

Gestion des résidus végétaux et des sols contaminés avec des plantes envahissantes

CLAUDE LAVOIE

RECENSION DE LA
LITTÉRATURE
SCIENTIFIQUE ET
RECOMMANDATIONS

Gestion des résidus végétaux et des sols contaminés avec des plantes envahissantes

RECENSION DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE ET
RECOMMANDATIONS

CLAUDE LAVOIE

École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional



Québec, mars 2017

Notes sur l'auteur

Claude Lavoie (Ph.D.) est biologiste, professeur titulaire et directeur de l'École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional de l'Université Laval. Il dirige une équipe de recherche qui étudie la dissémination et l'impact des plantes exotiques envahissantes et les moyens de lutte contre ces plantes les plus respectueux possibles de l'environnement. Il coordonne à cet effet les travaux des groupes de recherche PHRAGMITES, sur le roseau commun, et QUÉBERCE, sur la berce du Caucase. Il est aussi le coordonnateur des *Formations plantes envahissantes*, programme de formation continue en lutte aux plantes nuisibles qui a instruit à ce jour (2017) plus de 400 personnes.

Table des matières

| | |
|---|----|
| Mandat | 5 |
| Méthodologie | 7 |
| Gestion des résidus végétaux | 8 |
| • Solarisation par ensachage ou tente solaire | 8 |
| • Paillis..... | 9 |
| • Compost..... | 9 |
| ○ Effet sur les graines | 10 |
| ○ Effet sur les tiges et les rhizomes | 11 |
| • Bioénergie | 12 |
| • Autre valorisations possibles..... | 13 |
| Gestion des sols | 14 |
| • Enfouissement simple..... | 15 |
| • Enfouissement avec encapsulage | 16 |
| • Criblage – concassage..... | 16 |
| • Effet des herbicides sur les rhizomes..... | 18 |
| Conclusions et recommandations | 20 |
| • Quels sont les risques ? | 20 |
| • Recommandations | 23 |
| Littérature citée | 26 |

Mandat

On trouve au Québec au moins 908 taxons (espèces, sous-espèces, variétés, hybrides) de plantes vasculaires exotiques (Lavoie et al. 2012, 2014). Environ 23 % de ceux-ci peuvent être considérés comme envahissants (Lavoie et al. 2016), à savoir qu'ils colonisent de nouveaux sites ou de nouvelles régions à un rythme rapide et qu'ils produisent des populations denses qui occupent une forte proportion de la surface du sol. Être envahissant ne signifie pas nécessairement être nuisible, que ce soit pour la préservation de la biodiversité ou le fonctionnement des écosystèmes, l'agriculture ou la foresterie, la santé des bestiaux ou des humains ou la pratique d'activités de plein-air. En fait, au Québec, seulement 87 taxons de plantes vasculaires exotiques peuvent être considérés nuisibles à certains égards (Lavoie et al. 2014). Les productions agricoles sont particulièrement affectées par ces nuisances. Dans les champs en culture, les plantes nuisibles sont, la plupart du temps, éliminées avec plus ou moins de succès avec des phytocides. Lorsqu'elles se trouvent dans d'autres contextes qu'en champ, comme dans un marais, en bordure d'un cours d'eau, sur un talus routier ou dans une friche urbaine, l'usage de phytocides n'est pas toujours la meilleure solution au niveau des moyens de lutte, ni même une solution permise par les autorités municipales, provinciales ou fédérales. Il est alors nécessaire d'utiliser d'autres méthodes pour s'en débarrasser, comme la fauche répétée, l'arrachage, le bâchage ou l'enfouissement.

Lorsque les populations d'une plante nuisible sont de petite taille, la lutte peut être relativement facile, même si cela peut prendre du temps, parfois plusieurs années. L'éradication est même envisageable. Par contre, lorsque ces populations regroupent plusieurs milliers d'individus, occupent des centaines de mètres carrés ou même plusieurs hectares, ou s'étendent sur des dizaines ou centaines de mètres le long d'emprises de transport ou de cours d'eau, la lutte devient beaucoup plus ardue. À moins d'investir des sommes considérables, l'éradication n'est pas envisageable à court ou moyen terme, et l'on se contentera souvent de réduire l'envergure des populations ou de minimiser le plus possible leurs effets.

Il arrive toutefois qu'en certaines circonstances, lors par exemple de travaux de construction de vastes infrastructures (routes, chemins de fer, ensembles immobiliers ou d'utilité publique), l'éradication de grandes populations de plantes nuisibles soit nécessaire dans des laps de temps relativement courts, soit parce qu'elles pourraient porter atteinte à l'infrastructure, soit parce qu'il s'agit d'une exigence des autorités concernées pour que le projet puisse se réaliser. Les promoteurs de ces projets peuvent alors être aux prises avec de grands volumes de résidus végétaux ou de sols dont l'excavation fut nécessaire pour la réalisation des travaux. On ne peut pas en disposer facilement car ils contiennent les graines et les rhizomes des nuisances. Exporter ces résidus végétaux et ces sols vers des sites d'enfouissement ne constitue pas toujours une solution acceptable, d'abord en raison des coûts de transport élevés, mais aussi parce que ce ne sont pas tous les sites qui peuvent les accepter, souvent parce que la réglementation municipale ou provinciale ne le permet pas. Il faut donc envisager des alternatives qui permettraient d'éliminer ces résidus végétaux et ces sols de façon à ce qu'ils ne représentent plus une source de graines et de rhizomes pouvant être à l'origine de nouvelles populations d'invasifs nuisibles. Ces alternatives seraient d'autant plus intéressantes s'il était de surcroît possible d'en faire usage, de manière sécuritaire, pour d'autres fins.

Le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec (MDDELCC) m'a donné le mandat de parcourir et de résumer la littérature scientifique sur la gestion des résidus végétaux et des sols contenant des graines et des rhizomes de plantes envahissantes nuisibles. De façon plus précise, le mandat était :

Produire une revue de littérature critique sur les différentes méthodes de gestion et de valorisation des déblais contenant des espèces exotiques envahissantes qui tiendrait compte de la réglementation en vigueur au Québec et qui proposerait une bonification des mesures en place. La revue de littérature devra évaluer les risques associés, proposer des mesures d'atténuation des risques et identifier les espèces les moins susceptibles de poser des risques :

- à l'enfouissement sur place de sols contenant des restes de plantes exotiques envahissantes et leur système racinaire ;
- au compostage de restes de plantes exotiques envahissantes et des systèmes racinaires ;
- à la valorisation des sols contenant des systèmes racinaires de plantes exotiques envahissantes, notamment par la production de terreaux ;
- à la valorisation de boues d'étang d'aération ou de décantation contenant des plantes exotiques envahissantes ;
- à l'utilisation de sols contenant les systèmes racinaires de plantes exotiques envahissantes préalablement contrôlées par l'application d'herbicides homologués.

Je devais notamment chercher dans cette littérature la réponse à trois questions :

- 1) existe-t-il des façons sécuritaires d'éliminer les résidus végétaux et les sols contenant les graines et les systèmes racinaires de plantes exotiques envahissantes nuisibles ?
- 2) existe-t-il des méthodes de valorisation qui pourraient permettre d'utiliser les résidus végétaux et les sols de façon sécuritaire sans favoriser la propagation des plantes exotiques envahissantes nuisibles ?
- 3) les sols contenant des systèmes racinaires de **renouée du Japon** (*Reynoutria japonica* [*Fallopia japonica*]) et de **roseau commun** (*Phragmites australis*) – deux des plantes exotiques envahissantes les plus problématiques et répandues au Québec – ayant fait l'objet de traitements aux herbicides peuvent-ils être utilisés sans risque de propagation par les graines ou les systèmes racinaires ?

Il est important de préciser que par *valorisation*, on exclue dans ce rapport toute tentative de culture d'une plante exotique envahissante dans le but, par exemple, d'en faire un biocarburant ou pour la fabrication d'un produit. Lorsqu'il sera question de la gestion des résidus végétaux, il sera uniquement référence à des plantes ayant dû être éliminées pour un objectif précis, n'ayant pas été cultivées à cet effet ou ne faisant pas partie d'un programme de fauche répétées (sur des terres en friche, par exemple) à des fins commerciales.

Méthodologie

La revue de littérature ou de renseignements pertinents sur la gestion des résidus végétaux et des sols contenant des graines et des rhizomes de plantes exotiques envahissantes nuisibles s'est faite en deux étapes. Dans une première étape, les articles publiés dans des revues scientifiques ont été recensés grâce aux moteurs de recherche Web of Science™ (Thomson Reuters 2017) et Google Scholar (Google Scholar 2017). Les mots-clés utilisés ont été (dans la rubrique *Title* pour Web of Science™) : *amendment** ou *burial* ou *compost** ou *residue** ou *sludge* ou *soil management* ou *soil disposal* ou *solarization* ou *waste*, toujours en addition avec *common reed* ou *fallopia* ou *invasi** ou *knotweed* ou *phragmites* ou *reynoutria* ou *weed**. L'astérisque indique que la recherche a eu pour effet de trouver tous les mots-clés commençant par les lettres associées (donc *invasi** permettait de trouver *invasive*, *invasion*, *invasions*, etc.). Compte tenu de l'enjeu que représente au Québec la lutte à la renouée du Japon (ou à son hybride, la renouée de Bohème : *Reynoutria ×bohemica*) et au roseau commun, une recherche supplémentaire a été effectuée dans Web of Science™, avec pour seuls mots-clés *common reed* ou *fallopia* ou *knotweed* ou *phragmites* ou *reynoutria* dans la rubrique *Title*. Tous les articles trouvés dans Web of Science™ ont été examinés (titre, résumé) un à un pour ne retenir que ceux qui étaient pertinents pour remplir le mandat. Dans Google Scholar, qui peut trier les articles par pertinence présumée, les 100 premiers articles proposés pour chaque mot-clé ou combinaison de mots-clés ont été examinés à cet effet. Dans une deuxième étape, la littérature sur les mêmes sujets (et cherchée avec les mêmes mots-clés ou combinaison de mots-clés, mais avec en plus *roseau commun* ou *renouée du Japon* ou *renouée japonaise*) a été recensée sur internet grâce au moteur de recherche Google. Les hyperliens proposés ont été examinés un à un jusqu'à ce que l'on constate que la pertinence n'était plus au rendez-vous.

Gestion des résidus végétaux

Il existe une littérature en émergence sur la gestion des résidus végétaux de plantes exotiques envahissantes, mais elle est surtout concentrée sur le compostage, donc sur la production de terreaux pouvant être utilisés pour amender les sols. Il existe d'autres façons de traiter ou tirer profit des résidus – elles seront également mentionnées dans cette section – mais les travaux sur le sujet sont encore fragmentaires.

SOLARISATION PAR ENSACHAGE OU TENTE SOLAIRE

La solarisation est une technique par laquelle on utilise la chaleur de l'énergie solaire pour tuer les organismes pathogènes ou les graines des plantes nuisibles grâce à des membranes de plastique que l'on étend sur la surface du sol. C'est une pratique courante en agriculture, et une recherche dans Web of Science™ avec la combinaison de mots-clés (*solarisation* OR *solarization*) AND (*invasi** OR *weed**) dans la rubrique *Title* montre qu'au moins une cinquantaine d'articles ont été écrits sur le sujet. On peut aussi utiliser la solarisation pour tuer les résidus végétaux de plantes envahissantes : il suffit de les ensacher dans des sacs de plastique, comme par exemple des sacs à ordures de forte résistance, puis de les laisser exposés au soleil pendant plusieurs semaines au cours de l'été. On trouve fréquemment sur internet cette suggestion de méthode d'élimination de résidus végétaux de plantes exotiques envahissantes. Elle s'adresse surtout aux particuliers qui ont de petits volumes de résidus à traiter. On ne sait toutefois pas si cette technique parvient, à elle seule, à dévitaliser un fort volume de tiges, de rhizomes et de graines récoltés dans le cadre d'un projet de lutte aux plantes envahissantes.

Comme mentionné plus haut, la technique la plus simple pour faire de la solarisation de résidus végétaux est de faire un ensachage. Les tests sur l'**impatiente glanduleuse** (*Impatiens glandulifera*) effectués dans la région de Québec ont montré que la plante se décompose très rapidement (en moins d'un mois en juillet) une fois ensachée dans de simples sacs à ordures de couleur foncée. Un ensachage prend très peu de temps (environ 7 % du temps de travail lors d'un arrachage manuel) si les individus sont de petite dimension (taille de 60 cm), mais à maturité (1–2 m), on peut passer plus de temps à ensacher qu'à arracher la plante, ce qui ne fait guère de sens (Leblanc et Lavoie 2017).

On peut remplacer les sacs par une tente solaire : il s'agit de déposer sur le sol une toile de polyéthylène de couleur noire d'au moins 0,1 mm d'épaisseur, d'y déposer les résidus végétaux avec un contenant d'eau (environ 0,25 L par m² de surface, apparemment essentiel pour un effet maximal) et de les recouvrir d'une autre toile de polyéthylène noire. On dépose sur l'ensemble des demi-cercles pour pouvoir recouvrir le tout d'une autre toile de polyéthylène transparente en faisant attention à ce que les deux toiles (la noire et la transparente) ne se touchent pas. Il faut en effet qu'il y ait un espace de 20 à 30 cm entre les deux toiles de recouvrement. On scelle enfin l'enrobage avec des pierres sur le pourtour des toiles. En Californie, lors d'un test effectué au mois de septembre, des températures de ≥ 60 °C ont été enregistrées dans les tentes pour au moins trois à six heures chaque jour. Aucun des rhizomes de **sorgho d'Alep** (*Sorghum halepense*) insérés à l'intérieur pour un traitement de trois jours n'a survécu à la solarisation (Stapleton 2012).

La tente proposée par Stapleton (2012) est simple, mais sa structure ne permet pas plus que les sacs de plastique de traiter de grands volumes de résidus. Le test de viabilité est rudimentaire et peu fiable pour les autres plantes à rhizome. La technique, et surtout son

efficacité, restent à peaufiner et à démontrer. Aussi, le problème de la disposition subséquente des résidus demeure.

PAILLIS

La façon la plus facile d'utiliser les résidus végétaux de plantes exotiques envahissantes est de les déchiqueter puis de les utiliser comme paillis, sans processus de compostage. Cette pratique est risquée, puisque le paillis peut contenir une grande quantité de graines qui pourraient être à l'origine de nouvelles populations de l'envahisseur après épandage. Aussi, même déchiquetés, les tiges et les rhizomes de plusieurs plantes conservent leur vitalité un certain temps et peuvent former de nouveaux individus si déposés sur un sol propice à leur enracinement. Pour ces raisons, peu de chercheurs ont tenté d'évaluer le risque réel associé à ces paillis. Dans une expérience effectuée en Oregon (Lintz et al. 2011), des fragments déchiquetés de tiges d'une plante ligneuse envahissante, le **lierre commun** (*Hedera helix*), ont été soumis à un processus de compostage rudimentaire (petits monticules de résidus) d'une durée de quatre mois, puis ont été épandus sur une épaisseur de 7,5 cm sur une autre plante envahissante locale, le **géranium de Robert** (*Geranium robertianum*), dans le but de l'étouffer. Le résultat fut concluant, avec une réduction de couvert du géranium de 92 %, sans repousse du lierre, probablement tué par le processus de compostage.

Même si cette expérience est intéressante, l'usage de plantes exotiques envahissantes comme paillis ne serait guère recommandé, surtout sans compostage préalable (voir section suivante) et particulièrement près d'écosystèmes vulnérables aux invasions (cours d'eau, milieux humides, etc.). Le risque de création de nouvelles populations de l'envahisseur après épandage du paillis est très élevé, particulièrement chez les plantes ayant la capacité de se propager de manière végétative. Par exemple, les fragments de rhizome de **roseau commun** d'un poids aussi petit que 25 g, notamment ceux récoltés l'automne après qu'ils aient eu le temps de se regarnir en sucres, ont une probabilité de survie qui voisine 100 % si insérés dans un terreau propice à leur croissance (Juneau et Tarasoff 2013). Les fragments de tiges (avec au moins un ou deux nœuds) de **renouée du Japon** et de **renouée de Bohème** s'enracinent plus ou moins bien une fois insérés dans un sol (taux de survie respectif de 17 et 36 %), mais des fragments de rhizomes aussi petits que 1 cm survivent bien à la fragmentation et représentent donc un risque réel de propagation (taux de survie de 40 et 86 % ; Child 1999, De Waal 2001, Bímová et al. 2003, Pyšek et al. 2003).

COMPOST

Quelques régions au Québec disposent d'installations de grande envergure pour recueillir les déchets organiques des municipalités et les traiter afin de les transformer en terreaux à valeur ajoutée. La décomposition des végétaux par processus de compostage génère une chaleur assez élevée qui a pour effet de faire perdre leur vitalité aux graines et aux racines de la plupart des plantes qui se trouvent dans le compost en formation. Plusieurs chercheurs ont néanmoins voulu savoir si les graines des plantes nuisibles pour l'agriculture, et plus récemment pour la biodiversité des écosystèmes naturels, pouvaient résister à la chaleur du compostage. La question est pertinente puisqu'épandre un compost formé de résidus de plantes exotiques envahissantes peut représenter un risque de propagation de ces espèces, même s'il est probablement beaucoup moins élevé que pour un simple paillis. Il existe quelques recherches sur l'effet du compostage sur la vitalité des rhizomes de plantes envahissantes, mais elles sont

encore embryonnaires. Il faut par ailleurs savoir que la deuxième édition du *Guide sur l'utilisation de matières résiduelles fertilisantes pour la restauration de la couverture végétale de lieux dégradés*, présentement en préparation au MDDELCC, précise que lorsqu'un terreau est conçu spécifiquement pour des projets de restauration de couverture végétale de lieux dégradés¹, alors il ne doit pas être contaminé par des plantes exotiques envahissantes, que ce soit sous la forme de fragments ou de graines.

Effet sur les graines

Les recherches sur l'effet du compostage sur la vitalité des graines se sont surtout concentrées sur les plantes nuisibles pour l'agriculture. Ce n'est que depuis quelques années (vers 2009) que les résidus végétaux issus de campagnes d'éradication de plantes exotiques envahissantes font l'objet d'une attention pour un usage comme compost. Les chercheurs ont tenté de savoir si la chaleur générée par le compostage était suffisamment élevée pour tuer toutes les graines des plantes nuisibles, question de réduire le risque de propagation à zéro. Les tests ont été effectués en laboratoire, par exemple en faisant chauffer les graines dans un four et en cherchant la température létale, ou encore directement dans le compost, en introduisant des graines dans des sacs-filets, en les laissant dans le matériel en décomposition un certain nombre de jours, puis en vérifiant ensuite leur vitalité en laboratoire.

La grande majorité des tests (**Tableau 1**) montre que les graines doivent être exposées à une température d'au moins 55 °C pendant un à quinze jours pour qu'elles perdent leur vitalité ; chez certaines espèces, des températures plus élevées (jusqu'à 85 °C) sont toutefois nécessaires. En général, plus la température est basse, plus le temps d'exposition doit être élevé pour obtenir de bons résultats, mais cela varie beaucoup selon les espèces. Les températures générées par les procédés industriels sont probablement suffisamment élevées pour dévitaliser les graines de la plupart des espèces exotiques envahissantes du Québec. Par exemple, la Plateforme de compostage de Saint-Rosaire (Gaudreau Environnement inc.) procède avec une phase thermophile à température minimale de 56 °C et maximale de 72 °C (moyenne 65 °C). L'ensemble du processus de compostage dure environ 16 mois (M.-P. Pomerleau, communication personnelle). Chez GSI Environnement inc., qui gère un centre de compostage à Saint-Henri-de-Lévis, la température moyenne atteinte en phase thermophile varie entre 49 et 57 °C, alors que la température maximale se situe autour de 65 °C, pour des opérations compostage qui durent entre quatre et huit mois (M. Brassard, communication personnelle). Chose intéressante, ces deux centres refusent les résidus végétaux de **renouée du Japon**, de **roseau commun** et de toute autre plante réputée envahissante par mesure de sécurité. Mais à l'exception de **l'alliaire officinale** (*Alliaria petiolata*) et du **nerprun cathartique** (*Rhamnus cathartica*), on ne possède pas de données précises sur les températures requises dévitalisant les graines des plantes problématiques du Québec, et notamment de renouée du Japon et de roseau commun, quoique dans ces derniers cas, ce sont davantage les tiges et, surtout, les rhizomes qui pourraient représenter un risque.

1. Selon la seconde édition en préparation du *Guide sur l'utilisation de matières résiduelles fertilisantes pour la restauration de la couverture végétale de lieux dégradés* du MDDELCC, un **lieu dégradé** est une surface caractérisée par une carence importante à supporter la végétation, à la suite de différentes activités humaines ou de phénomènes naturels. La surface des sites dégradés est généralement caractérisée par une structure inadéquate, l'absence de matière organique ainsi qu'une carence en microorganismes et en éléments nutritifs. Les terrains après l'exploitation d'une carrière, d'une sablière ou d'une mine, les bordures de route, les friches industrielles, les buttes-écrans, les remblais, les aires d'accumulation de résidus miniers ou de stériles ainsi que les lieux d'enfouissement lors du recouvrement final font partie de ces lieux.

Tableau 1. Températures et temps d'exposition requis pour dévitaliser les graines de plantes nuisibles pour l'agriculture ou celles de plantes exotiques envahissantes.

| Espèce ou groupe d'espèces | Températures requises pour dévitaliser les graines (°C) | Temps d'exposition minimal requis (heures) | Référence |
|---|---|--|-------------------------|
| Espèces nuisibles aux cultures (8 spp.) | 70 | 4-168 | Egley 1990 |
| Espèces nuisibles aux cultures (10 spp.) | 75 | 12-24 | Thompson et al. 1997 |
| Espèces nuisibles aux cultures (8 spp.) | 55 | 72 | Grundy et al. 1998 |
| Espèces nuisibles aux cultures (12 spp.) | 55 - 65 | 336-672 | Tompkins et al. 1998 |
| Espèces nuisibles aux cultures (6 spp.) | 50 | 4-113 | Dahlquist et al. 2007 |
| Espèces nuisibles aux cultures (4 spp.) | 69 - 85 | 24 | Daugovish et al. 2007 |
| Espèce envahissante : <i>Alternanthera philoxeroides</i> | 55 | 436 | Dorahy et al. 2009 |
| Espèces envahissantes : <i>Acacia longifolia</i> et <i>A. melanoxylon</i> | 65 | 144 | Brito et al. 2013 |
| Espèce envahissante : <i>Eichhornia crassipes</i> | 57 | 72 | Montoya et al. 2013 |
| Espèce envahissante : <i>Eupatorium adenophorum</i> | 60 - 70 | 360-432 | Li et al. 2014 |
| Espèces envahissantes de milieux humides (4 spp.) | 57 | 72 | Meier et al. 2014 |
| Espèce envahissante : <i>Alliaria petiolata</i> | 55 | 168 | Van Rossum et Renz 2015 |
| Espèce envahissante : <i>Rhamnus cathartica</i> | 55 | 360 | Van Rossum et Renz 2015 |

Effet sur les tiges et les rhizomes

L'effet du compostage sur la vitalité des tiges et des rhizomes a été testé chez la renouée du Japon et le roseau commun. Des fragments de tiges (chacun avec au moins un nœud) et de rhizomes (chacun avec au moins deux bourgeons) de **renouée du Japon** ont été enfouis dans du matériel en compostage puis exposés à des températures variant de 55 à 68 °C (moyenne : 61 °C) pendant au moins trois jours. Ce traitement fut apparemment suffisant pour dévitaliser à la fois les tiges et les rhizomes, mais il faut savoir que l'article décrivant ce travail (Day et al. 2009) est très court et contient peu de détails sur le déroulement de l'expérience. Un autre court document produit par l'Université de Reading et r3 Environmental Technology (Xian et al. 2012) mentionne que des fragments de rhizome de 2 cm de long sont tués par une exposition pendant 72 heures à une chaleur de compostage de 40 °C. Comme le document ne contient presque aucun renseignement sur cette expérience, cette donnée devrait être considérée avec grande prudence et de plus amples tests seraient nécessaires pour conclure sur l'efficacité du compostage industriel pour dévitaliser les tiges et, surtout, les rhizomes de cet envahisseur redoutable.

Une expérience au cours de laquelle des tiges de **roseau commun** séchées et sectionnées en fragments de < 1 cm ont été compostées durant sept mois a montré que le compost qui en résulte est de bonne qualité pour la production de tomates (Toumpeli et al. 2013). L'expérience ne dit toutefois pas si des tiges de roseau ont surgi du compost lors des tests de germination et de croissance des plants de tomate, ce qui, considérant les conditions du compostage, semble toutefois peu probable.

Une autre expérience, plus intéressante celle-là, avait pour objectif de démontrer qu'il était possible de composter sans risque le **roseau commun** (Kannepalli et al. 2016). Les tiges et les rhizomes utilisés dans cette expérience provenaient d'un marais filtrant, et plus particulièrement des boues qui furent extraites du marais après 15 ans d'utilisation. Ce n'était pas tant le roseau que les boues qui avaient un intérêt comme amendement de sol, mais sans démonstration claire que le processus de compostage dévitaliserait les tiges et les rhizomes qui s'y trouvaient, il aurait été hors de question d'en faire usage. Les tiges utilisées pour cette expérience ont été préalablement déchiquetées puis incorporées aux boues dans un rapport 1 : 2 (masse). Quant aux rhizomes, 72 fragments avec au moins trois bourgeons ont été insérés dans des sacs-filets puis incorporés au mélange tiges-boues durant le compostage. Le processus de compostage a duré 18 jours au cours desquels les tiges et les rhizomes de roseau ont été exposés à des températures moyennes de 52 °C. D'autres tests d'exposition de rhizomes à des températures élevées (40 à 55 °C, 12 à 24 heures) ont aussi été effectués en laboratoire. Aucun fragment de rhizome n'a survécu au processus de compostage. Au four, tous les fragments de rhizome testés sont morts après une exposition à une température de 50 °C pendant 24 heures ou de 55 °C pendant 12 heures. Cette expérience suggère qu'il est possible de composter sans risque des fragments de rhizome, mais son contexte très particulier et, surtout, le fait qu'on ait fait usage de fragments de petites dimensions et non de rhizomes de fort gabarit, comme on est susceptible d'en trouver en quantité dans des sols excavés, devrait inciter à la prudence.

BIOÉNERGIE

Il existe une étude assez substantielle (Van Meerbeek et al. 2015) sur le potentiel bioénergétique des résidus de plantes envahissantes communément rencontrées au Québec, soit la **berce du Caucase** (*Heracleum mantegazzianum*), l'**impatiente glanduleuse** et la **renouée du Japon**. Les plants de ces espèces ont été récoltés dans des sites envahis de la Belgique, séchés, moulus, tamisés puis compressés en granules d'un poids de 0,5 g. Les granules ont ensuite été mélangées à des boues issues du processus de traitement des eaux d'une usine dans un rapport 1 : 1 (masse). Ce mélange a été déposé dans de petits réacteurs de 1 L où s'est mis en place un processus de digestion anaérobie permettant de générer, à une température de 37 °C et durant 40 jours, un biogaz (méthane). C'est la renouée du Japon qui produit le plus de biomasse et la plus grande quantité de méthane par kilogramme de matière sèche ou à l'hectare (**Tableau 2**). Mais dans les trois cas, la production énergétique brute à l'hectare est comparable à celle du soya cultivé pour la fabrication de biodiesel ou du maïs pour l'éthanol. Les auteurs de cette étude concluent toutefois leur article par une mise en garde à l'effet que l'usage de résidus de ces plantes pour la production d'énergie pourrait éventuellement favoriser leur culture et, par voie de conséquence, une accélération des invasions qu'elles génèrent.

Il existe un modèle théorique (Hansson et Fredriksson 2004) sur le rendement énergétique en production de biogaz pour le **roseau commun**. Ce rendement se chiffrerait à 5,2 MJ kg⁻¹ de matière sèche, rendement que l'on réduit à 4,1 MJ kg⁻¹ si l'on tient compte des dépenses énergétiques requises pour la récolte, le transport et le traitement de la biomasse. À titre comparatif, le rendement (mesuré en laboratoire) de la renouée du Japon est de 17,7 à 19,2 MJ kg⁻¹ (Van Meerbeek et al. 2015, Jasinskis et al. 2016). Malgré tout, le rendement du roseau commun est jugé très acceptable (Hansson et Fredriksson 2004) et, au Québec, les perspectives quant à l'utilisation de cette espèce pour une production rentable de biogaz sont bien meilleures que pour celles de la renouée du Japon, étant donné les vastes superficies de roselières qui existent déjà et qui sont facilement accessibles, surtout dans la région de la

Montréal. On a d'ailleurs évalué que les roseaux de la région de Montréal ont un rendement énergétique de 16,9 MJ kg⁻¹, comparable à celui du **panic raide** (*Panicum virgatum*), une plante indigène au Québec et qui est cultivée pour la production de bioénergie (Vaičekonytė et al. 2013). Par contre, la réserve manifestée par Van Meerbeek et al. (2015) quant à l'utilisation de plantes exotiques envahissantes pour la production d'énergie s'impose tout autant pour le cas du roseau que pour celui de la renouée. Aussi, bien qu'il n'y ait encore aucune réglementation régissant la commercialisation des plantes exotiques envahissantes au Québec, un article sera probablement ajouté prochainement à la Loi sur la qualité de l'environnement du Québec (chapitre Q-2) qui donnera le pouvoir au Gouvernement du Québec de régir ou prohiber la culture, la vente, l'usage et le transport d'espèces floristiques envahissantes déterminées et dont l'établissement ou la propagation dans l'environnement est susceptible de porter préjudice à l'environnement ou à la biodiversité. L'utilisation de plantes exotiques envahissantes pour la production d'énergie serait possiblement encadrée voire même interdite (I. Simard, communication personnelle).

Tableau 2. Biomasse et contenu en eau des populations de trois plantes exotiques envahissantes en Belgique, et résultats d'un test de digestion anaérobie ayant eu pour effet de produire un biogaz (méthane). Adapté de Van Meerbeek et al. (2015).

| Espèce | Biomasse (tonne de matière sèche ha ⁻¹) | Contenu en eau (%) | Production de méthane (L _N kg ⁻¹ de matière organique sèche) ¹ | Production énergétique brute (GJ ha ⁻¹ an ⁻¹) |
|------------------------|---|--------------------|---|--|
| Berce du Caucase | 6,0 | 88 | 139 | 108 |
| Impatiente glanduleuse | 5,8 | 93 | 220 | 95 |
| Renouée du Japon | 8,6 | 79 | 279 | 165 |

1. La quantité de méthane produite est exprimée en valeurs normalisées, c'est-à-dire en **litres normaux** (L_N) par kilogramme de matière organique sèche, supposant une unité standard de volume de gaz L_N (ou m³) dans des conditions normales, soit une pression atmosphérique de 1 bar et une température de 0 °C.

AUTRES VALORISATIONS POSSIBLES

Le **roseau commun** fait l'objet de bien d'autres usages, mais il est difficile de les envisager en l'absence d'une source d'approvisionnement stable et régulière provenant soit d'un champ en culture, soit d'un programme régulier de récolte de tiges dans des roselières déjà en place dans des marais, des friches ou sur le talus des routes. Il serait risqué pour une entreprise de valorisation des produits de transformation du roseau de ne compter pour sa matière première que sur les seuls projets d'éradication occasionnels, ces derniers étant beaucoup trop aléatoires. La récolte du roseau sur une base plus régulière demande des autorisations gouvernementales (culture, fauche dans les marais) ou engendre des problèmes de sécurité (récolte en bordure des routes) qu'il n'est pas toujours facile d'obtenir ou de surmonter.

Parmi les différents usages des tiges du roseau commun, le plus fréquent est la construction de **toits de chaume**, une pratique qui, quoique très marginale au Québec, gagne en popularité. Elle est beaucoup plus répandue en Europe où l'on récolte chaque année dans les

roselières jusqu'à 11 millions de bottes² de roseau pour les toits. La demande excède l'offre, au point que l'Allemagne et le Royaume-Uni importent du roseau en provenance d'Europe de l'Est (Köbbing et al. 2013). Au moins une entreprise québécoise (Couvre Toit DR inc.) prétend offrir des toits de chaume de roseau, du moins selon les informations contenues dans son site internet.

On peut utiliser le roseau commun comme **matériau pour l'isolation** des maisons, la fabrication de **panneaux de construction** ou de **clôtures**, ou la production de **papier** (Köbbing et al. 2013). Ces usages sont assez répandus en Europe, mais au Québec, rares sont ceux qui ont tenté de valoriser les produits du roseau (Kiviat 2013). Une entreprise s'y est essayé (Technophrag inc.), mais le Registre des entreprises du Québec indique qu'elle a été volontairement dissolue le 18 février 2016. Il est possible que les difficultés associées à un approvisionnement stable en tiges de roseau aient été à la cause de cette dissolution. Le roseau pourrait aussi être utilisé comme **fouillage** ou **fertilisant**, mais on imagine mal la culture de cette plante ou son épandage en terres agricoles compte tenu de son caractère très envahissant. Enfin, le roseau vivant est très fréquemment utilisé comme végétal dans les **marais filtrants** ou autres dispositifs de **traitement des eaux usées** (Köbbing et al. 2013). Une entreprise québécoise (HG Environnement inc.) offrait jusqu'à tout récemment un système de traitement domestique (Le Roseau épurateur) à base de roseau, mais toujours selon le Registre des entreprises du Québec, cette entreprise est maintenant en faillite. Le procédé aurait été repris par l'entreprise Epurika inc.

Gestion des sols

La gestion des sols contenant des graines et des rhizomes de plantes exotiques envahissantes est une chose extrêmement difficile et pour laquelle il existe très peu de littérature scientifique. Cela s'explique aisément : gérer d'importants volumes de sol est une entreprise très coûteuse. Le contexte où les sols sont excavés permet rarement d'élaborer des travaux expérimentaux avec témoins. Le succès des expériences n'est souvent identifiable qu'après de nombreuses années : par exemple, les rhizomes de **roseau commun** peuvent survivre jusqu'à six ans (Haslam 1972). Il existe une donnée très fréquemment véhiculée, mais d'origine obscure – Environment Agency (2013) parle de « *unconfirmed observations* » – à l'effet que les rhizomes de **renouée du Japon** peuvent rester viables jusqu'à 20 ans, ce que la littérature scientifique ne relève pas. Il est toutefois vraisemblable que les rhizomes de cette espèce puissent demeurer vivants quelques années. Faute de tests expérimentaux solides, il faut se rabattre sur des essais de gestion des sols qui sont documentés dans quelques rapports qui ne sont pas revus par les pairs et qui sont par essence un peu moins fiables. Les procédés proposés ne sont pas nécessairement douteux, mais ils ont souvent un caractère anecdotique et doivent donc être considérés avec prudence.

Il faut par ailleurs savoir que la deuxième édition du *Guide sur l'utilisation de matières résiduelles fertilisantes pour la restauration de la couverture végétale de lieux dégradés*, présentement en préparation au MDDELCC, précise que les matières, les sols et les matières résiduelles fertilisantes apportés sur un lieu dégradé (voir section sur le compost) doivent être exempts de graines ou de rhizomes de plantes exotiques envahissantes. Dans le cas où des sols sont excavés et apportés directement sur le site, sans passer par un lieu de transbordement, on

2. Une **botte** a une taille de 1,2 à 1,7 m, une circonférence de 65 cm, un diamètre de 20 cm et un poids de 4 à 6 kg. Selon le contenu en eau, une tonne de roseau commun équivaut à 160–220 bottes. En Europe, on récolte entre 750 et 1000 bottes à l'hectare dans les roselières (Köbbing et al. 2013).

doit prendre les précautions nécessaires afin de s'assurer que ces sols ne contiennent pas ces plantes. Les sols contenant des plantes exotiques envahissantes doivent plutôt être éliminés conformément aux dispositions du *Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés* ou du *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles* (Loi sur la qualité de l'Environnement du Québec, chapitre Q-2, r. 18 et r 19). Enfin, les sols touchés par des plantes envahissantes peuvent être éliminés dans un lieu d'élimination, mais ne doivent pas être utilisés pour le recouvrement final. Ils peuvent également être enfouis sur place, dans des secteurs où des travaux d'excavation sont prévus et dans une fosse, s'ils sont recouverts de 1 m de matériel non contaminé par des plantes exotiques envahissantes. Le MDDELCC exige toutefois que l'enfouissement soit fait à au moins 50 m des cours d'eau, des plans d'eau, des milieux humides et là où se trouvent des espèces menacées ou vulnérables. Toute machinerie excavatrice ayant été en contact avec ces plantes doit ensuite être nettoyée de toute boue, plante ou animaux (insectes, nématodes, excréments, etc.) avant d'être utilisée dans des secteurs non touchés.

ENFOUISSEMENT SIMPLE

Enfouir des résidus végétaux sous une couche de sol d'une certaine épaisseur est une méthode assez simple pour s'en débarrasser et probablement efficace dans la plupart des cas. Les graines des plantes nuisibles en agriculture peuvent tolérer un faible enfouissement, mais une couche de sol aussi mince que 12 cm d'épaisseur peut être suffisante pour inhiber leur germination, probablement en raison de fluctuations thermiques et d'échanges gazeux trop faibles pour déclencher le processus à cette profondeur (Benvenuti et al. 2001). Cette valeur de 12 cm n'est toutefois pas absolue, car des graines de nuisances aux cultures ont pu survivre pendant au moins 17 ans enfouies sous 20 cm de sol au Nebraska (Burnside et al. 1996). Aussi, plus les graines sont grosses, plus elles ont de réserves et plus elles sont en mesure de tolérer un enfouissement en profondeur sur de longues périodes de temps (Benvenuti et al. 2001).

Il est plus compliqué d'enfouir des rhizomes puisque ceux-ci peuvent, évidemment, survivre dans le sol. Il faut donc en théorie les enfouir plus profondément que la profondeur maximale qu'ils peuvent naturellement atteindre à partir de la surface. Dans le cas de la **renouée du Japon**, les profondeurs maximales atteintes par les rhizomes sont d'environ 2 à 3 m (Barney et al. 2006), alors que les rhizomes du **roseau commun** sont surtout concentrés dans le premier mètre en surface (Mal et Narine 2004). Toutefois, en sol meuble (organique), les rhizomes peuvent atteindre des profondeurs beaucoup plus grandes, parfois plusieurs mètres (C. Lavoie, observation personnelle). On ne connaît pas les profondeurs atteintes par les rhizomes de ces espèces dans les différents types de sols du Québec, mais les valeurs mentionnées ci-haut sont probablement valables.

Il n'existe pas de recommandations claires basées sur des faits scientifiques avérés quant aux profondeurs d'enfouissement requises pour éliminer des plantes exotiques envahissantes. Le Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports du Québec demande, dans sa norme 3101, que l'on enfouisse les matériaux de déblai contenant des fragments de **roseau commun** à plus de 2 m de profondeur dans un site autorisé par le ministère (mais sur place). Cette profondeur est probablement suffisante, mais il n'existe de pas de preuve scientifique qu'elle soit efficace à 100 % pour tuer tous les rhizomes. Un test d'enfouissement effectué au parc national des Îles-de-Boucherville, au Québec, a néanmoins montré que l'extraction du sol sous un clone de roseau, puis son enfouissement sous 50 cm de sol argileux non contaminé par la plante étaient suffisants pour réduire la densité des tiges de plus de 95 %,

une performance comparable à celle des herbicides. Cette mesure ne permet pas d'éliminer totalement le roseau, mais la lutte subséquente en est grandement facilitée (Karathanos 2015).

Pour la **renouée du Japon**, l'Environment Agency (2013) recommande une profondeur d'enfouissement d'au moins 5 m, mais il s'agit plus d'une mesure très sécuritaire que d'une profondeur reposant sur des tests expérimentaux. D'autres gestionnaires de l'environnement (Frisson et al. 2010) suggèrent une profondeur de 10 m, une mesure nettement exagérée et sans fondement scientifique. À des profondeurs moindres (autour de 5 m), il pourrait être prudent de recouvrir le matériel enfoui avec une géomembrane obstruant tout passage vers la surface des tiges qui pourraient malgré tout émerger des rhizomes (Environment Agency 2013). Il existe au Royaume-Uni – un pays où la renouée du Japon est très présente – des entreprises qui se spécialisent dans des barrières anti-racines de renouée (*root barrier*), mais l'examen de leurs fiches techniques, comme celle de la Dendro-Scott™, montre qu'il ne s'agit en fait que de géomembranes de polyéthylène de haute densité qu'on trouve facilement sur le marché au Québec. Il n'existe néanmoins aucune preuve que ces membranes, au demeurant assez chères (environ 3 \$ du m²), sont absolument essentielles.

ENFOUISSEMENT AVEC ENCAPSULAGE

L'Environment Agency (2013) suggère, lorsqu'il est impossible d'enfouir à au moins 5 m de profondeur la **renouée du Japon**, d'encapsuler les sols contaminés avec des rhizomes dans une géomembrane, puis de recouvrir le tout d'une couche de sol. De façon plus précise, il s'agit de faire une vaste cuvette dans laquelle on épand une couche de sable, puis une géomembrane pour en faire une piscine, puis une nouvelle couche de sable. Le sable a pour effet de protéger la géomembrane lors du passage de la machinerie lourde. On dépose ensuite le sol contaminé et on scelle le tout avec une géomembrane puis une couche de sol épaisse d'au moins 2 m. L'opération est décrite avec plusieurs photographies dans le document produit par l'Environment Agency (2013). Les sites avec encapsulage devraient être minutieusement arpentés pour éviter qu'ils ne soient perturbés par la suite. Il est assez probable que cette opération soit suffisante pour empêcher la repousse de la renouée, mais outre son caractère onéreux, son efficacité n'a jamais été scientifiquement testée.

CRIBLAGE – CONCASSAGE

Il existe, pour les ouvrages de grande envergure, une technique d'élimination des rhizomes de **renouée du Japon** qui permet de traiter et de réutiliser de grands volumes de sol, soit la technique du criblage – concassage. Elle a d'abord été développée en France et est maintenant aussi utilisée en Allemagne, au Royaume-Uni et en Suisse. La méthode originale (Boyer 2009) faisait appel à un godet cribleur-concasseur monté sur une tractopelle, un appareil assez dispendieux (autour de 50 000 \$) et qui n'est pas en vente au Québec. Cet appareil ne permet pas de traiter rapidement de grands volumes de sol, tout au plus 60 m³ à l'heure. Le nombre de traitements du sol dans le godet est élevé (jusqu'à cinq répétitions) et son rendement (efficacité pour tuer les rhizomes) discutable (Boyer 2009, 2013). La méthode a depuis été perfectionnée pour faire usage d'engins couramment utilisés dans les grands chantiers de construction, machinerie qui est parfois déjà en place lors de l'exécution des travaux. Dans ce contexte, l'opération consiste à (1) cribler les matériaux (le sol) afin de séparer la partie fine (réutilisable) de

la partie grossière contenant un mélange de graviers, de galets et de renouée, (2) concasser (broyer) finement les matériaux contaminés avec un concasseur et (3) stocker ces matériaux en attendant leur réutilisation pour un nouveau chantier, ou leur enfouissement sur place ou vers un site prévu à cet effet. La procédure décrite ci-dessous est extraite de Guérin et al. (2014), un document abondamment illustré de photographies et accessible sur internet.

- **ÉTAPE 1** : faucher la renouée (ou les autres plantes exotiques envahissantes) et disposer des résidus végétaux (voir la section sur la gestion des résidus).
- **ÉTAPE 2** : extraire le sol contenant des rhizomes de renouée avec une rétrocaveuse, puis le cribler avec un tamis rotatif (ou *trommel*), c'est-à-dire un engin de chantier conçu pour séparer les matériaux en deux catégories différentes, soit la partie contenant les éléments grossiers, dont les rhizomes et le système racinaire des renouées, puis la partie fine que l'on présume exempte de renouée. La grille du tamis utilisée est de 20 mm. Il existe d'autres tamis industriels pour chantiers, non rotatifs ceux-là, qui font probablement le même travail.
- **ÉTAPE 3** : le refus de criblage, contenant des sédiments, des rhizomes de renouée et des résidus végétaux divers, est ensuite broyé (concassé) afin de neutraliser les rhizomes à l'aide d'un concasseur.
- **ÉTAPE 4** : les matériaux ayant été concassés sont ensuite envoyés dans un nouveau cribleur équipé cette fois d'une grille de 10 mm.
- **ÉTAPE 5** : la partie fine de 0–10 mm issue du second criblage est considérée exempte de rhizomes vivants. La partie plus grossière est renvoyée dans le concasseur pour un nouveau traitement (et ainsi de suite si nécessaire).
- **ÉTAPE 6** : des contrôles de l'efficacité du criblage – concassage sont réalisés à ce stade (mise en culture du broyat).
- **ÉTAPE 7** : si les tests montrent une absence totale de viabilité des fragments de rhizome, les matériaux testés sont alors destinés à l'usage prévu.

Boyer (2013) soutient qu'il est nécessaire de laisser les matériaux traités sous géomembrane pendant au moins 24 mois pour tuer tous les rhizomes, mais sa technique produit des fragments d'une taille moyenne de 8 cm qui, comme je l'ai expliqué plus haut, sont suffisamment grands pour se régénérer facilement. Guérin et al. (2014) mentionnent pour leur part que leur traitement est efficace à 100 % (détruit tous les rhizomes), mais le test de viabilité n'est pas décrit et aucune preuve n'est fournie à l'appui de cette affirmation. Par contre, les fragments générés (< 1 cm) sont effectivement sous la taille limite connue pour qu'il y ait régénération.

Évidemment, pour mobiliser autant de machineries lourdes, les volumes de sol à traiter doivent être conséquents. Dans l'expérience de traitement de Guérin et al. (2014), qui s'est faite en 2014 et 2015 dans le cadre d'un projet de restauration environnementale des berges d'une petite rivière (l'Yzeron), 21 500 m³ de sol ont été traités. Si l'on émet l'hypothèse qu'il faille enlever, par mesure de sécurité, le sol sous les clones de renouée du Japon sur une profondeur d'au moins 3 m, alors cela correspond approximativement à une superficie de 7 200 m². J'ai fait évaluer par quelques entreprises québécoises (Bricon 175784 Canada inc., Excavation R. Toulouse et Fils inc., Maxi-Paysage inc. – Les Excavations C.A.T. inc.) le coût du traitement

d'un volume de sol comparable selon la procédure expliquée plus haut. Il était entendu que la machinerie était louée (avec opérateurs) et transportée sur place. Le coût d'une telle opération est difficile à estimer avec précision (dépend de la nature du sol ; plus difficile en présence d'argile), mais varierait entre 172 000 et 400 000 \$, taxes non incluses (coût le plus probable autour de 250 000 \$).

Il existe une technique plus simple, pour de plus petits volumes de sols (ceux par exemple entourant une résidence), où un tamisage du sol est effectué par une petite unité mobile (Xtract™). Cette unité est brevetée au Royaume-Uni, aux États-Unis et au Canada (Canada : N. Seal et D. Rudland, CA 2719960, 2 février 2016). On retire d'abord le sol avec une rétrocaveuse. On le dépose sur un convoyeur vibrant qui l'achemine vers un tamis, vibrant lui aussi et avec une mèche d'une dimension de 10 mm (idéalement). Le sol qui passe au travers du tamis est considéré sain (sans rhizome). Ce qui reste dans le tamis est transporté par un autre convoyeur vibrant le long duquel des opérateurs retirent à la main les rhizomes de renouée du Japon par examen visuel. Ce que les opérateurs ne retiennent pas est chauffé, puis acheminé vers un détecteur à infra-rouge pour une détection supplémentaire des rhizomes qui auraient pu franchir le filtre de l'examen visuel. Si un rhizome est détecté, alors une alarme sonne puis un opérateur vient le retirer. Une entreprise du Royaume-Uni (Environet UK Ltd) propose cette solution à ses clients³.

EFFET DES HERBICIDES SUR LES RHIZOMES

La lutte contre la plupart des plantes à rhizomes, *a fortiori* celles qui ont un caractère envahissant, est toujours une entreprise difficile, car atteindre les parties souterraines de ces végétaux représente un défi. La façon la plus simple d'y arriver est d'utiliser des herbicides systémiques dont l'ingrédient actif pénètre les tissus de la plante et est transporté dans les différents organes, et notamment les rhizomes, par la sève.

Tous les herbicides, sans exception, sont des produits toxiques pour l'environnement et doivent être utilisés de façon responsable par du personnel qualifié. Malgré les prétentions de certains fabricants, il n'existe aucun herbicide "écologique", pour autant qu'on puisse en faire une définition sensée sur la base de critères scientifiques. Au Québec, un certificat est exigé des utilisateurs de pesticides. Pour obtenir un certificat (il existe plusieurs catégories) du MDDELCC, une personne doit avoir réussi au préalable l'examen prescrit ou reconnu par le ministre. L'entrepreneur ou l'organisme qui achète le pesticide doit aussi détenir un permis du ministère qui est accordé si une personne au sein de l'entreprise ou de l'organisme détient un certificat.

Toujours au Québec, l'utilisation des pesticides est régie par un code de gestion officiel. Selon ce code (Loi sur les pesticides, chapitre P-9.3, a. 101, 104, 105, 105.1, 106, 107 et 109), il est interdit d'appliquer un pesticide à des fins autres qu'agricoles à moins de 3 m d'un cours ou plan d'eau. L'expression cours ou plan d'eau comprend un cours d'eau à débit intermittent, un étang, un marais, un marécage ou une tourbière, mais elle ne comprend pas les fossés de drainage ; toute distance relative à un cours ou plan d'eau est mesurée à partir de la ligne naturelle des hautes eaux telle que définie par la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables du Québec*. En outre, une dépression en long (fossé) creusée dans le sol et qui est utilisée aux seules fins de drainage et d'irrigation, y compris pour une voie publique, qui n'existe qu'en raison d'une intervention humaine et qui comporte un bassin versant de 100 ha ou plus est

3. Une vidéo montre l'unité mobile en opération : <http://www.environetuk.com/Japanese-Knotweed-Solutions/Removal-Methods/Xtract> (au 3 mars 2017).

assujettie à l'obtention d'un certificat d'autorisation du MDDELCC avant épandage de pesticides, car considérée comme cours d'eau à débit intermittent. En pratique, toutefois, de tels cas (≥ 100 ha) sont rares (Ville de Lévis, J. Carrier, communication personnelle).

Les herbicides ont, en général, une grande efficacité sur les plantes exotiques envahissantes, mais parviennent difficilement, à eux seuls, à éradiquer une population d'individus vaste ou très dense. C'est particulièrement vrai des plantes à rhizome. Pour le cas des plantes à rhizome qui sont les plus problématiques au Québec, soit la **renouée du Japon** et le **roseau commun**, les études sont claires : on parvient rarement à éradiquer une population bien établie avec un herbicide, sauf peut-être après utilisation répétée sur de nombreuses années (Bashtanova et al. 2009, Hazelton et al. 2014, Clements et al. 2016). Avec le glyphosate et l'aminopyralide – metsulfuron, les seuls herbicides homologués au Canada pour la lutte contre la **renouée du Japon** selon l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire⁴, les taux d'élimination varient beaucoup. Ils peuvent être aussi faibles que 54 % et atteindre dans quelques cas 100 %, mais lorsque le clone n'est pas totalement tué par une dose massive et répétée, la repousse peut être vigoureuse si les traitements ne sont pas poursuivis (Hagen et Dunwiddie 2008, Rudenko et Hulting 2010, Delbart et al. 2012). Pour le glyphosate et l'imazapyr, les herbicides homologués au pays pour la lutte contre le **roseau commun** (hors milieu humide), les taux d'élimination varient entre 82 et 99 % (Turner et Warren 2003, Derr 2008a, 2008b, Mozdzer et al. 2008, Knezevic et al. 2013). S'il est effectivement possible d'éradiquer des clones de petite taille avec un herbicide ou lors de traitements expérimentaux hors champ (Knezevic et al. 2013), d'autres peuvent persister même après sept années de traitement (Lombard et al. 2012).

En somme, un traitement répété aux herbicides, fait par un professionnel au bon moment et avec la bonne dose, peut venir à bout d'un petit clone de plante à rhizome. Par contre, dans le cas des vastes (plusieurs centaines de mètres carrés) roselières ou des grands clones (dizaines de mètres carrés) de renouée du Japon, il est improbable qu'un traitement puisse garantir la mort de la plante, du moins sur une période de deux ans. Il serait à mon avis imprudent d'utiliser un sol avec rhizomes de roseau commun et de renouée du Japon si le seul traitement fait sur les feuilles a été l'usage d'un phytocide. Le risque de propagation par le système racinaire est alors bien réel.

4. <http://pr-rp.hc-sc.gc.ca/lr-re/index-fra.php> (au 2 mars 2017).

Conclusions et recommandations

Dans un champ d'étude comme la gestion des résidus végétaux et sols contaminés par des plantes exotiques envahissantes où les recherches de nature appliquée sont si peu avancées, il est extrêmement difficile de tirer des conclusions définitives et faire des recommandations fermes quant à leur traitement et usage. Tout au plus pouvons-nous émettre des hypothèses quant aux risques associés à l'utilisation des résidus et la disposition des sols, risques qu'il faudrait évaluer de façon plus précise avec des tests additionnels. Je reprendrai ici chacun des éléments du mandat et émettrai une opinion professionnelle au regard des connaissances actuelles, en indiquant son niveau d'incertitude.

QUELS SONT LES RISQUES ?

Associés à l'enfouissement sur place de sols contenant des restes de plantes exotiques envahissantes et leur système racinaire ?

- L'enfouissement simple, sans autre mesure de protection qu'une couche de sol sus-jacente d'une certaine épaisseur, est probablement une mesure adéquate pour dévitaliser les tiges et les graines des plantes exotiques envahissantes, du moins celles qu'on trouve au Québec. On ne connaît pas l'épaisseur minimale requise pour les plantes de la province, mais une épaisseur de 50 à 100 cm est probablement suffisante dans la plupart des cas.
- Pour les rhizomes, en particulier ceux de la **renouée du Japon** et du **roseau commun**, il est nécessaire de les recouvrir avec de fortes épaisseurs de sol sain (non contaminé), au moins 3 m dans le cas de la renouée, 1 m dans le cas du roseau. On ne peut exclure l'hypothèse que dans un cas comme dans l'autre, de telles épaisseurs ne soient pas suffisantes, mais comme aucun test expérimental d'enfouissement n'a été effectué, on ne connaît pas les épaisseurs critiques pour ces espèces. Il est aussi certain qu'elles varient selon la nature du sol (plus ou moins meuble). Les épaisseurs recommandées dans la littérature ou selon certaines normes (renouée : au moins 5 m ; roseau : au moins 2 m) sont des estimations prudentes mais qui ne reposent pas sur des preuves scientifiques.
- L'enfouissement avec géomembrane en toile de recouvrement (enfouie et déposée au-dessus des rhizomes) ou avec encapsulage est une solution qui est probablement efficace pour empêcher les rhizomes de produire des tiges, mais à forte profondeur d'enfouissement, il n'existe aucune donnée scientifique prouvant son absolue nécessité. À de faibles profondeurs (**renouée du Japon** : < 3 m ; **roseau commun** : < 1 m) et avec simple toile de recouvrement, il est possible que les rhizomes enfouis poussent à l'horizontale jusqu'à la limite de la zone recouverte, puis produisent des tiges, surtout si le sol est meuble (**Figure 1**). Enfouir une géomembrane est discutable d'un point de vue environnemental puisqu'elle ne se décompose

que très lentement. Par contre, sous un ouvrage construit (stationnement asphalté, édifice, etc.), son impact est moindre puisque la surface du sol est de toute manière dévégétalisée et imperméabilisée.



Figure 1. Rhizome de **roseau commun** en sol organique s'étant étendu au-delà de la surface d'une géomembrane enfouie sous 1 m de sol. Il n'a suffi que de quelques semaines au cours de la saison de croissance ayant suivi l'enfouissement de la géomembrane pour que l'on observe ce phénomène (photographie : F. Messier).

- L'enfouissement d'un sol après processus de criblage – concassage semble une mesure prometteuse, mais elle n'est applicable que sur les grands chantiers en raison de son coût très élevé. Aucune donnée scientifique crédible, accessible au public, ne permet d'affirmer que la procédure est efficace pour détruire tous les rhizomes, malgré ce qu'en prétendent les promoteurs. L'hypothèse est plausible mais pas véritablement testée.
- Les opérations d'enfouissement comportent toujours des risques puisque la machinerie lourde est susceptible de fragmenter et de propager les rhizomes qui peuvent ainsi se retrouver à de moins grandes profondeurs que celles voulues. Elles doivent toujours se faire avec des opérateurs expérimentés et sous supervision étroite d'un professionnel spécifiquement formé pour repérer la couche des rhizomes à extraire et ainsi guider l'opérateur dans son travail. La machinerie doit être lavée (chenilles, pelle) sur place avant son transbordement et les fragments de tiges et de rhizomes récupérés : le lavage prend du temps et est une procédure rarement

appréciée des entreprises de construction en raison de sa complexité sur les chantiers. Le MDDELCC demande, règle générale, que le nettoyage soit fait dans un secteur non propice à la germination des graines et à au moins 50 m des milieux humides, des plans d'eau, des cours d'eau et de populations d'espèces menacées ou vulnérables.

Associés au compostage de restes de plantes exotiques envahissantes et des systèmes racinaires ?

- Les procédés de compostage industriels sont fort probablement efficaces pour dévitaliser les graines et les tiges des plantes exotiques envahissantes du Québec en raison de la forte chaleur dégagée lors d'un processus de décomposition qui est, par ailleurs, de longue durée. Par contre, les tests expérimentaux le prouvant hors de tout doute sont très rares.
- Ces mêmes procédés industriels sont probablement efficaces pour dévitaliser les rhizomes de **renouée du Japon** et de **roseau commun** s'ils sont de petite taille (quelques centimètres). Il est possible qu'il en soit aussi ainsi pour les rhizomes de grande taille, mais il n'existe aucune donnée permettant de l'affirmer et le risque est forcément plus élevé.

Associés à la valorisation des sols contenant des systèmes racinaires de plantes exotiques envahissantes, notamment par la production de terreaux ?

- Il n'existe à ma connaissance aucune étude publiée dans une revue scientifique avec comité de lecture où l'on a évalué l'intérêt d'un sol contenant des systèmes racinaires de plantes exotiques envahissantes pour un usage quelconque, notamment la production d'un terreau. Ce serait, au demeurant, une entreprise risquée dans l'état actuel des connaissances sur la décontamination de tels sols.

Associés à la valorisation de boues d'étang d'aération ou de décantation contenant des plantes exotiques envahissantes ?

- Il n'existe à ma connaissance aucune étude publiée dans une revue scientifique avec comité de lecture où l'on a évalué le potentiel de boues d'étang d'aération ou de décantation contenant des plantes exotiques envahissantes pour un usage quelconque, sinon dans le cas d'un marais filtrant avec **roseau commun** pour amendement de sol. La recherche en ce domaine est extrêmement embryonnaire.

Associés à l'utilisation de sols contenant les systèmes racinaires de plantes exotiques envahissantes préalablement contrôlées par l'application d'herbicides homologués ?

- Même si l'efficacité des herbicides dans la lutte aux plantes exotiques envahissantes est en générale assez élevée, il est rare qu'une plante à rhizome soit éradiquée grâce à la seule application de quelques traitements sur un petit nombre d'années. Le risque de réinfestation associé à l'utilisation subséquente du sol contenant ces rhizomes est donc élevé, du moins au regard des connaissances actuelles.

RECOMMANDATIONS

Compte tenu de l'état d'avancement des recherches dans la gestion des résidus végétaux et des sols contaminés par des plantes envahissantes, on ne sera guère surpris que je suggère l'acquisition de davantage de connaissances en la matière de façon à ce que les gestionnaires de l'environnement puissent mieux évaluer les risques. Il serait d'abord nécessaire d'identifier les espèces qui sont les plus susceptibles de poser des problèmes de gestion au Québec pour mieux orienter les recherches. Certaines plantes figurent à coup sûr dans cette liste, comme évidemment la **renouée du Japon** et le **roseau commun**, mais aussi la **berce du Caucase**, l'**impatiente glanduleuse** et les **nerpruns bourdaine** (*Frangula alnus*) et **cathartique**. D'autres nuisances seront peut-être bientôt en émergence dans un contexte climatique de plus en plus chaud. Ensuite, les travaux devraient se concentrer sur les deux sujets suivants pour les résidus végétaux :

- **Évaluer l'effet du compostage sur les tiges, les graines et les rhizomes de plantes exotiques envahissantes.** Deux entreprises de compostage m'ont révélé refuser, par prudence, les résidus végétaux de plantes exotiques envahissantes. Comme je l'ai mentionné plus haut, il est probable que les craintes pour les résidus constitués de tiges et de graines ne soient pas fondées, mais on peut comprendre la réticence des entreprises à accepter ces résidus en l'absence de preuves formelles. Des tests de compostage seraient quelque chose d'assez simple à faire en collaboration avec une entreprise utilisant un processus standard. Aussi, même s'il est improbable que les entreprises de compostage reçoivent une grande quantité de rhizomes avec les résidus, il est tout à fait possible que cela arrive à l'occasion. Or, on ne connaît presque rien de l'effet du compostage sur la vitalité des rhizomes, surtout ceux n'ayant pas été fragmentés au préalable. Faire des tests avec des morceaux de rhizome de grandes dimensions, récoltés à différentes périodes de l'année, au moment où ils ont épuisé leurs réserves (fin du printemps) ou se sont regarnis en sucres (automne), serait essentiel avant de suggérer le compostage comme mesure d'élimination des résidus.
- **Développer une méthode de solarisation à grande échelle et déterminer ses effets sur la vitalité des tiges, des graines et des rhizomes de plantes exotiques envahissantes.** Pour des raisons qu'il est difficile de comprendre, la solarisation de résidus végétaux de plantes envahissantes n'a jamais, à ma connaissance, été envisagée à grande échelle. Or, en l'absence d'usine de compostage à proximité ou lorsque le transport des résidus n'est pas une option envisageable en raison des coûts, ce procédé pourrait être intéressant, en autant qu'on dispose d'un endroit pour épandre les résidus et d'un peu de temps pour que le processus ait le temps de faire ses effets. Ce n'est pas en soi quelque chose de très difficile à développer, mais il faut trouver une façon d'adapter pour de gros volumes de résidus des procédés qui, comme la tente solaire, ont démontré une certaine efficacité pour le traitement de petits volumes. Il serait même possible d'envisager une méthode de solarisation de sols contaminés avec des rhizomes, peut-être en combinaison avec d'autres techniques d'éradication (herbicides).

Je ne recommande pas de mettre en valeur la biomasse de plantes exotiques envahissantes par la production de bioénergie. Les quelques travaux ayant été effectués à ce jour montrent qu'il y a un potentiel de production d'énergie avec la biomasse produite par la **renouée du Japon**

et le **roseau commun**, et peut-être aussi par d'autres espèces qui sont de plus en plus abondantes au Québec, comme l'**impatiente glanduleuse**. Avant de l'utiliser à cette fin, il faudrait toutefois s'assurer au préalable que les installations requises pour la transformation de la biomasse en énergie existent à proximité des sites où se trouvent d'importantes populations de ces plantes. Il n'est pas certain qu'un marché existe pour cette source d'énergie, surtout si elle n'est pas produite à bas coût. Enfin, et c'est probablement le problème le plus important, il est difficile d'envisager qu'une entreprise se lance dans cette aventure sans source d'approvisionnement suffisante et régulière : la fauche répétée de sites envahis ou la culture à des fins commerciales devront forcément être discutées.

L'utilisation commerciale de plantes exotiques envahissantes est une question controversée. Plusieurs chercheurs font valoir qu'il y a là une ressource beaucoup trop importante en matière de production de bioénergie pour ne pas envisager son exploitation, et qu'il est possible de la faire de manière sécuritaire (Raghu et al. 2006, Barney et DiTomaso 2008, DiTomaso et al. 2013). Certains soutiennent même que la fauche répétée d'envahisseurs végétaux dans les espaces naturels en vue d'en faire des biocarburants permettrait de restaurer la biodiversité d'origine (Lishawa et al. 2015). Pour ma part, ma perspective en tant que spécialiste des invasions biologiques et ma connaissance des effets de ces plantes sur la biodiversité et les activités humaines ne m'incitent pas à recommander les utilisations commerciales, les inconvénients (accélération des invasions) surpassant à mon avis les bénéfices potentiels. Je reconnais toutefois que sans analyse rigoureuse des avantages et inconvénients, qu'ils soient de nature économique ou environnementale (voir par exemple Mugido et al. 2014), cela demeure une opinion subjective.

Pour ce qui concerne la gestion des sols, les recommandations en recherche sont les suivantes :

- **Évaluer l'effet de différentes profondeurs d'enfouissement sur les plantes exotiques envahissantes.** À l'heure actuelle, les recommandations quant aux profondeurs d'enfouissement sont tout au plus une estimation à vue de nez de ce qu'il serait prudent de faire pour les espèces concernées. Elles ne sont pas nécessairement exagérées et il est possible qu'elles reposent sur une expérience de terrain tout à fait valable, surtout au Royaume-Uni où ont été effectuées à de multiples reprises des expériences d'enfouissement, particulièrement pour la **renouée du Japon**. Le problème est que l'expertise en la matière est bien souvent détenue par des entreprises privées qui n'en dévoilent que des bribes sur leur site internet. Une visite de terrain avec plusieurs entrepreneurs européens serait très certainement bénéfique pour comprendre ce qui incite telle ou telle entreprise à recommander ce genre de travaux, avec ou sans géomembrane. Elle permettrait de mieux orienter un projet de recherche avec des bases expérimentales plus solides. Un tel projet ne serait toutefois pas facile à faire, car il faudrait investiguer l'effet de l'enfouissement dans différents types de sols, puis attendre plusieurs années (au moins trois, peut-être jusqu'à cinq) avant d'en voir le résultat. En attendant, les profondeurs d'enfouissement qui sont recommandées dans la littérature ou qui font l'objet de normes devraient être suivies, faute de mieux.
- **Évaluer l'efficacité réelle de la technique du criblage – concassage.** Pour les très gros chantiers de construction aux prises avec des sols contenant des rhizomes de plantes exotiques envahissantes, la technique du criblage – concassage, telle que perfectionnée par Guérin et al. (2014) en France, semble la meilleure dans l'état actuel des connaissances. Malheureusement, son efficacité réelle (dévitalisation totale des

rhizomes) est inconnue, du moins non testée de manière expérimentale (ou si oui, les données ne sont pas publiques). Il serait risqué pour le moment de proposer cette solution sans autre mesure de vérification, mais on devrait profiter de l'opportunité d'un chantier d'envergure, et d'une autorité ou d'un promoteur disposé à l'utiliser, pour vérifier, d'une part, la facilité de mise en œuvre et son efficacité opérationnelle (capacité à traiter de gros volumes de sols dans des temps très courts) et, d'autre part, son efficacité à tuer les rhizomes. Elle permettrait aussi d'en évaluer plus justement les coûts.

Enfin, quelle que soit la méthode de gestion des sols retenue, les opérations qui en découleront nécessiteront un suivi, d'abord pour s'assurer qu'elles furent efficaces (éradication complète de l'envahisseur), ensuite pour éliminer s'il y a lieu les éventuelles repousses occasionnelles, souvent par des méthodes assez simples ne nécessitant pas d'herbicides ou en quantités minimales. Cette étape du suivi est souvent négligée par les gestionnaires, faute de ressources. C'est une erreur, car le montant que requiert un suivi est largement inférieur à celui d'une opération de lutte subséquente. Il ne peut suffire que de quelques fragments de rhizome d'une plante comme la **renouée du Japon** pour anéantir, après plusieurs années, un investissement de plusieurs dizaines de milliers de dollars. Le suivi devrait s'étendre sur plusieurs années : il est suggéré de ne l'interrompre que si l'on ne voit plus le végétal nuisible sur trois années consécutives. Cette période de trois années ne repose pas sur un fondement scientifique solide et peut varier d'une espèce à l'autre. C'est toutefois une durée de suivi qu'il semble raisonnable d'imposer, le cas échéant, à un promoteur, selon mon expérience personnelle.

Littérature citée

- Barney, J.N., J.M. DiTomaso. 2008.** Nonnative species and bioenergy: are we cultivating the next invader? *BioScience* 58 : 64–70.
- Barney, J.N., N. Tharayil, A. DiTommaso, P.C. Bhowmik. 2006.** The biology of invasive alien plants in Canada. 5. *Polygonum cuspidatum* Sieb. & Zucc. [= *Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decr.]. *Canadian Journal of Plant Science* 86 : 887–905.
- Bashtanova, U.B., K.P. Beckett, T.J. Flowers. 2009.** Review: physiological approaches to the improvement of chemical control of Japanese knotweed (*Fallopia japonica*). *Weed Science* 57 : 584–592.
- Benvenuti, S., M. Macchia, S. Miele. 2001.** Quantitative analysis of emergence of seedlings from buried weed seeds with increasing soil depth. *Weed Science* 49 : 528–535.
- Bímová, K., M. Bohumil, P. Pyšek. 2003.** Experimental study of vegetative regeneration in four invasive *Reynoutria* taxa (Polygonaceae). *Plant Ecology* 166 : 1–11.
- 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* 57–58 : 17–31.
- Boyer, M. 2013.** *Expérimentations d'une méthode de gestion mécanisée des Renouées exotiques envahissantes (Fallopia sp.) en France, Suisse et Allemagne.* Concept.Cours.d'EAU SCOP, Sainte-Hélène-du-Lac.
Accessible (3 mars 2017) à : http://cceau.fr/biblio/bibliographie_invasives/
- Brito, L.M., I. Mourão, J. Coutinho, S. Smith. 2013.** Composting for management and resource recovery of invasive *Acacia* species. *Waste Management and Research* 31 : 1125–1132.
- Burnside, O.C., R.G. Wilson, S. Weisberg, K.G. Hubbard. 1996.** Seed longevity of 41 weed species buried 17 years in eastern and western Nebraska. *Weed Science* 44 : 74–86.
- Child, L.E. 1999.** *Vegetative regeneration and distribution of Fallopia japonica and Fallopia xbohemica: implications for control and management.* Thèse Ph.D., Université de Loughborough, Loughborough.
- Clements, D.R., T. Larsen, J. Grenz. 2016.** Knotweed management strategies in North America with the advent of widespread hybrid Bohemian knotweed, regional differences, and the potential for biocontrol via the psyllid *Aphalara itadori* Shinji. *Invasive Plant Science and Management* 9 : 60–70.
- Dahlquist, R.M., T.S. Prather, J.J. Stapleton. 2007.** Time and temperature requirements for weed seed thermal death. *Weed Science* 55 : 619–625.
- Daugovish, O., J. Downer, B. Faber, M. McGiffen. 2007.** Weed survival in yard waste mulch. *Weed Technology* 21 : 59–65.
- Day, L., J. Rail, S. McIntyre, C. Terrance. 2009.** Japanese knotweed composting feasibility study, Delaware County (New York). *Ecological Restoration* 27 : 377–379.
- De Waal, L.C. 2001.** A viability study of *Fallopia japonica* stem tissue. *Weed Research* 41 : 447–460.
- Delbart, E., G. Mahy, B. Weickmans, F. Henriët, S. Crémer, N. Pieret, S. Vanderhoeven, A. Monty. 2012.** Can land managers control Japanese knotweed? Lessons from control tests in Belgium. *Environmental Management* 50 : 1089–1097.

- Derr, J.F. 2008a.** Common reed (*Phragmites australis*) response to mowing and herbicide application. *Invasive Plant Science and Management* 1 : 12–16.
- Derr, J.F. 2008b.** Common reed (*Phragmites australis*) response to postemergence herbicides. *Invasive Plant Science and Management* 1 : 153–157.
- DiTomaso, J.M., J.N. Barney, J.J. Mann, G. Kyser. 2013.** For switchgrass cultivated as biofuel in California, invasiveness limited by several steps. *California Agriculture* 67 : 96–103.
- Dorahy, C.G., A.D. Pirie, L. Muirhead, P. Pengelly, K.Y. Chan, M. Jackson, I.M. Barchia. 2009.** Environmental risk assessment of compost prepared from *Salvinia*, *Egeria densa*, and alligator weed. *Journal of Environmental Quality* 38 : 1483–1492.
- Egley, G.H. 1990.** High-temperature effects on germination and survival of weed seeds in soil. *Weed Science* 38 : 429–435.
- Environment Agency. 2013.** *The knotweed code of practice*. Environment Agency, Bristol.
 Accessible (4 mars 2017) à : https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/536762/LIT_2695.pdf
- Frisson, G., E. Delbart, G. Mahy. 2010.** *Traitement des terres contaminées par les renouées asiatiques* (*Fallopia japonica*, *F. sachalinensis* et *F. xbohemica*). Gembloux Agro-bio Tech, Biodiversité paysage et Université de Liège, Liège.
- Google Scholar. 2017.** *Google Scholar*.
 Accessible (4 mars 2017) à : <https://scholar.google.ca/>
- Grundy, A.C., J.M. Green, M. Lennartsson. 1998.** The effect of temperature on the viability of weed seeds in compost. *Compost Science and Utilization* 6 : 26–33.
- Guérin, S., C. Laplace, V. Pasquier. 2014.** *Traitement de matériaux contaminés en rhizomes de renouée du Japon dans le cadre des travaux de protection contre les crues et de restauration environnementale de l'Yzeron à Oullins. Compte rendu de pêche aux cas pratiques, jeudi 27 novembre 2014, Oullins (69)*. Syndicat d'aménagement et de gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières, Grezieu la Varenne.
 Accessible (4 mars 2017) à : http://www.riviererhonealpes.org/sites/default/files/media/documents/peches_aux_cas_pratiques/cr_pacp_-_criblage_concassage_2014_sagyrc.pdf
- Hagen, E.N., P.W. Dunwiddie. 2008.** Does stem injection of glyphosate control invasive knotweeds (*Polygonum* spp.)? A comparison of four methods. *Invasive Plant Science and Management* 1 : 31–35.
- Hansson, P.-A., H. Fredriksson. 2004.** Use of summer harvested common reed (*Phragmites australis*) as nutrient source for organic crop production in Sweden. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 102 : 365–375.
- Haslam, S.M. 1972.** *Phragmites communis* Trin. (*Arundo phragmites* L., ? *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel). *Journal of Ecology* 60 : 585–610.
- Hazelton, E.L.G., T.J. Mozdzer, D.M. Burdick, K.M. Kettenring, D.F. Whigham. 2014.** *Phragmites australis* management in the United States: 40 years of methods and outcomes. *AoB Plants* 6 : plu001.
- Jasinskas, A., D. Streikus, V. Kučinskas, K. Vaitauskienė, D. Yilmaz, I. Ziemelis. 2016.** Herbal plants preparation for biofuel and analysis of pellets properties. *Agricultural Engineering, Research Papers* 48 : 1–7.

- Juneau, K.J., C.S. Tarasoff. 2013.** The seasonality of survival and subsequent growth of common reed (*Phragmites australis*) rhizome fragments. *Invasive Plant Science and Management* 6 : 79–86.
- Kannepalli, S., B. Ravit, P.F. Strom. 2016.** Composting of aged reed bed biosolids for beneficial reuse: a case study in New Jersey, USA. *Compost Science and Utilization* 24 : 281–290.
- Karathanos, S. 2015.** *Lutte intégrée au roseau commun : prévention, confinement et éradication*. Mémoire M.Sc., Université de Montréal, Montréal.
- Kiviat, E. 2013.** Ecosystem services of *Phragmites* in North America with emphasis on habitat functions. *AoB Plants* 5 : p1008.
- Knezevic, S.Z., R.E. Rapp, A. Datta, S. Irmak. 2013.** Common reed (*Phragmites australis*) control is influenced by the timing of herbicide application. *International Journal of Pest Management* 59 : 224–228.
- Köbbing, J.F., N. Thevs, S. Zerbe. 2013.** The utilisation of reed (*Phragmites australis*): a review. *Mires and Peat* 13 : article 01.
- Lavoie, C., G. Guay, F. Joerin. 2014.** Une liste des plantes vasculaires exotiques nuisibles du Québec : nouvelle approche pour la sélection des espèces et l'aide à la décision. *Écoscience* 21 : 133–156.
- Lavoie, C., S. Joly, A. Bergeron, G. Guay, E. Groeneveld. 2016.** Explaining naturalization and invasiveness: new insights from historical ornamental plant catalogs. *Ecology and Evolution* 6 : 7188–7198.
- Lavoie, C., A. Saint-Louis, G. Guay, E. Groeneveld. 2012.** Les plantes vasculaires exotiques naturalisées : une nouvelle liste pour le Québec. *Naturaliste canadien* 136 (3) : 6–32.
- Leblanc, M., C. Lavoie. 2017.** Eradicating purple jewelweed (*Impatiens glandulifera*): assessment of feasibility and costs. *Invasive Plant Science and Management* (en évaluation).
- Li, P., Q. Chang, C. Wang, J. Cao, W. Zheng. 2014.** Composting of aerial parts of crofton weed (*Eupatorium adenophorum* Spreng), the top invasive plant in southwest China. *Compost Science and Utilization* 22 : 132–137.
- Lintz, H.E., M. Huso, K.C. Stanley, T. Taylor. 2011.** Composting one invasive species to control another. *Restoration Ecology* 19 : 1–4.
- Lishawa, S.C., B.A. Lawrence, D.A. Albert, N.C. Tuchman. 2015.** Biomass harvest of invasive *Typha* promotes plant diversity in a Great Lakes coastal wetland. *Restoration Ecology* 23 : 228–237.
- Lombard, K.B., D. Tomassi, J. Ebersole. 2012.** Long-term management of an invasive plant: lessons from seven years of *Phragmites australis* control. *Northeastern Naturalist* 19 (numéro spécial 6) : 181–193.
- Mal, T.K., L. Narine. 2004.** The biology of Canadian weeds. 129. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. *Canadian Journal of Plant Science* 84 : 365–396.
- Meier, E.J., T.M. Waliczek, M.L. Abbott. 2014.** Composting invasive plants in the Rio Grande River. *Invasive Plant Science and Management* 7 : 473–482.
- Montoya, J.E., T.M. Waliczek, M.L. Abbott. 2013.** Large scale composting as a means of managing water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Invasive Plant Science and Management* 6 : 243–249.
- Mozdzer, T.J., C.J. Hutto, P.A. Clarke, D.P. Field. 2008.** Efficacy of imazapyr and glyphosate in the control of non-native *Phragmites australis*. *Restoration Ecology* 16 : 221–224.

- Mugido, W., J. Blignaut, M. Joubert, J. De Wet, A. Knipe, S. Joubert, B. Cobbing, J. Jansen, D. Le Maitre, M. van der Vyfer. 2014. Determining the feasibility of harvesting invasive alien plant species for energy. *South African Journal of Science* 110 : 45–50.
- Pyšek, P., J.H. Brock, K. Bímová, B. Mandák, V. Jarošík, I. Koukolíková, J. Pergl, J. Štěpánek. 2003. Vegetative regeneration in invasive *Reynoutria* (Polygonaceae) taxa: the determinant of invasibility at the genotype level. *American Journal of Botany* 90 : 1487–1495.
- Raghu, S., R.C. Anderson, C.C. Daehler, A.S. Davis, R.N. Wiedenmann, D. Simberloff, R.N. Mack. 2006. Adding biofuels to the invasive species fire? *Science* 313 : 1742.
- Rudenko, M., A. Hulting. 2010. Integration of chemical control with restoration techniques for management of *Fallopia japonica* populations. *Management of Biological Invasions* 1 : 37–49.
- Stapleton, J.J. 2012. Feasibility of solar tents for inactivating weedy plant propagative material. *Journal of Pest Science* 85 : 17–21.
- Thompson, A.J., N.E. Jones, A.M. Blair. 1997. The effect of temperature on viability of imbibed weed seeds. *Annals of Applied Biology* 130 : 123–134.
- Thomson Reuters. 2017. *Web of Science*TM.
 Accessible (5 mars 2017) à : <https://login.webofknowledge.com>.
- Tompkins, D.K., D. Chaw, A.T. Abiola. 1998. Effect of windrow composting on weed seed germination and viability. *Compost Science and Utilization* 6 : 30–34.
- Toumpeli, A., A.K. Pavlatou-Ve, S.K. Kostopoulou, A.P. Mamolos, A.S. Siomos, K.L. Kalburtji. 2013. Composting *Phragmites australis* Cav. plant material and compost effects on soil and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) growth. *Journal of Environmental Management* 128 : 243–251.
- Turner, R.E., R.S. Warren. 2003. Valuation of continuous and intermittent *Phragmites* control. *Estuaries* 26 : 618–623.
- Vaičekonytė, R., E. Kiviat, F. Nsenga, A. Ostfeld. 2013. An exploration of common reed (*Phragmites australis*) bioenergy potential in North America. *Mires and Peat* 13 : article 12.
- Van Meerbeek, K., L. Appels, R. Dewil, A. Calmeyn, P. Lemmens, B. Muys, M. Hermy. 2015. Biomass of invasive plant species as a potential feedstock for bioenergy production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 9 : 273–282.
- Van Rossum, J., M.J. Renz. 2015. Composting reduces seed viability of garlic mustard (*Alliaria petiolata*) and common buckthorn (*Rhamnus cathartica*). *Invasive Plant Science and Management* 8 : 284–291.
- Xian, C., P. Bardos, S. Robinson. 2012. *Can composting kill Japanese Knotweed*. University of Reading and r3 Environmental Technology Ltd, Reading.