

Les apports de l'écologie du paysage pour comprendre la dynamique de la flore adventice

Sandrine Petit, Claudine Thenail, Bruno B. Chauvel, Didier Le Coeur, Jacques Baudry

▶ **To cite this version:**

Sandrine Petit, Claudine Thenail, Bruno B. Chauvel, Didier Le Coeur, Jacques Baudry. Les apports de l'écologie du paysage pour comprendre la dynamique de la flore adventice. Innovations Agronomiques, 2008, 3, pp.49-60. hal-02665450

HAL Id: hal-02665450
https://hal.inrae.fr/hal-02665450

Submitted on 31 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Les apports de l'écologie du paysage pour comprendre la dynamique de la flore adventice

S. Petit[1], C. Thenail[2], B. Chauvel[1], D. Le Coeur[2,3], J. Baudry[2]

[1] : INRA, UMR Biologie et Gestion des Adventices, ENESAD-INRA-UB, 17 rue de Sully, BP 86510 21065 Dijon Cedex

[2] : INRA, UR SAD-Paysage, 65, rue de Saint-Brieuc, CS 85214, 35042 Rennes Cedex.

[3] : Agrocampus-Ouest, Laboratoire Ecologie & Sciences Phytosanitaires, 65, rue de Saint-Brieuc, CS 85214, 35042 Rennes Cedex.

Correspondance: sapetit@dijon.inra.fr

Résumé

Les recherches menées en écologie du paysage mettent en évidence des effets probants de la structure du paysage sur la dynamique de la flore et de la faune. Dans le contexte d'une recherche de systèmes de cultures permettant un usage réduit des herbicides, il est légitime de s'interroger sur les effets potentiels de l'organisation de ces systèmes dans l'espace et dans le temps au sein d'un territoire sur la flore adventice. On sait aussi qu'une majorité des adventices utilisent des milieux autres que la parcelle cultivée et que la prise en compte des ces espaces hors champ est nécessaire à la compréhension de la dynamique de la flore adventice. Cet article propose une synthèse des connaissances actuelles sur le rôle des structures paysagères sur la dynamique de la flore adventice. Il identifie les avancées qui sont nécessaires pour pouvoir répondre à des questions relatives à l'effet de l'organisation spatio-temporelle des mosaïques agricoles (parcelles et espaces hors-champ) sur la flore adventice et présente des méthodes de description de ces mosaïques et de leur gestion qui relèvent de l'articulation entre l'écologie du paysage et l'agronomie.

Abstract

The field of landscape ecology has established that landscape structure can impact the dynamics of many organisms. While there is a consensus that new agricultural systems are needed that would allow low input of herbicides, it appears relevant to assess to what extent the spatio-temporal organisation of such systems at the landscape scale could provide a foundation for the management of weeds. As the weed flora can be found in many habitats that are not directly cultivated, such assessment would require to integrate uncultivated landscape elements. This paper presents the state of the art on the effect of landscape structure on the dynamics of the arable weed flora. It identifies the main gaps that need to be filled in order to fully integrate the role of landscape mosaics in our understanding of weed dynamics and presents methodologies that are currently being developed at the interface between landscape ecology and agronomy in order to realistically represent these mosaics.

Introduction

Aujourd'hui, la prise en compte de la dimension environnementale de l'agriculture implique de nouveaux enjeux, mis en avant lors du Grenelle de l'Environnement (réduction des pollutions diffuses, restauration de la biodiversité…). L'agriculture de demain va favoriser l'émergence de systèmes de cultures plus respectueux de l'environnement, qui devront notamment réduire leur dépendance vis-à-vis de la lutte

chimique. La mise en place de systèmes à bas niveau d'utilisation des herbicides aura des conséquences directes sur la dynamique de la flore adventice. Ces conséquences peuvent être multiples car, selon les situations et les espèces, la flore adventice peut (éventuellement alternativement dans le temps) représenter un atout lorsqu'elle bénéficie aux insectes butineurs par exemple, mais aussi représenter un risque lorsqu'elle devient envahissante.

L'évolution de la flore adventice a traditionnellement été reliée à des facteurs mesurés à l'échelle de la parcelle cultivée (culture, pratiques, texture du sol…). Or, on sait que ces espèces ne sont pas isolées dans des parcelles indépendantes mais qu'il peut exister des flux importants de propagules et de pollen dans le paysage. Une des conséquences est que les conditions qui prévalent aux alentours de la parcelle (bordures de champs, réseau de parcelles, paysage) peuvent influencer la composition des communautés d'adventices dans la parcelle. Il en découle que, si la compréhension des effets des systèmes de culture sur les adventices relève de l'échelle de la parcelle agricole, l'agencement dans l'espace et dans le temps des différents systèmes de culture et l'existence d'éléments de paysage hors champs cultivés (bordures de champs, prairies permanentes, friches, etc) doivent être pris en compte comme facteurs pouvant aussi structurer la composition de la flore adventice. Cette dimension spatio-temporelle est également cruciale pour décider de stratégies d'utilisation du territoire, entre d'une part une extensification généralisée des pratiques agricoles sur l'ensemble du territoire et d'autre part un partage du territoire en zones productives intensives et zones réservées au maintien des fonctions écologiques.

Cet article propose une synthèse des connaissances actuelles sur le rôle des structures paysagères sur la dynamique de la flore présente dans les agro-écosystèmes. Il propose d'identifier les avancées qui sont nécessaires pour pouvoir répondre à des questions relatives à l'effet de l'organisation spatio-temporelle des mosaïques agricoles sur la flore adventice. Enfin, il est présenté des méthodes de description de ces mosaïques et de leur gestion qui relèvent de l'articulation entre l'écologie du paysage et l'agronomie.

1. Un état des lieux de la pertinence du paysage comme échelle d'analyse et comme facteur structurant la flore adventice

1.1. La compréhension de la dynamique de la flore adventice ne peut se limiter à la parcelle agricole.

Le premier constat qui s'impose est que la plupart des espèces végétales susceptibles de constituer la flore adventice des cultures occupent des compartiments du paysage autres que la parcelle cultivée (ou plein champ). On citera les bords de champ (zone marginale correspondant au dernier mètre où le sol est travaillé), les bordures herbacées et autres espaces hors-champ caractérisés, même de façon transitoire, par un couvert de végétation et un degré de perturbation propices à l'installation d'espèces annuelles. Jusque maintenant limitée à un objectif de contrôle, l'étude de la dynamique des espèces adventices des cultures s'est cantonnée à l'espace interne de la parcelle cultivée.

Dans une étude réalisée sur 82 parcelles agricoles contiguës et portant sur quatre compartiments (plein champ, bord de champ, interface entre cultures et bordure non travaillée), Fried *et al*. (2007) ont montré une augmentation importante de la diversité entre le plein champ et la parcelle étendue (Figure 1).

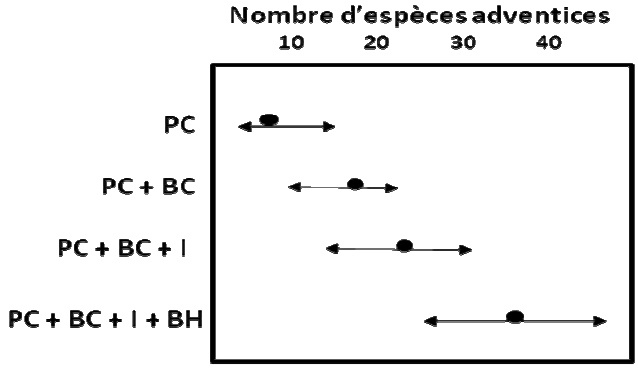


Figure 1 : Partitionnement de la richesse spécifique en adventices entre les quatre niveaux d'organisation de la parcelle étendue. PC = plein champ ; BC = bord de culture (dernier mètre cultivé) ; I =interface entre cultures ; BH = bordure herbacée. Modifié d'après Fried *et al*., (2007).

Qu'est-ce que l'écologie du paysage ?

L'écologie du paysage (Burel et Baudry, 1999) reconnaît le paysage comme un niveau d'organisation écologique et le définit comme un ensemble d'écosystèmes en interaction. Cette discipline présente quatre particularités qui la différencient de l'écologie classique : (1) la prise en compte de l'hétérogénéité spatiale des paysages dans l'étude des processus écologiques, (2) la prise en compte de l'homme en tant que partie prenante des systèmes écologiques, (3) la prise en compte du temps et (4) l'organisation de recherches à des échelles pertinentes pour les aménageurs.
Le paysage de l'écologue se compose d'une juxtaposition d'éléments appelés **matrice** (élément dominant souvent considéré de moindre valeur écologique), **taches** (fragments d'habitats présents dans la matrice) et **corridors** qui sont des éléments de forme linéaire entre les taches.
De nombreuses sources de données (images satellitaires, photographies aériennes, relevés de terrain) permettent d'analyser les structures paysagères. La structure du paysage et son évolution dans le temps se quantifient grâce à différents indices telles sa diversité, son hétérogénéité (complexité) et sa connectivité (capacité à faciliter les flux à travers le paysage).
Un des thèmes de recherche favorisés en écologie du paysage est l'étude des relations entre des indices de structure du paysage et les processus écologiques qui s'y déroulent. Grâce aux outils et méthodes d'analyse de données spatiales, l'écologie du paysage offre aujourd'hui la perspective d'une vue plus réaliste et structurée de l'hétérogénéité spatio-temporelle des milieux et de la façon dont elle peut être perçue par les organismes. Parmi les modifications des structures paysagères influençant les niveaux de diversité biologique, on cite fréquemment d'une part la fragmentation des habitats, souvent forestiers, et d'autre part la simplification des mosaïques paysagères à la fois dans l'espace et dans le temps.

Dans cette étude, la richesse moyenne en adventices du plein champ n'est que de 8,7 espèces, l'insertion du bord de champ augmente la richesse en moyenne de 6 espèces, l'interface l'augmente encore de 9,2 espèces. Enfin, l'ajout de la bordure herbacée représente un apport moyen de 9,9 espèces supplémentaires soit une richesse moyenne de la parcelle étendue de 33,9 espèces La flore adventice du champ ne représente globalement en richesse que le quart de la flore adventice trouvée sur la parcelle étendue. Or, sachant que ces compartiments sont juxtaposés dans l'espace et que de nombreuses espèces adventices occupent indifféremment les quatre compartiments, il est clair que de nombreux échanges existent entre les différents compartiments. Que ce soit dans un objectif d'estimation de la biodiversité ou de contrôle de la flore, il semble ainsi primordial de prendre en compte la parcelle étendue pour comprendre la dynamique de la flore adventice.

2.2. Que sait-on de l'influence du paysage sur la flore adventice ?

Une des évolutions de l'agriculture durant les dernières décennies a été la simplification des mosaïques agricoles. La mosaïque est définie ici comme l'assemblage de l'ensemble des éléments du paysage qui forment l'agro-écosystème (parcelle étendue, chemins, bois, haies, friches, etc). En effet, alors que la surface totale dédiée à l'agriculture tend à décliner globalement en Europe, on observe un agrandissement de la taille moyenne des parcelles culturales parallèle à une réduction du nombre de parcelles. On voit également une réduction généralisée de la superficie et de la diversité des habitats non cultivés, une simplification des rotations de culture, la conversion de surfaces en herbes en cultures annuelles, un déclin des céréales de printemps. Finalement, dans ces paysages, on a vu un effondrement de la diversité des habitats que ce soit dans l'espace ou dans le temps. De nombreux auteurs affirment que la réduction drastique de l'hétérogénéité spatio-temporelle des habitats serait un facteur clé du déclin de la biodiversité dans les paysages agricoles (Benton *et al*., 2003). Les études empiriques menées à des échelles larges indiquent en effet, de façon très constante, que la diversité des habitats trouvés dans un paysage est positivement corrélée à la richesse spécifique des communautés végétales au sein de chacun des habitats (Figure 2).

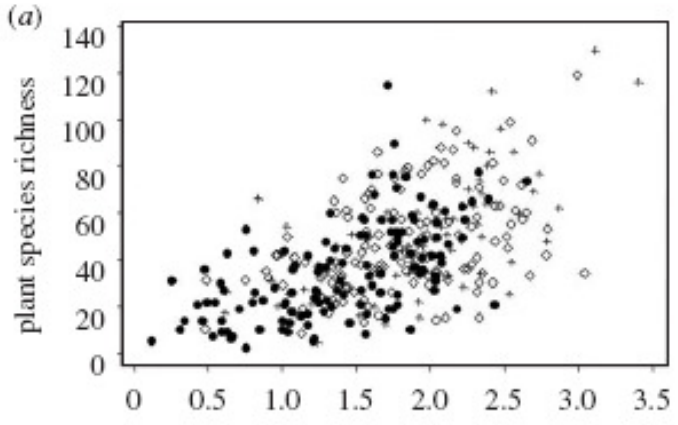


Figure 2 : Relation entre la diversité d'habitats (indice de Simpson) dans 581 carrés de 1 km de côté (en abscisse) et la richesse floristique observée dans ces carrés (en ordonnée). Les figurés représentent différentes zones environnementales présentes en Grande Bretagne. (D'après Firbank *et al.*; 2008).

Il y a aujourd'hui un constat quasi-général en Europe du déclin du nombre d'espèces adventices et de leur abondance au cours des dernières décennies (Sutcliffe et Kay, 2000). Plusieurs études diachroniques menées à 30 ans d'intervalle ont permis de quantifier ce déclin à environ 40% en nombre d'espèces et plus de 50% en abondance (Andreasen *et al*., 1996 ; Baessler et Klotz, 2006 ; Fried *et al*., 2008). Les facteurs qui ont causé ce déclin sont multiples et sont liés aux pressions exercées par les évolutions de l'agriculture. Des tendances générales sont observées comme l'augmentation des niveaux de fertilisation azotée qui a favorisé les espèces les plus nitrophiles, aujourd'hui bien mieux représentées que les espèces oligotrophes dans les communautés adventices.

A l'échelle des paysages agricoles, les facteurs cités jusqu'ici comme liés au déclin de la flore adventice sont l'augmentation de la taille des parcelles et la disparition des bordures enherbées et des haies (Hovd et Skogen, 2005), deux variables liées à la simplification des mosaïques paysagères. Au-delà de ces relations, des résultats plus surprenants ont été publiés sur la contribution de la diversité des mosaïques paysagères sur la flore. Le premier résultat indique que la diversité paysagère peut parfois contrecarrer l'appauvrissement biologique qui peut résulter d'un degré d'intervention humaine important (Figure 3). Ainsi, la richesse végétale des habitats situés en agriculture conventionnelle peut atteindre un niveau équivalent à celle trouvée en agriculture biologique si la mosaïque paysagère est suffisamment diversifiée et complexe (Roschewitz *et al*., 2005). De la même façon, l'efficacité de mesures agro-environnementales va être fortement modulée par le contexte paysager. Les effets de ces mesures sont significativement moindres dans les agro-écosystèmes qui contiennent suffisamment d'habitats semi-naturels diversifiés et donc un niveau de biodiversité déjà important à l'échelle du

paysage (Weibull *et al*., 2000). Ces études empiriques mettent en évidence qu'un paysage diversifié et complexe est plus à même d'abriter une flore adventice plus diverse et des communautés plus équilibrées. On peut émettre l'hypothèse qu'un paysage diversifié permet la coexistence de nombreux habitats et ainsi autant de niches pour des espèces ayant des besoins différents. Ces paysages complexes sont également souvent composés de parcelles agricoles de plus petite taille, avec plus d'interface et contiennent ainsi de nombreux espaces non cultivés.

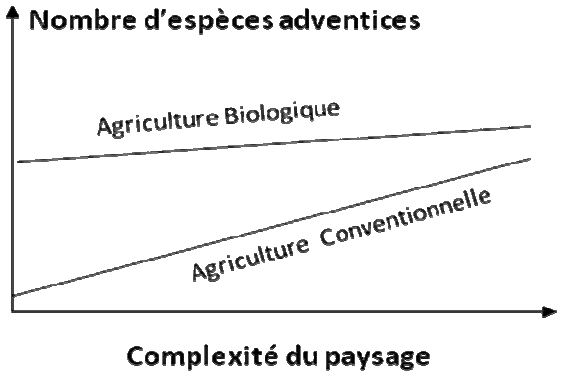


Figure 3 : La complexité du paysage peut compenser l'effet de différents systèmes de production (Modifié d'après Roschewitz *et al*., 2005).

2. Les avancées nécessaires à une meilleure compréhension de la dynamique de la flore adventice à l'échelle d'un paysage

L'état des lieux dressé dans la section précédente met en évidence des lacunes qui doivent nous permettre de préciser les axes à développer pour une meilleure compréhension de la dynamique de la flore adventice dans les paysages agricoles.

2.1 Interpréter les relations entre richesse en adventices et paysage par une meilleure connaissance des processus sous-jacents

Le premier constat que l'on peut faire des recherches présentées est que les processus à la base des corrélations entre paysage et diversité de la flore adventice sont mal connus. Or, la connaissance de ces processus est cruciale pour pouvoir interpréter les relations mises en évidence entre l'organisation de l'espace et la structuration de la flore adventice.

Au niveau des communautés, il semble légitime de s'interroger sur le rôle potentiel du paysage comme levier de gestion ou de maîtrise de la flore adventice. On peut en effet se demander dans quelle mesure l'organisation du paysage offre une marge de manœuvre qui permettrait de mieux concilier un objectif de production et de durabilité des systèmes agricoles. Répondre à cette question nécessite un nouvel examen des recherches citées et de nouvelles études, qui aillent au-delà de la simple diversité d'espèces. Il est nécessaire de décrire la composition des communautés et les traits des espèces (caractéristiques biologiques ou écologiques) qui y sont associés. Il semble, par exemple, judicieux de se demander quelles espèces sont favorisées dans les paysages complexes et si le fait d'avoir une richesse supérieure en flore adventice permet une meilleure stabilité des communautés avec des phénomènes de compétition qui réguleraient les densités des quelques espèces dominantes. Plus généralement, il semble important d'augmenter notre capacité à prévoir la réponse de la flore adventice à différentes mesures qui engendreraient des modifications de l'organisation du parcellaire et des espaces hors-champ ainsi que leur gestion. On peut citer, par exemple, l'introduction de bandes enherbées généralement situées en bord de cours d'eau. L'analyse des modifications de flore liées à l'insertion de ce nouveau compartiment du paysage, l'analyse des traits des espèces qui vont être favorisées, et l'analyse de l'impact des modes de gestion dans les différents types de milieu seront

indispensables pour comprendre les conséquences de cette mesure sur la flore adventice, mais aussi pour mesurer les risques encourus pour les cultures (développement de nouvelles espèces adventices ou non, réservoir de parasites).

Au niveau des populations (entité démographique ou génétique fonctionnelle), les processus qui gouvernent la dynamique de la flore adventice (démographie, dispersion dans l'espace agricole) sont relativement mal connus. La reconnaissance de la pertinence du paysage pour étudier la flore adventice a permis un essor récent des études sur la flore de différents compartiments de la parcelle étendue, voire du paysage dans son ensemble. Ces études doivent permettre d'estimer les flux dans la mosaïque agricole et le rôle de chaque compartiment (réservoir, puits, stepping-stone) dans la dynamique de la population. Les outils de génétique moléculaire peuvent aider à quantifier les flux entre compartiments du paysage (Devaux *et al.*, 2005) et à terme, permettront de délimiter spatialement la population et de mieux comprendre les différentes stratégies développées chez les espèces adventices pour utiliser le paysage. On s'attend à ce que ces stratégies diffèrent en fonction du caractère généraliste ou spécialiste des espèces mais aussi en fonction de caractères expliquant les flux de semences et de pollen dans le paysage. La connaissance de ces processus est encore une fois cruciale pour pouvoir prédire les effets de modifications du paysage sur la flore adventice.

2.2 Décrire et comprendre la dynamique spatio-temporelle de la mosaïque paysagère et de sa gestion

Le second constat que l'on peut faire des études citées sur l'effet du paysage sur la flore adventice est la relative inadéquation entre les variables décrivant le paysage (diversité et complexité des éléments du paysage) et les facteurs qui affectent la flore adventice. Ce décalage est gênant à plusieurs titres.

D'une part, la diversité et la complexité du paysage sont des variables très générales qui intègrent de nombreux facteurs liés au milieu et aux activités agricoles, mais on ne peut pas élucider, dans tous les cas, les facteurs qui sont réellement à l'origine de la relation entre paysage et adventices. Une étude approfondie de ces questions passe par des analyses de la variation des pratiques agricoles et de l'effet conjoint de ces dernières et de la structure du paysage. Ces approches se généralisent grâce à des études menées sur des zones ateliers pluridisciplinaires et qui combinent des approches écologiques et agronomiques.

D'autre part, la très grande majorité des leviers de gestion de la flore adventice est directement liée aux pratiques au sein des parcelles (traitements herbicides, travail du sol, etc) et à la gestion des espaces hors-champ. Néanmoins, on sait également que l'on ne peut se limiter à prendre en compte uniquement l'échelle de la parcelle. Il faut donc être en mesure d'intégrer une représentation des pratiques affectant la flore adventice dans l'espace et dans le temps dans les modèles de 'paysage,' tel que qu'il est perçu par les adventices. Ceci nécessite de représenter la dynamique spatio-temporelle des pratiques sur une mosaïque paysagère.

3. L'articulation de méthodes écologiques et agronomiques pour décrire la dynamique spatio-temporelle des mosaïques paysagères et leur effet sur la flore adventice

Le principe d'une articulation entre écologie et agronomie pour l'aide à la gestion de la flore adventice est de caractériser les liens existants entre les règles d'organisation et de décisions techniques des agriculteurs, les pratiques mises en oeuvre, les états produits de la mosaïque paysagère et finalement la flore. L'objectif est ainsi de pouvoir évaluer les pratiques agricoles tant du point de vue de leur intégration dans les systèmes agricoles (difficultés, opportunités techniques, individuelles ou collectives,...), que du point de vue de leur capacité de contrôle de la flore aux échelles du paysage. On

doit aussi analyser la relation qui existe entre « complexité des paysages » et pratiques agricoles, ainsi que l'évolution de cette relation. C'est une démarche généralisable pour l'aide à la gestion de la biodiversité spontanée.

3.1 Caractériser et évaluer les modes de gestion agricole des différents éléments du paysage et leur dynamique dans le temps

Comme nous l'avons vu, les recherches en écologie du paysage ont mis notamment en avant l'importance des éléments hors champs dans le contrôle des communautés végétales en paysage agricole, tandis que les recherches en agronomie ont mis l'accent sur les techniques et pratiques de gestion des adventices en champ. Une première voie de travail consiste à caractériser l'ensemble des pratiques agricoles dédiées à la gestion des différents éléments du paysage dans et hors champs ou agissant de façon incidente sur ces éléments, afin de pouvoir les évaluer du point de vue agricole et écologique. Nous développons ici l'exemple de la bordure de champ.

Des travaux ont été menés en exploitations agricoles au moyen d'enquêtes, de suivi et d'observation de terrain, afin de caractériser les pratiques agricoles de gestion associées aux bordures de champ et leur influence sur les communautés floristiques de ces bordures (voir par exemple Lamarche, 2003 ; Baudry, 2006). Dans une région comme la Bretagne, il existe une grande variété de ces bordures de champ en terme de végétation (herbacée, arbustive, arborescente) et de structures au sol (talus – fossé, bordures à plats de différentes dimensions...). Les résultats de ces travaux montrent l'existence de pratiques agricoles incidentes (débord d'épandage d'herbicides ou de fertilisants par exemple) et de pratiques de gestion dédiées : choix de positionnement de clôtures électriques, débroussaillage mécanique et chimique, fauche, curage de fossés, taille des haies, etc. Ces pratiques dédiées sont choisies et coordonnées selon plusieurs niveaux d'organisation dans l'exploitation agricole : le type de bordure de champ, le système de culture ou de conduite de prairie utilisé dans la parcelle adjacente à la bordure (par exemple un débroussaillage avant semis de maïs), la configuration du parcellaire (fragmentation, dispersion, aménagements...), et les systèmes techniques au niveau de l'exploitation dans son ensemble (organisation d'ensemble des travaux, de la main-d'oeuvre et des équipements par exemple). Ces travaux de gestion des bordures de champ peuvent aussi mobiliser des CUMA[1] ou ETA[2]. Cette approche a pu être testée en zone de polyculture-élevage et de grandes cultures. Ainsi, la gestion des bordures de champ peut être réintégrée dans l'analyse de la gestion territoriale de l'exploitation agricole. Avec ce type d'approche, il est possible d'analyser la façon dont un aménagement nouveau (par exemple l'implantation de haies ou de bandes enherbées), ou de nouvelles pratiques (par exemple un cahier des charge de gestion) vont être, ou non, réappropriés techniquement dans l'exploitation agricole, et les raisons de ces choix (mise en cohérence ou blocage sur le plan technique, organisationnel...) (Le Du *et al*, 2007 ; Thenail *et al*., sous presse).

Un suivi dans le temps de la flore des bordures de champ d'une partie de ces exploitations et la consultation de la littérature (e.g ; Endels *et al*., 2004 ; Kiss *et al*., 1997 ; Le Cœur *et al*., 2002, Smart *et al*., 2002) ont permis de sélectionner trois groupes d'espèces indicatrices de milieux de type « lisière forestière », « prairies permanentes » et « cultures ». On a montré que ces espèces sélectionnées « enregistrent » au mieux l'influence des pratiques agricoles actuelles, en lien avec l'histoire de la bordure de champ et du paysage environnant, mais de façon différente. Les espèces forestières colonisent lentement (plusieurs dizaines d'années) les espaces favorables ombragés ; leur maintien et contrôle ne nécessitent pas de gestion active, au contraire une perturbation minimale. Les espèces prairiales s'installent plus rapidement (quelques années) à la faveur d'un environnement lumineux, mais aussi d'une gestion agricole active (fauche, pâture) qui ne perturbe pas le sol en le mettant à nu. Enfin,

[1] Coopérative d'Utilisation du Matériel Agricole
[2] Entreprise de Travaux Agricoles

les espèces adventices s'installent rapidement au sein d'une bordure de champ plutôt forestière ou prairiale, à la faveur de modes de gestion mettant le sol à nu (herbicides non sélectifs, grattage mécanique, ou piétinement par le bétail) et d'un enrichissement du milieu (Theaker *et al*., 1995). De cette façon, une représentation de l'exploitation agricole peut être fournie au moyen d'un échantillonnage et d'une caractérisation des bordures de champ. Elle permet de rendre compte des points positifs de la gestion agricole, à soutenir, et les éléments de risque, par exemple lorsque le développement d'adventices présente des risques de colonisation de la parcelle et traduit une mise à nu du sol qui devient alors érosif.

Le double schéma d'analyse proposé pour l'exploitation agricole, qui doit encore être simplifié, doit permettre de retranscrire le continuum d'effets entre agriculture et flore et les boucles de décisions. L'indicateur basé sur la flore doit aussi permettre de caractériser les trajectoires prises par la flore afin d'adapter les réponses de gestion (gestion dite évolutive (Liu, 2002)) : cet outil est encore à valider de ce point de vue. Il reste aussi à analyser comment varie l'information donnée par l'indicateur selon les paysages et les possibilités de flux de propagules.

3.2 Caractériser et évaluer l'organisation spatio-temporelle des pratiques agricoles et des états produits

A nouveau, on peut souligner la différence d'approche « traditionnelle » de l'écologie du paysage et de l'agronomie, la première considérant davantage l'hétérogénéité du paysage liée aux éléments pérennes, non cultivés du paysage, et la seconde privilégiant la diversité des systèmes de culture. Ici, l'enjeu est de pouvoir comprendre les facteurs et modes d'organisation spatio-temporelle des pratiques agricoles et la façon dont elles interfèrent avec les processus spatio-temporels écologiques à l'oeuvre dans le maintien et le développement d'adventices. Deux exemples sont abordés : celui de l'organisation spatio-temporelle de mosaïques de systèmes de culture et celui de la circulation agricole.

L'organisation spatio-temporelle de la mosaïque de systèmes de culture

L'ensemble de la mosaïque paysagère, y compris dans ses composantes non agricoles, peut jouer sur les dynamiques de la biodiversité. Comment identifier la contribution des mosaïques agricoles aux processus écologiques, au sein du paysage ? La principale voie de recherche consiste à dégager les règles de localisation des systèmes de culture afin de les spatialiser (les cartographier) (Castellazzi *et al*., 2007) et finalement analyser les dynamiques écologiques liées à cette répartition (Colbach *et al*., 2001). L'intégration des approches agronomiques et écologiques aux échelles du paysage nécessitent d'emprunter la voie de la modélisation afin de pouvoir simuler la complexité des processus : liens entre les compartiments du paysage, entre différents processus agricoles et écologiques, etc. (Baudry *et al*., 2003; Thenail *et al*., en révision)

Un certain nombre d'hypothèses sont utilisées pour identifier les configurations des pratiques qui peuvent faire sens vis-à-vis des processus écologiques. Ces configurations pertinentes peuvent être des connexions de structures, d'état des structures paysagères (Burel et Baudry, 2005), mais aussi des configurations spatio-temporelles de pratiques qui n'impriment pas d'effets sur le paysage mais interfèrent directement avec les processus écologiques (Vasseur *et al*., sous presse). Dans ce dernier cas, on trouve logiquement les effets directs d'épandage d'herbicides sélectifs dans l'espace par exemple, ou la dispersion des propagules par le travail des engins ou à la faveur de la circulation des animaux en pâture. La Figure 4 montre sur une photo aérienne le territoire d'une exploitation agricole, et la façon dont les aménagements et la gestion de son territoire contribuent à une mise en réseau de bordures de champ de structures apparemment similaires au niveau du paysage. L'intégration des pratiques agricoles dans l'analyse des structures paysagères peut mettre en évidence que des réseaux

de bordures de champs qui pourraient assurer une fonction de corridor sont en fait fragmentés par des pratiques différentes produisant des habitats excluant certaines espèces.



Figure 4 : Exemple d'un territoire d'exploitation au sein d'un paysage de l'Ouest de la France

Le processus continu d'agrandissement des exploitations agricoles rend les paysages et la répartition des pratiques de production ou d'entretien très dynamiques. L'intégration de l'histoire de ces pratiques, des temps de réponse des peuplements végétaux devient une question essentielle. La Figure 5 représente par exemple la distribution du maïs dans un paysage en fonction de sa fréquence de retour sur un pas de temps d'une dizaine d'années : on montre que sur cet exemple peu d'espaces dans le paysage persistent aujourd'hui sans culture de maïs sur ce pas de temps ; l'analyse des processus écologiques liés à la présence et la localisation des cultures de maïs doit alors prendre en compte ces configurations spatio-temporelles.

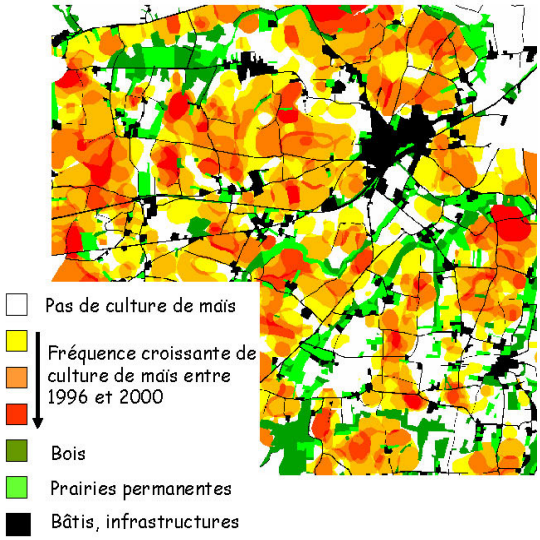


Figure 5 : Cartographie de la distribution des cultures de maïs en fonction de leur fréquence de retour sur la période 1996-2000 sur une partie de la zone atelier de Pleine Fougères (d'après Burel et Baudry, 2005)

La circulation agricole

La circulation agricole relève à la fois des déplacements pour le suivi des parcelles, la conduite des cultures par exemple, mais aussi le transport d'animaux, de récoltes ou de fertilisants ; elle prend une part importante dans l'ensemble des activités agricoles (Sigaut, 1981). L'importance des flux de graines à la faveur de la circulation d'engins agricoles a été montrée à plusieurs reprises (Benvenuti, 2007). Par ailleurs, les modes de circulation agricoles liés à la qualité des réseaux et aux configurations des parcellaires agricoles peuvent influencer en retour les choix de localisation des systèmes de culture dans l'exploitation agricole, et donc la contribution agricole aux mosaïques paysagères. Encore peu de travaux ont été effectués dans ce domaine. La plupart des études visant à caractériser (comprendre, formaliser) les parcours réalisés par les agriculteurs ont eu pour objectif appliqué de faciliter la gestion territoriale de l'exploitation agricole (organisation, temps de travail, coût énergétique, etc.) (voir par exemple l'étude de Morlon et Trouche (2005)), ou, en développement agricole, des travaux d'évaluation des coûts et temps de déplacement d'engins). L'une des rares études visant à relier l'organisation de la circulation agricole aux effets sur la biodiversité floristique, en l'occurrence des bords de routes et chemins, est celle de Gulinck et Pauwels (1993, 2000). Il est important de pouvoir se concentrer sur une forme de déplacement, ce qui permet d'évaluer sa contribution aux flux de graines par exemple, et de modéliser les règles de décision stratégiques et tactiques sous-jacentes. Une voie de travail complémentaire consiste à formaliser, de façon plus synthétique que précédemment, l'ensemble des déplacements agricoles afin d'identifier la gamme d'espaces et de flux de propagules concernés par ces déplacements. Des recherches de type exploratoire sont donc encore largement nécessaires dans ce domaine.

Conclusion

Les concepts et méthodes développés en écologie du paysage vont permettre de faire évoluer notre approche de l'étude de la flore adventice à plusieurs niveaux. La première évolution est sans doute une reconnaissance plus ou moins généralisée aujourd'hui de la pertinence du niveau supra-parcellaire que ce soit la parcelle étendue ou la mosaïque paysagère dans son ensemble. D'autre part, de nombreuses recherches en écologie du paysage indiquent aujourd'hui que les structures paysagères et leur diversité sont des facteurs qui peuvent influer sur la composition des communautés végétales et sur les caractéristiques biologiques des espèces Ceci est en partie vrai pour la flore adventice mais il reste à (1) éclaircir les processus à la base de la relation entre flore adventice et paysage et (2) décrire le paysage par des variables qui soient pertinentes pour les adventices, c'est dire développer une représentation dynamique et spatialisée des pratiques qui touchent les milieux susceptibles d'abriter des adventices.

Les attentes sont fortes et il devient de plus en plus important de pouvoir anticiper l'effet de modifications structurelles des paysages, de l'adoption de nouveaux systèmes de cultures sur la flore adventice et les difficultés à attendre en termes de contrôle. A terme, il va s'agir de proposer des solutions pour optimiser l'organisation spatio-temporelle des systèmes de culture et espaces non cultivés afin de concilier objectifs de production et maîtrise et biodiversité de la flore adventice.

Remerciements. *Les résultats présentés ainsi que les réflexions qui alimentent cet article ont été en partie financés par la Région Bourgogne et l'ANR (projet Vigiweed).*

Références bibliographiques

Andreasen C., Stryhn H., Streibig J.C., 1996. Decline of flora in Danish arable fields. Journal of Applied Ecology 33, 619-626.

Baessler C., Klotz S., 2006. Effects of changes in agricultural land use on landscape structure and arable weed vegetation in the last 50 years. Agriculture, Ecosystems & Environment 115, 43-50.

Baudry J., 2006. Analyse agronomique et écologique des unités spatio-temporelles pertinentes pour la gestion de la biodiversité. Rapport de fin de contrat du programme DIVA (Action Publique, Agriculture, Biodiversité) du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. INRA, CNRS, Rennes, p. 39.

Baudry J., Burel F., Aviron S., Martin M., Ouin A., Pain G., Thenail C., 2003. Temporal variability of connectivity in agricultural landscapes: do farming activities help? Landscape Ecology 18, 303-314.

Benton T.G., Vickery J.A., Wilson J.D., 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? Trends in Ecology & Evolution 18, 182-188.

Benvenuti S., 2007. Weed seed movement and dispersal strategies in the agricultural environment. Weed Biology and Management 7, 141-157.

Burel F., Baudry J., 1999. Ecologie du Paysage: Concepts, méthodes et applications. Editions Tec et Doc. 359 p.

Burel F., Baudry J., 2005. Habitat quality and connectivity in agricultural landscapes: The role of land use systems at various scales in time. Ecological Indicators 5, 305-313.

Castellazzi M.S., Perry J.N., Colbach N., Monod H., Adamczyk K., Viaud V., Conrad K.F., 2007. New measures and tests of temporal and spatial pattern of crops in agricultural landscapes. Agriculture Ecosystems & Environment 118, 339-349.

Colbach N., Clermont-Dauphin C., Meynard J.M., 2001. GeneSys: a model of the influence of cropping system on gene escape from herbicide tolerant rapeseed crops to rape volunteers II. Genetic exchanges among volunteer and cropped populations in a small region. Agriculture, Ecosystems & Environment 83, 255-270.

Devaux C., Lavigne C., Falentin-Guyomarc'h H., Vautrin S., Lecomte J., Klein E., 2005. High diversity of oilseed rape pollen clouds over an agro-ecosystem indicates long-distance dispersal. Molecular Ecology 14, 2269-2280.

Endels P., Adriaens D., Verheyen, K., Hermy, M. 2004. Population structure and adult plant performance of forest herbs in three contrasting habitats. Ecography 27, 225-241.

Firbank, L.G., Petit S., Smart S.M., Blain A., Fuller R.J., 2008. Assessing the impacts of agricultural intensification on biodiversity: a British perspective. Philosophical Transactions of the Royal Society - Ser B - Biological Sciences 363, 777-787.

Fried G., 2007. Variations spatiale et temporelle des communautés adventices des cultures annuelles en France. Thèse de doctorat. INRA-Université de Bourgogne, Dijon, France, 357 p.

Fried G., Petit S., Dessaint F., Reboud X., 2008. Arable weed decline in Northern France: crop edges as refugia for weed conservation? Biological Conservation http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2008.09.029.

Gulinck H., Pauwels F., 1993. Agricultural transport and landscape ecological patterns. In: Bunce, R., Ryszkowski, L., Paoletti, M. (Eds.), Landscape Ecology and Agroecosystems. Lewis Publ., London, p. 49-59.

Hovd H., Skogen A., 2005. Plant species in arable field margins and road verges in Norway. Agriculture, Ecosystems & Environment 110, 257-265

Kiss J., Penksza K., Tóth, F., Kádár, F. 1997. Evaluation of fields and field margins in nature production capacity with special regard to plant protection. Agriculture, Ecosystems & Environment 63, 227-232.

Lamarche H. (Ed.), (2003). Bocagement, reconstitution et protection du bocage. Evaluation des politiques publiques de paysagement du territoire. INRA CNRS. Rapport de projet PEVS CNRS, Nanterre, pp. 150-171.

Le Coeur D., Baudry J., Burel, F., Thenail, C. 2002. Why and how we should study field boundary biodiversity in an agrarian landscape context. Agriculture, Ecosystems & Environment 89, 23-40.

Le Du L., Le Coeur D., Thenail C., Burel F., Baudry J., 2007. Les nouvelles haies des programmes de replantation : évaluation de leur qualité écologique et leur entretien dans les exploitations agricoles. In:

Berlan-Darqué M., Luginbühl Y., Terrasson D. (Eds.), Paysages : de la connaissance à l'action. Editions QUAE, Paris, p. 179-193.

Liu J., Taylor W.W. (Eds.), 2002. Integrating Landscape Ecology into Natural Resources Management. Cambridge University Press, Cambridge, 480 p.

Morlon P., Trouche G., 2005. Nouveaux enjeux de la logistique dans les exploitations de grandes cultures. Cahiers Agriculture 14, 305-311.

Pauwels F., Gulinck H., 2000. Changing minor rural road networks in relation to landscape sustainability and farming practices in West Europe. Agriculture Ecosystems & Environment 77, 95-99.

Peterken G.F., Game M., 1984. Historical factors affecting the number and distribution of vascular plant species in the woodlands of central Lincolnshire. Journal of Ecology 72, 155-182.

Roschewitz I., Gabriel D., Tscharntke T., Thies C., 2005. The effects of landscape complexity on arable weed species diversity in organic and conventional farming. Journal of Applied Ecology 42, 873-882.

Saunders D., Hobbs R.J., Margules C.R., 1992. Biological consequences of habitat fragmentation: a review. Conservation Biology 5, 18-32.

Smart S.M., Bunce R.G.H., Firbank, L.G., Coward, P. 2002. Do field boundaries act as refugia for grassland plant species diversity in intensively managed agricultural landscapes in Britain? Agriculture, Ecosystems & Environment 91, 73-87.

Smart S.M., Clarke, R.T., van de Poll, H.M., Robertson, E.J., Shield, E.R., Bunce, R.G.H., Maskell, L.C., 2003. National-scale vegetation change across Britain; an analysis of sample-based surveillance data from the Countryside Surveys of 1990 and 1998. Journal of Environmental Management 67, 239-254.

Sutcliffe O.L., Kay Q.O.N., 2000. Changes in the arable Flora of central southern England since the 1960s. Biological Conservation 93, 1-8.

Theaker A.J., Boatman N.D., Froud-Williams R.J., 1995. The effect of nitrogen fertiliser on the growth of *Bromus sterilis* in field boundary vegetation. Agriculture, Ecosystems & Environment 53, 185-192.

Thenail C., Dupraz P., Pech M., Turpin N., Ducos G., Winckler L., Barillé P., Joannon A., Baudry J., Le Coeur D., Hubert-Moy L. (in press). How do farms economic and technical dynamics contribute to landscape patterns? In: Brouwer, F., van der Heide, M. (Eds.), Multifunctional Rural Land Management: Economics and Policies. Earthscan, Wageningen.

Thenail C., Joannon A., Capitaine M., Souchère V., Mignolet C., di Pietro F., Gaucherel C., Viaud V., Pons Y., Baudry J. The contribution of crop-rotation organization in farms to crop-mosaic patterning at landscape scales. Agriculture Ecosystem and Environment. (in revision).

Vasseur C., Joannon A., Burel F., Goffi C., Meynard J.M., Baudry J., in press. The mosaic of crop management sequences: a hidden part of agricultural landscapes heterogeneity. In: Carey P. (Ed.), The 15th Annual IALE(UK) Conference: Landscape ecology and Conservation, Cambridge, p. 33-41.

Weibull A.-C., Östman Ö., Granqvist A., 2000. Diversity of butterflies in the agricultural landscape: the role of farming system and landscape heterogeneity. Ecography 23, 743-750.