant des regarnissages fréquents à base de graminées possédant une installation rapide.</p>															

Critère fairway : 4 critères recherchés.

Fairways :

La tolérance vis-à-vis des intrants (satiété-tolérance aux maladies-irrigation) est le critère prédominant pour le choix de la variété ou le mélange.

Pour cette zone les autres critères retenus qui pèsent le plus dans le choix de la variété au final :

1. Aspect général pour la pratique du golf.
2. Comportement Eté-Hiver.

Sursemis fairway



Zones de Fairways

Le choix se resserre naturellement sur les Fétuques, on élimine les Ray-grass, Pâturins et Agrostides et les mélanges qui sont considérés plus gourmands en intrants.

Tableau VIII: choix varietal des fairways

(Fairways : Turfgrass choices)

	Aspect général	Tolérance à l'ombre	Tontes hélicoïdales	Résistance aux maladies			Rapidité sursemis		Adventices			Hiver-été		Satiété		
				Anthraxose	M.nivale	Dollar spot	agressivité	rapidité	Pâquerette	Véronique	Poa annua	hiver	été	Sécheresse	Carence	
Parcelle 7 : Fétuque rouge traçante		-														
Parcelle 9 : Fétuque rouge gazonnante																
Parcelle 10: Fétuque rouge ½ traçante																
Parcelle 11: Fétuque rouge ½ traçante																
Parcelle 13 : Fétuque élevée			Abandon : feuillage trop grossier													
Choix final	<p>Le choix s'est orienté vers un mélange de Fétuque rouge demi-traçante et gazonnante (80 -20). 80% Fétuque rouge ½ traçante : Greenlight 20% Fétuque rouge gazonnante : Olivia</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Argument : la baisse des intrants nous oblige à orienter le choix vers des variétés peu consommatrices en eau et fertilisants, et produits sanitaires tout en maintenant un tapis végétal qui tient la balle en toute saison.</p>															

NOMBRE DE PLATES-FORMES ISORISQUES GAZON

L'objectif idéal serait de disposer d'une plate-forme par région, soit 13 au total sur le territoire national. Pour cela, il faut identifier les acteurs et les partenaires compétents (semenciers et intendants) pour la mise en œuvre des collections et rechercher des synergies avec d'autres programmes initiés dans les golfs et des gazons à vocation sportive.

Il serait opportun que les intendants, participant au réseau de l'épidémiosurveillance, mettent en place une plate-forme isorisque gazon dans leur structure.

Dans l'avenir, des dispositifs plus complets à 3 répétitions et suivi par un technicien peuvent également être envisagés en collaboration avec les organismes officiels de certification des semences gazon.

REALISATION ATTENDUE

Développer ces collections variétales afin d'éclairer le choix des gestionnaires dans le changement de flore à effectuer. Ces parcelles isoriques devront s'inscrire dans le schéma de l'épidémiosurveillance, en fonction des zones micro climatiques du territoire et de la destination souhaitée (golf, terrain de jeu).

CONCLUSION

Développer les collections variétales permettra de tester leur comportement agronomique et d'affiner les choix spécifiques et variétaux les plus adaptés aux conditions régionales. Cette possibilité contribuera à la réduction des intrants, à la gestion durable de la ressource en eau et à une utilisation parcimonieuse des produits phytopharmaceutiques.

Cet outil supplémentaire de collection variétale n'a pas vocation à concurrencer les plates-formes déjà existantes des obtenteurs et des organismes officiels pour l'inscription au Catalogue Officiel des nouvelles variétés gazon. Il se veut, au contraire, être un support de réflexion pour la filière gazon dans son ensemble. Un outil d'expertise collective réunit pour la première fois les utilisateurs de semences et la recherche semencière. Ces plates-formes de tests pourront générer des données utiles pour l'épidémiosurveillance.

Les collections variétales sont des outils pédagogiques et d'aide à la décision. En plus des zones d'observation standard, ces collections variétales sont semées, elles sont définies chez chaque gestionnaire référent contribuant régulièrement au réseau d'épidémiosurveillance présent dans les 5 grandes régions.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le président de l'Association Française des Personnels d'Entretien des Terrains de Golf (AGREF) : Emilio Vichera, Rémy DORBEAU directeur au Golf de Chantilly, tous les deux très actifs au sein de l'Institut Ecumène Golf & Environnement pour leur grande disponibilité et l'intérêt qu'ils ont porté à ce projet.

BIBLIOGRAPHIE

OHL B., GENSOLLEN V., 2009 - Protocole d'expérimentation – Graminées à gazon : Essai de valeur d'utilisation, *DOCVAT/GAZ/PROTO/002/IND6*, 13 pages, 3 annexes.

COCHARD H., 2004 - Gazon et graminées des régions méditerranéennes et sub-tropicales, *Archives SFG*, 42 pages.

DOURS O., 2011 – Projet de collections variétales pour les observateurs gazons, AFPP- Lille 4^{ème} conférence internationale sur les méthodes alternatives en protection des cultures, 10 pages.

COCHARD H., 2013 – *Paspalum vaginatum* & *Cynodon dactylon*, une alternative pour les gazons, au delà de la zone méditerranéenne ? AFPP- Toulouse 3^{ème} conférence sur l'entretien des espaces verts, jardins, gazons, forêts, zones aquatiques et autres zones non agricoles, 9 pages.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**ACTIVITÉ DE DÉSHERBAGE
METHODE D'ETUDE DES RISQUES ET DE L'ORGANISATION DU TRAVAIL
P. LAÏLLE⁽¹⁾, G. BROHAN⁽²⁾, W. BUCHMANN⁽³⁾, D. TEIGNE⁽²⁾ ET V. LE GALL⁽²⁾**

⁽¹⁾ Plante et Cité, 26 rue Jean Dixméras, 49066 Angers Cedex 1, France, pauline.laille@plante-et-cite.fr

⁽²⁾ Conservatoire National des Arts et Métiers des Pays de la Loire - Institut d'Hygiène Industrielle et de l'Environnement – Ouest, Cnam – IHIE – Ouest, 165 rue de la barre, Cs 108 44, 49 008 Angers cedex 01, France, G.BROHAN@cnam-paysdelaloire.fr, V.LEGALL@cnam-paysdelaloire.fr

⁽³⁾ Conservatoire National des Arts et Métiers – Centre de Recherches sur le Travail et le Développement, 41 Rue Gay Lussac, 75 005 Paris, France, willy.buchmann@cnam.fr

RÉSUMÉ

Le programme Compamed Santé sur l'évaluation des impacts des activités de désherbage sur la santé des travailleurs a livré ses conclusions en 2015 après deux ans de travaux en équipe pluridisciplinaire. Les résultats identifient les risques associés à chaque technique de désherbage et caractérisent la charge physique ressentie par les opérateurs. Ils mettent également en lumière l'effet des choix organisationnels et des stratégies de gestion des espaces sur la santé des professionnels. Des fiches de synthèse et un outil en ligne ont été conçus pour aider les gestionnaires à construire une démarche de prévention et à mieux évaluer les risques, notamment lors du choix d'un nouveau matériel de désherbage. Les résultats sont en accès libre sur www.compamed.fr.

Mots-clés : désherbage, santé au travail, hygiène du travail, approche ergonomique, aide à la décision.

ABSTRACT

PROFESSIONAL WEEDING – RISKS, WORK ORGANIZATION, RECOMMENDATIONS

The French programme *Compamed Santé* aims to evaluate the impacts of weeding activities on involved workers' health. The results are published in 2015 after two years of interdisciplinary work. They identify the risks associated with each weeding technique. They describe the physical load perceived by the workers. They highlight organisational choices' and open space management strategies' impacts on workers' health. Several fact sheets and one online application help managers to build a prevention procedure and to better evaluate risks. Results and documents are available online at www.compamed.fr (French).

Keywords: weeding, occupational health, occupational safety, ergonomic approach, decision help.

INTRODUCTION

Après plus de 50 ans d'utilisation, les substances actives qui composent les produits phytopharmaceutiques font parties des substances chimiques qui suscitent le plus d'interrogations quant aux risques qu'elles présentent pour la santé humaine et pour l'environnement (Ineris, 2007). Les professionnels des Zones Non Agricoles (ZNA) ont développé, en complément des méthodes chimiques traditionnelles, de nouvelles stratégies pour le désherbage curatif, en faisant appel à des procédés thermiques et/ou mécaniques diversifiés.

L'évolution des pratiques de désherbage prend des orientations variées dont il n'a pas été prouvé qu'elles permettent d'atteindre les objectifs de réduction des impacts sur l'ensemble des compartiments de l'environnement comme sur la santé des opérateurs. Les conditions techniques optimales d'utilisation des méthodes de désherbage, les coûts économiques de mise en œuvre et le rapport coûts-avantages pour l'environnement ont fait l'objet d'acquisition de données dans le cadre du programme Compamed ZNA sur la comparaison des méthodes de désherbage utilisées en ZNA.

Les problématiques de risque sanitaire liées aux techniques de désherbage n'ont encore jamais été étudiées dans leur globalité que ce soit dans la comparaison des techniques chimiques, thermiques et mécaniques ou dans la prise en compte de l'ensemble des dimensions sanitaires. Elles répondent à une forte demande des utilisateurs professionnels et donneurs d'ordre. On estime en effet que 80 000 agents des collectivités territoriales et au moins autant d'actifs du secteur privé sont concernés par les problématiques de désherbage, ce qui laisse entrevoir l'importance des enjeux sanitaires. Le point d'entrée du projet COMPAMED Santé (tout comme COMPAMED ZNA) est le désherbage au sens curatif du terme, c'est-à-dire lorsque le végétal est visible (donc post-levée) et doit être supprimé. Le désherbage préventif n'est pas pris en compte dans le projet COMPAMED Santé.

Ainsi, le projet Compamed Santé (2013-2015) apporte une dimension complémentaire au programme de recherche Compamed ZNA pour évaluer et comparer les risques professionnels associés aux différentes méthodes de désherbage.

Ce travail a permis de recueillir pour chaque technique des données, jusqu'à ce jour trop rares, sur l'évaluation des risques des différentes techniques de désherbage. Il apporte des outils utiles aux décideurs dans leur choix de stratégie de gestion des espaces verts. Il permet également d'identifier les pistes de progrès restant à investiguer.

MATERIEL ET MÉTHODE

LES ECHELLES D'INVESTIGATION

L'étude a été menée selon différentes échelles d'investigation présentées dans la figure 1.

Figure 1 : Les échelles d'investigation (investigation scales)



Niveau opérateur

Il s'agit de recenser, documenter et évaluer les risques associés à l'usage des matériels de désherbage.

- Pour les hygiénistes, l'objectif était de réaliser une évaluation comparative des niveaux d'exposition à différents risques. Cette évaluation se fait en référence aux valeurs réglementaires d'exposition définies en France ou à l'étranger. La notion de comparaison fait référence à la comparaison d'un même risque entre différentes techniques de désherbage (ex : bruit, vibrations, etc.).
- L'approche par questionnaire avait pour but d'identifier le ressenti des jardiniers pendant et après le désherbage.

Niveau management de proximité

Il s'agit d'identifier d'une part les liens entre les choix organisationnels faits par le management de proximité et l'activité réelle des jardiniers sur le terrain, et d'autre part les ressources, contraintes et marges de manœuvre des managers de proximité pour organiser le travail des jardiniers. Les finalités de l'approche ergonomique à ce niveau sont doubles :

- Produire un ensemble de connaissances sur l'activité des managers,
- Produire des recommandations générales utiles aux managers, favorisant la performance de la structure et à la construction de la santé des agents.

Cette échelle d'investigation est assurée par les ergonomes.

Niveau décisionnaire / stratégie

Il s'agit d'identifier les liens entre les stratégies de gestion des ZNA et leurs conséquences sur la ZNA, sur l'activité des agents et hiérarchies, et sur leur santé. Cette échelle d'investigation est assurée par les ergonomes.

ÉTUDE DES FACTEURS DE RISQUE HYGIENE ET SECURITE

Identification des facteurs de risque et périmètre d'investigation

Dans le cadre de l'étude Compamed santé, la sélection des facteurs de risque à prendre en compte, a été réalisée selon les observations et échanges effectués sur le terrain et les recherches bibliographiques.

Le périmètre d'investigation comprend deux niveaux :

- Les risques spécifiques à l'activité de désherbage. Ils ont été investigués afin de les caractériser et de les quantifier.
- Les risques non spécifiques à l'activité de désherbage, appelés risques transversaux. Ils sont liés aux différentes mises en œuvre possibles durant l'activité de désherbage telles que : l'utilisation de véhicules tout terrain, d'appareils à pousser ou à porter, etc. Certains risques transversaux sont mentionnés dans le cadre de l'étude car ceux-ci ont été observés sur le terrain ou mentionnés dans la littérature. Cette présentation ne saurait être exhaustive du fait de la variabilité des situations de travail qui dépendent notamment de l'environnement et de la structure concernée.

Les risques inhérents à l'environnement dans lequel les matériels de désherbage sont mis en œuvre sont exclus du champ de l'étude à savoir : les risques biologiques, le risque d'accident, etc. Sont aussi exclues du champ de l'étude toutes les expositions aux facteurs de risque ayant lieu en dehors de la réalisation des opérations de désherbage telles que : l'exposition au bruit liée au trajet à effectuer jusqu'au lieu à désherber, le risque routier, etc.

Caractérisation et quantification des niveaux d'exposition

Trois cas d'exposition ont été définis: Pas d'exposition, Exposition possible, Exposition certaine.

Lorsqu'une exposition était qualifiée de possible ou certaine, des recherches bibliographiques ont été entreprises pour caractériser et quantifier ces expositions. Les données sont issues de la littérature scientifique et de bases de recherche. Elles ont été sélectionnées selon leur fiabilité et leur cohérence avec les matériels investigués. Certaines données sont issues de campagnes de mesurages effectuées par une collectivité, ces résultats sont précisés à titre indicatif.

Pour les matériels de désherbage qui ne disposaient d'aucune donnée exploitable dans la littérature, des mesurages ont été envisagés à chaque fois que cela a été possible selon le parc d'appareils disponibles auprès de nos partenaires.

Stratégie d'échantillonnage et protocoles de mesurages

La réalisation de mesurages n'étant pas possible pour chaque facteur de risque et pour chaque matériel de désherbage pour des raisons budgétaires, certains facteurs de risque ont été privilégiés. Les facteurs de risque ciblés pour la réalisation de mesurage étaient : le bruit, les vibrations « corps entier »¹, les vibrations « mains-bras »², les poussières réputées sans effet spécifique et le glyphosate (désherbant chimique). Lorsque l'exposition au facteur de risque n'était pas certaine, c'est le cas des poussières réputées sans effet spécifique, des mesurages à titre exploratoire ont été réalisés dans des conditions d'exposition élevée. Il n'a pas été retenu, dans le cadre de l'étude, de réaliser des mesurages des expositions des travailleurs aux émissions des moteurs thermiques, mais plutôt de compiler un ensemble de données déjà existantes.

Les protocoles de mesurages ont été élaborés à partir de recherches bibliographiques. L'ensemble des références utilisées se trouve dans le rapport d'étude Compamed Santé, disponible sur www.compamed.fr.

Traitement des résultats

Les résultats issus des mesurages ou de la bibliographie ont été comparés aux valeurs limites existantes en France ou à l'étranger selon différentes modalités.

Agents physiques

Pour le bruit, les résultats ont été comparés à la valeur déclenchant l'action supérieure (VDA sup.); la valeur limite (VLE) prenant en compte le port de protections auditives. En ce qui concerne les vibrations « corps entier » et « mains-bras », les résultats ont été comparés aux VLE. Cette comparaison a été effectuée en calculant le pourcentage que représente la valeur mesurée par rapport à la VDA sup. ou à la VLE. Les durées pendant lesquelles un opérateur peut travailler sans dépasser la VDA sup. pour le bruit et les VLE pour les vibrations corps entier et mains-bras ont été précisées.

Agents chimiques – poussières réputées sans effet spécifique et gaz d'échappement

L'approche conventionnelle consiste à comparer la valeur maximale mesurée à une fraction de la VLE en fonction d'un nombre limité de données (<6 mesures). Cette approche est construite selon un certain nombre d'hypothèses statistiques sur la courbe de distribution des valeurs d'exposition pour tenter de prendre en compte les incertitudes environnementales inconnues (variations spatiales et temporelles de la concentration des agents) malgré le faible nombre de mesurages. Le tableau I présente les seuils et diagnostics selon l'approche conventionnelle.

¹ Vibrations transmises à l'ensemble du corps

² Vibrations transmises aux membres supérieurs

Tableau I : Approche conventionnelle

Seuil	Diagnostic
Si les mesures sont \leq 10% VLE	L'exposition est inférieure à la valeur limite
Si une mesure est $>$ 30% VLE	L'exposition est supérieure à la valeur limite
Autres cas	Pas de diagnostic possible, faire des mesurages supplémentaires

Agents chimiques - glyphosate

Pour le glyphosate, les résultats ont été comparés à la valeur toxicologique de référence : l'AOEL (Acceptable Operator Exposure Level). Cette comparaison a été effectuée en calculant le pourcentage que représente la valeur mesurée par rapport à l'AOEL.

Préconisations

Les préconisations ont été élaborées selon l'observation des situations de travail, les échanges avec les professionnels et les recherches bibliographiques. Ces préconisations ne sont pas exhaustives mais pourront servir de guide pour mettre en place une démarche de prévention des risques. Elles sont à adapter en fonction des situations de travail réelles rencontrées par chaque structure. Elles sont classées selon 3 catégories :

- Préconisations techniques
- Préconisations organisationnelles
- Préconisations concernant les individus

Livrables opérationnels

Les livrables opérationnels sont constitués de fiches concernant les risques associés aux différentes techniques de désherbage (cf. figures 3, 4, 5). Les professionnels issus de services des espaces verts des collectivités et d'entreprises du paysage, ainsi que des institutionnels dont les financeurs du projet, ont participé à la validation de ces livrables.

ÉTUDE DE LA CHARGE PHYSIQUE RESENTIE

Une approche par questionnaire

En complément des analyses fines en situation de travail, l'équipe projet a fait le choix d'une approche quantitative par questionnaire. L'enquête s'est focalisée sur la fréquence d'utilisation des techniques, sur les modes de mise en œuvre, sur les astreintes associées aux gestes et postures, sur le ressenti des jardiniers suite ou à l'occasion de la mise en œuvre des techniques utilisées et enfin sur le ressenti général des jardiniers vis-à-vis des tâches de désherbage.

Pour la construction du questionnaire, l'équipe s'est appuyée sur les analyses de terrain déjà réalisées et sur deux questionnaires validés dont la qualité scientifique est reconnue : EVREST (Molinié et Leroyer, 2011) et le questionnaire nordique sur les TMS (Kuorinka et al., 1987).

Passation du questionnaire

Dans le souci de recueillir un nombre conséquent de réponses, mais dans des conditions maîtrisées, deux modalités de passation ont été adoptées :

- Le chercheur se déplace sur le terrain et présente le questionnaire aux jardiniers qui le remplissent en sa compagnie (18 questionnaires ont été collectés ainsi) ;
- Les questionnaires sont envoyés par la poste aux relais terrain qui font remplir les questionnaires aux jardiniers et qui renvoient par voie postale les questionnaires complétés.

Nombre de questionnaires exploitables

370 questionnaires ont été envoyés ou déposés aux relais terrain, pour un retour de 223 questionnaires reçus, soit un taux de retour de plus de 60%. Après une première analyse, tous les questionnaires se sont avérés exploitables. La base de données finale a donc regroupé un ensemble de

223 questionnaires. Attention quant à la généralisation des résultats de ce questionnaire, puisque sur les 223 réponses, 178 proviennent de collectivités locales, dont 87 pour une même ville.

Exploitation des données

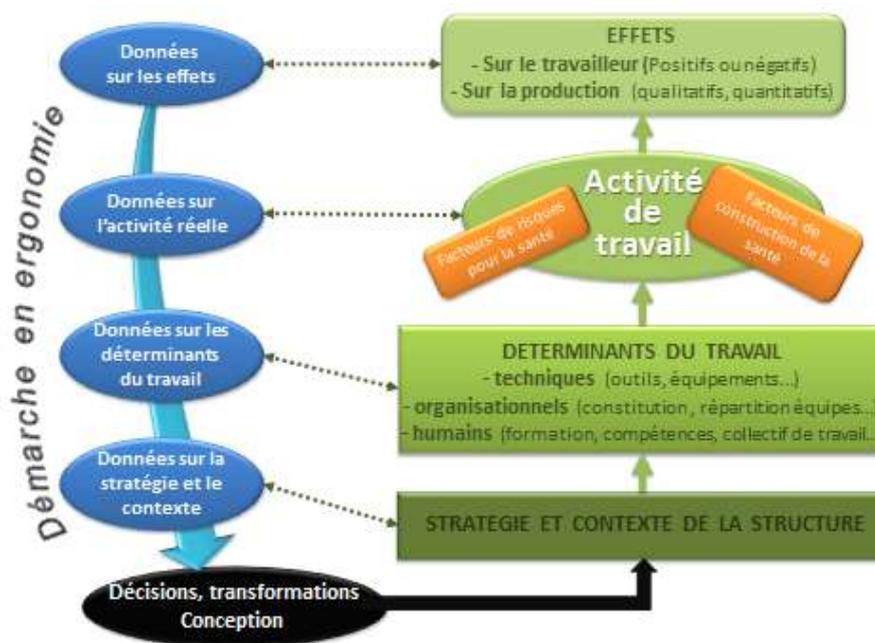
L'équipe projet a travaillé en collaboration avec une statisticienne chercheuse au Centre de Recherche sur l'Expérience, l'Age et les Populations au Travail (CREAPT), et spécialisée dans le traitement des questionnaires santé/travail.

ÉTUDE DES CONSEQUENCES DES CHOIX ORGANISATIONNELS ET STRUCTURELS LIES A L'ENTRETIEN DES ESPACES VEGETALISES

Approche générale

La figure 2 illustre la démarche en ergonomie adoptée. Sur la droite du schéma, on considère la situation de travail, alors que l'on retrouve la démarche en ergonomie sur la gauche.

Figure 2 : Représentation schématique de l'approche ergonomique, d'après Buchmann et Landry, 2010



Les « bulles » bleues indiquent que l'ergonome tout au long de sa démarche, cherche à relier, confronter, ou croiser des données issues de sources différentes :

- Des données sur les effets du travail. Par exemple, côté jardiniers : des symptômes et lésions, douleurs, plaintes, ou au contraire satisfaction, construction de savoir-faire, etc. Côté entreprise ou collectivité : qualité du désherbage, temps passé, image des travailleurs ou du désherbage vis-à-vis des clients ou usagers.
- Des données sur l'activité réelle en situation : ce que les jardiniers réalisent effectivement
- Des données sur les déterminants du travail : quels éléments déterminent l'activité à un instant t mais aussi à moyen/long terme ?
- Des données sur la stratégie, le contexte ou la politique de la structure : quels éléments sont à l'origine des choix stratégiques d'organisation et de gestion des espaces ?

Données collectées et modalités de recueil

Pour collecter les données sur les différentes focales citées, notre recueil a pris différentes formes :

- Appui sur la littérature et diverses ressources web ;
- Observations sur le terrain ;
- Analyses photos et vidéos ;

- Entretiens en situation et rendez-vous avec les gestionnaires, complétés d'un recueil manuel de données verbales, essentiellement sous quatre formes :
 - les communications entre jardiniers,
 - les verbalisations des jardiniers à notre destination, simultanées à leur travail,
 - des entretiens avec les jardiniers,
 - des entretiens individuels avec des managers ;
- Groupe de travail composé de décisionnaires.

RESULTATS

En raison du volume des résultats obtenus, il a été choisi de ne présenter ici que la forme et la nature des résultats et de leurs synthèses, librement accessibles sur le site www.compamed.fr.

HYGIENE ET SECURITE

Les risques spécifiques à l'activité de désherbage

Résultats relatifs à l'hygiène du travail

Les facteurs de risque investigués sont : le bruit, les vibrations « corps entier » et « mains-bras », les poussières sans effet spécifiques, les gaz d'échappement, le glyphosate. Pour chacun, les points suivants sont développés : Définition du facteur de risque, Effets sanitaires, Paramètres de caractérisation, Valeurs limites, Matériel et méthode, Résultats, Préconisations.

Une fiche synthétique nommée « Fiche BVPG » a été rédigée afin de récapituler les préconisations lorsqu'il y a une exposition aux facteurs de risque suivants (figure 3) : Bruit, Vibrations, Poussières sans effet spécifique et Gaz d'échappement, indépendamment de la technique de désherbage utilisée.

Elle est librement accessible à l'url suivante :

http://www.compamed.fr/wp-contenu/uploads/6_Fiche_BVPG.pdf

Figure 3 : Fiche « BVPG »



Résultats relatifs à la sécurité au travail

Une fiche a été élaborée pour chaque technique de désherbage (Figure 4) :

- 1 fiche technique thermique : flamme, air chaud et IR ;
- 1 fiche technique thermique : vapeur, eau chaude ;
- 1 fiche technique mécanique : brossage, machines portatives, etc. ;
- 1 fiche technique manuelle : outils, désherbage manuel, etc. ;
- 1 fiche technique phytopharmaceutique.

Ces fiches indiquent les situations dangereuses liées à l'usage des techniques et les préconisations à mettre en œuvre.

Elles sont librement accessibles à l'url suivante :
<http://www.compamed.fr/sante-au-travail/hygiene-securite/>

Figure 4 : Fiches sécurité au travail



Les risques transversaux

Le périmètre d'investigation comprend un deuxième niveau, les risques non spécifiques à l'activité de désherbage appelés risques transversaux. Pour les répertorier, une fiche « Risques transversaux » a été élaborée (figure 5).

Figure 5 : Fiche « Risques transversaux »



CHARGE PHYSIQUE RESSENTIE

Dans l'échantillon de l'étude, les techniques manuelles sont les plus utilisées, et à tout âge. Elles sont aussi les plus citées en termes de postures contraignantes, sollicitations répétées des membres supérieurs, y compris en termes de difficultés ou de pénibilité. Ces résultats renvoient à la nécessité de faire évoluer l'organisation du travail pour protéger les salariés. Par exemple, en s'assurant d'une bonne maîtrise du geste et des appareils en favorisant la transmission des savoir-faire. Ou encore, en prêtant attention à l'équilibre entre la stabilité et l'alternance des tâches des jardiniers, afin de préserver leur santé.

APPROCHE ERGONOMIQUE

L'activité des jardiniers présente une grande variabilité liée à une multitude de déterminants qui s'influencent mutuellement, et qui ont un impact (positif ou négatif) sur le travail et sur la santé. Six familles de déterminants ont été identifiées : techniques, organisationnels, humains, climatiques, environnementaux, contractuels. Chacune est susceptible d'être une cible d'amélioration des conditions de travail. Par exemple, en travaillant sur la communication interne afin que les besoins matériels soient bien identifiés par les acheteurs, ou que les difficultés de terrain soient connues des managers.

Par ailleurs, en tenant compte des objectifs fixés, des moyens disponibles et des résultats attendus, les questionnaires de ZNA ont une influence considérable sur le travail des jardiniers. Ils ont donc un rôle majeur dans la prévention des risques professionnels de ces derniers.

Les résultats de l'approche ergonomique ont donné matière aux livrables suivants (Figure 6) :

- 3 « fiche repère » sur l'organisation du travail à destination principalement des managers de proximité : Conception des plans de charge et attribution des chantiers, Constitution des équipes, Transmission des informations ;
- 1 application web « Management du désherbage et santé », aide à la conception et à l'organisation du travail à destination des gestionnaires et managers de proximité. Cet application se présente sous la forme d'un questionnaire d'auto-évaluation et d'auto-formation accessible à l'adresse <http://www.compamed.fr/compamed-sante/>.

Figure 6 : Fiches repère et application web





DISCUSSION

Le bilan du projet a été effectué en examinant la cohérence entre les objectifs, les résultats attendus définis dans le protocole de recherche initial et le livrable final.

DOCUMENTER, EVALUER ET COMPARER LES RISQUES

Le premier objectif était de documenter, évaluer et comparer dans une approche pluridisciplinaire, les risques physico-chimiques, psychosociaux et biomécaniques et les impacts sociaux organisationnels liés à l'usage professionnel des techniques de désherbage chimiques, thermiques et mécaniques utilisées en ZNA.

La démarche d'investigation des risques biomécaniques a finalement été effectuée d'une part via l'enquête réalisée auprès des opérateurs et d'autre part, par le travail effectué dans le cadre de l'évaluation des différents risques associés à chaque technique. L'étude a permis l'élaboration de recommandations concernant notamment l'organisation du travail ou le choix des matériels de désherbage qui peuvent contribuer à réduire la fréquence d'exposition ou la gravité des dommages engendrés par ces risques.

Les autres risques ont été documentés et évalués excepté ceux liés à l'inhalation de gaz en combustion (butane, propane) relatifs à l'usage de technique thermique flamme et air chaud qui mériteraient d'être étudiés.

Il existe un nombre important de matériels de désherbage pour chacune des trois techniques étudiées (chimique, thermique, mécanique). Tous les matériels n'ont pas pu être investigués pour chaque facteur de risque du fait de la multiplicité des mesurages que cela aurait engendré. A l'avenir, des campagnes de mesurages d'exposition lors de l'usage de certains appareils comme le système de pulvérisation par détection ou pour certains facteurs de risque comme les gaz d'échappement (qui ont fait l'objet d'une approche bibliographique) permettraient de compléter cette étude. De plus, des campagnes de mesurages plus conséquentes auraient permis d'affiner les diagnostics de comparaison aux valeurs limites d'exposition (VLE) pour l'ensemble des facteurs de risque investigués. Il est souhaitable que ces points soient documentés lors de travaux complémentaires.

En réponse à ce premier objectif, des éléments permettant la comparaison de matériels de désherbage entre eux pour un même facteur de risque sont indiqués dans l'étude pour guider les décisionnaires et les préventeurs dans leur choix, tout en précisant les limites de chaque résultat notamment en terme de nombre de données disponibles.

COMPLÉTER UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION

Le deuxième objectif était de compléter un outil d'aide à la décision pour le choix des techniques de désherbage pour permettre de prendre en considération leurs impacts potentiels sur la santé des utilisateurs.

Un outil pédagogique a été développé permettant de prendre en compte les enjeux du désherbage (et de santé) qui dépassent la seule comparaison des matériels pour s'intéresser à plusieurs dimensions de la situation de travail (aspects organisationnels, humains, etc.) et à plusieurs acteurs (opérateur, manager de proximité, décisionnaire). L'application est disponible en libre accès sur le site Compamed.fr (<http://www.compamed.fr/compamed-sante/>).

PROPOSER DES PRECONISATIONS EN MATIERE DE PREVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS

Le troisième objectif était de développer des préconisations en matière de prévention des risques professionnels auprès des utilisateurs et des décideurs, d'une part, et des fabricants de matériels et d'équipements de protections individuelles (EPI) d'autre part.

Des préconisations relatives à l'usage des différentes techniques de désherbage ont été élaborées pour les professionnels de gestion des espaces verts. Ces préconisations n'ont pas pour vocation d'être exhaustives mais plutôt de servir de guide à une démarche d'analyse des risques dont la structure est responsable. De plus, l'outil pédagogique comprend un ensemble de recommandations pour améliorer le fonctionnement de la structure et préserver la santé des opérateurs.

Pour ce qui est des fabricants de matériels, les données issues des mesurages montrent des expositions à l'ensemble des facteurs de risque, avec parfois des niveaux importants. Il est donc nécessaire d'améliorer dès la conception les matériels pour l'ensemble des facteurs de risque investigués. Les paramètres à prendre compte par les fabricants portent sur la réduction du bruit, des vibrations et de l'empoussièrement et, l'usage de moteurs électriques pour supprimer les risques liés à l'exposition aux émissions des moteurs thermiques. Ces matériels devraient être légers, facilement manipulables et pourvus de dispositifs de réglage pour s'adapter à toutes les morphologies. Afin d'éclairer le choix du décideur lors de l'achat d'un matériel, une information fiable devrait lui être fournie concernant notamment les niveaux de bruit et de vibrations (INRS, projet Nomad, NS296, 2012).

Il se pose la question de la conformité à la réglementation « machine » pour un matériel dont la fonction première est détournée à savoir l'utilisation d'une débroussailleuse avec un accessoire non prévu à l'origine : la brosse à désherber.

Il n'a pas été développé de préconisations pour les fabricants d'EPI dans le cadre du projet dû à la multiplicité des situations de travail, la priorité était l'évaluation des différents risques. Des études supplémentaires pourraient permettre de traiter cette question.

PROPOSER DES OUTILS METHODOLOGIQUES POUR LE SUIVI DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES

Il avait été initialement envisagé de proposer, à l'issue de ce projet, des outils méthodologiques pour l'analyse des pratiques de désherbage et le suivi sur le long terme des expositions professionnelles. Un calendrier de suivi des activités avait en effet été développé dans le cadre d'une étude précédente concernant le désherbage chimique (Teigné, 2011). Compte tenu de la diversité des situations de travail rencontrées dans le présent projet, la priorité a été donnée à l'analyse et à l'évaluation des différents risques liés aux techniques ou à leur mise en œuvre. Les éléments rassemblés ainsi devraient permettre aux évaluateurs de risques de construire des grilles d'analyses mieux adaptées aux structures et aux situations rencontrées.

CONCLUSION

Le contexte réglementaire de plus en plus contraignant et la prise de conscience de l'impact de ces produits sur la santé et l'environnement poussent de plus en plus de gestionnaires de ZNA et des chefs d'entreprises du secteur du paysage à tester ou développer des matériels et stratégies alternatives. Dans ce contexte, et avec la volonté de prendre en compte à la fois les ressources disponibles, la santé des jardiniers, et la satisfaction des clients et donneurs d'ordre, l'anticipation des enjeux de désherbage et d'entretien des espaces dès la conception semble une piste à suivre.

Au-delà de la conception des espaces, la remise en question des pratiques et leur évolution vont jusqu'au changement de regard et de modes de gestion de l'espace urbain. On se pose de plus en plus la question « faut-il désherber ? », en lien avec la raréfaction des moyens qui oblige à les organiser différemment. Ainsi, les pistes peuvent être également une gestion différente, ne faisant intervenir le désherbage curatif que lorsqu'il est vraiment nécessaire.

Dans les petites collectivités, le responsable hiérarchique des agents est souvent un élu (adjoint ou maire) qui n'a pas la formation, les compétences, les connaissances terrain, et le temps pour mettre en œuvre efficacement la démarche attendue par le législateur, visant à diminuer voire supprimer l'emploi des produits phytopharmaceutiques sur certains espaces. Les élus, les agents et les administrés ont souvent besoin d'un accompagnement dans le cadre d'une démarche durable (Morin et al., 2013). Ce besoin d'accompagnement pose de nouvelles problématiques de recherche : comment accompagner la transition vers des pratiques de gestion durable ? Comment favoriser l'émergence de nouveaux métiers ou de nouvelles dynamiques collectives ? Comment cette transition conduit-elle à repenser les connaissances et outils utiles pour la mise en œuvre d'une gestion durable des ZNA ? L'ergonomie peut aider à instruire ces différentes questions en mettant l'activité des différents acteurs au cœur de la problématique de développement d'une gestion durable des ZNA.

Pour ce qui est de l'hygiène du travail, des campagnes de mesurages couvrant l'ensemble des facteurs de risque, portant sur un nombre de matériels de désherbage plus conséquent et prenant en compte les durées d'exposition réelles des agents permettraient de faire un état des lieux plus précis des impacts sanitaires potentiels liés à l'usage des différentes techniques. Ces données supplémentaires permettraient de mieux caractériser les risques et ainsi de mettre en œuvre une démarche de prévention plus pertinente.

L'étude Compamed Santé a pris en compte différentes échelles d'organisation du travail autour du désherbage, mais n'a pu aborder la temporalité de ces tâches que de façon partielle. Le caractère saisonnier ou annuel de l'entretien des espaces extérieurs n'a pas été abordé. Une investigation plus approfondie permettrait en effet, de réfléchir sur la planification à court et moyen terme et son lien avec la question qui nous occupe. Il serait intéressant d'étudier les pratiques de désherbage vues comme un ensemble de tâches intégrées et en interaction avec toutes les autres tâches des jardiniers sur la journée, selon la saison et à l'échelle annuelle, afin de mieux caractériser les contraintes et expositions déjà identifiées, et ainsi, d'améliorer les outils d'aide à la décision ou de prévention.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les financeurs de ce projet ainsi que les professionnels pour leur contribution à ce projet :

Institutionnels financeurs de ce projet :

- Fédération Val'hor représentée par Monsieur Philippe Douard,
- Ministère chargé de l'Agriculture représenté pour le suivi du projet par Monsieur Olivier Briand,
- Mutualité Sociale Agricole du Maine et Loire représentée pour le suivi du projet par Madame Séverine Giacomini.

Professionnels membres du groupe de travail, impliqués dans ce projet :

- Monsieur Stéphane Anclin (Ville du Havre),
- Madame Sarah André (Ville du Paris),
- Monsieur Philippe Beuste (AAPP),
- Monsieur Hassane Bouyahia (Euro Disney),
- Monsieur Alexis Duconseil (groupe Sanef),
- Monsieur Dominique Foulonneau (Ville de Briollay),
- Madame Mélanie Viaud et Monsieur Pascal Franchomme (Arbora),

- Monsieur Christian Griffon (Ville d'Angers),
- Monsieur François Lauzeral (SNCF),
- Monsieur Jean Pierre Mauduit (Ville de Nantes),
- Madame Jocelyne Myslinski (Conseil Général de l'Oise),
- Monsieur Gérard Pidoux, (Forêt Assistance),
- Monsieur Olivier Planchenault (SARL Planchenault),
- Monsieur Robert Romain (SNCF),
- Monsieur Olivier Toulic (Groupe Sanef, autoroute SAPN).

Nous remercions également,

- les agents de terrain qui ont participé au projet lors des travaux d'observations et des mesures ainsi qu'à l'enquête sur l'évaluation de la charge physique ressentie,
- les agents du CNFPT (Centre National de la Fonction Publique Territoriale) qui ont contribué à la diffusion du questionnaire d'enquête sur l'évaluation de la charge physique ressentie,
- Thomas Bazin, élève ingénieur, qui a contribué en tant que stagiaire à l'IHIE à l'analyse des risques professionnels des jardiniers lors des travaux de désherbage.

BIBLIOGRAPHIE

INRS (2012). Rapport sur le projet « NOMAD » Enquête sur l'application des exigences essentielles de la Directive Machines relatives à l'information sur le risque bruit fournie dans les notices d'instructions par les fabricants, NS 296, note scientifique et technique.

Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, .F, Andersson, G., Jørgensen, K. (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*, 18, 3, 233-7.

Molinié, A.-F. & Leroyer, A. (2011). Suivre les évolutions du travail et de la santé : Evrest, un dispositif commun pour des usages diversifiés. *PISTES*. 13(2).

Teigné, D. (2011). *Développement d'une méthode intégrée pour l'estimation des expositions aux produits phytopharmaceutiques dans une population de professionnels non agricoles* (Rapport pour l'ANSES). Diffusion restreinte.

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

PLAN ECOPHYTO II : UNE SOURCE IMPORTANTE DE LITIGES POTENTIELS

B. GAUTHIER ⁽¹⁾

(1) Expert près la Cour d'Appel de Nîmes et Cour Administrative d'Appel de Marseille
BG-Consultant 520, chemin de la poste 30131 PUJAUT (bg-consultant@orange.fr)

RÉSUMÉ

Le plan ECOPHYTO II, comme son prédécesseur, est à l'origine d'une kyrielle de textes réglementaires déjà rédigés ou à venir. Pour la plupart ces textes répondent à un besoin légitime d'encadrer l'usage des produits utilisés par l'homme pour se protéger des organismes qu'il considère comme nuisibles. Ils trouvent leur justification dans les situations nouvelles mises à jour par les avancées techniques et scientifiques sur les effets de ces produits dans l'environnement au sens le plus large du terme.

Mais l'augmentation des contraintes réglementaires découlant de ces textes s'accompagne inéluctablement d'un accroissement des situations de litiges.

Plus le nombre de texte est élevé, plus le risque de transgression s'accroît.

De surcroît, la rédaction de ces textes est généralement l'oeuvre des scientifiques et techniciens qui en ont mis en évidence le besoin, mais ne sont que très rarement accompagnés par un avis éclairé de juriste.

Il en résulte une juxtaposition parfois excessive de règles quelque fois redondantes, voire contradictoires, permettant des interprétations diverses, pouvant aller jusqu'au désaccord et être source de litige.

C'est ce que nous nous proposons de mettre en évidence par l'examen minutieux d'une seule partie du plan Ecophyto II traitant des zones non agricoles.

Mots-clés : produit phytopharmaceutique, réglementation, litige, JEVI.

ABSTRACT

The ECOPHYTO PLAN 2, like its predecessor, is causing a string of regulatory texts already written or to come. Most of these texts fulfil a legitimate need to control the use of the products used by man to protect himself against living organisms it considers harmful.

They find their justification in new situations updates by technical and scientific advances in the knowledge of these products in the environment, in the broadest sense.

But increased regulatory constraints arising from these texts, inevitably accompanied by an increase of litigation situations.

Increasing number of texts increase the risk of transgression.

In addition, the drafting of these texts is usually the work of the scientists and technicians who have demonstrated need, but are rarely accompanied by an informed opinion lawyer.

The result is a sometime excessive juxtaposition rule sometimes redundant or contradictory, allowing different interpretations, up to disagree and be a source of dispute.

This is what we intend to highlight by the scruting of one part of the plan ECOPHYTO 2, in the chapter referring to the non-agricultural areas.

Keywords: plant protection product, regulation, litigation, amenity areas.

INTRODUCTION

La réglementation sur l'utilisation des produits phytosanitaires est très ancienne en France. Les premiers textes remontent aux années 40 du siècle précédent. Pendant un demi-siècle cette réglementation s'est modifiée à un rythme de "sénateur" permettant au citoyen de l'assimiler et d'en avoir une bonne connaissance.

Par contre depuis une quinzaine d'année, une frénésie réglementaire semble avoir affecté nos parlementaires et nos pouvoirs publics. Le citoyen est maintenant submergé par les textes au regard desquels il rencontre souvent des difficultés pour se tenir à jour dans ses obligations.

Le début de cette agitation juridique est concomitant avec le Grenelle de l'environnement, c'est à dire 2007. Au cours de cette première phase, c'est à dire jusqu'en 2012 les notions d'environnement et de développement durable se sont substituées à celle de production agricole.

Il s'en est suivi une profusion de textes destinés à mieux encadrer l'usage des produits phytopharmaceutiques qui, après avoir tenu leur justification dans le besoin de produire davantage pour nourrir la population, tiennent maintenant leur bannissement dans la nuisance qu'ils créent envers cette même population.

Il en résulte une multiplication de textes réglementaires dans lesquels le citoyen se perd parfois.

La liste, non exhaustive des textes récemment parus, que nous présente Mme VIANEY dans son poster en est l'illustration.

Cette liste devra d'ailleurs être révisée et complétée très rapidement car les textes nouveaux ou à venir : plan Ecophyto II, la loi d'avenir agricole, la loi sur la biodiversité, la loi de transition énergétique, etc., sont prometteurs de nouvelles dispositions pour compléter, amender ou préciser celles déjà existantes.

Cet encadrement juridique de plus en plus contraignant a pour effet d'augmenter les situations propices à la naissance des litiges et leur traitement judiciaire.

C'est une constante régulièrement vérifiée : l'augmentation des textes augmentent les risques d'infraction à ceux-ci, en même temps que les litiges potentiels et les procédures qui en découlent.

Le plan ECOPHYTO II peut être une bonne illustration de ces propos.

Les sources de litiges dans le plan ECOPHYTO II:

- ❖ **La terminologie** : celle-ci évolue. Alors que le plan ECOPHYTO 1 envisageait de réduire l'usage des pesticides le nouveau plan évoque une réduction des produits phytopharmaceutiques. Cette seule différence induit déjà une interrogation et suscite un besoin d'interprétation. Quelle différence y a-t-il entre *Pesticide* et *Produit Phytopharmaceutique* ? Point n'est besoin d'interroger l'assemblée sur cette différence pour constater que les interprétations peuvent être diverses. Une source de conflit existe déjà au niveau de la terminologie. Les usages inappropriés de ces deux définitions sont fréquents et source de confusion dans l'esprit du citoyen qui, en cas de mauvais usage sera contraint de justifier de sa bonne foi éventuellement par la voie judiciaire. Le terme Pesticide, comme sa racine latine l'indique (pestis = animal nuisible et cide du latin-caedere = tuer) s'applique donc à toute substance destinée à détruire ce qui est considéré comme nuisible. Les dessiccants, destinés à absorber l'humidité nuisible sont des pesticides, le shampoing anti-poux également ! Il en est ainsi pour les produits destinés à lutter contre les nuisibles aux plantes, comme aux animaux (dont l'homme fait partie), les produits de

conservation des produits de récolte avant et pendant le stockage, des produits pour lutter contre les vecteurs de maladies humaines etc.

Les pesticides peuvent être d'origine synthétique comme d'origine naturelle.

La suppression des pesticides concerne donc indistinctement les produits issus de la chimie de synthèse comme ceux extraits du milieu naturel.

Les produits phytopharmaceutiques font partie de l'ensemble des pesticides en tant que produits spécifiquement destinés à la protection des végétaux.

Le droit français est un droit écrit. Il est donc primordial d'utiliser les termes appropriés dans les publications quelles soient scientifiques ou de vulgarisation pour éviter toute confusion.

Il est important que les organismes revendiquant une vocation de formation ou d'information, n'entretiennent pas cette confusion.

Ex: extrait d'une publication de la DRAAF Ile de France :

Vous avez dit pesticides ?
C'est quoi ?

Le terme **pesticide** regroupe les substances chimiques destinées à repousser, détruire ou combattre les ravageurs et les plantes ou animaux jugés indésirables.

Pesticides = Produits phytosanitaires = Produits phytopharmaceutiques

Composition

Pesticides = Substance(s) active(s) (d'origine naturelle ou synthétique) + Adjuvants (pour améliorer l'efficacité et faciliter l'emploi)

Produit	Contre
Herbicides	Les adventices ou herbes indésirables
Insecticides	Les insectes
Fongicides	Les moisissures et les champignons des plantes
Nématocides	Les nématodes
Molluscicides	Les limaces et les escargots
Rotariocides	Les rongeurs

ATTENTION !
Tous les pesticides vendus ont reçu une autorisation de vente. Mais acheter ne veut pas dire utiliser...

Ex: extrait du site de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse:

|| | Objectif « Zéro pesticide » dans nos villes et nos villages



La réduction de l'usage des pesticides pour l'entretien des espaces verts et des voiries constitue un enjeu important pour la préservation de la ressource en eau, de la biodiversité et pour la santé.

Pour respecter les évolutions réglementaires et l'abandon progressif du recours aux pesticides, l'agence de l'eau vous accompagne en renforçant son taux d'aide.

■ **Les pesticides en ville, un fort impact sur la qualité des eaux**

» La majorité des pesticides utilisés en ville sont des herbicides.

» Jusqu'à 40 % des quantités d'herbicides appliquées sur surfaces imperméables sont transférées vers les cours d'eau contre environ 1% sur terres cultivées.

» Des traitements sur des espaces directement connectés à l'eau (avaloirs, caniveaux, bords de canal, de cours d'eau, de fossés...)

■ **Aller plus loin**

Le Label Terre Saine, mis en place par le ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, valorise votre démarche « zéro pesticide » : [renseignez-vous ici!](#)

Repères

Vous êtes:

- [Collectivité](#)
- [Gestionnaire d'infrastructure](#)
- [Particulier, jardinier amateur](#)

De telles publications, de surcroît émanant d'un service officiel, peuvent être utilisées comme pièces à charge dans une procédure judiciaire.

Nous ne pouvons donc que recommander la plus grande prudence, et souvent plus de modération dans la terminologie utilisée. Le risque étant, pour le rédacteur d'une telle information publique, de se voir introduit dans une procédure en cours au motif qu'en tant que professionnel il a diffusé une information de nature à influencer sur le raisonnement du lecteur.

De surcroît ces allégations ne respectent pas les préconisations du guide pratiques des allégations environnementales 2012.

L'interprétation qui peut être faite de telles publications conduit parfois à l'inverse du résultat recherché. Il est ainsi fréquent de lire dans des cahiers des charges lors de consultation par les communes "*les traitements devront exclusivement être réalisés avec des produits biologiques en excluant tout pesticide*"

Il est également courant de lire dans la presse qu'une municipalité a pris un arrêté "Zéro pesticide". Interdisant de fait, par ignorance ou mauvais conseil, une interdiction, certes des produits phytopharmaceutiques, mais aussi de tous les produits qui peuvent soigner l'homme et les animaux!

Dans un tel cas, il ne reste plus qu'à souhaiter au Maire de ne pas subir une prolifération de poux dans les écoles!

L'axe 4 du plan ECOPHYTO II : une source inépuisable de litiges potentiels:

Article 18 : le plan propose de promouvoir la démarche "**Terre saine, Communes sans pesticides**" (soutenue par le MEEDEM) et de valoriser dans le même temps *le recours aux produits de biocontrôle* ainsi que les Chartes locales "**objectif zéro pesticide**"

Nous l'avons évoqué précédemment, une commune sans pesticide est une commune où l'usage des produits phytopharmaceutiques est interdit, mais aussi celui des bio pesticides que l'Union Européenne définit comme étant "*une forme de pesticide basée sur des micro organismes ou des produits naturels*".

Le législateur place donc le citoyen devant un curieux dilemme : celui de lui interdire l'usage d'une catégorie de produit et de l'encourager à utiliser des produits issus de la même catégorie !?

Il en résulte qu'un arboriculteur pratiquant la technique de confusion sexuelle au sein d'une commune labellisée "Terre saine " se trouve dans une situation d'illégalité. Il risque par exemple, dans l'hypothèse d'une action entreprise par ses soins envers un fournisseur de diffuseurs à phéromone dont il considère le résultat comme insuffisant, de se voir opposer qu'il a mis en oeuvre des produits non autorisés dans sa commune!

Le plan prévoit également de développer la plate forme d'échange Web dans le but légitime de diffuser le plus largement possible les solutions alternatives connues sur certaines surfaces pour qu'elles soient adaptées sur d'autres et dans d'autres situations.

Le législateur ne définit cependant pas selon quelles vérifications scientifiques ces transferts s'opéreront ni comment les techniques seront validées.

Il évoque bien que les solutions connues en un lieu devront être "*adaptées et testées*" sur d'autres lieux mais ne précise pas selon quel encadrement réglementaire.

Dans l'attente de précision réglementaire sur ce point (une de plus!) la responsabilité, en cas d'échec, voire de désordres avérés consécutifs à la mise en oeuvre de telles techniques par un utilisateur, reste donc au site qui en a fait la promotion.

Il y a là incontestablement source potentielle de nombreux conflits.

Par ailleurs, le plan Ecophyto 2 se propose d'encourager et de soutenir les initiatives locales tendant à réduire l'usage des produits phytopharmaceutiques.

Cela signifie que tous les territoires du pays ne seront pas à égalité de traitement en la matière.

Certes il est prévu une gouvernance régionale, sous l'autorité du préfet, pour garantir la cohérence des actions de développement mises en oeuvre au sein d'une même région. Mais il n'est pas envisagé de cohérence au niveau national.

Ces différences territoriales pourront causer des difficultés d'organisation et d'adaptation aux entreprises prestataires, ainsi qu'aux conseillers, ayant vocation à intervenir sur plusieurs régions.

Il en sera de même pour les grands donneurs d'ordres nationaux qui devront adapter leurs exigences de gestion aux exigences réglementaires locales.

L'exemple des trains désherbeurs de la SNCF traversant plusieurs régions illustre bien les difficultés potentielles susceptibles de survenir et les risques accrus d'erreur et de litige.

Les conseillers intervenant sur plusieurs régions connaîtront également des difficultés pour satisfaire aux exigences du référentiel qui encadrent leur activité et les faire coïncider avec les exigences propres aux régions de leur zone d'activité.

Difficulté suprême lorsque le conseiller intervient sur une exploitation ou un groupement d'exploitations sises à cheval sur plusieurs régions. L'exigence C5 du référentiel lui impose, pour chaque préconisation, de proposer et formaliser des méthodes alternatives lorsqu'elles existent. Comment pourra-t-il se conformer à cette exigence si des méthodes alternatives sont reconnues comme telles dans une région mais pas dans l'autre ?

L'encouragement aux initiatives locales peut également conduire les autorités en charge à envisager des mesures étonnantes parfois incompatibles avec les exigences des textes à portée nationale.

Ainsi l'exemple d'un projet d'arrêté préfectoral pour le département de la Haute Garonne visant à fixer des mesures de protection à proximité des établissements fréquentés par des personnes vulnérables lors de l'application de produits phytopharmaceutiques mérite d'être cité.

Dans cet arrêté le Préfet envisage d'interdire l'application des produits phytopharmaceutiques à proximité desdits établissements pendant des horaires "sensibles". Ces derniers ayant comme amplitude 20' avant l'entrée des élèves et 20' après leur sortie. La proximité étant quant à elle définie, pour les traitements non agricoles, comme à moins de 5m de la limite de propriété du lieu et pouvant être portée à 50 m dans le cas particulier des traitements d'arbres et arbustes. Or, la réglementation en vigueur, telle qu'elle est définie par l'arrêté du 27 juin 2011, fixe dans ce cas précis la largeur de la zone non traitée à 50 m et ce, sans considération d'occupation des lieux concernés.

Le texte envisagé par le préfet afin de permettre, dans les zones sensibles, de traiter dans le respect de la réglementation en vigueur est donc incohérent et inapplicable parce qu'il ne s'inscrit précisément pas dans la réglementation en vigueur.

C'est une initiative locale de nature à accroître la confusion dans l'interprétation des textes et être à l'origine de situations litigieuses.

DISCUSSION

Dans une société qui se judiciarise de plus en plus, le nombre des situations de litiges qui dépassent le stade du règlement amiable ne cesse d'augmenter.

La raison principale de l'échec fréquent du règlement amiable tient essentiellement dans les possibilités diverses d'interprétation des textes servant de référence à ce règlement.

Le législateur de plus en plus pressé par l'opinion publique, et parfois motivé par des convictions politiques qui réduisent son champ de vision, ne prend malheureusement pas assez de temps pour envisager toutes les conséquences des textes qu'il produit, en affiner la précision et réduire les interprétations que cela autorise en laissant à la jurisprudence le soin de corriger tous ces effets annexes.

Dans notre domaine d'activité il est également nécessaire, voire indispensable, que la terminologie soit mieux définie et ne permette pas les utilisations de termes inappropriées souvent dans le seul but de rendre crédible un argumentaire hasardeux.

L'utilisation excessive du terme "pesticides" en est l'exemple flagrant.

Nous terminerons cet exposé par une mise en garde des acteurs de la filière qui entretiennent, le plus fréquemment entre eux, des rapports contractuels.

C'est le cas des prestataires et des donneurs d'ordre (collectivités ou organismes privés), des utilisateurs professionnels ou non et des vendeurs de spécialités phytopharmaceutiques mais aussi des conseillers et de leurs clients.

Une profonde refonte du droit des obligations a eu lieu en 2016, et d'application partielle depuis le 1^{er} juillet.

Un point important de cette réforme porte sur la définition des clauses abusives constituées par le déséquilibre entre les droits et les obligations découlant des clauses dudit contrat.

Ainsi depuis le premier juillet 2016 les dispositions définissant les clauses ont été renforcées dans les contrats conclus entre professionnels et amateurs mais également dans ceux conclus entre professionnels

La majorité des contrats conclus dans notre secteur d'activité sont des contrats d'adhésion. C'est à dire des contrats dont les termes sont imposés par une partie à l'autre.

Ainsi lorsqu'elle répond à un marché public, l'entreprise prestataire accepte les termes de des prestations définis dans le cahier des charges par son donneur d'ordre (co-contractant).

Lorsque le cahier des charges impose par exemple une technique d'application particulière ou un produit spécifique et que le prestataire respecte cette (ces) clause(s), le donneur d'ordre ne peut se prévaloir d'une inefficacité éventuelle et se soustraire à son obligation contractuelle de paiement, le prestataire ayant, pour sa part, satisfait à son obligation de traitement.

Par contre, si dans un contrat entre un donneur d'ordre et un prestataire, seul un objectif de résultat constitue l'obligation du prestataire (ex: désherber un trottoir), ce dernier ne peut se prévaloir, dans le cas d'un résultat insatisfaisant, de la mauvaise efficacité du produit dont il a le libre choix (dans le respect des homologations). Le prestataire doit dans ce cas et en vertu des dispositions du nouvel article L.1166 du C.Civ., offrir une prestation de qualité conforme aux attentes légitimes de son co-contractant en considération de sa nature, des usages et du montant de la contrepartie.

CONCLUSION

Le plan ECOPHYTO II vise à atteindre une réduction de 50 % de l'usage des produits phytopharmaceutiques à l'horizon 2025 et propose au travers de six axes toute une série de mesures pour arriver à cet objectif.

La mise en œuvre de ces mesures implique celle d'autres mesures, nombreuses et réglementaires celles-ci. Ces dernières étant souvent elles-mêmes génératrices de compléments aussi réglementaires.

Il en résulte une multiplication de textes et un risque accru de litiges potentiels.

Tous les acteurs de la filière doivent donc être particulièrement vigilants sur l'évolution réglementaire en cours sous peine d'être partie dans un litige dont le règlement devra se faire par voie judiciaire.

REMERCIEMENTS AUX RELECTEURS : G. CHAUVEL ; P. BEUSTE

BIBLIOGRAPHIE

Plan ECOPHYTO I 10 septembre 2008

Plan ECOPHYTO II 20 octobre 2015

Code rural 2016,

Code de la santé publique,

Bilan 2015 des contrôles pratiqués par la DGCCRF,

Arrêté du 06 janvier 2016,

Arrêté du 12 septembre 2006,

Arrêté du 27 mars 2015,

Arrêté PNPP du 27 avril 2016,

Guides de lectures des référentiels de certification version 28 mars 2014,

Loi LABBE du 06 février 2014,

Loi de transition énergétique du 17 août 2015,

Note de service DGAL du 01 avril 2015 complétée par la note de service du 25 mai 2016 sur les produits de bio contrôle

Décret autorisation PNPP du 27 avril 2016-09-01

Arrêté bonnes conditions agricoles et environnementales du 24 avril 2015

Arrêté lieux publics du 27 juin 2011

Arrêté Certibiocides du 09 octobre 2013

Guide pratique sur les allégations environnementales (MEEDDEM -2012)

**AFPP – 4^e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN
DES JARDINS, ESPACES VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES
TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016**

**DIFFERENCES REGLEMENTAIRES ENTRE LES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES JEVI
A USAGE PROFESSIONNEL ET A USAGE AMATEUR**

E. VIANAY ⁽¹⁾ et K. MAVET ⁽²⁾

⁽¹⁾ Lynxee consulting, 12 Avenue des Saules, 69600 Oullins, France (emilie.vianay@lynxee.consulting)

⁽²⁾ Lynxee consulting, 12 Avenue des Saules, 69600 Oullins, France (karine.mavet@lynxee.consulting)

RÉSUMÉ

Ecophyto II, lois d'avenir agricole, de transition énergétique et pour la reconquête de la biodiversité, mise sur le marché des produits, produits utilisables en JEVI, séparation de gammes, biocontrôle... le contexte réglementaire est en pleine mutation. Comment cela se traduit-il concrètement en France pour les produits phytopharmaceutiques à usage professionnel mais aussi à usage amateur en termes de restriction d'utilisation, de mode d'application, d'emballage, d'étiquetage... ?

Panorama des éléments-clefs qui permettent de mieux comprendre les réglementations actuelles et leur déclinaison selon les 2 gammes d'usages.

Mots-clés : produit phytopharmaceutique, réglementation, professionnel, amateur.

ABSTRACT

REGULATORY DIFFERENCES BETWEEN PLANT PROTECTION PRODUCTS FOR PROFESSIONAL USE AND FOR AMATEUR USE

Ecophyto II, laws for the future of agriculture, for the energetic transition and for biodiversity regrowth, placing on the market of PPPs, products used in amenity areas, separation of professional and amateur ranges of products, biocontrol... the regulatory framework is changing fast. How does it translate concretely in France for plant protection products for professional use but also for amateur use in terms of restriction of use, mode of application, packaging, labelling...?

Panorama of the key elements to better understand the current regulations and their declination as 2 ranges of uses.

Keywords: plant protection product, regulation, professional, amateur.

INTRODUCTION

Dans les dix dernières années, de nombreux textes réglementaires sont parus et ont modifié les conditions d'utilisation des produits phytopharmaceutiques en France. Ces évolutions impactent notamment les produits utilisables dans les Jardins, Espaces Végétalisés et Infrastructures (JEVI) en termes de restrictions d'utilisation, de conditions de vente, d'emballage/étiquetage, de mode d'application et d'élimination.

De plus, certains textes réglementaires sont dédiés aux produits professionnels et d'autres aux produits amateurs.

La multiplicité et la complexité des textes réglementaires entraînent une difficulté à interpréter les informations et à connaître avec certitude les mesures en vigueur. Aussi, Lynxee consulting a voulu faire le point sur les dispositions mises en place et les différences existant entre les deux gammes d'usages.

MATERIEL ET MÉTHODE

RECHERCHE REGLEMENTAIRE

Journal Officiel de la République française (JORF)

Une recherche exhaustive des textes réglementaires ayant trait aux restrictions d'utilisation, de conditions de vente, d'emballage/étiquetage, de mode d'application et d'élimination des produits phytopharmaceutiques a été effectuée sur le site internet du JORF. Cette recherche a été arrêtée au 31 août 2016.

Ensuite, seuls les textes qui traitaient des produits à usage en JEVI ont été sélectionnés.

Enfin, les dispositions mises en place pour les usages professionnels ont été comparées à celles pour les usages amateurs et les points pour lesquels des différences existaient ont été sélectionnés.

Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses)

Une recherche a également été effectuée parmi les Avis de l'Anses. Cette recherche a été arrêtée au 31 août 2016.

Sites internet spécialisés

Les conclusions de la recherche réglementaire ont ensuite été confrontées aux informations trouvées sur des sites spécialisés :

<http://www.ecophytozna-pro.fr/>

<http://www.upj.fr/>

SELECTION DES TEXTES REGLEMENTAIRES PERTINENTS

Douze textes réglementaires s'appliquant aux produits JEVI ont été retenus (classés par ordre chronologique croissant) :

- Arrêté du 12 septembre 2006 relatif à la mise sur le marché et à l'utilisation des produits visés à l'article L. 253-1 du code rural¹
- Arrêté du 30 décembre 2010 relatif aux conditions d'emballage des produits phytopharmaceutiques pouvant être employés par des utilisateurs non professionnels
- Arrêté du 30 décembre 2010 interdisant l'emploi de certains produits phytopharmaceutiques par des utilisateurs non professionnels
- Arrêté du 27 juin 2011 relatif à l'interdiction d'utilisation de certains produits mentionnés à l'article L. 253-1 du code rural et de la pêche maritime dans des lieux fréquentés par le grand public ou des groupes de personnes vulnérables
- Décret n° 2011-1325 du 18 octobre 2011 fixant les conditions de délivrance, de renouvellement, de suspension et de retrait des agréments des entreprises et des certificats individuels pour la mise en vente, la distribution à titre gratuit, l'application et le conseil à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques
- Décret n° 2012-755 du 9 mai 2012 relatif à la mise en conformité des dispositions nationales avec le droit de l'Union européenne en ce qui concerne la mise sur le marché et l'utilisation des produits phytopharmaceutiques
- LOI n° 2014-110 du 6 février 2014 visant à mieux encadrer l'utilisation des produits phytosanitaires sur le territoire national
- LOI n° 2014-1170 du 13 octobre 2014 d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt
- LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte
- Arrêté du 6 janvier 2016 relatif aux justificatifs requis pour l'achat de produits phytopharmaceutiques de la gamme d'usages «professionnel»
- Arrêté du 10 mars 2016 déterminant les phrases de risque visées au premier alinéa de l'article L. 253-7-1 du code rural et de la pêche maritime
- LOI n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages

Des Avis et Actualités ont également été utilisés :

- Avis relatif à la "modification ou à l'apport de précision de l'arrêté du 30 décembre 2010 relatif aux conditions d'emballage des produits phytopharmaceutiques pouvant être employés par des utilisateurs non professionnels" (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Saisine N°2013-SA-0128, 16/02/2015)
- Avis aux fabricants, distributeurs et utilisateurs d'équipements de protection individuelle destinés à protéger des produits phytopharmaceutiques (Ministère du travail, de l'emploi, de la formation professionnelle et du dialogue social, JO 09/07/2016)
- Avis aux demandeurs et titulaires d'autorisation de mise sur le marché (AMM) des produits phytopharmaceutiques et aux fabricants de ces produits relatif aux équipements de protection individuelle (EPI) appropriés dans le cadre de la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques (Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, JO 13/07/2016)

¹ Le 06 juillet 2016, le Conseil d'Etat a demandé au Ministère de l'Agriculture d'abroger l'arrêté du 12 septembre 2006 dans un délai de 6 mois à compter de la notification de la décision (référence N°391684 ; ECLI:FR:CECHR:2016:391684.20160706).

COMPILATION DES INFORMATIONS REGLEMENTAIRES

D'une part, les informations réglementaires ont été séparées en fonction de leur usage :

- Professionnel
- Amateur

Et d'autre part, les informations réglementaires ont été classées par thème :

- Restrictions et interdictions d'utilisation
- Conditions de vente
- Emballage, mentions sur l'étiquette et conditions d'emploi
- Application du produit
- Elimination du produit et de l'emballage

MISE EN RELATION DES TEXTES REGLEMENTAIRES ET DES DIFFERENCES REGLEMENTAIRES

Dans un souci de précision, les différences réglementaires mises en évidence ont été reliées au texte réglementaire dont elles découlent.

Les différents textes réglementaires ont été numérotés de [1] à [11]. A noter que les 2 arrêtés "Amateurs" du 30 décembre 2010 ont été regroupés sous le n° [2].

RESULTATS

MISE EN FORME DES TEXTES REGLEMENTAIRES PERTINENTS

Afin de faciliter la lecture, les textes réglementaires ont été mis en forme le long d'un axe "temps".

Figure 1 : Evolution du cadre réglementaire français
(Figure 1: Evolution of French regulatory framework)



MISE EN EVIDENCE DES DIFFERENCES REGLEMENTAIRES ENTRE USAGES PROFESSIONNELS / AMATEURS

Afin de faciliter la lecture, les informations réglementaires ont été mises en forme dans un tableau selon les 2 axes définis précédemment :

- Type d'usage
- Thème

Tableau I : Mieux comprendre la déclinaison des réglementations selon les gammes d'usages
(Table I: Better understanding of the regulations' déclinaison as the ranges of uses)

PPP pour usage JEVI professionnel	PPP pour usage JEVI amateur
Restrictions et interdictions d'utilisation	
<p>En vigueur [3] [7] [10] :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interdiction des PPP les plus toxiques pour la santé humaine (dérogations pour les espaces pouvant être fermés plus de 12 h). - Interdiction dans les espaces accueillant des enfants et à moins de 50 m des établissements accueillant des personnes vulnérables <u>sauf</u> PPP sans classement ou seulement classés pour l'environnement. - Mesures de protection adaptées à proximité des lieux fréquentés par les enfants et personnes vulnérables (haies, horaires de traitement, etc.) [7] <p>A partir du 01/01/2017 [6] [8] :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interdiction des produits conventionnels sauf dans les "zones difficiles d'accès", les terrains de sport et les cimetières. - Autorisation des produits de biocontrôle, à faible risque et Utilisables en Agriculture Biologique pour toutes les utilisations. <p>A partir du 01/09/2018, dérogations jusqu'au 01/07/2020 [11] :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interdiction des néonicotinoïdes. 	<p>En vigueur [2] :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interdiction des PPP les plus toxiques pour la santé humaine (PPP explosifs, très toxiques, toxiques ou CMR) ou contenant des substances actives CMR 1A/1B, PBT / tPtB. → Profil toxicologique plus favorable. - Interdiction des PPP destinés à des cultures vivrières si pas de LMR définie. <p>A partir du 01/01/2019 [6] [7] [8] :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interdiction des produits conventionnels. - Autorisation des produits de biocontrôle, à faible risque et Utilisables en Agriculture Biologique pour toutes les utilisations. <p>Sur la sellette :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Produits contenant des substances CMR cat. 2, et R48 (H372-H373) et PPP classés R34, 35 (H314), R41 (H318), R43 (H317), R42 (H334) (Saisine Anses 2013-SA-0128, 16/02/2015). - Formulations sous forme de poudre (Saisine Anses 2013-SA-0128, 16/02/2015) et poudres pour poudrage (CSAMM, 17/02/2016).
Conditions de vente	
<p>Vendeurs phytocertifiés depuis le 01/10/2013. [4]</p> <p>Achat sur présentation de certaines catégories de Certiphyto depuis le 15/01/2016. [9]</p>	<p>Vendeurs phytocertifiés depuis le 01/10/2013. [4]</p> <p>A partir du 01/01/2017 [8] [11] :</p> <p>Libre-service interdit sauf produits de biocontrôle, substances de base et produits utilisables en Agriculture Biologique.</p>
Emballage, mentions sur l'étiquette et conditions d'emploi	
-	L'emballage ou l'étiquetage garanti des conditions d'expositions minimales pour l'utilisateur et l'environnement (emballage refermable sauf unidoses). [2]
Réservé à un usage strictement professionnel. [5]	Emploi autorisé dans les jardins. [5]
Dose généralement exprimée par hectare ou hectolitre.	Dose exprimée en g ou mL par m ² , 10 m ² , Litre ou 5 Litres. [2]
Délai de rentrée : entre 6h et 48h selon le classement des PPP. [1]	Délai de rentrée : attendre le séchage complet de la zone traitée.
A minima pour les applications par pulvérisation et poudrage : SPE3 : Pour protéger les organismes aquatiques, respecter une zone non traitée de 5 mètres par rapport aux points d'eau. [1]	Ne pas traiter sur un terrain risquant un entraînement vers un point d'eau : ruisseau, étang, mare, puits... en particulier si le terrain est en pente.
Délai avant récolte minimum : 3 jours. [1]	Délai avant récolte minimum : 5 jours. [2]
Application du produit	
Balisage et affichage préalable du lieu d'application. [3]	-
Agrément "Certiphyto" (pour toute entreprise depuis le 01/10/2013 [4] et pour tout utilisateur depuis le 26/11/2015. [7]) Registre d'application (à conserver pendant 5 ans). [7]	-
Protection de l'opérateur : gants, combinaison de protection, EPI partiel, bottes, lunettes/écran facial, protections respiratoires en fonction du PPP (Avis Ministère de l'agriculture, 13/07/2016).	Bonne pratique : port de gants.
Elimination du produit et de l'emballage	
Elimination via une entreprise habilitée pour la collecte et l'élimination des produits dangereux.	Ne pas rejeter dans l'évier, le caniveau ou tout autre point d'eau les fonds de bidons non utilisés. Ne pas jeter dans les poubelles ménagères : élimination en déchèterie.

DISCUSSION

Cette recherche réglementaire a permis de faire le point sur les différents textes réglementaires parus ces dix dernières années en France. Elle a mis en évidence 12 textes réglementaires ayant un impact sur l'utilisation des produits à usage JEVI.

Concernant les restrictions et interdictions d'utilisation, les interdictions sont plus fortes concernant les produits amateurs mais pour les produits professionnels des restrictions sont appliquées pour les lieux fréquentés par des personnes vulnérables.

En revanche, l'interdiction des produits conventionnels se fera deux années plus tôt pour les usages professionnels que pour les usages amateurs.

Au niveau des conditions de vente, la procédure est différente : les acheteurs professionnels doivent déjà présenter un Certiphyto alors que la vente en libre-service sera interdite aux amateurs à partir du 01/01/2017.

Concernant les emballages et étiquetages, les mentions sont adaptées aux petites surfaces traitées par les amateurs en comparaison des professionnels.

Un soin particulier doit également être apporté aux emballages amateurs afin de limiter l'exposition de l'utilisateur.

A noter que, par précaution, le délai avant récolte minimum est plus long pour les amateurs que pour les professionnels.

En terme d'application des produits, les restrictions pour les professionnels sont plus importantes avec notamment une obligation de balisage et d'affichage préalable et l'obtention du "Certiphyto".

A noter que les produits pour les amateurs ayant un profil toxicologique plus favorable, les équipements de protection individuelle (EPI) sont moindres (recommandation du simple port de gants).

Enfin, dans les deux cas, l'élimination des produits doit se faire par une filière spécialisée : entreprise habilitée ou déchèterie selon les usages.

CONCLUSION

Des différences majeures existent entre les produits JEVI à usage professionnel et ceux à usage amateurs en terme de restrictions d'utilisation, de conditions de vente, d'emballage/étiquetage, de mode d'application et d'élimination.

Principalement, les produits conventionnels à usage professionnel seront interdits plus tôt, les vendeurs et acheteurs doivent être détenteurs d'un "Certiphyto" et les applications doivent être faites après balisage et affichage préalable.

Quant à eux, les produits à usage amateur ayant un profil toxicologique plus favorable, les produits conventionnels seront interdits plus tard mais la vente en libre-service sera interdite prochainement. La réglementation étant en perpétuelle évolution, il est important de se tenir informé.

BIBLIOGRAPHIE

- Arrêté du 12 septembre 2006 relatif à la mise sur le marché et à l'utilisation des produits visés à l'article L. 253-1 du code rural
- Arrêté du 30 décembre 2010 interdisant l'emploi de certains produits phytopharmaceutiques par des utilisateurs non professionnels
- Arrêté du 30 décembre 2010 relatif aux conditions d'emballage des produits phytopharmaceutiques pouvant être employés par des utilisateurs non professionnels

- Arrêté du 27 juin 2011 relatif à l'interdiction d'utilisation de certains produits mentionnés à l'article L. 253-1 du code rural et de la pêche maritime dans des lieux fréquentés par le grand public ou des groupes de personnes vulnérables
- Arrêté du 12 juin 2015 modifiant l'arrêté du 12 septembre 2006 relatif à la mise sur le marché et à l'utilisation des produits visés à l'article L. 253-1 du code rural
- Arrêté du 12 juin 2015 modifiant l'arrêté du 7 avril 2010 relatif à l'utilisation des mélanges extemporanés de produits visés à l'article L. 253-1 du code rural et de la pêche maritime
- Arrêté du 6 janvier 2016 relatif aux justificatifs requis pour l'achat de produits phytopharmaceutiques de la gamme d'usages «professionnel»
- Arrêté du 10 mars 2016 déterminant les phrases de risque visées au premier alinéa de l'article L. 253-7-1 du code rural et de la pêche maritime
- Avis relatif à la "modification ou à l'apport de précision de l'arrêté du 30 décembre 2010 relatif aux conditions d'emballage des produits phytopharmaceutiques pouvant être employés par des utilisateurs non professionnels" (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Saisine N°2013-SA-0128, 16/02/2015)
- Avis aux fabricants, distributeurs et utilisateurs d'équipements de protection individuelle destinés à protéger des produits phytopharmaceutiques (Ministère du travail, de l'emploi, de la formation professionnelle et du dialogue social, JO 09/07/2016)
- Avis aux demandeurs et titulaires d'autorisation de mise sur le marché (AMM) des produits phytopharmaceutiques et aux fabricants de ces produits relatif aux équipements de protection individuelle (EPI) appropriés dans le cadre de la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques (Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, JO 13/07/2016)
- Décret n° 2011-1325 du 18 octobre 2011 fixant les conditions de délivrance, de renouvellement, de suspension et de retrait des agréments des entreprises et des certificats individuels pour la mise en vente, la distribution à titre gratuit, l'application et le conseil à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques
- Décret n° 2012-755 du 9 mai 2012 relatif à la mise en conformité des dispositions nationales avec le droit de l'Union européenne en ce qui concerne la mise sur le marché et l'utilisation des produits phytopharmaceutiques
- EcophytoZNA-Pro, site internet : <http://www.ecophytozna-pro.fr/>, édité par Plante&Cité.
- LOI n° 2014-110 du 6 février 2014 visant à mieux encadrer l'utilisation des produits phytosanitaires sur le territoire national (Loi "Labbé")
- LOI n° 2014-1170 du 13 octobre 2014 d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt
- LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte
- LOI n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages
- Procès verbal de réunion du Comité de suivi des AMM numéro 2016-01 du 17 février 2016
- Union des entreprises pour la protection des jardins et desespaces publics (UPJ). Site internet : <http://www.upj.fr/>