

AVANT-PROPOS

Des mouvements historiques d'espèces vers les phénomènes d'invasion biologique

Les extinctions et les mouvements d'espèces ont lieu depuis tout temps, bien avant l'apparition de l'homme. Charles Darwin, dans son ouvrage « *On the Origin of Species* » (1859), mentionne les graines capables de voyager sur des milliers de kilomètres en s'accrochant aux pattes ou au plumage des oiseaux. Toutefois, bien que les invasions biologiques constituent un phénomène naturel, les fréquences d'introduction et les distances traversées excèdent celles des siècles précédents. Pourtant l'Homme a importé et commercialisé des espèces depuis des millénaires. Mais dès les grandes migrations de la fin du Moyen-Âge (1500) puis à partir de la Révolution industrielle (1800), l'Homme a joué un rôle croissant dans les transferts d'espèces, causant respectivement deux phases d'accélération des taux d'introduction d'espèces exotiques (Hulme, 2009). Plus récemment, la croissance des mouvements de populations humaines et des échanges marchands s'est renforcée, générant une nouvelle accélération des taux d'invasion qu'Hulme (2009) associe à une troisième vague d'invasions biologiques.

Vous avez dit invasions biologiques ?

Une invasion biologique implique une espèce dite invasive ou exotique envahissante (si le terme d'espèce exotique envahissante est préféré en France, nous l'utiliserons indifféremment avec son synonyme anglicisé espèce invasive qui est largement utilisé dans la littérature scientifique). Une espèce invasive (*invasive species* en anglais) est une espèce qui s'établit dans une nouvelle aire d'introduction dans laquelle elle se maintient, se disperse et prolifère sur de grandes surfaces (Richardson *et al.*, 2000) parfois au détriment de son environnement. Ainsi, une espèce n'est qualifiée d'invasive que dans un territoire donné, celui qui correspond à l'aire d'introduction dans laquelle elle va dominer massivement certains milieux. Elle correspond à un cas particulier d'espèce exotique (alien, neophyte, nonnative, *nonindigenous* en anglais ; espèce introduite en dehors de son aire naturelle) produisant de nombreuses propagules à forte capacité de dispersion et qui devient abondante. L'espèce invasive est à distinguer de l'espèce naturalisée (*naturalised, established* en anglais), définie comme une espèce en dehors de son aire naturelle, qui se reproduit avec succès et forme des populations durables se maintenant sans l'aide d'intervention anthropique sur plusieurs cycles de vie, mais n'envahissant pas les écosystèmes. Enfin, une espèce invasive est également un cas particulier d'espèce envahissante (*weed* en anglais), espèce qui peut être ou native ou non native. Il est à noter qu'à la différence de la définition d'espèce invasive proposée ici, la définition la plus couramment utilisée en France (et notamment dans la Stratégie nationale relative aux espèces exotiques envahissantes) intègre pleinement la notion d'impacts, dans la même ligne que celle adoptée par l'UICN (Union internationale pour la conservation de la nature).

Une invasion biologique est conceptualisée comme un ensemble de plusieurs étapes, qui débute par le transport d'un organisme jusqu'à une nouvelle aire géographique, souvent distante de son aire de répartition naturelle. Elle se poursuit par l'établissement de l'espèce, sa dispersion et éventuellement la génération de conséquences non désirables.

Des espèces exemplaires, les renouées asiatiques

Parmi les espèces exotiques reconnues comme les plus menaçantes au monde, les renouées asiatiques sont originaires d'Asie du Sud-Est et ont été introduites en Europe et en Amérique du Nord pour des raisons ornementales. Elles colonisent une large gamme de milieux mais sont particulièrement présentes le long des berges de cours d'eau et des infrastructures de transport. Leur prolifération génère des problèmes de gestion, une perte locale de biodiversité, ou des risques liés à la visibilité le long des infrastructures. Par conséquent, de très nombreuses actions sont menées sur le territoire engendrant des coûts très élevés et avec des résultats mitigés. En effet, il n'existe à l'heure actuelle aucune méthode de gestion à la fois simple, efficace et peu coûteuse ; et malgré une reconnaissance partagée et reconnue des enjeux qu'elles représentent, aucune action coordonnée à l'échelle nationale, européenne ou mondiale n'existe encore.



La gestion des espèces exotiques envahissantes

La gestion des espèces invasives se traduit par trois grandes stratégies d'interventions : la prévention de l'invasion, sa détection précoce, et la gestion sur la durée. La prévention doit rester l'action prioritaire, et si l'invasion est détectée précocement, il s'agit alors d'adopter une réponse rapide pour enrayer le phénomène. Mais au cours de ces deux premières phases, la volonté et les moyens ne sont pas toujours disponibles lorsque la menace n'est pas encore bien connue. Ainsi, si les deux premières stratégies n'ont pas fonctionné, la gestion sur le long-terme (voire l'éradication si elle reste possible) doit être l'objectif à poursuivre. Les signataires de la Convention pour la diversité biologique s'engagent d'ailleurs à intervenir prioritairement pour prévenir l'introduction d'espèces invasives et mettre en place des programmes de contrôle ou d'éradication le cas échéant (article 8). Lorsque la prévention et la détection précoce ont échoué ou que la prise de conscience est trop tardive, l'éradication, le confinement ou le contrôle de l'espèce invasive doivent être envisagés. L'éradication n'est pas toujours envisageable pour des questions économiques ou d'efficacité. La gestion sur le long-terme doit être alors préférée. Elle vise à contenir ou réduire les populations de l'espèce invasive et nécessite bien souvent d'y associer la restauration de la communauté native. En effet, la suppression d'une espèce invasive ne suffit pas toujours à favoriser le retour spontané de la végétation native. Au contraire, cela peut parfois favoriser l'arrivée d'autres espèces invasives. De plus, les invasions biologiques sont parfois le symptôme de la dégradation de l'habitat et pas seulement leur cause, et leur seule suppression ne suffit pas toujours à rétablir le bon fonctionnement de l'écosystème.

Ces stratégies de gestion s'appliquent également aux renouées asiatiques. La prévention et la détection précoce sont aussi, pour ces espèces, les méthodes les plus efficaces de gestion. En revanche, les gestionnaires sont souvent confrontés à des massifs déjà bien implantés sur leur territoire qu'ils doivent alors, selon les enjeux et les possibilités, éradiquer ou gérer (photo 1). Cependant l'éradication est souvent inatteignable et le contrôle difficile, et certains gestionnaires peuvent s'épuiser dans une lutte continue.

Mais que fait la recherche ?

L'écologie des invasions s'est longtemps développée indépendamment des autres disciplines de l'écologie. En effet, jusqu'à récemment, la recherche sur les invasions biologiques s'organisait en deux axes : l'étude de l'invasibilité des communautés, qui tente d'apporter des éléments de compréhension sur la susceptibilité aux invasions des différents habitats et communautés, et l'identification du caractère invasif des espèces exotiques, qui vise à caractériser ce qui, chez certaines espèces exotiques, explique leur potentiel invasif. Aujourd'hui, les études tendent à intégrer ces deux axes pour une approche plus systémique et plus mécaniste du processus d'invasion. Par ailleurs, elles s'inspirent de plus en plus des concepts et méthodes de l'écologie des communautés, de la biologie de l'évolution ou encore de l'écologie fonctionnelle pour construire un cadre conceptuel commun dans un souci d'apporter un éclairage global plus mécaniste et moins idiosyncratique des processus invasifs.

De la même manière, la recherche sur les méthodes de gestion des espèces exotiques envahissantes s'inspirent aujourd'hui des avancées en écologie de la restauration, notamment sur les techniques mobilisant des processus écologiques.

Concernant les renouées asiatiques, la recherche scientifique s'intéresse à ce groupe d'espèces dès les années 1970 en lien avec les enjeux qu'elles suscitent. Le nombre d'articles publiés explose dans les années 2000, notamment par la publication d'articles d'auteurs nord-américains et européens. Si une grande partie des publications scientifiques concernent la chimie des renouées asiatiques (du fait de leur rôle dans la médecine asiatique), les recherches en écologie cherchent, elles, à comprendre leur biologie dans les zones introduites, à identifier les facteurs favorisant leur développement et à proposer des solutions de contrôle. En France, plusieurs instituts de recherches sont ainsi investis dans des expérimentations appliquées et des essais techniques sont menés en grandeur nature par bon nombre de gestionnaires.



❶ La prolifération des renouées du Japon le long des voies de transport complexifie la gestion.

Objectifs de ce numéro

L'objet de ce numéro spécial est de fournir des éléments pour une meilleure compréhension des renouées asiatiques en vue d'aider à l'amélioration des pratiques de gestion. Pour ce faire, le présent numéro se propose de faire le bilan des connaissances sur ce complexe d'espèces, et aussi de rentrer dans le détail des moyens techniques dont nous disposons pour les contrôler. L'idée n'est pas de faire un catalogue exhaustif des différentes méthodes, mais de décrire les techniques prometteuses en cours de développement ou d'amélioration. Par ailleurs, les perceptions des renouées asiatiques évoluent et si l'histoire de leur introduction et de leur propagation sur notre territoire montre qu'elles n'ont pas toujours été indésirables, le regard que la société porte aujourd'hui sur ces espèces continue d'évoluer. C'est ce dont nous souhaitons également rendre compte au fil des articles de ce numéro spécial.

Et n'oublions pas que les espèces exotiques ne constituent pas qu'une menace, mais aussi de grandes opportunités, et que parmi elles, les renouées asiatiques n'ont pas non plus que des défauts. Sachons aussi apprécier en elles les capacités de la nature à produire des organismes exceptionnels extrêmement habiles à se développer dans l'espace comme le propose Jacques Tassin (Tassin, 2014), nous pouvons aussi apprendre à accueillir avec bienveillance ces espèces commensales qui vivent si près de nous. ■

Les coordinateurs du numéro

Fanny DOMMANGET et André EVETTE
Univ. Grenoble Alpes, Irstea, LESSEM, F-38000 Grenoble, France.
✉ fanny.dommanget@irstea.fr / ✉ andre.evette@irstea.fr

EN SAVOIR PLUS...

- 📖 HULME, P.E., 2009, Trade, transport and trouble: Managing invasive species pathways in an era of globalization, *Journal of Applied Ecology*, n° 46, p. 10-18.
- 📖 RICHARDSON, D.M., PYSEK, 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*, n° 6, p. 93-107.
- 📖 TASSIN, J., 2014, *La Grande Invasion - Qui a peur des espèces invasives ?*, Odile Jacob ed., Paris, 210 p.

Les renouées asiatiques, espèces exotiques envahissantes

Introduites en France à la fin du dix-neuvième siècle, les renouées asiatiques sont classées au niveau mondial parmi les espèces exotiques envahissantes les plus menaçantes pour la biodiversité. Dans cet article, écologues, géographes, historiens et gestionnaires font le point des éléments de connaissances sur ces espèces, objets de nombreux travaux de recherches et d'essais de gestion en France, en Europe et dans le monde.

Les renouées asiatiques, des géophytes particulièrement performantes

Les grandes herbacées vivaces très communes depuis quelques décennies dans certaines régions européennes et que l'on dénomme couramment au sens large « la renouée du Japon », correspondent en réalité à un complexe hybride de trois espèces originaires d'Asie : la renouée du Japon, *Reynoutria japonica* Houtt., la renouée de Sakhaline, *Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt.) Nakai et l'hybride entre les deux précédentes, la renouée de Bohême, *Reynoutria × bohemica* Chrtek & Chrtkova. *Reynoutria japonica* est également désignée sous les noms *Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decraene et *Polygonum cuspidatum* Sieb. & Zucc. dans la littérature scientifique. La renouée de Sakhaline est, elle, également citée sous les noms de *Fallopia sachalinensis* (F. Schmidt) Ronse Decraene ou *Polygonum sachalinense* F. Schmidt et la renouée de Bohême de *Fallopia × bohemica* (Chrtek & Chrtkova) J.P. Bailey ou *Polygonum × bohemicum* (Chrtek & Chrtková) Zika & Jacobson. L'ensemble du complexe est désigné par l'expression « renouées asiatiques ».

Les renouées asiatiques sont des espèces végétales clonales de la famille des Polygonacées. Ce sont des géophytes (elles passent la mauvaise saison enfouies dans le sol) qui développent une biomasse souterraine très importante, pouvant représenter jusqu'aux deux tiers de la masse totale et formée en majorité par des rhizomes. Une confusion entre les racines de la plante,

qui ne bouturent pas, et ses rhizomes, ont amené à rapporter de manière inexacte que ces derniers pouvaient être présents à plusieurs mètres de profondeur. En réalité, ces organes de réserve et de dissémination s'étendent rarement au-delà d'un mètre de profondeur dans la plupart des sols naturels et sont particulièrement denses en surface. Latéralement par contre, la plante étend ses rhizomes sur une distance de plusieurs mètres au-delà des dernières tiges aériennes. Au printemps, elles développent des tiges aériennes atteignant 2,5 mètres de hauteur pour la renouée du Japon et 4,5 mètres pour la renouée de Sakhaline, la renouée de Bohême présentant quant à elle en général une morphologie intermédiaire entre ses deux parents. Les tiges sont segmentées, ramifiées, de couleur parfois rougeâtre. Les feuilles ont des tailles et des formes variables selon les espèces. La renouée du Japon est l'espèce présentant les feuilles les plus petites, de forme triangulaire, tronquées à la base et glabres. La renouée de Sakhaline possède des feuilles cordiformes à la base, pouvant aller jusqu'à 50 cm de longueur et présentant de longs poils flexueux sur la face inférieure. La vitesse de croissance de leurs tiges peut atteindre 15 cm par jour, ce qui leur permet de dominer rapidement les espèces voisines. En effet, le feuillage très dense qui est produit leur donne une grande capacité d'interception de la lumière, un avantage sur les autres espèces herbacées qui est amplifié par une phénologie précoce : les renouées sont parmi les premières à émerger au printemps (photo 1).



© F. Dommangeat (Irstea)

① Jeunes tiges de renouées asiatiques en pleine croissance, alors que le couvert arboré n'est pas encore développé (en arrière-plan).

Les renouées asiatiques se développent en larges massifs par la croissance et la ramification centrifuge de leurs rhizomes. Les tiges d'un même fragment clonal sont connectées par les rhizomes souterrains, ce qui permet aux ramets situés dans les endroits les moins favorables de bénéficier des ressources assimilées par les ramets les mieux situés. Cette physiologie leur confère une grande efficacité d'utilisation des nutriments, qui sont ensuite stockés dans le rhizome. Ainsi, les renouées asiatiques ont peu d'exigences écologiques relatives à la trophie du sol. Elles sont capables de s'établir dans des habitats peu riches en nutriments. De plus, elles inhibent la communauté des bactéries dénitrifiantes du sol, ce qui augmente localement la concentration du nitrate qui leur est alors disponible. Enfin, la grande capacité de réserve des renouées et leurs capacités de régénération des tiges les rendent tolérantes aux perturbations, et notamment aux opérations de fauche. Comme les perturbations, naturelles ou anthropiques, fragmentent les parties aériennes et/ou souterraines, la dissémination des renouées se fait ainsi principalement grâce aux courants des rivières ou par le déplacement de terres ou de diaspores lors de travaux.

Historique de l'introduction

Introduites en Europe au dix-neuvième siècle, les renouées asiatiques n'ont pas toujours été ces espèces indésirables qui représentent aujourd'hui la plus grosse dépense parmi les plantes exotiques envahissantes de l'Union européenne. En effet, importée à Leiden aux Pays-Bas depuis le Japon sous la forme d'un unique clone femelle en 1830 par le grand horticulteur Philipp von Siebold (1796-1866), la renouée du Japon est proposée à la vente et diffusée dans toute l'Europe. C'est ainsi qu'en

1853 elle apparaît tout d'abord en Lorraine, puis par le biais des pépiniéristes et jardins botaniques, le clone se répand sur tout le territoire français en quelques dizaines d'années et s'échappe des jardins dès la fin du dix-neuvième siècle.

L'histoire de l'introduction de *R. sachalinensis* est différente : après une double découverte par un russe en 1853 à Sakhaline et par un français en 1855 au Japon, elle arrive en France, après plusieurs introductions successives, via Saint-Pétersbourg en 1870. Pendant une vingtaine d'années, elle passe plutôt inaperçue, puis c'est l'effervescence : culture à grande échelle en agronomie, publicité abondante et échanges à tout va.

On peut dire que jardins botaniques et horticulteurs sont à l'origine de la propagation rapide de ces deux espèces et même de leur hybridation puisque leur culture en étroite sympatrie est à l'origine de l'apparition de leur hybride *R. x bohémica*, des hybridations interspécifiques et des introgressions avec les espèces parentales, et donc à l'établissement d'une grande diversité génétique, menant à leur propagation dans le milieu naturel.

Aujourd'hui, le complexe d'espèces des renouées invasives est considéré comme envahissant en Amérique du Nord, dans toute l'Europe ainsi qu'en Australie, en Nouvelle-Zélande et au Chili.

Des impacts multiples

Les tiges des renouées asiatiques poussent en si forte densité que très peu de plantes vasculaires subsistent sous leur feuillage (photo ②). Elles libèrent aussi dans le sol des substances toxiques pour les autres plantes. L'abondante litière produite par les massifs de renouées se décompose lentement, ce qui favorise au niveau du sol les champignons au détriment des bactéries. Quelques invertébrés pâtissent de la présence des renouées, mais ce sont surtout les herbivores qui souffriraient le plus de leur présence, car sous les massifs, la faible diversité

② Sous la canopée des renouées, l'ombrage est extrêmement dense, empêchant toute cohabitation avec d'autres espèces végétales.



© F. Dommangeat (Irstea)

▶ végétale se traduit par un appauvrissement des sources de nourriture. Par contre, les fleurs de renouées sont abondamment visitées par les insectes pour leur nectar. Les travaux sur les effets des renouées sur les vertébrés sont rares et leurs résultats peu concluants.

Il est souvent rapporté que les renouées asiatiques poussant sur le bord des rivières accélèrent l'érosion des berges et obstruent le flot des cours d'eau, ce qui pourrait se traduire par des inondations de plus grande envergure. Il existe très peu de preuves de l'existence de ces phénomènes, mais quelques observations suggèrent que l'effet sur l'érosion serait réel. Certaines institutions financières, particulièrement au Royaume-Uni, sont réticentes à accorder un prêt si un massif d'une des espèces de renouée se trouve près d'une résidence. Les rares recherches faites à ce sujet arrivent à la conclusion que le présumé risque occasionné par la présence de ces plantes est nettement exagéré. S'il est vrai que les rhizomes peuvent s'infiltrer dans les fissures des fondations puis les élargir, ils ne forent ni le ciment, ni le béton sain, même à proximité immédiate d'un immeuble.

Des espèces préoccupantes mais qui échappent encore à la réglementation

Reconnues et listées aux niveaux mondial et européen parmi les espèces exotiques envahissantes les plus menaçantes pour la biodiversité, les renouées asiatiques ne font pourtant, aujourd'hui en France, l'objet d'aucune réglementation.

En effet, si la problématique des espèces exotiques envahissantes est reconnue dans les textes internationaux depuis plusieurs dizaines d'années, il faut attendre 2007 pour disposer d'un premier arrêté ministériel relatif aux espèces végétales exotiques envahissantes en France métropolitaine (les dispositions concernant la faune exotique envahissante étant plus anciennes, tout comme celles prises dans les collectivités d'outre-mer). Mais ce premier texte d'application du Code de l'environnement¹ ne concernait que les deux espèces de jussies présentes en métropole (*Ludwigia peploides* (Kunth) P.H. Raven et *Ludwigia grandiflora* (Michx.) Greuter & Burdet), malgré une liste d'espèces végétales plus longue originellement débattue pour la mise en place de cette législation.

Il faudra attendre 2014 pour que le règlement européen² relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation d'espèces exotiques envahissantes oblige la France à revoir la législation nationale sur les espèces exotiques envahissantes. Ce règlement s'articule autour d'une liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union européenne³ (quarante-neuf espèces à ce jour) dont l'importation, la vente, l'achat, l'utilisation et la libération dans l'environnement sont interdits, et pour lesquelles des mesures de maîtrise (éradication, confinement) sont également obligatoires.

Les espèces inscrites sur cette liste, régulièrement complétée, doivent avoir fait l'objet d'une analyse de risques conforme aux exigences fixées par le règlement et avoir été approuvée par un comité rassemblant les représentants des États membres. Par retranscription en droit français, la France dispose ainsi depuis 2018 d'un arrêté ministériel⁴ listant les espèces exotiques envahissantes de flore interdites d'introduction dans le milieu naturel, mais également les espèces interdites de détention, de transport, de colportage, d'utilisation, d'échange, de mise en vente ou d'achat sur le territoire métropolitain. Mais actuellement, aucune des espèces de renouées ne figure sur la liste de l'Union européenne, ni sur l'arrêté ministériel français : elles sont effectivement considérées comme très largement répandues dans certains États membres (Allemagne, par exemple) et leur inscription sur la liste européenne mènerait à des obligations de gestion difficiles à mettre en œuvre (éradication impossible, mesures de confinement trop coûteuses et complexes à mettre en place à l'échelle d'un pays). L'Union européenne n'envisage donc pas une inscription de ces espèces dans un futur proche. Néanmoins, la réglementation française a la possibilité d'être plus contraignante que la réglementation communautaire : l'extension des interdictions de détention, de transport, de colportage, d'utilisation, d'échange et de mise en vente aux différentes espèces de renouées mériterait sans doute d'être examinée.

La problématique gestion des renouées asiatiques

De nombreuses méthodes ou techniques ont été testées depuis des années pour contrôler localement les renouées asiatiques ou les éliminer. Elles peuvent être mécaniques, thermiques, chimiques ou biologiques ; elles peuvent cibler la partie aérienne ou souterraine de la plante. De manière générale, toutes les techniques génèrent des risques plus ou moins importants de dissémination de la plante.

Les fauches sont fréquentes et généralement destinées à restaurer la visibilité, les accès ou les usages. Elles sont aussi utilisées dans l'objectif de réduire durablement le développement des renouées, mais elles impliquent dans ce cas d'exercer une forte pression d'entretien pendant de nombreuses années. Les arrachages manuels remplacent la fauche sur certains sites. Ils nécessitent alors une importante main d'œuvre et génèrent de grands risques de dispersion de la plante. L'arrachage ou le décaissage des sols colonisés sont également fréquemment mis en œuvre. Ces techniques peuvent réduire la pression des renouées, mais doivent être utilisées avec précaution pour éviter toute dispersion de propagules de l'espèce. Le bâchage peut donner des résultats intéressants s'il fait l'objet d'une maintenance régulière.

1. Arrêté du 2 mai 2007 interdisant la commercialisation, l'utilisation et l'introduction dans le milieu naturel de *Ludwigia grandiflora* et *Ludwigia peploides* (abrogé).

2. Règlement (UE) n° 1143/2014.

3. Règlements d'exécution (UE) 2016/1141 et 2017/1263 de la Commission adoptant une liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union conformément au règlement (UE) n° 1143/2014 du Parlement européen et du Conseil.

4. Arrêté du 14 février 2018 relatif à la prévention de l'introduction et de la propagation des espèces végétales exotiques envahissantes sur le territoire métropolitain.

☉ Exemple d'utilisation illégale de produits phytosanitaires en bord de cours d'eau pour traiter un massif de renouées asiatiques (zone brune à droite de la photo). Les taches vertes que l'on aperçoit ponctuant la zone traitée sont des jeunes tiges de renouées asiatiques, seule plante à repousser après l'application de l'herbicide.



© F. Dommanget (Irstea)

L'utilisation d'herbicides, proscrite auprès des cours d'eau, exclut en France ce mode d'intervention sur leurs berges et la démarche nationale actuelle de réduction d'usages des produits phytosanitaires devrait conduire à un arrêt total du recours aux herbicides pour traiter ces colonisations dans tous les sites, y compris en zones éloignées des milieux aquatiques. Par ailleurs, leur efficacité reste limitée (photo ☉). Des tests sont réalisés avec d'autres produits naturels.

En ce qui concerne l'utilisation d'espèces végétales compétitrices, ces opérations peuvent être assimilées à de la restauration écologique, et consistent souvent en la reconstitution (ou replantation) d'un couvert de ligneux pérennes. S'appuyant sur les techniques de génie végétal, il s'agit le plus souvent du bouturage de saules ou de la plantation de jeunes arbustes sur des taches de renouées exotiques, associés ou non à un prétraitement (décaissage, fauche ou pose de géotextile) et à un entretien régulier (fauche ou arrachage). D'autres espèces arbustives ou buissonnantes ont également fait l'objet d'expérimentations.

Pour ce qui est de la consommation des renouées asiatiques par des espèces animales, l'écopâturage⁵ est la technique la plus fréquemment utilisée, avec des herbivores domestiques (vaches, chèvres ou moutons). L'efficacité de cette technique est variable selon les sites et les modalités de mise en œuvre.

La lutte biologique pourrait offrir plus d'espoir de trouver un moyen de régulation écologique. Les renouées sont en effet régulées dans leur aire d'origine par un

grand nombre d'insectes et de microorganismes. Certains d'entre eux peuvent être rapportés pour recréer cette régulation naturelle, sous réserve d'une série de contrôles visant à vérifier l'innocuité de leur introduction. Des expérimentations de contrôle biologique des renouées à l'aide d'un insecte et d'un champignon microscopique inféodés aux renouées asiatiques ont débuté en 2010 en Grande-Bretagne : leurs résultats ne sont pas encore connus.

Le traitement des terres contaminées par les renouées asiatiques représente également un enjeu majeur. Les techniques de concassage-bâchage et criblage-concassage connaissent actuellement un développement important et permettent de traiter de grands volumes de terres contenant des rhizomes, dans des sites jugés stratégiques pour empêcher des dispersions ultérieures, ou pour traiter les déblais des chantiers réalisés dans des espaces envahis par les renouées. Par ailleurs, diverses techniques ont aussi été testées dans le but de dévitaliser les rhizomes, comme la chaleur avec de la vapeur d'eau ou au contraire la congélation avec de l'azote liquide. Les résultats semblent peu encourageants. Une technique efficace a également été développée pour traiter les sols avec des micro-ondes. D'autres solutions plus radicales conduisent à évacuer ces terres dans des centres d'enfouissements techniques de classe 2 ou à les immerger dans des plans d'eau.

5. L'écopâturage est ici entendu comme l'utilisation d'animaux pour l'entretien des milieux, forme de pratique d'élevage déviant du pâturage classique qui a une visée première de production (viande ou lait).

▶ De même, la gestion des résidus de fauche ou d'arrachage pose question. Ainsi des essais de compostage sont rapportés dans la littérature. Mais la mise en œuvre de cette technique nécessite une grande rigueur sur le suivi du processus afin de neutraliser complètement la capacité de reprise des parties aériennes et souterraines. Les résultats de ces essais de gestion, que ce soit pour éliminer, contenir, réduire des massifs de renouées ou pour gérer leurs déchets, restent hétérogènes et comprennent de nombreux échecs, probablement liés à la fois aux conditions environnementales du site, et aux modalités techniques de réalisations. L'utilisation simultanée de plusieurs techniques peut donner de meilleurs résultats (par exemple : génie végétal associé au bâchage et/ou fauche, bâchage et traitement chimique...). Cette difficulté d'établissement d'un bilan validé des techniques efficaces a d'ailleurs conduit à ce que de nombreux gestionnaires locaux tentent leurs propres expérimentations, là encore avec des résultats variables et souvent mitigés.

La gestion des renouées asiatiques : vers un changement de paradigme

Maintenant présentes en Europe et en France depuis plus d'un siècle, les renouées asiatiques font partie de nos paysages. Les enjeux de conservation ou de sécurité qu'elles génèrent incitent les gestionnaires concernés à agir. Inquiétantes par leur vitesse de croissance et d'expansion, elles ont été et font toujours l'objet de recherches intenses, tant de la part des gestionnaires qui tentent de trouver des moyens efficaces pour contrôler leur développement, que de la part du monde de la recherche, qui essaye de mieux comprendre les facteurs expliquant leur formidable succès. Célébrées puis rejetées au cours de leur (relativement) brève histoire dans notre environnement, la perception de leur présence et de leur développement évolue au gré du regard que leur portent nos sociétés. Aujourd'hui, les avis convergent pour considérer leur éradication comme impossible et la définition d'objectifs de gestion réalistes et prioritaires comme nécessaire. Il semble donc que leur présence soit de mieux en mieux acceptée, une acceptation qui ne doit toutefois pas être synonyme d'inaction. La question clé de leur gestion devient alors : où faut-il agir et où faut-il laisser faire ? ■

Les auteurs

Fanny DOMMANGET, André EVETTE, François-Marie MARTIN

Univ. Grenoble Alpes, Irstea, LESSEM,
F-38000 Grenoble, France.

✉ fanny.dommanget@irstea.fr

✉ andre.evette@irstea.fr

✉ francois.martin@irstea.fr

Florence PIOLA et Mélanie THIÉBAUT,

LEHNA, Université Lyon 1, UMR 5023,
43 boulevard du 11 novembre 1918,
F-69622 Villeurbanne Cedex, France.

✉ florence.piola@univ-lyon1.fr

✉ melanie.thiebaut@univ-lyon1.fr

Soraya ROUFED

ISARA, 23 rue Jean Baldassini, F-69007 Lyon, France.

✉ srouifed@isara.fr

Alain DUTARTRE

21 Avenue du Médoc, F-33114 Le Barp, France.

✉ alain.dutartre@free.fr

Emmanuelle SARAT

Comité français de l'Union internationale
pour la conservation de la nature,
Musée de l'Homme, 17 place du Trocadéro,
F-75016 Paris, France.

✉ emmanuelle.sarat@uicn.fr

Claude LAVOIE

École supérieure d'aménagement
du territoire et de développement régional,
Université Laval,
2325 rue des Bibliothèques, Québec,
Québec, G1V 0A6, Canada.

✉ claudio.lavoie@esad.ulaval.ca

Marylise COTTET et Anne RIVIÈRE-HONEGGER

CNRS-UMR 5600 Environnement Ville Société,
15 Parvis René Descartes, BP 7000,
F-69342 Lyon Cedex 07, France.

✉ marylise.cottet@ens-lyon.fr

✉ honegger@club-internet.fr

Mireille BOYER

Aquabio,
108 allée du lac Léman,
F-73290 La Motte Servolex, France.

✉ mireille.boyer@aquabio-conseil.com

EN SAVOIR PLUS...

📖 **BARNEY, J.N., THARAYIL, N., DITOMMASO, A., BHOWMIK, P.C.**, 2006, The biology of invasive alien plants in Canada. 5. *Polygonum cuspidatum* Sieb. & Zucc. [= *Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decr.], *Canadian Journal of Plant Science*, n° 86, p. 887-905.

📖 **LAVOIE, C.**, 2017, The impact of invasive knotweed species (*Reynoutria spp.*) on the environment: review and research perspectives, *Biological Invasions*, n° 19, p. 2319-2337.



Maintenant présentes en Europe et en France depuis plus d'un siècle, les renouées asiatiques font partie de nos paysages.

Les impacts des renouées asiatiques sur l'environnement et les infrastructures

Les renouées asiatiques sont-elles aussi nuisibles à l'environnement et aux infrastructures publiques et privées qu'on ne le soupçonne au simple examen visuel des massifs formés par ces plantes ? Cet article rapporte le résultat d'une revue exhaustive de la littérature scientifique sur les effets des renouées sur la flore, la faune, les sols et les infrastructures. Il montre que si certaines perceptions sont probablement vraies, d'autres ne reposent que sur des hypothèses fragiles non étayées par la science. Les lacunes dans les connaissances sont encore très grandes.

Les plantes exotiques envahissantes font, depuis quelques années, l'objet d'une attention de plus en plus grande par rapport à leurs effets sur la biodiversité, l'agriculture, les infrastructures, la valeur foncière ou les loisirs. Les invasions sont souvent spectaculaires et font régulièrement les manchettes dans les médias. L'examen visuel d'un site envahi engendre de forts soupçons quant aux impacts de ces plantes et doit, à juste titre, générer un effort de recherche pour en évaluer l'envergure. Malheureusement, les décideurs et les gestionnaires de l'environnement ne peuvent pas toujours attendre les conclusions de ces recherches avant d'agir. Cela se justifie d'une certaine manière – application du principe de précaution – d'autant plus qu'il est plus facile de lutter contre un envahisseur lorsque les populations sont encore peu nombreuses. Néanmoins, il arrive parfois qu'on surestime l'impact réel des envahisseurs, ce qui a pour conséquence de diverter des ressources en lutte qui pourraient être utilisées de façon plus judicieuse ailleurs. Les renouées asiatiques envahissantes, au nombre de trois (renouée du Japon : *Reynoutria japonica* ; renouée de Bohême : *R. xbohemica* ; renouée de Sakhaline : *R. sachalinensis*), figurent parmi ces plantes qui forment des invasions spectaculaires et pour lesquelles les actions de lutte précèdent souvent une analyse rigoureuse des impacts. Depuis leur introduction en Europe à partir de 1830 et en Amérique du Nord à partir de 1860, ces

végétaux se sont propagés à grande vitesse, que ce soit de façon intentionnelle (plantations), accidentelle (travaux d'excavation et de transport de sols contaminés avec des rhizomes) ou naturelle, en particulier par voie d'eau. Dans certaines régions, de nombreuses berges de rivières et talus routiers, l'habitat par excellence des renouées, sont colonisés par une multitude d'individus qui, en quelques années, forment par propagation végétative d'immenses clones s'étendant, dans certains cas, sur des centaines de mètres carrés.

En 1999, l'Union internationale pour la conservation de la nature sélectionnait la renouée du Japon comme un des cent envahisseurs les plus préoccupants de la planète. La lecture des éléments à l'appui de ce choix montre toutefois qu'il repose sur une analyse de données fragmentaires, faite à une époque où les travaux sur les effets de la renouée du Japon sur la biodiversité et les infrastructures étaient peu nombreux.

Pour cet article, je mets d'abord en relief, grâce à un recensement du contenu de certains journaux européens francophones, ce qui semble être la perception populaire quant aux impacts des renouées asiatiques. Ce portrait n'a aucune prétention d'exhaustivité et est sujet à de multiples biais (voir Lavoie, 2010, pour une critique de cette approche). Il est toutefois probable qu'il donne une idée assez juste de l'image que le grand public et les gestionnaires de l'environnement se font des renouées asiatiques. Je mets ensuite en parallèle ce portrait avec

► sur la flore. Un nombre appréciable (18) de mentions traite de l'effet des renouées sur la structure physique des berges : on fait allusion à une accentuation de l'érosion ou, de manière plus générale, à une déstabilisation des talus riverains. Les possibles effets sur les infrastructures sont rarement mentionnés.

Un effort de recherche significatif mais encore largement incomplet

Près d'une cinquantaine d'articles scientifiques ont été publiés sur les effets sur l'environnement des renouées asiatiques (tableau 1). Les recherches sur les renouées proviennent principalement (70%) d'Europe, les autres de l'Amérique du Nord. Les études portent surtout sur les microbes, les champignons, les plantes vasculaires et les invertébrés. Il existe plusieurs travaux sur les conséquences d'une invasion de renouée sur les caractéristiques du sol. Les effets des trois renouées se comparent, d'autant plus que la renouée du Japon ressemble beaucoup à la renouée de Bohême, un hybride résultant du mariage entre la renouée du Japon et la renouée de Sakhaline. Cette dernière est une plante de plus grande

taille, mais les conséquences de son établissement sur la biodiversité ne diffèrent guère de ceux des deux autres renouées, quoiqu'ils soient beaucoup moins bien documentés.

Les tiges des renouées poussent en si forte densité que très peu de plantes vasculaires subsistent sous leur feuillage. Cet effet est attesté par plus d'une vingtaine d'études et les résultats des travaux sont sans équivoque. Quelques invertébrés (coléoptères, escargots, mites) pâtissent de la présence des renouées, mais d'autres (détritvores) prolifèrent au contraire dans les espaces envahis. Ce sont les herbivores qui souffriraient le plus de la présence des renouées, car sous les clones, la faible diversité végétale se traduit par un appauvrissement des sources de nourriture. Par contre, les fleurs de renouées sont abondamment visitées par les insectes pour leur nectar, en particulier les bourdons et les mouches syrphides, d'autant plus que la période de floraison automnale coïncide avec un moment de l'année où les fleurs se raréfient (Davis *et al.*, 2018). Les travaux sur les effets des renouées sur les vertébrés sont rares (amphibiens, oiseaux) et leurs résultats peu concluants, ou carrément inexistantes (reptiles, mammifères).

1 Portrait des mentions dans les journaux et des connaissances scientifiques quant aux effets des renouées asiatiques envahissantes sur l'environnement et les infrastructures.

Effet des renouées asiatiques	Nombre de mentions dans les journaux européens francophones rapportant (1998–2018) cet effet	Faits rapportés par la littérature scientifique selon Lavoie (2017 ; avec mises à jour)
Portent préjudice à la flore.	60	La quasi-totalité des 23 articles sur le sujet rapporte que les renouées réduisent le couvert, la richesse ou la diversité végétale à l'emplacement des clones.
Portent préjudice à la biodiversité dans son ensemble.	41	Cet effet est surtout perceptible sur la flore. L'impact des renouées sur les autres composantes de la biodiversité en milieu riverain n'est pas univoque.
Libèrent dans le sol des substances toxiques pour les autres plantes.	20	L'effet allélopathique des renouées est bien démontré en laboratoire, mais pas encore en milieu naturel.
Accentuent l'érosion des berges de rivière ou contribuent à leur déstabilisation.	18	Une seule étude (Arnold et Toran, 2018) existe sur le sujet. Elle suggère que les renouées accentuent l'érosion, mais les données demeurent très fragmentaires.
Portent préjudice à la faune.	17	Cet effet, rapporté dans 14 articles, est surtout perceptible chez certains groupes d'invertébrés (herbivores) et il n'est pas univoque. Les travaux sur les vertébrés sont rares et les résultats peu concluants.
Homogénéisent le paysage ou obstruent les percées visuelles.	8	Pas étudié par Lavoie (2017).
Percent le bitume.	3	Pas étudié par Lavoie (2017).
Engendrent des inondations.	2	Aucune étude sur le sujet.
Fragilisent les édifices.	2	La seule étude qui existe sur le sujet (Fennell <i>et al.</i> , 2018) ne supporte pas cette hypothèse, du moins pour ce qui concerne les fondations d'immeubles.
Décontaminent les sols.	1	Pas étudié par Lavoie (2017).
Fournissent du nectar aux abeilles.	1	Quelques données (Davis <i>et al.</i> , 2018) appuient cette hypothèse, mais elle reste à vérifier.
Nuisent aux aménagements paysagers.	1	Pas étudié par Lavoie (2017).
Participent à l'ensablement des rivières.	1	Aucune étude sur le sujet.
Ralentissent le mouvement de l'eau.	1	Aucune étude sur le sujet.
Obstruent les ouvrages hydrauliques.	1	Aucune étude sur le sujet.

Les sols des sites envahis ont parfois des différences notables dans leur composition chimique par rapport à ceux des sites adjacents. Par exemple, les sols sous des clones de renouée ont en général un horizon A plus épais, un pH plus faible, un contenu en potassium et en azote inorganique moins élevé, ainsi que de plus fortes concentrations en carbone. Certains chercheurs soutiennent que la renouée du Japon interfère dans le cycle naturel de l'azote au point de nuire aux tentatives de rétablissement d'une végétation indigène, étant donné que les sites où se trouvaient auparavant des clones de renouée sont appauvris en cet élément. Qui plus est, les renouées libèrent dans le sol des substances toxiques pour les autres plantes, mais le caractère nuisible de ces molécules allélopathiques n'a été démontré à ce jour qu'en laboratoire, quoique récemment dans des conditions assez proches du milieu naturel. Par ailleurs, l'abondante litière produite par les clones se décompose lentement, ce qui favorise au niveau du sol les champignons au détriment des bactéries.

Il est souvent rapporté, particulièrement dans les journaux (tableau 1), que les renouées poussant sur le bord des rivières accélèrent l'érosion des berges et obstruent le flot des cours d'eau, ce qui pourrait se traduire par des inondations de plus grande envergure. Il existe très peu de preuves de l'existence de ces phénomènes, mais certaines observations suggèrent que l'effet sur l'érosion serait réel (photo 1). La seule étude sur le sujet (Arnold et Toran, 2018), qui vient tout juste de paraître en provenance de la région de Philadelphie, aux États-Unis, suggère que les rives envahies par la renouée du Japon sont sujettes à un taux d'érosion supérieur à celles qui ne le sont pas. Cette étude est toutefois peu concluante, car l'effort d'échantillonnage est faible, la méthode de mesure rudimentaire et la comparaison boiteuse. On a en effet comparé des rives avec renouée avec des rives boisées qui sont rarement envahies. Une comparaison avec des rives colonisées par des plantes herbacées aurait été plus judicieuse, car ce sont elles qui risquent le plus de souffrir d'une invasion. Mon propre laboratoire a amorcé en 2018 une étude plus poussée du phénomène de l'érosion avec des technologies avancées. Nous effectuons, près de la ville de Québec (Canada), du profilage de berge avec outils supportés par drone ou par système de positionnement géographique permettant de déterminer avec précision (au millimètre près) le niveau de la surface du sol. La comparaison des données automne 2018 – fin du printemps 2019 devrait nous permettre d'évaluer plus en profondeur l'effet réel de la renouée du Japon sur l'érosion, dans un contexte où la glace hivernale agit comme agent d'érosion significatif lors de la débâcle du printemps.

Au Royaume-Uni, un des pays les plus envahis par les renouées asiatiques, les renouées sont considérées comme de véritables menaces aux infrastructures. On dépense dans les îles britanniques des sommes considérables pour lutter contre ces plantes. Il existe plusieurs entreprises spécialisées en la matière qui sont particulièrement actives dans le marché de la membrane protectrice de fondations.

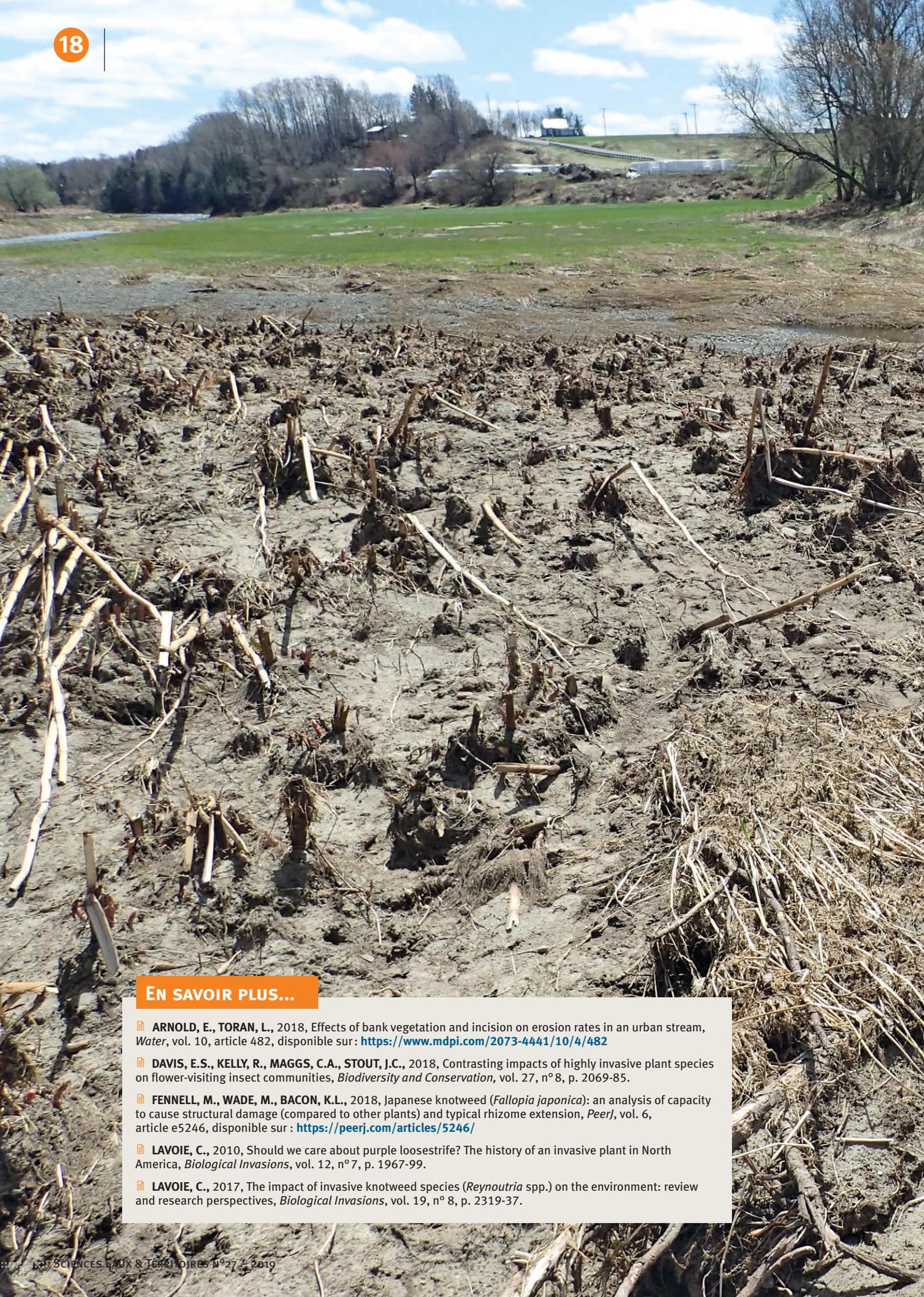
Quelques cas ont été rapportés dans les journaux quant à la possibilité que les renouées puissent nuire à la vente d'une propriété ou à l'obtention d'un prêt hypothécaire. Certaines institutions financières sont en effet réticentes à accorder un prêt si un clone de renouée se trouve à moins de 7 m de la résidence, distance soupçonnée d'extension maximale du réseau de rhizomes. Des chercheurs britanniques (Fennell *et al.*, 2018) ont récemment examiné sur le terrain l'effet des rhizomes des renouées sur les fondations. Ils arrivent à la conclusion que le présumé risque occasionné par la présence de ces plantes est nettement exagéré. S'il est vrai que les rhizomes peuvent s'infiltrer dans les fissures des fondations puis les élargir, ils ne forent ni le ciment, ni le béton sain, même à proximité immédiate d'un immeuble. Les rhizomes ne s'étendent guère au-delà d'une distance de 2,5 m d'un clone. L'échantillon de cette étude est relativement modeste – 68 propriétés à l'abandon considérées à risque quant aux effets des rhizomes – mais elle a le mérite de mettre en relief l'écart entre le discours (alarmiste) sur les renouées, véhiculé dans les journaux et par certains organismes œuvrant à la protection de l'environnement, et la réalité (beaucoup moins dramatique) qui mériterait d'être davantage documentée avec de solides études scientifiques.

Les renouées asiatiques : un problème ?

Il ne fait guère de doute que les renouées asiatiques contribuent à appauvrir la diversité végétale dans les écosystèmes riverains (Lavoie, 2017). Quelques clones de renouée disséminés çà et là le long des rives ne constituent probablement pas un problème grave. Par contre, des bandes de plusieurs centaines de mètres de longueur, ce que l'on observe de plus en plus fréquemment près des cours d'eau, ont probablement des effets non seulement sur la flore, mais aussi sur la faune qui mériteraient d'être davantage étudiés. Il est étonnant de constater notre ignorance quant aux effets possibles de ces plantes sur l'érosion riveraine, alors qu'il s'agit manifestement d'une préoccupation importante des gestionnaires de l'environnement aux prises avec ces envahisseurs. La recherche sur les renouées asiatiques a encore de beaux jours devant elle. ■

L'auteur

Claude LAVOIE
École supérieure d'aménagement
du territoire et de développement régional,
Université Laval,
2325 rue des Bibliothèques, Québec,
Québec, G1V 0A6, Canada
✉ claudio.lavoie@esad.ulaval.ca



EN SAVOIR PLUS...

- 📖 **ARNOLD, E., TORAN, L.**, 2018, Effects of bank vegetation and incision on erosion rates in an urban stream, *Water*, vol. 10, article 482, disponible sur : <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/4/482>
- 📖 **DAVIS, E.S., KELLY, R., MAGGS, C.A., STOUT, J.C.**, 2018, Contrasting impacts of highly invasive plant species on flower-visiting insect communities, *Biodiversity and Conservation*, vol. 27, n° 8, p. 2069-85.
- 📖 **FENNELL, M., WADE, M., BACON, K.L.**, 2018, Japanese knotweed (*Fallopia japonica*): an analysis of capacity to cause structural damage (compared to other plants) and typical rhizome extension, *PeerJ*, vol. 6, article e5246, disponible sur : <https://peerj.com/articles/5246/>
- 📖 **LAVOIE, C.**, 2010, Should we care about purple loosestrife? The history of an invasive plant in North America, *Biological Invasions*, vol. 12, n° 7, p. 1967-99.
- 📖 **LAVOIE, C.**, 2017, The impact of invasive knotweed species (*Reynoutria* spp.) on the environment: review and research perspectives, *Biological Invasions*, vol. 19, n° 8, p. 2319-37.



❶ On suspecte les renouées asiatiques d'être responsables d'une accélération de l'érosion des sols des talus riverains, étant donné que les tiges de renouées meurent l'automne venu et n'offrent plus de protection au sol. En voici peut-être l'illustration, tout juste après la crue printanière des eaux d'une rivière québécoise, avant l'émergence des tiges (rivière Etchemin).

© C. Lavoie

Quels regards et quelles démarches de gestion des renouées asiatiques ?

S’installant et colonisant des biotopes très divers, bordures de rivières et d’infrastructures linéaires, friches, etc., les renouées asiatiques peuvent concerner de nombreux gestionnaires publics et propriétaires privés. Or, trouver des moyens efficaces pour contrôler leur développement relèvent encore aujourd’hui du défi. Cependant, comme l’illustre cet article, en deux décennies, les compétences et l’expertise sur le terrain progressent ainsi que les échanges entre la recherche et la gestion, l’ensemble contribuant à faire évoluer les réflexions et les pratiques.

Gérer les renouées ?

Elles sont présentes, bien présentes ces renouées asiatiques... Quelquefois en fourrés monospécifiques éliminant toute strate herbacée ou arbustive, gênant tout déplacement humain : une contrainte difficilement tolérable pour tout usager du site... Et, à l’instar de nombre de questions concernant des espèces jugées indésirables, la demande qui émerge alors est très souvent « Comment s’en débarrasser ? »...

Les personnes ou les structures vers qui se tournent ces demandes sont alors face à une question apparemment simple (au moins pour le demandeur). La réponse, à défaut de leur être déjà connue, fait déjà partie des connaissances de certains de leurs partenaires ou encore est censée se trouver décrite dans des documents existants, facilement disponibles, des acquisitions de connaissances faciles à réaliser. Il leur resterait donc, ensuite, à mettre en place les modalités d’organisation des interventions, le matériel et le personnel nécessaire, soit en propre, soit en ayant recours à des entreprises spécialisées, et à s’assurer du bon déroulement et du succès de ces interventions.

Rien d’apparemment compliqué n’est-ce pas ?

Des gestionnaires quelquefois fort dépourvus...

En ce qui concerne les questions générales de gestion des espèces exotiques envahissantes (EEE), les gestionnaires sont confrontés à des demandes plus ou moins organisées et pressantes d’intervention, sans nécessairement avoir, dans un premier temps, les informations sur les espèces en question et les techniques utilisables pour les gérer. Ils doivent donc agir, mettre en place dès que possible des interventions destinées à satisfaire les demandes et si possible résoudre la difficulté rencontrée, en prenant le risque de ne pas atteindre leurs objectifs.

En trois décennies, la situation générale de cette gestion des EEE a heureusement fortement et positivement évolué, d’une part grâce à l’arrivée progressive de personnes sans cesse mieux formées au sein de ces structures (un des exemples les plus illustratifs étant celui des techniciens médiateurs de rivière où la proportion de personnes issues de formations universitaires adaptées devient majoritaire), d’autre part grâce à la mise en place de divers groupes de travail infranationaux permettant de rassembler informations et données et de les retourner en les valorisant vers tous les gestionnaires. Au fur et à mesure de leur histoire, ces groupes offrent de grandes

opportunités pour tous les acteurs de la gestion des EEE de co-construire une part des connaissances utilisables. Le développement des réseaux humains et numériques depuis deux décennies a d'ailleurs fortement accéléré le flux et la qualité des échanges dans ce domaine.

Les informations diffusées sur la gestion des renouées ont bénéficié des mêmes évolutions, bien que la dispersion de ces espèces dans de nombreux types de biotopes (aquatiques ou non) aient rendu plus difficiles et quelquefois moins argumentés les échanges sur les modalités techniques de leur gestion selon les biotopes. Après une période où les informations échangées ne permettaient pas d'établir un bilan suffisamment complet de ces modalités, les techniques jugées au moins partiellement efficaces sont maintenant connues et diffusées.

Le tableau 1 présente sept exemples de gestion des renouées rassemblés dans le cadre des travaux du groupe de travail « Invasions biologiques en milieux aquatiques » (IBMA), devenu maintenant Centre de ressources national sur les espèces exotiques envahissantes, entre 2014 et 2018. Ces retours d'expérience co-rédigés avec les gestionnaires concernés ont pour but de présenter une démarche locale, jugée satisfaisante par son artisan, et de fournir des possibilités au lecteur, d'une part d'examiner caractéristiques et bilan de l'exemple, d'autre part de contacter le gestionnaire pour obtenir des précisions : une manière d'ouvrir un peu plus le réseau de parties-prenantes...

Hormis l'exemple présentant les tests de survie de tiges, graines et rhizomes de renouées, les modalités techniques listées dans ce tableau (fauche, arrachage manuel, bâchage, pâturage, extraction, broyage concassage, plantations) n'ont rien de novateur et ce petit nombre d'exemples n'a évidemment pas la prétention de constituer une référence. Il doit plutôt être considéré comme le fondement d'un réseau à venir d'informations organisées, accumulant au fil du temps données pratiques et réflexions à partager.

En fait, les nombreuses expériences de gestion menées sur les renouées, sur lesquelles des informations sont disponibles sous différentes formes et depuis différentes sources, montrent que des techniques pour réguler ces espèces existent bel et bien, mais qu'elles ne trouvent toute leur efficacité que si elles sont menées dans le cadre précis d'un plan d'action et qu'un suivi ultérieur régulier est envisagé. Les pages consacrées aux renouées asiatiques de la base d'information sur la gestion des EEE du Centre de ressources dédié accueillent d'ailleurs les utilisateurs avec ces propos : « *Il existe différentes manières de gérer les renouées asiatiques, qui ont chacune des effets spécifiques. Bien se renseigner sur la biologie de ces plantes et les contraintes de ces différentes techniques est indispensable pour ne pas disperser involontairement les renouées ou mener des actions peu efficaces. [...] Tout plan d'action pour gérer les renouées*

1 Retours d'expérience rassemblés dans le cadre du groupe de travail « Invasions biologiques en milieux aquatiques » (2014-2018).

Intitulé du retour d'expérience	Techniques appliquées	Localisation	Responsable
Expérimentation d'une méthode de gestion mécanisée des renouées exotiques envahissantes en France, Suisse et Allemagne.	Broyage-concassage des sols contenant les rhizomes de renouées puis enfouissement et bâchage.	Onze différents sites dans l'Est de la France, en Suisse et en Allemagne.	CCEAU (bureau d'étude) premiers essais 2005-2009 puis partenariat avec CABI (Centre for Agricultural BioScience International), 2010-2013.
Prévention du risque de dissémination des renouées asiatiques via le compostage industriel.	Tests de survie de tiges, graines et rhizomes de renouées dans un processus de compostage industriel.	Plateforme de compostage de la communauté d'agglomération Grand Chambéry.	Conseil départemental de la Savoie, CCEAU (bureau d'étude).
Interventions de gestion de la renouée de Bohème par l'association C.O.E.U.R. Émeraude (Côte d'Armor).	À partir de 2004, arrachage manuel et bâchage de la zone colonisée, plantation de saules.	Un site en rive sur la Garaye, affluent de la Rance (125 m linéaire).	Association de préfiguration du Parc naturel régional de la Rance et de la Côte d'Émeraude.
Expérimentations de gestion de la renouée du Japon par pâturage (Mayenne).	Tests de fauche et de bâchage (2009-2010) puis de pâturage par des caprins (2011) avec suivi technique.	Espace naturel sensible de Saint-Calais-du-Désert (53) : zone humide.	Conseil départemental de la Mayenne (CD 53).
Gestion de la renouée du Japon sur le bassin versant des Gardons (Gard).	Arrachage manuel localisés arrachage manuel assisté mécaniquement, broyage-concassage (2009-2013).	Différents sites des rives des Gardons, sur un linéaire total d'environ 32 km.	Syndicat mixte d'aménagement et de gestion équilibrée des Gardons (SMAGE des Gardons), établissement public territorial de bassin (EPTB).
Gestion de la renouée du Japon à la confluence de la Luye et de la Durance.	Concassage-bâchage (2011), arrachage manuel de plantules (2012). Excavation mécanique des zones colonisées, concassage-bâchage, plantations de saules (2014-2017).	Sites dispersés en ripisylves.	Syndicat mixte d'aménagement de la vallée de la Durance (SMAVD), établissement public territorial de bassin (EPTB).
Expérimentation de gestion de la renouée du Japon sur l'archipel de Saint-Pierre-et-Miquelon.	Fauche, arrachage manuel et arrachage mécanique. Tamisage des sols extraits.	Sites dispersés sur le territoire (superficie totale environ 4 000 m ²).	Direction des territoires, de l'alimentation et de la mer de Saint-Pierre-et-Miquelon (DTAM 975).

▶ doit s'appuyer sur un diagnostic initial de la situation et définir des actions touchant à plusieurs champs d'interventions allant de la communication à la gestion elle-même des plantes, en fixant une programmation technique, géographique et financière de celles-ci sur plusieurs années. Il n'y a pas de recette miracle pour stopper les invasions des milieux par les renouées asiatiques, mais des connaissances à assimiler, des méthodes de travail à s'approprier et des techniques de gestion à appliquer avec rigueur et pugnacité. »¹.

Les expériences de gestion de ces espèces attestent même qu'une même technique de gestion, par exemple, le criblage-concassage-bâchage, peut donner des résultats très variables d'un site à l'autre, de par leur configuration, leur contexte hydrographique, leur accessibilité, le matériel utilisé (taille du godet cribleur, type de bâche, etc.) (Sarat *et al.*, 2018). La plupart des expérimentations menées dans un programme d'action complet et adaptatif se concluent par un besoin de suivi et d'intervention pérenne, jusqu'à ce que les interventions réalisées prennent une « connotation d'entretien », comme par exemple dans le cas de la gestion de la renouée à Saint-Pierre-et-Miquelon (Sarat et Urtizbera *in* Sarat *et al.*, 2018) (photo 1).

À l'heure actuelle, si, à notre connaissance, aucune expérimentation n'a été menée sur le recours à des agents de contrôle biologique en France, il n'en est pas de même en Grande-Bretagne. Un programme de lutte biologique est en cours depuis 2003 avec deux agents candidats, un champignon (*Mycosphaerella polygoni-uspidiati*) et un psylle (insecte hémiptère), *Aphalara itadori*. Après évaluation, le psylle a été progressivement libéré en Angleterre

à partir de 2010. Le programme de surveillance a montré que l'insecte était effectivement capable de survivre aux conditions hivernales et qu'il ne portait atteinte ni à la flore ni aux invertébrés indigènes. En revanche, à ce jour aucun impact n'a été détecté sur la renouée cible (Grevstad *et al.*, 2018).

La gestion des renouées peut donc laisser certains gestionnaires démunis et découragés. Même lorsque les stratégies appliquées comportaient un calendrier d'actions régulières, les déceptions éprouvées par ces intervenants proviennent fréquemment d'une attente implicite non satisfaite d'une disparition rapide et totale des plantes espérée à la suite des efforts organisés mis en place. Pour arriver à intégrer l'entretien sur du long terme des zones colonisées par les renouées, il convient ainsi de bien définir les objectifs de ces interventions de gestion, d'intégrer ces actions à une échelle temporelle pertinente et de programmer des interventions régulières, et souvent coûteuses, tout en conservant des capacités d'adaptations et/ou de réactions à des évolutions non prévues de la situation à gérer... Ce qui n'est pas un programme facile à envisager et à construire, ni un discours toujours évident à faire entendre aux financeurs, élus, décideurs et usagers.

... Mais dont les compétences et l'expertise ne cessent de se développer

En deux ou trois décennies, les gestionnaires ont en effet collectivement développé de nombreuses compétences et disposent d'abondantes connaissances qu'il convient de mieux valoriser (Sarat *et al.*, 2017). Les connaissances précises sur la gestion des EEE restent difficiles à collecter de manière systématique et souvent méconnues

1. <http://especes-exotiques-envahissantes.fr/espece/reynoutria-japonica/>



1 Sept espèces de renouées sont présentes sur l'archipel de Saint-Pierre-et-Miquelon, dont la renouée du Japon, introduite en 1940. L'espèce a fait l'objet d'une cartographie de sa répartition et d'expérimentation de mesures de gestion (arrachage manuel et arrachage mécanique).

© SPM Frag Îles

jusqu'à ce qu'elles soient présentées lors d'échanges pragmatiques spécifiques. Des échanges réguliers entre les différentes parties-prenantes de la gestion des EEE et la co-rédaction de retours d'expériences de gestion détaillés avec ces acteurs de terrain permettent un élargissement constant du réseau ainsi constitué, de meilleures reconnaissances et valorisations de cette expertise géographiquement fragmentée et une alimentation permanente du corpus d'informations pertinentes qu'il devient possible (et facile) de partager par voie numérique. Cette démarche de mise en relation et de partage d'expériences est maintenant bien engagée en France, notamment grâce aux travaux antérieurs du groupe de travail IBMA. Elle s'étend dorénavant à l'outre-mer et aux milieux terrestres et marins dans le cadre du centre de ressources sur les EEE et alimente une source d'informations opérationnelles plus complète et efficace pour les gestionnaires. Ces échanges et ces partages d'expériences sont également un moyen d'identifier des lacunes et/ou des améliorations possibles dans les pratiques de gestion et dans les connaissances techniques et scientifiques associées.

En participant à la rédaction des retours d'expérience de gestion, les gestionnaires d'espaces naturels peuvent clairement identifier des données et informations qui n'avaient pas toujours été antérieurement collectées, comme par exemple certaines données quantitatives, l'évaluation du personnel engagé ou le coût effectif des opérations et le suivi sur le moyen-terme. Ces informations souvent négligées sont pourtant indispensables pour évaluer les opérations, faciliter leur justification auprès des interlocuteurs financiers, ou encore réorienter leurs objectifs et adapter les techniques de gestion. L'évolution au fil du temps de ce recueil systématique de données sur les interventions a également contribué à une amélioration des pratiques, à l'élaboration de plans de gestion mieux adaptés au contexte local et à la compilation de nombreuses données sur les interventions pouvant être ultérieurement analysées et évaluées de manière plus efficace et pertinente.

Quels appuis du monde de la recherche pour la gestion des renouées ?

Les relations entre recherche et gestion se sont nettement améliorées depuis deux décennies. Cette évolution est la conséquence de plusieurs processus convergents, dont une évolution perceptible de la recherche vers certains travaux plus finalisés (le programme de recherche INVABIO de 2000 à 2006 y a contribué), l'amélioration indéniable de la formation, des compétences et de la technicité du personnel des acteurs de la gestion concrète, et les travaux et actions des groupes de travail déjà cités, accueillant dans leurs rangs des membres d'organismes de recherche (encore trop peu nombreux, hélas). Cependant, le développement de ces relations reste relativement freiné par des paramètres organisationnels éloignés de la seule transmission de connaissances et d'informations. Parmi ces freins figurent des temporalités disjointes entre besoin d'action des gestionnaires et durée des programmes de recherche, les contraintes propres aux chercheurs en matière de publications scientifiques et les disponibilités financières

à disposition par l'ensemble de la société pour permettre à la fois recherche et gestion concrète.

L'amélioration et la permanence des flux de relations entre chercheurs et gestionnaires devraient toutefois faciliter une coopération plus efficace, reposant en partie sur des relations interpersonnelles fondées sur des convergences d'objectifs et sur la capacité de la communauté, incluant la recherche et la gestion concrète, à produire et à diffuser en direction de tous les autres acteurs de la société des informations partagées et si possible complètes.

Les renouées et leur gestion ont par ailleurs fait l'objet depuis une vingtaine d'années de nombreuses réunions d'information à diverses échelles, dont des manifestations nationales (comme les journées techniques nationales « Renouées » à Besançon en 2002, ou le colloque national « Renouées asiatiques » en octobre 2012 à Saint-Étienne) ou régionales comme par exemple trois journées techniques d'information et d'échanges de l'association Rivière Rhône-Alpes en 2010 et 2011.

Ces échanges en salle et sur le terrain permettent des contacts entre gestionnaires, chercheurs et parties-prenantes en demande d'informations qui progressivement alimentent le corpus de connaissances et améliorent les réflexions et les interventions.

Parmi les manifestations récentes, l'association « Synergie plantes invasives grand-est », SPIGEST, a organisé deux colloques (2015 et 2017) proposant des visites sur sites expérimentaux et des présentations en salle. Cette association réunit un large ensemble d'acteurs (collectivités, établissement universitaire, associations naturalistes et entreprise) ce qui peut permettre des co-constructions efficaces d'expérimentations et de travaux entre partenaires différents. En deux journées, le colloque de 2017 a par exemple permis des visites sur sites (expérimentations de fauche répétée, de bâchage, d'éco-pâturage), des échanges en session plénière sur l'écologie et l'histoire des renouées, les plans de lutte, les différentes modalités d'intervention, etc., et des tables rondes sur l'éco-pâturage, la restauration des sites terrestres et des sites en bordure des eaux.

Enfin, les renouées font partie des EEE les plus concernées par des sessions dédiées de formation : dans le récent bilan réalisé par le Centre de ressources espèces exotiques envahissantes AFB² & UICN France³ sur la période 2008-2018, elles ont fait l'objet de 5 % des sessions de formation organisées à l'échelle nationale.

À propos d'apprentissage collectif toujours en cours

Les flux permanents et de plus en plus organisés d'échanges d'information entre parties-prenantes de la gestion des EEE contribuent largement à faire évoluer réflexions et pratiques. Il s'agit bien pour nous d'une manière de devenir progressivement et collectivement des gestionnaires sans cesse plus efficaces.

2. AFB : Agence française pour la biodiversité.

3. UICN : Union internationale pour la conservation de la nature.

► Il nous reste toutefois à utiliser efficacement les raccourcis de connaissances et les à priori de toute nature (écologique, technique, organisationnel, financier) issus d'expériences particulières et non facilement reproductibles, occupant encore trop souvent ces échanges, pour arriver à en extraire des critères contextuels efficaces d'évaluation des stratégies à mettre en place en fonction des sites, des espèces à gérer et des besoins humains concernés... Oublier les livres de recettes pour faire fonctionner un réseau réflexif et réactif capable de réponses adaptées et efficaces.

À bien y regarder, cet apprentissage collectif porte à la fois sur des aspects strictement techniques des informations échangées (démarche d'analyse contextuelle préalable, prescriptions organisationnelles techniques plus ou moins précises, éléments de biosécurité, etc.) et sur les modalités d'échanges de ces informations (langage utilisé, anthropocentrisme plus ou moins affiché, présentation de certitudes ou de recettes, etc.), ne prenant pas toujours en compte les spécificités et les besoins des interlocuteurs, ce qui peut en réduire l'efficacité voire brouiller les messages.

Deux exemples récents d'échanges peuvent nous servir d'illustration sur ces deux points.

Le premier concerne une demande provenant d'un membre européen de l'UICN dans le cadre d'une étude en lien avec le Règlement européen n° 1143/2014 sur les espèces exotiques envahissantes. Transmise par l'intermédiaire d'une liste de discussion mondiale sur les EEE

(aliens-l-request@list.auckland.ac.nz), cette demande portait sur le transport intentionnel des sols en tant que voie d'introduction non intentionnelle d'espèces exotiques envahissantes en Europe et dans d'autres pays (États-Unis, Australie, Canada et Nouvelle-Zélande). Les objectifs de l'étude sont de comprendre quels types de sol sont importés dans l'Union européenne (plantes en pots, construction, etc.) et quelles normes et réglementations en matière d'importation de sol existent dans ces différents pays. Le fait de réunir des informations à l'échelle internationale sur ce sujet devrait donc permettre des comparaisons entre les réglementations nationales existantes, d'en évaluer les contraintes et les atouts et, espérons-le, d'en tirer des propositions d'évolutions réglementaires européennes. Il s'agit bien d'une démarche à moyen terme et à une échelle administrative qui ne peut directement aider les gestionnaires à l'échelle locale. Bien qu'ils disposent déjà, pour ce qui concerne spécifiquement les renouées, des informations sur les risques de transport de fragments de rhizomes, aucune réglementation n'existe actuellement pouvant les aider dans leur démarche de gestion en contraignant le transport de terres pouvant abriter de telles propagules : les analyses et propositions pouvant émaner de l'étude citée pourraient toutefois contribuer à élaborer des prescriptions ultérieures sur ce point.

Le second exemple porte particulièrement sur les renouées. Il s'agit de réponses à une question posée sur la même liste de discussion par une personne du parc

❶ LA VALORISATION ÉCONOMIQUE DES RENOUÉES ASIATIQUES

Méthanisation, extraction de molécules d'intérêt pour l'industrie pharmaceutique, production de matériaux (fibres, textiles...), différentes voies pourraient permettre de valoriser le gisement de biomasse issu des renouées asiatiques. Mais sont-elles aussi rentables et durables qu'on le croit ?

Les renouées sont sources d'importantes difficultés pour les gestionnaires, non seulement lors des interventions de gestion en tant que telles mais également lorsqu'il s'agit de la gestion des déchets produits par ces interventions, l'espèce disposant d'importantes capacités de dispersion à partir de fragments de tiges et de rhizomes. D'un autre côté, les renouées établies dans le milieu naturel peuvent être envisagées comme une ressource commercialement exploitable, pour la production de biogaz par méthanisation (biogaz ensuite revendu pour la production électrique), l'industrie pharmaceutique (extraction de résveratrol, molécule aux propriétés anti-oxydantes et anti-inflammatoires à haute valeur ajoutée contenue dans les rhizomes de renouées) ou pour la production de matériaux (fibres, textile, matériaux composites...).

L'exploitation de cette ressource peut se faire en prélevant directement la plante dans les milieux naturels. Mais, dans la plupart des cas, les porteurs des projets de valorisation commerciale proposent de « débarrasser » les gestionnaires des déchets de renouées produits par les interventions de gestion (terres contaminées par les rhizomes, produits de fauche et d'arrachage). Cette démarche censément « gagnante-gagnante » apparaît de prime abord comme une solution positive permettant de concilier les enjeux de conservation de la biodiversité et un développement économique local, mais également de soulager techniquement et financièrement les gestionnaires par la prise en charge du traitement des déchets de renouées. Dans tous ces cas de figure, on passerait donc d'une logique de déchet à une logique de produit : en complément du traitement destiné à faire disparaître un déchet, cette filière de gestion développe un bien marchand (biogaz, molécule à valeur ajoutée, matériaux, etc.).

Ceci peut se révéler délicat. Cette valorisation, qui aboutit à la production de produits commercialisables issus de renouées, induit un besoin de pérenniser les apports en renouées, alors qu'ils constituent en premier lieu un gisement saisonnier et dispersé à l'échelle des territoires. Les exploitants de cette biomasse ne peuvent donc pas compter de manière continue sur ce gisement et auront besoin de s'assurer d'un apport suffisant et régulier en matière première pour garantir la rentabilité de leur projet. La tentation ne sera-t-elle pas trop grande de cultiver les renouées ? Dans d'autres projets, tournés vers le recyclage de déchets végétaux d'origines multiples, un risque similaire peut provenir d'une forme de concurrence difficile à intégrer dans un processus industriel entre des sources d'approvisionnements dispersées et variables selon les années.

S'ils sont mis en œuvre sans précautions et sans prendre en compte d'importantes considérations écologiques, ces projets de valorisation économique des déchets de renouées peuvent donc s'avérer contre-productifs et présenter de nombreux risques. La dépendance économique qui résulte de la valorisation peut induire des effets « pervers », comme les introductions volontaires, le maintien des populations à gérer à des seuils d'exploitation « durable » ou encore l'intégration des EEE dans la culture locale, leur donnant une image faussement positive. D'autres inquiétudes, portant notamment sur l'insuffisance ou l'absence de précautions mises en œuvre lors du transport ou par les centres de traitement méconnaissant les risques de dispersion des renouées, sont régulièrement exprimées par les gestionnaires et les collectivités.

Une étude menée en 2018 par le groupe de travail IBMA (UICN France, 2018) montre que la valorisation socio-économique ne constitue pas une solution miracle aux difficultés de régulation des EEE. Pour minimiser les risques d'échec, elle doit s'intégrer dans une stratégie globale de gestion, laquelle doit s'appuyer sur des objectifs écologiques clairs. Malgré les importants risques soulevés, des propositions de projet émergent et un cadre de réflexion est nécessaire pour fournir un appui technique aux structures amenées à donner des avis sur de tels projets. Vingt-cinq questions assorties de cinquante points de vigilance sont ainsi proposés dans l'étude pour identifier de manière pertinente les enjeux et les risques des projets de valorisation commerciale d'EEE, avant leur mise en œuvre, afin de s'assurer de leur innocuité pour l'environnement.

national de la mer des Wadden en Basse-Saxe (Allemagne). La demande concernait la gestion des renouées et la possibilité de leur couverture par un tapis de coco : elle précisait seulement que l'objectif de la gestion était d'utiliser des matériaux pouvant rester dans la nature de manière à ne pas avoir à répéter l'intervention de gestion. Parmi les réponses reçues en quelques jours à cette demande figurent des avis assez péremptifs de chercheurs déconseillant le bâchage pour cause d'insuccès d'expérimentations de cette technique, et même la non-intervention présentée comme la meilleure solution dans de nombreux cas (« many cases ») pour ne pas aggraver la situation...

Ces réponses comportaient aussi un rappel sur la nécessité d'évaluation préalable du contexte de la situation à traiter (ce que l'on peut traduire par un examen des caractéristiques des sites et des populations de renouées installées assorti d'une réflexion sur les enjeux et objectifs de la régulation souhaitée) et au moins un avis plus nuancé, s'appuyant sur des résultats obtenus avec des géotextiles résistants sur des peuplements de renouées limités, et selon des prescriptions techniques précises. Enfin, un des courriels était accompagné d'une publication démontrant l'efficacité de tests d'applications de glyphosate selon différentes modalités. On ne peut évidemment pas extraire de généralisation d'un tel exemple, mais il nous semble toutefois démontrer la difficulté de formalisation des échanges car répondre qu'il vaut mieux, dans certains cas (lesquels ?), ne rien faire pour ne pas aggraver une situation à gérer alors qu'on ne possède aucune indication ni argument permettant d'émettre un tel avis à quelqu'un qui demande une aide, ne semble ni une preuve de respect pour la demande et la personne qui la formule, ni d'une grande efficacité dans une démarche générale de partage...

Quelques remarques en guise de conclusion

Ainsi les gestionnaires se trouvent-ils face à des espèces largement répandues, pouvant coloniser des biotopes en sites terrestres et aquatiques, posant des difficultés dans de multiples sites. Dans les demandes quelquefois pressantes de gestion auxquelles ils ont à répondre, ils ont déjà à examiner les enjeux écologiques, sociaux, techniques et financiers des interventions possibles.

Pour ce faire, ils ont aussi à prendre en compte les spécificités biologiques et écologiques de ces espèces, dont, pour les renouées, les risques de dispersion inhérents à leurs rhizomes et les caractéristiques des filières de gestion des déchets produits par les interventions (encadré 1). Ils doivent également tenir compte du fait que l'absence des renouées asiatiques dans la liste d'espèces préoccupantes pour l'Union européenne peut s'avérer une contrainte supplémentaire de la gestion à l'échelle locale de ces espèces, faute de plan national d'action.

Les évolutions de la réglementation sur les EEE et des dispositions financières pouvant être appliquées à leurs interventions sur le territoire dont ils ont la responsabilité sont des éléments importants de la gestion adaptative qu'ils se doivent de mettre en œuvre pour poursuivre leurs activités dans des conditions pérennes. Mais les acquis de la recherche, aussi bien en matière de biologie et d'écologie des espèces qu'ils ont à gérer que dans le domaine des représentations et évolutions sociales sur les invasions biologiques qu'ils peuvent rencontrer dans leurs échanges avec les usagers, peuvent les aider à mieux résoudre l'ensemble de ses difficultés. Grâce à leurs gains de compétences sur les questions de gestion des EEE et à leur participation croissante aux travaux des groupes nationaux et infranationaux, ils occupent collectivement comme partie-prenante une place de plus en plus importante et efficace dans cette vaste problématique et contribuent de mieux en mieux à cet apprentissage collectif dans lequel nous sommes engagés. ■

Les auteurs

Alain DUTARTRE

21 Avenue du Médoc, F-33114 Le Barp, France
✉ alain.dutartre@free.fr

Emmanuelle SARAT

Comité français de l'Union internationale pour la conservation de la nature, Musée de l'Homme, 17 place du Trocadéro, F-75016 Paris, France
✉ emmanuelle.sarat@uicn.fr

EN SAVOIR PLUS...

- GREVSTAD, F.S., ANDREAS, J.E., BOURCHIER, R.S., SHAW, R., WINSTON, R.L., RANDALL, C.B., 2018, *Biology and Biological Control of Knotweeds*, USDA Forest Service, Forest Health Assessment and Applied Sciences Team, Morgantown, West Virginia, FHTET-2017-03, disponible sur : https://www.fs.fed.us/foresthealth/technology/pdfs/FHTET-2017-03_Biocontrol_Knotweeds.pdf#508%20Knotweeds.indd%3A.15501%3A1787
- SARAT, E., DUTARTRE, A., POULET, N., SOUBEYRAN, Y., 2017, A French working group on biological invasions in aquatic environments: Towards an improvement of knowledge and management of freshwater invasive alien species, *Management of Biological Invasions*, 2017, Management of Invasive Species in Inland Waters, 8 (3), p. 415-424, disponible sur : https://www.reabic.net/journals/mbi/2017/3/MBI_2017_Sarat_etal.pdf
- SARAT, E., BLOTTIÈRE, D., DUTARTRE, A., POULET, N., SOUBEYRAN, Y., 2018, *Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques : connaissances pratiques et expériences de gestion (bis)*, volume 3, Agence française pour la biodiversité, Collection Comprendre pour agir, 212 p., disponible sur : http://www.especes-exotiques-envahissantes.fr/wp-content/uploads/2018/07/23072018_comprendre-pour-agir_eee_experiences-de-gestion-vol3_vf_corr.pdf
- UICN FRANCE, 2018, *La valorisation socio-économique des espèces exotiques envahissantes établies dans le milieu naturel : un moyen de régulation adapté ? Première analyse et identification de points de vigilance*, France, 84 p., disponible sur : http://www.especes-exotiques-envahissantes.fr/wp-content/uploads/2018/03/valorisation_socio_eco_eee_uicn_afb.pdf
- CENTRE DE RESSOURCES ESPÈCES EXOTIQUES ENVAHISSANTES (UICN AFB) : <http://especes-exotiques-envahissantes.fr/>
- ASSOCIATION SPIGEST : <https://spigestinvasives.com/>

Les invasions des renouées asiatiques dans l'espace et dans le temps

Les dynamiques d'invasion dans le temps et l'espace des renouées et leurs conséquences sont au cœur des préoccupations des chercheurs et des gestionnaires d'espaces naturels et d'infrastructures. Quel effet provoque l'apparition de renouées dans un milieu et comment celui-ci change avec le temps ? Où vont-elles se disperser ensuite ? Quelle méthode permet de limiter l'abondance des renouées sur une surface, et en combien de temps ? Cet article de synthèse propose de dresser le portrait des processus et des facteurs qui sous-tendent les invasions des renouées de l'échelle de l'établissement des jeunes plantes à l'échelle régionale.



Après avoir suscité l'émerveillement des jardiniers durant près de cent-cinquante ans, les renouées asiatiques (*Reynoutria spp.*), renouée du Japon en tête (*Reynoutria japonica*), suscitent désormais l'intérêt des chercheurs et des gestionnaires de l'environnement depuis au moins trois décennies. Les raisons d'une telle attention partagée sont multiples. Pour les chercheurs, les renouées sont des curiosités fascinantes qui possèdent diverses caractéristiques atypiques. Par exemple, ces plantes possèdent des capacités d'hybridation étonnantes, avec des hybrides aux performances souvent supérieures à celles de leurs parents, et même des hybridations avec des espèces morphologiquement très éloignées comme des vignes grimpantes (*Fallopia baldschuanica*) ou même des lianes (*Muehlenbeckia australis*) (Bailey, 2013). L'arsenal chimique des renouées est également un sujet de recherche qui intéresse nombre de biologistes, chimistes et pharmacologues. Mais ce qui interroge sans doute le plus de chercheurs, tout en faisant le lien avec les intérêts des gestionnaires d'espaces naturels et d'infrastructures, sont les dynamiques d'invasion des renouées et leurs conséquences.

À la grande loterie de l'évolution, les renouées ont été gâtées. Dotées d'une croissance précoce et rapide ainsi que d'un système rhizomateux imposant, les renouées sont des géophytes qui ont la fâcheuse propension à fortement dominer les autres plantes herbacées. Les

renouées sont également très plastiques, et sont capables de pousser dans une large gamme de conditions environnementales. Des capacités de reproduction végétative très efficaces (par dispersion de fragments de tige ou de rhizome) et une résilience devenue proverbiale complètent le tableau pour faire des renouées l'un des complexes d'espèces les plus envahissants au monde. Ainsi, les renouées peuvent former des monocultures couvrant plusieurs centaines de mètres carrés. Elles dominent les abords de milliers de kilomètres de linéaires routiers, ferroviaires ou fluviaux, et ont réussi à coloniser et à devenir abondantes dans la quasi-totalité des pays tempérés de la planète et ce, avec une diversité génétique faible voire totalement nulle dans certaines régions (surtout pour la renouée du Japon). Si certains de leurs impacts ont pu être fantasmés ou exagérés (voir l'article de Lavoie, pages 14-19, dans ce même numéro), il ne fait nul doute que les renouées asiatiques peuvent être localement très problématiques pour la biodiversité ou les activités anthropiques.

L'étude des impacts des renouées, les efforts pour la prédiction de leurs dynamiques, et les innombrables tentatives de gestion et d'éradication de ces plantes ont occupé et continuent d'occuper des armées de chercheurs et de gestionnaires. Dans un sens, quel que soit l'objectif, il s'agit toujours d'étudier les dynamiques dans le temps et l'espace de ces plantes à différentes échelles : quel effet provoque l'apparition de renouées dans un milieu



① De nombreuses jeunes pousses de renouées apparaissent fréquemment sur les berges de cours d'eau après le passage de crues, comme ici sur les bords de la Saône à Anse.

© F.M. Martin (Iristea)

et comment celui-ci change avec le temps? Où vont aller les renouées plus tard? Quelle méthode permet de supprimer ou de diminuer l'abondance des renouées sur une surface, et en combien de temps? Or, en fonction de l'échelle spatiale ou temporelle considérée, les processus qui sous-tendent les dynamiques des renouées changent: l'augmentation en surface d'une tache de renouée n'est pas contrôlée par les mêmes processus que l'augmentation de l'aire de distribution de l'espèce à l'échelle du continent. Avoir une bonne compréhension de ce qui sous-tend les dynamiques d'invasions des renouées à différentes échelles spatiales est donc très important pour ne pas se tromper d'objectif, éviter les conclusions hâtives, et donc élaborer des questions de recherche ou des plans de gestion efficaces. Dans cet article, je propose donc de présenter quels sont les facteurs qui expliquent les dynamiques d'invasion des renouées asiatiques à différentes échelles spatiotemporelles.

Échelle de l'installation des jeunes renouées

La plus basique des dynamiques d'invasion est bien entendu celle qui fait qu'un jour la renouée n'est pas là, et que quelques jours après, elle est apparue. Pour s'établir à un endroit, les renouées doivent y envoyer ce que l'on appelle une propagule, c'est-à-dire soit une graine, soit un fragment de tige ou de rhizome. Il faut ensuite que la propagule donne naissance à une nouvelle plante et que celle-ci réussisse à s'installer, donc à survivre aux conditions environnementales particulières à la petite zone dans laquelle elle va grandir.

Sous certaines conditions, les renouées sont capables de produire de grandes quantités de graines. Pourtant, très peu de plantules de renouées sont retrouvées dans la nature. Cela s'explique par le fait que, si les graines de renouées germent en général très bien dans divers milieux, les plantules qui en sont issues sont extrêmement faibles et ne croissent que très lentement. Celles-ci ne tolèrent en effet pratiquement aucune compétition (lumière, eau, nutriments) de la part des autres plantes. Elles sont également très sensibles aux aléas météorologiques et ne supportent pas le gel ou la sécheresse, pas plus que les perturbations (une destruction de la jeune tige, par exemple). Ainsi, l'établissement des plantules dans l'environnement ne se fait que de manière sporadique et globalement imprévisible, sans doute après des perturbations locales importantes qui détruisent les autres espèces et augmentent donc la disponibilité en ressources (crues, travaux du sol, etc.) (photo ①).

C'est différent pour les jeunes renouées issues de fragments. Contrairement aux graines, les fragments (surtout de rhizomes) possèdent en général des quantités importantes de réserves dans leurs tissus. Les jeunes pousses de renouées issues de ces fragments disposent donc de ressources importantes qui leur assurent une croissance bien plus rapide et bien plus vigoureuse que celle des plantules. Tout ceci dépend évidemment du poids des fragments, et donc de la quantité de réserve qu'ils possèdent (normalement, il faut aussi que ceux-ci possèdent au moins un nœud). Des fragments de rhizome avec des poids de seulement 0,7 g ont pu régénérer et, en conditions optimales, le taux de régénération atteint généralement 100% pour des fragments de 8-10 g. En conditions



© F.M. Martin (Irstea)

De jeunes renouées issues de fragments ne produisent pas la même quantité de biomasse rhizomateuse en treize mois si on les laisse tranquilles (a), ou si on les fauche quatre fois (b).

naturelles, où les jeunes pousses sont soumises à des conditions moins idéales, les taux de régénération sont sans doute plus faibles à poids égal, et il est probable que les tous petits fragments ne régénèrent que s'ils sont dispersés dans des milieux peu contraignants. Néanmoins, le taux de régénération semble grimper en flèche avec le poids des fragments de rhizomes, et ceux-ci peuvent facilement peser des dizaines ou des centaines de grammes, voire des kilos. Les jeunes plantes issues de tels fragments seraient alors capables de tolérer des conditions très difficiles, avec des ombrages importants, de la compétition, des perturbations, et d'endurer des épisodes de stress. Dans une expérimentation récente en conditions semi-contrôlées, des jeunes renouées du Japon soumises à des ombrages de 80% ou à quatre fauches par an ont toutes réussi à survivre et à croître, alors qu'elles étaient issues de fragments de rhizome avec un poids moyen de seulement 16,4 g (photo 2).

On tient souvent pour acquis que les renouées aiment les espaces ensoleillés, assez riches et plutôt acides (certains auteurs disent même que celles-ci n'aiment pas les sols calcaires), et on en déduit généralement que les renouées ne peuvent s'installer dans des conditions différentes de celles-ci. Pourtant, il s'agit bien là d'une simplification qui n'est pas vraiment étayée par les données scientifiques. Le fait est que les renouées peuvent sans doute s'installer dans pratiquement n'importe quel habitat terrestre tempéré pourvu qu'elles soient issues de rhizomes suffisamment gros. On les a vues s'installer dans de nombreuses forêts de feuillus, et même dans des forêts de conifères, sur des sols riches comme très pauvres, acides ou basiques, minéraux ou organiques, pollués, sains, ou même salés, et dans d'innombrables milieux insolites (photo 3). Les deux seules choses empêchant l'installation des renouées de façon certaine sont les sols saturés en eau et les sols très secs. Certaines observations suggèrent également que certains sols ripariens¹ empêcheraient l'installation des propagules

1. Relatif à la rive d'une rivière.

de renouées, mais les causes exactes ne sont pas encore identifiées. Au-delà de ces situations, toute supposition quant à l'impossibilité d'installation des jeunes renouées serait pour le moins présomptueuse.

Échelle des populations de renouées

Une fois qu'une jeune pousse de renouée s'est bien installée dans son milieu, elle produit des rhizomes latéraux au bout desquels vont apparaître de nouvelles tiges (photo 2). Ces nouvelles tiges vont à leur tour produire des racines et, ce faisant, devenir ce que l'on appelle des ramets. Chaque ramet (une tige et ses racines associées) peut devenir indépendant, c'est-à-dire qu'il sera capable de vivre et de créer de nouveaux ramets à son tour même si on sectionne sa connexion (le rhizome) avec le ramet qui l'a initialement produit. L'ensemble des ramets connectés entre eux forme un fragment clonal, donc un individu physiologique. En effet, tant qu'ils restent connectés, les différents ramets peuvent partager des informations et des ressources (eau, nutriments) entre eux, favorisant ainsi le succès homogène du fragment clonal : le fragment clonal est donc un individu multiple. Si le fragment clonal est divisé en deux parties, elles deviennent deux individus physiologiques distincts, mais demeurent des individus génétiques identiques, donc des clones.

En milieu ouvert, la jeune plante va produire rapidement de nombreux ramets pour s'accaparer l'espace et ainsi empêcher la compétition venant d'autres plantes. Elle va donc s'étendre latéralement assez rapidement, tout en restant compacte, jusqu'à atteindre une densité en ramets optimale pour occuper au mieux l'espace sans se faire trop d'ombre à elle-même, tout en n'étant pas trop grande pour que les ramets puissent s'entraider (la distance de translocation des ressources par les rhizomes étant limitée). Une fois cette taille et densité atteinte, l'expansion latérale de la tache devrait devenir extrêmement lente : c'est ce qu'on appelle une croissance en phalange. C'est pour cela que de nombreuses taches mûres semblent ne pas grandir quand on les laisse tranquilles. En milieu ombragé en revanche, la renouée produira moins de rhizomes et donc de ramets. Par contre, elle produira des rhizomes plus longs pour mieux espacer ses ramets, ce qui présentera le double avantage de limiter l'auto-compétition pour la ressource lumineuse (qui est déjà rare), et d'augmenter la probabilité de placer un ramet dans un micro-habitat plus favorable : c'est la croissance en guérilla (Martin *et al.*, 2018). En théorie, cela veut dire que la plante s'étend latéralement plus rapidement qu'en cas de croissance en phalange puisqu'elle chercherait à explorer son environnement plutôt qu'à l'exploiter. Néanmoins, plus de recherches sont nécessaires pour confirmer cela.

En bien des lieux, les taches de renouées ne sont composées non pas d'un, mais de plusieurs fragments clonaux puisqu'elles sont le fruit de la dispersion et de la régénération de nombreux fragments de renouées (Martin *et al.*, 2018). C'est sans doute la seule raison qui puisse expliquer les taches de plusieurs centaines de mètres carrés que l'on rencontre souvent dans la nature. Hors milieu riparien, ce sont les activités anthropiques qui favorisent l'apparition de nouvelles taches de renouées

© Les renouées tentent de se satisfaire du milieu où elles atterrissent, qu'il soit favorable ou non : que ce soit dans une forêt mixte de République Tchèque (a), un talus autoroutier (b), un enrochement à Brooklyn (c), une chambre froide obscure (d), une armoire électrique ferroviaire (e), ou une pile de pont (f).



© F.M. Martin (Istéo)

▶ et l'étalement de celles déjà existantes (dépôts de déchets verts ou transport de terre contenant des fragments de renouées, gestion non maîtrisée, etc.). L'expansion latérale des taches peut également être due en partie à la compétition à laquelle se livrent les différents fragments clonaux qui les composent et qui les incitent à croître du côté où la place est libre : il est plus simple de fuir le combat que de tenter de battre son propre clone pour l'acquisition des ressources.

Sur les bords des cours d'eau, la situation est quelque peu différente. Les milieux ripariens sont en général soumis à des régimes de crues plus ou moins fréquents. Dans certaines conditions, ces crues peuvent arracher des bouts de renouées et les disperser au gré des flots dans des zones de dépôt. On ne sait pas vraiment à partir de quel débit les crues emportent des fragments de tiges

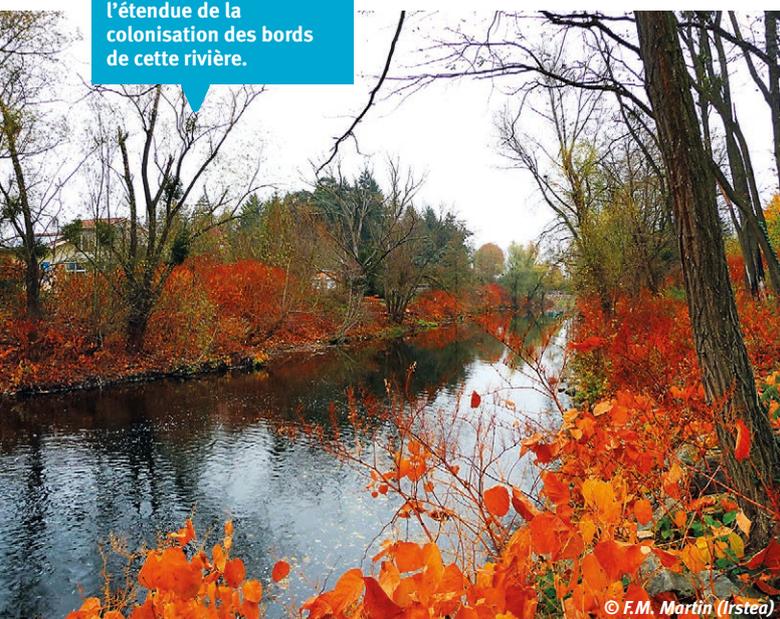
ou de rhizomes, mais on sait que toutes les propagules de renouée (y compris les graines) tolèrent l'immersion et le transport par les eaux (voir l'article de Puijalon *et al.*, pages 34-37, dans ce même numéro). La régénération des fragments de tige serait même augmentée par un passage temporaire dans l'eau. Le pouvoir destructeur des crues faciliterait en outre l'établissement des plantules et des jeunes ramets de renouée en détruisant une partie de la végétation concurrente et en déposant des sédiments chargés de nutriments. Ce mode de dispersion explique l'allongement des taches de renouées ripariennes, ainsi que la colonisation localement semi-continue des berges de cours d'eau (photo 4).

Échelle du paysage

À l'échelle d'un paysage (ou d'une région), la structuration des patrons de distribution des renouées se fait principalement par le processus de la dispersion à longue distance. À l'origine, dans un paysage, les renouées apparaissent grâce à une ou plusieurs populations fondatrices (cela dépend de l'historique d'introduction des renouées à l'échelle supérieure), qui essaïmeront au fil du temps dans la région en dispersant des propagules à distance. Il n'y aura pas forcément un front de colonisation continu dans le paysage, mais plutôt un gradient de densités de population lié aux dynamiques de dispersion courte et longue distance simultanément (Pyšek et Hulme, 2005).

Si l'une des populations fondatrices est située près d'un cours d'eau, alors celui-ci pourra, d'amont en aval uniquement, rapidement disperser les renouées dans les zones de sédimentation de son lit. Les populations filles ainsi créées continueront de recevoir de nouvelles propagules depuis les populations en amont, tout en participant à leur tour à la dispersion en aval (Duquette *et al.*, 2015). Les autres vecteurs de dispersion à longue distance sont bien évidemment les activités anthropiques. Ce seront d'ailleurs les seuls vecteurs de dispersion longue-distance pour les populations fondatrices qui ne sont pas ripariennes, ou qui peuvent faire remonter vers l'amont des propagules de renouées ou les déplacer entre bassins versants. Si elles sont difficiles à prédire, elles ne sont pas non

4 Les couleurs de l'automne montrent l'étendue de la colonisation des bords de cette rivière.



1 LA REPRODUCTION SEXUÉE DES RENOUÉES ASIATIQUES

À l'échelle des populations se déroule également un processus qui intervient en amont de la dispersion des graines : la reproduction sexuée. Celle-ci est loin d'être obligatoire chez les renouées dans leur aire d'introduction, et la plus grande part de l'invasion des renouées s'est faite par la dispersion de fragments de tiges et de rhizomes et non de graines. Pourtant, la reproduction sexuée, fréquente chez les renouées, est un phénomène extrêmement important d'un point de vue évolutif puisque c'est par là que s'opère la sélection naturelle.

Les renouées asiatiques sont gynodioïques. En clair, cela veut dire qu'il existe des fleurs hermaphrodites (mâle-fertiles) et femelles (mâle-stériles) sur des pieds séparés, donc grossièrement des individus mâles et des individus femelles. Cela implique que la reproduction en un site donnée soit contrainte par des processus à des échelles spatiales supérieures. En effet, pour qu'une tache de renouée puisse se reproduire sexuellement, il faut qu'il existe (à vol d'insecte pollinisateur) un individu du sexe opposé. Or, ceci dépend de la dispersion régionale passée des clones de chaque sexe, mais aussi de l'historique d'introduction des taxons de renouées à l'échelle continentale. En Europe de l'Ouest, seule des individus femelles de la renouée du Japon ont été introduits. Aussi, celle-ci ne peut se reproduire sexuellement seule, et le fait donc en s'hybridant avec la renouée de Sakhaline (produisant ainsi des renouées de Bohême), ou avec sa progéniture hybride, opérant alors ce qu'on appelle un rétrocroisement. En Europe de l'Est ainsi qu'en Amérique du Nord, d'autres génotypes fertiles de la renouée du Japon ont été introduits ou semblent avoir été introduits, ce qui lui permet de se reproduire sexuellement seule, même si elle s'hybride également volontiers dans ces régions. La renouée de Sakhaline, quant à elle, possède des individus des deux sexes dans divers régions du monde, mais les patrons spatiaux ainsi créés ne sont pas encore bien clairs. La renouée de Bohême, de nature hybride, parvient à se reproduire avec ses parents (les renouées du Japon et de Sakhaline), mais aussi de manière autonome sous certaines circonstances (Krebs *et al.*, 2010).

plus spatialement aléatoires mais semi-déterministes. En effet, il y aura plus souvent dispersion de renouées dans certaines zones (bords de routes, espaces densément peuplés, décharges, carrières, etc.) que dans d'autres (zones reculées, difficiles d'accès, inhabitées, etc.).

En fait, on peut imaginer un paysage ou une région comme une mosaïque d'habitats plus ou moins favorables à l'établissement des renouées. Si, comme on l'a vu précédemment, quelques rares habitats sont réellement impropres à l'installation des renouées, la plupart ne sauraient empêcher l'installation et le développement de clones issus de gros fragments de rhizomes (dans une région au climat favorable, évidemment). On lit souvent que les renouées ne poussent pas dans tel ou tel habitat (c'est d'ailleurs l'une des hypothèses de base de la plupart des modèles prédictifs régionaux), comme les forêts ou les montagnes, par exemple. Mais cela reflète plus un problème d'échelle temporelle d'observation qu'une véritable impossibilité biologique d'épanouissement pour les renouées. Les bords de routes, les friches ou les zones de sédimentation des cours d'eau de basse altitude sont plus envahis que les forêts, les zones d'érosion, ou les milieux de montagne car les premiers reçoivent plus de propagules (de natures et tailles diverses) et depuis plus longtemps que les derniers. En outre, il ne faut pas oublier que les renouées ne sont dans nos contrées que depuis moins de deux cents ans, elles n'ont pas fini d'avancer (Pyšek et Hulme, 2005 ; Martin *et al.*, 2018). Naturellement, les renouées préfèrent la lumière et ne sont pas dominantes en forêt. Mais on oublie vite qu'elles sont immortelles, et donc patientes. Même ombragées, elles peuvent attendre des décennies qu'une perturbation d'ampleur détruise la végétation dominante (coupe rase, incendie, maladie, etc.) pour, alors, exploser et empêcher la régénération des autres espèces végétales.

Conclusion

Les dynamiques d'invasion des renouées asiatiques, ou de toute autre plante invasive, forment une hiérarchie de processus spatiotemporels emboîtés les uns dans les autres. La dimension temporelle de ces dynamiques, souvent négligée, est fondamentale. Les processus des échelles spatiales les plus larges prennent plus de temps que ceux des petites échelles (expansion régionale contre établissement d'une plantule par exemple).

Considérer les renouées dans le temps est d'autant plus important qu'elles possèdent une nature duale, à la fois plantes à graines et plantes clonales, donc incroyablement persistantes. Sans perturbations (notamment anthropiques), l'expansion des renouées est extrêmement lente et leurs dynamiques naturelles se produisent donc à des pas de temps qui dépassent de beaucoup nos échelles d'observations habituelles. Par conséquent, leur absence de certains milieux, à quelque étendue spatiale que ce soit, ne témoigne pas nécessairement d'une incapacité à coloniser ces espaces, mais plutôt d'un temps de résidence assez limité (elles n'ont été introduites qu'au dix-neuvième siècle) et d'une plus faible pression d'introduction. Les préconisations de gestions doivent donc en tenir compte.

Néanmoins, on ignore encore beaucoup de chose sur les dynamiques d'invasion des renouées, notamment sur sa clonalité. De plus amples recherches devraient être conduites pour déterminer, entre autre, à partir de quel poids un fragment de rhizome peut s'établir dans des conditions censées être défavorables aux renouées ? Combien de temps mettent les renouées à atteindre une taille optimale (à partir de quand la courbe du taux d'expansion latérale se stabilise-t-elle) ? Est-ce que les connexions entre les rhizomes finissent par se sectionner d'elles-mêmes avec le temps ? Est-ce que les renouées sont capables de se déplacer et de choisir leur habitat comme cela a été observé chez d'autres plantes clonales ? Ou encore, de quelle façon l'hétérogénéité environnementale et les interactions biotiques modulent-elles ces formes de croissance ? ■

L'auteur

François-Marie MARTIN
Univ. Grenoble Alpes, Irstea, LESSEM,
F-38000 Grenoble, France.
✉ francois.martin@irstea.fr

EN SAVOIR PLUS...

- **BAILEY, J.P., 2013**, The Japanese knotweed invasion viewed as a vast unintentional hybridisation experiment, *Heredity*, vol. 110, p. 105-110.
- **DUQUETTE, M.-C., COMPÉROT, A., HAYES, L., PAGOLA, C., BELZILE, F., DUBÉ, J., LAVOIE, C., 2015**, From the source to the outlet: understanding the distribution of invasive knotweeds along a North American river, *River Research and Applications*, vol. 32, p. 958-966.
- **KREBS, C., MAHY, G., MATTHIES, D., SCHAFFNER, U., TIÉBRÉ, M.-S., BIZOUX, J.-P., 2010**, Taxa distribution and RAPD markers indicate different origin and regional differentiation of hybrids in the invasive *Fallopia* complex in central western Europe, *Plant Biology*, vol. 12, p. 215-223.
- **MARTIN, F.-M., DOMMANGET, F., JANSSEN, P., SPIEGELBERGER, T., VIGUIER, C., EVETTE, A., 2018**, Could knotweeds invade mountains in their introduced range? An analysis of patches dynamics along an elevational gradient, *Alpine Botany*, vol. 129, p. 1-10.
- **PYŠEK, P., HULME, P.E., 2005**, Spatio-temporal dynamics of plant invasions: linking pattern to process, *Ecoscience*, vol. 12, p. 302-315.

Dispersion par les cours d'eau des propagules végétatives et sexuées du complexe d'espèces *Reynoutria*

Chez les renouées asiatiques (complexe *Reynoutria*), l'eau des rivières est un des principaux vecteurs naturels de dispersion des propagules sexuées (akènes ailés) et végétatives (fragments de tiges et de rhizomes). Les auteurs de cet article ont étudié la flottaison et la viabilité de ces trois types de propagules en conditions expérimentales pour différentes taches de renouées. De leurs études, il en ressort une grande variabilité entre les taches pour un grand nombre de traits impliqués dans la dispersion par le cours d'eau et la colonisation des berges.



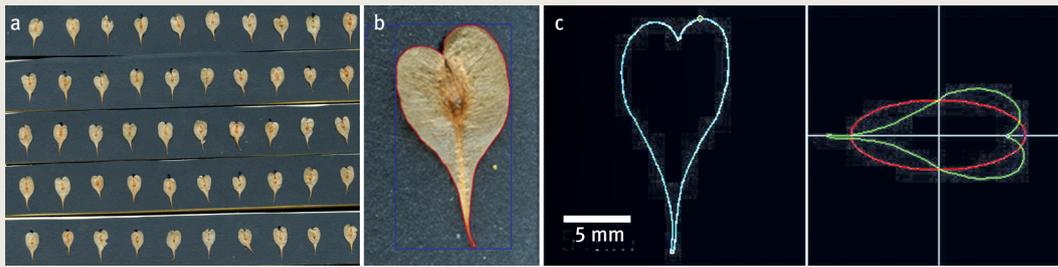
Les espèces qui se déplacent et s'installent dans des environnements nouveaux, parfois très différents de leur habitat natif, possèdent des traits liés à la dispersion et la colonisation qui leur confèrent un succès dans la conquête de ces nouveaux espaces. Certains traits des propagules sont fortement impliqués dans la dispersion et la colonisation, une propagule étant définie en botanique comme une partie d'une plante capable de développer un nouvel individu. Par ailleurs, les patrons de propagation d'une espèce résultent à la fois des processus de dispersion locale et des processus de dispersion sur de longues distances. La dispersion locale est assurée par la multiplication végétative chez les espèces clonales, et/ou la production de graines ou de fruits et par des vecteurs associés à leurs caractéristiques morphologiques, appelé vecteur de dispersion standard (e.g. dispersion par le vent des samares). La dispersion sur de longues distances qui s'effectue souvent par le biais des vecteurs de dispersion non standards, a un rôle majeur dans la capacité de propagation d'une espèce. Un exemple fréquemment cité est l'augmentation des distances de dispersion des propagules terrestres par les cours d'eau qui peut être avantageuse pour les espèces terrestres. Plusieurs espèces de bord de cours d'eau ont des mécanismes permettant une longue flottaison, accompagnés d'un retard de la germination garantissant une meilleure survie des propagules.

Dans ce contexte, la variabilité des traits est une condition importante pour la propagation d'une espèce, en particulier pour une espèce introduite. Cette variabilité

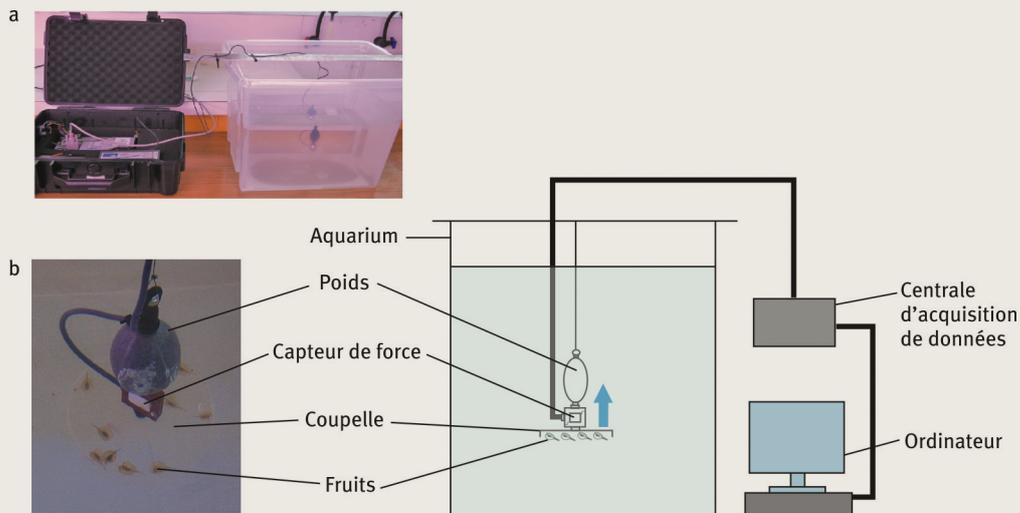
phénotypique peut avoir deux origines qui ne sont pas mutuellement exclusives : (1) l'espèce présente une grande plasticité phénotypique lui permettant de se développer dans de nombreux habitats et/ou (2) l'espèce acquiert une diversité génétique qui augmente alors sa variabilité phénotypique dans l'aire d'introduction. Le premier cas, correspondant à de nombreuses espèces envahissantes, explique par exemple l'expansion d'une espèce clonale dans son aire d'introduction. Dans le deuxième cas, les espèces évoluent rapidement par des processus tels que la dérive génétique, la recombinaison, l'hybridation interspécifique et une forte pression de sélection de l'habitat. La variabilité génétique de l'espèce, préalablement faible lors de son introduction, augmente. L'expression phénotypique d'une espèce, constituée des variations génétiques et des réponses plastiques, détermine donc la capacité d'une espèce à répondre aux variations environnementales dans le temps et dans l'espace.

Le complexe d'espèces *Reynoutria* est un modèle de plantes terrestres qui présentent d'importantes capacités de dispersion par la production de propagules sexuées (akènes ailés) et végétatives (fragments de tiges et de rhizomes). Les fragments de rhizomes et de tiges aériennes de tous les taxons de *Reynoutria* présentent une importante capacité à régénérer une plante entière, notamment en milieu aquatique. En revanche, le rôle de la production de propagules sexuées dans la dispersion a été négligé à l'exception de quelques études qui démontrent la contribution des graines dans le succès de colonisation de *Reynoutria*. En France, il a été démon-

- ❶ Analyse par imagerie de la surface plane des akènes : surface et contour. Support permettant l'acquisition des images planes des akènes (a). Sortie visuelle des logiciels utilisés, après l'analyse de la surface (b) et de la forme (c) (données personnelles).



- ❷ Dispositif expérimental permettant la mesure de la force de flottaison. Pour chaque mesure, dix akènes sont placés sous le capteur de force, lesté et placé dans un aquarium rempli d'eau. Le capteur de force est relié à une centrale d'acquisition de données, et l'enregistrement des données se fait sur un ordinateur.



tré que certains génotypes de *R. x bohemica* produisent une grande quantité de fruits fertiles. Le complexe d'espèces *Reynoutria* colonise fortement les berges des cours d'eau. L'eau constitue un vecteur potentiel de propagules, dont le rôle dans la dispersion de *Reynoutria* a été étudié à l'Université Lyon 1. Dans une première étude, la capacité de flottaison et de germination des akènes d'un pied-mère de *R. x bohemica* a été déterminée expérimentalement en mésocosme, en eau agitée durant vingt-huit jours. Après environ deux jours dans l'eau, 50% des akènes flottent encore. Après trois jours dans l'eau, les akènes germent et les jeunes plantules flottent encore, ce qui allonge la durée potentielle de dispersion par le cours d'eau. En outre, l'exposition des akènes à l'eau, quelle qu'en soit la durée, favorise de manière significative le taux de germination sans affecter la survie des plantules, comparée à une transplantation directe dans le sol. L'exposition des akènes à l'eau favorise donc fortement leur germination et la survie des plantules. Ces résultats démontrent que les akènes et les plantules de *Reynoutria* ont un important potentiel à être dispersés avec succès par les cours d'eau.

Pour aller plus loin, et parce que ce modèle, de par sa nature de complexe interspécifique polyploïde¹, possède une importante diversité génétique, il a été recherché si des variations des traits de dispersion par l'eau des akènes et de colonisation existaient et si certains génotypes présentaient des stratégies distinctes.

Propagules sexuées (akènes) : traits de dispersion et flottaison pour soixante taches de *Reynoutria*

Capacités de flottaison des akènes

Le lien entre les traits morphologiques des akènes et leur capacité de flottaison (performance) a été étudié pour soixante taches de *Reynoutria*, échantillonnées sur la Région Auvergne-Rhône-Alpes sur plusieurs grands cours d'eau et leurs affluents (Rhône, Loire, Saône, Isère, Ain, Azergues, Gier). Une tache représente un individu qui s'est développé de manière clonale sur une surface de taille variable. La taille et la forme des akènes ont été mesurées à partir de cent akènes scannés pour chacune des soixante taches échantillonnées. La taille est mesurée par la surface de deux ailes projetées sur le même plan. La forme est décrite par une analyse de contour basée sur des coefficients elliptiques de Fourier (vingt harmoniques). Cette méthode permet une description fine de la forme de l'achène (figure ❶).

La performance des akènes a été mesurée par la force de flottaison, en plaçant 10 lots de 10 akènes par tache, choisis aléatoirement, sous un capteur de force installé dans un aquarium rempli d'eau (figure ❷).

1. Ensemble des individus et des populations d'une espèce, ou d'espèces d'un genre, qui présentent un nombre variable de génomes (ou degré de ploïdie).



Les résultats de ce travail montrent que toutes les taches produisent des akènes qui flottent. Le nombre de taches échantillonnées dans ce travail (soixante taches au niveau régional) permet de généraliser les résultats de Rouifed *et al.* (2011) sur les capacités de flottaison des akènes de *Reynoutria*. De plus, la taille et la forme des akènes ont un effet significatif sur leur performance. Les akènes de grande taille et de forme arrondie ont une meilleure flottaison (Lamberti-Raverot *et al.*, 2017).

Des traits de dispersion et de colonisation variables pour les akènes

La variabilité de trois traits clés des akènes de *R. x bohemica* a été mesurée pour dix taches sélectionnées parmi les soixante taches initialement échantillonnées, sur des critères d'éloignement géographique, mais également sur les différences morphologiques des akènes. Les dix taches sélectionnées produisent des akènes fertiles. Les traits mesurés sont le temps de flottaison, la germination et la viabilité après un séjour dans l'eau.

Les traits impliqués dans la dispersion par l'eau (flottaison, germination et viabilité) des akènes et des plantules présentent une variabilité importante entre les différentes taches échantillonnées. La plupart des akènes présentent la capacité de germer dans l'eau et les plantules flottent ensuite à la surface, prolongeant ainsi le temps de dispersion potentielle par le cours d'eau. Le pourcentage de germination varie entre les taches et n'est pas modifié par le passage par l'eau. Ceci n'est pas en accord avec nos résultats obtenus pour une seule tache de *Reynoutria*, montrant que le pourcentage de germination des akènes était supérieur lorsque les akènes germaient dans l'eau par rapport à ceux placés en terreau, suggérant l'existence d'une variabilité également pour ces propriétés des akènes. Tous les akènes germent dans l'eau, mais on observe une grande variabilité de réponse, en termes de survie, suite à l'exposition à l'eau, avec des individus particulièrement résistants et d'autres dont la survie diminue pour des expositions longues. Par ailleurs, le temps de germination ne semble pas être lié à la survie des plantules. L'étude de la combinaison des traits n'a pas permis d'identifier plusieurs stratégies de dispersion. Elle a cependant permis de démontrer que certaines taches de renouées présentent une combinaison de traits bien adaptés à la dispersion par les cours d'eau sur de longues distances, constituée par des temps longs de dispersion au stade akène et une bonne survie après la phase de transport dans l'eau. Cette combinaison de traits permet d'augmenter la distance de dispersion en milieu aquatique sans que la viabilité ne soit affectée.

Propagules végétatives : traits de dispersion et flottaison

Les traits étudiés sur les propagules végétatives (fragments de rhizomes et de tiges aériennes) sont la flottaison et la viabilité après une exposition à l'eau. Cette étude a été menée sur dix taches. Pour cette étude, les fragments de rhizomes sont composés d'un nœud et de la moitié des deux entre-nœuds adjacents de manière à obtenir une unité de régénération composée d'un méristème² et des réserves correspondantes. Les fragments de tiges aériennes utilisés dans cette étude possèdent deux

nœuds et un entre-nœud intact, de manière à conserver les structures participant à la flottabilité des fragments plus fréquemment retrouvés *in situ*.

Fragments de rhizomes

Les fragments de rhizomes ne flottent pas. La moitié des rhizomes restent viables après immersion pendant environ trois semaines pour l'ensemble des dix taches et la probabilité de régénération pour une durée longue (soixante-dix jours) n'est pas nulle pour la moitié des taches. Des événements de dispersion importants peuvent avoir lieu lors des crues, par l'érosion des berges et le transport de sédiments contenant des rhizomes. Étant donné le volume de rhizomes produit par un individu bien développé, le nombre de propagules dispersées est élevé et, par conséquent, même si seule une faible proportion de rhizomes reste viable, la pression de propagule est importante pour des temps de dispersion longs.

La durée d'immersion n'a pas d'effet sur le développement des plantules issues des fragments de rhizomes et sur la masse totale de la plantule régénérée. La masse finale de la plantule dépend uniquement de la masse initiale du rhizome participant à la dispersion

Fragments de tiges

Les temps de flottaison ont été mesurés sur deux lots de vingt fragments de tiges, dans des mésocosmes³ remplis d'eau agitée continuellement (photo 1). La viabilité de ces fragments a été quantifiée au cours du temps pendant deux mois.

Nos résultats montrent que le nombre de fragments flottants diminue avec le temps. La capacité de flottaison des fragments de tiges n'est pas identique pour les dix taches étudiées. En effet, elle dépend de la morphologie de la tige, en particulier de la proportion de vide

1. Mésocosme de 18 L (40 x 33,5 x 17,5, L x l x h) permettant de tester la capacité de flottaison des fragments de tiges. La régénération des fragments se fait presque exclusivement dans l'eau, avec le développement des parties aériennes (tiges et feuilles) et de racines.



© B. Lamberti-Raverot

2. Chez les végétaux, tissu cellulaire spécialisé dans la croissance.
3. Dispositif expérimental dans lequel tous les paramètres environnementaux sont contrôlés pour reproduire les conditions naturelles de vie des espèces.

de l'entrenœud. La régénération des fragments se fait presque exclusivement dans l'eau, avec le développement des parties aériennes (tiges et feuilles) et de racines. Le taux de survie des fragments de tige à la fin de l'expérimentation (soixante-dix jours dans l'eau suivis de la survie en terre) n'est pas nul. Les différences de valeur de traits entre les taches sont principalement liées à une variabilité morphologique des tiges. Bien que l'origine de cette variabilité puisse être fixée en partie génétiquement, *in situ*, des facteurs exogènes peuvent conduire à une modification de ces traits. En effet, certaines conditions environnementales, mais également la gestion de la renouée par la fauche intensive, peuvent conduire, par exemple, à un affaiblissement du rhizome caractérisé par un développement des tiges avec une proportion de vide réduit, ayant une moindre performance dans la dispersion par les cours d'eau.

Stratégies de dispersion et de colonisation intégrant les trois types de propagules

Chez *Reynoutria*, les akènes et les fragments végétatifs (tiges aériennes et rhizomes) peuvent être dispersés par les cours d'eau, augmentant alors la pression de propagules dans ce type de milieu. De plus, le potentiel de dispersion et de colonisation diffère entre les trois types de propagules, en particulier en termes de capacité de flottaison et de régénération dans l'eau. En revanche, elles ont une caractéristique commune qui est le maintien de leur viabilité pendant environ trois semaines dans l'eau. Les rhizomes ne sont pas des propagules flottantes, leur dispersion est favorisée par des événements de forts courants, qui entraînent l'érosion des sédiments, l'arrachage des fragments de rhizomes, leur transport et leur dépôt à l'aval. Les rhizomes sont des organes pérennes, présents toute l'année mais la saison favorable à leur dispersion dépend d'une part du régime de crues des cours d'eau et d'autre part, de la phase de croissance de la plante, avec un maximum de réserves stockées pendant l'hiver. Les tiges peuvent flotter pendant des longues périodes et produire des racines et des organes aériens durant le transport, ce qui permet une colonisation rapide du site de dépôt. La période de dispersion peut être de plus de deux mois pour les tiges creuses de grande taille par rapport aux tiges moins développées ayant une flottabilité de quelques jours. Les tiges aériennes sont présentes du printemps à l'automne, mais il a été montré que ce sont principalement les fragments de tiges produits en été, naturellement par l'action mécanique du courant ou des animaux ou artificiellement par la gestion des massifs, qui ont une meilleure capacité de régénération. Les akènes sont produits à l'automne et atteignent leur maturation en hiver. Ils sont donc dispersés pendant l'hiver. S'ils sont dispersés en début d'hiver, les basses températures peuvent inhiber la germination jusqu'à la remontée des températures. Si les akènes sont dispersés à la fin de l'hiver, ils peuvent germer dans l'eau et prolonger ainsi le temps de dispersion d'environ un mois, ce qui leur permet de parcourir une plus longue distance. La production de ces trois types de propagules et leurs capacités de dispersion et de colonisation par les cours d'eau s'étendent sur une année entière, ce qui permet de réduire fortement l'impact de la stochasticité⁴ environne-

mentale sur le succès de colonisation, à une saison donnée (e.g., inondations ou assèchements prolongés, fortes crues). Assez proche de la stratégie du « toujours prêt » démontré pour les espèces aquatiques, il est possible ici de proposer la stratégie du « toujours là ».

Une variabilité importante entre les taches, pour un grand nombre de traits impliqués dans la dispersion par les cours d'eau et la colonisation des berges, a été mise en évidence. Cette variabilité a également été constatée chez *Reynoutria* pour un grand nombre de traits et en particulier chez le taxon hybride *R. x bohémica*. La composante génétique de cette variabilité peut être expliquée, chez *R. x bohémica*, par les multiples événements d'hybridation et de rétrocroisements entre les différentes espèces du complexe. La reproduction sexuée est le moteur de cette variabilité et le rôle de la dispersion des akènes prend alors toute son importance et peut participer aux patrons de distribution de cette diversité.

La prise en compte de la variabilité des traits mesurés au sein d'une espèce est importante car la combinaison de certaines valeurs de traits peut mener à différentes stratégies de dispersion et de colonisation. Chez *Reynoutria*, il est possible d'identifier des individus ayant des traits, en particulier au niveau des akènes, conférant des capacités de propagation sur des longues distances le long des cours d'eau. ■

4. Caractère de ce qui évolue de manière aléatoire.

Les auteurs

Sara PUIJALON, Mélanie THIÉBAUT, Barbara LAMBERTI-RAVEROT et Florence PIOLA
LEHNA, Université Lyon 1, UMR 5023,
43 boulevard du 11 novembre 1918,
F-69622 Villeurbanne Cedex, France.
✉ sara.pujalon@univ-lyon1.fr
✉ melanie.thiebaut@univ-lyon1.fr
✉ blamberti@yahoo.fr
✉ florence.piola@univ-lyon1.fr

Soraya ROUIFIED
ISARA, 23 rue Jean Baldassini, F-69007 Lyon, France.
✉ srouified@isara.fr

EN SAVOIR PLUS...

- ✉ **LAMBERTI-RAVEROT, B., PIOLA, F., THIÉBAUT, M., GUILLARD, L., VALLIER, F., PUIJALON, S.**, 2017, Water dispersal of the invasive complex *Fallopia*: the role of achene morphology, *Flora*, n° 234, p. 150-157.
- ✉ **LAMBERTI-RAVEROT, B., PIOLA, F., VALLIER, F., GARDETTE, V., PUIJALON, S.**, 2019, Achene traits involved in the water dispersal of the invasive *Fallopia x bohémica* complex: Variability and dispersal strategies, *Flora*, n° 251, p. 88-94.
- ✉ **TRUSCOTT, A.M., SOULSBY, C., PALMER, S.C.F., NEWELL, L., HULME, P.E.**, 2006, The dispersal characteristics of the invasive plant *Mimulus guttatus* and the ecological significance of increased occurrence of high-flow events, *Journal of Ecology*, 94(6), p. 1080-1091.
- ✉ **POLLUX, B.J.A., VERBRUGGEN, E., VAN GROENENDAEL, J.M., OUBORG, N.J.**, 2009, Intraspecific variation of seed floating ability in *Sparganium emersum* suggests a bimodal dispersal strategy, *Aquatic Botany*, 90(2), p. 199-203.

L'analyse cartographique des colonisations végétales, un outil précieux et indispensable pour la gestion

La prévention par la détection précoce des renouées ou les interventions sur les débuts de colonisation sont des opérations à privilégier pour limiter les coûts de leur gestion et pouvoir encore agir sur le terrain. Mais comment définir quantitativement ces débuts d'invasion en ayant une approche cohérente sur les territoires ? Et quelles méthodes mettre en place pour freiner les invasions ? L'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse propose un outil cartographique permettant d'évaluer les niveaux d'invasion puis d'établir des plans de gestion adaptés.



La reconnaissance des effets majeurs des invasions végétales sur les espèces et les habitats ont conduit à mettre en avant la lutte contre les espèces exotiques envahissantes dans l'orientation fondamentale 6C des schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) du bassin Rhône-Méditerranée et du bassin de Corse (2016-2021). L'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (RMC) a ainsi engagé en 2016 une étude pour définir les priorités de cette lutte et pouvoir fixer ses aides. En effet, la plupart des gestionnaires de milieux naturels se voient confrontés à un domaine de connaissances très nouveau, où les mesures concrètes et appliquées pour ralentir la colonisation par des espèces exotiques sont encore en développement. Leurs principales difficultés portent sur les aspects stratégiques à l'échelle de leur territoire (quelles espèces gérer et où ?) et sur la gestion des espaces colonisés (quelles méthodes pour freiner les invasions ?). Dans ces questionnements, formuler des objectifs précis et argumentés pour son territoire géographique a une grande importance, non seulement pour définir des actions concrètes puis les évaluer plus tard, mais aussi pour trouver des financements.

C'est dans ce contexte que fin 2017, le travail réalisé pour l'Agence de l'eau a abouti à la mise au point d'une méthode appliquée pour établir des plans d'actions concernant les espèces exotiques envahissantes sur les zones humides et les rivières. Des espèces prioritaires pour leurs impacts sur les milieux rivulaires et aquatiques

ont été retenues parmi plusieurs centaines d'espèces exotiques envahissantes connues. Ces espèces ont été classées en quatre catégories : A pour une gestion prioritaire, B pour une gestion conseillée, C pour une gestion pertinente sur les milieux renaturés ou remarquables et E pour les espèces émergentes. Ce classement a été adapté et décliné pour cinq grands types de milieux ainsi qu'au niveau géographique en distinguant la Corse et les trois grands domaines biogéographiques alpin, méditerranéen et continental présents dans le bassin Rhône Méditerranée.

Compte-tenu de leurs impacts majeurs sur les habitats naturels, les renouées asiatiques ont été classées comme émergentes et urgentes à gérer pour les cinq grands types de milieux du domaine méditerranéen et en Corse. Partout ailleurs, elles ont été classées comme prioritaires à gérer, chaque fois que cette gestion était encore financièrement et techniquement possible.

Les questions stratégiques de la gestion

Les impacts et le coût de la gestion des renouées limitent les possibilités d'interventions dans les milieux naturels. C'est pourquoi la prévention par la détection précoce ou les actions sur les débuts de colonisation sont des opérations à privilégier. Les interventions précoces ont pour but d'éviter la colonisation de nouveaux milieux et de regagner le plus possible d'espaces non colonisés. Leur pertinence peut être appréhendée à différentes échelles

géographiques. Mais comment définir quantitativement ces débuts d'invasion pour avoir une approche cohérente sur tous les territoires ? La définition de niveaux croissants de colonisation depuis l'introduction initiale de la plante jusqu'au milieu « envahi » reste en effet théorique, sans valeurs quantifiables précises. Or les gestionnaires et leurs partenaires techniques et financiers ont besoin de ce type de données pour se mettre d'accord sur un plan d'actions. Une vision neutre et partagée de l'état de colonisation d'un territoire est indispensable pour apporter une cohérence aux nouvelles politiques publiques de lutte contre les invasions végétales. Et c'est grâce à celle-ci que l'inventaire cartographique des plantes, réalisé en période végétative et comme un préalable indispensable à toute réflexion sur la gestion, peut devenir un véritable outil interprétatif pour éclairer les décisions.

Définir une échelle de stades invasifs

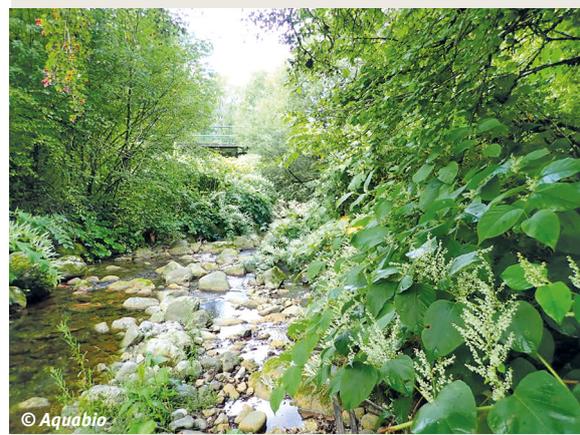
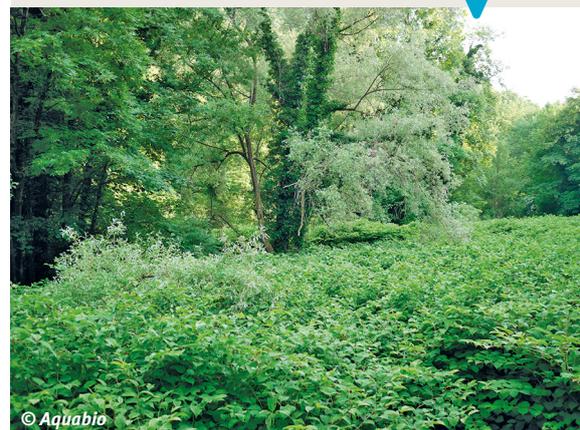
Ces besoins concrets ont conduit à la définition d'une échelle quantitative basée sur la densité de renouées par segment de cours d'eau¹ et appelée le stade invasif. Utilisée pour définir une stratégie globale dans un territoire de gestion², l'échelle permet aussi d'analyser sur des cartes la colonisation le long du réseau hydrographique. Le stade invasif peut en effet être calculé pour un vaste chevelu hydrographique ou sur chacun des segments composant ce réseau. Généralement, plus l'introduction de la plante est ancienne, plus le nombre de massifs puis la superficie totale colonisée sont importants. Sur les cartes, les secteurs en début de colonisation vont ainsi apparaître sur des segments colorés en vert, alors que les plus anciennement colonisés (zones historiques d'introduction) sur des segments en rouge. Entre les deux, la gradation de couleur, jaune puis orange, montre des stades intermédiaires. Le même type de calcul effectué à l'échelle du territoire, apporte une autre indication précieuse pour le gestionnaire, celle du niveau global d'envahissement des cours d'eau et par voie de conséquence, l'ambition possible d'un éventuel plan d'actions.

Les plans d'actions évoqués ici sont ceux établis dans le cadre d'un intérêt général³ par les collectivités publiques en charge de la compétence GEMAPI (Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations). Ils répondent à une stratégie globale sur le territoire. L'originalité de la démarche proposée par l'Agence de l'eau RMC est de définir clairement les grandes orientations de ces futurs plans d'actions locaux. Il s'agit avant tout de lutter contre la dissémination des plantes invasives, car cette démarche est plus efficace que tenter de gérer des sites déjà envahis. Ici, l'élimination des plantes n'est pas un but, mais elle peut être un moyen de stopper leur dissémination naturelle. De plus, les activités humaines sont à prendre en compte, car elles jouent souvent un rôle majeur dans la dispersion des propagules. Selon les territoires, ces plans d'actions seront par conséquent plus ou moins complexes à définir et à mettre en place. Dans ce travail d'élaboration, la valeur du stade invasif global indique aussi le niveau d'ambition recommandé : elle peut s'échelonner depuis la valeur 0, où la plante est absente et le plan d'actions cherchera à préserver cette situation (objectif le plus ambitieux), jusqu'à la valeur 4, où le niveau de colonisation des milieux est trop avancé

pour envisager de freiner sa progression (aucun objectif, photo ❶). Cette limite est fixée par des critères de faisabilité technique et financière. Entre ces deux situations extrêmes, trois autres valeurs de stades invasifs fixent une gestion graduée avec des objectifs de moins en moins ambitieux quand le territoire est de plus en plus envahi. En résumé, les objectifs des plans d'actions se traduisent ainsi pour les cinq échelons du stade invasif global :

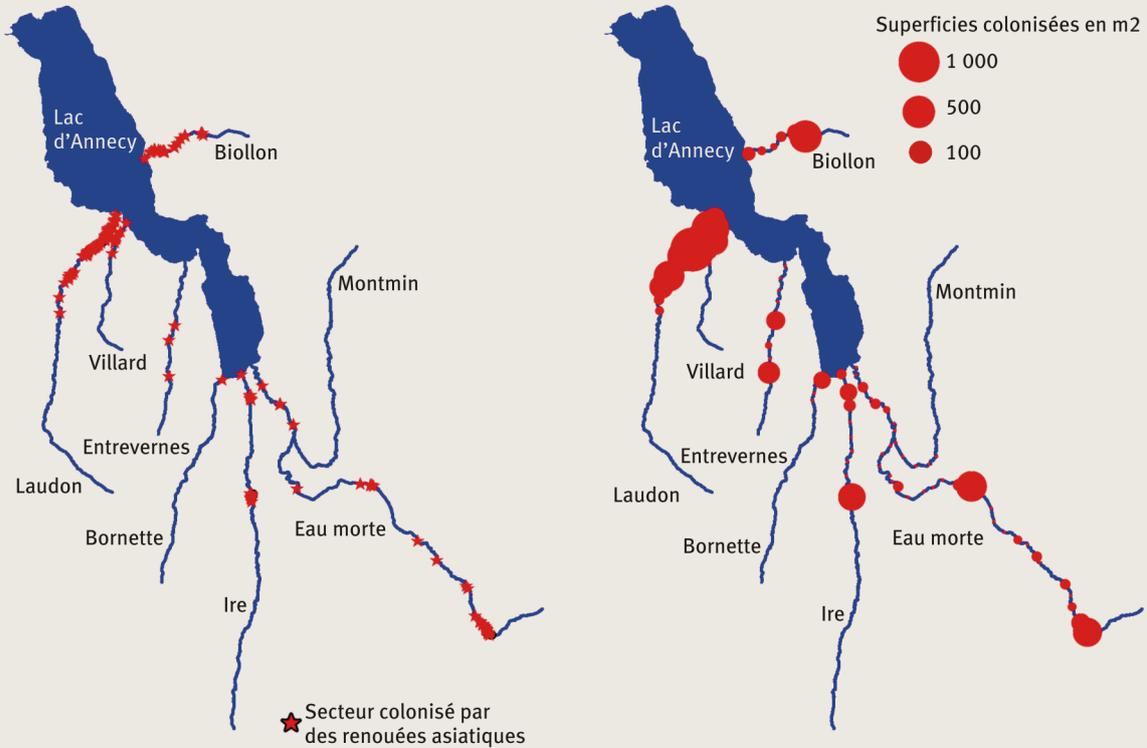
- stade 0 (plante absente) : préserver le réseau de toute introduction de la plante ;
- stade 1 (introduction-début de colonisation) : stopper toute dispersion de propagules ;
- stade 2 (colonisation effective de nouveaux secteurs) : ralentir la dispersion des propagules ;
- stade 3 (colonisation avancée) : ralentir l'envahissement de certains secteurs ;
- stade 4 (colonisation très avancée avec une forte densité de massifs et une surface couverte importante) : gestion non pertinente.

❶ Deux secteurs où les renouées asiatiques sont en stade invasif 4 (la Fure en Isère (en haut) et le Flan en Haute-Savoie (en bas)).



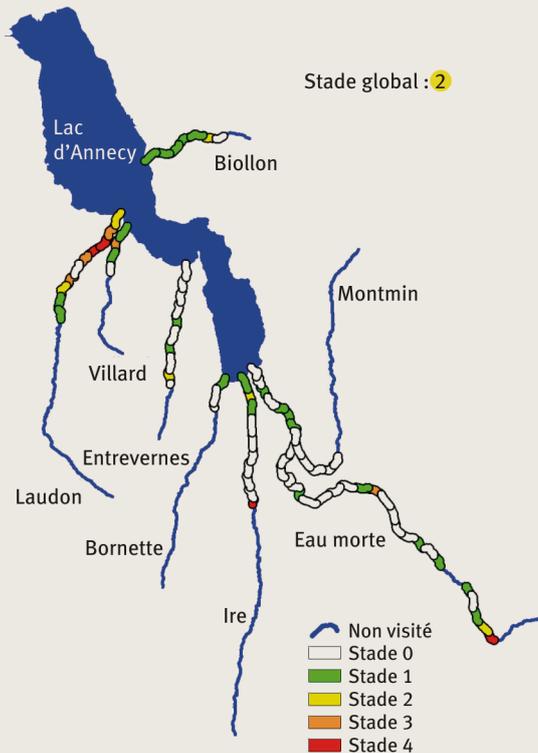
1. Un segment correspond à une unité cartographique de longueur fixe.
2. Un territoire de gestion correspond à un cours d'eau, ou un grand secteur de cours d'eau, avec ses affluents permettant des interventions coordonnées et cohérentes réalisées par un ou plusieurs gestionnaires.
3. Ces projets sont soumis à des dispositions réglementaires, qui obligent notamment à démontrer leur caractère d'intérêt général dans un dossier soumis à une enquête publique.

1 Les différentes représentations cartographiques de l'invasion des affluents du lac d'Annecy par les renouées asiatiques. La carte 1 représente chaque site colonisé par les renouées asiatiques, la carte 2 les superficies totales colonisées par segment de 500 m, et la carte 3, les stades invasifs évalués par segment de 500 m et à l'échelle du réseau hydrographique.



Carte 1 - Inventaire des secteurs colonisés

Carte 2 - Surface totale colonisée par segment de 500 m



Carte 3 - Stades invasifs des renouées asiatiques

L'échelle ne s'intéresse qu'aux premières étapes de l'envahissement des milieux, ceux sur lesquels il est encore possible d'intervenir. Le stade 4 regroupe par conséquent une gamme étendue de niveaux d'envahissements.

Cartographier la colonisation des cours d'eau

En 2018, le Syndicat mixte du lac d'Annecy a fait réaliser l'inventaire des plantes invasives présentes dans certains cours d'eau ou portions de cours d'eau. La figure 1 montre trois types de représentation de la situation.

La carte 1 (figure 1) montre uniquement la présence ou l'absence de la plante. Cette première information est importante, mais en l'absence de données sur les surfaces colonisées, elle est insuffisante pour ensuite définir un plan de gestion ; ce n'est pas la même situation d'avoir dix massifs de 1 m² ou dix massifs de 100 m² sur un cours d'eau. La carte 2 (figure 2) apporte cette information sur les surfaces. Néanmoins, chacun de ces deux visuels est rapidement saturé, si les cartes ne sont pas agrandies quand la densité de plantes ou les surfaces augmentent. La carte 3 (figure 3) réalisée à partir des stades invasifs évalués sur chaque unité cartographique montre clairement différents niveaux de colonisation quelle que soit la dimension de la carte. Cette représentation par un jeu de cinq couleurs facilite la lecture par les gestionnaires. Elle aide aussi à visualiser la dynamique de colonisation des cours d'eau, qui se déroule en fonction d'un historique plus ou moins complexe d'introductions multiples de la plante sur différents secteurs. La dynamique naturelle de colonisation des cours d'eau par les renouées asiatiques se fait logiquement de l'amont vers l'aval depuis le site initial d'introduction, puisque les crues sont le moteur naturel de la dissémination par érosion des berges et transport des propagules plus en aval. Mais les interventions humaines perturbent souvent ce processus naturel ; elles agissent fréquemment comme un facteur majeur d'accélération de l'envahissement des milieux en transportant et en réintroduisant des propagules en amont ou en aval, ou en fragmentant et dispersant les plantes sur certains sites.

Ainsi, les stades 1 correspondent souvent à des fronts de colonisation vers l'aval, où les renouées sont en train de s'installer discrètement, ou à de nouvelles introductions de la plante, par des terres rapportées par exemple. Les stades 3 et 4 localisent les zones les plus envahies comme celles où la plante déjà présente, a été dispersée involontairement par des travaux, ou celles de colonisation plus ancienne, en particulier au niveau des premières secteurs d'introduction.

Les différentes valeurs de stades invasifs peuvent aussi mettre en évidence des différences liées aux cours d'eau ; un secteur rectiligne pourra être moins rapidement colonisé – car les dépôts de corps flottants sont moins probables – qu'un secteur sinueux plus favorable au contraire aux dépôts en berges ; un secteur de gorges rocheuses – avec peu de substrat pour la croissance des rhizomes – sera moins favorable à l'expansion des massifs de renouées qu'une large plaine alluviale ; une zone très lente avec peu ou pas de transport de corps flottants pourra ralentir, voire complètement stopper le front de colonisation vers l'aval et à l'opposé ; un secteur à forte

pente capable d'éroder les berges sera favorable à une progression rapide de la plante vers l'aval. Certaines crues ont ainsi provoqué des envahissements soudains de sites initialement peu ou pas colonisés.

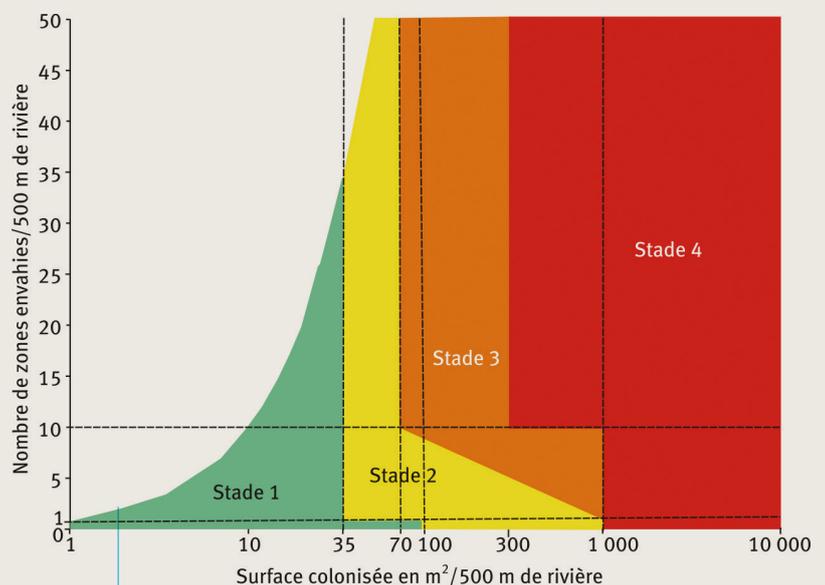
Évaluer les stades invasifs

Les différentes classes de stades invasifs ont été fixées en fonction de la densité de plantes le long du cours d'eau. La densité est calculée pour des unités cartographiques de 500 m (figure 2). Le calcul du stade invasif global utilise la même grille d'interprétation ; il ne correspond pas à la moyenne des stades calculés pour chaque segment du territoire.

Ce niveau de précision (500 m) est bien adapté aux cours d'eau de rang de Strahler compris entre 2 à 4. Une représentation plus précise par segment de 100 m n'apporte pas d'intérêt dans l'interprétation globale de l'invasion, alors que les segments de 500 m lissent les informations et décrivent ainsi la situation actuelle de manière plus lisible sur les cartes. Le long des cours d'eau, la distribution géographique des renouées n'est en effet pas homogène ; il peut se succéder sur des distances courtes des espaces très colonisés et d'autres non colonisés. Ces différences sont souvent liées à l'historique « infralocal » de la colonisation générée par des dépôts de crue répartis de manière hétérogène ; elles ne sont pas intéressantes à l'échelle du territoire de gestion. Pour des cours d'eau de plus grandes dimensions (rang de Strahler > 4), le segment de 500 m pourra apparaître comme trop précis et trop détaillé pour l'analyse des cartes. La grille définissant le stade invasif devra par conséquent être adaptée.

L'évaluation du stade invasif intègre deux données, la superficie totale envahie et le nombre total de massifs par unité cartographique. Ce dernier critère prend en compte la répartition des massifs le long du cours d'eau, qui a un effet important sur les difficultés et les coûts de gestion.

2 Grille de valeur proposée pour estimer les stades invasifs des renouées asiatiques sur les cours d'eau des bassins Rhône Méditerranée et Corse.



Il est en effet moins coûteux et plus simple de traiter un site colonisé de 100 m², que dix sites de 10 m² répartis de part et d'autre d'une rivière.

L'échelle des stades invasifs ayant été établie pour une visée opérationnelle, les changements de valeurs correspondent à des seuils financiers et techniques s'appliquant à l'échelle locale ou à celle du territoire. Ces seuils sont fixés par les deux types d'actions envisageables pour ralentir la dynamique invasive (objectif principal des plans de gestion) : l'élimination manuelle de tous les nouveaux plants issus de la dispersion naturelle et la suppression des sources de propagule par isolement ou élimination des massifs. Ces techniques consistent à traiter mécaniquement les sols colonisés ou à les isoler du réseau hydrographique ; ce sont les solutions les plus coûteuses, avec une moyenne de plusieurs dizaines d'euros par m² de sol.

Au stade global 0 (plante non détectée), l'objectif de gestion conseillé est d'empêcher toute introduction et colonisation du cours d'eau. Cet objectif est le plus ambitieux pour les cours d'eau et il demande une vigilance permanente.

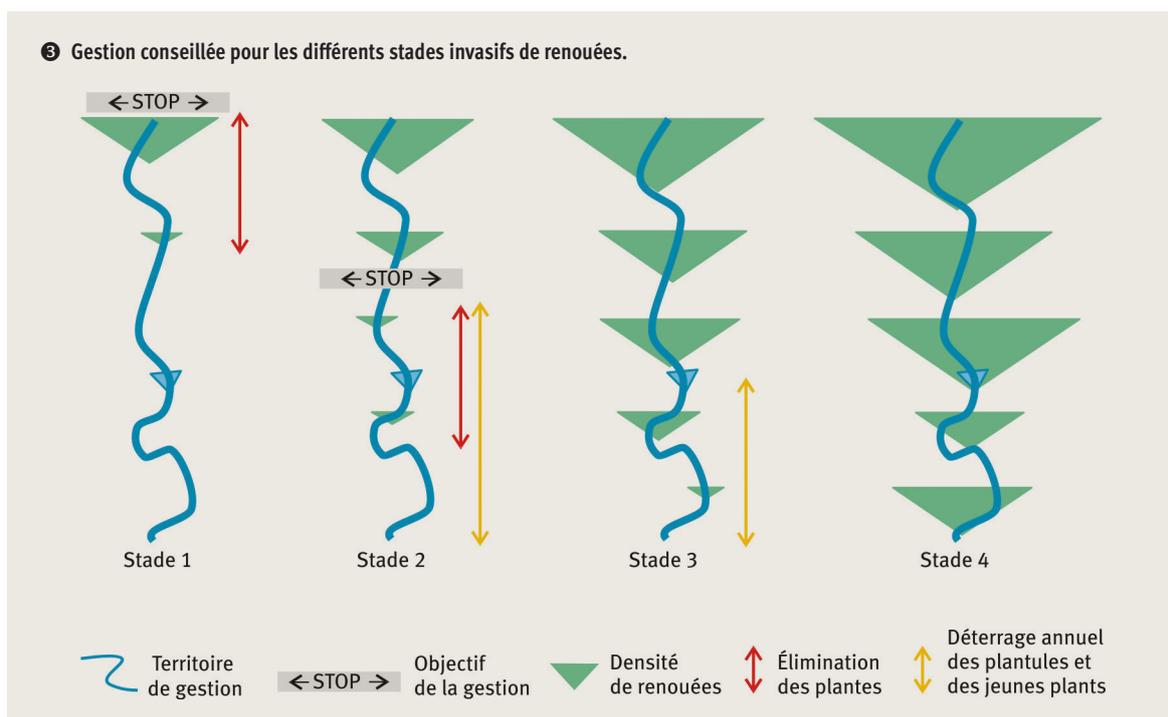
Au stade global invasif 1, il est conseillé d'éliminer tout flux de propagules sur le réseau hydrographique par le traitement de tous les sites colonisés, et tant que ce travail n'est pas accompli, d'intervenir sur les nouveaux plants issus de la dissémination par les crues. Le bénéfice de la gestion est important pour les cours d'eau. La limite financière définissant le stade 1 a été fixée de façon empirique à 5 ou 6 000 euros HT/km ; elle correspondrait à l'élimination de deux massifs d'une trentaine de m² par kilomètre de rivière ou pour un cours d'eau d'une quinzaine de kilomètres, à une limite de dépenses de 75 à 90 000 euros HT. Au-delà, les renouées ne sont plus en stade 1 et il n'est plus conseillé de chercher à toutes les éliminer ou isoler du réseau hydrographique.

Au stade global invasif 2, il est conseillé de gérer la dynamique de colonisation par des campagnes annuelles de détection et d'élimination des nouveaux plants issus de la dispersion par l'eau des propagules et cela sur les unités cartographiques, où les renouées sont en stade 0 à 3. De plus, il est conseillé d'agir sur certains massifs déjà établis, en particulier ceux présents dans les nouvelles zones d'introduction et ceux situés sur les fronts de colonisation, c'est-à-dire là où les renouées sont en stade 1 ou 2 et en limite aval de leur expansion géographique. Le bénéfice de la gestion reste encore important pour les cours d'eau.

Au stade global invasif 3, le cours d'eau est fortement colonisé avec des moyennes allant de 0,7 et 3 % des espaces rivulaires occupés par les renouées. Les fronts de colonisation ne sont plus sur le territoire ; il est conseillé d'agir pour ralentir l'envahissement des berges par des campagnes annuelles de détection précoce des nouvelles plantes issus de la dispersion des propagules sur les unités cartographiques, où les renouées sont en stade 0 à 3. Le bénéfice de la gestion devient plus modeste.

Au stade 4 avec plus de 3 à 10 % des superficies occupées par la plante (figure 2), l'installation de nouvelles plantes a une faible influence sur la vitesse de colonisation des espaces rivulaires par rapport à la croissance surfacique des massifs existants. Une jeune plante qui s'installe va coloniser quelques mètres carrés de plus par an, alors qu'un massif, de plusieurs dizaines de m², va lui grandir de plusieurs dizaines de m² supplémentaires tous les ans. Les campagnes annuelles n'ont plus d'intérêt. Il est déconseillé de chercher à intervenir car le bénéfice de la gestion serait faible.

La figure 3 reprend schématiquement ces conseils de gestion pour les différents stades invasifs globaux.



Quels coûts pour les collectivités publiques gérant les cours d'eau ?

Sur le plan financier, un calcul théorique des coûts de gestion des renouées asiatiques pour un cours d'eau de 15 km de long pendant cinq ans aboutit aux montants suivants :

- pour une rivière, où les renouées sont en stade 1, 1 200 à 1 500 euros HT/km/an ;
- pour une rivière, où les renouées sont en stade 2, 500 euros HT/km/an ;
- pour une rivière, où les renouées sont en stade 3, 100 euros HT/km/an
- pour une rivière, où les renouées sont en stade 4, 0 euros.

Ces coûts restent ainsi modérés quand ils s'inscrivent dans une démarche raisonnée visant la lutte contre la dissémination des renouées asiatiques. Même si les opérations de gestion doivent se répéter régulièrement, leurs montants sont en effet du même ordre de grandeur que les dépenses plus classiques pour l'entretien des boisements de berge, qui atteignent 10 à 20 000 euros HT/km dans les phases de rattrapage d'entretien et 1 000 euros HT/km/an dans les phases d'entretien courant.

Des exemples concrets

Sur les affluents du lac d'Annecy cartographiés en 2018 (figure 1), les renouées asiatiques ont atteint globalement un stade invasif de niveau 2. Cela indique qu'il est probablement trop tard pour éliminer toutes les plantes, mais qu'il est sans doute possible de faire remonter vers l'amont plusieurs fronts de colonisation et protéger ainsi les zones littorales du lac soumises aux flux de propagules venant de ses affluents.

Dans les Hautes-Alpes entre Veynes et Serres à l'ouest de Gap, le Petit Buech est une rivière en tresses particulièrement préservée, avec un lit atteignant jusqu'à 400 m de large. Un début de colonisation par les renouées avait été constaté en 2009 avec un risque de dissémination rapide dans cette rivière très mobile et abritant des milieux et des espèces remarquables. L'objectif de gestion a été l'élimination complète des renouées dans le cours d'eau et sur les sites risquant d'être à l'origine d'une réintroduction. Cent-trente-quatre massifs présents sur 25 km de rivière ont ainsi été extraits mécaniquement produisant 6 000 m³ d'alluvions. Ces matériaux ont ensuite été traités mécaniquement en 2013 par la technique du concassage-bâchage. Le coût global de l'opération s'est élevé à 233 000 euros HT.

Une autre opération dans un contexte similaire a été réalisée sur le Vidourle à St-Hippolyte-du Fort et Conqueyrac dans le Gard entre 2010 et 2013. Les renouées présentes sur 2,6 km de rivière en 2000, colonisaient en 2010, 6,8 kilomètres supplémentaires. S'agissant d'un début de colonisation à l'échelle du Vidourle, il a été décidé d'éliminer tous les massifs. L'opération a été réalisée en deux fois entre 2010 et 2013. Soixante-dix-sept petits massifs occupant une superficie totale de 700 m² ont été traités mécaniquement par la même technique que sur le Buech. Le coût de l'opération s'est élevé à 78 000 euros HT.

Conclusion

L'échelle des stades invasifs est un outil indispensable pour comprendre la colonisation des rivières par les renouées asiatiques et définir des stratégies et des plans de gestion adaptés. Mais ces plans sont aussi rendus nécessaires par l'aménagement des territoires, qui conduit à déplacer involontairement et par manque de précautions les renouées asiatiques. Ne rien changer à cet état de fait pourrait remettre en question la pertinence des interventions des collectivités publiques pour freiner ou stopper l'envahissement des rivières. C'est donc tous les acteurs du territoire impliqués dans la dissémination des renouées qu'il faut mobiliser. Pour cela, les plans de gestion seront plus efficaces s'ils sont intégrés dans des plans d'actions plus larges comprenant de la communication, de la formation des professionnels et une coordination locale des actions. ■

Les auteurs

Mireille BOYER et Louise BARTHOD

Aquabio

108 allée du lac Léman,

F-73290 La Motte Servolex, France.

✉ mireille.boyer@aquabio-conseil.com

✉ louise.barthod@aquabio-conseil.com

EN SAVOIR PLUS...

📄 **CONCEPT.COURS.D'EAU.SCOPE, TEREQ, 2016, *Savoirs et savoir-faire sur les populations exotiques envahissantes végétales et animales et préconisations pour la mise en œuvre des SDAGE* (réf. 062). *Fiches pratiques pour la mise en œuvre des plans d'actions contre la dispersion des espèces exotiques envahissantes*, Étude réalisée pour le compte de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, tome 2, volume 4, p. 1-196.**

Renouées asiatiques et infrastructures de transport

Les renouées affectionnent les espaces remaniés par l'Homme et notamment les voies de transport (routes, voies ferrées, voies navigables). Leur colonisation présente alors un risque vis-à-vis de la sécurité de ces infrastructures et nécessite une gestion plus importante et plus complexe. Après avoir fait le point des différents impacts liés à la colonisation des renouées le long des voies de transport, cet article illustre comment les modes de gestion et d'entretien des emprises colonisées peuvent limiter ou favoriser la dynamique spatiale des renouées.

Infrastructure linéaire de transport et espèces exotiques envahissantes

Les infrastructures de transport sont l'ensemble des installations fixes aménagées pour permettre la circulation des véhicules et plus généralement le fonctionnement des systèmes de transport routiers, ferrés, fluviaux, énergétiques ou multimodaux. Hormis pour le transport maritime et aérien, ces infrastructures sont souvent « linéaires » et associées à une emprise, et parfois à des dépendances (on parle d'ILTe pour infrastructures linéaires de transport et leur emprise).

À chaque ILTe est associée un ou plusieurs modes de gestion, dont les spécificités vont dépendre de sa nature. L'objectif est d'assurer le transport des personnes et des marchandises avec un niveau de sécurité et de service adapté.

Les espaces associés aux ILTe contribuent à la dispersion des espèces exotiques envahissantes, favorisées par les nombreuses perturbations anthropiques associées à ces linéaires (gestion, travaux d'entretien, transports de personnes et de marchandises...).

De nombreuses espèces exotiques envahissantes colonisent les ILTe, car ce sont des espaces de transition et des espaces écologiquement perturbés, donc propices à la colonisation (photo 1).

Les interventions envisagées au niveau des ILTe se définissent en fonction des enjeux :

- des modalités classiques. Certaines réglementations imposent d'intervenir pour limiter les impacts écologiques, socio-économiques ou sanitaires liés au dévelop-

pement des invasives¹. Ces obligations réglementaires ne sont pas uniquement spécifiques aux ILTe et concernent les autres types d'occupations du sol ;

- d'autres nécessités d'intervenir sont plus spécifiques aux ILTe, en particulier quand certaines de leurs fonctions sont touchées. Les exemples à ce niveau sont nombreux : les herbiers aquatiques qui obstruent les voies navigables, les arbres qui tombent sur les caténaires des voies ferrées, les racines qui percent les bâches de certains bassins d'assainissement, le feuillage qui bouche les réseaux d'assainissement, etc.

Spécificité des renouées asiatiques par rapport aux autres espèces exotiques envahissantes

La diversité des espèces exotiques envahissantes, en particulier au niveau de leur stratégie d'invasion et des traits fonctionnels associés, rend difficile la définition de préconisations de gestion générales. Pour ce qui concerne les renouées asiatiques, les gestionnaires d'ILTe pointent trois caractéristiques particulièrement contraignantes des renouées asiatiques :

- les capacités de développement souterrain par rhizome compliquent les protocoles d'éradication, sauf à mettre en place des techniques financièrement coûteuses, lourdes en termes d'impacts écologiques (excavation très profonde et sur une grande surface, exportation

1. <http://www.gt-ibma.eu/base-documentaire/reglementation/>



1 Colonisation de renouées asiatiques sur un talus le long d'une voie ferrée et d'une autoroute.

et traitements des matériaux) et dont l'efficacité n'est pas toujours garantie. Les techniques plus classiques de fauche ou de broyage sont inefficaces sur la durée (voire augmentent les risques de dissémination de la plante) ; il en est de même des phytocides, dont l'utilisation va progressivement être proscrite ;

- la vigueur de la plante conduit à un développement rapide et dense d'un couvert végétal qui va rapidement limiter la présence des autres végétaux, en émettant des substances allélopathiques² et en monopolisant les ressources. Pour éviter cela, il faut maintenir une pression importante de fauche en intervenant plus souvent que dans le cas d'une gestion classique ;
- la colonisation par bouturage de fragments de tige ou de rhizome est très efficace et implique de prendre beaucoup de précautions dans la gestion sous peine de favoriser la dissémination. Il est donc nécessaire de mettre en place une gestion différenciée souvent plus coûteuse.

Les renouées ont un impact assez spécifique sur les infrastructures linéaires de transport et constituent donc un enjeu particulier à différents niveaux.

Sur la sécurité

La priorité d'un gestionnaire d'ILTe est la sécurité des usagers de l'infrastructure. La croissance rapide et le feuillage dense des renouées peuvent gêner la visibilité au niveau des abords de l'infrastructure, ou des signalisations, et donc constituer un enjeu de sécurité.

Les abords des portions sinueuses et les terre-pleins de routes sont évidemment des zones particulièrement problématiques, mais d'autres types d'infrastructures peuvent aussi être affectés. La présence de végétation dans les emprises ferroviaires peut ainsi compromettre la

sécurité des circulations et compliquer le déplacement du personnel en activité sur le terrain et les opérations de surveillance des voies. La végétation diminue aussi la visibilité des trains pour les personnels intervenant dans les voies ou pour les automobilistes amenés à franchir les passages à niveau. Les conducteurs de trains ou d'embarcations ont eux aussi besoin d'une bonne visibilité sur l'infrastructure et ses abords, notamment en ce qui concerne la signalisation.

L'impact est parfois indirect. Par exemple, les renouées peuvent constituer un obstacle à l'évacuation des eaux pluviales et provoquer la submersion de portions de l'infrastructure.

Sur l'entretien

Les renouées asiatiques nécessitent une intervention particulière en termes d'entretien. En effet, une coupe classique à l'épareuse³ risque de disséminer des fragments de la plante qui, par bouturage, aboutiront à de nouveaux individus et donc de nouvelles taches.

Dans les secteurs où une végétation basse doit être maintenue, la coupe des massifs de renouées peut nécessiter cinq à huit fauches annuelles (pendant la saison de végétation) contre deux seulement dans le cas d'une gestion « classique ». De plus, pour éviter tout risque de dissémination, les outils doivent être nettoyés sur place. Ce surcroît d'intervention a bien entendu un coût financier, mais constitue aussi une dépense supplémentaire de temps et d'énergie pour les agents d'entretien.

2. Composés chimiques sécrétés par la plante et qui nuisent aux végétaux concurrents.

3. Machine qui coupe les buissons et l'herbe au bord des routes ou qui est utilisée dans le cadre de travaux agricoles.

► Pour limiter la création de nouveaux massifs, il convient de mettre en place des stratégies d'entretien particulières. L'entretien de la végétation devient alors fastidieux, car l'agent d'entretien doit opérer une gestion différenciée plus complexe. Par exemple, il est plus délicat de manipuler le bras d'une épareuse pour contourner des massifs de renouées asiatiques dont on souhaite limiter la dispersion. De plus, pour éviter la dissémination des renouées lors d'opérations de coupes, il faut parfois prévoir un stockage temporaire des tiges pour les faire sécher et éviter qu'elles se propagent.

Sur la pérennité des ouvrages

Les renouées ont la capacité de s'insinuer dans les anfractuosités et de pousser dans les fissures des maçonneries. Elles peuvent donc à la longue abîmer un certain nombre d'ouvrages comme des murets, des cunettes, des écluses, etc.

Les rhizomes peuvent aussi affecter des ouvrages d'assainissement en occupant tout le volume disponible existant dans le sol ou les ouvrages, et donc potentiellement boucher des réseaux d'assainissement.

Au-delà, les renouées peuvent devenir un problème en envahissant des zones de mesures compensatoires, dont les caractéristiques peuvent ainsi être grandement affectées. Une mesure compensatoire peut ainsi être remise en cause s'il est constaté un développement d'espèces invasives telles que les renouées. Si, par exemple, un aménageur s'est engagé à reconstituer une prairie humide et qu'il y a contamination par les renouées, le gain écologique sera remis en question et il sera nécessaire de ré-intervenir sur le site ou, le cas échéant, trouver une autre zone de compensation.

Sur les chantiers

La vie d'une infrastructure inclut des chantiers de rénovation ou l'intégration de nouveaux aménagements. Or, ces chantiers sont parfois impactés par la présence des renouées. Des précautions particulières sont alors nécessaires pour éviter la dissémination de la plante : mise en défens des zones envahies, excavation et traitement dans une filière spécifique des terres envahies, nettoyage des outils et des engins ayant manipulé ces terres, etc.

Sur les paysages

Les massifs de renouées ont un impact paysager marqué, mais qui n'est pas toujours perçu négativement. Tout est ici affaire de contexte et de ressenti de l'observateur. Un massif de renouées peut être agréablement perçu par les usagers lors de la floraison. À l'inverse, en hiver, la présence de buissons de cannes sèches et le sol nu qui apparaît sont moins appréciés.

De même, les riverains peuvent se sentir envahis et opprésés par l'espèce, ou au contraire apprécier l'effet d'écran visuel induit par les massifs.

Dans tous les cas, le développement des massifs de renouées peut conduire à une monotonie des paysages et/ou à une remise en cause du travail paysager entrepris le long d'une infrastructure.

Sur la biodiversité

Cet aspect doit être apprécié sur plusieurs échelles d'analyse. On peut avancer une diminution de la biodiversité au niveau des espaces envahis par les renouées, ces dernières monopolisant les ressources et souvent ne laissant aucune place aux autres végétaux. À l'échelle plus vaste du paysage, l'impact sur la diversité floristique est moins évident dans la mesure où les renouées constituent des taches dispersées au sein de matrices plus variées en termes de composition floristique. Il apparaît peu probable que des espèces aient disparu ou se trouvent menacées du seul fait de l'expansion des renouées. Leur impact à ce niveau, comparé aux autres perturbations (artificialisation, pollutions, changement climatique), est de toute évidence à relativiser. Enfin il convient aussi de considérer le rôle des ILTe et de leurs emprises sur les continuités écologiques. On peut craindre que l'effet de corridor de ces linéaires favorables à la dispersion des espèces peut être perturbé localement par la présence de taches de renouées. À titre d'exemple, les emprises de certaines voies navigables sont clairement identifiées dans les schémas régionaux de continuités écologiques comme des corridors à préserver, ce qui peut impliquer des mesures particulières pour la limitation du développement d'espèces exotiques envahissantes comme les renouées asiatiques.

Projet DYNARP : vers une meilleure gestion des renouées aux abords des voies de transport

Considérant les impacts des renouées sur la vie des infrastructures, il apparaît nécessaire de mieux comprendre la dynamique de développement des massifs de renouées, appelés taches, afin de limiter la propagation de l'espèce. En effet, les variables qui influent la croissance centrifuge, la propagation ou la dispersion des taches sont encore à ce jour méconnues.

C'est pourquoi une étude a été conduite en 2015-2016 en vue de caractériser les taches de renouées à proximité de plusieurs types d'infrastructures linéaires de transport, et d'en comprendre la dynamique. Cette étude, réalisée dans le cadre du projet DYNARP⁴ financé par le programme ITTECOP, a impliqué le Cerema et Irstea. La distribution et la forme de taches de renouées asiatiques ont été étudiées le long de voies ferrées, de voies navigables et de routes, sur un ensemble de huit sites d'études répartis dans l'Est de la France. Les taches de renouées ont été inventoriées et leur contour relevé avec un récepteur GPS de précision décimétrique, sur des tronçons d'infrastructures de transport de 1 km de long et 200 m de large. Différents facteurs biotiques, abiotiques et de gestion ont été identifiés pour chaque tache par des relevés de terrain, des outils d'analyse géographique et des enquêtes auprès des gestionnaires des infrastructures.

4. DYNARP, Dynamique et gestion des renouées asiatiques à l'échelle paysagère, impacts et perceptions, projet financé par le programme ITTECOP, Infrastructures de transports terrestres, écosystèmes et paysages : <http://www.ittecop.fr/recherches-2014/projets-de-recherche/dynarp.html>

Principaux résultats obtenus

Sur les 22 km de notre échantillonnage situé le long de différentes infrastructures de transport, nous avons inventorié 575 taches de renouées asiatiques, représentant une surface totale de 6,8 hectares :

- les deux espèces *Reynoutria japonica* et *Reynoutria x bohemica* sont largement prépondérantes au niveau des relevés, mais ne se mélangent pas au sein d'un même site ;
- les résultats des enquêtes réalisées auprès des gestionnaires indiquent que la fauche, réalisée en un ou plusieurs passages sur une saison de végétation, est le mode de gestion prépondérant (près de 80% des réponses). Pour les taches restantes, il n'a pas été observé d'intervention ; les surfaces des taches sont globalement plus élevées que dans les situations gérées ;
- la fauche, lorsqu'elle est répétée au cours de la saison de végétation, diminue à la fois la hauteur et la densité des tiges de renouées, et permet le maintien d'une végétation herbacée dans les zones envahies (figures 1a et 1b). Ce recouvrement herbacé sous les renouées devient plus marqué lorsque les fauches sont réalisées au moins trois fois par an. Les plus fortes intensités de gestion sont presque exclusivement observées à proximité des ILTe (à moins de 10 m pour l'essentiel des taches fauchées au moins cinq fois par an). En revanche les taches situées à

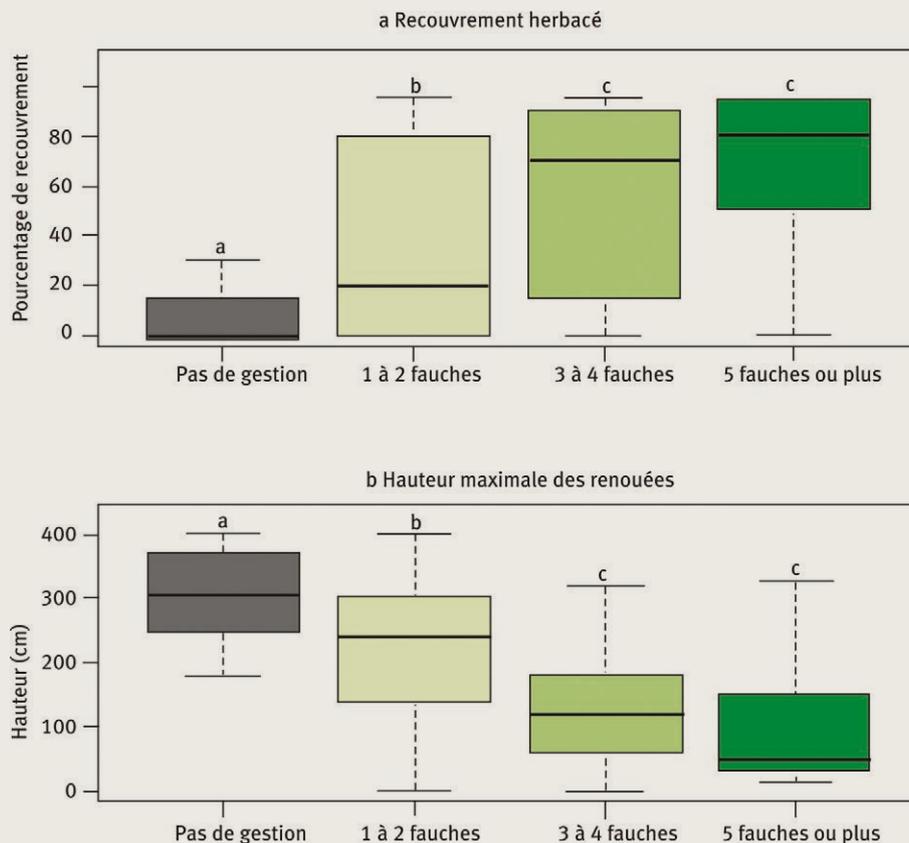
plus de 20 m des infrastructures sont très rarement fauchées. Pour les espaces sans enjeux de sécurité ou de production (friches, ripisylves), la gestion est plus extensive voire inexistante, les formes sont plus complexes et les surfaces plus importantes, traduisant un développement spatial plus libre de la plante ;

- moins accessibles (et donc de fait moins concernées par des décharges sauvages de végétaux), certaines voies ferrées et autoroutes semblent moins touchées par les renouées. Les barrières et grillages utilisés le long de ces voies les rendent peu accessibles et donc moins sensibles à des contaminations. Cet aspect est moins évident pour les voies navigables où les crues peuvent jouer un rôle important dans la dissémination des renouées, et les routes secondaires où elles sont visiblement plus fréquemment disséminées par l'Homme. Par ailleurs, de nombreux secteurs parmi les plus envahis sont souvent des espaces délaissés, dont la propriété et la gestion ne sont pas clairement définies.

Préconisations pour la gestion des renouées aux abords des voies de transport

L'étude DYNARP donne une indication de l'importance des renouées au niveau des abords des ILTe (plus de cinq cents taches pour une surface de près de sept hectares le long de vingt-deux kilomètres d'infrastructures). Face

- 1 Effet de l'intensité de gestion sur le recouvrement herbacé (a) et la hauteur maximale des renouées (b). Des lettres différentes indiquent une différence significative entre modalité ($p = 0.05$, test de Kruskal-Wallis et du χ^2). Source : rapport final DYNARP, janvier 2018.



à ce constat, il faut admettre que l'éradication n'est plus envisageable et donc accepter comme le propose Cottet *et al.* (2019) l'idée de « faire avec » les renouées. Pour des raisons à la fois économiques et écologiques, les techniques lourdes visant à une éradication des renouées (excavation, concassage, bâchage) ne sont envisageables que pour des opérations ponctuelles et des enjeux particuliers. Pour le reste, l'objectif est d'adapter le plus efficacement possible les techniques de gestion courante de la végétation.

Notre étude a montré que la gestion par fauche était efficace pour limiter le développement des renouées, en particulier près des ILTe. Mais une telle gestion ne peut, pour des raisons financières, être étendue à de vastes espaces qui ne sont pas soumis à des enjeux de sécurité

ou paysagers. Face à ces difficultés, en s'appuyant sur les résultats de nos travaux, deux principales préconisations peuvent être apportées :

- encourager une gestion « raisonnée » par fauche en insistant sur l'inutilité d'intervenir trop souvent et avec un objectif réaliste de stabilisation de l'expansion des renouées plutôt que d'éradication ;
- porter une attention particulière dans la gestion des déchets de fauche, pour éviter que des fragments de rhizomes ou de tige ne soient dispersés par l'intermédiaire des engins. L'enjeu est d'éviter les contaminations autour des taches existantes, et d'éviter leur développement au-delà des abords des ILTe, dans des milieux souvent encore préservés et où une gestion intensive n'est pas toujours possible. ■

1 RETOURS D'EXPÉRIENCES DE SNCF RÉSEAU

Les renouées asiatiques sont des plantes exotiques envahissantes qui posent problème dans le cadre des opérations d'entretien de la végétation sur le réseau ferré national. Elles sont très présentes dans les emprises ferroviaires, spontanément ou à la faveur de dépôts divers, parfois externes à l'entreprise. La méconnaissance des agents SNCF et des prestataires contribue largement à leur expansion par l'utilisation sans précaution de moyens de débroussaillage (absence de nettoyage des outils, des pneus ou chenilles avant de quitter les zones contaminées).

Le terrassement, avec des mouvements de terres contaminées, peut aussi favoriser la colonisation de nouvelles zones.

Dans certaines régions, une sensibilisation à grande échelle des agents SNCF Réseau et des prestataires a été organisée. Elle est réalisée par des correspondants spécialistes de la végétation, basés en établissement de maintenance des infrastructures ferroviaires, et à l'occasion de journées métier techniques nationales. La sensibilisation des agents chargés de l'entretien est primordiale pour éviter la prolifération de ces espèces.

Les guides des Espèces exotiques envahissantes présentes sur le réseau ferré national élaborés par les spécialistes régionaux et un serious game* de sensibilisation à la biodiversité (en cours de finalisation) sont des supports utiles pour la reconnaissance de ces plantes et pour déterminer les moyens de lutte adaptés.

Des clauses sont également inscrites dans les marchés de travaux pour imposer aux prestataires des protocoles d'intervention particuliers, et l'interdiction de réaliser du débroussaillage sur des zones contaminées par les renouées asiatiques.

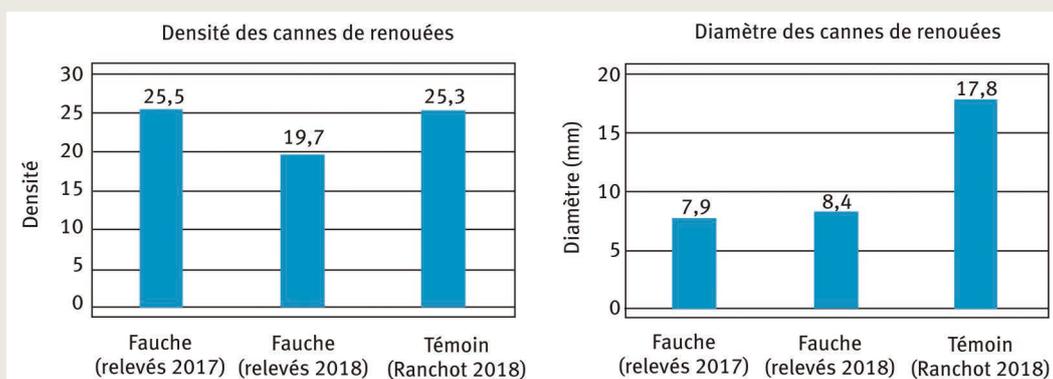
Plusieurs cas, qui ont fait l'objet de traitements spécifiques, sont présentés ici.

Lors des travaux de la LGV Rhin-Rhône Branche Est, une mention spéciale avait été intégrée dans la notice environnement des marchés de travaux pour le traitement des renouées. L'entreprise devait réaliser l'état initial avant travaux, repérer les taches de renouées et les baliser afin d'éviter que des engins de chantier n'entraînent la prolifération de l'espèce. Les terres contaminées par les renouées devaient être stockées et balisées et faire l'objet d'une évacuation en centre d'enfouissement agréé. La bonne exécution de ces préconisations pendant les travaux a été vérifiée par un contrôle extérieur environnement.

Depuis 2015, un site pilote a été choisi pour réaliser de la fauche répétée de cannes de renouées à Besançon. Entre avril et octobre, les cannes sont fauchées une fois par mois (six fauches par an) et laissées sur place, à l'écart de tout point d'eau. Des mesures de diamètre des cannes au premier nœud, de leur hauteur totale et de leur densité ont été effectuées depuis 2017 (figure 2). En 2018, ces mesures ont également été faites sur un talus témoin situé à environ 30 km de Besançon. Les résultats sont encourageants, mais la pression sur la plante doit être maintenue.

Sur d'autres sites, d'autres techniques ont été mises en place telles que l'éco-pâturage ou le bâchage.

2 Résultats du suivi des effets de la fauche répétée à Besançon sur A) la densité en tiges de renouées asiatiques et B) sur leur diamètre au premier nœud.



* Un serious game (ou jeu sérieux) est une activité qui combine une intention « sérieuse » – de type pédagogique, informative, communicationnelle, marketing, idéologique ou d'entraînement – avec des ressorts ludiques.

Les auteurs

Joris BIAUNIER et Virginie BILLON

Cerema, Direction Centre-Est,
Site de l'Isle d'Abeau,
46 rue Saint-Théobald,
F-38081 L'Isle-d'Abeau, France.

✉ joris.biaunier@cerema.fr
✉ virginie.billon@cerema.fr

Vincent BRETON

Univ. Grenoble Alpes, Irstea, LESSEM,
F-38000 Grenoble, France.

✉ vincent.breton@irstea.fr

Anne PETIT

SNCF Réseau,
6 avenue François Mitterrand,
F-93574 La Plaine Saint Denis, France.

✉ anne.petit@reseau.sncf.fr

Caroline DECHAUME-MONCHARMONT

SNCF Réseau,
6 cour de la gare,
F-21000 Dijon, France.

✉ caroline.dechaume@reseau.sncf.fr

EN SAVOIR PLUS...

■ BRETON, V., BIAUNIER, J., JAYMOND, D., MARTIN, F.-M., DOMMANGET, F., BILLON, V., EVETTE, A., Effects of management on spatial distribution of *Fallopia* spp. along transport infrastructures, soumis à *Weed Research*.

■ COTTET, M., RIVIÈRE-HONEGGER, A., EVETTE, A., PIOLA, F., ROUIFIED, S., DOMMANGET, F., VAUDOR, L., VALY, J., 2018, Représentations et pratiques de gestion des renouées asiatiques : intègrent-elles les dynamiques à long terme des écosystèmes ?, *Géocarrefour*, n°92/1, disponible sur : <https://journals.openedition.org/geocarrefour/10451>

■ Centre de ressources Espèces exotiques envahissantes, page web « Réglementation » : cadre international et européen + réglementation nationale, disponible sur : <http://www.gt-ibma.eu/base-documentaire/reglementation/>

■ Programme ITTECOP, Infrastructures de transports terrestres, écosystèmes et paysages, page web du projet de recherche DYNARP, Dynamique et gestion des renouées asiatiques à l'échelle paysagère, impacts et perceptions, disponible sur : <http://www.ittecop.fr/recherches-2014/projets-de-recherche/dynarp.html>

Apport de la télédétection pour l'inventaire des renouées du Japon le long des cours d'eau : exemple d'application à la rivière Azergues

De récents progrès réalisés en télédétection ont montré qu'il était possible d'identifier les renouées à partir de traitement d'images aériennes et de cartographier leur implantation de manière automatique ou semi-automatique. Cet article a pour objectif d'une part d'étudier la faisabilité d'une caractérisation du stade d'occupation des renouées le long de cours d'eau à partir de cette technique, et d'autre part, d'identifier les avantages et les limites actuelles d'une telle méthode.

La surveillance de la propagation des renouées du Japon (complexe *Fallopia*) le long des cours d'eau implique d'avoir à disposition des supports cartographiques mis à jour régulièrement, précis et souvent coûteux en temps pour les scientifiques et les gestionnaires. Ces inventaires, parfois disponibles à l'échelle de bassins versants, présentent alors une précision spatiale très variable et une faible résolution temporelle. En raison de la rapide propagation des renouées le long des cours d'eau et les forts enjeux associés à ces plantes, il est nécessaire de disposer d'outils pour faciliter ces inventaires et leur actualisation pour une surveillance fine des milieux et l'amélioration de nos connaissances concernant les mécanismes de propagation des renouées.

De récents progrès réalisés en télédétection ont montré qu'il était possible d'identifier les renouées à partir de traitement d'images aériennes et ainsi de cartographier leur implantation de manière automatique ou semi-automatique (eg. Martin *et al.*, 2018; Michez *et al.*, 2016; Jones *et al.*, 2011; Dorigo *et al.*, 2012). Cet article a pour objectif d'une part d'étudier la faisabilité d'une caractérisation du stade d'occupation des renouées le long de cours d'eau à partir de cette technique, et d'autre part,

d'identifier les avantages et les limites actuelles d'une telle méthode. Nous avons ainsi testé les capacités de la télédétection à identifier les renouées à petite échelle spatiale sur un tronçon de la rivière Azergues (affluent de la basse Saône) sur lequel nous disposions d'observations *in situ* mises à disposition par les gestionnaires. Nous avons ensuite transposé cette méthode à plus large échelle sur tout le cours d'eau principal de l'Azergues en caractérisant le degré d'invasion sur des tronçons unitaires longs de cinq cents mètres.

Un exemple d'application menée sur le bassin de l'Azergues

Le bassin versant de l'Azergues représente une superficie totale de 447 km² et une longueur de 65 km (sous-bassin Brévenne-Turdine exclus). C'est un affluent en rive droite de la Saône qui coule dans le département du Rhône et traverse les monts du Beaujolais.

Le choix de ce bassin a été guidé par une forte présence de renouées sur ce cours d'eau et les enjeux que représentent ces plantes en matière de gestion sur ce bassin versant. Notre choix a ensuite été motivé par la disponibilité de données de validation terrain fournies par le Syndicat mixte pour le réaménagement de la Plaine des

Chères et de l'Azergues (SMRPCA), ces données étant indispensables pour la calibration et la validation de notre approche. Les images utilisées sur cette zone sont issues de la BD ORTHO de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) : orthophotos aériennes classiques (résolution 0,5 m, images de 2012) et orthophotos aériennes IRC (résolution 0,5 m, images de 2011). Les deux dates d'acquisitions sont volontairement très proches afin de minimiser, entre les prises d'images, les changements de densité de renouées et la mobilité latérale du cours d'eau (réduite pour notre cas d'étude à l'érosion des berges).

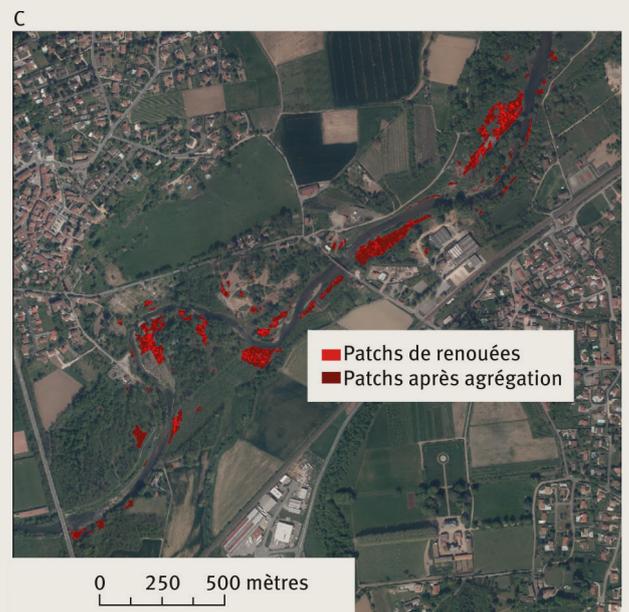
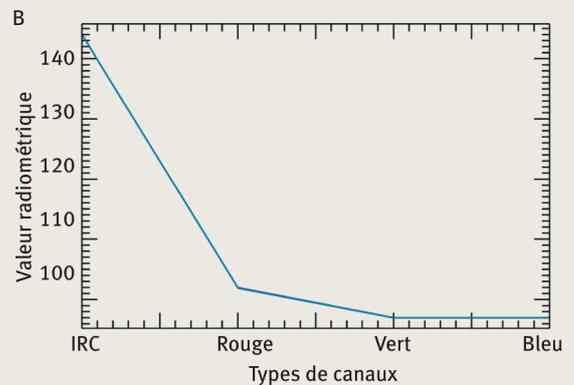
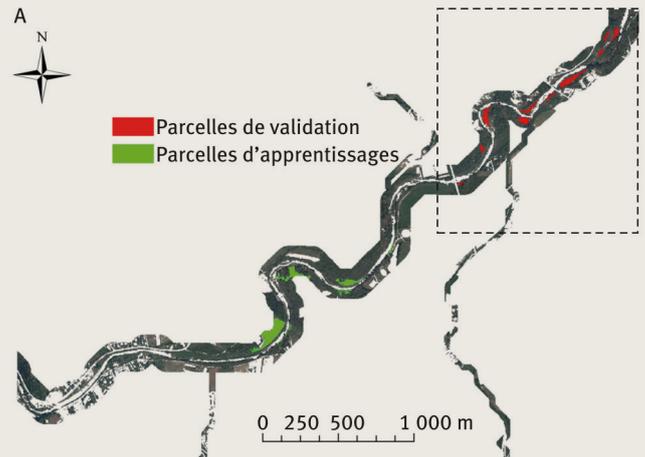
Les images ont fait l'objet d'une correction radiométrique pour homogénéiser les différentes images aériennes de la BD-ORTHO utilisées sur l'ensemble du bassin (différences d'éclairage et changements de conditions atmosphériques). La zone de détection des renouées a été limitée à une zone « tampon » située de part et d'autre du cours principal de l'Azergues. Le réseau hydrologique théorique (RHT, Irstea) a été utilisé comme tracé de référence des cours d'eau. La largeur de la zone tampon a été choisie comme étant égale à six fois la largeur à pleins bords du cours d'eau (donnée issue de la base de donnée SYRAH, Système relationnel d'audit de l'hydro-morphologie).

Nous avons mis en œuvre une classification orientée objet à l'aide du logiciel ENVI®. Cette opération consiste à segmenter une image pour laquelle des pixels adjacents présentent des caractéristiques spectrales proches (dans le visible et l'infra-rouge). Un regroupement basé sur des critères de formes et/ou de valeurs radiométriques similaires permet alors de constituer des objets qui peuvent être associés à des classes d'occupation des sols. Dans notre cas, nous nous intéresserons en particulier aux objets de classe « renouées ». Plusieurs indices radiométriques et texturaux ont été calculés et utilisés pour mener cette classification (indices NDVI, NDWI, indice de brillance et GLCM ; Dorigo *et al.*, 2012). Des masques ont ensuite été créés à partir de ces indices pour alléger l'image en supprimant le bâti, les routes, les surfaces en eau, les sols nus et les ombres. Après l'application de ces masques, la classification orientée objet a été mise en place sur la partie aval de l'Azergues, un linéaire de 15 km environ situé entre Lozanne et Anse. Cette zone, la plus atteinte par les renouées du Japon, dispose en effet de données de validation terrain très précises fournies par les gestionnaires, ie. des contours de taches géolocalisées sous système d'information géographique. À l'échelle de ce tronçon, des surfaces d'apprentissage et de validation ont été définies pour mettre en place la classification et la valider. La classification repose sur :

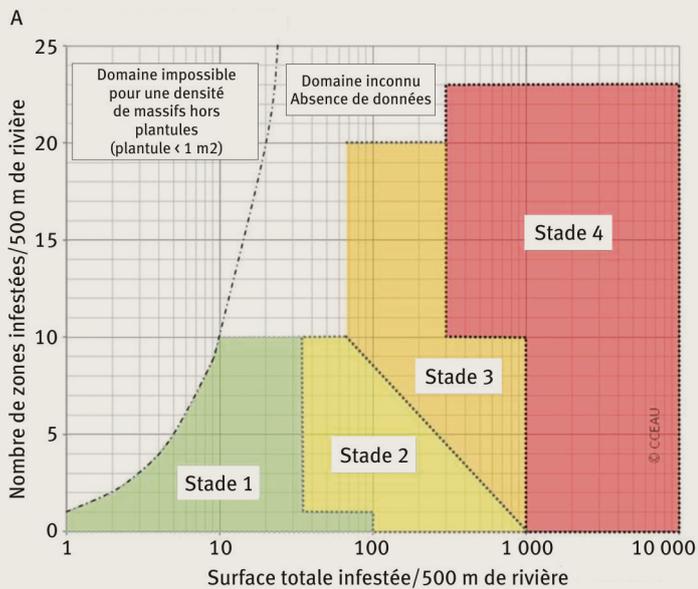
- une étape de segmentation de l'image en différents objets ayant des caractéristiques communes,
- le choix des parcelles d'apprentissages (ROIs) associées à des taches de renouées observées,
- une évaluation de la qualité de la classification mise en place sur une zone de validation à partir de plusieurs indicateurs de qualité.

La figure 1A présente les données d'apprentissage et de validation sur la partie aval de l'Azergues. La figure 1B représente le profil radiométrique d'une tache de renouée

1 (A) Relevés terrain de présence de renouées sur les parcelles d'apprentissage et les parcelles de validation ; (B) Profil radiométrique des bandes infrarouge, rouge, verte et bleue des renouées sur la parcelle d'apprentissage ; (C) Cartographie des taches de renouées identifiées sur la parcelle de validation (cf. figure A) : en rouge, les taches de renouées détectées et en marron, les taches délimitées après le processus d'agrégation (source : Rachex); la zone couverte par la figure est indiquée en pointillé sur la figure A.



2 (A) Abaque de détermination du stade invasif d'un tronçon, appliqué sur l'Azergues (source : CCEAU ; Boyer, 2001) ; (B) Cartographie des stades invasifs (1 : pas envahi à 4 : fortement envahi) du bassin versant de l'Azergues selon cette typologie (source : Rachex).



sur les bandes proche-infrarouge (IRC), rouge, verte et bleu (RVB) issues des BD Orthos de l'IGN (classique et IRC). Il apparaît nettement que le premier canal (IRC) se différencie particulièrement des trois autres. Cette bonne séparabilité du canal IRC favorise une meilleure identification des taches de renouées. Enfin, un traitement post-classification a été appliqué consistant à uniformiser les taches de renouées par agrégation (figure 1C). L'agrégation est réalisée uniquement à l'intérieur des taches pré-identifiées.

La télédétection, un outil de gestion pertinent pour évaluer l'état d'invasion des cours d'eau ?

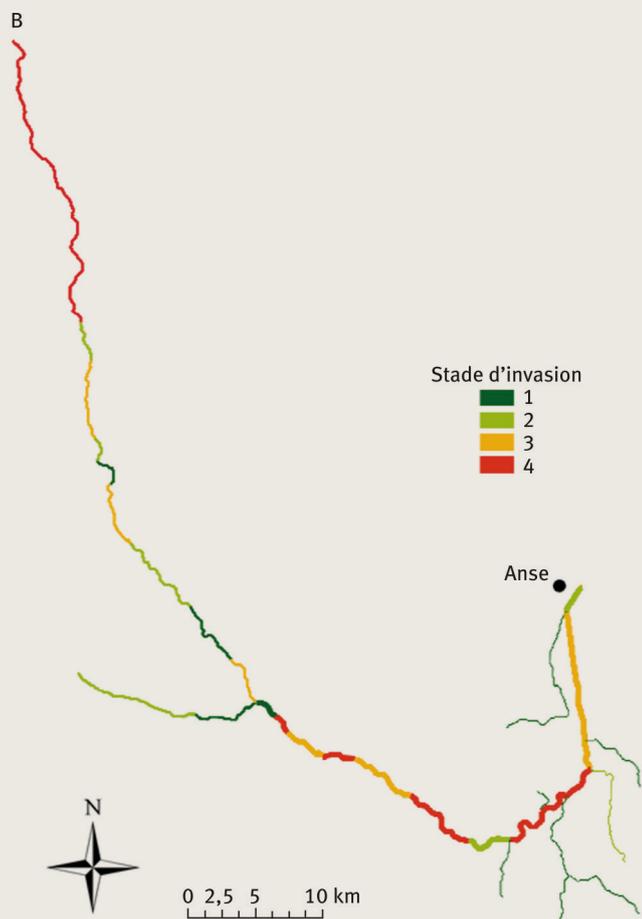
La qualité de la détection peut être évaluée à partir d'une matrice de confusion ; elle fournit une comparaison synthétique entre les résultats de la détection (ie. ou de classification) et les données de validation collectées sur le terrain. Elle montre de bons résultats avec un indicateur de qualité générale élevé (Kappa de 0,85 sur 1). La précision globale de la détection est de 93%, c'est-à-dire une probabilité de 0,93 pour qu'un pixel se trouve dans la bonne classe. L'agrégation post-classification permet d'augmenter significativement l'identification des renouées : l'indicateur *ground truth*, qui correspond au nombre de pixels de la classe renouées correctement classés divisé par le nombre total de pixels de la classe renouées, est de 65 % avant agrégation, contre 83 % après agrégation. La classification réalisée sur le tronçon test semble donc de bonne qualité. Elle a alors ensuite été étendue à toute l'Azergues.

La classification sur toute la zone aval de l'Azergues affiche de bons résultats également : la précision est comparable aux valeurs obtenues sur le tronçon test (86 % contre 93 % précédemment), de même que les coefficients Kappa (0,68 contre 0,85 précédemment). Les valeurs de *ground truth* de la classe « renouées », sont élevées (environ 60%). Même si une baisse des indicateurs de précision est néanmoins apparue, l'application de la méthode développée sur le tronçon test et toute la zone aval semble donc être pertinente.

Cette classification a alors été généralisée à l'ensemble de l'Azergues. Nous avons appliqué une typologie des stades d'invasion définie par Boyer (2001) pour chaque tronçon de cours d'eau de 500 m de long, en fonction du nombre de taches identifiées et de la surface envahie (figure 2A). La figure 2B présente alors une cartographie de l'état d'invasion des renouées sur l'ensemble de l'Azergues. Les renouées sont fortement présentes en amont du bassin et sur sa partie aval. Ces résultats sont cohérents avec les observations de terrain menées par Boyer (2001) lors de la cartographie de l'état d'invasion à l'échelle du bassin Rhône Méditerranée et Corse.

Les conclusions et recommandations

La classification orientée objet s'est avérée efficace lorsqu'elle est couplée à l'utilisation de donnée infrarouge à haute résolution (50 cm) et d'informations texturales. Comme l'ont montré Dorigo *et al.* (2012), ainsi que Jones *et al.* (2011), des images à haute résolution



semblent nécessaires pour la caractérisation par imagerie des plantes invasives, ainsi que l'utilisation de données proche infrarouge.

L'approche méthodologique mise en place à large échelle est donc possible, mais l'efficacité de celle-ci reste fortement dépendante de la résolution des images disponibles. En effet, les images aériennes utilisées présentent de fortes limites à l'échelle locale, notamment pour identifier des foyers de renouées sur de petits cours d'eau (rang de Strahler < 3), étroits et présentant une forêt rivulaire abondante (Martin *et al.*, 2018). Dans ces cas, la méthode développée ne peut donc pas se substituer à une surveillance de terrain des cours d'eau par les gestionnaires.

Malgré un coût financier peu élevé (<1 000 euros pour les images), l'application de cette méthode sur un territoire nécessite un degré de technicité élevé. Cet élément peut représenter actuellement une limite à sa transférabilité auprès des opérationnels et plus particulièrement auprès des petites structures de gestion des milieux aquatiques.

Pour caractériser l'état d'invasion des cours d'eau de rang de Strahler supérieur ou égal à 3 à l'échelle de tronçon de cours d'eau, l'approche par télédétection s'avère intéressante. Elle présente des résultats d'autant plus satisfaisants que la densité de ripisylve est faible et la largeur du cours d'eau importante. Cette caractérisation est, bien entendu, améliorable et nécessite d'être validée sur d'autres cours d'eau situés dans des contextes



Les renouées du Japon se dispersent facilement le long des cours d'eau, d'où la nécessité de disposer d'outils pertinents pour surveiller leur propagation.

© S. De Danielli (irstea)

physiographiques différents ; notre méthode ayant été appliquée à un bassin versant particulièrement envahi par les renouées. Ces approches méthodologiques nécessiteront toutefois d'être toujours confrontées à des données de validation terrain, disponibles même sur des zones restreintes, afin de vérifier la qualité finale de la classification. ■

Remerciements

Ce travail a été financé par l'accord cadre entre la Zone atelier Bassin du Rhône (ZABR) et l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. Il fait partie d'un projet de recherche mené sur le bassin de la Saône et du Rhône de 2014-2017 intitulé « Analyse multi-échelles des filtres environnementaux limitant l'invasibilité des berges de cours d'eau par les renouées Asiatiques (*Fallopia sp.*) : le cas de la Saône ». Ce travail a profité des résultats du master de D. Rachex, d'un projet tuteuré mené par le Master Science de l'eau (Université de Lyon), C. Fropier, J. Marchand, B. Martin, placés sous la direction de N. Landon. Nous adressons également tous nos remerciements à P. Gadiolet du Syndicat mixte pour le réaménagement de la Plaine des Chères et de l'Azergues (SMRPCA) pour la mise à disposition des observations terrain, ainsi que Mme M. Boyer du bureau d'étude CCEAU pour la mise à disposition de la cartographie des renouées sur le bassin Rhône-Méditerranée-Corse, et Irstea Lyon pour les bases de données RHT et SYRAH.

Les auteurs

Oldrich NAVRATIL, Jérôme LEJOT et Dorian RACHEX

Université de Lyon, CNRS, UMR 5600 EVS, Bureau 612, 18 rue Chevreur, F-69362 Lyon Cedex, France.

✉ oldrich.navratil@univ-lyon2.fr

✉ jerome.lejot@univ-lyon2.fr

✉ dorian.rachex@univ-lyon2.fr

Sara PUIJALON et Florence PIOLA

LEHNA, Université Lyon 1, UMR 5023, 43 boulevard du 11 novembre 1918, F-69622 Villeurbanne Cedex, France.

✉ sara.puijalon@univ-lyon1.fr

✉ florence.piola@univ-lyon1.fr

EN SAVOIR PLUS...

- ✉ **BOYER, M.**, 2001, Cartographie de la renouée du Japon sur le réseau hydrographique du bassin Rhône Méditerranée, Tome 1 & 2 et annexes, Étude destinée à l'Agence de l'eau RMC.
- ✉ **DORIGO, W., LUCIEER, A., PODOBNIKARAC, T., CARNID, A.**, 2012, Mapping invasive Fallopia japonica by combined spectral, spatial, and temporal analysis of digital orthophotos, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 19, p.185-195.
- ✉ **JONES, D., PIKE, S., THOMAS, M., MURPHY, DJ.**, 2011, Object-Based Image Analysis for Detection of Japanese Knotweed s.l. taxa (Polygonaceae) in Wales (UK), *Remote Sensing*, vol. 3, n° 2, p.319-342.
- ✉ **MARTIN, F.-M., MÜLLEROVÁ, J., BORGNIE, L., DOMMANGET, F., BRETON, V., EVETTE, A.**, 2018, Using Single- and Multi-Date UAV and Satellite Imagery to Accurately Monitor Invasive Knotweed Species, *Remote Sens.*, vol. 10, 1662, disponible sur : <https://doi.org/10.3390/rs10101662>
- ✉ **MICHEZ, A., PIÉGAY, H., JONATHAN, L., CLAESSENS, H., LEJEUNE, P.**, 2016, Mapping of riparian invasive species with supervised classification of Unmanned Aerial System (UAS) imagery, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, n° 44, p. 88-94, disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.06.014>

Un sac, des gants, un croc de jardin : le déterrage précoce, une technique douce contre l'envahissement des rivières par les renouées asiatiques

Pour ralentir ou stopper les fronts de colonisation des renouées asiatiques, des campagnes pédestres annuelles dites de « déterrage précoce » ont été mises en place depuis plusieurs années par des gestionnaires de milieux aquatiques. Les retours d'expériences menées le long des petits et moyens cours d'eau à écoulements rapides et sur le pourtour d'un lac montrent que cette technique douce a l'avantage d'être à la fois peu coûteuse et efficace.

L'idée d'agir en priorité sur la dissémination des renouées avant de chercher à les éliminer systématiquement le long des cours d'eau est née des observations de terrain. La plante est si caractéristique qu'il est assez facile de la détecter, même quand il s'agit d'un petit plant, et voir des renouées s'installer sur de nouveaux secteurs sans agir était frustrant pour ceux qui les étudient. La comparaison de certains inventaires à plusieurs années d'intervalle montrait par ailleurs le rôle majeur des crues dans les processus de dispersion des renouées asiatiques. Celles-ci érodent, transportent et déposent des matériaux, enterrant des fragments végétaux arrachés plus en amont. Ainsi, dès les premières tentatives réalisées au début des années 2000, l'enlèvement des fragments végétatifs transportés par l'eau est apparu comme faisable à l'aide de petits outils à main. Il suffisait de passer au bon moment après l'apparition des premières tiges, et d'inspecter soigneusement les embâcles, les atterrissements et toute la berge depuis son pied jusqu'à la limite de la zone submergée par la dernière crue. Cette idée a été explorée aux États-Unis par Colleran et Goodall (Colleran et Goodall, 2014, 2015), qui ont constaté que 86% des propagules transportées par la crue et ayant fait des repousses avaient été enterrés à moins de 10 cm de profondeur dans les sédiments et pouvaient être extraits manuellement. Les auteurs préconisent d'ailleurs la détection et l'élimination précoce des jeunes plants de renouées comme méthode de lutte efficace contre l'invasion. En France, cette méthode a été proposée depuis plusieurs années à des gestionnaires de

cours d'eau afin de ralentir, voire même stopper la progression des fronts de colonisation vers l'aval. L'opération consiste à intervenir dès la première année de pousse du fragment végétatif arraché par la crue, avant que la plante ne développe ses premières racines puissantes plongeant dans le sol et que le chevelu de rhizomes ne s'étende rapidement à l'horizontal.

L'article présente les retours d'expérience de plusieurs années de gestion des invasions par ces techniques douces, sur différents cours d'eau et le lac du Bourget. Ces retours sont aujourd'hui possibles, car toutes les interventions ont été suivies de manière rigoureuse en réalisant d'abord un inventaire complet des massifs existants, puis en localisant chaque plant éliminé lors des différentes campagnes. Les analyses de ces résultats montrent d'abord la dynamique rapide de colonisation vers l'aval, si caractéristique des renouées asiatiques dans les rivières à écoulement rapide, puis explorent les effets de plusieurs années de campagnes régulières de récolte des plants issus de fragments végétatifs, dites aussi campagnes de « déterrage précoce ».

Le rôle des crues dans la dynamique de colonisation des rivières

L'effet des crues sur la vitesse de colonisation

Les inventaires cartographiques des renouées asiatiques réalisés à plusieurs années d'intervalle à la demande des gestionnaires apportent des données précieuses et originales sur la dynamique de colonisation des cours d'eau. Cela a été réalisé par exemple en 2001 et 2008

1 Aperçu des vitesses de colonisation par les renouées asiatiques des cours d'eau rapides – comparaison d'inventaires cartographiques à sept et neuf ans d'écart (source : Concept.Cours.d'Eau SCOP Aquabio, SIVU Ganges le Vigan, CC Rhône Valloire).

Cours d'eau	Linéaire visité	Année de l'inventaire	Nombre de massifs	Surface totale envahie	Linéaire colonisé
Collières (Drôme)	13 km	2001 2008	26 108	240 m ² 3 700 m ²	5,0 km 9,5 km
Hérault amont confluence avec l'Arre (Hérault)	7 km	2007 2015	28 139	250 m ² 9 000 m ²	5,0 km 7,0 km
Hérault aval confluence avec l'Arre (Hérault)	30 km	2007 2015	63 472	250 m ² 12 500 m ²	9,0 km 30,0 km
Arre amont (Hérault)	10 km	2007 2015	3 8	100 m ² 100 m ²	1,0 km 2,5 km

pour la rivière des Collières dans la Drôme, ainsi que dans le haut bassin versant de l'Hérault en 2007 et 2015 (tableau 1). Dans les deux cas, aucune action spécifique contre les renouées n'avait encore été entreprise entre les deux dates d'inventaires.

Sur le tronçon étudié, la rivière des Collières est de dimension modeste (< 5 m de large), souvent rectifiée et parcourt des zones essentiellement agricoles. En sept saisons végétatives, le nombre d'implantations de renouées asiatiques a quadruplé, passant de 26 en 2001 à 108 en 2008. La surface totale envahie a été multipliée par quinze et le linéaire de rivière touché a doublé, passant de 5 à 9,5 km. Alors qu'en 2001, les renouées asiatiques étaient à un stade initial de colonisation et qu'une élimination complète de la plante était encore possible, sept saisons végétatives plus tard, cette solution n'était plus faisable financièrement.

Dans le Sud de la France, sur le Haut-Hérault, caractérisé par ses crues extrêmes suite à des épisodes pluvieux de type cévenol, le constat a été encore plus alarmant au cours de la période 2007-2015 marquée par deux crues importantes, l'une en novembre 2011 et l'autre en septembre 2014. Le nombre d'implantations de renouées asiatiques observées a en effet été multiplié par six (tableau 1), passant de 91 à 611 sur 37 km de rivières. La superficie totale colonisée a été multipliée par 43 : elle était de 500 m² en 2007 et a atteint 21 500 m² en 2015. Sur les 23 km de l'Hérault en amont de Ganges, l'invasion par les renouées est ainsi passée en neuf saisons végétatives d'un stade initial de colonisation, à un stade très avancé, impossible désormais à maîtriser entre la confluence avec l'Arre et la ville de Ganges.

La carte (figure 1) montre par ailleurs que trois fronts de colonisation étaient présents en 2007 avec une introduction ancienne dans un très petit affluent du Coudoulous (point a sur la figure 1), où la présence de la plante est signalée depuis une cinquantaine d'années, et deux nouvelles introductions plus récentes en amont, l'une sur l'Hérault (point b) et l'autre sur l'Arre (point c). En aval de l'introduction la plus ancienne, le Coudoulous et l'Arre étaient déjà très envahis en 2007 et les renouées avaient même dépassé la confluence avec l'Hérault. Tout au sud du territoire, sur les 14 km du fleuve situés en aval de la ville de Ganges, une seule petite zone colonisée en berge (< 1 m²) avait été observée en 2007 au sud

de celle-ci (point d). Comme il n'a pas été détecté de renouées sur les affluents de l'Hérault en aval de Ganges, il est très probable que la plante soit issue du flux naturel de propagules sur l'Hérault depuis des massifs en amont situé à plus de 9 km de là. En 2015, le front de colonisation, initialement situé au niveau de Ganges, a ainsi progressé de 14 km vers l'aval traduisant une progression moyenne d'environ 1,5 km par an.

Sur le terrain, les crues de l'Hérault impactent fortement les massifs de renouées. Les tiges et les rhizomes sont arrachés et entraînés par l'eau et une partie de ces fragments se retrouve piégée dans les embâcles de bois, où des nouveaux plants de renouées apparaissent. La forme systématiquement allongée des massifs dans le sens de l'écoulement de l'eau, que ceux-ci soient situés en berge ou dans les ripisylves, montre l'impact de l'érosion des alluvions entraînant des arrachages de rhizomes, dont une partie est déposée ou enterrée à proximité immédiate du massif érodé, provoquant ainsi l'allongement des massifs. Les crues ont ainsi joué un rôle majeur non seulement dans la dispersion des propagules sur de longues distances, mais aussi sur l'étalement des massifs.

Sur les deux autres fronts de colonisation plus récents, l'évolution a aussi été très rapide sur l'Hérault en amont de la confluence avec l'Arre, où les renouées colonisaient déjà 250 m² en 2007. Elle a été moins spectaculaire sur la haute vallée de l'Arre, où la plante n'occupait initialement que quelques dizaines de mètres carrés, mais les renouées ont tout de même progressé de 1,5 km au cours des neuf saisons végétatives. La superficie totale colonisée n'a quant à elle pas changé car des travaux de décaissement sur une berge ont réduit involontairement la taille d'un massif.

Le stade initial de colonisation peut ainsi se maintenir quelques années chez les renouées asiatiques avec une propagation vers l'aval discrète. Mais dès que les crues génèrent un flux important de propagules, la colonisation devient très rapide. Ce flux varie d'une crue à l'autre et en fonction des superficies colonisées par les plantes, qui seront érodées. C'est pourquoi la progression naturelle des renouées asiatiques est étroitement liée à la géodynamique fluviale. Les rivières plus lentes seront par exemple colonisées moins rapidement que les cours d'eau présentant des pentes fortes ou un charriage important. Sur un cours d'eau comme l'Hérault, négliger

ces colonisations naturelles et d'abord discrètes sur des affluents peut ainsi conduire à manquer toute possibilité ultérieure de stopper la progression des plantes vers l'aval.

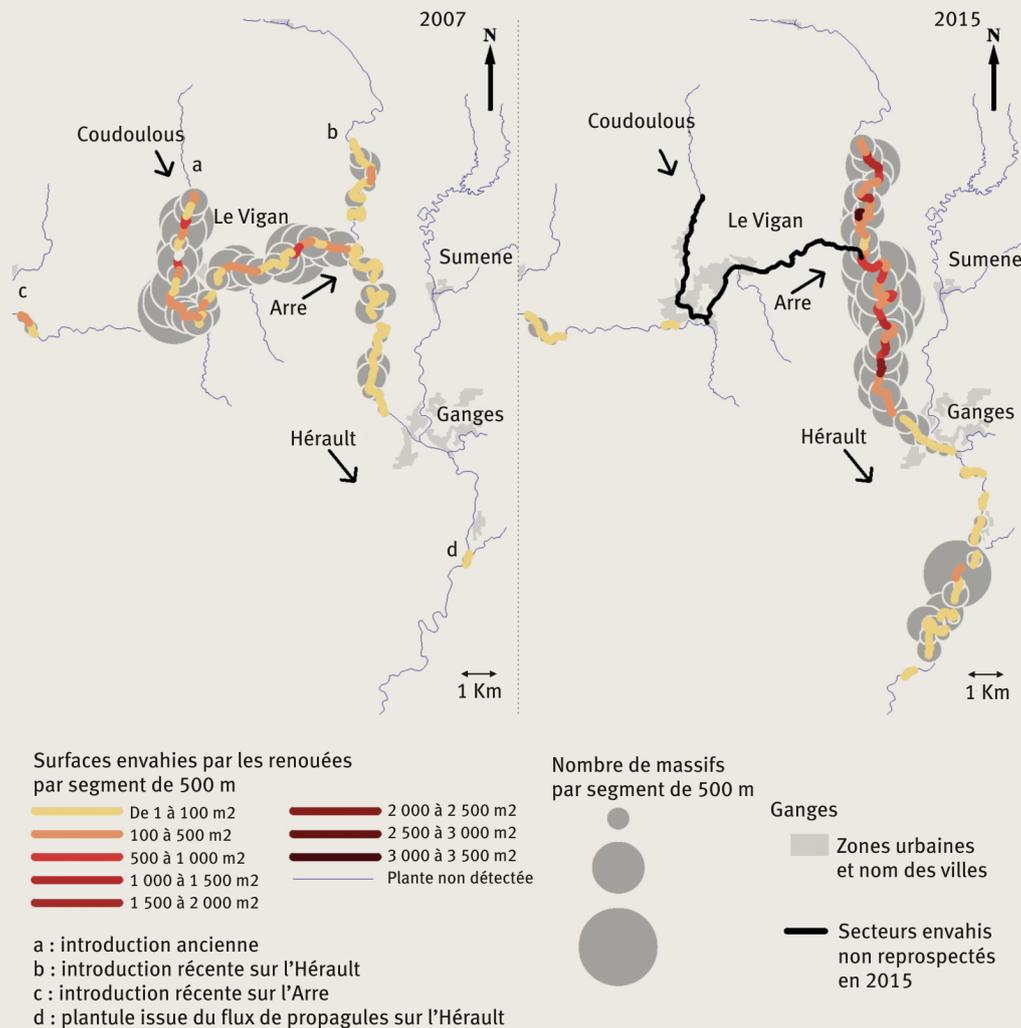
L'installation de nouvelles plantes grâce aux crues

Les suivis du nombre et de la localisation des nouvelles plantes éliminées lors des campagnes de « déterrage précoce » sur des rivières rapides et dans des secteurs en voie de colonisation sont des sources de données intéressantes pour analyser la dynamique d'installation des renouées sur ce type de cours d'eau. Selon le niveau de colonisation des berges, l'intensité des crues et la saison où elles ont eu lieu, il s'est par exemple installé chaque année entre une à vingt nouvelles plantes par kilomètre de rivière au cours des différentes campagnes suivies (tableau 2). Ce nombre pourrait paraître étonnamment faible pour une plante aussi performante, mais il correspond à des secteurs encore faiblement colonisés. Ces faibles quantités montrent une progression discrète de

la plante et ouvrent la possibilité d'une gestion. L'analyse des différentes campagnes met aussi en évidence la relation étroite entre la dynamique de colonisation et la fréquence et l'importance des crues.

Par ailleurs, ces campagnes ont permis d'évaluer des distances de propagation des propagules. En 2018, sur le territoire de Cœur de Savoie (Savoie), 340 nouveaux plants de renouées asiatiques ont été récoltés sur 104 km de rivières : 85 % étaient situés à moins de 100 m du massif le plus proche en amont, 9 % l'étaient entre 100 et 500 m et seulement 5 % étaient à plus de 500 m de distance de la dernière zone envahie. Un nouveau plant a aussi été retrouvé à 2,5 km du massif amont le plus proche dans un secteur rectifié du Val Coisin. Ainsi, bien qu'un déplacement très lointain des propagules soit possible, sa probabilité reste faible sur des petits ou moyens cours d'eau naturels, probablement car le flux de corps flottants est écrêté plus ou moins rapidement par échouage sur les berges et dans les obstacles rencontrés. Finalement, il semblerait que sur ces cours d'eau, la

1 Cartes de progression des renouées asiatiques sur le haut bassin versant de l'Hérault entre 2007 et 2015. L'Arre est un affluent rive droite du Haut Hérault et traverse la ville du Vigan, l'Hérault traverse la ville de Ganges. (source : Concept.Cours.d'Eau SCOP Aquabio, SIVU Ganges le Vigan).



plus grande réussite d'installation des plantes transportées par les crues se situe à des distances assez faibles du foyer mère, de l'ordre de quelques centaines de mètres.

Le retour d'expérience des campagnes de « déterrage précoce » dans le bassin versant du lac du Bourget en Savoie

Les moyens mis en œuvre et les résultats

Sur le bassin versant du lac du Bourget (Savoie), les collectivités publiques (Communauté d'agglomération Grand Chambéry, CALB – Communauté d'agglomération du Lac du Bourget et CISALB – Comité intersyndical pour l'assainissement du Lac du Bourget) mènent des actions depuis le début des années 2000 pour gérer les renouées asiatiques. En 2004, une stratégie de gestion pour limiter la dissémination de ces plantes sur le bassin chambérien a été définie ; elle s'est traduite, dès 2005, par des opérations annuelles de déterrage précoce sur les cours d'eau des bassins versants de la Leysse et du Belle-Eau. Ces campagnes se sont ensuite étendues en 2012 à une majorité des affluents du lac du Bourget et au

lac lui-même. Sur les cours d'eau, les prospections sont effectuées en régie par une équipe de Grand Chambéry ; celle-ci parcourt à pied tous les ans une centaine de kilomètres de rivières et consacre en moyenne 500 heures à ces opérations. Elle a ainsi éliminé 250 nouveaux plants en moyenne par an sur la période 2012-2017.

Sur le littoral du lac du Bourget, un diagnostic réalisé en 2010 avait mis en évidence une colonisation alarmante par les renouées asiatiques, touchant notamment les zones naturelles les plus remarquables. Les plantes étaient en effet présentes sur 350 sites et couvraient déjà une superficie totale de 1,7 ha. Les campagnes de déterrage précoce ont débuté dès 2012 sur tout le pourtour du lac soit un linéaire de 57 km. Il s'agissait d'éliminer toutes les nouveaux plants issus des échouages de propagules venant des affluents ou des zones envahies du lac. Alors que sur les rivières, les campagnes se déroulent après la baisse des hautes eaux printanières, celles sur le lac s'effectuent dès la mi-avril car les milieux prospectés sont rapidement impénétrables. Elles mobilisent chaque année une équipe de trois personnes pendant six jours. Les prospections sont effectuées depuis la rive ou

2 Relation entre le nombre de nouveaux plants éliminés, le nombre initial de massifs de renouées et les caractéristiques de la crue sur différents bassins versants (source : Concept.Cours.d'Eau SCOP Aquabio, CC Cœur de Savoie, CISALB, CC Feurs-en-Forez).

Cours d'eau	Date de l'inventaire initial	Linéaire visité	Densité de massifs par km de rivière	Hydrologie particulière avant la campagne de déterrage précoce		Nombre de nouveaux plants de renouées par km de rivière	Année de la campagne de déterrage précoce
				Crue hivernale (octobre à mai) Qmax* et occurrence	Crue d'été (juin à septembre) Qmax* et occurrence		
Gelon (Savoie)	Été 2017	25 km	14 u/km	22 m ³ /s cinquantennale hiver 2017/18	2 m ³ /s < biennale été 2018	10 par km	2018
Hérault (Hérault)	Printemps 2007	1,3 km	12 u/km	587 m ³ /s biennale hiver 2005/06	603 m ³ /s biennale automne 2006	20 par km	2007
Granges (Loire)	Été 2003	2,5 km	2 u/km	Absence de données	Absence de données	1 par km	2004
Sierroz (Savoie)	Automne 2010	37 km	18 u/km	55 m ³ /s biennale hiver 2011/12	28 m ³ /s < biennale été 2012	1 par km	2012
				47 m ³ /s biennale hiver 2012/13	57 m ³ /s biennale été 2013	1 par km	2013
				52 m ³ /s biennale hiver 2013/14	Absence de données	3 par km	2014
				Absence de données	49 m ³ /s biennale automne 2015	2 par km	2015
				23 m ³ /s < biennale hiver 2015/16	96 m ³ /s vicennale été 2016	5 par km	2016
				23 m ³ /s < biennale hiver 2016/17	14 m ³ /s < biennale été 2017	3 par km	2017
				75 m ³ /s décennale hiver 2017/18	10 m ³ /s < biennale été 2018	7 par km	2018

* Qmax = débit maximal instantané.

▶ depuis une embarcation, selon l'accessibilité des différents secteurs. Chaque plant extrait est géolocalisé précisément pour vérifier l'année suivante que l'opération a été efficace et différentes informations, comme le type de propagule (tige ou rhizome), sont collectées, car le fragment végétatif à l'origine du plant est la plupart du temps facilement identifiable. Quand le fragment à l'origine de la plante ne peut être trouvé, il est impossible d'affirmer qu'il vient d'une graine. Les semis ne sont en effet quasiment pas détectables lors de ces campagnes. Ils ne font que quelques millimètres ou centimètres de haut la première année. Dans ce genre de campagne, une plante issue de semis serait visible à partir de la deuxième ou troisième année, quand les feuilles cotylédonaire ne sont plus là pour prouver l'origine de la plante. De plus, les semis de renouées détectés en milieux naturels sont toujours situés à proximité des pieds mères et ces zones, qui seront rapidement envahies par l'extension des rhizomes, ne sont pas prospectées lors des campagnes de déterrage précoce.

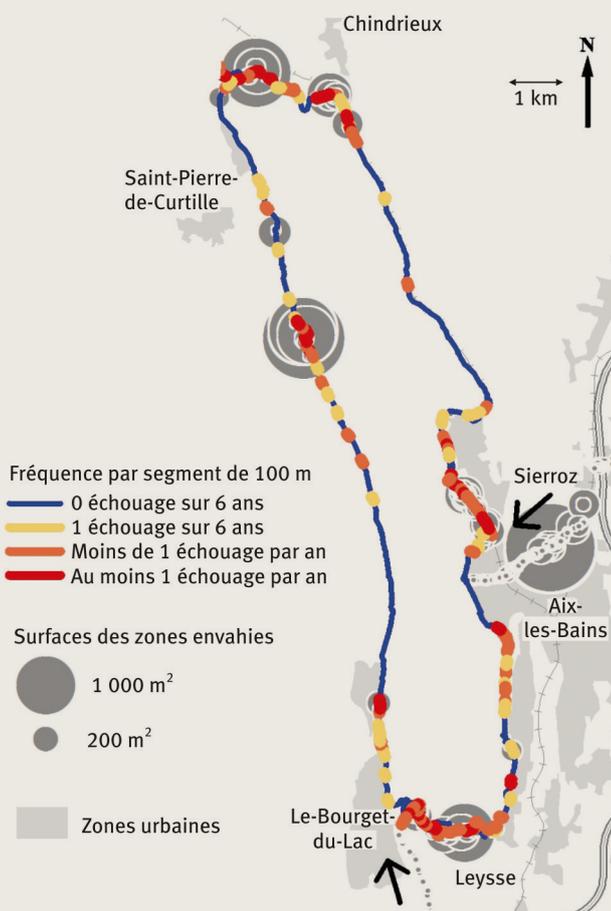
Sur les deux dernières campagnes (2017 et 2018), 95 % des plants extraits étaient issus de rhizomes et seulement 5 % de boutures de tiges (n=327), bien qu'une grande quantité de tiges coupées soit produite à chaque saison végétative. Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus sur les cours d'eau américains (Colleran et Goodall,

2014) où les nouveaux plants provenaient à 70 % de rhizomes et à 30 % de tiges.

L'opération de déterrage est effectuée à l'aide d'un croc de jardin et chaque opérateur est équipé d'un sac pour transporter la récolte. L'équipe avance de front et fait si besoin plusieurs allers-retours pour prospecter toute la largeur de rive soumise au marnage du lac. Elle recherche un compromis entre le temps passé à se déplacer en observant le sol, celui à déterrer et la nécessité de ne pas récolter trop de terre pour éviter de devoir vider trop souvent les sacs. L'opérateur fouille ainsi le sol pour récolter l'intégralité du rhizome sans emporter trop de terre ; il abandonne sa tâche s'il se rend compte que le nouveau plant est en fait une pousse aérienne d'un rhizome attaché à un massif proche. Certains plants juste échoués en surface s'enlèvent très facilement, mais d'autres nécessitent de fouiller le sol, de soulever des bois flottés, d'écartier le système racinaire d'autres plantes, etc. Il a aussi été demandé à l'opérateur de décrire la difficulté de l'enlèvement et de juger si le rhizome avait été extrait complètement ou partiellement. Des repousses ont été observées sur 58 % des zones, où le déterrage avait été jugé comme partiel par l'opérateur (n=78), alors qu'aucune repousse n'a été constatée sur 91 % des zones où celui-ci estimait avoir extrait complètement le rhizome (n=136). Ces résultats témoignent de la bonne capacité des opérateurs à évaluer la plupart des déterrages complets, et des doutes fréquents mais la moitié du temps non justifiés sur certains autres. Le déterrage des jeunes plants demande en effet beaucoup de motivation et de la rigueur.

La vérification de 507 déterrages au fil des différentes campagnes montre qu'il n'y a pas eu de repousses l'année suivante dans 80 % des cas. Néanmoins, le déterrage des jeunes plants, même partiel, reste une opération utile si elle est répétée sur plusieurs années. Par exemple, pour seize plants difficiles à extraire, ayant fait l'objet de deux tentatives en 2016 et en 2017, dix n'ont finalement plus repoussé en 2018. Par ailleurs, une vingtaine de petits massifs sont « apparus » naturellement pendant ces campagnes et ils correspondent certainement à des nouveaux plants non détectés lors des campagnes précédentes. Cette quantité reste faible devant le nombre de nouveaux plants récoltés. En effet, ce sont 1 610 jeunes plants de renouées qui ont été déterrés sur le littoral du lac du Bourget entre 2012 et 2018. Mais cela signifie-t-il que sans ces opérations, il y aurait aujourd'hui 1 610 massifs en plus ? Même si les boutures de rhizomes ont une forte capacité à se développer dans des habitats très variés, une partie de celles-ci aurait sans doute déperé du fait de l'envahissement parfois prolongé lié aux fluctuations du niveau du lac. Par ailleurs, les jeunes plants très proches les uns des autres auraient fini par former en quelques années un seul massif indistinct. Le nombre de massifs évités est donc probablement plus faible que le nombre de jeunes plants récoltés. Une analyse géographique basée sur la proximité des plants récoltés montre ainsi que les six campagnes annuelles ont sans doute évité l'apparition supplémentaire d'environ 280 massifs. Le coût de la prévention et la détection précoce s'est ainsi élevé à environ 260 euros HT par « non massif »¹ et il est

2 Carte des fréquences d'échouage de propagules ayant donné une ou plusieurs repousses de renouées asiatiques sur le littoral du lac du Bourget entre 2013 et 2018 (source : Concept.Cours.d'Eau SCOP Aquabio, CISALB).



1. En considérant un taux de succès des déterrages de l'ordre de 80 %.

infime par rapport au coût d'une élimination de massifs existants. Cette technique douce est donc particulièrement adaptée aux milieux difficiles d'accès comme les cours d'eau et les lacs subissant une pression annuelle de propagules. Ces résultats confirment les observations et les conseils de gestion également proposés par Colleran et Goodall.

La répartition géographique des échouages de renouées sur le pourtour du lac du Bourget

La fréquence d'échouage de propagules ayant donné une ou plusieurs repousses a été analysée entre 2013 et 2018 avec une échelle de précision de 100 m (figure 2). Ces données ont été superposées à la localisation des secteurs déjà envahis. La carte obtenue montre les zones préférentielles d'échouage en rouge sur lesquelles tous les ans apparaissent des nouveaux plants. Quatre-vingt-onze pour cent de ces secteurs sont déjà colonisés par les renouées. Ce sont surtout des zones très envahies initialement, car pour certaines, elles sont plus exposées à des vents dominants apportant beaucoup de débris flottants, et pour d'autres, les renouées ont été dispersées involontairement par des activités humaines. De plus, la carte montre les secteurs, où aucun nouveau plant n'a jamais été détecté (en bleu). Ils couvrent 65 % du littoral. Ils se situent essentiellement au niveau de la côte rocheuse à l'ouest du lac et le long des enrochements à l'est, où la bande littorale est très étroite ou absente et moins propice au dépôt de débris flottants. La visite de ces secteurs est très rapide et elle pénalise donc peu les campagnes. Par ailleurs, 7 % du littoral sans présence initiale de renouées a pu être protégé d'une colonisation grâce au déterrage précoce. Pour la moitié de ces sites ainsi protégés, les échouages ont été peu fréquents (1/6 ans). Mais malgré la rareté de ces échouages sur certains secteurs, la détection précoce apparaît une mesure indispensable pour empêcher à moyen ou long terme, leur colonisation par les renouées.

Conclusion

La lutte contre la dissémination naturelle des renouées asiatiques est d'un grand intérêt sur les rivières rapides pour ralentir leur colonisation. La technique du « déterrage précoce », qui consiste à détecter tous les ans et à retirer manuellement les jeunes plants issus de la dispersion de propagules est efficace. Elle peut être effectuée sur de nombreux cours d'eau et autour des lacs ; cette technique douce a aussi l'avantage d'être peu coûteuse (3 heures agent/km). Son efficacité sur la dynamique de colonisation serait à évaluer sur les rivières avec un charriage annuel important. Sur ce type de cours d'eau, des fragments de rhizomes peuvent en effet être enfouis assez profondément dans des embâcles de bois ou dans des sédiments. Leur extraction manuelle est donc trop difficile et seule une partie des nouveaux plants peut être retirée. Par ailleurs, le déterrage précoce doit s'accompagner d'autres actions en particulier sur les fronts de colonisation, car les massifs de renouées déjà en place continuent de s'étendre et ils finiront à terme par envahir les milieux si rien n'est fait pour les contenir ou les éliminer. Enfin, d'autres plantes invasives peuvent aussi être éliminées à la main lorsqu'elles sont encore peu développées. Cette technique a été utilisée en 2018 sur des jeunes



plants de laurier cerise, d'érable negundo, de buddleia de David, de raisin d'Amérique, de berce du Caucase, d'ambroisie et de paulownia sur les cours d'eau du territoire de la communauté de communes Cœur de Savoie. L'analyse du résultat des prochaines campagnes déterminera si ces opérations sont également utiles pour ralentir la dynamique de colonisation de ces espèces. ■

Les auteurs

Louise BARTHOD et Mireille BOYER

Aquabio
108 allée du lac Léman,
F-73290 La Motte Servolex, France.

louise.barthod@aquabio-conseil.com

mireille.boyer@aquabio-conseil.com

Remerciements

L'acquisition de ces données repose sur l'investissement depuis 2011 de nombreuses personnes, pour mettre en place, suivre et réaliser les campagnes de déterrage précoce. Nous souhaitons particulièrement remercier le CISALB, Chambéry Métropole, Chloé Barrand, Emma Cizabuiroz, Julien Gaubert, Julie Laigle, ainsi que l'ensemble des personnes qui ont participé à ces campagnes.

EN SAVOIR PLUS...

BOYER, M., 2005, L'invasion des cours d'eau par les renouées du Japon s.l.: réflexions et propositions pour des stratégies de luttes efficaces, *Parcs et Réserves*, vol. 60, n° 1, p. 21-29.

COLLERAN, B.P., GOODALL, K. E., 2014, In Situ Growth and Rapid Response Management of Flood-Dispersed Japanese Knotweed (*Fallopia japonica*), *Invasive Plant Science and Management, Weed Science Society of America*, vol. 7, n° 1, p. 84-92.

COLLERAN, B.P., GOODALL, K. E., 2015, Extending the Timeframe for Rapid Response and Best Management Practices of Flood-Dispersed Japanese Knotweed (*Fallopia japonica*), *Invasive Plant Science and Management, Weed Science Society of America*, vol. 8, n° 2, p. 250-253.

Les techniques de bâchage pour le contrôle de la renouée

Le bâchage peut permettre de contrôler l'expansion des espèces invasives, en particulier des renouées asiatiques. Sur la base de retours d'expériences et des quelques références présentes dans la littérature, cet article décrit les conditions d'utilisation de géotextiles ou géomembranes et apporte des préconisations techniques pour mettre en œuvre les opérations de bâchage.

Le bâchage : pour quoi faire ?

Le principe du bâchage est de recouvrir le sol avec une toile pour créer un obstacle physique au développement des parties aériennes des végétaux. Cette technique est couramment utilisée en agriculture et en espaces verts pour contrôler les espèces végétales indésirables. Elle peut ainsi être une solution pour la gestion des espèces invasives, en particulier des géophytes telles que les renouées asiatiques. Le développement industriel de nouvelles bâches dédiées à cet objectif et les nombreuses utilisations expérimentales menées ces dernières années témoignent de l'intérêt porté à cette technique. Il convient aussi de préciser que de nombreux échecs ont été constatés. Sur la base de retours d'expériences et des quelques références présentes dans la littérature, nous proposons dans cet article de décrire les conditions d'utilisation et d'apporter des préconisations techniques pour les opérations de bâchage visant le contrôle des renouées asiatiques.

Les méthodes de contrôle des renouées comme la fauche, l'écopâturage ou le traitement à l'aide de phytocides montrent leur limite et ne permettent généralement pas d'éradiquer les renouées asiatiques. L'éradication des renouées asiatiques n'est souvent envisageable que par des travaux lourds incluant des terrassements importants, l'utilisation d'engins de chantier, le déplacement et le traitement de grands volumes de matériaux contaminés (voir l'article de Moiroud *et al.*, pages 68-73, dans ce même numéro). Entre ces deux types de solutions, ou en combinaison avec certaines d'entre-elles, le bâchage peut constituer une alternative intéressante. L'interdiction programmée de la vente et l'usage des phytocides est par

ailleurs un élément de contexte qui pourrait pousser le développement de ce type de techniques, notamment le long des infrastructures de transport où des solutions alternatives doivent être trouvées (encadré ①).

En constituant une barrière aux parties aériennes des renouées, les bâches étalées sur le sol peuvent limiter le développement de ces espèces. Cependant, les renouées exotiques étant des plantes clonales rhizomateuses, elles sont capables de se déplacer, et l'absence de lumière n'est pas suffisante pour limiter leur expansion. Pour être efficace, la technique doit répondre à deux impératifs : d'une part l'emprise du bâchage doit être suffisante pour contenir les capacités de propagation latérale des rhizomes de la plante ; d'autre part la bâche doit être parfaitement étanche vis-à-vis de ces rhizomes et des tiges.

Les différentes options

Choix des bâches

On utilisera des bâches présentant une étanchéité à même d'empêcher le percement par les rhizomes ou les tiges des renouées. L'étanchéité doit également être recherchée au niveau des connexions des bâches avec d'autres éléments et ouvrages (dalles, piliers, voies...) et des bâches entre elles (lorsque les emprises sont importantes, il est nécessaire de relier plusieurs bâches avec un système de collage ou de recouvrement, également étanche). Par ailleurs la qualité des bâches ne doit pas être altérée au cours du temps, et doit pouvoir se maintenir suffisamment longtemps (les rhizomes de renouées sont capables de survivre plusieurs années dans le sol).

1 RETOUR D'EXPÉRIENCE DE SNCF RÉSEAU : RECOUVREMENT DE LA RENOUÉE

Face à la difficulté de gérer les renouées asiatiques sur site ferroviaire, SNCF Réseau a lancé un partenariat industriel et scientifique avec DuPont De Nemours (Luxembourg) SARL, fabricant de produits de contrôle de la végétation et Irstea, organisme scientifique, afin de tester des solutions techniques et les expérimenter en grandeur nature (photo 1).

L'objectif du partenariat est de réaliser un chantier expérimental de contrôle de la renouée par des techniques de génie écologique incluant différentes nappes (ou géotextiles) anti-végétation et différentes techniques de pose et d'accroche.

Les objectifs attendus de ce partenariat pour chacune des parties sont :

- pour DuPont, d'obtenir des résultats scientifiques prouvant l'efficacité des produits de la gamme Plantex®, à savoir Plantex® Platinum (nappe non tissée en polypropylène) pour le contrôle de la végétation ainsi que Plantex® RootProtector (un système anti-racinaire) et des informations complémentaires pour améliorer les guides d'installation ;
- pour Irstea, d'avoir un gain d'expertise, de réaliser des publications techniques et scientifiques et d'avoir un lien direct avec les acteurs du terrain ;
- pour SNCF Réseau, de définir une méthode de lutte efficace contre les plantes invasives par recouvrement et de disposer de fiches de bonnes pratiques pour ses agents de terrain.

Le site expérimental, d'une surface d'environ dix hectares, est situé à Chalons-sur-Saône. Il est pérenne, car il bénéficie d'une autorisation d'occupation temporaire de dix ans avec une garantie d'absence d'intervention pour travaux. De plus, il est facilement accessible et son éloignement relatif des voies ferrées n'impose pas la mise en place de mesures de sécurité trop contraignantes par rapport à la sécurité ferroviaire.

Le protocole expérimental a été établi par Irstea avec différentes modalités et réplicats à même de fournir des résultats exploitables, ainsi que des suivis réguliers.

Les nappes de contrôle des mauvaises herbes et les systèmes servant à joindre les lés entre eux ont été fournis par DuPont.

En 2017, une première série de placettes a été créée pour déterminer à quelle distance les rhizomes de renouées sont capables de s'étendre, au-delà de la tache initiale.

En 2018, d'autres placettes d'expérimentation ont été définies pour tester :

- différents systèmes de fixation avec agrafes dans des contextes variés : configuration en pente (photo 2) ou à plat (photo 3) ;
- différents systèmes pour joindre les lés : tests de la bande adhésive et du thermo-soudage, résistance à la renouée des nappes au niveau des recouvrements des lés ;
- résistance à la renouée de la nappe au niveau des connexions avec différents types d'ouvrage ou équipement SNCF. Pour cela, des éléments techniques, tels que les caniveaux et les dés de poteaux caténaux, ont été reproduits sur place (photo 4).

Les parcelles d'essais incluent des témoins (sans intervention) pour permettre des comparaisons d'efficacité.

Préalablement aux séries d'expérimentation, une cartographie précise des taches de renouée a été réalisée par Irstea afin de réaliser un suivi scientifique sur dix ans.

Les premiers résultats au bout de deux années d'installation sont encourageants. Les expérimentations se poursuivent pour déterminer les meilleures solutions.



1 Affiche du partenariat industriel et scientifique.

© A. Petit (SNCF Réseau)

2 Pose de la nappe de contrôle des mauvaises herbes en pente, avec différents types de fixation.



© A. Petit (SNCF Réseau)

3 Parcelle d'expérimentation recouverte de bâche et de gravillons.



© C. Dechaume Moncharmont (SNCF Réseau)

4 Parcelle d'expérimentation avec reproduction des dés de poteaux caténaux béton.



© A. Petit (SNCF Réseau)

D'autres configurations ont également été testées : un test est réalisé dans un centre de signalisation électrique à Sennecey-le-Grand. L'accès à la guérite par les agents est rendu compliqué par la présence de renouées au bord et même à l'intérieur de l'installation, ce qui entraîne même des risques de disjonctions ou d'amorçage.

Une nappe a donc été installée sur site, avec différents types d'accroches (réglette inox vissée et colle) : la dynamique de la plante est telle que des pousses de Renouée parviennent à sortir par endroits. Des solutions alternatives sont en cours d'étude.

Les géotextiles sont perméables et constitués de fibres tissées ou non, naturelles ou synthétiques, on trouve donc des géotextiles biodégradables ou non. Il existe aussi des géosynthétiques étanches à l'eau et à l'air qui sont appelés géomembranes. L'utilisation de géomembranes présente l'intérêt d'assécher la plante en empêchant l'apport d'eau météorique.

Les matériaux biodégradables (coco, chanvre, PLA¹...) vont se dégrader plus ou moins rapidement, notamment en fonction de leur contenu en lignine. Les matériaux épais et non tissés vont permettre un paillage dense à même de limiter le développement des renouées le temps de leur dégradation. Ces géotextiles biodégradables sont généralement utilisés en combinaison avec des plantations.

Fixation de la bâche

Les bâches sont généralement sensibles aux ultraviolets et vieillissent rapidement à la lumière. Elles peuvent par ailleurs être emportées ou déchirées par le vent ou le piétinement. De plus, grâce à leur vigueur, les renouées sont susceptibles de les soulever. Les bâches doivent donc être maintenues au sol, soit par un lestage de matériaux (terre ou gravier) recouvrant, soit par un ancrage (piquets ou agrafes).

Plantations

Des espèces ligneuses compétitrices peuvent être plantées dans la bâche. On prendra cependant bien garde à l'étanchéité des ouvertures ainsi créées que les renouées ne manqueront pas d'explorer. Il peut s'agir de boutures courtes ou longues de salicacées ou d'autres ligneux connus pour leurs effets sur la renouée comme le sureau hible ou la bourdaine ; d'autres essences forestières peuvent également être utilisées en fonction du contexte stationnel. Pour les bâches recouvertes de 20 à 30 centimètres de terre utilisée comme lest, on pourra procéder à un ensemencement, voire à la plantation de ligneux bas (encadré ⑤, voir aussi l'article de Dommanget *et al.*, pages 74-79, dans ce même numéro).



⑤ Renouée ayant profité du trou d'une agrafe pour passer la bâche.

La préparation

Préparation du sol

Le sol doit être préparé pour favoriser le bon contact de la bâche et la protéger de la perforation. À cette fin, les tiges doivent être coupées au niveau du sol et évacuées. L'arrachage des rhizomes peut être avantageusement mis en œuvre si l'on souhaite réduire la pression des renouées (notamment en cas de plantation). Le sol peut aussi être décapé sur sa partie superficielle, mais on veillera à ne pas contaminer d'autres secteurs avec les matériaux ainsi évacués.

Emprise

Les renouées peuvent se déplacer horizontalement via leurs rhizomes ; il est important de savoir à quelle distance de la tache on doit étendre le géotextile. Il semble ainsi que les renouées puissent parcourir jusqu'à dix à vingt mètres. Il apparaît cependant que ces valeurs maximales aient été obtenues dans des conditions particulières, et une étude récente de Fennell *et al.* (2018), portant sur *Reynoutria japonica* Houtt., a permis d'estimer que l'extension latérale des rhizomes atteint un seuil de quatre mètres, très rarement dépassé. La distance que pourra parcourir la renouée dépendra aussi de la quantité de réserve disponible dans la tache et donc de la vigueur de celle-ci.

Un compromis fréquemment rencontré est de dépasser d'au moins deux mètres autour de la zone envahie.

Le déroulement

Une fois le terrain préparé, on couvre la zone avec une géomembrane ou un géotextile. La bâche ne doit pas être trop tendue sur les tiges coupées, car cela peut la fragiliser. En effet, l'expérience montre que la bâche peut facilement être abîmée lors de la manutention et des travaux d'installation. Les rhizomes de renouée semblent facilement percer au niveau des points de faiblesses de la bâche. Des précautions particulières doivent donc être prises au moment de l'installation pour éviter toute dégradation.

Il est par ailleurs compliqué mais impératif d'assurer une étanchéité entre la bâche et les éléments environnants (trunks d'arbres, murs, pieds de poteaux, caniveaux, piliers...). La fixation de la bâche contre les ouvrages doit être suffisamment étanche. Les renouées profitent en effet du moindre petit interstice pour se faufiler et écarter les éléments en place.

La bâche est fixée au sol à l'aide d'agrafes, souvent en fer à béton recourbé, même si ce type d'agrafes se dégradent très mal avec le temps. Une attention particulière doit être apportée aux trous ainsi faits dans la bâche car les renouées profiteront du moindre petit espace pour se faire voir (photo ⑤).

Une attention toute particulière doit également être apportée au niveau des recouvrements entre lés. En effet, les renouées savent profiter du moindre point de faiblesse et y montrent fréquemment le bout de leur

1. Le PLA ou *Polylactic acid* (Acide polylactique) est une matière plastique d'origine végétale, utilisant communément de l'amidon de maïs comme matière première.

nez (photo 6). On pourra ainsi coller ou thermo-souder les bâches en fonction de leur nature. Un recouvrement latéral d'une longueur suffisante doit être adopté si aucun dispositif d'étanchéité n'est mis en place.

L'entretien

Pour être réussies, les opérations de bâchage doivent nécessairement être associées à un entretien régulier pendant la période de végétation. Il s'agit ainsi de contrôler méticuleusement les bordures de l'emprise, et l'ensemble de la surface de la bâche, avec une attention particulière pour les zones de fragilité (agrafes, recouvrements, plantations...). On cherche ainsi à localiser et arracher rapidement toute repousse qui parviendrait à sortir. Il faut beaucoup de surveillance pour éliminer les inévitables repousses de renouée sur et en périphérie de la bâche.

Dans le cas où des plantations ont été faites et où le géotextile laisse passer beaucoup de renouées, on peut être amené à réaliser plusieurs opérations de fauchage sélectif pendant la saison de végétation.

Lorsque les bâches ne sont pas recouvertes par des matériaux, on peut procéder à l'écrasement des tiges qui poussent sous la bâche en les piétinant, on veillera toutefois à ne pas dégrader la toile. À noter également que sous les bâches foncées exposées au soleil, la température atteinte peut parfois griller les repousses, ceci est particulièrement vrai sur les talus exposés au sud.

Les bâches vieillissent et se dégradent avec le temps, les contraintes climatiques (vent, glace...) et les dégradations. Elles peuvent percer. Une attention doit donc être portée à l'état des bâches qui doivent parfois être réparées ou changées.

Le débâchage

On ne sait pas combien de temps les géotextiles synthétiques doivent rester en place. Cela va beaucoup dépendre du contexte, et notamment de la vigueur de la tache de renouée en lien avec la quantité de biomasse que celle-ci a stocké sous terre. Ce qui est sûr, c'est que la bâche doit être laissée sur place, plusieurs années et sans doute jusqu'à six ans dans certains cas (Mc Hugh, 2006).

À la fin du processus, on peut revégétaliser le site ou laisser faire la recolonisation naturelle en fonction des cas.

Conclusion

Une efficacité souvent limitée

Très peu de tests scientifiques rigoureux viennent appuyer l'efficacité de ces opérations de bâchage : à ce jour, les expériences sont peu nombreuses et majoritairement de courtes durées. Le bâchage est efficace pour de petites taches isolées, mais il fait plus difficilement ses preuves sur de grandes taches où les renouées finissent très souvent par ressortir et se développer (en l'absence d'une gestion attentive).

De plus, sur les grandes taches, il y a souvent des problèmes d'emprise qui font que la tache ne peut pas toujours être traitée dans son ensemble, et les renouées viennent à se développer sur les secteurs non protégés.



De même sur ces grandes taches, des contacts avec des maçonneries, arbres ou autres singularités viennent fréquemment constituer des points de faiblesse.

Pour ce qui est des géotextiles synthétiques et des géomembranes, lorsqu'ils viennent à se dégrader ou à être déchirés, ils peuvent conduire à la dissémination de matière plastique dans l'environnement. C'est d'autant plus vrai le long des cours d'eau où les crues peuvent contribuer à leur arrachement. Ces matériaux synthétiques sont donc généralement à proscrire sur les berges de rivières où ils peuvent être amenés à être emportés lors des crues (photo 7).

Des coûts souvent élevés

Ces solutions sont relativement coûteuses en lien avec la fourniture et l'installation des toiles, il semblerait judicieux au premier abord de limiter l'utilisation des bâches à des opérations ponctuelles. Une utilisation à large échelle sur de grandes étendues peut éventuellement s'envisager, si elle est associée à un entretien régulier.

De plus, il sera important de faire les bilans économiques et écologiques de cette technique, comparée notamment aux méthodes plus traditionnelles, ceci afin de mieux situer l'intérêt du bâchage pour la gestion des renouées asiatiques, et éventuellement d'autres végétaux invasifs parmi les plus problématiques.

Enfin l'aspect esthétique du bâchage peut poser problème quand on ne procède pas à une revégétalisation immédiate. ■



2 RETOUR D'EXPÉRIENCE DE LA COMPAGNIE NATIONALE DU RHÔNE : CONFINEMENT PAR BÂCHAGE DE MASSIFS DE RENOUÉES ET VÉGÉTALISATION

De nombreux essais de bâchage-végétalisation ont été réalisés ces dernières années par la Compagnie nationale du Rhône (CNR) pour contenir ou lutter contre la renouée du Japon.

Nature des géotextiles à utiliser

Les géotextiles utilisés sont de deux natures différentes : à base de fibres naturelles ou synthétiques dans certains cas.

Les géotextiles naturels fréquemment utilisés sont des feutres à base de fibres pressées de : jute/ sisal (1 400 g/m²), géochanvre (400 g/m²) ou encore des feutres Poly Lactic Acid (190 g/m²).

Deux couches sont nécessaires pour avoir des résultats concluants.

Les produits synthétiques sont très souvent des produits barrières anti-racinaires ou des géotextiles anti-poinçonnements détournés de leur utilisation première : ROOT X (450 g/m²), DENDRO-SCOTT Root Barrier (220 g/m²), TECNOGEO F30 (400 g/m²).

Un des principaux avantages des géotextiles synthétiques réside dans le fait que la largeur des lés est plus importante et donc plus favorable aux opérations de confinement. Pour limiter les recouvrements et les agrafes trop nombreuses sur les géotextiles, la CNR a réalisé des essais de jonction par coutures des lés. Toutefois, cela n'est réalisable que sur des produits assez fins de faible grammage.

Technique utilisant les géotextiles en confinement de surface

Dans ce cas, le géotextile est disposé à la surface du terrain non remanié avec un recouvrement des lés de 50 cm minimum. En terrain meuble, les systèmes de fixation sont des agrafes en U de 30 cm de pattes disposées au niveau des chevauchements tous les 30 cm. Sur des berges minérales (perrés, blocs...), la technique est applicable avec une fixation différente à base de fils de fer entrecroisés pour plaquer le géotextile.

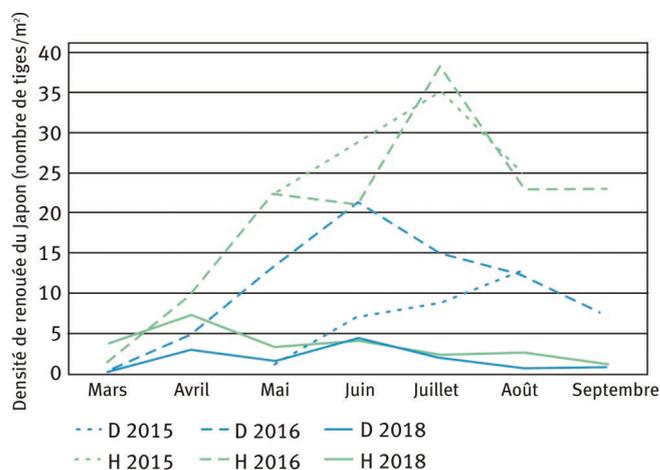
Afin de restaurer le site et de lutter de manière durable, une végétalisation par plantations peut être réalisée avec divers végétaux locaux en touffe de 125/150 cm de hauteur (bourdaines, saules, viornes obier, sureaux yèble...). Il est nécessaire de prendre soin de les insérer soigneusement en conservant l'aspect occultant de la technique grâce à des collerettes au pied de chacun.

Des opérations d'entretien mensuelles durant les premières années sont à mettre en place conjointement pour améliorer l'efficacité de ces techniques (arrachage des tiges de renouée aux pieds des arbustes, vérification du géotextile aux points de fragilité...).

La figure 1 et les photos 8 et 9 illustrent deux parcelles tests de 16 m² mises en œuvre sur un foyer de renouées avec les techniques et les modalités d'entretien suivantes :

- parcelle D : bâche biodégradable jute/sisal de 1 400 g/m² + plantation de sureaux hièbles en godet de 9 x 9 cm (1,1 u/m²) + arrachage manuel mensuel des repousses de tiges de renouée au pied des sureaux (avril-septembre) ;
- parcelle H : plantation de sureaux yèbles en godet de 9 x 9 cm (1,1 u/m²) avec collerettes en liège de 60 cm de diamètre + fauche mensuelle des tiges de renouée (avril-septembre).

1 Densité de repousses de renouée du Japon sur les parcelles D et H de 2015 à 2018 (compétition avec le sureau hièble).



Après quatre saisons de végétation, le géotextile biodégradable s'est détérioré pour laisser le sureau yèble (dans ce cas) s'implanter. La renouée a quasiment disparu des parcelles tests. Seules quelques petites pousses subsistent principalement en bordure de placette.

8 Parcelle D : en août 2015 en fin de la première saison de végétation (gauche) et en septembre 2018 en fin de la quatrième saison de végétation (droite).



9 Parcelle H : en avril 2015 en fin de la première saison de végétation (gauche) et en septembre 2018 en fin de la quatrième saison de végétation (droite).



Les auteurs

André EVETTE et Vincent BRETON

Univ. Grenoble Alpes, Irstea, LESSEM,
F-38000 Grenoble, France.

✉ andre.evette@irstea.fr

✉ vincent.breton@irstea.fr

Anne PETIT

SNCF Réseau, 6 avenue François Mitterrand,
F-93574 La Plaine Saint Denis, France.

✉ anne.petit@reseau.sncf.fr

Caroline DECHAUME-MONCHARMONT

SNCF Réseau,
6 cour de la gare, F-21000 Dijon, France.

✉ caroline.dechaume@reseau.sncf.fr

William BRASIER

Compagnie nationale du Rhône,
2 rue André Bonin,
F-69316 Lyon Cedex 04, France.

✉ w.brasier@cnr.tm.fr

EN SAVOIR PLUS...

📖 FENNELL, M., WADE, M., BACON, K.L., 2018, Japanese knotweed (*Fallopia japonica*): an analysis of capacity to cause structural damage (compared to other plants) and typical rhizome extension, *PeerJ Life & Environment*, 6: e5246, disponible sur : <https://doi.org/10.7717/peerj.5246>

📖 GERBER, E., MURRELL, C., KREBS, C., BILAT, J., SCHAFFNER, U., 2010, *Evaluating non-chemical management methods against invasive exotic knotweeds, Fallopia spp.*, CABI, Egham: 24.

📖 MCHUGH, J.M., 2006, *A review of literature and field practices focused on the management and control of invasive knotweed*, The Nature Conservancy, West Haven, 32 p., disponible sur : <https://www.invasive.org/gist/moredocs/polssp02.pdf>.

📖 MILLER, J.H., MANNING, S.T., ENLOE, S.F., 2015, *A management guide for invasive plants in southern forests*, General Technical Report SRS-131, Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station, 120 p., disponible sur : <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/36915>

📖 TOUZE-FOLTZ, N., 2016, Les géosynthétiques, itinéraire d'une recherche partagée, *Science Eaux & Territoires, Les géosynthétiques, Petite histoire d'un transfert réussi*, n° 18, p. 6-9, disponible sur : <http://www.set-revue.fr/les-geosynthetiques-itineraire-dune-recherche-partagee>

📖 COMPAGNIE NATIONALE DU RHÔNE, GT IBMA, 2015, *Espèces végétales invasives et gestion du domaine concédé*, disponible sur : http://www.gt-ibma.eu/wp-content/uploads/2015/10/CNR_GT-IBMA_2015.10.07.pdf

📖 LE ROUX, Y. *et al.*, 2017, Gestion de la renouée par bâchage, in: Colloque SPIGEST, 4-5 octobre 2017, Laxou, La gestion intégrée des renouées invasives, disponible sur : <https://docplayer.fr/71231259-Gestion-de-la-renouee-par-bachage.html>

Traitement mécanique de volumes importants de terres infestées par des rhizomes de renouée du Japon : technique par criblage-concassage

Confrontée au manque de filière de traitement de gros volumes de matériaux infestés par des rhizomes de renouée du Japon, la Compagnie nationale du Rhône a développé une technique très efficace pour neutraliser immédiatement les terres infestées. Les matériaux alluviaux, triés puis broyés finement, peuvent être remis au cours d'eau, valorisés comme substrat de plantation ou évacués dans des installations de stockage de déchets inertes.

Contexte de développement de la méthode

Lors d'opérations de restauration des cours d'eau nécessitant des terrassements (restauration d'annexes fluviales, protection contre les crues, aménagements des friches industrielles, projets portuaires...), les maîtres d'ouvrage se trouvent face à de nombreux peuplements d'espèces exotiques envahissantes, en particulier de renouées asiatiques. Les maîtres d'œuvre doivent ainsi trouver des procédés et des techniques pour éviter de disséminer ces plantes invasives ou de voir leurs aménagements rapidement envahis. Les premières mesures sont l'évitement (le projet évite les zones envahies), mais elles ne sont pas toujours possibles. Le plus souvent, les sols colonisés par les renouées doivent subir un traitement ad hoc sur place ou ailleurs. Il n'existe pas encore de filières adaptées pour traiter les terres envahies par les renouées asiatiques. L'évacuation dans des installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND) est coûteuse financièrement et pour l'environnement, car les terres concernées sont très souvent valorisables. Plusieurs maîtres d'œuvre ont ainsi développé dès 2005 des techniques mécaniques visant à éliminer les renouées des déblais mobilisés lors de leurs chantiers.

Historique de la recherche de techniques mécaniques de neutralisation des rhizomes de renouées

Les premiers essais de traitements mécaniques des terres envahies par les renouées asiatiques ont débuté en 2005 sur la rivière d'Ain, par le bureau d'études Concept. Cours.d'EAU (C.C.EAU). Ils ont été poursuivis en Suisse et en Allemagne à partir de 2011 grâce à un partenariat avec le *Centre for Agricultural Biosciences International*

(CABI). Onze chantiers expérimentaux ont ainsi été réalisés avec le soutien de multiples gestionnaires, qui ont financé les travaux (Boyer et Gerber, 2013). L'objectif des chantiers était de traiter des débuts de colonisation des cours d'eau en éliminant toutes les renouées. Un procédé efficace d'élimination de la plante a ainsi été mis au point et est depuis utilisé régulièrement par différents maîtres d'œuvre : une trentaine de chantiers suivis par C.C.EAU, un chantier suivi par la Compagnie nationale du Rhône (CNR) et plusieurs autres non recensés et suivis par le SATERCE (Service d'assistance technique à l'entretien et à la restauration des cours d'eau). Le procédé est simple dans ses principes. Il consiste à concasser toute la terre envahie par les rhizomes de la plante, puis à recouvrir celle-ci d'une bâche noire résistante aux ultraviolets et imperméable à l'air et l'eau pendant au moins dix-huit mois. Sa mise en œuvre est plus ou moins complexe selon les sites. En effet, comme il n'existe pas d'outils pouvant concasser des sols suffisamment profondément pour atteindre tous les rhizomes, les sols doivent être déblayés. Ces terrassements ponctuels et diffus le long des cours d'eau nécessitent beaucoup d'ingéniosité pour résoudre les nombreuses difficultés d'accès aux engins. Le concassage est réalisé principalement avec deux types d'outils, le godet-concasseur monté sur un bras de pelle, ou le broyeur à pierre tiré par un tracteur. Le premier outil permet de traiter des petits volumes dans des espaces contraints, le second des volumes plus importants. Les coûts, de quelques dizaines à centaines d'euros par mètre cube de terre, sont très variables selon l'accessibilité des sites.

Le principe d'élimination des plantes est basé sur un pourrissement des rhizomes dans le sol, grâce à leur fragmentation et la pose de la bâche, qui empêche ces

1 Gestion dans les gravières.



fragments de bouturer. Des essais avec des produits de couverture du sol perméables à l'air et l'eau ont montré une efficacité moindre sur la mortalité des rhizomes. Le procédé n'affecte pas la banque de graines du sol.

En 2013, lors du projet Isère Amont, la réalisation d'un dépôt en gravière alluvionnaire a été choisi pour traiter les matériaux contaminés (photo 1). Plusieurs dizaines de milliers de mètres cubes de terre contenant des rhizomes de renouées ont été déversés. Cette méthode nécessite de disposer d'une gravière capable d'accepter ces matériaux (sans sensibilité écologique). Considéré comme installation de stockage de déchets inertes (ISDI), le site utilisé est soumis au respect de procédures réglementaires, dont l'autorisation d'exploitation et l'assurance d'absence d'impact sur l'environnement. Un contrôle et un suivi des rives est réalisé afin de déterrer les repousses de renouées, qui peuvent s'installer à partir de fragments de rhizomes flottants, et la mise en place d'une barrière flottante (drome) permet de contenir et d'éviter l'échouage de la plupart des rhizomes dérivants. Ce système permet une dévitalisation efficace des rhizomes et peut être associé à une valorisation écologique du site, par la création de zones humides, après l'enfouissement des matériaux. Les rhizomes une fois immergés pourrissent en moins de deux mois (Vigier, 2011). Pour la poursuite du projet Isère Amont, la totalité des matériaux contaminés est gérée selon cette filière très efficace.

Dans le cas où les matériaux ne peuvent être traités et doivent être évacués du site après leur excavation, ils peuvent être déposés dans les ISDND (installations de stockage de déchets non dangereux), ex centre technique d'enfouissement de classe 2 (CET 2) uniquement, mais à des coûts prohibitifs (100 à 150 euros/m³).

Les retours d'expériences des méthodes développées par Mireille Boyer (Boyer, 2009) et son utilisation sur de faibles volumes, les coûts d'acceptation des ISDND, les problématiques foncières pour le stockage/bâchage sur un an et demi, la nécessité de remettre à l'eau dans les phases chantier (interfaces opérationnelles) ont conduit la Compagnie nationale du Rhône à mettre en place des expérimentations afin de trouver une technique de neutralisation immédiate des terres contaminées.

En effet, de plus en plus de projets sont confrontés aujourd'hui à la gestion de gros volumes de terre qui doivent être déplacés. C'est le cas lors de chantiers de protection contre les inondations ou de restauration écologique de milieux, où les renouées sont présentes en quantité. La CNR s'est ainsi naturellement orientée vers une technique de concassage fin, pour dévitaliser les rhizomes et valoriser les terres traitées dans des délais courts.

Recherche d'une méthode expérimentale de criblage/concassage

L'objectif était donc de construire une nouvelle filière de traitement immédiat de matériaux contaminés par des propagules (rhizomes et/ou tiges) de renouées. Cela s'est traduit par une identification des contraintes de traitements, du matériel existant et des entreprises spécialisées capables d'industrialiser la technique. Différents tests ont été réalisés dans le but de trouver une méthode répondant à ces contraintes, au traitement de volumes importants (plusieurs dizaines de milliers de mètres cubes) et économiquement acceptable.

Un des objectifs était de trouver des installations mobiles et rapides à mettre en œuvre.

► La rencontre avec des professionnels du traitement des déchets verts et des tests de différentes machines ont permis d'approcher une combinaison de techniques prometteuses en terme de résultats.

Description de la procédure, des ateliers associés et des points de vigilance

Préparation du chantier

Avant toute opération d'excavation de matériaux, il est indispensable de réaliser une cartographie des renouées asiatiques présentes sur les zones de chantiers, afin d'estimer les volumes de terres contaminées qui nécessiteront un traitement.

Puis, l'ensemble de la biomasse aérienne (tiges et feuilles des renouées) doit être fauchée et évacuée pour incinération. En effet, les tiges ne peuvent pas être traitées par la même technique. Elles doivent faire l'objet d'une attention particulière, notamment lors du stockage et du déplacement. Un fragment de tige étant capable de redonner plusieurs massifs, le matériel et les engins utilisés lors de la fauche doivent être impérativement nettoyés avant de quitter le site traité.

Enfin, les matériaux contenant les rhizomes sont excavés et stockés sur une plateforme avant traitement physique par la méthode de criblage puis de concassage. Un merlon permettant de bien confiner la zone est dressé sur le pourtour stocks.

Une fois neutralisés par la procédure suivante, ces matériaux pourront être évacués ou valorisés.

Le criblage

Le cribleur joue un rôle essentiel pour générer un fraction fine avec pas ou peu de rhizomes de renouées. Il est composé d'un tamis rotatif dont le maillage doit être adapté selon les sols. Dans les différents chantiers, la machine utilisée (photos ② et ③) est un crible à tamis rotatif muni d'une vis sans fin (modèle Trommel SM-620 de la marque DOPPSTADT). Ses dimensions et caractéristiques techniques sont les suivantes :

- longueur : 5,50 m ;
- diamètre : 2 m ;
- maille : 20 mm (sur quelques opérations récentes – marges alluviales – un trommel avec des mailles de 10 mm a été utilisé).

Le choix de l'ouverture de la grille est discriminant dans l'efficacité du criblage et est dépendant du type de matériaux.

Le rendement va dépendre essentiellement de la qualité des matériaux traités et de l'humidité.

En fonction des caractéristiques granulométriques des matériaux, la proportion en sortie de crible va différer (part entre terres fines et refus contenant graviers, rhizomes et bois...). Cette donnée est à prendre en compte dans l'estimation des volumes qui seront concassés, car l'impact financier est plus conséquent pour l'ensemble de la procédure.

En général, le criblage permet de traiter autour de 50 à 75 % du volume initial de matériaux contaminés (dans le cas de matériaux de rivières). À partir d'un certain taux de refus (> à 70 %), le criblage n'est plus judicieux, il convient de passer directement au concassage.

Il est possible d'atteindre un rendement de 500 à 700 m³ par jour pour le criblage.

D'autres marques de cribleurs rotatifs ont été testées. Sur un chantier de confortement des digues de l'Isère et de l'Arc en Savoie porté par le Syndicat mixte de l'Isère et de l'Arc en Combe de Savoie (SISARC), Aquabio a comparé l'effet d'un criblage des alluvions à 0/10 mm et à 0/20 mm réalisé avec un NEMUS 2700 de la marque Komptech. Sur ce type de chantier mobilisant de très gros volumes de matériaux, les rhizomes sont souvent très dilués et tous les tests doivent être bien réfléchis et préparés à l'avance pour être significatifs. Les fragments de rhizomes représentaient 2 % des fragments de végétation contenus dans les déblais et ils étaient présents avec une densité initiale moyenne de 51 fragments/m³ (écart type=29). Le criblage sépare les différentes fractions granulométriques minérales de façon simple et prévisible. Pour les végétaux, cela est moins évident. Le crible opère un tri sur des fragments végétatifs de forme complexe et sur les fragments ligneux de diamètre dépassant la maille du crible. Par contre, il laisse passer les petits fragments de diamètre inférieur, mais de longueurs variables. Ainsi des rhizomes fins et portant plusieurs nœuds peuvent



② Tamis rotatif du Trommel avec maille de 20 mm, fraction fine.



③ Tamis rotatif du TROMMEL, fraction refus à 20 mm.

passer au travers du crible. Le criblage à 0/20 mm a permis de retirer en moyenne 99 % (écart type = 0,9 %) de la biomasse fraîche de rhizomes et 86 % (écart type = 4 %) des fragments. Mais il est passé dans le crible des rhizomes avec une longueur moyenne de 7,6 cm (écart type = 4,6 cm), le plus long atteignant même 22,5 cm. Avec la maille 0/10 mm, 99 % (écart type = 2 %) en moyenne des fragments ont été éliminés. Le plus long fragment observé faisait 6 cm pour un diamètre de 6 mm.

Le concassage

Le concassage fin (< 10 mm) des matériaux (refus à 10 mm ou 20 mm) contenant les rhizomes de renouées est réalisé avec un concasseur à percussion (modèle QI240 de la marque SANDVIK ou similaire) muni d'un circuit fermé. Cela signifie que tant que les matériaux n'ont pas atteint la fraction de 0/10 mm (correspondant à une dévitalisation suffisante du stock de rhizomes pour empêcher toute repousse), ils sont réinjectés dans la chambre de concassage. L'humidité est moins limitante car l'échauffement du broyeur permet d'assurer un séchage dans la chambre à percussion. Lors de la mise en place de cet équipement, il est fortement conseillé d'utiliser des mâchoires neuves, et de les serrer au maximum (espacement de 5 cm) afin d'obtenir la fraction demandée. Les rhizomes de renouée sont ainsi rendus à l'état de fibres de quelques millimètres à 3 cm de long (photo 4). Les nœuds, depuis lesquels la plante peut se régénérer, sont entièrement détruits et désagrégés. Ils n'ont plus d'intégrité physiologique. Il est possible d'atteindre un rendement de 400 à 600 tonnes/jour pour cette étape.

Contrôle des traitements mécaniques

Lors des essais réalisés en 2016 dans le cadre des opérations du Syndicat mixte d'aménagement de gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières (SAGYRC), les stocks issus des deux fractions avaient été échantillonnés et mis en culture. Après six semaines, aucune repousse de renouées n'avait été constatée ni sur le criblât 0/20 mm, ni sur le concassé 0/10 mm.

Le plus simple est toutefois le suivi du stock des matériaux traités (cas des opérations du SAGYRC). Dans le cas d'un résultat négatif du test (non-reprise des renouées), les terres peuvent être revalorisées ou évacuées dans différentes filières (cf. ci-après).

Sur la fraction 0/10 mm issue du concassage, la régularité dans l'efficacité du traitement est élevée. Pour le criblage, une variabilité est observable selon la nature des gisements à traiter et les conditions d'humidité.

Devenir des matériaux traités

Les deux fractions obtenues après les traitements mécaniques des matériaux peuvent être orientées vers différentes filières. La plus classique est la mise en stockage définitif dans les centre de classe 3. La fraction fine issue du criblage dépourvue des rhizomes peut être réutilisée comme terre végétale lors des réfections de digue ou des travaux en berge. Cette filière a été mise en œuvre sur les opérations du Syndicat mixte des bassins hydrauliques de l'Isère (SYMBHI) sur la Romanche et du SAGYRC dans l'Ouest Lyonnais (Yzeron). Des analyses agronomiques ont été réalisées afin d'amender le cas échéant ces terres (75 % terre, 25 % terreau). Des contrôles ont été mis en place afin d'ôter les jeunes pousses issues des rhizomes résiduels. Cette tâche est rendue d'autant plus facile que

ces terres sont mises sur des faibles épaisseurs (moins de 30 cm). Les retours sont très positifs et montrent une absence d'installation de foyers de renouées asiatiques. Ceci s'inscrit dans une logique d'économie circulaire à l'intérieur des chantiers.

Le 0/10 mm issu du concassage fin a été réutilisé comme revêtement de surface d'un cheminement dans le cadre des projets sur l'Yzeron. Ce produit très granuleux est avantageux pour des ouvrages provisoires (pistes, plateforme...).

Sur les projets de restauration des annexes fluviales sur le Rhône conduits par la CNR, les matériaux doivent être remis au Rhône afin d'assurer la continuité sédimentaire. Les autorisations stipulaient la nécessité de rendre ces terres saines au regard du risque de contamination par les rhizomes de renouées.

Les points de vigilance et d'amélioration issus des retours d'expérience des différents chantiers réalisés

Dans le cas de matériaux trop humides et/ou trop argileux, les grilles de criblage vont se colmater rapidement (malgré la présence de brosse de nettoyage intégrée à la machine). Au-delà de 25 % de teneur en eau, une dégradation du traitement est observée (production de fines plus importante dans la fraction 20 mm/grand diamètre et passage de rhizomes dans la fraction fine). Le criblage est alors considéré comme « mauvais ». Il est donc nécessaire de bien aérer les matériaux avant le traitement, en réalisant des andains, ou des tranchées pour favoriser l'évacuation de l'humidité. Cela implique une bonne gestion des stocks provisoires de matériaux contaminés et des périodes d'intervention. Autrement, il est conseillé d'intervenir pendant les périodes sèches (été), qui sont plus favorables pour ce traitement. Un travail en hiver est tout de même possible si les taux d'humidité limites sont respectés et selon les conditions météorologiques.

La maille du trommel doit être adaptée à la densité de rhizomes dans les déblais à traiter. Si la quantité de rhizomes est importante, il peut en effet rester dans le criblât une quantité de rhizomes rendant difficile ou impossible la gestion ultérieure des repousses par des opérations manuelles de contrôle des surfaces. Dans l'essai sur l'Isère avec le SISARC, la quantité de rhizomes restant dans le criblât à 0-20 mm a par exemple été jugée trop importante et un criblage à 0-10 mm a été effectué.



4 Rhizomes de renouée finement concassés.

© CNR

La spécificité originelle des trommels (machines destinées à travailler dans le traitement des bois et des composts) fait qu'ils ne peuvent admettre des granulométries supérieures à 250 mm-300 mm. Une coupure est dans ce cas nécessaire à l'aide d'un scalpeur (ex. : chantier de la Romanche).

Les conditions d'humidité associées à un taux de fines trop important sont également à maîtriser lors de la phase du concassage fin. Le rendement des machines sera fortement dégradé (quelques tonnes/heure). Ainsi l'allongement du temps de concassage induira une perte financière perturbant l'économie des marchés initiaux. Par ailleurs, la présence de gros éléments (boules supérieures à 200 mm) cumulée à la dureté des matériaux grossiers (gneiss, granite...) pénalisent aussi le rendement du concassage et accélère l'usure des consommables (batoirs et plaques de choc).

Le contrôle de l'efficacité du criblage est assez fastidieux et complexe compte tenu des volumes importants à échantillonner pour avoir une image représentative. En pratique, les sols envahis sont généralement très dilués dans les déblais au moment des opérations de terrassement et la densité de rhizomes est souvent très hétérogène dans le matériau à traiter. À la sortie du crible, la détection des éventuels rhizomes pourra nécessiter par conséquent de tamiser des volumes importants et de faire plusieurs répétitions. L'exemple du chantier du SISARC avec des résultats différents de ceux de l'Yzeron ou du Rhône illustre bien la nécessité de ces évaluations précises et adaptée à chaque site.

Sur le plan de l'organisation du chantier, des précautions spécifiques doivent être appliquées pour les mouvements des matériaux afin de limiter les contaminations diffuses lors des manipulations des stocks. Le nettoyage du matériel et des engins de chantier reste de vigueur en fin de chaque opération. De plus, les surfaces pour déposer les stocks envahis par les rhizomes de renouées doivent aussi être gérées de manière spécifique pour éviter tout risque ultérieur de colonisation par les renouées asiatiques.

À ce jour, ces nuances s'acquièrent au travers des chantiers, elles ne sont pas traduites dans des normes détaillées. La capitalisation des retours d'expérience est donc indispensable. Au total, la Compagnie nationale du Rhône a supervisé le traitement de plus de 100 000 m³ avec succès entre 2014 et 2018.

Au regard de ces observations, il est primordial de réaliser une caractérisation géotechnique (norme GTR) des gisements à traiter dans les études amont afin de bien organiser les périodes d'intervention, les machines à mettre en œuvre, le choix des grilles, les points de contrôle.

Pour finir, une attention doit être portée sur les nouveaux opérateurs qui s'initient à ces techniques. Un accompagnement technique est nécessaire pour limiter les digressions dans les utilisations des ateliers par méconnaissance des objectifs à atteindre et les points d'arrêt à réaliser.

Synthèse du protocole

Pour atteindre un résultat satisfaisant, il est recommandé de suivre le protocole suivant (figure 1) :

- préparer une zone de stockage des matériaux de 2 000 m² minimum afin de disposer de suffisamment de place pour réaliser les traitements, sans risque de mélange entre les stocks ;
- réaliser les opérations de criblage/concassage dans l'ordre suivant :
 - passage des matériaux contaminés dans le crible à tamis rotatif,
 - stockage de la fraction 0/10 mm ou 0/20 mm,
 - la fraction refus/Grand D mm doit être mise de côté pour le concassage,
 - prélèvement dans le stock de fraction fine, pour la procédure de contrôle,
 - passage des matériaux refus/Grand D mm obtenus en sortie de cribleur, dans le broyeur à pierre à percussion et fonctionnant en circuit fermé à 10 mm,
 - stockage de la fraction 0/10 mm obtenue en sortie du concasseur,
 - prélèvement dans le stock de 0/10 mm issu du concassage, pour la procédure de contrôle ;
- une fois les tests de validation obtenus, les stocks de terre neutralisés peuvent être libérés selon les destinations choisies.

Les coûts de traitement

Le tableau 1 résume les coûts d'utilisation de cette méthode.

Ces prix sont issus des marchés intégrant ce traitement (plus d'une dizaine d'opérations). Les volumes traités étaient compris entre 7 000 et 20 000 m³.

Pour des plus faibles volumes (quelques centaines ou < à 3 000 m³), la mise en place de ces techniques est plus confrontée à l'impossibilité de faire venir les entreprises pour des volumes ne mobilisant pas longtemps les ateliers qu'aux prix plus relevés prescrits.

Conclusions et perspectives

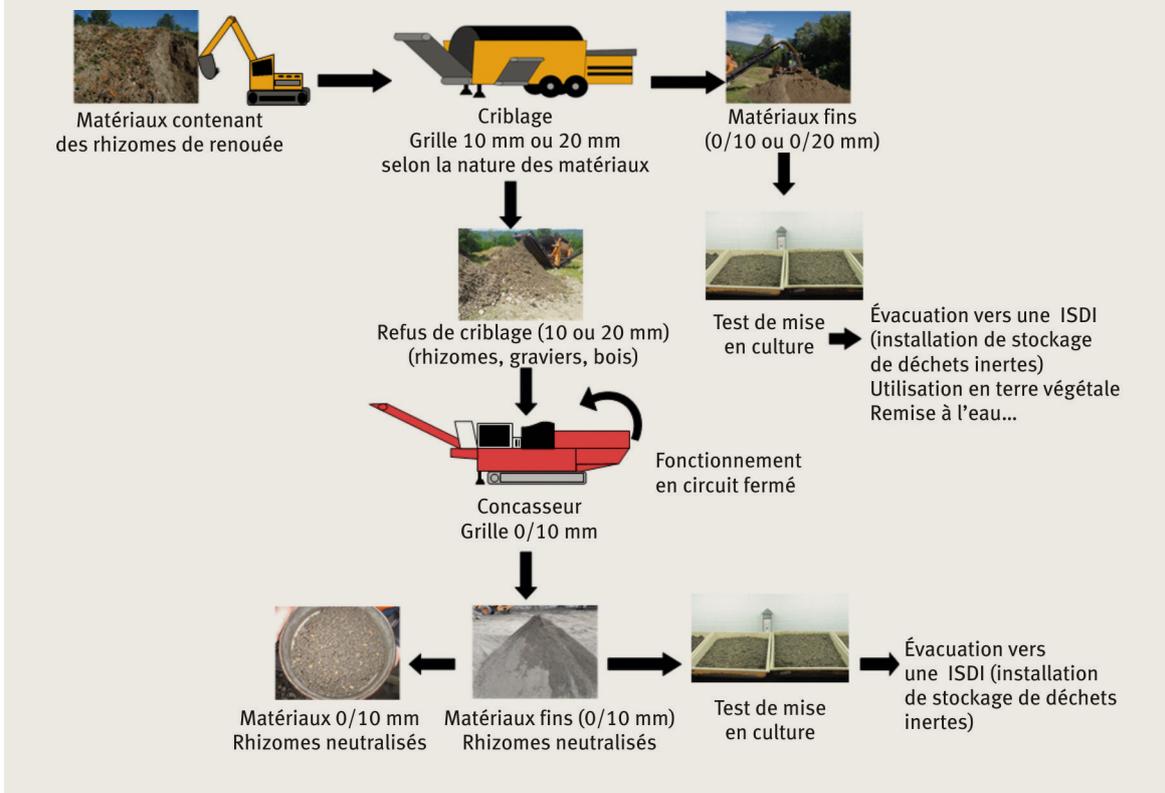
Ce procédé de traitement mécanique des matériaux contaminés par les renouées du Japon a permis d'obtenir de bons résultats sur des volumes significatifs sur des cours d'eau différents. Des améliorations sont encore nécessaires sur la régularité et la robustesse du procédé. Celles-ci ne peuvent être amenées qu'au travers de la multiplication de situations différentes (matériaux, climat, contexte, acteurs...).

1 Coût d'utilisation de la méthode.

Décomposition du prix	Coût HT
Installation cribleur	1 000 à 1 500 euros
Installation concasseur circuit fermé	1 200 à 5 500 euros
Criblage à 10 mm	5 à 8 euros/m ³
Concassage à 0/10 mm	10 à 15 euros/m ³
Contrôle	1 000 à 2 000 euros
Prise en charge en installations de stockage de déchets inertes*	6 à 13 euros/m ³

* sans transport.

1 Description de la procédure du criblage/concassage pour une neutralisation immédiate.



Cette méthodologie commence à bien se structurer chez les professionnels des travaux publics. Différentes entreprises disposent de matériel conforme et de références d'opérations significatives. Par ailleurs, les connexions entre les mandataires des marchés principaux et des sous-traitants spécialisés pour ces prestations sont de plus en plus efficaces.

Des synergies ou des organisations au niveau des territoires doivent être développées afin d'offrir à tout producteur de matériaux contaminés une solution de traitement sur une plateforme spécialisée. Ceci permettrait d'apporter des solutions pour les faibles volumes et avec une logique d'économie circulaire (production de terre végétale). ■

Les auteurs

Christophe MOIROUD et William BRASIER
 Compagnie Nationale du Rhône,
 2 rue André Bonin, F-69316 Lyon Cedex 04, France.
 ☎ c.moiroud@cnr.tm.fr
 ☎ w.brasier@cnr.tm.fr

Mireille BOYER
 Aquabio
 108 allée du lac Léman,
 F-73290 La Motte Servolex, France.
 ☎ mireille.boyer@aquabio-conseil.com

Remerciements

Remerciements à tous les maîtres d'ouvrages (SAGYRC, SYMBHI, SISARC) et les entreprises (Ain Environnement) dont le personnel a participé au bon déroulement des expérimentations de terrain et de l'industrialisation de cette filière.

EN SAVOIR PLUS...

■ **BOYER, M.**, 2009, Une nouvelle technique d'éradication mécanique des renouées du Japon testée avec succès au bord de l'Ain et de l'Isère, *Ingénieries-EAT*, n° 57-58, p. 17-32.

■ **BOYER, M., GERBER, E.**, 2013, *Expérimentations d'une méthode de gestion mécanisée des renouées exotiques envahissantes (Fallopia sp) en France, Suisse et Allemagne*, Centre de Ressources Espèces Exotiques Envahissantes, disponible sur : <http://especes-exotiques-envahissantes.fr/fiches-exemples/flore-2/>

■ **SARAT, E., MAZAUBERT, E., DUTARTRE, A., POULET, N., SOUBEYRAN, Y.**, 2015b, *Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques. Expériences de gestion*, Onema, vol. 2, n° 17, 242 p.

■ **VIGIER, C.**, 2011, *Lutte contre la prolifération des renouées asiatiques sur les bords du Rhône*, Master 2 Sciences de l'Environnement Terrestre, 143 p.

État de l'art des techniques de génie végétal pour contrôler les renouées

Plusieurs études et des observations de terrain ont confirmé que les renouées asiatiques sont sensibles à la compétition pour la lumière. C'est en partant de ce constat que différentes techniques de génie végétal ont été mises au point pour contrôler le développement des renouées et restaurer une communauté végétale diversifiée dans les zones envahies. Pour augmenter leur taux de succès, ces méthodes alternatives doivent cependant être associées parfois à des prétraitements et obligatoirement à des mesures d'accompagnement.

Les actions contre les espèces invasives peuvent être classées en trois grandes stratégies d'interventions : la prévention, la détection précoce et la gestion à proprement parler. La prévention doit être l'action prioritaire car c'est la plus efficace et la moins coûteuse. Si l'invasion est détectée précocement, une réponse rapide peut enrayer le phénomène. Néanmoins, lorsque les deux premières stratégies n'ont pas fonctionné, l'élimination ou *a minima* la gestion sur le long-terme est l'objectif à poursuivre. Les signataires de la Convention pour la diversité biologique s'engagent d'ailleurs à intervenir prioritairement pour prévenir l'introduction d'espèces invasive et mettre en place des programmes de contrôle ou d'élimination des populations introduites le cas échéant (article 8).

Lorsque la prévention et la détection précoce ont échoué ou que la prise de conscience est trop tardive, l'élimination, le confinement ou le contrôle de l'espèce exotique envahissante sont alors envisagés. L'élimination des populations introduites n'est pas toujours réalisable pour des questions économiques ou d'efficacité. La gestion sur le long-terme est alors une option à envisager. Son objectif est de contenir ou réduire les populations de l'espèce exotique envahissante par le maintien d'une pression de gestion. Elle nécessite souvent d'y associer la restauration de la communauté végétale indigène. En effet, la suppression d'une espèce invasive ne suffit pas toujours à favoriser le retour spontané de la végétation

native. Par ailleurs, les invasions végétales sont souvent le symptôme de la dégradation de l'habitat et pas seulement leur cause, et leur seule suppression ne suffit pas toujours à rétablir le bon fonctionnement de l'écosystème. De plus en plus, la restauration de la résistance aux invasions biologiques est envisagée dans les processus de gestion, *via* la restauration d'une communauté végétale compétitive par le semis ou la plantation d'espèces natives. Les capacités compétitives des espèces autochtones peuvent ainsi être mises à profit pour réduire le développement des espèces invasives et ainsi atténuer leurs impacts.

L'utilisation du génie végétal pour la lutte contre les renouées asiatiques

Les tentatives de contrôle des renouées asiatiques ont eu, jusqu'à présent, des résultats mitigés et coûteux. Les renouées asiatiques sont ainsi devenues les cibles de méthodes de lutte mécanique intensive (criblage-concassage, par exemple). Toutefois, certains gestionnaires confrontés au problème des renouées asiatiques sur leur secteur d'intervention s'orientent plutôt vers des techniques de contrôle que d'éradication, et s'intéressent à ce titre aux techniques de génie végétal. Le génie végétal est une technique de construction fondée sur l'observation et l'imitation de la nature pour répondre à des problématiques d'aménagement du territoire (Adam *et al.*, 2008). Il utilise ainsi les aptitudes bio-

logiques, physiologiques et physiques des plantes, pour apporter les solutions techniques requises. Il consiste traditionnellement à utiliser les propriétés de certaines espèces végétales afin de les replanter sur des milieux dégradés sous forme de semis, de plants ou de boutures pour reconstituer un écosystème pouvant accueillir une certaine biodiversité. S'il est classiquement utilisé dans les milieux rivulaires ou sur les talus pour les protéger de l'érosion, il peut également accélérer les successions végétales sur les zones envahies et soumettre les espèces exotiques envahissantes à la compétition interspécifique en installant un couvert végétal stable qui domine rapidement et durablement.

De nombreux essais consistant à utiliser les méthodes de génie végétal pour contrôler les populations de renouées asiatiques sont conduits de façon isolée principalement par des gestionnaires, dans toute la France, et ailleurs en Europe. Des boutures de saules ou des plants d'espèces diverses (comme le noisetier, l'argousier, les érables, etc.) sont ainsi plantés sur les taches de renouées afin de les affaiblir, associés ou non à un prétraitement (décaissage, fauche ou pose de géotextile). Ces techniques sont prometteuses bien que les retours d'expérience pour les renouées asiatiques montrent à la fois des succès et des échecs (encadrés 1 et 2).

Principes théoriques et mécanismes écologiques

Un des enjeux actuels en matière de contrôle des renouées asiatiques est d'optimiser les méthodes de génie végétal afin à la fois de reconstituer des communautés végétales natives fonctionnelles et de réguler les populations d'exotiques. Il s'agit d'utiliser les capacités compétitives des espèces végétales autochtones en jouant sur les interactions biotiques dans la régulation des populations de renouées asiatiques. Les facteurs qui régulent leur abondance et leur performance sont encore mal connus, mais la compétition joue un rôle important. En effet, d'après la théorie de la similarité limitante développée en écologie des communautés, les espèces utilisant les mêmes ressources (nutriments, eau, lumière ou espace) au même moment coexisteront plus difficilement que des espèces fonctionnellement différentes. L'application de ce principe dans le cadre de la gestion des plantes invasives implique d'identifier la ressource la plus limitante pour l'espèce cible et de choisir des espèces fonctionnellement proches dans l'utilisation de cette ressource afin d'en réduire la disponibilité pour l'espèce invasive.

Concernant les renouées asiatiques, des observations de terrain confirment qu'elles sont dominées dans certaines conditions ombragées, et qu'elles peuvent même régresser. Plusieurs études rapportent qu'en situation ombragée, la croissance des renouées asiatiques est limitée. De plus, leur phénologie précoce leur permet de mettre en place leurs structures foliaires avant les autres espèces de la canopée, leur permettant d'atteindre leur maximum de croissance avant le développement complet de la canopée. Au Japon, la renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) est une espèce de ripisylve qui colonise également les habitats perturbés comme les décharges ou les linéaires routiers et ferroviaires. Ces éléments sur leur écologie, les recherches menées à ce sujet et leur présence anecdotique en forêt mature dans les territoires envahis



© N. Daumergue (Irstea)

1 Utilisation d'un géotextile à base de fibres végétales pour ralentir la reprise des renouées asiatiques par rapport aux espèces réimplantées.

montrent que les renouées asiatiques sont sensibles à la compétition pour la lumière et que les espèces à choisir pour restaurer le potentiel compétitif des communautés végétales natives doivent posséder des facultés à filtrer fortement la lumière.

Le nettoyage du terrain accompagné d'une fauche des cannes de renouées apparaît un préalable nécessaire. Dans certains cas, si le terrain est par trop inégal, un terrassement pourra être envisagé, mais une attention particulière devra être portée à éviter de disséminer la plante, d'autant plus si des engins de chantier sont utilisés.

L'arrachage manuel ou mécanique des parties souterraines de renouées permet de limiter leur performance et de faciliter l'implantation des espèces autochtones compétitrices. Ce travail peut être mené une ou plusieurs fois avant la mise en place des plants et/ou boutures. Là aussi, une attention particulière doit être portée à la dissémination des renouées sur la zone, mais aussi dans le transport et à la filière d'élimination retenue.

La mise en place d'un géotextile perméable, biodégradable ou synthétique, peut avantageusement accompagner l'opération pour limiter le développement des renouées et favoriser les espèces introduites (photo 1).

Ces techniques de bâchage contre les renouées sont décrites dans l'article de Evette *et al.* (pages 62-67, dans ce même numéro).

L'utilisation d'herbacées

Certaines espèces herbacées peuvent être utilisées dans le but d'augmenter la compétition pour la lumière. Le choix peut se porter sur des espèces qui vont former des massifs denses dont la couverture va filtrer la lumière si les renouées sont maintenues à une hauteur inférieure ou égale (voir paragraphe suivant sur la fauche à combiner avec les plantations), et/ou sur des plantes grimpantes capables de croître le long des cannes de renouées. Bien sûr, il faudra choisir des espèces locales et indigènes adaptées aux caractéristiques des sites envahis ainsi qu'aux enjeux et aux usages identifiés. Par ailleurs, pour être capable de résister à la compétition avec les renouées, il semble être nécessaire de choisir une espèce ayant démontré un caractère vivace voire enva-



➊ Mise en place de la technique dite de couche de branches à rejets sur une tache de renouées en bord de rivière.

© A. Evette (Ifrepa)

hissant. Par exemple, les espèces de ronces peuvent être dans certains cas de bonnes candidates : il n'est pas rare d'observer une population de renouée limitée dans sa propagation latérale par un massif de ronce bien établi. La couverture permanente du roncier crée un ombrage impactant les renouées dès la repousse annuelle des tiges, même si celle-ci est précoce. Ainsi, des espèces pérennes devraient être privilégiées par rapport aux espèces annuelles.

Concernant les aspects pratiques, il est fortement conseillé d'implanter au sein du patch de renouées des plantules ou des fragments de rhizomes ou stolons pour augmenter les chances de survie des plantes (des plants issus de graines étant plus fragiles) et d'en maximiser la densité. Une attention particulière devra peut-être être portée les premières semaines de la reprise, notamment en cas de sécheresse. Dans tous les cas, il existe un risque que l'implantation échoue ou soit faible, parce que l'espèce n'est pas adaptée au site, qu'elle ne résiste pas à la compétition avec les renouées même si celles-ci sont affaiblies par des interventions complémentaires, ou suite à un aléa météorologique. Un suivi permettra d'évaluer les résultats et d'ajuster les modalités de gestion ou de plantation si nécessaire.

L'utilisation des ligneux

Les techniques de génie végétal offrent plusieurs possibilités pour mettre en compétition les espèces ligneuses avec les renouées. Les plus fréquemment utilisées sont le bouturage et les plantations.

Le bouturage a l'avantage d'être rapide et bon marché avec l'utilisation aisée de matériaux prélevés localement. Pour cela, les saules que l'on trouve sur les berges du cours d'eau (à l'exception de certaines espèces comme le saule marsault ou le saule appendiculé qui bouturent mal) sont souvent employés. L'utilisation du saule

demande toutefois à ce que les terrains soient suffisamment humides. Une bouture est une section de branche de longueur variable qui est enterrée dans le sol et qui reprend végétativement. Ces boutures peuvent aussi être plus longues, voire constituées de sections d'arbustes. On parle alors de plançons. L'utilisation de plançons plutôt que de boutures permet une croissance et une dominance plus rapide des espèces autochtones.

Les plantations d'espèces locales et adaptées aux conditions stationnelles sont également des solutions intéressantes. Là aussi, on fera appel à des arbres ou arbustes possédant déjà une taille leur permettant de dominer le plus rapidement possible les renouées. À noter l'utilisation possible de la bourdaine qui possède des capacités allélopathiques particulières susceptibles de limiter le développement des renouées.

Qu'il s'agisse de boutures ou de plantations, l'objectif est de saturer l'espace aérien disponible avec des espèces à croissance rapide pour priver au maximum les renouées de lumière. Pour cela, il s'agit d'utiliser une forte densité de ligneux. Cette densité va dépendre du type de boutures ou de plants que l'on va utiliser, l'important étant d'atteindre rapidement un recouvrement végétal et une occupation de l'espace maximaux afin de concurrencer les renouées pour la lumière.

L'utilisation de couches de branches à rejets est une autre technique de génie végétal qui peut aussi être utilisée pour contrôler un massif de renouées (photo ➋). Il s'agit de mettre en place sur le sol une couche de branches vivantes de saules, aux contacts les unes des autres, et de la recouvrir d'une fine couche de terre. Cette technique allie la mise en place initiale d'une grosse quantité de biomasse de saule qui permettra un couvert dense et un écran mécanique naturel aux pousses de renouées créé par le rideau de tiges contiguës.

Les mesures d'accompagnement

Les renouées asiatiques ayant un développement précoce au printemps et des effets d'exclusion compétitive sur les autres espèces végétales par la préemption de la lumière, il est important de les contraindre et de les limiter, le temps que les espèces réintroduites soient suffisamment développées. L'association de traitements complémentaires comme la fauche répétée, méthode de gestion largement utilisée sur les renouées asiatiques, permet de laisser la communauté végétale prendre suffisamment d'avance pour mettre en place une canopée filtrante avant que les renouées ne soient complètement développées. Le maintien d'une pression de fauche plusieurs fois par an sur les premières années après l'installation des espèces de la communauté végétale est également indispensable pour leur donner une chance de dominer les renouées (photo 3).

La spécificité des berges de cours d'eau, milieux remarquables et fragiles

Les berges de cours d'eau constituent des zones d'interface entre milieux terrestre et aquatique et présentent à ce titre une grande richesse faunistique et floristique. Ces habitats jouent un rôle majeur dans le réseau des trames vertes et bleues où les corridors rivulaires constituent parfois les dernières connexions biologiques. Par ailleurs, les ripisylves sont des écosystèmes complexes qui remplissent de nombreux services écosystémiques (stabilisation des berges, atténuation des crues, filtration des nutriments, régulation de la température des cours d'eau...). Ces milieux dynamiques et diversifiés, voient leur fonctionnement évoluer dans le contexte des changements globaux et notamment des invasions biologiques. Dans ces espaces déjà fragilisés par la pression anthropique (recalibrage, chenalisation, drainage, extractions de matériaux, etc.), l'invasion par des plantes exotiques soulève des enjeux importants en termes de biodiversité et de connectivité écologique pour les taxons qui les utilisent dans leurs déplacements.

Les renouées asiatiques font partie des espèces exotiques particulièrement répandues sur les berges de cours d'eau. Profitant des crues pour se disperser et de la richesse nutritive de ces milieux rivulaires, elles dominent rapidement des tronçons entiers de linéaires. Les acteurs de terrain confrontés à l'envahissement de leurs cours d'eau doivent alors, lorsqu'il est encore temps, trouver des moyens d'actions permettant non seulement de limiter le développement des renouées asiatiques, mais aussi de conserver la provision des services fournis par ces milieux (récréation, corridor...). Par ailleurs, les produits phytosanitaires étant proscrits à proximité des cours d'eau, le spectre des techniques de lutte envisageables est contraint et limité.

Les techniques de génie végétal consistent à reproduire les systèmes naturels fonctionnels aux environs. Cette reconstitution de milieux autochtones naturels est à même d'assurer les fonctions écologiques assignées à ce type de milieu. Ainsi la reconstitution d'une saulaie basse en lieu et place d'un couvert de renouées devrait permettre un meilleur retour de la biodiversité associée (castors, entomofaune...) et des fonctions de corridor.

③ Photographies illustrant la nécessité de réaliser des fauches sélectives sur les renouées afin de laisser une chance aux espèces introduites de se développer. Avant la fauche, les renouées asiatiques dominent le milieu (photo du haut) et après fauche manuelle sélective, les saules bouturés peuvent pousser (photo du bas).



D'un ensemble d'expériences isolées vers une action coordonnée

Les techniques de génie végétal éprouvées depuis des siècles pour le contrôle de l'érosion ont aussi pu montrer leur efficacité pour contrôler les renouées exotiques. Les échecs sont cependant nombreux et le succès loin d'être garanti ! De nombreuses expérimentations ont été menées ces dernières années par des gestionnaires, notamment de cours d'eau (syndicats de rivière, communes, Office national des forêts, etc.) souvent avec l'appui financier de collectivités et d'organismes publics (conseils départementaux, régions, agences de l'eau, etc.). Les résultats de ces essais sont variés avec des échecs et des réussites, sans que les facteurs explicatifs soient clairement compris.

En dépit de la multiplicité de ces opérations et des sommes investies, il reste encore des lacunes dans les connaissances. De plus, les expérimentations sont le

plus souvent réalisées localement, de manière empirique, sans protocole de suivi rigoureux, ni publication des résultats et sans une nécessaire vision globale. La diffusion des retours d'expériences issus de ces travaux est bien souvent insuffisante. Il n'existe pas actuellement de protocole méthodologique spécifique à ces travaux de restauration végétale et les gestionnaires sont ainsi amenés à construire chacun leur propre expérience par une succession d'expérimentations souvent redondantes. Par ailleurs, le choix des différentes techniques, la gestion des déchets, les aspects financiers et la durabilité des méthodes utilisées sont peu (ou pas) évaluées, ni comparées.

Il existe pourtant des plateformes de recueils d'expérience, comme celle animée par le Centre de ressources espèces exotiques envahissantes (anciennement celle du Groupe de travail sur les invasions biologiques en milieu aquatique). Cette plateforme permet le dépôt de retours d'expériences sur la gestion des espèces exotiques envahissantes, y compris terrestres comme les renouées asiatiques. Il est crucial de coordonner et mutualiser les essais conduits sur le territoire afin de pouvoir mieux comprendre les déterminants des succès et des échecs. Le recensement des expériences de génie écologique pour le contrôle des renouées à l'échelle de la France permettrait de répondre à la question que beaucoup de gestionnaires se posent : quelles techniques alternatives sont-elles efficaces dans la lutte contre les renouées asiatiques ? ■

Les auteurs

Fanny DOMMANGET et André EVETTE

Univ. Grenoble Alpes, Irstea, LESSEM, F-38000 Grenoble, France.

✉ fanny.dommanget@irstea.fr / ✉ andre.evette@irstea.fr

Florence PIOLA

LEHNA, Université Lyon 1, UMR 5023,

43 boulevard du 11 novembre 1918,

F-69622 Villeurbanne Cedex, France.

✉ florence.piola@univ-lyon1.fr

Soraya ROUIFED

ISARA, 23 rue Jean Baldassini, F-69007 Lyon, France.

✉ srouifed@isara.fr

William BRASIER

Compagnie nationale du Rhône,

2 rue André Bonin, F-69316 Lyon Cedex 04, France.

✉ w.brasier@cnr.tm.fr

EN SAVOIR PLUS...

✎ ADAM, P., DEBIAIS, N., GERBER, F., LACHAT, B., 2008, *Le génie végétal, Un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques*, Paris, Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables, La Documentation française, 290 p.

✎ DOMMANGET, F., BRETON, V., DAUMERGUE, N., FORESTIER, O., POUPART, P., EVETTE, E., 2015, Contrôler des Renouées invasives par les techniques de génie écologique : retours d'expérience sur la restauration de berges envahies, *La Revue d'Écologie (Terre et Vie)*, n° 70, p. 215-228.

✎ Site internet du GT IBMA : <http://especes-exotiques-envahissantes.fr>

1 RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR L'UTILISATION DE SAULES POUR RESTAURER DES ZONES ENVAHIES

Dans le cadre d'essais scientifiques soutenus par la Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Pays-de-la-Loire, l'efficacité de boutures de saule des vanniers (*Salix viminalis* L.) a été testée sur des massifs de renouées asiatiques en bord de cours d'eau (Dommanget *et al.*, 2015). L'objectif était de tester l'efficacité de techniques inspirées du génie végétal pour restaurer des zones envahies par les renouées asiatiques, en conduisant des essais répétés en plusieurs endroits et en réalisant un suivi quantitatif sur plusieurs années.

Pendant l'hiver 2011-2012, dix sites ont été choisis sur des critères de proximité avec un cours d'eau et d'homogénéité des conditions environnementales.

Les essais portaient sur deux traitements :

- l'effet compétitif de boutures de saules des vanniers (80 cm) plantées en haute densité (6,25 boutures/m²) sur une partie de la tache de renouée de manière à pouvoir comparer l'effet des saules avec une zone témoin,

- l'effet de boutures de saules des vanniers (idem précédemment) associé à un prétraitement consistant en l'extraction des rhizomes de renouées sur les premiers 50 cm du sol de manière à affaiblir leur système souterrain.

Chaque ouvrage a été associé à une zone « témoin » sans plantation de boutures.

Une campagne de mesures à l'automne 2011 a permis d'établir un état de référence préalable aux interventions pour chacun des ouvrages et leur zone témoin. Des mesures régulières sur les saules (taux de reprise, hauteur) et les renouées (hauteur, densité en tiges, biomasse sèche/m²) ont été réalisées plusieurs fois par an pendant plusieurs années. Des fauches manuelles et sélectives ont été appliquées deux fois par an dans les zones bouturées jusqu'à ce que le couvert du saule des vanniers domine les renouées asiatiques.

Les résultats après quatre saisons de végétation montrent que les saules des vanniers ont réussi à dominer les massifs de renouées asiatiques (photo 1), bien que ces dernières soient toujours présentes. La densité en tiges (de 29 à 71 % de tiges en moins) et la biomasse aérienne par m²

(de 37 à 99 % de biomasse produite en moins) ont été significativement réduites par la compétition avec les saules par rapport aux placettes témoin.

Les fauches ont pu être stoppées, parfois dès la deuxième année.

Toutefois, certains ouvrages n'ont pu être maintenus pour cause d'herbivorie par les ragondins ou par destruction naturelle (crue) ou anthropique (fauche).

Cette étude montre que la restauration d'une communauté végétale compétitive est prometteuse

pour le contrôle des renouées asiatiques, mais que son efficacité dépend du contexte biotique et abiotique de chaque site.



1 Ouvrage de génie végétal quatre ans après son installation. A) Vue d'ensemble. B) Vue sous le couvert de saules. Quelques tiges de renouées asiatiques se maintiennent dans la partie bouturée (octobre 2014).

2 RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR L'UTILISATION DE BOSQUETS DE MACRO-PIEUX DE SAULES BLANCS POUR RESTAURER DES ZONES ENVAHIES

Technique

Cette technique a été testée l'une des premières fois en hiver 2010-2011 sur l'île de la Malourdie, située sur l'aménagement de la Compagnie nationale du Rhône de Chautagne. Deux zones tests de respectivement 600 m² et 300 m² ont été créées en utilisant des macro-pieux de 10-15 cm de diamètre et de 5-6 m de long, dont la moitié est enterrée pour permettre un enracinement profond proche de la nappe alluviale (figure 1). La densité de plantation est de 5 unités/4 m² afin d'avoir un effet immédiat.

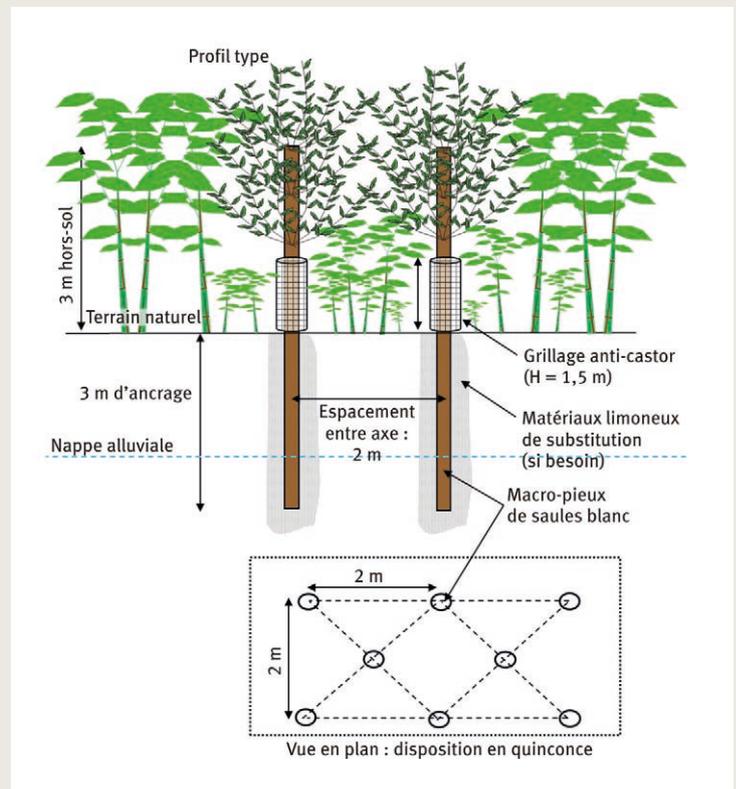
Une protection anti-castor est nécessaire à l'aide d'un grillage « type poule » sur une hauteur de 1,5 m.

Des opérations d'entretien par fauche des tiges ont été réalisées durant les deux premières années de croissance de manière mensuelle d'avril à septembre.

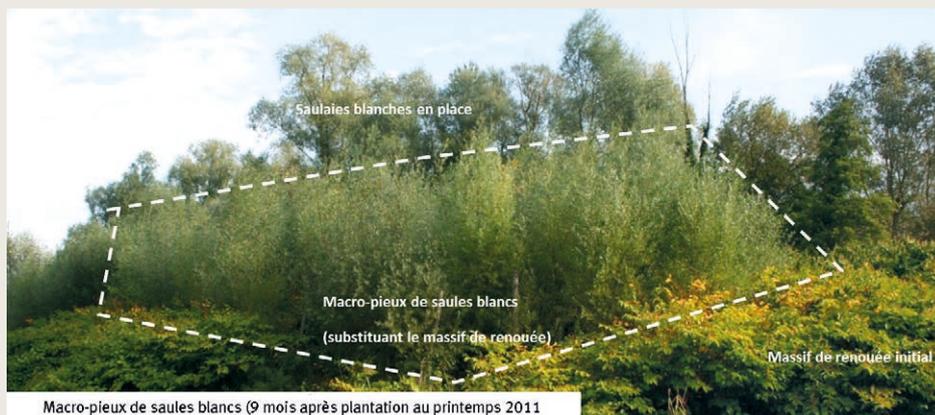
Principaux résultats

L'atteinte quasi-immédiate au printemps suivant d'un houppier plus haut que la hauteur maximale des tiges de renouée est garantie. Cela permet de réduire considérablement la vigueur du massif de renouée du Japon, en particulier la hauteur et le diamètre des tiges.

1 Profil type et vue en plan de principe de la technique des macro-pieux de saules blancs.



6 Photographies d'une plantation de bosquets de macro-pieux de saules blancs sur des massifs de renouées asiatiques.



Les possibilités de composter les renouées asiatiques

Il existe peu de données sur le risque de dissémination des renouées asiatiques via la filière de compostage. De ce fait et par mesure de précaution, beaucoup de plateformes de compostage industriel refusent les déchets verts issus des fauches ou des arrachages de ces espèces. Afin d'évaluer objectivement le risque de dissémination à l'échelle locale, le département de Savoie a lancé en 2017 un essai de compostage des renouées en grandeur réelle, sur la plateforme de Grand-Chambéry, dont cet article fait la synthèse.

Les déchets verts récoltés lors de l'entretien des espaces colonisés par les renouées asiatiques sont en grande partie constitués des parties aériennes de la plante (tiges et feuilles). Néanmoins, ils peuvent aussi contenir des fragments de rhizomes situés à la base des tiges, qui se détachent du reste de la partie souterraine au cours d'un arrachage manuel ou d'une fauche mécanique. De plus, en fin d'été et début d'automne, les produits récoltés peuvent également contenir des graines. De ce fait et par mesure de précaution, beaucoup de déchetteries et de plateformes de compostage refusent systématiquement ce type de déchets et cela n'est pas sans poser de nombreux problèmes aux entreprises du paysage. Les enquêtes et les études menées sur le risque de dissémination de la plante *via* la filière de compostage sont en effet peu nombreuses et parfois contradictoires. Elles se répartissent entre des essais en conditions réelles et d'autres en laboratoire, simulant les conditions régnant dans le compost. Les résultats des essais en laboratoire sont très difficiles à transposer au cas des composts industriels en tas ou en andains, car il existe une très forte hétérogénéité à l'intérieur du compost, qui n'est généralement pas testée. En conditions réelles, les quelques essais trouvés ont été effectués à partir de tiges et un seul a pris en compte les rhizomes.

Ils se sont tous déroulés sur plusieurs mois. Les comptes rendus de ceux-ci constataient l'absence de repousses. Toutefois, une enquête menée en 2011 à Vancouver relate des témoignages signalant l'apparition de pousses de renouées après l'utilisation de compost.

Afin d'évaluer objectivement le risque de dissémination à l'échelle locale, le département de la Savoie a lancé en 2017 un essai de compostage des renouées asiatiques en grandeur réelle. La plateforme testée est celle de Grand Chambéry située à Chambéry-Le-Vieux (photo 1). Elle est gérée par Suez. Le compost est produit en tas avec une ventilation forcée les six premières semaines. Le traitement dure huit à douze mois. L'objectif était d'évaluer la survie des diaspores (rhizomes, tiges et graines) de renouées dans le compost.

Le process testé

Le process comprend plusieurs étapes. Les déchets verts sont déposés en stock à l'entrée du site et ils subissent un broyage grossier permettant d'homogénéiser le calibre du produit. Des débris ligneux peuvent aussi être rajoutés en début de chaîne pour structurer si besoin le compost. Puis les matériaux sont mis en tas sur un endroit de la plateforme équipé d'une ventilation forcée arrivant par le sol. Cette ventilation dure environ



1 Plateforme de compostage de Chambéry-Le-Vieux : à gauche, les déchets verts à l'entrée du site ; à droite, le compost en production.

© Aquabio

six semaines et les tas vont s'échauffer avec des températures atteignant 70-75 °C sans descendre en dessous de 68 °C. Par la suite, les températures restent encore élevées dans le tas et supérieures à 55 °C pendant au moins un mois. Le tas est retourné deux fois pour aérer et homogénéiser le compost pendant la phase de production. Ces retournements, qui ont lieu tous les deux ou trois mois, permettent aussi de déplacer progressivement le produit vers la sortie de la plateforme, où il est finalement traité par criblage pour éliminer les matériaux les plus grossiers formés de fragments ligneux et parfois de petits déchets.

Dans le cadre du test, il a été décidé de ne pas broyer les rhizomes ou les tiges avant de les introduire dans le compost. Ce broyage initial permet en effet une première homogénéisation des déchets verts arrivant sur la plateforme de compostage, mais il n'avait pas d'intérêt ici si ce n'est celui d'accélérer peut-être le pourrissement des renouées. De même, le compost expérimental obtenu n'a pas été criblé à la fin du traitement pour éviter qu'une partie des fragments végétatifs introduits ne partent dans le refus de criblage et ne puissent pas être évalués.

Les conditions de réalisation de l'essai

Pour avoir un volume final suffisamment important et contenant une forte densité de propagules, l'essai a été réalisé à partir de 10 m³ de rhizomes, soit 170 000 fragments de rhizomes, 1,3 millions de graines et 7 m³ de tiges, soit 8 000 tiges¹. Les rhizomes et les tiges, qui

ont été respectivement récoltés en hiver et en juin, ont immédiatement été intégrés dans le compost sans période de stockage. Deux récoltes de graines ont été réalisées, une première durant l'hiver 2015, puis une seconde en octobre 2016. Les graines ont été stockées dans un endroit sec, à l'abri de la lumière, à une température moyenne d'environ 14 °C, pendant un an pour les graines récoltées en hiver 2015 et pendant deux mois pour celles récoltées en octobre 2016. Les deux récoltes ont été mélangées avant d'être intégrées dans le compost.

De plus, les contraintes liées au cycle de la plante et à la durée de compostage ont nécessité de réaliser deux introductions décalées dans le temps, l'un avec les rhizomes et les graines, l'autre avec les tiges. L'intégration massive de rhizomes dans le compost n'est pas une possibilité réaliste dans les conditions habituelles de fonctionnement de la compostière, car ce genre de produits très lignifiés n'est pas intéressant en compostage et il aurait été dirigé vers une filière bois-énergie. Toutefois, le risque d'introduire des fragments de rhizomes avec les tiges coupées par des machines ou arrachées est bien réel.

1. Estimation réalisée à partir du poids et/ou des volumes totaux produits et des quantités de propagules ou graines comptabilisées à partir d'un échantillonnage.

② Photographie illustrant le dessèchement et la mortalité des tiges de renouées asiatiques dans le compost (au bout de trois mois).



© Aquabio

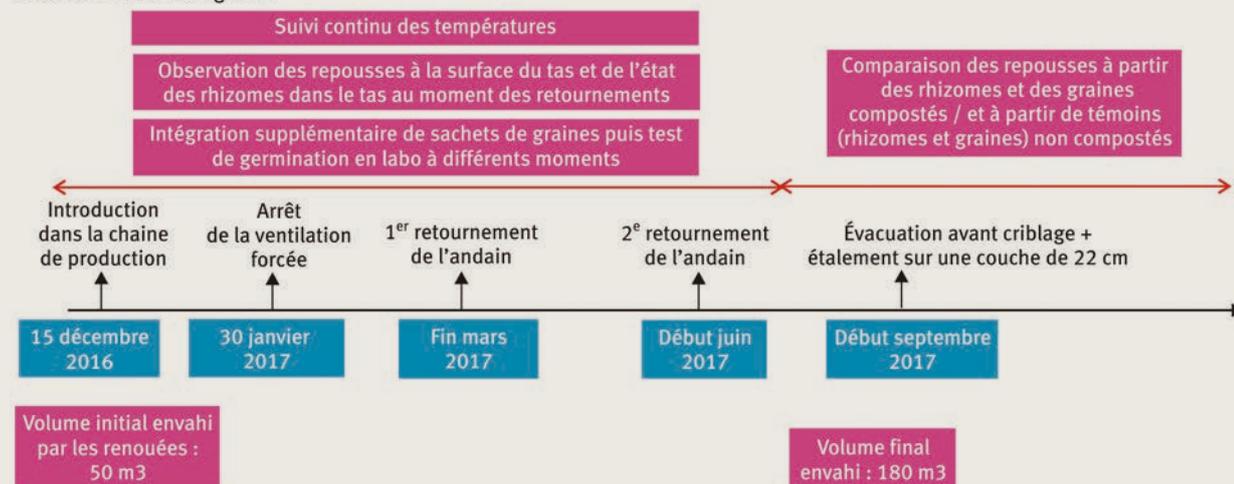
La figure ① décrit les étapes et le suivi mis en place pour évaluer les résultats. Les deux composts expérimentaux ont été observés régulièrement pour suivre l'apparition de repousses. Le produit final avec les rhizomes et les graines a été étalé sur une parcelle et inspecté pendant deux années pour vérifier l'absence de repousses. Celui avec les tiges n'a pas été mis en conditions de culture, le dessèchement rapide des tiges observé pendant la production étant suffisant à analyser le risque. Des sachets de graines ont été introduits dans le compost afin de tester leurs capacités de germination à différentes étapes de la production du compost.

Les résultats

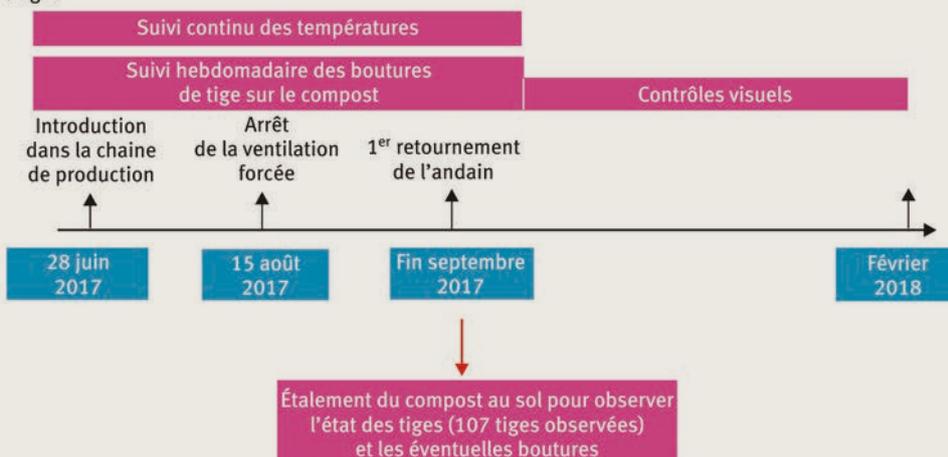
Aucune diaspore n'a survécu dans le produit final obtenu. Les observations de l'état des fragments végétaux et la mise en condition de repousse des diaspores le prouvent (figure ② et photo ②).

① Chronologie du déroulement de l'essai de compostage de renouées asiatiques sur la plateforme de Chambéry-le-Vieux. L'essai a consisté à réaliser deux tests, l'un avec des rhizomes et des graines, l'autre avec des tiges.

1er essai : rhizomes + grains



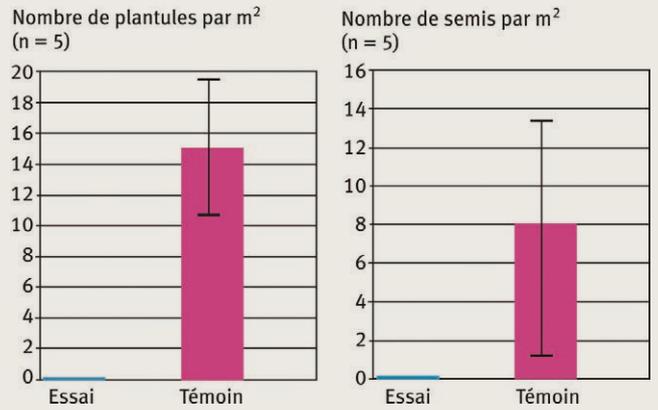
2^e essai : tiges



La dévitalisation des fragments végétatifs ou des graines n'a pas été immédiate et le suivi de la surface du compost en cours de production a été également très instructif, car il montre qu'un risque de survie des rhizomes ou des graines dans d'autres procédés de production de compost est possible. Certains composts industriels sont en effet produits beaucoup plus rapidement en quelques semaines et avec un seul retournement. Or dans l'essai sur la plateforme de Chambéry-Le-Vieux, des repousses à partir du bouturage des rhizomes situés les plus proches de la surface ont été observées pendant les cinq premiers mois, et cela même après le premier retournement.

Dans ce type de compost, les retournements sont donc essentiels pour homogénéiser le produit et soumettre l'ensemble des propagules aux fortes températures, car il existe un fort gradient de température entre la surface et l'intérieur du tas. De plus, dans notre cas, une petite partie du compost était restée contre une glissière en béton délimitant l'emprise de la plateforme (photo ②), c'est probablement pourquoi des rhizomes ont pu survivre et bouturer après le premier retournement. Cela n'a pas de

② Comparaison du nombre de repousses de rhizomes (figure de gauche) ou de semis (figure de droite) par m² sur la zone d'épandage final avec des graines ou des rhizomes compostés (essai) et avec des graines ou des rhizomes frais et non compostés (témoins).



③ Repousses de renouées à partir des rhizomes situés à moins de 50 cm de profondeur dans le tas, trois mois après le début du compostage et avant le premier retournement



► conséquences pour le produit final sur cette plateforme, puisque du fait de l'organisation des tas, le produit commercialisé ne sort du site que s'il est déplacé par la chargeuse lors du retournement du compost. Mais dans une autre configuration, sans déplacement du compost, avec des tas à différents niveaux de maturation trop proches les uns des autres, ou avec une production du compost en deux ou trois mois, on peut supposer que des rhizomes puissent être encore vivants avant le criblage final. D'ailleurs, l'observation visuelle des tissus des rhizomes pris à l'intérieur du tas montre des zones non pourries, ni deséchées ou brûlées même après trois mois.

Des observations similaires ont été faites pour les graines. Les éventuelles germinations isolées n'étaient pas détectables sur le tas en cours de compostage du fait de la très petite taille des semis (quelques millimètres). Seule une germination massive des graines introduites aurait provoqué un verdissement de la surface du tas visible à l'œil nu, ce qui n'a pas été le cas. On sait aussi que les composts peuvent inhiber la germination de certaines graines ; la capacité germinative a donc été suivie grâce à des sachets de graines introduits dans le compost. Celles-ci n'avaient plus aucune capacité germinative après les huit mois dans le compost. Par contre, des graines restant à la surface du tas ont pu encore germer après les cinq premiers mois de compostage.

Toutes les tiges ont quant à elles séché en trois mois, qu'elles soient situées à l'intérieur ou en surface du tas.

Conclusion

Il est plus facile de comprendre pourquoi les données bibliographiques sur la survie des renouées du Japon dans les composts donnent des résultats qui peuvent sembler contradictoires. Les composts sont en effet réalisés dans des conditions très différentes selon les sites, avec des durées et un nombre de retournements variables et une organisation en tas ou en andains. Sur la plate-forme de Chambéry-Le-Vieux, l'essai a montré qu'il n'y avait aucun risque de retrouver des diaspores vivantes dans le produit final. La durée de production de huit mois, les deux retournements mécaniques et des températures élevées à l'intérieur du tas, de l'ordre de 70 °C le premier mois, puis de plus de 55 °C pendant plusieurs jours consécutifs après chaque retournement, suffisent à dévitaliser les tiges, les rhizomes et les graines de renouées asiatiques. L'organisation de cette plateforme, qui empêche le mélange des produits à différents niveaux de maturation, est également un avantage important. Mais ces résultats ne s'appliquent sans doute pas à des procédés de compostage moins poussés, puisque l'essai a aussi montré la possibilité de survie des graines et des rhizomes pendant plusieurs premiers mois en surface du compost. ■

Les auteurs

Mireille BOYER et Louise BARTHOD

Aquabio

108 allée du lac Léman,

F-73290 La Motte Servolex, France.

✉ mireille.boyer@aquabio-conseil.com

✉ louise.barthod@aquabio-conseil.com

1 TÉMOIGNAGE...

Claire Rameaux, Département de la Savoie

Dans le cadre de la lutte contre les renouées asiatiques, les collectivités et structures privées sont aujourd'hui confrontées à la problématique de l'élimination des déchets issus des fauches et arrachages précoces. En effet, les déchets à traiter étant des végétaux, la filière la plus appropriée serait le compostage puisque le brûlage est interdit (sauf dérogation sollicitée) par le règlement sanitaire départemental (pollution de l'air) et que de nombreux incinérateurs n'acceptent pas les déchets végétaux dans le cadre de leur règlement d'utilisation.

Cependant, des précautions s'imposent, les rhizomes de renouées ayant un très fort pouvoir de dissémination. Aussi, certains prestataires (plateformes de compostage recevant les déchets verts des déchetteries), et donc de ce fait des déchetteries, par peur du risque de contamination refusent de collecter les déchets de renouées.

Lors d'une rencontre entre le Département de la Savoie et les collectivités en charge de la problématique déchets (plus d'une vingtaine représentée) qui a eu lieu le 5 novembre 2015, il est ressorti le besoin de pouvoir s'appuyer sur des études scientifiques, que ce soit pour la gestion des plantes (éradication, manière de faucher...) ou pour la gestion des déchets (transports, traitement).

En effet, si les tiges de renouées (partie aérienne) sont exemptes de rhizomes (partie souterraine) et ont été séchées, elles peuvent être déposées en compostage sans risque, la tige étant morte. Par contre, sans preuve « scientifique » que les rhizomes sont dégradés par le compostage industriel (forte montée en température suffisamment longue), il sera difficile de faire accepter les renouées en déchetterie (le risque d'avoir des rhizomes accrochés aux tiges est toujours présent).

Aussi, le Département a-t-il souhaité mettre en œuvre une expérimentation de compostage des différentes parties de ces plantes (rhizomes, tiges, graines) en espérant aboutir à une conclusion positive et ainsi pouvoir valoriser la filière compostage pour le traitement des déchets de renouées.

Un partenariat a été signé entre le Département (maître d'ouvrage de l'étude), Grand Chambéry et Suez organique (propriétaire et gestionnaire de la plateforme de compostage) afin de pouvoir utiliser la plateforme et réaliser l'expérimentation dans les conditions réelles de fonctionnement. L'expérimentation à quant à elle été menée par le bureau d'étude Concept Cours d'EAU (qui a intégré Aquabio en 2018).

Aujourd'hui, la Savoie est très impactée par les renouées asiatiques. Les agents des routes en charge de l'entretien des accotements sont régulièrement confrontés à elles. Afin de limiter la propagation des plantes, le mot d'ordre est dorénavant : « moins on touche la plante, mieux c'est ». Lorsqu'elles doivent être fauchées pour des raisons de sécurité et qu'on se trouve loin d'un cours d'eau, les cannes sont laissées sur place. Les risques de dissémination lors du transport tout comme les problématiques d'élimination sont ainsi évités. Si les tiges doivent être ramassées, afin d'être sûrs que ces déchets verts soient acceptés en déchetterie, les agents les stockent sur des plateformes imperméables avant de les apporter sèches en déchetterie.



EN SAVOIR PLUS...

▣ BARTHOD, L., BOYER, M., 2017, *Prévention du risque de dissémination des plantes invasives via la filière de valorisation des déchets verts par compostage – Étude de la survie des tiges, des rhizomes et des graines de renouées asiatiques intégrés dans un compost industriel*, Étude réalisée pour le compte du Département de la Savoie, 52 p.

Retour d'expérience

L'éco-pâturage pratiqué par SNCF Réseau

Le long des voies ferrées, les gestionnaires se tournent de plus en plus vers l'éco-pâturage pour entretenir la végétation et lutter contre les espèces exotiques envahissantes.

La tendance est aujourd'hui au pâturage extensif avec moins d'animaux, mais sur du plus long terme pour limiter efficacement la repousse des tiges en épuisant les réserves stockées dans les rhizomes de la plante.



Il y a quelques dizaines d'années, les voies ferrées et leurs abords étaient entretenus manuellement grâce à des équipes nombreuses et fortement mobilisées. En même temps, le pâturage était fréquent sur les espaces communaux ou parfois même, aux abords des infrastructures. Ces

méthodes d'entretien ont progressivement disparu au profit de moyens modernes, chimiques ou mécaniques. Depuis 2012, chez SNCF Réseau, plus de cinquante initiatives ont permis de mettre en place de l'éco-pâturage pour entretenir la végétation sur des terrains parfois difficiles d'accès avec des engins (photo ❶).

Les motivations

Un retour d'expérience de l'ensemble des projets locaux a été fait en 2018. Quand on demande aux initiateurs de ces projets les raisons qui les ont motivés à se lancer dans de l'éco-pâturage, les cinq principales sont les suivantes :

- alternative aux herbicides : 83 % ;
- maîtrise des coûts : 75 % ;
- moyen de lutte contre les espèces invasives : 58 % ;
- proposition ou opportunité avec un éleveur : 17 % ;
- plaintes des riverains : 8 %

Dans la grande majorité des cas, plusieurs raisons sont évoquées. La première motivation est la volonté de progresser dans les pratiques, en employant des méthodes alternatives à l'entretien chimique ou mécanique. La seconde raison est celle de faire mieux et à coût maîtrisé.

Enfin, une problématique récurrente et souvent évoquée concerne la lutte contre les espèces exotiques envahissantes, telles que la renouée du Japon, l'ailante...

Démunis face à ces invasions et dans l'impossibilité d'intervenir autant de fois qu'il le faudrait sur chacun des sites concernés, les établissements de maintenance en charge de l'entretien des infrastructures ferroviaires et de leurs emprises foncières évoquent cette problématique comme étant un élément déterminant pour se lancer dans l'éco-pâturage. La renouée du Japon est l'espèce exotique envahissante (EEE) la mieux installée sur les zones où l'on pratique le pâturage (60% des cas). C'est une espèce fourragère très prisée par les chèvres et les moutons, surtout lorsqu'ils la trouvent dès la montée de sève au début du printemps.

Localisation

Des expérimentations ont eu lieu un peu partout en France sur le foncier de SNCF Réseau (encadré ❶), excepté dans les régions littorales Ouest et Sud-Est qui tardent à se lancer. Cela s'explique par l'offre, puisque les acteurs proposant parmi leurs services de l'éco-pâturage sont majoritairement répartis dans le Nord et l'Ouest du pays, ainsi qu'en Ile-de-France.

Les expérimentations se sont déroulées sur plusieurs types de terrains : talus sensibles du fait de leur instabilité et situés aux abords de lignes circulées, ouvrages d'art en centre-ville, bases de maintenance, bassins de décantation ou encore lignes ne supportant plus de trafic ferroviaire.



© C. Bechtelme-Moncharmont (SNCF Réseau)

❗ Quelques moutons
pâturant de la renouée
aux abords d'une
voie ferrée.

Soixante-sept pour cent des expérimentations ont eu lieu sur des communes de plus de deux mille habitants. Une majorité des cas s'observent donc en zone urbaine.

Description technique

La surface moyenne d'une parcelle entretenue grâce à de l'éco-pâturage est de 1,42 hectare. Cette moyenne est assez peu représentative compte tenu de la forte variabilité des surfaces d'une parcelle à l'autre. Ce chiffre assez bas s'explique par le fait qu'il s'agit d'une pratique encore expérimentale, vouée à se diffuser dans les années à venir. Un retour d'expérience de l'ensemble des expérimentations déjà menées a été fait par la direction de SNCF Réseau et un guide méthodologique est en cours de rédaction. Il a pour objectif de clarifier le potentiel « éco-pâturable » des sites, les étapes à suivre ainsi que les différentes possibilités contractuelles et économiques pour que ces projets puissent se faire tout en garantissant la sécurité de l'exploitation ferroviaire.

Le potentiel « éco-pâturable »

La première condition pour mettre en place un projet d'éco-pâturage concerne la facilité d'accès au site depuis l'extérieur, qui permet notamment d'être autonome pour la surveillance ou en cas d'intervention (déplacement d'animaux, accident...). D'autres facteurs, tels que la nature des talus (stabilité, capacité à supporter la charge des animaux, pourcentage de pente, voie ferrée en hauteur ou en contrebas...), le type de végétation en place (herbacée, ronciers, présence d'invasives...), l'existence préalable de clôtures ou la possibilité d'en implanter de nouvelles, les contraintes ferroviaires, les

conditions réglementaires (ex. : périmètres de protection de captages d'eau) et bien d'autres, sont analysés afin de juger de la pertinence de l'éco-pâturage site par site.

Prestation ou convention d'entretien

Il existe deux possibilités pour mettre en place de l'éco-pâturage chez SNCF Réseau :

- prestation d'éco-pâturage avec un berger urbain, une association ou entreprise du paysage. Dans ce cas, un cahier des charges précisant les conditions de réalisation (accessibilité, surveillance, suivi sanitaire, durée de la prestation, travaux ou besoins complémentaires...) et une visite préalable sont réalisés afin de garantir le bon déroulement de la prestation ;
- plus récemment, un nouveau modèle a été introduit permettant de déléguer l'entretien de parties de foncier ferroviaire à des tiers. Une convention d'entretien est alors rédigée pour cinq ans généralement afin de déléguer l'entretien à un tiers qui peut être un éleveur ou une association détenant des animaux et à la recherche de terrains. Dans ce cas, il s'agit d'une relation gagnant-gagnant entre le demandeur et SNCF Réseau. La mise à disposition du foncier est alors gratuite et la convention permet d'encadrer les rôles et responsabilités de chacune des parties.

Dans tous les cas, il est très important de :

- bien choisir le terrain,
- l'équiper avec les installations nécessaires au pâturage (clôtures, abri, abreuvoir),
- faire pâturer des espèces adaptées au milieu (surface, topographie, conditions climatiques, environnement urbain),

1 DÉMARCHE D'ÉCO-PÂTURAGE ENGAGÉE EN BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ PAR SNCF RÉSEAU

Depuis 2015, à Dijon, l'entretien de quelques sites SNCF envahis de renouées asiatiques est expérimenté en éco-pâturage. Ce choix avait trois objectifs principaux :

- tester une méthode de lutte contre la renouée,
- maîtriser les coûts d'entretien de talus escarpés sur lignes circulées et en milieu urbain,
- montrer que l'éco-pâturage est possible sans incident vis-à-vis de la sécurité des animaux et de la régularité des trains.

En 2015, l'expérimentation a débuté sur cinq sites. En 2016 et 2017, deux sites ont été rajoutés. Au total, la surface éco-pâturée sur renouées à Dijon représente environ deux hectares.

La prestation a été confiée à une entreprise spécialisée dans l'éco-pâturage. Cette dernière a déterminé la nature, les races et le nombre d'animaux à mettre en place sur chaque talus, ainsi que le type de pâturage en fonction des objectifs énoncés ci-dessus.

De manière générale, les animaux ont été choisis en fonction de :

- leur capacité à rester calme au passage des trains et à ne pas sauter par-dessus les clôtures,
- leur appétence vis-à-vis de la renouée,
- leur morphologie par rapport aux talus escarpés.

De 2015 à 2017, le pâturage intensif a été privilégié : les moutons, assez nombreux restaient peu longtemps sur chaque talus (une ou deux semaines maximum) pour minimiser les risques liés à la circulation des trains. Pour compenser, deux ou trois passages du troupeau étaient organisés chaque année sur tous les talus concernés.

En 2017, un protocole expérimental a été mis au point pour mesurer l'incidence du pâturage sur l'évolution de la croissance et de la densité des tiges de renouées. Il a consisté à mesurer le diamètre, la hauteur et la distance inter-nœud de tiges de renouées dans des quadrats d'un m² choisis aléatoirement dans un rectangle de 30 m² (photo 2). Dans ces quadrats, le nombre de tiges a également été compté. Ces mesures ont été faites entre le 15 avril et le 1^{er} mai, au début de la saison végétative et avant le premier passage des animaux, sur des talus pâturés depuis un ou deux ans et sur un témoin (site rajouté en éco-pâturage en 2017).

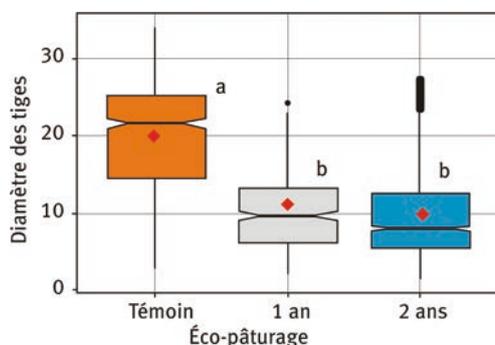


© C. Dechaume Moncharmont (SNCF Réseau)

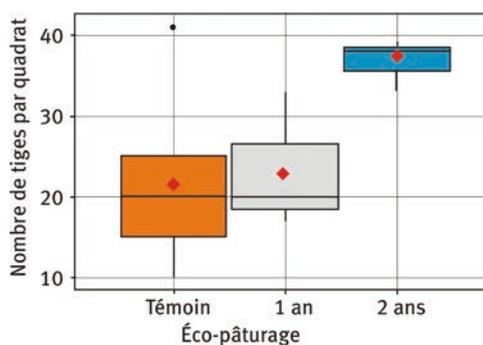
2 Mesure du diamètre et de la distance inter-nœud des tiges de renouée.

Les analyses statistiques ont mis en évidence une diminution nette du diamètre et de la distance inter-nœud des tiges après un ou deux ans de pâturage (figure 1 et 2). Par contre, la densité des cannes a diminué après un an et augmenté après deux ans de pâturage. Une action complémentaire au pâturage aurait probablement été utile pour diminuer la densité des tiges (arrachage).

1 Diamètre des tiges en fonction de la durée de pâturage.



2 Nombre de tiges des renouées en fonction de la durée de pâturage.



En 2018, pour tenir compte de l'état de dégradation avancée des talus après le passage des animaux, du pâturage extensif a été mis en œuvre : les animaux, plus légers et beaucoup moins nombreux que pendant les trois premières années, sont restés pendant toute la saison de végétation (mars-octobre). L'objectif était qu'ils puissent manger les tiges dès qu'elles commencent à pousser, et ainsi diminuer le plus efficacement possible les réserves de la plante stockées dans ses rhizomes. Cette pression sur la plante devra être maintenue pendant plusieurs années pour venir à bout de la plante, à condition de maintenir la plante dans la parcelle mais l'apparition de nouvelles plantes invasives risque de poser des problèmes encore plus importants par rapport à la sécurité des circulations (colonisation des ailantes).

- définir précisément l'entretien qui y sera réalisé (intensif/extensif, éventuels travaux préalables, date d'arrivée des animaux, adaptation de la pression de pâturage, suivi de l'évolution de la végétation, surveillance des animaux...),
- bien clarifier les rôles et responsabilités de chacun (suivi sanitaire courant, transport d'animaux, intervention en situation d'urgence...),
- communiquer en interne auprès des agents mais aussi auprès des riverains et collectivités.

Pour cela, la rédaction du cahier des charges (ou de la convention) ainsi que le choix des partenaires sont les deux étapes cruciales pour mener à bien un projet.

Pour quelle végétation ?

La végétation en place est souvent de type strates basses, accueillant des broussailles, des ronces et parfois des espèces exotiques envahissantes (figure 3). Les formations arborées et arbustives ne représentent que 20% cumulés des situations présentées contre 80% pour les broussailles et les abords herbacés. Sur l'ensemble des sites, 60% présentaient des espèces exotiques envahissantes (renouée seule ou plusieurs espèces à la fois, l'ailante étant la plus représentée après la renouée).

De 2015 à 2018, sur treize sites contenant des espèces invasives, la renouée du Japon est l'espèce la plus présente (figure 4). Le pâturage permet dans ce cas de limiter la prolifération de l'espèce et de maintenir le milieu.

Quels animaux ?

Les expérimentations ayant eu lieu jusqu'à maintenant ont mobilisé des ovins, des caprins, des bovins et des équidés. Les moutons sont les plus représentés et sont suivis de près par les chèvres (photo 3). Ce sont très souvent des races rustiques (moutons d'Ouessant, Solognots, chèvre des fossés...), représentant plusieurs intérêts :

- très bonne adaptabilité aux terrains pentus ou accidentés,
- consommation de végétaux très variés (peu sélectives),
- bonne résistance aux aléas météorologiques et aux maladies,
- préservation du patrimoine génétique et local.

Au sein d'un troupeau chargé de l'entretien d'un site, il est rare qu'il n'y ait qu'une seule espèce. On préfère souvent réunir moutons et chèvres notamment, tous deux ayant des intérêts complémentaires.

Conditions de réalisation

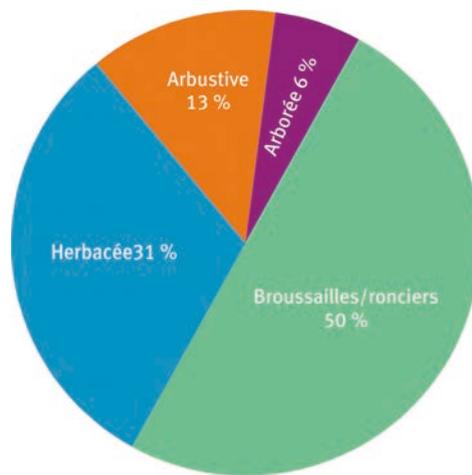
La plupart des expérimentations sont lancées du printemps jusqu'à l'automne. Les expériences durent en moyenne 220 jours par an couvrant au minimum la période d'activité végétative. Alors que les premières expérimentations duraient cinquante jours de moins en moyenne, les dernières quant à elles se sont déroulées environ trente jours de plus. Cela correspond à une prise de conscience croissante de l'intérêt d'une conduite extensive.

D'une manière générale, le coût total du pâturage (abreuvoir, clôtures, entretien...) est supérieur à celui

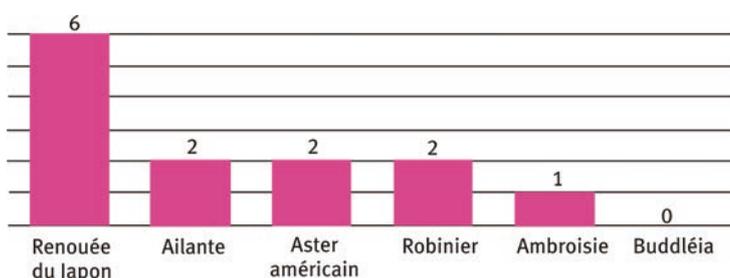


3 Une chèvre de Lorraine mise à disposition par l'association Les amis de la chèvre lorraine pour l'entretien de la végétation aux abords de la voie ferrée à Belleville (Lorraine).

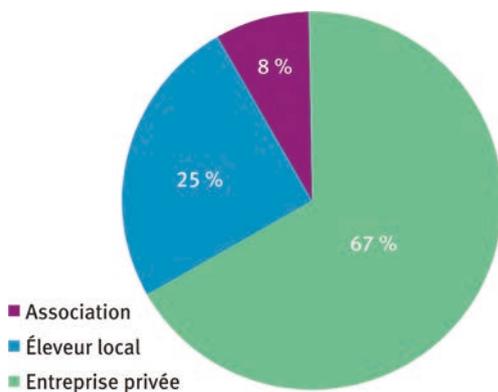
3 Type de végétation majoritaire lors de la mise en place des animaux dans les projets recensés.



4 Nombre de sites sur lesquels des espèces invasives étaient présentes lors de l'éco-pâturage (parmi les treize expérimentations menées entre 2015 et 2018).



5 Types de partenaires engagés.



du débroussaillage classique si l'on rapporte le coût au mètre carré. En revanche, le coût du pâturage seul (en tant que technique d'entretien) est plus avantageux que celui du débroussaillage classique. Cela veut dire qu'il est nécessaire de calculer l'amortissement de la clôture, dont le coût supporté la première année représente systématiquement le premier frein au lancement d'un tel projet, pour savoir si le pâturage est avantageux sur le plan économique. La clôture est généralement amortie au bout de quelques années, voire parfois dès la deuxième année lorsqu'il s'agit de sites sensibles où l'entretien est très difficile.

En dehors de l'intérêt économique, l'éco-pâturage représente un intérêt important en terme de qualité écologique puisqu'il permet de revenir à un couvert prairial, milieu qui a fortement souffert ces dernières décennies et pourtant, très favorable aux insectes, pollinisateurs et plus généralement à la petite faune, un enjeu majeur pour la biodiversité de plus en plus menacée. Selon le contexte, il contribue également à la création de lien entre les agents ou avec les riverains.

Malgré les précautions prises pour que l'éco-pâturage se passe bien, il arrive que des incidents aient lieu. La majorité de ceux-ci sont dus à des actes de malveillance pro-

venant de tiers et provoquant la mort d'animaux (attaque par des chiens dangereux ou errants, prélèvement...) ou leur divagation, voire collision sur les voies ferrées (lorsqu'ils sont poursuivis ou que la clôture côté voie est endommagée), d'où l'importance d'une communication amont avec les acteurs locaux (riverains, communes...).

Nos partenaires

Jusqu'à maintenant, SNCF Réseau a majoritairement travaillé avec des entreprises afin de mettre en place de l'éco-pâturage (figure 5). Depuis 2017, des expérimentations sont toutefois menées grâce à un partenariat avec une association (ex. : préservation d'une race locale) ou des éleveurs locaux. Dans tous les cas, il est demandé que la surveillance (intégrité des clôtures, suivi sanitaire des animaux, alimentation...) soit assurée par le partenaire.

Une nouvelle formule testée depuis 2018 consiste à établir une convention d'entretien à titre gracieux entre le propriétaire SNCF d'un site au potentiel « éco-pâturable » et un éleveur local afin que ses animaux s'alimentent en entretenant les emprises ferroviaires.

Conclusion

Les premières expérimentations d'éco-pâturage menées en 2012 par SNCF Réseau se sont avérées être un moyen très original et peu répandu pour entretenir la végétation des abords de voies ferrées. D'autres projets ont suivi et confirmé l'intérêt de cette technique pour l'entretien de la végétation. L'éco-pâturage est particulièrement efficace sur les zones difficiles d'accès ou pour contenir les massifs d'espèces invasives. Il se révèle d'autant plus pertinent sur le plan économique lorsqu'il permet de réduire les coûts d'entretien classique. De plus, c'est un mode d'entretien qui permet de se passer des techniques chimiques et favorise la biodiversité dans les emprises ferroviaires.

Les nuages de mots de la figure 6 font la synthèse des avantages et inconvénients cités par les établissements de maintenance SNCF Réseau après avoir mené un ou plusieurs projets d'éco-pâturage. ■

6 Nuages de mots représentant la synthèse des avantages et inconvénients de l'éco-pâturage pour l'entretien de la végétation des abords de voie ferrée.



Avantages



Inconvénients



Les chèvres apprécient particulièrement les tiges tendres et sucrées des renouées du Japon poussant sur les talus bordant les voies ferrées.

Les auteurs

Marine LE LAY

SNCF Réseau,
6 avenue François Mitterrand,
F-93574 La Plaine Saint Denis, France.

[📧 marine.le-lay@reseau.sncf.fr](mailto:marine.le-lay@reseau.sncf.fr)

**Caroline DECHAUME-MONCHARMONT,
Manon VION et Mélanie DOUCHET**

SNCF Réseau,
6 cour de la gare,
F-21000 Dijon, France.

[📧 caroline.dechaume@reseau.sncf.fr](mailto:caroline.dechaume@reseau.sncf.fr)

[📧 manon.vion@reseau.sncf.fr](mailto:manon.vion@reseau.sncf.fr)

[📧 ext.adequat.melanie.douchet@sncf.fr](mailto:ext.adequat.melanie.douchet@sncf.fr)

Retour d'expérience

Éco-pâturage caprin de la renouée du Japon sur zone humide en Mayenne

De 2011 à 2014, des expérimentations d'éco-pâturage caprin (Chèvre des fossés) ont été menées dans une zone humide de Mayenne dans le but de contrôler des herbiers de renouées du Japon. Sans toujours apporter des bénéfices sur la restauration de la biodiversité en général et l'abaissement du nombre de tiges de renouée dans les placettes colonisées, cette gestion originale a montré son efficacité pour réduire les pourcentages de recouvrement de l'espèce, la hauteur des tiges et les biomasses produites en fin de cycle.

Contexte

L'introduction la renouée du Japon (*Reynoutria japonica* Houtt.) sur le site du « Moulin à papier » près de Saint-Calais-du-Désert (Mayenne) a été réalisée par le meunier à des fins ornementales et paysagères. Cette vivace originaire d'Asie est une invasive dont la prolifération présente de forts impacts sur les milieux envahis (forte réduction de la biodiversité) et leur utilisation. L'envahissement fait suite à un débardage lors de l'exploitation d'une peupleraie qui a disséminé les rhizomes de la population initiale. Le premier constat de la présence de la renouée du Japon s'est fait entre 2005 et 2007 dans le cadre de la constitution du schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) de la Mayenne. Sa présence a été ensuite confirmée en 2008 lors du diagnostic réalisé dans le cadre du plan de gestion et de restauration du site élaboré par le Parc national régional Normandie Maine. Sur ce site, différents types d'expérimentations comme l'association d'une fauche et du brûlage des produits et la mise en œuvre d'une fauche suivie d'un bâchage des herbiers fauchés de renouées ont été menés en 2010. En 2011, une expérimentation d'éco-pâturage du site par un troupeau de Chèvres des fossés (*Capra aegagrus hircus*) a été mise en place en collaboration avec Agrocampus Ouest Rennes.

L'article résume les résultats de l'ensemble des expérimentations et précise ceux des années 2012, 2013 et 2014 (Coudreuse *et al.*, 2015), également présentés au colloque « Synergie Plantes Invasives Grand Est » (SPIGEST), de 2017 dans une table ronde consacrée à l'éco-pâturage.

Objectifs de l'expérimentation et questionnement scientifique

Dans cette recherche-action, il s'agissait d'accompagner scientifiquement un gestionnaire (le conseil départemental de la Mayenne) dans la gestion de son site.

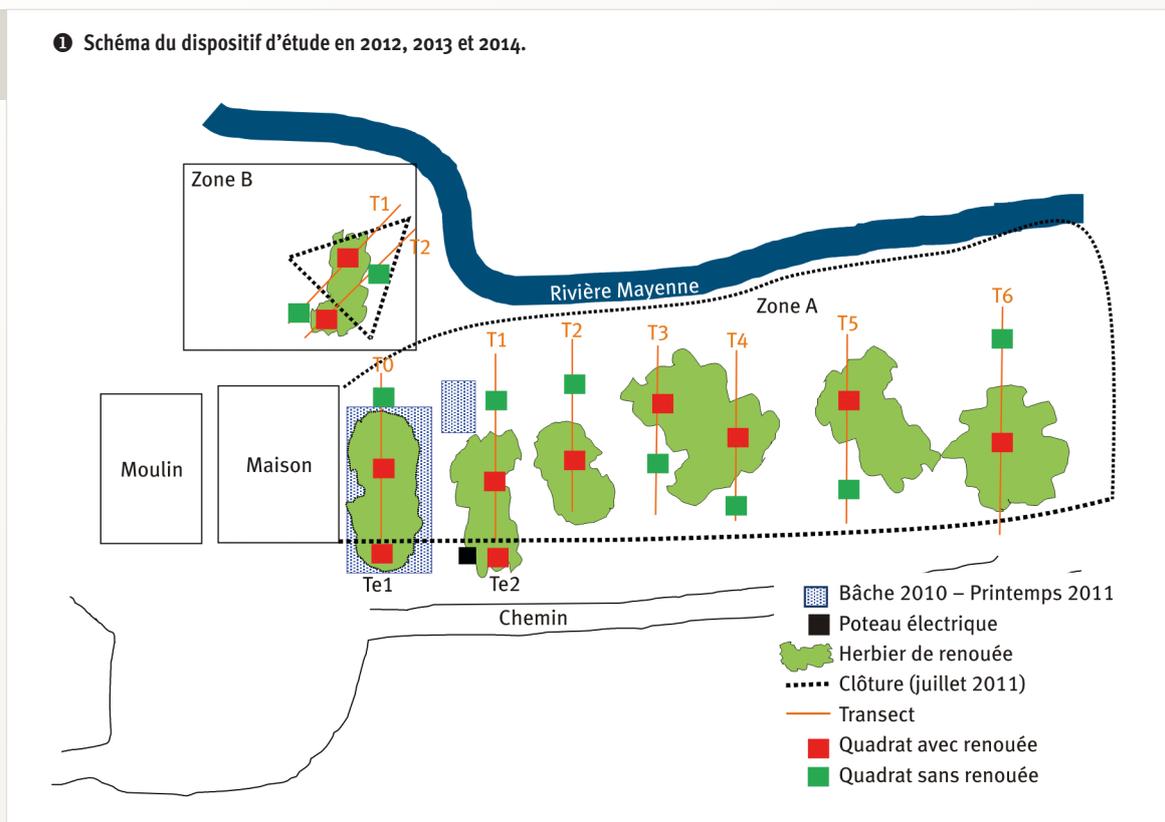
La question initiale de ce travail expérimental était de donc de déterminer : comment l'éco-pâturage¹ pourrait contrôler (voire éliminerait) la renouée du Japon sur deux parcelles de zones humides

Pour ce faire, il a été nécessaire :

- de réaliser deux campagnes annuelles d'observations, d'inventaires et de mesures suivant le protocole établi ;
- d'évaluer l'efficacité des Chèvres des fossés comme agent de contrôle de la renouée du Japon ;
- de produire un rapport de synthèse de cette expérimentation qui s'attache à répondre à trois questions :
 - y-a-t-il une régression, une stabilisation ou une progression de la renouée du Japon dans les parcelles expérimentales du Moulin à Papier à Saint-Calais-du-Désert (Mayenne) ?
 - quel effet visible le pâturage a-t-il sur la renouée du Japon en place ?
 - de quelle manière l'éco-pâturage influe-t-il sur la biodiversité au sein des « taches » de renouées ?

1. L'éco-pâturage est défini ici comme une méthode alternative aux gestions mécaniques et/ou à l'utilisation de phytocides homologués. Il diffère du pâturage par le fait que l'alimentation des animaux est destinée à des productions agricoles de rentes, alors qu'ici l'alimentation est uniquement destinée à entretenir le milieu et les paysages.

1 Schéma du dispositif d'étude en 2012, 2013 et 2014.



Présentation du site

Le site du « Moulin à papier » est situé dans une zone humide bordant la rivière Mayenne, à l'amont de Saint-Calais-du-Désert (Mayenne) (figure 1).

Cette ancienne peupleraie est/était classée comme espace naturel sensible (ENS). Les parcelles prairiales sont désormais dominées par l'ortie (*Urtica dioica*), la houlque (*Holcus lanatus*), le dactyle (*Dactylis glomerata*) et la renouée (*Reynoutria japonica*). La présence de la potentille des marais (*Comarum palustre*) est également inventoriée.

Descriptif des protocoles

Dans l'enclos pâturé (= zone A), d'une surface de 11 352 m², les cinq transects de 2011 ont été conservés mais renommés (T2 à T6). Le premier transect a été éloigné de la maison d'habitation afin de traverser une tache de renouée et est désormais nommé T1. Un septième et dernier transect (T0) a été ajouté, au plus près de la maison sur l'herbier bâché en 2010- printemps 2011.

Sur chacun de ces transects, comme en 2011, deux zones ont été étudiées : avec renouée (R) et sans renouée (SR). Les témoins de la zone à renouée non pâturée sont positionnés devant l'enclos de la zone A (Te1 et Te2) et dans l'exclos non pâturé de l'enclos qui ne sera pâturé qu'à partir de 2014 (zone B de 3 000 m²), après la construction d'une passerelle permettant le passage du troupeau. Sur toutes ces zones, des relevés floristiques (4 m² ; recouvrements spécifiques, richesse spécifique) ont été réalisés au cours de chaque campagne (quatre campagnes en 2012, deux campagnes en 2013 et 2014), ainsi que les hauteurs maximales de la renouée.

Les prélèvements de biomasses (aériennes et souterraines) sur des quadrats de 0,25 m², placés au centre du quadrat de 4 m² ont été réalisés comme en 2011. Les pesées ont été faites sur matériel trié, frais (MF) et sec (MS) (séchage dans le sac ouvert durant sept à huit mois à température ambiante). Ces prélèvements n'ont été réalisés que sur la dernière campagne d'étude en 2012, 2013 et 2014. Avant le prélèvement, un dénombrement des tiges de renouées, ainsi que la mesure de leur hauteur (pour obtention de hauteurs moyennes) ont été faits dans le quadrat.

Résultats de la première étude

Les résultats expérimentaux correspondant à la première phase (2010-2011) sont les suivants.

Dès 2011, les effets de l'éco-pâturage des herbiers de renouée du Japon de ce site ont été visibles.

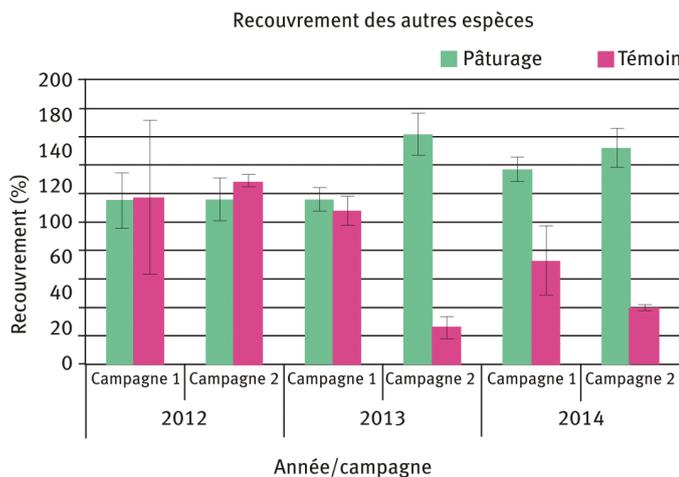
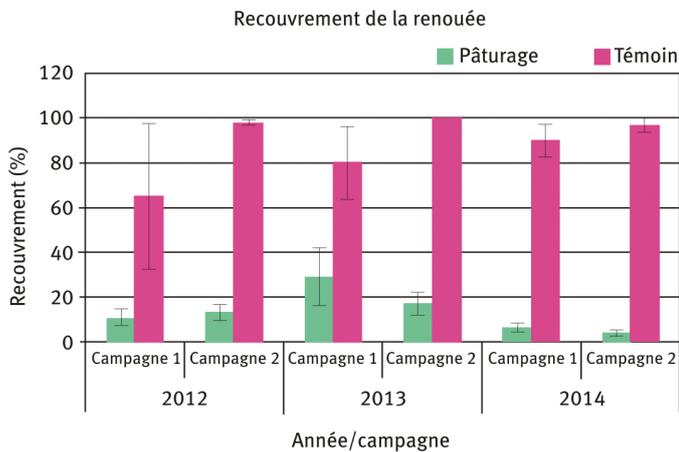
Alors que le troupeau initial comptait treize bœufs de Chèvres des fossés mis en place sur site en juillet 2011, il se réduisait à neuf animaux opérationnels en fin d'année à cause de mortalité d'origine autre que le site et sa végétation.

Malgré tout, cette année-là, les productions de biomasses fraîches (divisée par trois entre juillet et septembre) et sèches (divisée par sept entre juillet et septembre) des renouées ont fortement baissé. Parallèlement, du fait de la réduction de la compétition dans les herbiers colonisés par la renouée du Japon et de l'ouverture du milieu, celles des autres espèces végétales ont augmenté (facteur > 5 pour les matières fraîches et facteur > 3 pour les matières sèches entre juillet et septembre) sur les mêmes placettes, ce qui nous a encouragés à poursuivre cette expérimentation durant trois ans encore.

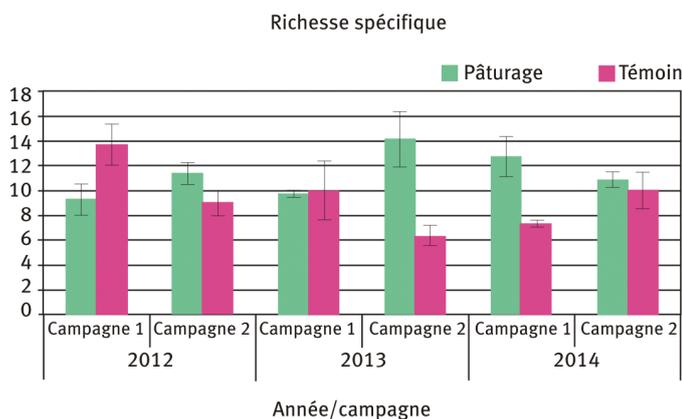
② Recouvrement (%) sur la zone pâturée et la zone non pâturée (témoin) lors de deux campagnes en 2012, 2013 et 2014. Les barres d'erreurs représentent les erreurs-standards.

Graphique du haut : abondance moyenne de la renouée.

Graphique du bas : abondance moyenne cumulée des autres espèces.



③ Richesse spécifique moyenne sur les zones pâturée et témoin lors de deux campagnes en 2012, 2013 et 2014. Les barres d'erreurs représentent les erreurs-standards.



Résultats des expérimentations réalisées en 2012, 2013 et 2014

Pour ce qui est des recouvrements de renouée du Japon (figure ②, graphique du haut), l'effet du pâturage, quelle que soit la campagne et/ou l'année, est spectaculaire comparativement au témoin (non pâturé). Le recouvrement de la renouée du Japon baisse ; ce qui prouve que le troupeau, par sa consommation de végétaux mais aussi ses déplacements dans la parcelle, impacte négativement le développement et donc le recouvrement de la renouée. Parallèlement aux effets de l'éco-pâturage sur la réduction du recouvrement foliaire, les hauteurs moyennes des tiges de renouée ont été mesurées. Le pâturage permet chaque année de réduire significativement la hauteur des renouées du Japon qui passent de presque 2 m à moins de 0,30 m. Une variation interannuelle significative de la hauteur moyenne des tiges de renouée en fin de saison a aussi été mise en évidence mais uniquement sur la zone pâturée ; en 2014, le minimum de la hauteur de renouée est 20 ± 4 cm, pour 24 ± 10 cm en 2012 et 30 ± 7 cm en 2013.

En ce qui concerne le recouvrement cumulé des autres espèces (figure ②, graphique du bas), la situation est moins tranchée en particulier pour 2012 C1 (année 2012, première campagne), 2012 C2 (année 2012, seconde campagne) et 2013 C1 (année 2013, première campagne). En effet, avec ou sans pâturage, la situation est équivalente pour ces trois modalités. En revanche, pour les modalités suivantes, 2013 C2 (année 2013, seconde campagne), 2014 C1 (année 2014, première campagne) et 2014 C2 (année 2014, seconde campagne), l'effet bénéfique du pâturage est significatif et visible. Parmi les facteurs explicatifs de cette dichotomie de l'efficacité du pâturage sur le recouvrement de la renouée et des autres espèces, on peut mentionner que dans le premier graphique on mesure une variable unique (recouvrement renouée du Japon) ; pour les autres espèces, les composantes des cortèges végétaux sont pluriels. On peut penser aussi que les cycles végétatifs de ces cohortes d'espèces sont variés et la détection de la présence de certaines des espèces peut différer en fonction du moment (C1, C2), voire de l'année où l'observation est réalisée, ce qui constitue autant de facteurs explicatifs de biais plausibles des mesures et observations.

Parmi les autres variables étudiées, la richesse spécifique est majeure. Pour ce faire, nous avons relevé le nombre d'espèces différentes présentes (occurrences) dans les quadrats et nous les avons cumulées. Ainsi, en 2013 C2 (année 2013, seconde campagne) la situation était très tranchée dans la mesure où nous relevions en moyenne 14 ± 6 espèces différentes sur les placettes pâturées alors qu'en l'absence de pâturage nous en relevions 6 ± 2 , soit près de deux fois moins. Cette situation similaire (mais moindre) se renouvelle uniquement en 2014 C1 (année 2014, première campagne), toutes les autres modalités ne nous permettent pas de mettre en évidence des différences significatives et obèrent la possibilité de se prononcer sur l'efficacité (ou pas) du pâturage sur sa capacité à augmenter la biodiversité, tout en observant que, suite au pâturage, la réduction de la taille de la renouée et l'afflux de lumière au niveau du sol, permettent la colonisation par les espèces prairiales (figure ③).

Les impacts du pâturage sur les productions des biomasses sèches (figure 4, graphique du haut) comme sur le nombre de tiges de renouée (figure 4, graphique du bas) ont été évalués. L'effet du pâturage sur la biomasse sèche est significatif et évident. Avec une diminution très marquée en 2014 (biomasse sèche des placettes pâturées divisés par deux cents par rapport au témoin non pâturé ; elles sont divisées par seize en 2012 et pratiquement par six en 2013 pour les mêmes modalités).

Pour ce qui est du nombre moyen de tiges de renouée par m² en fin de cycle (figure 4, graphique du bas), il ne présente pas de différence significative que ce soit en fonction de la gestion (pâturage ou non) ou de l'année (2012, 2013, 2014) même si elles semblaient plus nombreuses en 2013.

Conclusion

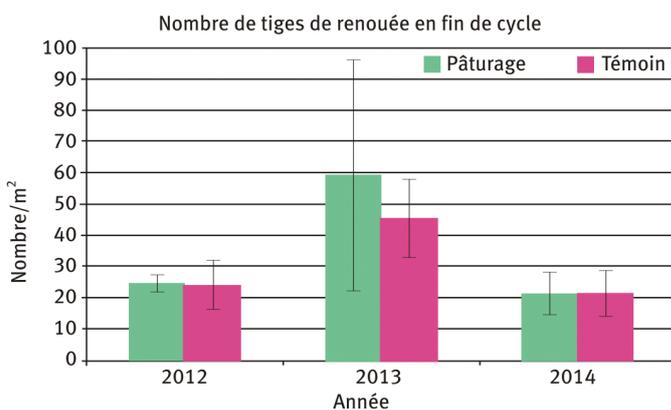
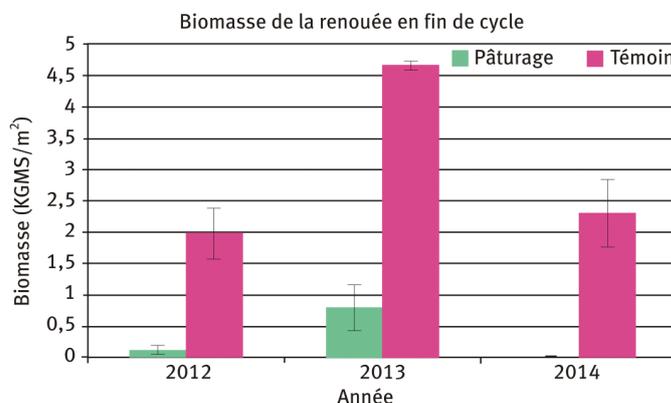
Les expérimentations conduites en 2012, 2013 et 2014 par Agrocampus Ouest Rennes sur le site du « Moulin à Papier » à Saint-Calais-du-Désert (Mayenne), ont permis de montrer que l'éco-pâturage des herbiers de renouée du Japon par un troupeau de Chèvres des fossés est efficace sur plusieurs des variables mesurées et/ou observées. Sans toujours apporter des bénéfices sur la restauration de la biodiversité en général et l'abaissement du nombre de tiges de renouée dans les placettes colonisées, cette gestion originale a montré son efficacité pour réduire la hauteur des tiges et les biomasses produites en fin de cycle. Pour cette espèce exotique envahissante dont l'implantation est forte surtout en partie souterraine, ces trois années d'expérimentations avec des conditions climatiques peu homogènes, auront été trop courtes pour mesurer l'impact de l'éco-pâturage sur le développement des rhizomes en particulier.

Le choix d'une race rustique locale est assez fréquent pour toutes les techniques d'éco-pâturage, par exemple la Chèvre de Lorraine dans l'Est de la France ou de race Massif Central dans les zones de moyenne montagne. La chèvre est intéressante à la fois pour son aspect rustique, sa capacité de consommer des ligneux et plantes peu appétentes. Nos observations qualitatives ont montré qu'elle était friande de la renouée plus que des graminées présentes en grande quantité. Pour gérer les renouées, l'éco-pâturage donne donc des résultats très encourageants. Si ce dispositif de gestion est séduisant, il n'en demeure pas moins contraignant. La mise en place de clôtures efficaces, les soins (vétérinaires, d'abreuvement...) dispensés aux animaux, la construction d'abri et/ou l'hivernage des caprins, et plus généralement la surveillance du troupeau, restent des charges à intégrer dans le plan de gestion dont il faut être conscient et qu'il ne faut pas minimiser.

Enfin, en France près de trois cents collectivités se sont converties à l'éco-pâturage entre 2000 et aujourd'hui, plusieurs collectivités mettent en œuvre cette gestion par éco-pâturage caprin pour lutter contre les renouées dont les herbiers sont en général situés dans des milieux dangereux escarpés et/ou inaccessibles.

Enfin, l'accompagnement de gestionnaires dans leurs pratiques de gestion peut constituer de multiples retours d'expérience validés scientifiquement permettant d'accroître l'efficacité de ces actions et de capitaliser un savoir sur les relations contextes-pratiques-efficacité. ■

- 4 Productions moyennes de la renouée en fin de cycle lors de deux campagnes en 2012, 2013 et 2014 sur les zones pâturées et témoins. Les barres d'erreurs représentent les erreurs-standard. Graphique du haut : production de biomasse sèche. Graphique du bas : production de tiges.



EN SAVOIR PLUS...

COUDREUSE, J., BOZEC, M., CHESNEAU, E., HAURY, J., 2015, *Gestion de la renouée du Japon (Reynoutria japonica) par pâturage caprin. Site du Moulin à papier à St Calais du Désert (Mayenne)*, Agrocampus Ouest, Conseil général de la Mayenne, 33 p.

SARAT, E., MAZUBERT, E., DUTARTRE, A., POULET, N., SOUBEYRAN, Y., 2015, *Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques : connaissances pratiques et expériences de gestion, vol. 2 : Expériences de gestion*, Onema. Coll. Comprendre pour agir, 240 p.

VARRAY, S. (Coord.), HAURY, J., HUDIN, S., et al., 2018, *Manuel de gestion des espèces exotiques envahissantes du bassin Loire-Bretagne*, Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, 152 p.

Les auteurs

Michel BOZEC, Julie COUDREUSE et Jacques HAURY
Agrocampus Ouest, UMR Écologie et santé des écosystèmes,
65 rue de Saint Briec, CS 84215, F-35042 Rennes Cedex, France.

michel.bozec@agrocampus-ouest.fr
julie.coudreuse@agrocampus-ouest.fr
jacques.haury@agrocampus-ouest.fr

Sandrine FORÊT
Conseil départemental de la Mayenne,
BP 142, F-53014 Laval Cedex, France.
sandrine.foret@lamayenne.fr

Écologie chimique : quelles applications pour la gestion des renouées ?

Une des pistes de recherche les plus récentes concernant la gestion des espèces végétales invasives porte sur les capacités des plantes à produire des composés chimiques inhibant la croissance ou le développement d'autres végétaux. Cet article décrit les enjeux, quelques recherches menées en France et les défis posés par cette démarche.



Devant le défi posé par la gestion et le contrôle des plantes invasives, comme les renouées, des méthodes de gestion innovantes doivent être développées. Lorsque les moyens mécaniques ou chimiques traditionnels montrent leurs limites, pourquoi ne pas se tourner vers les capacités de régulation des autres espèces ? En effet, dans les communautés, les abondances des espèces sont notamment régulées par d'autres espèces, avec lesquelles elles sont en interaction. L'étude et la compréhension de ces interactions peuvent nous guider vers l'utilisation de certains processus pour la gestion. Nous savons notamment que les plantes, organismes fixés sur le substrat, produisent une grande diversité de molécules qui sont libérées dans l'environnement. On soupçonne aujourd'hui que certaines de ces molécules ont un rôle majeur dans les relations avec les autres organismes. L'écologie chimique est une discipline qui s'attache à étudier, entre autres, les effets de ces molécules et leur rôle écologique. Dans un objectif de gestion, il faudrait ensuite combiner ces connaissances d'écologie chimique à une démarche d'ingénierie écologique pour intégrer des espèces d'intérêt dans des opérations de restauration des milieux envahis.

Végétaux, interactions chimiques dans les écosystèmes, et invasions

Les interactions chimiques peuvent avoir un rôle important dans la composition des communautés. En effet, un signal chimique émis par une espèce va induire, par exemple, une attraction ou une répulsion chez une

autre espèce, voire une stimulation ou une inhibition de sa croissance ou de son développement. Un exemple connu est la production de composés volatils chez les plantes, qui attirent les pollinisateurs ou qui constituent une défense chimique envers les herbivores. Parmi les différents types d'interactions chimiques, l'allélopathie est décrite comme étant l'action positive ou négative d'une plante sur une autre, *via* des composés libérés dans le milieu. Par exemple, l'effet négatif de la juglone, produite par le noyer noir, inhibe la croissance et le développement des espèces avoisinantes. À l'inverse, les molécules libérées dans le sol peuvent avoir un effet indirect positif de facilitation. Dans ce cas, les molécules agissent sur les bactéries impliquées dans le cycle de l'azote, les mycorhizes, ou les champignons pathogènes. Les molécules allélopathiques peuvent être libérées dans l'environnement selon différentes voies : par volatilisation dans l'air, par lessivage des feuilles ou de la litière par l'eau, ou par exsudation dans le sol par les racines. Nous nous intéressons ici principalement à cette dernière modalité de libération des molécules. Les plantes voisines seront donc en contact avec ces composés dans le sol, directement avec leurs propres racines, ou indirectement par un effet sur les communautés microbiennes. Parmi les types de molécules exsudées, les composés phénoliques sont très étudiés et l'effet allélopathique de certains d'entre eux a été prouvé.

Ainsi, l'allélopathie, dont on ignore encore l'importance relative dans le fonctionnement des communautés et des écosystèmes, est actuellement très étudiée dans le cadre des invasions biologiques. En effet, de nombreuses plantes invasives sont soupçonnées d'avoir un impact

chimique sur leurs voisins. Plusieurs études expérimentales, et quelques études *in situ*, montrent que les graines des espèces tests ou de certaines espèces natives avoisinantes ont une germination ou une croissance inhibée. C'est ce qui a été nommé l'hypothèse de « *Novel weapons* » : puisque l'espèce invasive apporterait ses « armes chimiques » dans un écosystème où les espèces résidentes n'ont pas coévolué avec l'espèce introduite, ces espèces natives seraient plus sensibles à des composés qui sont « nouveaux » pour elles. Ce phénomène d'allélopathie serait donc un avantage supplémentaire pour les espèces invasives.

L'allélopathie, un atout des renouées

Les renouées asiatiques contiennent naturellement des molécules de type polyphénols, qui font d'elles des plantes essentielles dans la médecine chinoise, où elles sont utilisées pour leurs propriétés antioxydantes. Ces molécules ont des propriétés antifongiques et anti-

bactériennes connues. Les composés phénoliques produits dans les tissus souterrains des renouées ont été caractérisés, et des expérimentations ont démontré les effets allélopathiques défavorables de ces plantes sur d'autres espèces avoisinantes (encadré 1). L'étendue des effets reste encore à définir. Cependant, il est de plus en plus admis que les capacités allélopathiques des renouées participent au succès de leur invasion, en combinaison avec leur vigueur exceptionnelle dans la production de biomasse aérienne et dans la régénération végétative. D'autre part, il apparaît que les espèces de renouées produisent différents ensembles de molécules dans leurs parties souterraines, qui ont des effets variés sur les espèces voisines ou les communautés de microorganismes. Ainsi, certains génotypes de renouées de Bohême (*Reynoutria x bohemica*, Chrtek & Chrtková) sont particulièrement influents sur les communautés dénitrifiantes du cycle de l'azote, et ont donc un effet sur le fonctionnement du sol susceptible d'affecter les autres espèces végétales présentes.

1 LES MÉTHODES DE RESTAURATION ÉCOLOGIQUE SONT-ELLES REMISES EN CAUSE PAR L'ALLÉLOPATHIE DES RENOUÉES ?

Au-delà de la mise en évidence des effets allélopathiques des composés phénoliques extraits de leurs tissus, la question du rôle de la phytotoxicité des exsudats de renouées asiatiques vivantes, en conditions naturelles, reste entière. En effet, les études en laboratoire utilisant des extraits de rhizomes ou de tiges ne reproduisent pas forcément les concentrations naturelles des molécules phytotoxiques relarguées dans le sol. Par ailleurs, des expérimentations testant les effets des renouées sur la croissance d'espèces végétales voisines montrent un développement plus important de ces espèces en présence de charbon actif, supposé neutraliser les molécules allélopathiques des renouées. Ainsi, il semblerait que l'allélopathie participe au succès des renouées asiatiques dans leur aire d'introduction. Cette question est d'autant plus légitime qu'en restauration écologique, la réintroduction de végétaux compétitifs pour concurrencer les renouées asiatiques est une méthode de plus en plus utilisée. Les résultats fluctuants de ces opérations ont motivé des tests visant à évaluer la sensibilité de différents végétaux natifs utilisés couramment en génie écologique vis-à-vis des effets allélopathiques des renouées (Dommanget *et al.*, 2014).

Des boutures de Salicacées (*Salix viminalis* L., *Salix atrocinerea* Brot. et *Populus nigra* L.) ont été arrosées par des lessivats ayant traversé des pots de terreau seul ou des pots contenant des jeunes renouées asiatiques (figure 1). Les renouées étant séparées physiquement des espèces cibles, les différences de croissance observées ne pouvaient être expliquées que par la composition chimique différente des lessivats et non par des mécanismes de compétition directe. Un contrôle de la concentration en phénols des lessivats a été effectué tout au long de la manipulation.

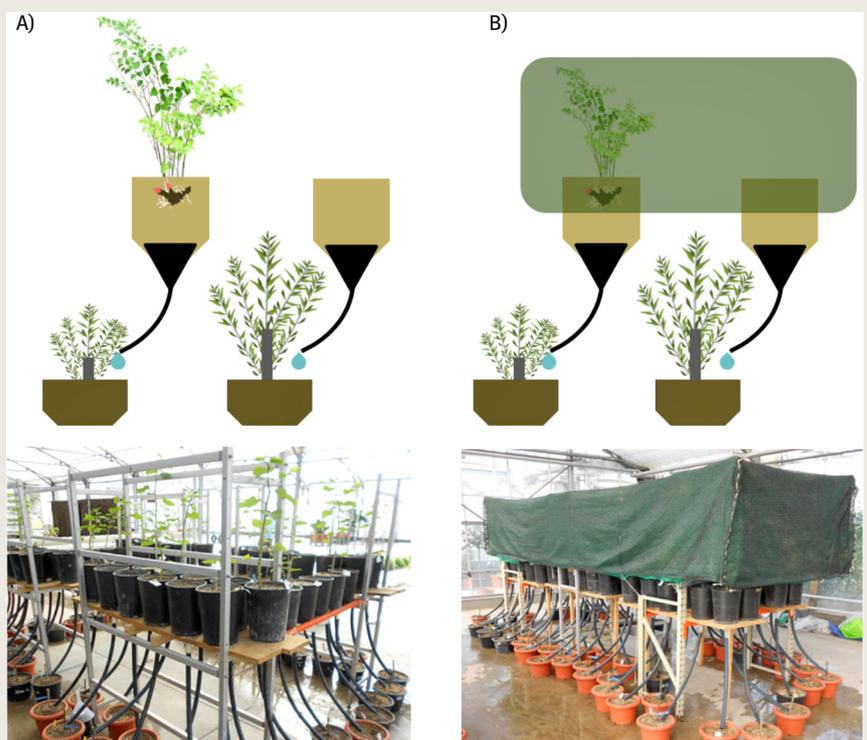
Au bout de quelques mois, toutes les boutures ont repris, la phytotoxicité des renouées n'impactant donc pas le succès de reprise des trois espèces testées. En revanche, deux espèces sur trois ont exprimé des différences en termes de production de biomasse souterraine et/ou aérienne. Seul *S. atrocinerea* n'a pas été impacté par les exsudats des renouées asiatiques.

Cette même expérimentation a été reproduite en condition ombragée pour les renouées afin de tester leur effet allélopathique en situation de compétition pour la lumière. Des effets inhibiteurs moins intenses mais toujours présents ont été détectés.

Les renouées asiatiques produisent ainsi des composés phytotoxiques qui n'ont cependant pas les mêmes effets en fonction des espèces.

Le choix des végétaux pour la restauration d'une zone envahie est une donc question cruciale dont la réponse dépend de l'adaptation des espèces au milieu mais également de leur capacité à se développer en situation de compétition avec les renouées.

1 Dispositif expérimental utilisé, en condition de pleine lumière A) et en condition d'ombrage pour les renouées asiatiques B).



► Cependant, le succès des espèces invasives ne provient qu'en partie de leurs caractéristiques intrinsèques. D'autres facteurs entrent en jeu, comme l'historique de l'invasion, ou les propriétés de l'écosystème envahi et des organismes qui le composent. Il n'existe aucun trait qui ne prédisse à coup sûr le caractère invasif ; ou, dit autrement, les espèces invasives ne sont pas fondamentalement différentes des espèces natives. Le potentiel allélopathique ne déroge pas à la règle : il n'est pas une exclusivité des espèces invasives. Les espèces natives, elles aussi, libèrent des composés biologiquement actifs dans l'environnement. Certains pourraient même avoir des effets négatifs sur des espèces invasives (c'est l'hypothèse qui a été appelée : « *Homeland Security* »), et donc potentiellement être utilisables en gestion.

L'allélopathie pour contrôler les renouées

S'inspirer des interactions chimiques naturelles dans le contrôle des espèces indésirables est une pratique déjà appliquée par exemple en agroécologie. Ainsi, le *push/pull* est une technique qui utilise les propriétés attractives ou répulsives des composés volatils des plantes envers certains auxiliaires ou ravageurs de cultures. De même, l'allélopathie peut être exploitée pour gérer les espèces végétales adventices. Un couvert permanent est alors réalisé dans la zone de culture avec une plante aux propriétés allélopathiques, ou bien une rotation est effectuée. L'avantage de ces méthodes est qu'elles reposent sur des régulations qui s'exercent naturellement entre les espèces, et qu'elles évitent d'utiliser des produits de synthèse polluants ou dangereux à haute dose. L'idée est séduisante, mais concernant la gestion des espèces invasives comme les renouées, tout reste à découvrir. Le champ de recherche est immense et le chemin à parcourir entre la question de recherche et l'application finale est parsemé de défis.

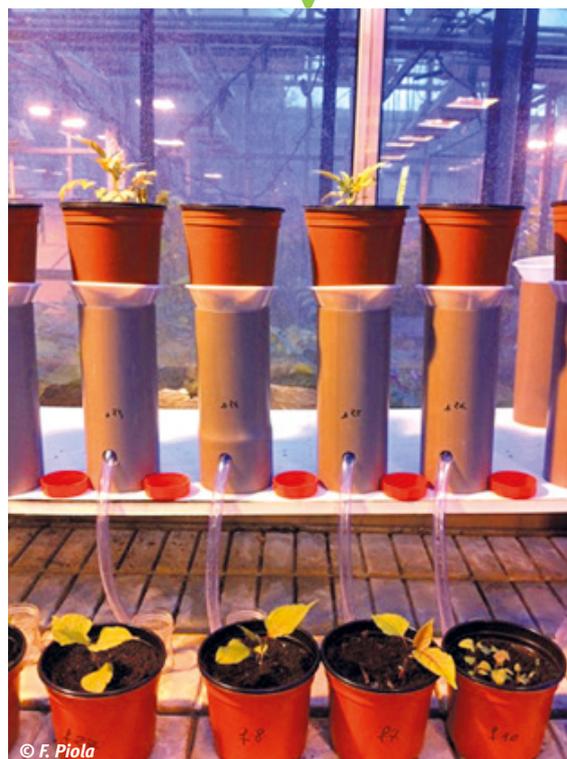
Le premier défi est de trouver des espèces qui sont capables d'inhiber efficacement les renouées en milieu naturel. Les habitats des renouées étant souvent fortement perturbés, ils contiennent souvent peu de diversité végétale. Il faut alors passer par une étape de tests expérimentaux d'espèces candidates soigneusement choisies. Ces tests doivent être mis en œuvre de façon à ce que la compétition plus classique pour les ressources n'interfère pas avec les résultats. Des premiers résultats expérimentaux montrent que le lessivat issu d'un pot contenant du sureau yèble affecte la croissance de plantules de renouées (photo ①).

Un deuxième défi est d'identifier les molécules responsables de l'effet inhibiteur, leur mode d'action, leur rayon d'action et de déterminer dans quelles conditions elles sont libérées par la plante dans l'environnement. Est-ce que les conditions abiotiques (lumière, nutriments, type de sol...) ou les communautés microbiennes du sol induisent la libération des molécules et participent à leur effet ? Cela demande à la fois des études en laboratoire de métabolomique (étude de l'ensemble des métabolites d'une plante d'intérêt), de physiologie, ainsi que des études de terrain pour se remettre à l'échelle de l'écosystème dans des conditions naturelles. Les différentes étapes qui permettent de répondre aux questions posées ici peuvent prendre à elles seules plusieurs années de recherche.

Enfin, un troisième défi est celui de l'utilisation concrète dans les massifs envahis, c'est-à-dire de préciser dans quelles modalités l'allélopathie peut être utilisée en gestion. L'idée n'est pas d'identifier des molécules phytotoxiques efficaces sur les renouées pour créer de nouveaux produits à vaporiser, mais bel et bien de changer de méthodologie et d'effectuer des opérations de restauration d'écosystèmes envahis avec des espèces choisies pour leurs capacités allélopathiques. Là encore, il faut adapter le choix des espèces à implanter aux caractéristiques des écosystèmes à gérer (éviter par exemple les exotiques pour ne pas risquer une autre invasion !), un mode d'emploi universel n'étant pas envisageable. Une mise au point en combinant la revégétalisation et des méthodes mécaniques est nécessaire ; néanmoins, l'objectif ici n'est plus d'éradiquer l'espèce invasive, mais d'augmenter la diversité végétale des sites dominés voire exclusivement colonisés par les renouées.

Malgré ces difficultés, les résultats attendus de ce champ de recherche sont prometteurs : une meilleure compréhension des mécanismes qui interviennent dans les interactions chimiques présage d'une maîtrise de leviers supplémentaires mobilisables en gestion, basés sur des régulations naturelles. Ainsi, à terme, la gestion serait davantage basée sur des méthodes biologiques que « chimiques » (dans le sens d'une utilisation moindre de produits vaporisés) ou mécaniques, et donc potentiellement moins coûteuse, plus respectueuse de l'environnement et avec un résultat plus durable.

① Dispositif expérimental utilisé pour tester l'effet des lessivats de pots contenant du sureau yèble sur des plantules de renouées (Christina *et. al*, 2015), similaire au dispositif utilisé dans l'encadré ①.



© F. Piola

② QU'EN EST-IL DE LA GESTION SUR LE TERRAIN ?

Dans un contexte où le respect de l'environnement et l'invasion biologique s'entremêlent, il n'est pas étonnant qu'un nombre croissant de gestionnaires redouble d'efforts pour s'investir dans le développement de méthodes de gestion alternatives d'espèces exotiques performantes. C'est dans cette optique qu'un ensemble de gestionnaires de la Loire s'est porté volontaire afin de dégager des pistes quant au développement d'une méthode de gestion durable des renouées, avec la mise en place de placettes expérimentales, dans le cadre d'une collaboration avec le Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés (LEHNA) financée par le FEDER plan Loire, le département de la Loire, la région Auvergne-Rhône-Alpes et l'Agence de l'eau Loire Bretagne. L'idée de cette expérimentation a été de recréer un mode de compétition au sein de chaque placette, entre les renouées, sélectionnées sur des sites où leur présence est prépondérante, et une espèce végétale native de la zone envahie. Différentes espèces végétales natives ont été mises en concurrence avec les renouées en fonction de leur disponibilité, de leurs propriétés allélopathiques et physiologiques ainsi que des besoins des gestionnaires. Cette compétition a été couplée à un traitement de coupe mensuelle : elle consiste en une fauche sélective, dont l'objectif est de permettre à la flore locale de se développer en l'absence temporaire de renouées, et ainsi de recréer sur le long terme un écosystème plus ou moins équilibré en limitant la propagation des renouées. Les résultats obtenus au bout de deux années de suivi sont prometteurs. L'étude a révélé une augmentation de la diversité spécifique de la flore locale entre l'année n et $n+1$, avec un nombre d'espèces végétales natives multiplié jusqu'à deux fois en un an. Une augmentation de la proportion de la flore native engendre une augmentation de la diversité fonctionnelle impactant la régulation des renouées sur le long terme.

- ② Photographies illustrant la colonisation des parcelles « test » par différentes espèces végétales au bout de deux ans d'expérimentation (protocole : plantation d'espèces en début d'expérimentation puis fauche des renouées uniquement tous les mois durant la période végétative) en comparaison avec la parcelle témoin (pas de plantation et fauche tous les mois).



Conclusion : de l'éradication à la régulation

Après avoir été pendant un temps l'instrument privilégié de la gestion des espèces invasives, la chimie est devenue synonyme de produits phytosanitaires néfastes pour l'environnement. Aujourd'hui, le défi est d'allier la chimie à l'écologie et de profiter des molécules naturellement libérées par les plantes dans le cadre d'une gestion. Il est certain que la toxicité ne sera pas assez forte pour détruire les populations de renouées, mais une coexistence avec plusieurs espèces peut petit à petit se mettre en place. Cela suppose cependant de changer de mode de pensée vis-à-vis de la gestion des renouées. Souhaite-t-on éradiquer ? Pourquoi cela ? Peut-on envisager de « nouveaux écosystèmes » où les renouées seraient présentes et où leur abondance serait régulée par les autres espèces ? ■

Les auteurs

Soraya ROUIFIED

ISARA, 23 rue Jean Baldassini,
F-69007 Lyon, France.

✉ srouified@isara.fr

Florence PIOLA et Coralie AVOSCAN

LEHNA, Université Lyon 1, UMR 5023,
43 boulevard du 11 novembre 1918,
F-69622 Villeurbanne Cedex, France.

✉ florence.piola@univ-lyon1.fr

✉ coralie.avoscan@univ-lyon1.fr

Fanny DOMMANGET

Univ. Grenoble Alpes, Irstea, LESSEM,
F-38000 Grenoble, France.

✉ fanny.dommanget@irstea.fr

EN SAVOIR PLUS...

- CHEN, BAO-MING, HUI-XUAN LIAO, WEI-BIN CHEN, HUI-JIE WEI, SHAO-LIN PENG, 2017, Role of Allelopathy in Plant Invasion and Control of Invasive Plants, *Allelopathy Journal*, n° 41, p. 155-166.
- MATHIAS, C., ROUIFIED, S., PUIJALON, S., VALLIER, F., MEIFFREN, G., BELLVERT, F., PIOLA, F., 2015, Allelopathic Effect of a Native Species on a Major Plant Invader in Europe, *Science of Nature*, 102: 12, disponible sur : <https://doi.org/10.1007/s00114-015-1263-x>
- CUMMINGS, J.A., PARKER, I.M., GILBERT, G.S., 2012, Allelopathy: A Tool for Weed Management in Forest Restoration, *Plant Ecology*, vol. 213, n° 12, p. 1975-1989, disponible sur : <https://doi.org/10.1007/s11258-012-0154-x>
- DOMMANGET, F., EVETTE, A., SPIEGELBERGER, T., GALLET, C., PACÉ, M., IMBERT, M., NAVAS, M.-L., 2014, Differential allelopathic effects of Japanese knotweed on willow and cottonwood cuttings used in riverbank restoration techniques, *Journal of Environmental Management*, n° 132, p. 71-78.
- LATIF, S., CHIAPUSIO, G., WESTON, L.A., 2017, Allelopathy and the Role of Allelochemicals in Plant Defence, in: *How Plants Communicate with Their Biotic Environment*, édité par G. BECARD, 82:19 54, London, Academic Press Ltd-Elsevier Science Ltd.

Valorisation chimique et économique des renouées asiatiques : quelle stratégie pour une gestion durable ?

Les techniques d'éradication des renouées asiatiques consistent en un déterrage précoce, des coupes successives, un criblage-concassage... soit un ensemble de pratiques qui nécessite le transport et le stockage de quantités importantes de terres et de déchets potentiellement contaminés dans des conditions adaptées mais coûteuses. La solution alternative proposée ici est de valoriser les rhizomes de renouées riches en molécules d'intérêt, pour les secteurs du cosmétique, des compléments alimentaires et de la pharmaceutique.

Envahissante en Europe, utile en Asie

La renouée du Japon a été répertoriée dans la liste des cent espèces exotiques envahissantes (EEE) les plus néfastes au monde publiée par l'ISSG (*Invasive Species Specialists Group*), la CSE (Commission de la sauvegarde des espèces) et l'UICN (Union internationale pour la conservation de la nature) en 2007. Les EEE de cette liste ont été choisies selon deux critères : leur impact désastreux sur la diversité biologique et/ou les activités humaines et leur potentiel d'invasions biologiques.

Les conséquences négatives de la prolifération de la renouée sont diverses et impactent la faune et la flore (perte de biodiversité), la stabilité des berges, le paysage, les activités agricoles et de gestion des territoires (sécurité, santé, loisirs). En plus des difficultés pour les gestionnaires des territoires qui sont confrontés aux problèmes liés à sa prolifération, les renouées asiatiques représentent une source importante de dépenses publiques. Une étude menée par le commissariat général du développement durable sur la période 2009 à 2013 indiquait un coût moyen de trente-huit millions d'euros annuel en France en considérant les dépenses liées au traitement de ces EEE et des dommages qu'elles causent.

Pourtant, la renouée du Japon est une plante dont certaines parties sont comestibles et qui est cultivée en Asie à la fois pour l'alimentation mais aussi pour ses vertus thérapeutiques. Ainsi, en Corée, ses racines peuvent

accompagner le riz alors qu'au Japon ses feuilles sont utilisées pour faire de la confiture. Ces dernières années, les bénéfices de certains constituants de la renouée du Japon et en particulier de ceux de ses rhizomes font l'objet d'un intérêt croissant en Europe, pour des applications en phytothérapie. En effet, de nombreux travaux ont été réalisés par des équipes de recherches essentiellement asiatiques en s'inspirant des usages traditionnels et empiriques des plantes, et montrent les multiples activités biologiques de la renouée du Japon. Ainsi, si ses feuilles et racines sont connues pour leurs activités anti-bactérienne et anti-oxydante, ses racines présentent également des activités anti-infectieuse, anti-virale, anti-tumorale, anti-inflammatoire, anti-tyrosinase dermatologique, anti-allergique neuro-protectrice, inhibitrice de l'hypoxanthine oxydase et sur le métabolisme lipidique.

À l'heure où de plus en plus d'agents anti-infectieux allopathiques courants présentent des effets secondaires indésirables et/ou deviennent inefficaces, il est nécessaire d'envisager de nouvelles stratégies, notamment en s'inspirant de l'approche des médecines traditionnelles chinoise, ayurvédique ou de la naturopathie. Dans ce contexte, la renouée du Japon est une plante d'une grande richesse en métabolites secondaires potentiellement exploitables (encadré 1). Sa valorisation permettrait d'encourager sa coupe et/ou son arrachage et d'ainsi limiter sa prolifération, tout en réduisant les coûts des traitements dont elle est actuellement responsable.

Vers une valorisation sur le territoire ?

L'Union européenne a adopté, dans le cadre de sa stratégie pour la biodiversité 2011-2020, un règlement en octobre 2014 (règlement européen n° 1143/2014) sur les espèces exotiques envahissantes qui interdit aux États membres l'importation, la culture, la reproduction, la vente ou la remise dans le milieu naturel de trente-sept espèces de végétaux et animaux qui menacent la biodiversité. La renouée du Japon n'est pas encore entrée dans la liste des EEE définie par l'Union européenne.

La loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages comporte des dispositions pour appliquer ce règlement européen en France, y compris les territoires d'outre-mer. Des modifications du Code de l'environnement et du Code de santé publique ont également été introduites. Un décret d'application permet notamment aux services des douanes et aux services sanitaires de lutter aux frontières contre l'introduction d'EEE. Le dernier décret du 14 février 2018 en précise la liste. La renouée du Japon ne figure pas, pour l'instant, sur cette liste et n'est donc concernée par aucune réglementation européenne et française, en tant qu'EEE.

Cependant, le ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des relations internationales sur le climat a publié en mars 2017 un document présentant la stratégie nationale relative aux EEE (espèces animales et végétales). Même si aucun paragraphe de ce rapport ne fait spécifiquement allusion à la renouée

du Japon, sa couverture montre des photographies de plusieurs EEE animales et végétales, dont un massif de renouées asiatiques. L'objectif général de la stratégie mise en place est de renforcer et structurer l'action collective concernant la prévention et la sensibilisation, la mise en place de dispositifs de surveillance et de réaction rapide, les moyens de gestion sur le long terme, y compris la restauration des écosystèmes, et l'amélioration des connaissances. Elle s'articule autour de cinq axes et douze objectifs, comprenant chacun des actions précises préconisées (encadré 2).

L'action 8.4. propose d'optimiser l'élimination et la valorisation des déchets végétaux issus des opérations de régulation des populations. Même si les pratiques actuelles de gestion de la renouée du Japon consistent en un déterrage précoce, un bâchage, un criblage/concasage/bâchage, il est possible d'imaginer une alternative de valorisation des déchets de coupe ou d'arrachage de renouée. En effet, les pratiques actuelles posent également des problèmes de gestion de déchets rendant les démarches coûteuses et se résument parfois à une limitation de la propagation plutôt qu'à une éradication de l'espèce sur un terrain. Il s'agirait donc de proposer :

- des stratégies de collecte,
- des méthodes techniques de retraitement (sur place ou après transport) de ces nouveaux déchets,
- des stratégies économiques innovantes pour une gestion moins coûteuse et en accord avec les objectifs de contrôle et de maîtrise des populations.

1 LA RENOUÉE DU JAPON : DES MÉTABOLITES SECONDAIRES D'INTÉRÊT

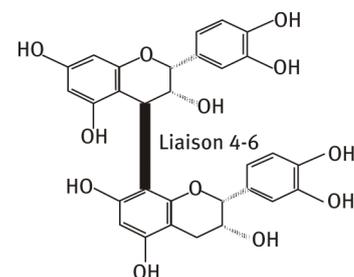
Par Dr. Florence PIOLA

Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés (UMR 5023 Université Lyon 1/CNRS)

Les végétaux possèdent des métabolites dits secondaires (par opposition aux métabolites primaires, indispensables aux différentes fonctions des plantes) qui jouent des rôles fondamentaux dans les relations qu'entretiennent les organismes végétaux avec leur environnement. En effet, ces organismes immobiles survivent aux contraintes biotiques et abiotiques en partie grâce aux métabolites secondaires qui représentent alors des éléments essentiels de la co-évolution plante-environnement. Dès lors, nous nous retrouvons face à une extrême diversification de ces composés secondaires chimiques qui peuvent constituer un avantage certain lors de l'arrivée d'une nouvelle espèce dans une communauté. Une étude approfondie des composés chimiques contenus dans les renouées asiatiques (complexe d'espèces *Reynoutria*) a été menée à l'Université Lyon 1 (collaboration UMR 5023 LEHNA, UMR 5557 LEM, CESN (Centre d'étude des substances naturelles) et EA 4215 (Université de Perpignan)) et a permis de mettre en évidence cinq familles de composés majoritaires : les flavanols (catéchine, épicatechine et proanthocyanidines), les flavonols, les anthraquinones (émodyne, physcion, dianthrone, fallopion), et les stilbenes (picéide, resvératrol). Le pouvoir allélopathique de ces plantes a été démontré, l'allélopathie étant décrite comme l'action positive ou négative d'une plante sur une autre, via des composés chimiques libérés dans le milieu. Il a été également montré que les hybrides interspécifiques *Reynoutria x Bohemica* expriment les familles de composés des espèces parentales mais que les cocktails chimiques de ces hybrides diffèrent entre les génotypes. De surcroît, certains individus hybrides présentent des traits chimiques inédits par rapport aux espèces parentales, ce qui suggère que les processus évolutifs liés à l'hybridation sont susceptibles de faire apparaître des génotypes nouveaux et une importante diversité. Les équipes de l'Université Lyon 1 ont également mis en évidence, chez les différentes espèces du complexe *Reynoutria*, une stratégie végétale d'inhibition biologique de la dénitrification (BDI). Cette stratégie végétale de BDI s'appuie sur l'exsudation racinaire de métabolites secondaires de type procyanidines (figure 1).

Les procyanidines, produites par les différentes espèces de *Reynoutria*, sont des métabolites secondaires tanniques (flavonoïdes) de la famille des proanthocyanidines relativement courants chez les végétaux. D'un point de vue phytochimique, il s'agit de polymères de catéchine ou de son isomère l'épicatechine. La réduction de la dénitrification provoquée par ces métabolites secondaires végétaux détourne le nitrate de la voie bactérienne de la dénitrification, provoquant un enrichissement de ce nutriment dans le sol, profitable alors pour la croissance des plantes. Ce processus s'accompagne également d'une réduction des émissions de N₂O, gaz à effet de serre jusqu'à 95 % liée à la réduction de la dénitrification bactérienne. Cette découverte a permis le dépôt d'un brevet (brevet n° 1552258) basé sur l'utilisation de ces composés végétaux pour réduire la dénitrification dans les sols et limiter ainsi les intrants azotés pour les cultures et les émissions de gaz à effet de serre.

1 Procyanidine produite chez *Reynoutria* spp.



Procyanidine B2 (dimères d'épicatechines)

② LA STRATÉGIE NATIONALE RELATIVE AUX ESPÈCES EXOTIQUES ENVAHISSANTES

La stratégie nationale relative aux espèces exotiques envahissantes s'articule autour de cinq axes et douze objectifs :

Axe I – Prévention de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes

- Objectif 1 – Identifier et hiérarchiser les espèces exotiques envahissantes en vue de planifier les actions.
- Objectif 2 – Surveiller les espèces exotiques envahissantes et leurs voies d'introduction et de propagation.
- Objectif 3 – Renforcer et mettre en œuvre la réglementation.

Axe II – Interventions de gestion des espèces et restauration des écosystèmes

- Objectif 4 – Intervenir rapidement sur les espèces exotiques envahissantes nouvellement détectées sur un territoire.
- Objectif 5 – Maîtriser les espèces exotiques envahissantes largement répandues.
- Objectif 6 – Gérer et restaurer les écosystèmes.

Axe III – Amélioration et mutualisation des connaissances

- Objectif 7 – Renforcer et poursuivre l'acquisition de connaissances.
- Objectif 8 – Développer les méthodes et outils de gestion.

Axe IV – Communication, sensibilisation, mobilisation et formation

- Objectif 9 – Développer des réseaux et des outils pour échanger l'information.
- Objectif 10 – Sensibiliser et collaborer avec le grand public, les acteurs économiques et politiques.
- Objectif 11 – Former les acteurs socio-économiques, les gestionnaires d'espaces et les scolaires aux invasions biologiques.

Axe V – Gouvernance

- Objectif 12 – Animer la stratégie.

► Cette proposition alternative doit cependant s'assurer que la valorisation économique d'EEE ne se fasse pas au détriment de bénéfices écologiques grâce à la mise en place d'un cadre réglementaire spécifique et simple, pour les entreprises et les gestionnaires. En effet, des questions peuvent se poser sur l'accroissement des risques de dispersion (intentionnelle ou non) de l'espèce exploitée ou encore le maintien volontaire des populations de l'EEE considérée dans les sites colonisés lorsqu'elle devient un enjeu commercial. La possibilité de valoriser les EEE comme une ressource commercialement exploitable a d'ailleurs été évoquée dans l'article 19 du règlement européen n° 1143/2014 : « *L'utilisation commerciale d'espèces exotiques envahissantes déjà implantées peut être temporairement autorisée dans le cadre des mesures de gestion visant à leur éradication, au contrôle de leur population ou à leur confinement, pour autant que cela soit strictement justifié et que tous les contrôles appropriés soient mis en place pour éviter toute poursuite de leur propagation* ».

Valorisation chimique de la renouée du Japon : vers de nouvelles opportunités

À ce jour, les documents préalables exigés par le règlement européen 1143/2014 avant de mettre en œuvre des projets d'exploitation commerciale d'EEE ne concernent pas la renouée du Japon. Cependant, le cadre de réflexion proposé par le groupe de travail national « Invasions biologiques en milieux aquatiques » (GT IBMA) et l'UICN semble nécessaire pour identifier de manière pertinente les enjeux et les risques des projets d'exploitation commerciale de toute EEE, avant leur mise en œuvre, afin de s'assurer de leur innocuité pour l'environnement. Sans valeur réglementaire, ce cadre permet à la fois aux porteurs de projets de minimiser les risques d'échecs, et aux évaluateurs/financeurs de projets de prendre en compte des objectifs écologiques précis s'intégrant dans une stratégie globale de gestion et régulation des EEE.

La voie de valorisation chimique des rhizomes de la renouée du Japon est donc une solution alternative aux modes de gestion actuels, mais présente plusieurs points sur lesquels une importante vigilance est requise, et ceci en lien avec le cadre de réflexion proposé par le GT IBMA et l'UICN. La proposition développée en collaboration entre le Laboratoire de chimie moléculaire et environnement (LCME) de l'Université Savoie Mont Blanc et l'entreprise Rhizomex (encadré ③) a pris en compte ces critères et ces recommandations dans l'objectif de proposer une solution innovante et efficace de lutte contre la prolifération de la renouée du Japon via l'arrachage des rhizomes (terre garantie « zéro repousse » après arrachage), leur neutralisation par broyage (photo ①) et leur valorisation chimique et agronomique.

Ce projet a nécessité une connaissance scientifique de la plante, des enquêtes de terrain et des études de marchés qui garantissent la rentabilité économique de la mise en place d'une filière locale de collecte et valorisation chimique, apportant notamment des réponses en termes de :

- gestion des déchets de renouées asiatiques (alternative d'élimination des rhizomes extraits de chantiers) pour des partenaires privés et des gestionnaires publics ;
- valorisation chimique répondant à un besoin des laboratoires et consommateurs de molécules naturelles de qualité, vis-à-vis des marchés existants, essentiellement chinois actuellement.

Les impacts environnementaux, économiques et sociaux ont été intégrés sur l'intégralité de la filière de valorisation, de l'étape d'arrachage des rhizomes jusqu'à la vente des produits pour les marchés de la cosmétique et des compléments alimentaires. Des actions de sensibilisation et de formation (étudiants, presse, associations, grand public, etc.) sont également intégrées dans le développement de l'activité. Ce projet développé en Région Auvergne-Rhône-Alpes regroupe de nombreux acteurs privés et publics (laboratoires de recherche uni-

versitaires, start-up, gestionnaires de territoires publics, partenaires privés du BTP, laboratoires de compléments alimentaires, sociétés et organismes d'accompagnement de projets et de création d'entreprises, etc.). Il garantit le contrôle des risques environnementaux et écologiques tout en développant une approche socio-économique bénéfique. La méthodologie a été développée dans le cadre d'un programme scientifique dont l'objectif est la mise en place d'une filière de valorisation chimique respectueuse de l'environnement s'appuyant sur les douze principes de la chimie verte, limitant la production de déchets supplémentaires et dans une démarche d'économie circulaire. Plusieurs molécules d'intérêt, dont le resvératrol (polyphénol aux propriétés antioxydantes) sont donc extraites, transformées et purifiées au laboratoire (photo 2). Les différents paramètres liés à l'arrachage des rhizomes (saison d'arrachage, âge des plants de renouées, localisation, etc.) ainsi que les modes de préparation des rhizomes (séchage, stockage, broyage, etc.) sont spécifiquement étudiés et impactent directement les teneurs en molécules à extraire dans les rhizomes. Le procédé de valorisation chimique est actuellement en phase de maturation, financièrement soutenu par l'Université Savoie Mont Blanc et la SATT Linksiium Grenoble Alpes (société d'accélération du transfert de technologies), pour monter en échelle et produire des ingrédients correspondant aux attentes du marché.



© LCME, Université Savoie Mont Blanc

3 LA START-UP RHIZOMEX VEUT FAIRE DU BIEN AVEC DU MAUVAIS

Par Luc Jager, Président de Rhizomex

Peut-on valoriser une espèce exotique envahissante ? La question mérite d'être soulevée au regard des catastrophes environnementales liées à l'exploitation d'EEE animales notamment. L'exemple des élevages d'écrevisses de Louisiane est notoire, mais il est aussi typique d'une économie linéaire où la ressource est exploitée dans le but de la seule production de richesse. Or en ce début de XXI^e siècle, la conscience que les ressources n'étaient pas infinies et qu'il ne suffisait plus d'extraire une matière et de la transformer sans se soucier des déchets et impacts générés a fait émerger de nouvelles préoccupations. Les consommateurs et les autorités appellent à transformer le modèle économique linéaire en un modèle plus vertueux comme l'illustre la feuille de route de l'économie circulaire, où l'évaluation de la création de valeur n'est pas uniquement financière, mais se mesure au service rendu.

Pour appliquer ce concept à la renouée du Japon, il faut renverser la réflexion et considérer les atouts de cette plante. D'ailleurs lorsqu'elle incline ses grandes tiges vers nous, ne serait-ce pas une invitation à se servir d'elle ?

Depuis longtemps la renouée est reconnue pour ses vertus thérapeutiques et elle est même inscrite dans la pharmacopée de la médecine traditionnelle chinoise. Elle sert aussi de source principale pour l'extraction du resvératrol, un anti-oxydant utilisé pour ses effets sur le ralentissement du vieillissement cellulaire et dont les autres propriétés donnent lieu à des centaines d'études cliniques publiées par an. Or, c'est dans les rhizomes qui sont la cause principale de la prolifération de la plante que la concentration en resvératrol est la plus élevée.

Nous voyons donc qu'en ciblant les rhizomes, on peut ouvrir une voie vers une boucle d'économie circulaire en venant décontaminer les matériaux excavés. Chaque partie verra un bénéfice, à commencer par les gestionnaires d'espace et exploitants qui trouveront un exutoire pour les déchets générés lors des opérations de traitement, permettant ainsi de réduire les coûts des chantiers tout en se rapprochant des textes de loi en vigueur. D'autre part, les consommateurs et laboratoires nutraceutiques et cosmétiques trouveront une réponse à leur demande pour plus de naturalité dans leurs produits et plus de responsabilité sociétale dans la chaîne de valeurs. Des parties prenantes ayant chacune un intérêt à « éco-opérer » au profit d'un projet qui contribue à la préservation de la biodiversité ; telle est la conception de l'économie circulaire de Rhizomex.

La renouée a-t-elle livré tous ses secrets ? Nous continuons nos recherches y compris sur la partie aérienne pour identifier d'autres applications qu'elles soient thérapeutiques ou agronomiques, car plus elles seront nombreuses, plus l'impact sur les coûts des chantiers sera bénéfique.

La start-up Rhizomex est entrée fin 2018 en phase d'incubation (SATT Linksiium Grenoble-Alpes) et est en cours de contractualisation avec des partenaires du BTP pour mettre en place la filière de collecte des rhizomes à court terme.





© LCME, Université Savoie Mont Blanc

🔍 Le resvératrol, une molécule aux propriétés antioxydantes, est extrait des rhizomes de renouée, transformé et purifié au laboratoire.

Il est à noter qu'au niveau réglementaire, rien n'est imposé sur l'exploitation commerciale de la renouée du Japon actuellement, en France comme en Europe, mais, par anticipation, des précautions liées au fait que la renouée du Japon est une EEE sont prises :

- lien avec des bureaux d'études spécialisés, les gestionnaires des territoires et scientifiques pour garantir tous les aspects écologiques ;
- neutralisation par broyage des rhizomes pour leur transport et leur stockage, éliminant tout risque de dissémination ;
- mise en place d'un suivi des rhizomes collectés par chantiers afin d'assurer la traçabilité tout au long du procédé de valorisation ;
- valorisation des résidus après extraction (agronomique ou bois-énergie) évitant la production de tout déchet supplémentaire.

La vente du resvératrol, molécule aux propriétés antioxydantes extraite des rhizomes, est déjà autorisée, dans certains pays de l'Union européenne (Croatie, Italie, France, etc.), en tant qu'ingrédient entrant dans la composition de compléments alimentaires, mais ce dernier provient essentiellement de sources synthétiques ou microbiennes. D'autres métabolites secondaires d'intérêt seront identifiés, extraits et leur propriétés thérapeutiques seront étudiées pour une utilisation potentielle dans l'industrie pharmaceutique (encadré 1).

Quels retours d'expériences de valorisation d'espèces exotiques envahissantes ?

La valorisation socio-économique des EEE peut représenter une solution permettant de concilier les enjeux de conservation de la biodiversité et le développement économique au niveau local. Le GT IBMA et le comité français de l'UICN ont réalisé une étude sur les enjeux et les risques de la valorisation socio-économique des EEE établies dans les milieux naturels basée sur une revue de la bibliographie existante et sur une enquête internationale menée en collaboration avec l'Office international de l'eau. Ce travail, publié en mars 2018, a mobilisé plus de soixante contributeurs et apporte un retour d'expériences sur de nombreuses initiatives, privées ou publiques, dans les domaines de l'alimentation, l'extraction de matières premières, les biocarburants, etc.

Deux grandes catégories de valorisations socio-économiques sont répertoriées :

- les mesures incitatives des pouvoirs publics pour encourager certaines activités ne générant aucun revenu (prélèvement par le droit des espèces nuisibles, primes au piégeage et à la chasse, incitation à la consommation d'EEE, etc.) ;
- l'exploitation commerciale d'EEE où des acteurs privés collectent, transforment et commercialisent la ressource, générant la création d'un marché et des bénéfices financiers.

Les porteurs des projets recensés par le GT IBMA et l'UICN mettent en avant les potentielles retombées positives de leur nouvelle activité aux niveaux social, économique et pour le territoire. Au niveau international, des retours d'expériences de valorisation d'espèces (animales en particulier) décrivent la génération de nouvelles activités économiques et une dynamisation de bassins d'emplois (exemples de l'exploitation commerciale de la palourde japonaise en Italie du Nord, de l'écrevisse de Louisiane en Espagne, du crabe chinois en Allemagne et du crabe royal du Kamtchatka en Norvège).

Le rapport explique que les intérêts écologiques de ces projets sont proposés comme deuxième argument d'une démarche « gagnant-gagnant », mais dénonce le fait que les avantages écologiques ne soient que rarement mesurés et prouvés. De la même façon, des intérêts écologiques moins directs, comme la sensibilisation à la problématique des EEE et l'amélioration de la détection précoce, font partie des objectifs de nombreux programmes d'incitation au prélèvement, mais ne concernent que très rarement les projets d'exploitation commerciale.

Le rapport conclut que les différentes études de cas d'exploitation commerciale d'EEE ne constituent pas une solution démontrée et globale face aux difficultés de régulation des invasions biologiques. En effet, la plupart des programmes mis en œuvre ne prenant pas en compte les considérations écologiques associées s'avèrent contre-productifs et présentent de nombreux risques. Les retours d'expériences ont mis en évidence des impacts négatifs nouveaux, associés à l'exploitation commerciale d'EEE : surcompensation écologique (augmentation de la mortalité compensée par des taux de survie et de reproduction plus élevés), génération de perturbations nouvelles dans l'écosystème exploité facilitant l'implantation d'autres EEE), dépendance économique (valorisation qui favorise le maintien des population d'EEE à des seuils d'exploitation durable, introduction volontaire, élevage ou culture de l'EEE, etc.), transmission de pathogènes (liée à l'introduction volontaire d'EEE dans des éco-systèmes, etc.), impacts sur des espèces indigènes non ciblées (prélevés en même temps que les EEE ciblées), intégration des EEE dans la culture locale leur donnant une image faussement positive, exploitation illégale d'EEE, etc.

Ainsi, une part importante de ces programmes s'est soldée par des échecs, notamment parce qu'ils n'étaient pas ou peu accompagnés scientifiquement, et que les données et connaissances préalables sur les EEE ciblées par les projets (dynamique des populations, processus densité-dépendants, reproduction, etc.) des risques écologiques existants n'étaient pas suffisamment connus. De plus, peu de méthodes d'évaluation scientifique sont proposées et mises en place. Enfin, trop peu de projets sont intégrés dans une stratégie globale de gestion des EEE.

Quelques points positifs ont cependant été soulignés pour les projets les plus récents :

- la mise en place de collaborations multi-partenariales (privé/public),
- le développement d'actions de sensibilisation sur la thématique des EEE.

C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet « RENOUER » développé par l'Université Savoie Mont Blanc, en collaboration avec la start-up Rhizomex. ■

Les auteurs

Grégory CHATEL, Romain DUWALD, Christine PIOT et Micheline DRAVE

Université Savoie Mont Blanc, LCME,
Domaine universitaire du Bourget-du-Lac,
F-73376 Le Bourget-du-Lac Cedex,
France.

✉ gregory.chatel@univ-smb.fr

✉ romain.duwald@univ-smb.fr

✉ christine.piot@univ-smb.fr

✉ micheline.drave@univ-smb.fr

EN SAVOIR PLUS...

- 📄 **MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER, 2017,** *Stratégie nationale relative aux espèces exotiques envahissantes*, France, mars 2017, 44 p. disponible sur : https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/17039_Strategie-nationale-especes-exotiques-invahissantes.pdf
- 📄 **UICN FRANCE, 2018,** *La valorisation socio-économique des espèces exotiques envahissantes établies en milieux naturels : un moyen de régulation adapté ? Première analyse et identification de points de vigilance*, France, mars 2018, 84 p., disponible sur : http://www.gt-ibma.eu/wp-content/uploads/2018/03/valorisation_socio_eco_eee_uicn_afb.pdf
- 📄 **DUTARTRE, A., POULET, N., MAZAUBERT, E., 2012,** Les invasions biologiques en milieux aquatiques : stratégies d'action et perspectives, *Sciences, Eaux & Territoires*, n° 6, février 2012, 119 p., disponible sur : <http://www.set-revue.fr/les-invasions-biologiques-en-milieux-aquatiques>
- 📄 **CHACHAY, V.S., KIRKPATRICK, C.M.J., HICKMAN, I.J., FERGUSON, M., PRINS, J.B., MARTIN, J.H., 2011,** Resveratrol - pills to replace a healthy diet?, *British Journal of Clinical Pharmacology*, n° 72, p. 27-38, disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2011.03966.x>
- 📄 **PENG, W., QIN, R., LI, X., ZHOU, H., 2013,** Botany, phytochemistry, pharmacology, and potential application *Polygonum cuspidatum* Sieb. et Zucc.: A review, *Journal of Ethnopharmacology*, n° 148, p. 729-745, disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.05.007>

Quels apports de la modélisation pour l'aide à la gestion de la renouée du Japon ?

Les modèles permettront-ils prochainement d'aider les gestionnaires à optimiser leurs stratégies d'intervention sur le terrain pour freiner l'invasion par les renouées asiatiques ?

C'est le pari que font les chercheurs d'Irstea en proposant un nouvel outil de modélisation qui permettra à terme de décrire la dynamique de croissance d'un massif de renouées soumis à différentes fréquences de fauche.

L

es modèles sont une représentation simplifiée d'un phénomène. Lorsque ces représentations sont décrites en langage mathématique ou informatique, il est possible d'utiliser des développements théoriques (existants ou à créer) ou des simulations pour déduire de nouvelles propriétés du système modélisé.

Partant d'une question d'écologie, la modélisation consiste à décrire la dynamique des grandeurs ou variables d'intérêt (par exemple, la croissance d'un arbre et des espèces voisines) ainsi qu'à formaliser les relations qui lient leurs évolutions (par exemple, l'évolution de leurs interactions de compétition, en fonction du temps et de paramètres climatiques). La question biologique originelle est alors traduite dans le formalisme utilisé, et l'étude du modèle permet de déduire ou simuler les évolutions dans le temps des valeurs de ces variables d'intérêt, qu'il faut finalement interpréter dans le cadre du phénomène modélisé.

Dans le cas des espèces exotiques envahissantes et de leur gestion, les modèles mathématiques permettent de mieux comprendre les déterminants essentiels de leur croissance et de leur propagation et donc d'aider à cibler les actions de gestion. Par exemple, on peut se demander s'il faut retirer en priorité les individus au cœur de la zone envahie, ou ceux à la périphérie. Une autre question peut être la répartition temporelle de l'effort : vaut-il mieux agir significativement en début de projet de gestion et ensuite contrôler l'invasion avec un effort plus faible, ou augmenter l'effort au cours du temps ?

Répondre à de telles questions nécessite des allers-retours entre terrain et théorie, les modèles s'alimentant des données réelles pour proposer des hypothèses qui doivent ensuite être testées *in situ*.

Trois exemples de modèles pour la renouée

Dans le cas de la renouée du Japon, plusieurs modèles décrivant la dynamique d'une tache ont été développés par différents laboratoires de recherche. Ils sont utilisés pour décrire la croissance clonale de la plante. Leur objectif est de reproduire un phénomène observé (la croissance d'une tache), et éventuellement d'étudier la sensibilité du modèle à certains paramètres, c'est-à-dire la manière dont l'incertitude sur la valeur des paramètres se traduit dans les réponses apportées par le modèle. Ainsi, Smith *et al.* (2007) modélisent le développement du réseau de rhizomes pour une tache. Il s'agit d'un modèle stochastique, c'est-à-dire intégrant une variabilité liée au hasard sous la forme d'événements aléatoires. Deux simulations ayant les mêmes conditions initiales peuvent ainsi avoir des résultats différents, représentant la diversité des observations. Ce modèle décrit notamment la direction de branchement du rhizome fils par rapport à celle du rhizome père (donnée par l'angle entre un segment de rhizome père et son fils). Ce modèle ne propose pas de stratégie de gestion et modélise le comportement d'une seule tache. Les auteurs observent que l'aire de la zone colonisée par les rhizomes croît proportionnellement au carré du temps écoulé. Quant à Dauer et Jongejans (2013), ils utilisent un modèle détermi-



① La fauche répétée des renouées dès mai permet de limiter leur expansion.

niste, c'est à dire que deux simulations ayant les mêmes conditions initiales mènent à des résultats identiques. Leur modèle vise à prédire la survie et la croissance des taches de renouées définies comme des populations de tiges décrites par leur biomasse et leur taille. Ils ont analysé ce modèle pour identifier les gammes de valeurs des paramètres qui ont le plus d'effet sur la variation du taux de croissance des taches et concluent que les taches les plus dynamiques sont celles dont les tiges aériennes ont une valeur proche de la moyenne (entre 30 et 80 cm).

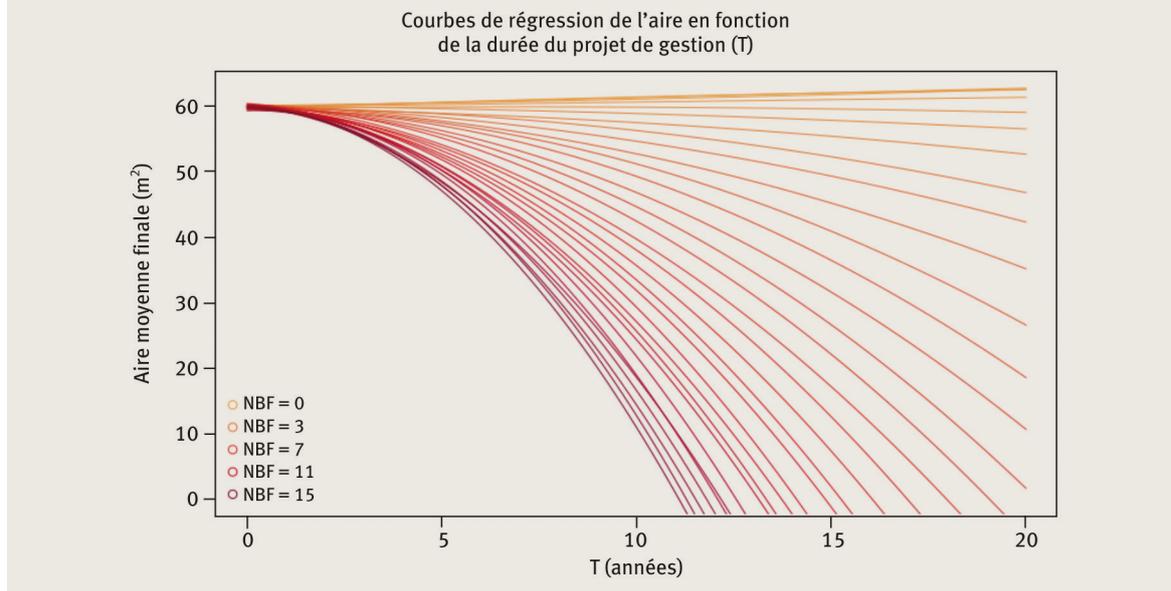
Rares sont les modèles qui s'intéressent à la gestion de la renouée du Japon. Néanmoins, Gourley *et al.* (2016) développent un modèle de lutte contre la renouée du Japon basé sur un insecte qui affaiblit la plante en se nourrissant de sa sève. Il s'agit d'un modèle déterministe qui décrit l'évolution du nombre d'insectes (larve et adulte), ainsi que celle de la biomasse totale des rhizomes et des tiges de la tache. L'objectif des auteurs est de savoir s'il est possible de contrôler l'invasion grâce à cet insecte, notamment en fonction de l'efficacité de sa consommation des parties végétatives des renouées. Ils montrent l'existence d'une valeur de cette vitesse de consommation en-dessous de laquelle la croissance de la tache de renouée est non bornée, et au-dessus de laquelle la tache est contrôlée.

Le modèle proposé pour décrire la dynamique de croissance d'une tache de renouée, avec fauche

Un modèle de dynamique de croissance des renouées asiatiques est actuellement en cours de développement à Irstea, en partenariat avec EDF. Baptisé MIMAK pour *Measure valued Individual based stochastic Model for*

Asian Knotweed, il est basé sur une approche stochastique et cherche à décrire le développement clonal d'une tache de renouée dès l'arrivée d'une propagule sur un site. Ce choix de modélisation va ainsi permettre d'évaluer la stratégie de gestion en fonction du niveau de prolifération. Le modèle est dit individu-centré : il décrit le comportement et l'évolution de chaque individu dans la population, l'individu ici étant une couronne, c'est-à-dire une portion de rhizome produisant une ou des tiges aériennes. Chaque couronne est caractérisée par deux informations : sa position dans le plan, et la biomasse du rhizome souterrain qui la relie à sa ou ses couronnes filles. Le modèle permet d'inclure des stratégies de gestion. C'est la fauche, une des techniques les plus couramment employées à l'heure actuelle, qui a été privilégiée (Breton, soumis). Les couronnes sont soumises à trois types d'événements : naissance (production de nouvelles couronnes), fauche (réduction de biomasse) et mort (dépendant de la biomasse). Le modèle permet de prédire les effets de la fauche sur la taille de la population de couronnes et sur la surface occupée par la tache de renouée. En particulier, trois stratégies de fauche sont testées dans le modèle : la fauche totale de la tache, la fauche partielle de la tache (i.e. seule une proportion de tiges aléatoirement choisies est fauchée) ou la fauche d'une zone fixe de la tache. La gestion par fauche partielle permet de tenir compte de l'efficacité de différents outils de fauche. En effet, une fauche à la main aurait une proportion proche de un, car toutes les tiges peuvent être coupées à la base, alors que la proportion associée à l'utilisation d'une machine, qui pourrait coucher des tiges au lieu de les couper, serait plus faible. La dernière gestion modélise le fait qu'une tache peut s'étendre sur différentes parcelles, et que le gestionnaire ne peut agir

- ❶ Évolution de l'aire moyenne finale d'une tache de renouée d'une taille initiale de 1 500 couronnes, en fonction de la durée du projet de gestion T (en années) et pour différentes fréquences de fauches NBF (nombre moyen de fauches par an).



► que sur sa propre parcelle. C'est par exemple le cas sur les bords de route, où une même tache de renouée peut être présente à la fois au bord de la chaussée et dans un champ contigu.

Perspectives

Le modèle MIMAK d'évolution d'une tache de renouée comporte dix paramètres (comme la distance de compétition intraspécifique, le taux de naissance et les biomasses maximales de rhizome souterrain) dont des estimations des valeurs ne sont pas toujours disponibles dans la littérature. Le travail de calibration consiste à déterminer quelles valeurs des paramètres du modèle liés à la dynamique de croissance de la renouée permettent de reproduire les observations, et avec quelle précision. La méthode consiste à comparer les sorties du modèle (c'est-à-dire la tache à la fin de la simulation, et précisément la position de chaque couronne), avec des données de terrain (aires et tailles observées en fonction des fauches réalisées). Nous sommes actuellement en phase de calibration du modèle, avec un jeu de données récolté dans les Alpes (Martin *et al.*, 2019). Une fois fixées les valeurs des paramètres de la dynamique de la plante, nous pourrions revenir à notre objectif initial : étudier l'influence des paramètres de gestion sur l'aire et la taille moyennes en fin de projet de gestion. À titre d'illustration des perspectives d'une telle étude, la figure ❶ présente des courbes qui pourraient être obtenues en analysant le modèle. Elles concernent l'influence de la durée de gestion sur l'aire de la tache (et ce pour différents nombres moyens de fauches par an), la taille de la population initiale étant quant à elle fixée.

Une telle étude permettrait de détecter la présence d'un seuil sur le nombre minimal de fauches à exécuter pour obtenir une diminution de l'aire moyenne finale. De tels résultats renseigneraient également sur la durée

minimale nécessaire pour obtenir une éradication (sur l'exemple de la figure ❶, il faudrait attendre au moins onze ans en fauchant au moins quinze fois par an). Enfin, s'intéressant à une durée de gestion fixée, ces courbes indiqueraient le gain (en terme de mètres carrés sur l'aire finale), à faucher une fois de plus par an.

Pour passer à l'échelle de la gestion de plusieurs taches, il faudra intégrer dans le modèle le phénomène de dispersion des rhizomes (en particulier, celle due à la fauche) car le caractère envahissant de la renouée du Japon repose principalement sur sa capacité de régénération (Sásik et Elias, 2006). ■

Les auteurs

François LAVALLÉE, Charline SMADI, Isabelle ALVAREZ et Sophie MARTIN

Université Clermont Auvergne, Irstea, UR LISC, Centre de Clermont-Ferrand, 9 avenue Blaise Pascal, CS 20085, F-63178 Aubière, France.

✉ francois.lavallee@irstea.fr

✉ charline.smadi@irstea.fr

✉ isabelle.alvarez@irstea.fr

✉ sophie.martin@irstea.fr

François-Marie MARTIN, Bjoern REINEKING et Fanny DOMMANGET

Univ. Grenoble Alpes, Irstea, LESSEM, F-38000 Grenoble, France.

✉ francois.martin@irstea.fr

✉ bjoern.reineking@irstea.fr

✉ fanny.dommanget@irstea.fr



EN SAVOIR PLUS...

- BRETON, V., soumis, Effects of management on spatial distribution of *Fallopia spp.* along transport infrastructures, *Weed Research*.
- DAUER, J.T., JONGEJANS, E., 2013, Elucidating the population dynamics of Japanese knotweed using integral projection models, *PLoS one*, 8(9):e75181, disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3779190/>
- GOURLEY, S. A., LI, J., ZOU, X., 2016, A mathematical model for biocontrol of the invasive weed *Fallopia japonica*, *Bulletin of mathematical biology*, 78 (8), p. 1678-1702, disponible sur : <http://epubs.surrey.ac.uk/811237/>
- MARTIN, F.M., DOMMANGET, F., JANSSEN, P., SPIEGELBERGER, T., VIGUIER, C., EVETTE, A., 2019, Could knotweeds invade mountains in their introduced range? An analysis of patches dynamics along an elevational gradient, *Alpine Botany*, vol. 129, n° 1, p. 33-42.
- SÁSIK, R., ELIAS, P. Jnr, 2006, Rhizome regeneration of *Fallopia japonica* (Japanese knotweed)(Houtt.) Ronse Decr. I. Regeneration rate and size of regenerated plants, *Folia Oecologica*, 33 (1), p. 57-63.
- SMITH, J., WARD, J.P., CHILD, L.E., OWEN, M., 2007, A simulation model of rhizome networks for *Fallopia japonica* (Japanese knotweed) in the United Kingdom, *Ecological modelling*, 200(3), p. 421-432, disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.08.004>

Démarche exploratoire sur la fertilité des populations et des graines de renouées asiatiques des Côtes d'Armor

Des germinations *in situ* de renouées asiatiques invasives ont été récemment observées par différents botanistes, soulevant le problème d'une possible dissémination des espèces par les graines. C'est ce que confirme des essais réalisés en conditions expérimentales sur les cinq espèces de renouées présentes dans les Côtes d'Armor. Pour les auteurs, il convient donc de prendre en compte la reproduction sexuée dans les stratégies de contrôle et de lutte.

Cinq espèces de renouées invasives dans les Côtes d'Armor

Des populations de cinq espèces de renouées invasives colonisent les Côtes d'Armor. L'une est une liane, la renouée d'Aubert – *Fallopia Aubertii* (L.Henry) Holub, que l'on retrouve essentiellement sur le littoral (2 populations avec beaucoup de graines), une autre est une espèce mésophile rudérale, la renouée à plusieurs épis *Polygonum polystachyum* Meissn. (74 populations), et les trois autres correspondent au complexe renouée du Japon (ou son type morphologique) (*Reynoutria japonica* Hott – 487 observations), la renouée de Sakhaline (*Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt.) Nakai – 14 observations) et à leur(s) hybride(s) la renouée de Bohême (*Reynoutria x bohémica* Chrtek et Chrtkova – 8 observations avec certitude). Ce sont de loin les trois derniers taxons qui sont les plus problématiques pour les gestionnaires costarmoricains.

La question de leur fertilité est apparue depuis quelques années, des germinations *in situ* ayant été observées par différents botanistes, et des colonisations sans déplacement de terre étant signalées par des gestionnaires de sites naturels. Il s'agit donc d'étudier expérimentalement la fertilité de ces populations.

Mais quelle est leur fertilité ?

Collecte des graines

Des graines ont pu être collectées sur 17 massifs de renouées du département à l'automne 2008, y compris ceux de la renouée d'Aubert. Compte tenu de la très fréquente pollinisation due aux abeilles, seule l'origine parentale maternelle est connue. Par commodité, on

parlera de « renouée du Japon » pour des pieds identifiés comme tels (en fait de « type *Japonica* ») et de « graines de renouée du Japon » pour des graines qui y sont collectées.

Expérimentations

Décorticage et expérimentations de germination

Pour favoriser la germination et éviter les inhibitions liées aux restes du fruit, un décorticage des graines (sortie des différentes enveloppes florales) a été réalisé. Puis les graines ont été disposées dans des boîtes de Pétri sur du papier filtre maintenu humide. En chambres climatiques, deux conditions de températures et de photopériodes ont été retenues : d'une part, maintien à l'obscurité au froid (7°C), et, d'autre part, soumission à des photopériodes et alternances de températures respectivement de 16 h de jour à 20°C et 8 h de nuit à 10°C.

Suivi des plantules issues des germinations

À partir des plantules obtenues repiquées dans du terreau maintenu humide, un suivi a été réalisé sur environ trois mois, d'abord en chambre climatique puis en serre. Il s'agissait de vérifier l'héritabilité des principaux caractères morphologiques des feuilles par rapport aux parents maternels. Puis les échantillons ont été détruits après dessiccation.

Résultats

Germination

Des graines présentant des taux expérimentaux de germination pouvant être très conséquents

Les taux maximums de fertilité sont très variables, toutes conditions expérimentales confondues. La renouée

d'Aubert est très peu fertile. Les quatre autres espèces peuvent donner des taux de germination supérieurs à 60%, atteignant plus de 80% pour les graines portées par les pieds de *R. japonica*, qui par ailleurs semble indifférentes aux conditions expérimentales de germination.

Morphologie des descendants

La morphologie des plants issus de la germination de *R. japonica* et de *R. sachalinensis* est très variable entre pieds (photo ①), mais aussi au sein d'un même pied, tant en termes de morphologie du limbe que de couleur. Il en ressort que les seuls critères morphologiques des limbes des feuilles ne permettent pas facilement de distinguer les taxons et qu'il y a de nombreux cas intermédiaires par rapport aux descriptions des espèces trouvées dans les différents guides.

Conclusions et perspectives pour la gestion

Fertilité des populations

Les populations des principales espèces présentent des taux expérimentaux de fertilité importants, même si elles présentent encore peu de germinations *in natura* dans l'Ouest selon des observations de divers naturalistes (D. Le Cœur, Agrocampus Ouest, communication personnelle) et que les gestionnaires affirment qu'il y a des colonisations qui ne peuvent provenir que de graines. On peut penser que les enveloppes des fruits sont très facilement dégradées dans la nature, et donc ne constituent pas un frein à la germination. En revanche, l'association thermo-période et photopériode qui correspond à des jours longs, donc l'été, ainsi que la nécessité d'avoir des sols nus et humides, en sus non toxiques en raison des substances allélopathiques (antagonistes empêchant la germination) libérées par les renouées déjà en place, sont des conditions que l'on trouve dans les milieux remaniés propices aux nouvelles colonisations.

Nos observations sur les jeunes descendants tendraient à prouver qu'il y a probablement beaucoup d'hybridations, et qu'appeler telle population « renouée du Japon » ou « renouée de Bohême » est probablement une simplification abusive. Il serait préférable de parler de « type renouée du Japon » ou de « type renouée de Bohême » ou « *Reynoutria* cf *japonica* et *R.* cf x *bohémica* », ce qu'avaient déjà montré les résultats obtenus en Belgique (Tiébré *et al.*, 2007), incluant des analyses morphométriques et génétiques. De telles recherches en génétique des populations appuyées sur les outils de biologie moléculaire seraient à entreprendre pour connaître le statut des populations observées et vérifier leur fertilité.

① Variabilité morphologique des descendants : les feuilles à base tronquée (1) correspondent au « type Renouée du Japon » et celles à base en cœur (2) au « type Renouée de Bohême ». Noter la présence de formes intermédiaires (1/2).



© J. Haury

Conséquences pour la gestion

Les possibilités de reproduction sexuée pour les différentes espèces de grandes renouées invasives inciteraient à considérer un risque potentiel de dispersion de ces graines transportées par le vent, même si les transports de terre voire même des plantations volontaires sont les facteurs majeurs de dispersion de ces espèces. ■

Les auteurs

Jacques HAURY, Julie COUDREUSE et Michel BOZEC

Agrocampus Ouest, UMR Écologie et santé des écosystèmes, 65 rue de Saint Briec, CS 84215, F-35042 Rennes Cedex, France.

✉ jacques.haury@agrocampus-ouest.fr
✉ julie.coudreuse@agrocampus-ouest.fr
✉ michel.bozec@agrocampus-ouest.fr

Maël LE GUEN

Comité de bassin versant du Jaudy-Guindy-Bizien
1 rue Monge, CS 10761, F-22307 Lannion, France.

✉ contact@lannion-tregor.com

EN SAVOIR PLUS...

- DOMMANGET, F., CAVAILLÉ, P., EVETTE, A., MARTIN, F., 2017, Asian knotweeds - an example of a raising threat?, in: KRUMM, F., VÍTKOVÁ, L. (Eds) *Introduced tree species in European forests: opportunities and challenges*, European Forest Institute, p.202-211, 2016, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01504631>
- HUDIN, S., VARRAY, S., VAHRAMEEV, P. *et al.*, 2018, *Guide d'identification des principales plantes exotiques envahissantes du bassin Loire-Bretagne*, Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, 116 p.
- TIÉBRÉ, M.S., VANDERHOEVEN, S., SAAD, L., MAHY, G., 2007, Hybridization and sexual reproduction in the invasive alien Fallopia (Polygonaceae) complex in Belgium, *Ann Bot*, 99(1), p. 193-203.
- VARRAY, S. (Coord.), HAURY, J., HUDIN, S., *et al.*, 2018, *Manuel de gestion des espèces exotiques envahissantes du bassin Loire-Bretagne*, Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, 152 p.

Gestion des renouées : peut-on ou doit-on changer de perspectives ?

Les savoirs scientifiques, les représentations et les pratiques associées à la gestion des milieux naturels évoluent ; il est donc intéressant d'examiner si les réponses données à certaines questions sont toujours les mêmes, si elles convergent entre différents individus ou différentes disciplines, ou si ces questions n'ont plus lieu d'être et que d'autres émergent. Ici, c'est l'opinion d'une écologue et celle d'une géographe qui s'expriment, à la seule fin de proposer des questionnements et des pistes de réflexion parmi ceux qui animent aujourd'hui les échanges autour de la gestion des renouées.

Comment gérer les renouées ?

L'œil d'une écologue : c'est souvent la première question qui est posée. Comme beaucoup d'espèces invasives, la réponse qui vient en premier lieu est de proposer une intervention en tout début de la colonisation, lorsque les populations sont encore de petite taille. Pour des zones envahies plus conséquentes, ce numéro spécial détaille différentes options. Diverses interventions sont possibles en fonction de l'objectif de la gestion : s'agit-il de restaurer la visibilité ou de diminuer l'emprise du massif sur le paysage en baissant la hauteur des tiges ? D'augmenter la diversité végétale du site ? Y a-t-il un enjeu sécuritaire, paysager, écologique ? Cela suppose de définir en amont les objectifs de la gestion et de répondre à la question : « Pourquoi gérer les renouées ? ».

L'œil d'une géographe : il est en effet important de bien spécifier les objectifs de l'action. Nous nous sommes rendus compte que bien souvent, les plans de gestion étaient peu argumentés et les objectifs – ou les motivations – qui prévalaient à l'action étaient non explicités. L'intervention menée à l'égard des renouées doit par ailleurs être adaptée à chaque territoire, en fonction des enjeux qui lui sont propres. La lutte systématique et ayant pour objet une éradication des massifs est source de beaucoup de découragements chez des gestionnaires pourtant très engagés et elle a aujourd'hui montré ses limites.

Aujourd'hui est-on conscient des enjeux liés à l'invasion par les renouées ?

L'œil d'une géographe : tout dépend de qui l'on parle. Aujourd'hui seule une très faible minorité de gestionnaires chargés de la gestion des milieux bordant les infrastructures de transport (route, voies ferrées, voies fluviales) ne sont pas capables d'identifier les renouées. Mais dans un échantillon de non-experts, cette aptitude ne concerne qu'une minorité de personnes. Par contre, à partir du moment où la renouée est connue, elle suscite une forte préoccupation, tant chez les gestionnaires que chez les non-experts. Cela montre que l'acquisition de connaissances sur cette plante se traduit, aujourd'hui en France, par des représentations négatives et par une volonté d'agir à son encontre. Ces éléments montrent l'importance de diffuser des connaissances sur la plante, ses stratégies de colonisation, ses impacts sur les milieux et les activités humaines. Le discours tenu à l'égard de la plante se doit d'être construit sur une connaissance scientifiquement fondée et les débats sur sa gestion doivent être explicités pour que tout un chacun puisse y prendre part en toute connaissance de cause. Les discours alarmistes et injonctifs, tels qu'ils ont parfois pu être élaborés pour alerter l'opinion publique, en gommant la complexité inhérente aux enjeux soulevés par les invasives, ne font que desservir la définition d'une action informée et concertée.

❶ La présence des renouées asiatiques au bord des voies ferrées peut affecter la circulation des trains, l'entretien et la surveillance des voies.



© J. Biaunier (Cerema)

L'œil d'une écologue : les enjeux liés à l'invasion par les renouées aujourd'hui sont principalement d'ordre écologique (impacts sur la diversité des communautés et sur le fonctionnement des écosystèmes, dispersion de la plante), économique (coûts de la gestion), et social (par exemple, activités ou paysages affectés dans les zones envahies – photo ❶). Les connaissances dont nous disposons sur ces espèces gagneraient à être diffusées pour éviter les mauvaises pratiques (en planter chez soi, en acheter...) et informer sur l'effort de gestion à appliquer, parfois pendant plusieurs années. D'autre part, avec l'augmentation des déplacements qui propagent les propagules et les hivers de moins en moins rigoureux, il semble que l'aire de répartition des renouées pourrait augmenter, notamment en montagne et dans les pays nordiques. Pour moi, un enjeu majeur serait alors de définir et de préserver les zones à risque, aujourd'hui et dans le futur.

Les renouées sont-elles différentes des espèces locales ?

L'œil d'une l'écologue : il est difficile de donner à cette question une réponse tranchée. Si les renouées semblent à part, puisque les herbacées à port dressé si vigoureuses et avec cette phénologie précoce semblent rares parmi les espèces locales, de plus en plus d'études tendent à montrer que, d'une manière générale, les espèces catégorisées comme invasives ne sont pas significativement différentes des espèces envahissantes ou dominantes catégorisées comme natives. La propagation et les impacts causés par les espèces invasives sont bien sûr une conséquence de certaines de leurs caractéristiques, mais il semble aussi et surtout que ce soit la conjugaison de ces caractéristiques et des activités humaines ainsi que des perturbations des écosystèmes qui soient à l'origine de leur succès. La question reste donc ouverte.

L'œil d'une géographe : cette question, du point de vue des sciences sociales, peut être reformulée de la manière

suivante : les renouées sont-elles perçues comme des espèces exotiques ou sont-elles perçues comme natives ou naturalisées ? À ma connaissance, peu de données existent sur cette question dans le cas de la renouée. Cette question présuppose qu'il existe un état idéal de nature qui serait constitué uniquement (ou à grande majorité) d'espèces natives. Cela soulève le délicat problème de la définition de frontières géographiques et temporelles pour chaque espèce. Définir cet état de référence n'est pas chose aisée. Les liens historiques tissés entre les hommes et la nature, ainsi que le développement croissant des techniques, ont induit une transformation du donné naturel. Tant et si bien qu'il est parfois difficile, voire impossible de dire quel était, en un lieu donné, l'état de nature. Ainsi, nombre des acteurs environnementaux interrogés dans le cadre de l'enquête réalisée par Bardsley et Edwards-Jones en 2006 au sein de trois îles méditerranéennes, étaient surpris par le fait que certaines espèces exotiques naturalisées ne soient pas des espèces natives. Par ailleurs, la plupart d'entre eux considèrent l'introduction et la naturalisation d'espèces exotiques, de même que les évolutions environnementales qui en résultent, comme un processus fondateur de l'identité des îles. Les invasions biologiques semblent donc perçues par les acteurs locaux comme partie intégrante de la culture insulaire en Méditerranée. On voit donc que la distinction entre espèces locales et exotiques est floue et repose en grande partie sur les représentations sociales construites au sein d'un territoire donné.

Qu'est-ce qui rend les renouées si envahissantes ?

L'œil d'une l'écologue : comme cela a été décrit auparavant, les renouées semblent avoir été dans un premier temps intensément intentionnellement propagées pour des raisons ornementales. Elles ont été ensuite et sont toujours disséminées involontairement par transfert de

► rhizome, de tiges et de sédiments en contenant d'un site à un autre. Elles suivent aussi les cours d'eau, les crues facilitant leur dispersion. Même si leur capacité d'hybridation, produisant de nouveaux génotypes potentiellement plus performants, et leur croissance vigoureuse ont probablement fortement contribué à leur succès, la dispersion liées aux activités humaines et les perturbations naturelles et anthropiques qui se multiplient dans les écosystèmes ont joué un rôle majeur. Une fois introduites dans un site, l'absence d'espèces compétitrices ou prédatrices, résultant de l'histoire évolutive ou, là encore, de l'altération des écosystèmes, a facilité leur établissement. Finalement, il apparaît que l'humain soit un acteur central dans ce processus.

Quels sont les problèmes posés par les renouées ? Est-ce que les renouées sont gênantes ?

L'œil d'une écologue : les renouées ne posent pas de problèmes sanitaires, contrairement à l'ambrosie, par exemple. Au niveau local (dans la zone envahie), les renouées influent sur le cycle de l'azote, la diversité végétale est diminuée et la diversité de la macrofaune est modifiée en faveur des décomposeurs de la litière, parmi probablement d'autres effets. On peut donc affirmer qu'elles ont un impact sur le fonctionnement des écosystèmes et la composition des communautés. Faut-il pour autant appeler cela un problème ? De nombreuses espèces modifient les biocénoses ou les biotopes dans les écosystèmes (c'est le cas par exemple des espèces ingénieuses). Selon l'ampleur de la zone envahie, la vitesse des modifications et les autres espèces affectées, cela peut en effet constituer « un problème » pour les écosystèmes. N'oublions pas qu'au niveau global, selon l'Union internationale pour la conservation de la nature, les espèces invasives sont une cause majeure d'altération de la biodiversité.

L'œil d'une géographe : en fonction de la mission qui lui est confiée, chaque acteur envisage différemment les « problèmes » posés par les renouées. Si les « problèmes » liés aux impacts sur la biodiversité sont assez consensuels, d'autres sont plus spécifiques à certaines catégories d'acteurs. Par exemple, les gestionnaires en charge des emprises ferroviaires mentionnent beaucoup les problèmes sécuritaires ou encore ceux liés à l'intégrité des infrastructures, tandis que les gestionnaires de cours d'eau mettent beaucoup en avant les problèmes paysagers. On voit donc que la renouée est un problème qui dépend du contexte et du champ d'expertise. Mais d'une manière plus générale, il me semble que l'une des clés pour une gestion plus efficace soit de ne plus considérer la renouée comme un « problème » mais comme un objet de gestion au long cours. Qui dit problème dit solution. Or, il apparaît de plus en plus évident que le « problème » renouée ne puisse être réglé définitivement. La plante est aujourd'hui bien implantée sur certains territoires et une éradication totale est une gageure. Envisager la renouée comme un objet de gestion quotidien, durable, permet de définir des plans de gestion et d'y allouer des ressources, à court et moyen terme, territoire par territoire, selon une logique rationalisée – comme on le fait pour l'entretien des routes par exemple.

Doit-on accepter des écosystèmes où les renouées sont présentes ? Ou doit-on éliminer les populations de renouées à chaque fois que cela est possible ?

L'œil d'une écologue : après avoir été l'objet d'une lutte intensive peu remise en question, aujourd'hui le sujet de la non-intervention sur les populations de renouées se pose. Certains sites sont tellement envahis qu'il serait très difficile et coûteux d'avoir une action efficace. Par dépit, on peut se demander si l'enjeu est suffisant pour cet investissement. D'autant plus que certaines opérations de gestion peuvent stimuler la croissance des individus, et que la fragmentation des tiges et des rhizomes augmente le risque de dispersion de propagules. D'ailleurs, au niveau écologique, comment être certain que les impacts mesurés aujourd'hui à différents stades d'invasion et que ceux qui pourront avoir lieu demain sont conséquents ? Ne devrait-on pas laisser les choses suivre leur cours et espérer que s'opère une régulation naturelle ? N'oublions pas cependant les divers effets des espèces invasives sur la biodiversité. Une intervention qui permettrait de diversifier les zones envahies, même si les renouées ne sont pas éliminées du site, ou d'augmenter la résistance des espèces présentes, apparaît alors comme souhaitable. Certains travaux de recherche récents, axés sur les mécanismes qui favorisent la coexistence entre les espèces, sont orientés dans ce sens. Entre une élimination systématique (qui ne semble par ailleurs pas faisable) et une non-intervention défaitiste, un compromis émerge alors : après évaluation des enjeux du site envahis, il faut peut-être envisager de « stimuler » la communauté locale et « affaiblir » les renouées pour en diminuer les impacts, tout en acceptant des nouveaux écosystèmes où celles-ci seraient intégrées sans y être ultra dominante.

L'œil d'une géographe : au-delà des considérations écologiques décrites par ma collègue et qui représentent en elles-mêmes une vraie complexité, cette question soulève d'autres enjeux, notamment en termes de projet de société et de gouvernance. Savoir si « l'on doit » – ou non – accepter des écosystèmes incluant des renouées ou, plus largement, savoir quel avenir on souhaite pour les milieux, pour notre environnement, sont autant de réponses qui doivent résulter d'un projet de société. En effet, pour qu'il puisse se concrétiser, tout plan de gestion doit être porté politiquement et rencontrer le projet social. En cela, chaque enjeu doit être hiérarchisé et arbitré collectivement, en toute connaissance de cause, en fonction du projet que s'est assigné une société pour un territoire donné. Cela souligne l'importance des enjeux de porter à connaissance que je mentionnais plus haut. ■

Les auteurs

Soraya ROUIFIED

ISARA, 23 rue Jean Baldassini, F-69007 Lyon, France.

✉ srouified@isara.fr

Marylise COTTET

CNRS-UMR 5600 Environnement Ville Société,

15 Parvis René Descartes, BP 7000,

F-69342 Lyon Cedex 07, France

✉ marylise.cottet@ens-lyon.fr



EN SAVOIR PLUS...

- 📖 **BARDSLEY, D., EDWARDS-JONES, G.**, 2006, Stakeholders' perceptions of the impacts of invasive exotic plant species in the Mediterranean region, *GeoJournal*, 65(3), p. 199-210.
- 📖 **HOBBS, R.J., HIGGS, E., HALL, C.M., BRIDGEWATER, P., CHAPIN, F.S., ELLIS, E.C., EWEL, J.J., HALLETT, L.M., HARRIS, J., HULVEY, K.B., JACKSON, S.T., KENNEDY, P.L., KUEFFER, C., LACH, L., LANTZ, T.C., LUGO, A.E., MASCARO, J., MURPHY, S.D., NELSON, C.R., PERRING, M.P., RICHARDSON, D.M., SEASTEDT, T.R., STANDISH, R.J., STARZOMSKI, B.M., SUDING, K.N., TOGNETTI, P.M., YAKOB, L., YUNG, L.**, 2014, Managing the whole landscape: historical, hybrid, and novel ecosystems, *Frontiers in Ecology and the Environment*, n° 12, p. 557-564, disponible sur : <https://doi.org/10.1890/130300>
- 📖 **COTTET, M., RIVIÈRE-HONEGGER, A., EVETTE, A., PIOLA, F., ROUIFIED, S., DOMMANGET, F., VAUDOR, L., VALY, J.**, 2018, Représentations et pratiques de gestion des renouées asiatiques : intègrent-elles les dynamiques à long terme des écosystèmes ?, *Géocarrefour* [En ligne], 92/1 | 2018, disponible sur : <http://journals.openedition.org/geocarrefour/10451>
- 📖 **TRUITT, A.M., GRANEK, E.F., DUVEINECK, M.J., GOLDSMITH, K.A., JORDAN, M.P., YAZZIE, K.C.**, 2015, What Is Novel About Novel Ecosystems: Managing Change in an Ever-Changing World, *Environmental Management*, 55(6), p. 1217-1226, disponible sur : <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0465-5>