

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.

D

evant 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.

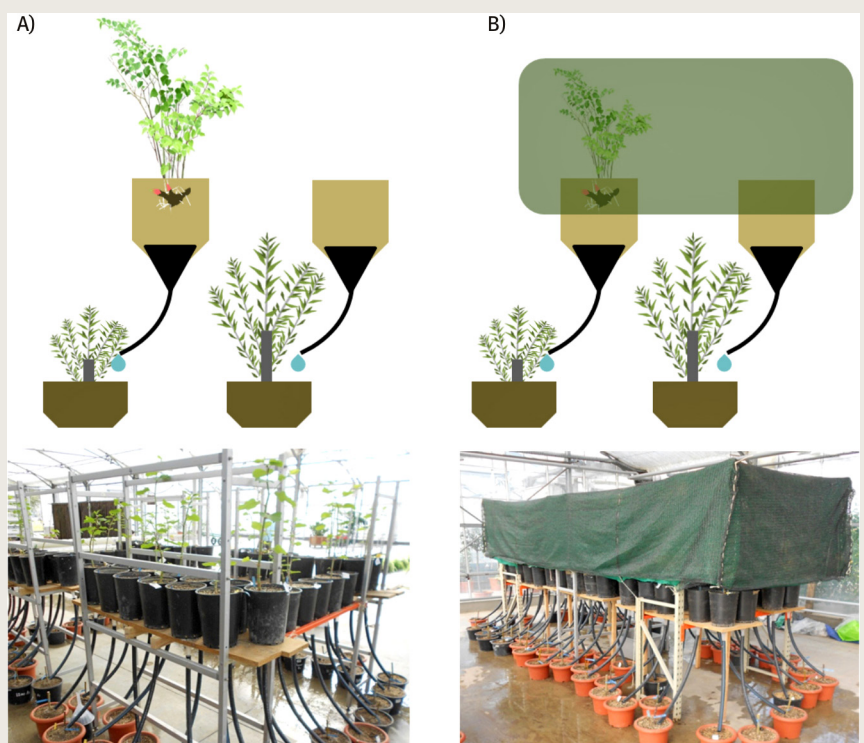
Au bout de quelques mois, toutes les boutures ont repris, la phytotoxicité des renouées n'impactant donc pas le succès de reprise des trois espèces testées. En revanche, deux espèces sur trois ont exprimé des différences en termes de production de biomasse souterraine et/ou aérienne. Seul *S. atrocinerea*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

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

✉ srouifed@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., ROUIFED, 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.