

Effacité et nocivité
environnementale des
biopesticides homologués
pour la lutte contre
la petite herbe à poux

CLAUDE LAVOIE

RECENSION DE
LA LITTÉRATURE
SCIENTIFIQUE

Efficacité et nocivité environnementale des biopesticides homologués pour la lutte contre la petite herbe à poux

RECENSION DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

CLAUDE LAVOIE

École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional



**UNIVERSITÉ
LAVAL**

Québec, septembre 2019

Notes sur l'auteur

Claude Lavoie (Ph.D.) est biologiste et professeur titulaire à l'École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional de l'Université Laval. Il dirige depuis 1996 une équipe de recherche qui étudie la dissémination et l'impact des plantes envahissantes (dont la petite herbe à poux), ainsi que les moyens de lutte contre ces végétaux les plus respectueux possible de l'environnement. Il coordonne les *Formations plantes envahissantes*, programme de formation continue en lutte aux plantes nuisibles qui a instruit à ce jour (2019) près d'un millier de personnes. Il est aussi l'auteur de *50 plantes envahissantes : protéger la nature et l'agriculture* (Les Publications du Québec, 2019).

Résumé

On trouvera dans ce rapport, rédigé à la demande de la Direction de la santé environnementale et la Direction générale adjointe de la protection de la santé publique du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, une revue de la littérature scientifique sur les biopesticides homologués au Canada pour la lutte contre la petite herbe à poux (*Ambrosia artemisiifolia*). Cette revue traite de l'efficacité et de la nocivité environnementale de ces biopesticides. Elle a été réalisée essentiellement avec les moteurs de recherche *Web of Science* et *Google*. Cinq matières actives sont, au Canada, dûment homologuées pour la lutte contre la petite herbe à poux à titre de bioherbicides (l'acide acétique, l'acide 4-chloroindole-3-acétique, les acides gras, le chlorure de sodium et le champignon *Phoma macrostoma*). Au total, 29 produits sont disponibles sur le marché (2019). La grande majorité des bioherbicides homologués ont pour matière active l'acide acétique ou le chlorure de sodium. Les études traitant de l'efficacité des bioherbicides contre la petite herbe à poux, effectuées de manière indépendante des fabricants de pesticides, sont peu abondantes. Néanmoins, dans l'état actuel des connaissances, tout porte à croire que les bioherbicides, si utilisés conformément au mode d'emploi, sont efficaces contre la petite herbe à poux, surtout si appliqués au tout début de la croissance des plants, lorsqu'ils sont dotés d'au plus six feuilles. On ne sait toutefois pas si l'usage répété des bioherbicides, sur plusieurs années, a un effet significatif sur l'envergure ou la dynamique des populations de petite herbe à poux, particulièrement dans un contexte d'usage à grande échelle, comme en bordure des routes. On ne sait pas non plus si cet effet des bioherbicides, pour autant qu'il existe, se traduit par une chute significative de la quantité de grains de pollen produite par une population de petite herbe à poux, et donc par une plus faible prévalence des symptômes de rhinite chez les personnes allergiques qui résident au voisinage des sites traités. Cela ne veut pas dire qu'un traitement au bioherbicide n'a pas d'impact. Il est possible, et même plausible en certaines circonstances qu'un tel effet puisse être observé, mais il n'a pas encore été, à ce jour, formellement démontré. Si utilisés conformément au mode d'emploi, les bioherbicides n'ont guère d'effets nocifs sur l'environnement. Le chlorure de sodium est plus toxique, mais la quantité de sel pulvérisée en bordure d'une route pour la lutte contre la petite herbe à poux est très faible par rapport à celle épandue pour le déglacage hivernal.

Table des matières

Mandat	6
Méthodologie	8
Bioherbicides et petite herbe à poux	11
• Acide acétique (vinaigre)	16
○ Mode d'action et d'emploi	16
○ Efficacité.....	17
○ Nocivité environnementale	25
○ Coût.....	25
• Acide 4-chloroindole-3-acétique	27
○ Mode d'action et d'emploi	27
○ Efficacité.....	27
○ Nocivité environnementale	28
• Chlorure de sodium (sel).....	30
○ Mode d'action et d'emploi	30
○ Efficacité.....	31
○ Nocivité environnementale	35
○ Coût.....	38
• <i>Phoma macrostoma</i> (champignon)	39
○ Mode d'action et d'emploi	39
○ Efficacité.....	39
○ Nocivité environnementale	40
Conclusions	42
• Efficacité des bioherbicides	42
○ De manière générale, les bioherbicides étudiés dans ce rapport sont-ils aussi efficaces que les herbicides de synthèse ?.....	42
○ Les bioherbicides sont-ils efficaces dans la lutte contre la petite herbe à poux ?	44
▪ Châteauguay (2005–2007).....	46
▪ Salaberry-de-Valleyfield (2007–2010).....	47
▪ Granby et Trois-Rivières (2016)	47
• Nocivité environnementale des bioherbicides	48
○ De manière générale, les bioherbicides ont-ils des effets négligeables sur l'environnement ?	48
• Conclusion	50
Littérature citée	52

Mandat

LA PETITE HERBE À POUX (*AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA*, *ASTERACEAE*) est une plante annuelle nord-américaine très répandue au Canada et aux États-Unis. Même si l'espèce est indigène dans plusieurs régions de ces pays, elle est très envahissante et beaucoup plus abondante de nos jours qu'avant l'arrivée des premiers colons européens. La plante prolifère en milieu ouvert, en particulier dans les friches, en bordure des routes et dans les champs en culture. Ce type d'habitat occupe actuellement de beaucoup plus grandes superficies qu'au 17^e siècle, même si dans les régions peu propices à l'agriculture, le couvert forestier a tendance à se reformer depuis quelques décennies. Aussi, l'expansion relativement récente de certaines cultures, notamment celle du soya, favorise des espèces comme la petite herbe à poux qui est particulièrement compétitive en présence de plantes cultivées de faible taille. L'espèce a été introduite sur tous les continents à l'exception de l'Antarctique, et est très répandue en Europe continentale, notamment en Autriche, en France et en Hongrie (Lavoie 2019).

La petite herbe à poux est une nuisance notoire en agriculture, particulièrement dans les champs de maïs, de soya et de tournesol. Quelques plants au mètre carré peuvent, en certaines circonstances, anéantir des récoltes par phénomène de compétition pour les ressources (eau, lumière, nutriments). Cette plante est aussi très nuisible à la santé. Son pollen allergène, produit en quantité phénoménale, est en Amérique du Nord et en Europe le principal responsable des rhinites saisonnières qui frappent la population humaine l'été et l'automne. Environ 11–13 % de la population est susceptible de souffrir de ces rhinites, plus connues au Québec sous le nom de rhume des foin. Outre les désagréments que cela occasionne aux personnes affectées, la petite herbe à poux engendre des déboursés importants en soins de santé et pour la lutte que doivent entreprendre les autorités publiques pour réduire l'envergure des populations de la plante, ou du moins la quantité de fleurs produites (Lavoie 2019). Le réchauffement du climat que l'on observe ces dernières décennies a pour effet d'allonger la saison pollinique, particulièrement dans le Nord-Est de l'Amérique du Nord où les gels automnaux sont de plus en plus tardifs (Ziska et al. 2011). Par exemple, dans la région de Montréal (Québec), la saison est passée de 42 à 68 jours entre 1994 et 2002 (Breton et al. 2006).

En 2017, le Centre intégré de santé et de services sociaux de la région du Bas-Saint-Laurent (Québec) m'a donné le mandat de produire une formation en lutte contre la petite herbe à poux. On observe depuis quelques années le retour de la petite herbe à poux dans cette région, alors que la plante avait été éradiquée en 1944, ce qui n'est pas sans inquiéter les autorités publiques en matière de santé. Or, la petite herbe à poux est peu connue dans le Bas-Saint-Laurent et la lutte efficace encore moins.

Le mandat s'est inscrit dans le cadre des *Formations plantes envahissantes* (Université Laval, Université de Montréal), programme de formation continue en lutte aux plantes nuisibles que je coordonne depuis 2014. On m'a demandé de monter une formation courte (trois heures), mais complète, sur la biologie de la plante et sur les différentes méthodes utilisées en lutte et sur leur efficacité respective. La formation, essentiellement technique, devait avoir de solides assises scientifiques, tout en étant très accessible. Elle devait pouvoir être offerte autant aux gestionnaires du territoire (provinciaux et municipaux) qu'aux techniciens effectuant des

opérations de lutte sur le terrain (particulièrement ceux du ministère des Transports du Québec), ou à tout décideur ou citoyen se préoccupant de la petite herbe à poux. Elle a été donnée en présentiel (Rivière-du-Loup, Rimouski) en mai 2017 et à d'autres reprises (2017 et 2018, à Québec ou en mode webinaire) aux participants du programme des *Formations plantes envahissantes*.

Une autre session de formation sur la petite herbe à poux, en mode webinaire, a été offerte en juin 2019 à la demande de la Stratégie québécoise de réduction des pollens allergènes. Cette formation a été financée par le Fonds vert dans le cadre du Plan d'action 2013–2020 sur les changements climatiques du gouvernement du Québec. Soixante-cinq personnes ont participé au webinaire, essentiellement des employés de la fonction publique québécoise (ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, ministère des Transports du Québec) de toutes les régions de la province. La formation semble avoir été très appréciée, puisque tous les 34 répondants au sondage de satisfaction envoyé aux participants la recommanderaient à d'autres personnes.

Comme indiqué auparavant, la formation donne un tour d'horizon complet des différentes méthodes de lutte. Elle fait une place particulière aux deux méthodes les plus utilisées au Québec en milieu urbain et sur les emprises publiques (routes), soit la fauche (tonte) et l'usage d'une solution saline en guise d'herbicide. Elle indique les avantages et les inconvénients de ces deux méthodes en se fondant le plus possible sur la littérature scientifique.

Ce webinaire a suscité un certain nombre d'interrogations quant à la solution saline et les autres biopesticides homologués par Santé Canada pour la lutte contre la petite herbe à poux. Outre le chlorure de sodium, qui constitue la matière active de la solution saline, quatre autres matières sont homologuées au Canada comme biopesticides pour cette lutte, soit l'acide acétique (vinaigre), l'acide 4-chloroindole-3-acétique, les acides gras (savon) et le champignon *Phoma macrostoma*. En conséquence, la Direction de la santé environnementale et la Direction générale adjointe de la protection de la santé publique du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec m'a demandé de produire une revue de la littérature scientifique sur ces produits dans le contexte d'une lutte contre la petite herbe à poux. De façon plus précise, le mandat était de :

- *Produire une revue de la littérature scientifique sur l'efficacité et la nocivité environnementale des biopesticides dûment homologués au Canada pour la lutte contre la petite herbe à poux.*
- *Fournir un avis scientifique sur l'efficacité et les effets environnementaux de ces biopesticides dans un contexte de lutte à la petite herbe à poux, mais uniquement pour ce qui concerne l'usage de ces produits en milieu urbain ou sur les emprises publiques (routes, corridors de transport d'énergie, etc.).*

Je devais notamment chercher la réponse à deux questions :

- *Existe-t-il, dans la littérature scientifique issue des universités et des centres de recherche indépendants de l'industrie des pesticides, des preuves d'efficacité des biopesticides, en particulier contre la petite herbe à poux ?*
- *Existe-t-il, dans la littérature scientifique issue des universités et des centres de recherche indépendants de l'industrie des pesticides, des preuves montrant que les biopesticides ont généralement des effets négligeables sur l'environnement si utilisés convenablement ?*

Méthodologie

LA PREMIÈRE ÉTAPE DE CE TRAVAIL a été de faire la liste des biopesticides (bioherbicides) homologués au Canada pour la lutte contre la petite herbe à poux. L'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) de Santé Canada précise (directive DIR2012-01) que pour être considéré comme tel, un **biopesticide** :

- Doit faire preuve d'une faible toxicité intrinsèque pour les humains et les autres organismes non ciblés.
- Doit représenter un faible risque selon lequel son utilisation donne lieu à une importante exposition humaine ou de l'environnement.
- Ne doit pas persister dans l'environnement.
- Doit posséder un mécanisme d'action qui n'est pas le résultat d'une forme de toxicité pour l'organisme ciblé.
- Ne doit pas ouvrir la voie à une forme de résistance.
- Doit déjà être largement disponible au public à travers d'autres utilisations, avec un historique d'utilisation sécuritaire dans des conditions d'exposition équivalentes pour les humains et l'environnement.

Pour trouver les biopesticides d'intérêt pour ce travail, j'ai utilisé les listes des biopesticides de classe 3 et de classe 5 produites par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, listes à jour en janvier 2019¹. Le *Règlement sur les permis et les certificats pour la vente et l'utilisation des pesticides* (chapitre P-9.3, r. 2) précise qu'un **pesticide de classe 3** est un pesticide qui n'est pas spécifiquement rattaché à une autre classe et dont le contenant porte, sur une étiquette ou sur une inscription, la mention COMMERCIAL, AGRICOLE ou INDUSTRIEL ou qui est accompagné d'un document portant cette mention. Ces pesticides sont destinés à être utilisés en agriculture, en foresterie, dans l'industrie et dans d'autres domaines d'activités commerciales.

Au Québec, depuis 2018, tous les biopesticides d'usage domestique se trouvent en **classe 5**. Est compris dans la classe 5 un pesticide dont le contenant porte, sur une inscription ou une étiquette, la mention du terme DOMESTIQUE et qui présente les particularités suivantes : 1) il est mis en marché sous une forme qui ne nécessite aucune préparation ou dilution, 2) il est mis en marché en volume ou en poids égal ou inférieur à 1 L ou 1 kg, et 3) il vise uniquement les traitements localisés. Les produits antiparasitaires domestiques sont destinés à être principalement distribués au grand public pour usage personnel dans des lieux d'habitation et autour de ceux-ci.

L'étiquette de chacun des bioherbicides mentionnés dans les listes de classe 3 et de classe 5 a été vérifiée grâce au moteur de recherche de l'ARLA² pour y relever la mention de la petite herbe à poux comme espèce susceptible d'être réprimée avec le produit en cause. L'absence de mention ne veut pas dire que le produit serait inefficace contre cette plante, mais cette efficacité n'a pas été démontrée à l'ARLA lors du processus d'homologation. **Seuls les**

¹ http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/permis/code-gestion/Biopesticides_classe3.pdf,
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/permis/code-gestion/Biopesticides.pdf>

² <http://pr-rp.hc-sc.gc.ca/lr-re/index-fra.php>

bioherbicides avec mention de la petite herbe à poux dans l'étiquette ont été retenus pour analyse dans ce rapport.

Cinq **matières actives** – les substances ou molécules qui ont un effet toxique contre les plantes – sont au Canada dûment homologuées pour la lutte contre la petite herbe à poux à titre de bioherbicides. Il s'agit 1) de l'**acide acétique** (vinaigre), 2) de l'**acide 4-chloroindole-3-acétique**, 3) des **acides gras** (savon), 4) du **chlorure de sodium** (sel) et 5) du champignon ***Phoma macrostoma***. Pour trouver la littérature scientifique traitant de ces matières actives, la stratégie de recherche suivante a été déployée (dernière mise à jour : 17 septembre 2019). Dans une première étape, les articles publiés dans des revues scientifiques avec comité de lecture ont été recensés grâce au moteur de recherche *Web of Science* (Clarivate Analytics, Philadelphie). Le moteur recense une grande partie (environ 75 %) de la littérature en sciences naturelles. Cette recension de littérature n'a donc pas de prétention d'exhaustivité. Par contre, l'essentiel des principaux travaux, surtout ceux, il est vrai, publiés en langue anglaise, sont détectés par le moteur (Larivière et Sugimoto 2018).

Les mots-clés (langue d'usage du moteur : anglais) utilisés ont été (dans la rubrique *Topic*) :

- ((ACID NEAR/o ACETIC) OR VINEGAR) AND (HERBICIDE* OR WEED*)
- (4-CHLOROINDOLE-3-ACETIC-ACID) OR (4-CHLOROINDOLEACETIC NEAR/o ACID)
- (SODIUM NEAR/o CHLORIDE) AND (HERBICIDE* OR WEED*)
- PHOMA NEAR/o MACROSTOMA

Pour les acides gras, il n'a pas été possible de trouver une stratégie (mots-clés) adéquate permettant d'extraire un nombre raisonnable (moins d'un millier) d'articles, étant donné la nature très générale (savon) de la matière active. **Aucune recherche spécifique n'a donc été faite pour ce cas particulier**, car de toute manière, cela ne concernait qu'un seul produit.

L'opérateur NEAR/o permet d'associer un mot à un autre mot avec la plus petite distance (zéro) possible entre les deux. Autrement dit, le moteur ne cherchait pas que les mots ACID et ACETIC, mais la combinaison ACID ACETIC, ce qui a permis de raffiner considérablement la recherche. L'opérateur OR permet bien sûr de trouver l'un ou l'autre des mots ou combinaisons de mots (donc ACID ACETIC ou VINEGAR). L'opérateur AND indique que les deux mots ou combinaisons de mots doivent se trouver dans le texte où se fait la recherche pour que les articles soient retenus par le moteur. L'expérience a montré qu'il était essentiel d'associer HERBICIDE* ou WEED* au nom des matières actives comme le sel (SODIUM CHLORIDE) ou le vinaigre (ACID ACETIC, VINEGAR), étant donné la vaste utilisation de ces produits dans une foule de domaines de recherches ; autrement, la recension de la littérature aurait été beaucoup trop fastidieuse avec des milliers d'articles en perspective. Enfin, l'astérisque à la fin d'un mot permet de détecter les variantes d'un même mot. Par exemple, WEED* permet la détection de WEED, WEEDS ou WEEDY.

Chaque article mis en évidence par cette recherche a été examiné. Les articles permettant *a priori* de répondre aux questions qui font l'objet de ce rapport ont été téléchargés, puis lus. La liste des références citées qui se trouve à la fin de chaque article a aussi fait l'objet d'un examen pour y découvrir d'autres travaux qui auraient pu échapper au moteur de recherche.

Plusieurs documents issus de centres de recherche collégiaux, universitaires ou gouvernementaux, ou privés et supportés en tout ou en partie par des fonds publics, peuvent contenir des renseignements très intéressants sur les bioherbicides. Comme ces rapports ou

fiches techniques ne sont pas recensés par le moteur *Web of Science*, il a fallu les trouver d'une autre manière. Pour ce faire, j'ai utilisé le moteur de recherche *Google* (Google, Mountain View) et la même combinaison de mots-clés que ceux utilisés avec le moteur *Web of Science*, mais sans les opérateurs et avec une version anglaise et française. La recherche s'est concentrée sur les documents disponibles en format PDF (grâce à l'outil *Paramètres*) qui sont, à mon avis, le type de documents accessibles sur internet le plus susceptible de contenir des renseignements valables. Pour chaque recherche, les 200 premiers hyperliens ont été examinés pour trouver les documents pertinents. Enfin, j'ai volontairement exclu de ce travail l'information qui ne se trouve que sur des sites internet (sans format PDF) et celle issue des fabricants des pesticides en cause, puisqu'il est très difficile de juger de la qualité et de l'objectivité des données rendues ainsi accessibles.

Le contenu de ce rapport a été révisé par le professeur François Tardif (Ph.D.), malherbologue au Département de phytologie (Plant Agriculture) de l'Université de Guelph (Ontario) et spécialiste des herbicides. Je demeure par contre entièrement responsable du contenu et des erreurs qui pourraient s'y trouver.

Bioherbicides et petite herbe à poux

COMME MENTIONNÉ AUPARAVANT, CINQ MATIÈRES ACTIVES sont au Canada dûment homologuées pour la lutte contre la petite herbe à poux à titre de bioherbicides. Il s'agit 1) de l'acide acétique (vinaigre), 2) de l'acide 4-chloroindole-3-acétique, 3) des acides gras (savon), 4) du chlorure de sodium (sel) et 5) du champignon *Phoma macrostoma*. Au total, 29 produits sont disponibles sur le marché (Tableau 1). Certains de ces produits sont homologués sous plusieurs numéros pour tenir compte de quelques petites différences, mais ce sont essentiellement les mêmes substances. Plusieurs ont une version commerciale et domestique, la version commerciale étant généralement beaucoup plus concentrée. La grande majorité des bioherbicides homologués ont pour matière active l'acide acétique (18 produits) ou le chlorure de sodium (8).

Tableau 1. Biopesticides homologués au Canada et pour lesquels la petite herbe à poux est inscrite sur l'étiquette comme espèce susceptible d'être efficacement combattue avec ces produits.

MATIÈRE ACTIVE	NOM DU PRODUIT	NO HOMOLOGATION	USAGE	MODE D'EMPLOI	NOCIVITÉ ENVIRONNEMENTALE SELON L'ÉTIQUETTE
Acide acétique (25 %)	ECOCLEAR	25528	Commercial (emprises, plantations, terrains de golf, terrains industriels)	Dilution nécessaire pour la répression des plantes annuelles. Une pluie moins d'une heure après le traitement réduira l'efficacité.	Zone tampon requise lorsqu'une application se fait près d'un habitat terrestre ou humide vulnérable. Potentiellement toxique pour les organismes aquatiques.
Acide acétique (6 %)	ECOCLEAR	26522	Domestique	Dilution non nécessaire. Une pluie moins d'une heure après le traitement réduira l'efficacité.	
Acide acétique (6 %)	ROUNDUP ADVANCED	27933, 28178, 28179, 30542, 31064, 31240, 33398	Domestique	Dilution non nécessaire. Une pluie moins d'une heure après le traitement réduira l'efficacité.	Contient un distillat de pétrole qui peut être toxique pour les organismes aquatiques.
Acide acétique (7 %)	GROTEK ELIMAWEED	28807	Domestique	Dilution non nécessaire. Une pluie moins d'une heure après le traitement réduira l'efficacité.	

MATIÈRE ACTIVE	NOM DU PRODUIT	No HOMOLOGATION	USAGE	MODE D'EMPLOI	NOVICITÉ ENVIRONNEMENTALE SELON L'ÉTIQUETTE
Acide acétique (20 %)	MUNGER VINAIGRE HORTICOLE PLUS	29405	Commercial (emprises et terrains industriels)	Dilution nécessaire pour la répression des plantes annuelles. Une pluie moins d'une heure après le traitement réduira l'efficacité.	Zone tampon requise lorsqu'une application se fait près d'un habitat terrestre ou humide vulnérable. Potentiellement toxique pour les organismes aquatiques.
Acide acétique (7 %)	GREEN EARTH	29822, 29823	Domestique	Dilution non nécessaire. Doit être appliqué par temps chaud et sec sur des plantes d'une taille de moins de 10 cm.	
Acide acétique (7 %)	TOTAL WIPEOUT	29853, 29854, 30643	Domestique	Dilution non nécessaire. Doit être appliqué par temps chaud et sec sur des plantes d'une taille de moins de 10 cm.	
Acide acétique (20 %)	TURF REVOLUTION WEEDINATOR	29918	Commercial (emprises et terrains industriels)	Dilution nécessaire pour la répression des plantes annuelles. Une pluie moins d'une heure après le traitement réduira l'efficacité.	Potentiellement toxique pour les organismes aquatiques.
Acide acétique (7 %)	TURF REVOLUTION WEED KNOCK-OUT	29919	Domestique	Dilution non nécessaire.	
Acide acétique (20 %)	SERENE	30248	Commercial (emprises, plantations, terrains industriels)	Dilution nécessaire pour la répression des plantes annuelles. Une pluie moins d'une heure après le traitement réduira l'efficacité.	Potentiellement toxique pour les organismes aquatiques.
Acide acétique (6 %)	DÉSHERBINEUR	30477	Domestique	Dilution non nécessaire. Une pluie après le traitement réduira l'efficacité.	
Acide acétique (20 %)	VINAIGRE HORTICOLE	30482	Commercial	Dilution nécessaire pour la répression des plantes annuelles. Une pluie après le traitement réduira l'efficacité.	Potentiellement toxique pour les organismes aquatiques.
Acide acétique (6 %)	WEEDENDER	30530	Domestique	Dilution non nécessaire. Une pluie après le traitement réduira l'efficacité.	
Acide acétique (20 %)	WEEDERASE	30531	Commercial (emprises)	Dilution nécessaire pour la répression des plantes annuelles. Une pluie après le traitement réduira l'efficacité.	Zone tampon requise lorsqu'une application se fait près d'un habitat terrestre ou humide vulnérable. Potentiellement toxique pour les organismes aquatiques.
Acide acétique (10 %)	MUNGER VINAIGRE HORTICOLE HC	30611	Domestique	Dilution non nécessaire.	

MATIÈRE ACTIVE	NOM DU PRODUIT	NO HOMOLOGATION	USAGE	MODE D'EMPLOI	NOCIVITÉ ENVIRONNEMENTALE SELON L'ÉTIQUETTE
Acide acétique (20 %)	AMAIZEINGLY GREEN VINAIGRE HORTICOLE	31455	Commercial (emprises, plantations, terrains de golf, terrains industriels)	Dilution nécessaire pour la répression des plantes annuelles. Une pluie moins d'une heure après le traitement réduira l'efficacité.	Zone tampon requise lorsqu'une application se fait près d'un habitat terrestre ou humide vulnérable. Potentiellement toxique pour les organismes aquatiques.
Acide acétique (7 %)	AMAIZEINGLY GREEN VINAIGRE HORTICOLE	31459	Domestique	Dilution non nécessaire.	
Acide acétique (6 %)	VIN 100	33134	Domestique	Dilution non nécessaire.	
Acide 4-chloroindole-3-acétique	WEEDOUT ULTRA	32512, 32513, 32515	Domestique	Dilution non nécessaire. Une pluie moins de 4 heures après le traitement réduira l'efficacité.	Potentiellement toxique pour les plantes aquatiques et terrestres.
Acides gras (18 %)	TOPGUN DE SAFER	29343	Commercial (emprises, espaces de loisirs, plantations, terrains industriels)	Dilution nécessaire. Une pluie moins de 2 heures après le traitement réduira l'efficacité. Nouveaux traitements requis tous les 14–21 jours.	
Chlorure de sodium (99 %)	ADIOS AMBROS	28236	Commercial (emprises, terrains industriels)	Dilution nécessaire (120 g/L d'eau). Taux d'application : 1 250 L/ha (petite herbe à poux). Plus efficace lorsque pulvérisé sur les plants de petite herbe à poux avant l'apparition des fleurs. Température requise lors de l'application : au moins 24 °C. Une pluie moins de 24 heures après le traitement réduira l'efficacité.	Potentiellement toxique pour les plantes aquatiques et les plantes terrestres non ciblées. Peut attirer les gros mammifères comme les cerfs de Virginie.
Chlorure de sodium (99 %)	ADIOS AMBROS	28712	Domestique	Dilution nécessaire (120 g/L d'eau). Plus efficace lorsque pulvérisé sur les plants de petite herbe à poux avant l'apparition des fleurs. Température requise lors de l'application : au moins 24 °C. Une pluie moins de 24 heures après le traitement réduira l'efficacité.	Potentiellement toxique pour les plantes aquatiques et les plantes terrestres non ciblées. Peut attirer les gros mammifères comme les cerfs de Virginie.

MATIÈRE ACTIVE	NOM DU PRODUIT	NO HOMOLOGATION	USAGE	MODE D'EMPLOI	NOCIVITÉ ENVIRONNEMENTALE SELON L'ÉTIQUETTE
Chlorure de sodium (99 %)	RAGWEED OFF	29189, 29190	Commercial (emprises, terrains industriels)	Dilution nécessaire (120 g/L d'eau). Taux d'application : 1 250 L/ha (petite herbe à poux). Température requise lors de l'application : au moins 24 °C. Une pluie moins de 24 heures après le traitement réduira l'efficacité.	Zone tampon requise lorsqu'une application se fait près d'un habitat terrestre ou humide vulnérable. Potentiellement toxique pour les plantes terrestres non ciblées, les oiseaux et les petits animaux.
Chlorure de sodium (12 %)	A.D.I.O.S HERBICIDE PRÊT-À-L'EMPLOI	30406	Domestique	Dilution non nécessaire. Plus efficace lorsque pulvérisé sur les plants de petite herbe à poux avant l'apparition des fleurs. Température requise lors de l'application : au moins 24 °C. Une pluie moins de quelques heures après le traitement réduira l'efficacité.	Potentiellement toxique pour les organismes aquatiques.
Chlorure de sodium (99 %)	A.D.I.O.S	30940	Commercial (emprises, terrains industriels)	Dilution nécessaire (120 g/L d'eau). Taux d'application : 1 250 L/ha (petite herbe à poux). Plus efficace lorsque pulvérisé sur les plants de petite herbe à poux avant l'apparition des fleurs. Température requise lors de l'application : au moins 24 °C. Une pluie moins de quelques heures après le traitement réduira l'efficacité.	Zone tampon requise lorsqu'une application se fait près d'un habitat terrestre ou humide vulnérable. Potentiellement toxique pour les organismes aquatiques et les plantes terrestres non ciblées. Peut attirer les gros mammifères comme les cerfs de Virginie.
Chlorure de sodium (12 %)	WEEDOUT	31027	Domestique	Dilution non nécessaire. Plus efficace lorsque pulvérisé sur les plants de petite herbe à poux avant l'apparition des fleurs. Température requise lors de l'application : au moins 24 °C. Une pluie moins de quelques heures après le traitement réduira l'efficacité.	Potentiellement toxique pour les organismes aquatiques.
Chlorure de sodium (36 %)	A.D.I.O.S CONCENTRÉ	31299	Commercial (emprises, terrains industriels)	Dilution nécessaire (1 L/3 L d'eau). Taux d'application : 1 290 L/ha (petite herbe à poux). Plus efficace lorsque pulvérisé sur les plants de petite herbe à poux avant l'apparition des fleurs. Température requise lors de l'application : au moins 24 °C. Une pluie moins de quelques heures après le traitement réduira l'efficacité.	Zone tampon requise lorsqu'une application se fait près d'un habitat terrestre ou humide vulnérable. Potentiellement toxique pour les organismes aquatiques et les plantes terrestres non ciblées. Peut attirer les gros mammifères comme les cerfs de Virginie.

MATIÈRE ACTIVE	NOM DU PRODUIT	No HOMOLOGATION	USAGE	MODE D'EMPLOI	NOCIVITÉ ENVIRONNEMENTALE SELON L'ÉTIQUETTE
Chlorure de sodium (36 %)	A.D.I.O.S HERBICIDE CONCENTRÉ	31491	Domestique	Dilution nécessaire (1 L/3 L d'eau). Plus efficace lorsque pulvérisé sur les plants de petite herbe à poux avant l'apparition des fleurs. Température requise lors de l'application : au moins 24 °C. Une pluie moins de quelques heures après le traitement réduira l'efficacité.	Potentiellement toxique pour les organismes aquatiques.
<i>Phoma macrostoma</i> souche 94-44B (89 %)	WEEDOUT	30132	Domestique	Pour usage sur pelouses seulement, en application prélevée dans le cas d'une lutte contre la petite herbe à poux (répression partielle).	

ACIDE ACÉTIQUE (VINAIGRE)

L'ACIDE ACÉTIQUE (CH_3COOH), plus connu sous le nom de vinaigre lorsqu'il est faiblement concentré ($\leq 8\%$), est un acide organique biodégradable en substances non toxiques comme le dioxyde de carbone (CO_2) et l'eau (H_2O). L'acide acétique peut être produit par fermentation bactérienne (processus biologique) ou de manière synthétique en usine, par un processus chimique de carbonylation du méthanol.

Le potentiel de l'acide acétique comme herbicide est examiné en Amérique du Nord depuis la fin des années 1990. Ces recherches répondent aux demandes des producteurs agricoles biologiques qui ont besoin de substances alternatives aux pesticides de synthèse pour la gestion des plantes nuisibles. Aussi, de plus en plus de producteurs et de consommateurs craignent les conséquences sur l'environnement et la santé des pesticides de synthèse, surtout dans un contexte d'usage dans les grandes cultures, ce qui engendre également une demande pour des produits alternatifs. Enfin, de nombreuses municipalités interdisent maintenant l'usage des pesticides de synthèse en ville, même sur les terrains privés, ce qui incite les fabricants à mettre sur le marché des biopesticides à moindre impact environnemental comme l'acide acétique (Duke et al. 2014).

L'acide acétique a été officiellement homologué au Canada comme matière active pour herbicides en 1999³, puis en 2014, alors pour combattre les plantes nuisibles des cultures de canneberge (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2014a, 2014b). La décision a été réévaluée en 2017 et 2018 pour inclure d'autres usages, comme la répression des plantes nuisibles dans les pelouses, autour des bâtiments ou dans les vergers, que ce soit pour un usage commercial ou domestique (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2017, 2018). Les produits à usage commercial sont plus concentrés en acide acétique (20–25 %) que les produits à usage domestique (6–10 %) qui ont une concentration qui s'apparente à celle du vinaigre culinaire. Dix-huit produits sont disponibles au pays pour la lutte contre la petite herbe à poux (**Tableau 1**).

Le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec a estimé qu'entre 1 000 et 10 000 kg d'acide acétique (poids en matière active) ont été vendus comme herbicide dans la province en 2017⁴. Toutefois, à ma connaissance, l'acide acétique n'est pas utilisé pour la lutte à grande échelle contre la petite herbe à poux, par exemple sur le bord des routes ou dans les champs en friche ou en culture. Il y a toutefois eu un essai de pulvérisation de solution vinaigrée en Abitibi de 2015 à 2017 en bordure de certaines routes, là où l'asphaltage des accotements favorisait la marche et l'usage de bicyclettes (J.-P. Robitaille, ministère des Transports du Québec, comm. pers.). Je n'ai toutefois pas pu obtenir davantage de détails sur cet essai.

Mode d'action et d'emploi

LES PRODUITS À BASE D'ACIDE ACÉTIQUE sont des herbicides de contact. Seules les parties du végétal qui entrent directement en contact avec l'acide seront affectées par le produit. L'acide acétique n'est pas véhiculé par la sève et ne peut donc pas faire mourir les racines, à moins bien

³ http://pr-rp.hc-sc.gc.ca/lr-re/lbl_detail-eng.php?p_disp_regn=%2725528%27&p_regnum=25528

⁴ <http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/bilan/2017/tableau-groupes-chimiques.pdf>

sûr qu'elles ne soient, par un moyen ou un autre, directement exposées à l'herbicide. L'acide endommage les membranes cellulaires des végétaux. Les cellules se vident ensuite de leur contenu, ce qui a pour effet de dessécher la plante et d'entraîner éventuellement sa mort. Comme la cuticule des feuilles des jeunes pousses (plantules) est mince, elle est plus susceptible de laisser pénétrer l'acide que celle des plants plus âgés. C'est pourquoi cet herbicide est généralement beaucoup plus efficace en début de saison de croissance des végétaux que tard l'été (Daniels et Miller 2015).

Tous les produits à usage commercial requièrent une dilution – en général, de la moitié ou du tiers de la concentration initiale, à un taux d'application de 180 à 1 000 L/ha – dans le contexte d'un usage contre les plantes annuelles comme la petite herbe à poux (**Tableau 1**). Plus les plants sont grands, moins le produit doit être dilué pour être efficace. Les produits à usage domestique ne doivent pas être dilués. Une pluie dans l'heure qui suit le traitement peut réduire beaucoup son efficacité. Certains fabricants recommandent, pour une plus grande efficacité, de ne traiter que les plants d'une taille de moins de 10 cm.

Efficacité

LA DÉCISION D'HOMOLOGATION DE L'ARLA pour ce qui concerne l'acide acétique, rendue en 2014, fait état de recherches effectuées pour lutter contre les plantes nuisibles des cultures de canneberge (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2014a, 2014b). On ne trouve toutefois pas dans les documents de données permettant de vérifier les prétentions du fabricant (identité non mentionnée) pour ce qui concerne l'efficacité (mais voir Drolet et Lavallée 2007). Ces données ont été transmises à l'ARLA, mais cette dernière, pas plus que le fabricant d'ailleurs, n'a l'obligation légale de les rendre disponibles au public. On ne peut en prendre connaissance que dans les bureaux de l'ARLA, à Ottawa. Il n'était pas dans le mandat de ce travail d'aller les consulter sur place. Cela dit, le document d'homologation précise que :

« [L'acide acétique à une concentration de] 12 % a montré une certaine efficacité pour la suppression des mauvaises herbes visées, soit les graminées, les carex, les scirpes et les joncs. Les herbicides de prélevée homologués pour la culture de la canneberge ne répriment pas les plantes bisannuelles ni les vivaces déjà établies. L'acide acétique est une solution complémentaire, voire de remplacement aux traitements effectués à grande échelle avec des herbicides antigerminatifs. L'utilisation de [l'acide acétique à une concentration de] 12 % permet d'avoir recours à un produit de traitement localisé, ce qui peut diminuer l'utilisation d'herbicides classiques (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2014a, p. 5).

Le projet de décision de réévaluation (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2017) et la décision elle-même (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2018) ne sont pas plus explicites quant à l'efficacité de la matière active, même dans des contextes plus larges que celui des seules cultures de canneberges.

Heureusement, les études scientifiques nord-américaines indépendantes sur l'efficacité de l'acide acétique comme herbicide sont relativement nombreuses (**Tableau 2**). J'en ai trouvé dix-neuf, la plupart (16) publiées dans des revues scientifiques avec comité de lecture. Elles ont toutes été effectuées au Canada ou aux États-Unis, et ont surtout été réalisées pour étudier l'efficacité de l'acide acétique dans la lutte contre des plantes nuisibles aux cultures (13 études) ou aux pelouses (3). Les concentrations en acide testées ont varié entre 2 et 30 % et les taux

d'application entre 19 (à 30 %) et 1 157 (à 5 ou 8 %) L/ha. Aucune de ces études ne traitait de la petite herbe à poux.

Il y a beaucoup de différences entre les tests, mais on peut tout de même parvenir avec ces travaux à faire un portrait assez précis de l'efficacité de l'acide acétique comme herbicide. On remarque notamment que :

- L'efficacité de l'acide acétique varie beaucoup d'une espèce à l'autre.
- L'acide acétique est beaucoup plus efficace sur les plantules de toute petite taille (avec moins de cinq ou six feuilles) que sur les plants plus âgés.
- Les effets de l'acide acétique sur les végétaux se font sentir rapidement (dans les 24 heures), mais s'estompent aussi assez rapidement (en quelques jours) si les traitements ont une faible concentration et ne sont pas répétés.
- Les solutions à concentration inférieure à 10 % ne sont guère efficaces. Ce sont surtout les solutions à concentration d'au moins 15–20 % qui font preuve d'efficacité.
- À quelques exceptions près, l'acide acétique est peu efficace contre les graminées (Poaceae).

L'Université du Maryland (États-Unis) a publié récemment un avis (Smith-Fiola et Gill 2017) sur l'efficacité de l'acide acétique comme herbicide. Elle estime que cet acide, à une concentration d'au moins 5–10 %, est excellent pour réprimer dans les 24 heures les plantes annuelles de toute petite taille, surtout dans les terrains gravelés. Par contre, il tue toutes les plantes sans distinction (l'herbicide n'est pas sélectif) et n'est guère efficace contre des plants de grande taille ou des plantes vivaces.

Tableau 2. Tests (efficacité, nocivité) effectués avec des pesticides à base d'acide acétique comme matière active.

PRODUIT ET CONCENTRATION EN ACIDE ACÉTIQUE	TAUX (CONCENTRATION) ET FRÉQUENCE DU TRAITEMENT	CONTEXTE	EFFICACITÉ	NOCIVITÉ ENVIRONNEMENTALE	RÉFÉRENCE
Vinaigre culinaire HEINZ (5 %) Acide acétique industriel RICCA (30 %)	188 L/ha (5 %) 19 L/ha (30 %) avec 1 application.	Floride, États-Unis Test en serre. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre plusieurs plantes nuisibles des cultures à l'état de plantule (taille : 3–10 cm).	Traitements jugés à efficacité variable. Les traitements avec faible concentration (5 %) fonctionnent (répression > 90 %) surtout pour les plantes qui ne font pas partie de la famille des graminées (Poaceae) et seulement s'ils sont appliqués alors que les plantules sont de très petite taille (avec moins de 5 feuilles). Les traitements à concentration élevée (30 %) sont généralement plus efficaces, mais cette efficacité décroît avec la taille des plants.		Abouzienna et al. 2003
Vinaigre culinaire (5–20 %)	Taux inconnu Injection près du collet de la plante ciblée, avec 8 applications étalées sur une période de 14 jours.	Massachusetts, États-Unis (1999) Test en serre. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre la cuscute de Gronovius (<i>Cuscuta gronovii</i> , Convolvulaceae), une plante nuisible des cultures de canneberge.	Traitements jugés inefficaces (aucun effet).		Morrison et al. 2005
Herbicides BURN OUT et GLORY (25 %) Vinaigre culinaire MALLINCKRODT (5–20 %)	Taux inconnu avec 1–3 applications sur une période de 14 jours.	New York, États-Unis (2001) Test au champ. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre plusieurs plantes nuisibles des pelouses.	Tous les traitements ont des effets observables dans les 24 heures , mais seuls les herbicides et le vinaigre culinaire avec concentration de 20 % ont une efficacité qui persiste au moins 5 semaines.		Chinery et Weston 2002

PRODUIT ET CONCENTRATION EN ACIDE ACÉTIQUE	TAUX (CONCENTRATION) ET FRÉQUENCE DU TRAITEMENT	CONTEXTE	EFFICACITÉ	NOCIVITÉ ENVIRONNEMENTALE	RÉFÉRENCE
Acide acétique industriel (2-9 %)	935 ou 1 076 L/ha avec 2, 4 ou 5 applications selon les routes ou les années, avec concentrations variables.	Californie, États-Unis (2001, 2002) Test en bordure de routes. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre les plantes annuelles de bord de route.	Traitements jugés à efficacité variable. Certaines plantes réagissent fortement (répression de près de 99 %) aux traitements dans les jours qui suivent une application, d'autres très peu, en particulier les graminées (Poaceae). L'effet des traitements s'estompe rapidement et leur efficacité est très inférieure à celle d'un traitement au glyphosate.		Young 2004
Acide acétique industriel (15-30 %)	318 et 636 L/ha avec 1 application.	New York, États-Unis (2004-2006) Test en serre. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre l'amarante à racine rouge (<i>Amaranthus retroflexus</i> , Amaranthaceae) et l'abutilon à pétales jaunes (<i>Abutilon theophrasti</i> , Malvaceae), deux plantes nuisibles des cultures, à l'état de plantule.	Traitements jugés efficaces (répression pouvant atteindre 100 %) contre l'amarante à racine rouge , mais inefficaces contre l'abutilon à pétales jaunes. La concentration doit être d'au moins 20 % pour s'assurer de l'efficacité.		Evans et al. 2009
Herbicide ECOCLEAR (30 %) Acide acétique industriel (10-30 %)	Herbicide ECOCLEAR : 200-800 L/ha avec 3 applications en juin. Acide acétique industriel : 300 L/ha avec 1 ou 2 applications en juin et juillet.	Île-du-Prince-Édouard, Canada (2004-2006) Test au champ. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre plusieurs plantes nuisibles des cultures de pomme de terre.	Traitements à l'herbicide jugé très efficaces (répression pouvant atteindre 100 %), mais seulement à un taux d'application de 800 L/ha. Traitements à l'acide acétique industriel jugés efficaces (répression > 93 %) avec une concentration d'au moins 20 %. Une concentration plus élevée n'est guère plus avantageuse.		Ivany 2010

PRODUIT ET CONCENTRATION EN ACIDE ACÉTIQUE	TAUX (CONCENTRATION) ET FRÉQUENCE DU TRAITEMENT	CONTEXTE	EFFICACITÉ	NOCIVITÉ ENVIRONNEMENTALE	RÉFÉRENCE
Acide acétique industriel (15–30 %)	636 L/ha (15–20 %) 318 L/ha (20–30 %) avec 1 application.	New York, États-Unis (2005, 2006) Test au champ. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre plusieurs plantes nuisibles des cultures de maïs, d'oignon et de pomme de terre.	Traitements jugés à efficacité variable. Certaines plantes nuisibles réagissent fortement aux traitements, d'autres très peu. En général, les traitements avec une concentration de 20 % et un taux de 636 L/ha ont la meilleure efficacité (répression > 90 %), mais seulement pour les plants avec 6 feuilles et moins.		Evans et Bellinder 2009
Vinaigre culinaire REINHART (3–12 %)	Injection de 35–40 ml près du collet des plantes ciblées, avec 1 application en juin ou en juillet.	Québec, Canada (2006) Test au champ. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre quelques plantes nuisibles des cultures de canneberge en début de croissance (2–4 feuilles).	Traitements jugés efficaces (répression pouvant atteindre 100 %) avec une concentration d'au moins 9 %.	Aucun dommage observé sur les plants de canneberge.	Drolet et Lavallée 2007
Vinaigre culinaire (5 et 8 %)	1 157 L/ha avec des applications estivales à toutes les 2 ou 4 semaines.	Colombie-Britannique, Canada (2006–2007) Test dans un parc urbain. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre le chardon des champs (<i>Cirsium arvense</i> , Asteraceae).	Traitements avec concentration de 8 % jugés efficaces , mais seulement la seconde année, avec une réduction du nombre de tiges de chardon des champs de 66–100 %. Il semble toutefois que cet effet ne soit que temporaire. L'absence de témoins ne permet guère de conclure sur l'efficacité réelle des différents traitements.	La végétation non ciblée subit les effets des traitements.	Booth et Skelton 2009

PRODUIT ET CONCENTRATION EN ACIDE ACÉTIQUE	TAUX (CONCENTRATION) ET FRÉQUENCE DU TRAITEMENT	CONTEXTE	EFFICACITÉ	NOCIVITÉ ENVIRONNEMENTALE	RÉFÉRENCE
Vinaigre culinaire FLEISCHMANN (5-20 %)	107 L/ha avec 1 application.	Californie, Delaware, Illinois Michigan, Minnesota, New York, Pennsylvanie, États-Unis (2006-2008) Test au champ. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre plusieurs plantes nuisibles des cultures à l'état de plantule (2-4 feuilles).	Traitements jugés à efficacité très variable. De manière générale, seuls les traitements avec concentration d'au moins 15 % et appliqués par temps chaud et humide atteignent un niveau de répression acceptable (> 90 %) pour l'agriculture. Les plantes de la famille des graminées (Poaceae) ne sont guère affectées par les traitements.		Brainard et al. 2013
Herbicide WEED PHARM (20 %)	282 L/ha avec 2 applications (juin, septembre)	Washington, États-Unis (2008) Test au champ. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre le lamier jaune (<i>Lamiastrum galeobdolon</i> , Lamiaceae), une plante envahissante.	Traitement jugé efficace (répression pouvant atteindre 90 %), mais l'effet ne persiste pas au-delà d'une année si les applications ne sont pas répétées.		Miller et al. 2014
Herbicide ECOCLEAR (25 %)	800 L/ha avec 1 application.	Île-du-Prince-Édouard, Canada (2008, 2009) Test au champ. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre plusieurs plantes nuisibles des cultures de carotte.	Traitements jugés acceptables , mais le niveau de répression est de 15 à 100 fois inférieur à celui d'un herbicide de synthèse (linuron).		Main et al. 2013
Acide acétique industriel (20 %)	700 L/ha avec 1 application.	New York, États-Unis (2009) Test au champ. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre des plantes nuisibles des cultures de brocoli et de poivron.	Traitements jugés très efficaces (répression pouvant atteindre 100 %) à très court terme (une journée) si les plantes nuisibles ont au plus 6 feuilles.		Evans et al. 2011

PRODUIT ET CONCENTRATION EN ACIDE ACÉTIQUE	TAUX (CONCENTRATION) ET FRÉQUENCE DU TRAITEMENT	CONTEXTE	EFFICACITÉ	NOCIVITÉ ENVIRONNEMENTALE	RÉFÉRENCE
Acide acétique industriel FISCHER SCIENTIFIC (10 ou 15 %)	561 L/ha avec 2–4 applications par été, sur deux années.	Utah, États-Unis (2009, 2010) Test au champ. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre le chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i> , Chenopodiaceae), une plante nuisible dans les vergers.	Traitements jugés efficaces (répression : 44–85 %) dans le contexte d'un verger, mais l'efficacité est moindre que celle d'un traitement au glyphosate (74–100 %).		Rowley et al. 2011
Acide acétique industriel (30 %)	187–374 L/ha avec 1 ou 2 applications à 7 jours d'intervalle.	Floride, États-Unis (2009, 2010) Test en serre et au champ. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre une plante nuisible des pelouses (<i>Digitaria ciliaris</i> , Poaceae).	Traitements jugés inefficaces avec une répression < 40 % 21 jours après les applications.	Domages aux pelouses (> 20 % du couvert) jugés inacceptables.	Glenn et al. 2015
Vinaigre culinaire (10 %)	700 L/ha avec 2 applications (octobre) à une année d'intervalle.	Indiana, États-Unis (2010, 2011) Test dans une station de recherche. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre le lierre terrestre (<i>Glechoma hederacea</i> , Lamiaceae), une plante nuisible des pelouses, et son effet sur les pelouses elles-mêmes.	Traitements jugés inefficaces , avec une répression pouvant atteindre au mieux 21 %.	Domages aux pelouses jugés trop élevés pour être acceptables.	Patton et al. 2019
Herbicide NATURES WISDOM (20 %)	Dose inconnue avec des applications aux 2 semaines du début mai au début novembre.	New Jersey, États-Unis (2012) Test au champ. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre plusieurs plantes nuisibles des cultures, et en particulier la digitale astringente (<i>Digitaria ischaemum</i> , Poaceae).	Traitements jugés totalement inefficaces.		Snell 2012

PRODUIT ET CONCENTRATION EN ACIDE ACÉTIQUE	TAUX (CONCENTRATION) ET FRÉQUENCE DU TRAITEMENT	CONTEXTE	EFFICACITÉ	NOCIVITÉ ENVIRONNEMENTALE	RÉFÉRENCE
Acide acétique industriel (5–20 %)	Dose inconnue avec 1 application.	Texas, États-Unis Test en serre. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre des plants d'amarante de Palmer (<i>Amaranthus palmeri</i> , Amaranthaceae), une plante nuisible des cultures, d'une taille de 4 cm.	Traitements jugés efficaces (répression pouvant atteindre 100 %) avec une concentration d'au moins 10 %.		Garcia et Youngblood 2017
Vinaigre culinaire BEST CHOICE (5 %) Acide acétique industriel NATURE'S GUIDE (20 %)	187 ou 935 L/ha avec 2 applications (juillet) à une année d'intervalle.	Oklahoma, États-Unis Test au champ. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre plusieurs plantes nuisibles des cultures.	Traitements jugés plus ou moins efficaces , avec une répression pouvant atteindre, toutes plantes nuisibles confondues, 39–68 %. Les traitements sont plus efficaces à concentration élevée (20 %), mais ont une faible performance contre les graminées (Poaceae).		Weber et al. 2018

Nocivité environnementale

L'IMPACT DE L'ACIDE ACÉTIQUE SUR L'ENVIRONNEMENT n'a pratiquement pas été étudié, du moins dans un contexte d'usage comme herbicide. Cela n'est pas surprenant, car l'acide acétique n'est pas offert depuis très longtemps sur le marché pour la lutte contre les plantes nuisibles. Sa pulvérisation à grande échelle engendre aussi des coûts élevés qui empêchent probablement et pour le moment une généralisation de son usage.

L'ARLA estime que l'acide acétique se dégrade très rapidement dans le sol. Dans son projet de décision d'homologation publié en 2014, elle écrit que :

« Les caractéristiques du devenir de l'acide acétique sont bien documentées dans les sources publiées. L'acide acétique est connu pour être facilement biotransformé en conditions aérobies et anaérobies dans le sol (demi-vie dans le sol < 14 jours). Par conséquent, il ne devrait pas être persistant dans le sol. L'acide acétique est toxique pour les plantes et légèrement toxique pour les organismes aquatiques. Cependant, en raison de la nature de l'utilisation [d'un produit d'acide acétique à concentration de] 12 % (...) on prévoit que le risque d'exposition des organismes terrestres et aquatiques non ciblés sera négligeable et, par conséquent, aucune évaluation quantitative des risques n'est requise » (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2014a, p. 14).

Il n'empêche que dans sa décision de réévaluation publiée en 2018, et qui concerne un usage plus large de l'acide acétique comme herbicide, l'ARLA demande aux fabricants d'ajouter les mises en garde suivantes sur les étiquettes des produits :

« TOXIQUE pour les organismes aquatiques et les plantes terrestres non ciblées. Respecter les zones tampons spécifiées dans le mode d'emploi. »

« Il est nécessaire que des zones tampons (...) séparent le point d'application directe du produit et la lisière la plus proche, dans la direction du vent, des habitats terrestres sensibles (par exemple, prairies, forêts, brise-vent, terres à bois, haies, zones riveraines, zones arbustives), des habitats d'eau douce sensibles (par exemple, lacs, rivières, boursiers, étangs, fondrières (...), ruisseaux, marais, réservoirs, milieux humides) et des habitats estuariens et marins sensibles » (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2018, p. 13).

Coût

QUELQUES ÉTUDES ONT COMPARÉ LE COÛT D'UN TRAITEMENT À L'ACIDE ACÉTIQUE à celui d'autres traitements potentiels (fauche, herbicides). Il faut toutefois savoir que ces études ne considèrent que les coûts de la lutte, pas les coûts indirects (conséquences sur l'environnement et la santé) de l'usage des différents produits. Young (2004) estime qu'un traitement acceptable quant à l'efficacité de la lutte, pour ce qui concerne les plantes nuisibles en bord de route, coûterait de 50 à 80 fois plus cher avec de l'acide acétique qu'avec du glyphosate. Cela s'explique par l'efficacité beaucoup moins grande de l'acide et le nombre plus élevé de traitements que requiert l'usage de cet herbicide si l'on veut réprimer les plantes nuisibles pendant toute leur saison de croissance. Au contraire, une seule application annuelle de glyphosate, un produit relativement bon marché,

est parfois suffisante pour atteindre cet objectif. Pour les mêmes raisons, utiliser l'acide acétique dans un verger plutôt que le glyphosate multiplierait les dépenses en herbicides par un facteur de 70 à 170 (Rowley et al. 2011). L'écart serait beaucoup moindre dans les pelouses, mais un traitement à l'acide acétique coûterait tout de même trois fois plus cher qu'une application de glyphosate (Chinery et Weston 2002).

Dans une étude expérimentale sur l'efficacité des traitements alternatifs aux herbicides de synthèse pour la gestion de la végétation des emprises routières, le Transportation Center de l'Université du Massachusetts arrive à la conclusion que ces traitements, dont l'un était constitué d'une combinaison d'acide citrique et d'acide acétique, ne sont règle générale guère efficaces pour la lutte contre les plantes nuisibles, sinon à très court terme. L'effet du glyphosate était dans les traitements *in situ* largement supérieur, avec une cote de 9 à 10 (sur une échelle de 0 [aucun effet] à 10 [éradication complète des plantes nuisibles]), à celui des biopesticides (acide citrique et acide acétique, acide pélargonique, huile de clou de girofle), qui eux avaient une cote de 0 à 4, et ce, six à dix semaines après les traitements. Sur une base annuelle, les traitements alternatifs étaient aussi de 20 à 120 fois plus chers qu'un traitement au glyphosate (Barker et Probst 2008).

ACIDE 4-CHLOROINDOLE-3-ACÉTIQUE

L'ACIDE 4-CHLOROINDOLE-3-ACÉTIQUE ($C_{10}H_8ClNO_2$) est une hormone végétale naturelle que l'on trouve dans les graines de quelques plantes de la famille des Fabaceae, et plus particulièrement des genres *Lathyrus* (gesses), *Lens* (lentilles), *Medicago* (luzernes), *Melilotus* (mélilots), *Pisum* (pois), *Trifolium* (trèfles) et *Vicia* (vesces). L'affirmation voulant qu'on en trouve aussi dans les graines du pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) est probablement inexacte (Reinecke et al. 1999, Lam et al. 2015).

Le potentiel de l'acide 4-chloroindole-3-acétique comme herbicide a été découvert par le chercheur danois Kjeld Engvild en 1996. Au Canada, les préparations commerciales contenant cet acide peuvent être appliquées sur des plantes considérées nuisibles dans les pelouses, comme le pissenlit officinal (*Taraxacum officinale*) ou le plantain majeur (*Plantago major*).

L'acide 4-chloroindole-3-acétique a été officiellement homologué au Canada comme matière active pour herbicides en 2016 (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2016a, 2016b). Un seul produit (WEEDOUT ULTRA) est disponible au pays pour la lutte contre la petite herbe à poux (Tableau 1). Le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec a estimé qu'entre 1 et 1 000 kg d'acide 4-chloroindole-3-acétique (poids en matière active) ont été vendus comme herbicide dans la province en 2017⁵. Toutefois, à ma connaissance, cet acide n'est guère utilisé pour la lutte contre la petite herbe à poux, d'autant plus que son usage n'est autorisé que dans les pelouses.

Mode d'action et d'emploi

CHEZ LE POIS CULTIVÉ (*Pisum sativum*), où l'hormone a été davantage étudiée, l'acide 4-chloroindole-3-acétique stimulerait chez les jeunes plants la croissance des tiges ou la formation des racines, et surtout le développement des fruits (Reinecke et al. 1999). Il est toutefois possible que chez les plants plus âgés, l'hormone induise aussi des concentrations élevées d'éthylène dans les tissus, ce qui inhiberait la synthèse de l'ADN et la division cellulaire, et donc la croissance des tissus. L'éthylène aurait également pour effet de fermer les stomates des feuilles, ce qui ralentirait ou même stopperait le processus de photosynthèse. En définitive, l'acide 4-chloroindole-3-acétique engendrerait la sénescence des plants et agirait par conséquent comme un herbicide. Cet effet peut sembler paradoxal, mais la sénescence aurait aussi pour conséquence de mobiliser, puis de favoriser le transport des nutriments contenus dans les tissus végétaux vers les graines, ce qui renforcerait leur viabilité (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2016a). Ce mode d'action demeure à ce jour hypothétique et controversé (Reinecke et al. 1999). La littérature scientifique est par ailleurs très peu abondante sur cette hormone.

Le seul produit dûment homologué au Canada pour la lutte contre la petite herbe à poux doit être pulvérisé par petits jets sur le feuillage. Une pluie dans les deux à quatre heures qui suivent le traitement peut réduire beaucoup son efficacité.

Efficacité

LA DÉCISION D'HOMOLOGATION DE L'ARLA pour ce qui concerne l'acide 4-chloroindole-3-acétique fait état de recherches effectuées par le demandeur (PREMIER TECH) sur l'herbicide WEEDOUT. On

⁵ <http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/bilan/2017/tableau-groupes-chimiques.pdf>

précise que neuf essais d'efficacité ont été effectués en Alberta et au Québec en 2012 et 2013. La petite herbe à poux ne figurait pas parmi les plantes ciblées lors de ces essais. L'ARLA ajoute que des renseignements adéquats ont été soumis pour étayer les allégations de suppression des plantes testées (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2016a), mais on ne trouve pas dans le document de données permettant de vérifier les prétentions du fabricant. Ces données ont été transmises à l'ARLA, mais cette dernière, pas plus que le fabricant d'ailleurs, n'a l'obligation légale de les rendre disponibles au public. On ne peut en prendre connaissance que dans les bureaux de l'ARLA, à Ottawa. Il n'était pas dans le mandat de ce travail d'aller les consulter sur place. Malheureusement, les études scientifiques indépendantes sur l'efficacité de l'acide 4-chloroindole-3-acétique comme herbicide dans les pelouses sont inexistantes, ou du moins les moteurs de recherche que j'ai utilisés pour les trouver n'ont pas été en mesure de les détecter.

Nocivité environnementale

L'IMPACT DE L'ACIDE 4-CHLOROINDOLE-3-ACÉTIQUE SUR L'ENVIRONNEMENT n'a pas été étudié dans un contexte d'usage comme herbicide. Cela n'est pas surprenant, car cet acide n'est pas disponible depuis très longtemps sur le marché pour la lutte contre les plantes nuisibles.

L'ARLA estime que l'acide 4-chloroindole-3-acétique n'a probablement pas d'effet nocif sur l'environnement aux doses prescrites par le fabricant. Dans son projet de décision d'homologation (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2016a), elle écrit que :

« L'acide 4-chloroindole-3-acétique a une faible solubilité, une faible volatilité et devrait être stable à l'hydrolyse. Il devrait subir une biotransformation microbienne et une minéralisation rapides dans le sol. (...) l'acide 4-chloroindole-3-acétique ne devrait pas migrer du sol vers les eaux souterraines. En cas de rejet dans l'eau, il ne devrait pas être adsorbé sur des solides en suspension ni des sédiments. Son potentiel de bioconcentration dans des organismes aquatiques est également estimé faible » (p. 18).

Elle ajoute toutefois que :

« Aucune caractérisation quantitative des risques posés par l'acide 4-chloroindole-3-acétique n'a été réalisée pour l'évaluation environnementale étant donné que les profils d'emploi proposés devraient conduire à une exposition limitée de l'environnement. Les concentrations prévues dans l'environnement dans le sol et l'eau ne peuvent pas être quantifiées, la solution pulvérisée devant être dirigée vers des mauvaises herbes cibles sur de petites parcelles et en évitant tout ruissellement du produit. (...) De plus, l'acide 4-chloroindole-3-acétique ne devrait pas persister dans l'environnement, car il est susceptible à la transformation microbienne (...). L'utilisation de ce produit ne devrait donc pas mener à un dépôt significatif de la matière active dans le sol adjacent à des plans d'eau ni sur des plantes non ciblées » (p. 19)

Elle conclut :

« L'acide 4-chloroindole-3-acétique est une hormone végétale naturelle qu'on retrouve dans les graines d'une variété de plantes. Il ne devrait pas être persistant dans l'environnement. Une exposition limitée de l'environnement est prévue suite à son

utilisation sous forme de traitement localisé contre les mauvaises herbes dans le gazon, par pulvérisation au moyen d'un équipement manuel ou à réservoir dorsal. L'acide 4-chloroindole-3-acétique ne devrait pas poser de risque préoccupant pour l'environnement quand il est utilisé conformément au mode d'emploi de l'étiquette des préparations commerciales » (p. 25).

CHLORURE DE SODIUM (SEL)

LE CHLORURE DE SODIUM (NaCl), plus connu sous le nom de sel, est une substance très répandue sur Terre. Le sel est essentiel à la vie animale. Il fait l'objet de nombreux usages industriels et est largement utilisé en alimentation. En 2010, plus de 270 millions de tonnes de sel ont été produites dans le monde. En Amérique du Nord, on s'en sert beaucoup pour déglacer les routes. Aux États-Unis, environ 38 % de la production nationale de sel est épanchée sur les chemins l'hiver (Feldman 2011).

Le sel est un herbicide connu depuis longtemps, mais il a surtout été utilisé au départ comme agent de stérilisation des sols plutôt que comme herbicide plus ou moins sélectif (Hildebrand 1946). Au 19^e siècle, en Europe, on saupoudrait à l'occasion du sel sur le sol pour empêcher certaines mauvaises herbes de croître (Mukula et Ruuttunen 1969). Cette pratique donnait parfois lieu à quelques excès : en Californie (États-Unis), on considérait que le sel était un herbicide efficace, mais seulement si on en appliquait des quantités massives de l'ordre de 237 000 kg/ha... recommandation pour la moins discutable (Raynor et Britton 1943).

Depuis l'émergence des herbicides de synthèse au début des années 1940 comme produits phytosanitaires, le sel n'est plus guère utilisé en lutte contre les mauvaises herbes. On assiste toutefois, depuis la fin des années 1990, à un certain regain d'intérêt pour le sel pour produire des herbicides moins nocifs pour l'environnement. Le sel est, au Canada, officiellement homologué comme herbicide depuis 2006. Huit produits sont disponibles au pays pour la lutte contre la petite herbe à poux. Ils sont commercialisés sous les noms ADIOS AMBROS (ou A.D.I.O.S), RAGWEED OFF et WEEDOUT (**Tableau 1**). Les produits à usage commercial sont pour la plupart très hautement concentrés en sel (99 %) et doivent être dilués avant qu'on ne procède aux traitements. Les produits à usage domestique sont moins concentrés (12 %) et prêts à l'emploi.

Le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec a estimé qu'entre 10 000 et 100 000 kg de chlorure de sodium ont été vendus comme herbicide dans la province en 2017⁶. Le sel en solution a été fréquemment utilisé au Québec par le ministère des Transports ou par des municipalités dans la lutte contre la petite herbe à poux, en particulier en bordure des corridors routiers. À ma connaissance, outre quelques essais au Massachusetts (États-Unis), cet usage ne s'est pas répandu ailleurs en Amérique du Nord. Le chlorure de sodium est par ailleurs interdit comme herbicide sur le territoire réglementé par la Commission européenne depuis 2017 (règlement d'exécution 2017/1529).

Mode d'action et d'emploi

LES PRODUITS À BASE DE CHLORURE DE SODIUM sont des herbicides de contact. Seules les parties du végétal qui entrent directement en contact avec la solution saline seront affectées par le sel. Le chlorure de sodium n'est pas véhiculé par la sève et ne peut donc pas faire mourir les racines, à moins bien sûr qu'elles ne soient, par un moyen ou un autre, directement exposées à l'herbicide. On présume que le sel réduit le potentiel hydrique à l'extérieur des cellules des feuilles de la plante. Par osmose, les cellules cherchent alors à atteindre un équilibre osmotique, et comme l'eau est drainée de la plante, les tissus de celle-ci se dessèchent ce qui, à terme, cause la mort (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2006).

⁶ <http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/bilan/2017/tableau-groupes-chimiques.pdf>

Presque tous les produits à usage commercial recommandent un taux d'application, après dilution et pour la lutte contre la petite herbe à poux, de 1 250 L/ha (**Tableau 1**). Comme la solution diluée contient 120 g de chlorure de sodium par litre d'eau, cela représente l'épandage de 150 kg de matière active (m.a.) par hectare. Une seule application devrait normalement suffire pour obtenir l'effet escompté. Pour y arriver, il faut toutefois que la pulvérisation se fasse par temps chaud (au moins 24 °C) et sec. Une pluie dans les 24 heures qui suivent le traitement peut réduire beaucoup son efficacité. Les fabricants recommandent enfin, pour une plus grande efficacité, de traiter les plants de petite herbe à poux avant que ne s'amorce leur floraison.

Efficacité

LA DÉCISION D'HOMOLOGATION DE L'ARLA pour ce qui concerne le chlorure de sodium, rendue en 2006, fait état de recherches effectuées par le demandeur (HERBANATUR) sur l'herbicide ADIOS AMBROS. On précise que les essais d'efficacité ont été effectués au Québec entre 1996 et 2002 (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2006), mais on ne trouve pas dans le document de données permettant de vérifier les prétentions du fabricant pour ce qui concerne le cas spécifique de la lutte contre la petite herbe à poux. Ces données ont été transmises à l'ARLA, mais cette dernière, pas plus que le fabricant d'ailleurs, n'a l'obligation légale de les rendre disponibles au public. On ne peut en prendre connaissance que dans les bureaux de l'ARLA, à Ottawa. Il n'était pas dans le mandat de ce travail d'aller les consulter sur place.

Les études scientifiques indépendantes sur l'efficacité du chlorure de sodium comme herbicide sont très rares (**Tableau 3**). Je n'en ai trouvé que neuf, dont seulement cinq publiées dans des revues scientifiques avec comité de lecture. Elles sont difficilement comparables les unes aux autres, puisque dans certains cas, le sel a été épandu non pas en solution, mais directement sur le sol comme matériau granulaire (brut). Les taux d'application ont été très variables lors des différents tests, soit entre 48 et 3 904 kg m.a./ha. Six tests ont été effectués avec des solutions salines, dont quatre dans un contexte de lutte contre la petite herbe à poux. Un seul test a été fait en bordure de corridors routiers, dans la région de Montréal ; c'est aussi le plus ancien test recensé (1999–2001).

Il est très difficile de faire des généralisations à partir de tests aussi peu nombreux. On remarque néanmoins que :

- Le sel épandu à l'état brut ne semble pas réprimer efficacement les mauvaises herbes, sauf à des taux d'application très élevés (au moins 488–976 kg m.a./ha).
- L'efficacité des solutions salines semble varier beaucoup d'un site à l'autre et entre les années, ce qui est peut-être redevable aux conditions (météorologiques, notamment) variables dans lesquelles s'effectuent les pulvérisations.
- Une précipitation dans les heures qui suivent un traitement à la solution saline réduit beaucoup son efficacité, ou peut même en annuler les effets.
- Les solutions salines utilisées en lutte contre la petite herbe à poux peuvent donner de bons résultats, mais seulement à des taux d'application > 100 kg m.a./ha. Le taux recommandé par les fabricants (150 kg m.a./ha) semble donc adéquat.

Tableau 3. Tests (efficacité, nocivité) effectués avec des pesticides à base de chlorure de sodium comme matière active (m.a.).

PRODUIT ET CONCENTRATION EN CHLORURE DE SODIUM	TAUX (CONCENTRATION) ET FRÉQUENCE DU TRAITEMENT	CONTEXTE	EFFICACITÉ	NOCIVITÉ ENVIRONNEMENTALE	RÉFÉRENCE
Sel fin en solution (probablement 12 %)	65–182 kg m.a./ha avec 4 applications par année à 30 jours d'intervalle (mi-juin – mi-septembre).	Québec, Canada (1999–2001) Test en bordure d'autoroutes et dans des terrains en friche. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre la petite herbe à poux, ainsi que ses effets sur les sols et les autres plantes.	Traitements jugés à efficacité variable. Seuls les traitements avec un taux ≥ 104 kg m.a./ha appliqués en juin et en juillet par temps chaud et sec semblent provoquer, si répétés sur trois ans, une réduction des populations de petite herbe à poux, surtout au niveau du couvert et particulièrement lors des deux semaines qui suivent une pulvérisation. L'efficacité varie toutefois beaucoup d'un site et d'une année à l'autre avec une répression pouvant localement atteindre 54–100 %. L'expérience ne permet pas d'affirmer que la production du pollen est réduite par les traitements de manière significative, puisque cette production n'a pas été évaluée.	Les traitements ne semblent pas altérer de manière significative les caractéristiques du sol ni les autres espèces végétales, en terme de couvert ou de biodiversité.	Watson et al. 2003
Herbicide ADIOS AMBROS (99 %)	450–675 kg m.a./ha (180 g m.a./L) avec 4 applications échelonnées sur 2 années consécutives.	Québec, Canada (2006–2008) Test dans un parc national. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre l'herbe à puce (<i>Toxicodendron radicans</i> , Anacardiaceae).	Traitements jugés efficaces pour éliminer près de 100 % des tiges, mais leur mort a eu pour effet de faire surgir de nombreuses nouvelles tiges à partir des rhizomes de la plante qui ne sont pas directement touchés par l'herbicide. Ces traitements ont été abandonnés après plusieurs années pour cause d'inefficacité (R. Charest, Société des établissements de plein air du Québec, comm. pers.)		Meilleur 2009

PRODUIT ET CONCENTRATION EN CHLORURE DE SODIUM	TAUX (CONCENTRATION) ET FRÉQUENCE DU TRAITEMENT	CONTEXTE	EFFICACITÉ	NOCIVITÉ ENVIRONNEMENTALE	RÉFÉRENCE
Herbicides ADIOS AMBROS RAGWEED OFF (99 %)	150 kg m.a./ha avec 1 application annuelle (fin juillet) précédée ou suivie de fauches, pendant 2–4 ans.	Québec, Canada (2006–2009) Test dans un site industriel. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre la petite herbe à poux.	Traitements jugés efficaces pour réduire de manière significative la densité des individus et le couvert occupé par la petite herbe à poux, dans la mesure où aucune précipitation ne survient les jours qui suivent le traitement. La combinaison de deux traitements (fauche et herbicide) rend toutefois difficile l'évaluation exacte de l'effet de la solution saline.		Meunier et al. 2012
Sel fin brut (99 %)	488 kg m.a./ha avec 3 applications à 7 jours d'intervalle.	Hawaii, États-Unis (2007, 2008) Test dans un parc et un terrain de golf. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre une nuisance (<i>Eleusine indica</i> , Poaceae) des pelouses.	Traitements jugés peu efficaces (répression de 54–58 %, 56 jours après les traitements) en comparaison avec ceux effectués avec une combinaison d'autres matières actives de synthèse (jusqu'à 96 %).	Pas d'effet notable sur la pelouse.	Brosnan et al. 2009a
Sel fin ou grossier, brut ou en solution (99 %)	488 kg m.a./ha avec 3 applications à 7 jours d'intervalle. 1 464 kg m.a./ha avec 1 application.	Hawaii, États-Unis (2007, 2008) Test dans un terrain de golf. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre une nuisance (<i>Paspalum conjugatum</i> , Poaceae) des pelouses.	Traitements jugés efficaces (répression de 90–97 %, 42 jours après les traitements), mais seulement à la dose de 488 kg m.a./ha. La dose trois fois plus élevée ne donne pas de bons résultats (aussi peu que 6 % de répression) ou ceux-ci sont très variables.		Brosnan et al. 2009b
Sel fin brut (99 %)	448 kg m.a./ha avec 1 application.	Hawaii, États-Unis (2008) Test dans une station de recherche. Évaluer l'efficacité du produit en matière de gestion des plantes nuisibles à l'état de plantule en bordure des corridors routiers.	Traitements jugés peu efficaces (répression de 18–37 %, 38 jours après les traitements) en comparaison avec ceux effectués avec d'autres matières actives de synthèse (jusqu'à 100 %).	Observation de changements à la surface du sol (craquements). Les sols argileux semblent plus sensibles à l'effet du sel.	Baldos et al. 2010

PRODUIT ET CONCENTRATION EN CHLORURE DE SODIUM	TAUX (CONCENTRATION) ET FRÉQUENCE DU TRAITEMENT	CONTEXTE	EFFICACITÉ	NOCIVITÉ ENVIRONNEMENTALE	RÉFÉRENCE
Sel fin brut MORTON	244– 3 904 kg m.a./ha avec 2 applications à 55–63 jours d'intervalle.	Géorgie, États-Unis (2009, 2010) Test dans une station de recherche. Évaluer l'efficacité du produit en matière de lutte contre une nuisance (<i>Digitaria ischaemum</i> , Poaceae) des pelouses.	Traitements jugés efficaces (répression 81–100 %, 28 jours après les traitements), mais seulement à des doses \geq 976 kg m.a./ha. Les doses inférieures sont jugées inefficaces ou donnent des résultats trop variables (répression : 19–72 %).	À la dose minimale efficace (976 kg m.a./ha), les dommages à la pelouse sont jugés inacceptables (> 20 % des feuilles endommagées).	McCullough et Raymer 2011
Herbicide ADIOS AMBROS (99 %)	150–990 kg m.a./ha avec 2 applications à 15 jours d'intervalle (fin juin – mi-juillet).	Ontario, Canada (2011) Test au champ. Évaluer l'efficacité du produit en matière de gestion des plantes nuisibles (notamment la petite herbe à poux) dans des champs de soya, ainsi que ses effets sur la plante cultivée.	Traitements jugés efficaces pour la lutte contre la petite herbe à poux (répression de 92 %, 56 jours après le second traitement à 150 kg m.a./ha) et au chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i> , Chenopodiaceae ; 98 %). Les traitements sont moins efficaces (83– 86 %) contre les graminées (Poaceae) nuisibles.	Moins de 10 % des plants de soya subissent des dommages suite à un traitement à 150 kg m.a./ha, ce qui est jugé acceptable.	Bilyea 2011
Sel grossier SALINS en solution (36 %)	48–384 kg m.a./ha (30–240 g m.a./L) avec 1 application.	France (2015, 2016) Test dans une station de recherche. Évaluer l'efficacité du produit en matière de gestion de la petite herbe à poux ayant 6–12 feuilles en bordure des corridors routiers.	Traitements jugés efficaces , mais à des doses d'au moins 60 g/L (répression à hauteur de 50–60 %) et préférablement de 120 g/L (100 %).	Les graminées (Poaceae) tolèrent bien un traitement à une dose de 60 g/L, contrairement aux trèfles (<i>Trifolium pratense</i> , <i>T. repens</i> , Fabaceae). Aux doses supérieures, les effets des traitements (mortalité) sont perceptibles chez un plus grand nombre d'espèces.	Bilon et al. 2016

Deux études sont plus pertinentes que les autres pour ce travail, soit celle de Watson et al. (2003), qui a précédé l'homologation du chlorure de sodium comme pesticide (2006), et celle de Meunier et al. (2012), qui a été réalisée dans des installations d'HYDRO-QUÉBEC. Les deux études ont eu recours à des solutions salines pour la lutte contre la petite herbe à poux. Les solutions de Watson et al. (2003) ont été fabriquées en laboratoire, alors que Meunier et al. (2012) ont plutôt eu recours à des préparations commerciales dûment homologuées (ADIOS AMBROS, RAGWEED OFF).

Watson et al. (2003) ont étudié sur trois années consécutives l'efficacité des solutions salines à différents taux d'épandage en bordure de quelques autoroutes et dans des terrains en friche de la région de Montréal. Cette étude a été subventionnée par le ministère des Transports du Québec. Les chercheurs ont été confrontés à de multiples problèmes opérationnels lors de leurs expériences, plusieurs sites expérimentaux ayant été perturbés lors des tests. Ils concluent néanmoins qu'après trois ans de traitement, on peut observer dans les sites traités une réduction des populations de petite herbe à poux, surtout au niveau du couvert et particulièrement lors des deux semaines qui suivent une pulvérisation en début d'été. L'efficacité des traitements a toutefois varié beaucoup d'un site et d'une année à l'autre avec une répression pouvant localement atteindre 54–100 %. Il n'a pas été possible, à partir de cette expérience, de vérifier si la production du pollen a été réduite de manière significative par les traitements, puisque cette production n'a pas été évaluée.

L'étude de Meunier et al. (2012), effectuée par la firme de consultants GENIVAR pour le compte d'HYDRO-QUÉBEC, avait pour objectif de comparer l'efficacité de la fauche à celle des solutions salines. Cette étude comporte malheureusement des vices méthodologiques importants. Il n'y a d'abord aucun témoin réel (sans traitement). Les traitements de fauche ont été effectués à quatre reprises chaque printemps-été (fin mai, fin juin, fin juillet, fin août), mais les deux premières fauches s'avèrent, dans les faits, inutiles dans un contexte de lutte contre la petite herbe à poux, car trop hâtives. Une fauche vers la mi-août eut été plus indiquée (Lavoie 2019). Enfin, les deux traitements (fauche, herbicide) n'ont pas été effectués de manière indépendante. Les traitements aux solutions salines (fin juillet), appliqués par ailleurs plutôt tardivement, ont été précédés ou suivis de fauches en mai, juin et août. Il est donc très difficile de savoir à quel traitement la petite herbe à poux a réagi au juste, et dans quelle proportion un effet peut être attribuable à l'un ou l'autre des traitements. Les auteurs concluent néanmoins que les traitements aux solutions salines sont plus efficaces que les fauches pour lutter contre la petite herbe à poux.

Nocivité environnementale

SI LE CHLORURE DE SODIUM EST NATURELLEMENT PRÉSENT DANS L'ENVIRONNEMENT, des concentrations très élevées de cette substance peuvent être toxiques pour les végétaux et les animaux. En Amérique du Nord, la pollution au chlorure de sodium est surtout associée à l'épandage de sels de déglacage, une pratique qui a débuté dans les années 1930 et qui s'est intensifiée dans les années 1960 (Ramakrishna et Viraraghavan 2005). Au Québec, on estime qu'il s'épand chaque hiver plus de 1,5 million de tonnes de sels de voirie (Ministère des Transports du Québec 2010). C'est, avec l'Ontario, la province canadienne où l'on en utilise le plus (Environment Canada et Health Canada 2001).

Il existe plusieurs revues de littérature sur les impacts environnementaux des sels de déglacage (Environment Canada et Health Canada 2001, Ramakrishna et Viraraghavan 2005, Fay et Shi 2012, Jones et al. 2017). En général, on estime qu'une concentration de > 230 mg/L de

chlorure de sodium dans l'eau, c'est-à-dire plus de dix fois la concentration naturelle observée dans les écosystèmes d'eau douce de l'Est canadien, porte préjudice aux plantes et aux animaux. Les seuils de toxicité varient toutefois beaucoup d'une espèce à l'autre. Les écosystèmes aquatiques pollués par le sel peuvent voir leurs assemblages d'espèces évoluer plus ou moins rapidement, avec la disparition d'organismes peu tolérants et leur remplacement par d'autres qui survivront ou même proliféreront confrontés à des seuils d'exposition plus élevés. Souvent, le sel engendre dans les milieux humides une baisse du pH et une réduction de l'abondance du zooplancton, ce qui se traduit par une augmentation concomitante de l'abondance du phytoplancton et un bouleversement des chaînes alimentaires. Des concentrations élevées de sel peuvent aussi avoir une influence sur le brassage de l'eau des lacs et sur les particularités physiques et chimiques des sols (augmentation de la densité, réduction de la perméabilité, baisse de fertilité, etc.). Elles peuvent enfin rendre l'eau de surface ou les eaux souterraines impropres à la consommation.

L'effet des sels de déglacage sur la concentration en chlorure de sodium des eaux de surface se fait surtout sentir pendant la période hivernale et lors de la fonte des neiges au printemps. Le sel se dissout ensuite rapidement dans les eaux de fonte, mais dans les eaux souterraines, les concentrations peuvent demeurer élevées toute l'année, surtout près des routes (Environment Canada et Health Canada 2001, Fay et Shi 2012). Récemment, Dugan et al. (2017) ont détecté dans les lacs du Nord-Est de l'Amérique du Nord une tendance à la salinisation de l'eau. Les lacs qui sont entourés de surfaces imperméables sur plus de 1 % de leur périmètre (bande de 500 m de large) sont particulièrement vulnérables, puisque ces surfaces, lorsqu'elles sont asphaltées, sont susceptibles de recevoir beaucoup de sel. Près de 10 % des lacs inventoriés (total : 371) dans cette étude ont déjà des eaux avec des concentrations en chlorure (surtout de sodium) > 100 mg/L.

Est-ce que l'usage de solutions salines avec chlorure de sodium en bordure de route pour lutter contre la petite herbe à poux peut contribuer à accentuer l'impact des sels de déglacage ? En 2006, l'ARLA s'est posé la question lors du processus d'homologation du chlorure de sodium à titre de pesticide. Au Canada, et particulièrement en Ontario et au Québec où on fait abondamment usage de sels de déglacage, les quantités de sel épandues pour la lutte contre la petite herbe à poux sont très faibles par rapport à celles utilisées pour assurer la sécurité routière (**Tableau 4**). On estime que la quantité de chlorure de sodium pulvérisée en bordure d'une route lors d'une application du pesticide représente le tiers ou le quart de celle épandue pour le déglacage lors d'un traitement hivernal. Sauf que les fabricants du pesticide ne recommandent qu'une seule pulvérisation par année, alors que les sels de déglacage sont utilisés à de nombreuses reprises chaque hiver. L'apport en chlorure de sodium dû au pesticide est donc minime (au plus 0,005 %) dans le bilan annuel du sel qu'on utilise sur les corridors routiers achalandés (mon estimation, corroborée par l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2006).

Tableau 4. Quantité de chlorure de sodium utilisée pour différents usages sur les corridors routiers nord-américains.

RÉGION	USAGE DU CHLORURE DE SODIUM	QUANTITÉ DE CHLORURE DE SODIUM UTILISÉE	RÉFÉRENCE
Québec (province), Canada	Lutte à la petite herbe à poux	43–50 kg/km de route par application.	Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2006 (estimation du fabricant du pesticide)
Ne s'applique pas	Lutte à la petite herbe à poux	45 kg/km de route par application, en supposant une bande de pulvérisation de 1,5 m de large.	Recommandations des fabricants du pesticide.
Ontario, Canada	Déglçage (voirie)	130 kg/km de route rurale par application.	Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2006
Nouveau-Brunswick, Canada	Déglçage (voirie)	150 kg/km de route rurale par application.	Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2006
Québec (province), Canada	Déglçage (voirie)	190 kg/km de route rurale par application.	Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2006
Montréal, Canada	Déglçage (voirie)	10 000 kg/km de route rurale par année.	DiTommaso 2004
Canada, États-Unis	Déglçage (voirie)	Jusqu'à 19 730 kg/km de route par année.	Dugan et al. 2017
Québec (province), Canada	Déglçage (voirie)	26 855 kg/km de route par année.	Ministère des Transports du Québec 2010
Montréal et Québec (ville), Canada	Déglçage (voirie)	45 000–65 000 kg/km d'autoroute par année.	DiTommaso 2004

Le problème se pose différemment en France. Dans les régions les plus utilisatrices de sel de déglçage, on épand chaque hiver entre 100–800 kg de chlorure de sodium par hectare de route (il est difficile de transformer ces chiffres par kilomètre de route). Or, Billon et al. (2016) ont estimé que la lutte à la petite herbe à poux en France requerrait des épandages à hauteur de 192 kg de sel par hectare de route, ce qui se situe dans le même ordre de grandeur.

Même si les quantités de chlorure de sodium pulvérisées comme herbicide demeurent très modestes au regard de celles épandues l'hiver pour le déglçage, cela ne signifie pas forcément que leurs effets environnementaux sont négligeables. Toutes les étiquettes des produits commercialisés au Canada (**Tableau 1**), sans exception, mentionnent que les herbicides à base de chlorure de sodium sont potentiellement toxiques pour les plantes terrestres non ciblées et les organismes aquatiques. Certaines indiquent aussi que les gros mammifères (cerfs, originaux), qui recherchent souvent des sources de sel pour se nourrir, pourraient profiter d'une pulvérisation pour ingurgiter du chlorure de sodium. En bordure de route, cela représente un danger potentiel pour leur survie et pour les automobilistes (collisions).

Les impacts environnementaux des herbicides avec chlorure de sodium ont été très peu étudiés. Dans les faits, seule l'étude de Watson et al. (2003) donne des indices quant à la nocivité environnementale de ces produits. Les chercheurs concluent que les traitements ne semblent pas altérer de manière significative les caractéristiques du sol, ni endommager les autres espèces végétales de bord de route, en terme de couvert ou de biodiversité. Le petit test effectué plus

récemment en France (Bilon et al. 2016) arrive à des conclusions différentes, particulièrement quant à la sensibilité des trèfles aux traitements, mais il est difficile d'extrapoler les résultats de cette expérience au contexte d'une utilisation à grande échelle comme elle se fait en bordure des routes québécoises.

Dans sa directive DIR2012-01, l'ARLA précise que pour être reconnu comme tel, un biopesticide ne doit pas ouvrir la porte à la résistance. La résistance à un pesticide est de la sélection naturelle en action : certains individus de l'espèce nuisible ciblée ont des gènes qui leur permettent de ne pas être affectés (ou d'être moins affectés) par les molécules toxiques. Comme ils sont les seuls à survivre, ils laissent au fil des générations de plus en plus de descendants eux-mêmes résistants. Ils composeront à terme la majeure partie de la population du nuisible, et rendront par le fait même le pesticide inefficace (Lavoie 2019). Or, des travaux effectués au Québec ont montré que la petite herbe à poux qui se trouve sur le bord des routes peut développer une forme de résistance aux sels de déglacage, au contraire des individus qui poussent dans les champs en culture et qui ne sont jamais exposés au chlorure de sodium. Leurs graines sont capables de germer en forte proportion (31 %) même après pulvérisation d'une solution avec concentration élevée de sel (400 mM/L). À titre comparatif, les graines des individus des champs confrontées à la même solution ne germent que dans 3 % des cas (DiTommaso 2004). Les plants de petite herbe à poux qui tolèrent bien le sel sont aussi capables d'accumuler plus d'ions sodium dans leurs tissus que les autres (Eom et al. 2013). Cette forme de résistance au sel n'est évidemment pas attribuable aux herbicides avec chlorure de sodium, mais on ne peut exclure l'hypothèse que des pulvérisations répétées sur plusieurs années aient aussi cet effet, ou encore que l'herbicide perde son efficacité au fur et à mesure que les populations de petite herbe à poux résistantes au sel se multiplieront.

Coût

IL N'EXISTE PAS D'ÉTUDE COMPARANT LE COÛT D'UN TRAITEMENT AU CHLORURE DE SODIUM à celui des autres traitements potentiels (fauche, autres herbicides). Meunier et al. (2012) estiment, sans donner de détails, qu'un traitement au sel pour la lutte contre la petite herbe à poux est onéreux, surtout pour traiter des surfaces non linéaires. La Direction de la Capitale-Nationale du ministère des Transports du Québec fait état, pour une pulvérisation de chlorure de sodium en bordure de route contre la petite herbe à poux, d'un coût de 150 \$ par kilomètre de route, par rapport à 7–8 \$ par kilomètre pour une fauche (chiffres de 2016 ; P. Gagnon., ministère des Transports du Québec, comm. pers.).

PHOMA MACROSTOMA (CHAMPIGNON)

LA SOUCHE 94-44B DU CHAMPIGNON *PHOMA MACROSTOMA* a été isolée au Canada à partir du chardon des champs (*Cirsium arvense*) en Alberta, au Nouveau-Brunswick, en Nouvelle-Écosse, en Ontario et en Saskatchewan (Zhou et al. 2004). Le potentiel de cette souche de champignon comme herbicide a été suspecté dès le début des années 2000 (chez le chardon), mais a été formellement démontré pour la lutte contre le pissenlit officinal en 2011 (Bailey et al. 2011b). Si la souche colonise les racines d'un grand nombre de plantes, ces dernières ne seront pas toutes affectées par sa présence. Les monocotylédones, notamment, résistent bien à l'effet herbicide du champignon. Comme les pelouses sont justement constituées de monocotylédones (graminées), on peut utiliser le champignon pour combattre les mauvaises herbes qui s'y trouvent sans craindre d'endommager le gazon (Bailey et al. 2011a). Au Canada, les préparations commerciales et domestiques contenant ce champignon peuvent être appliquées non seulement sur des pelouses, mais aussi dans les pépinières (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2016d).

La souche 94-44B du champignon *Phoma macrostoma* a été officiellement homologuée au Canada comme matière active pour herbicides en 2016 (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2016c, 2016d). Un seul produit (WEEDOUT) est disponible au pays pour la lutte contre la petite herbe à poux (Tableau 1). À ma connaissance, ce produit n'est pas beaucoup utilisé pour la lutte contre la petite herbe à poux au Québec.

Mode d'action et d'emploi

LA SOUCHE 94-44B DE *PHOMA MACROSTOMA* colonise les racines de plusieurs plantes, mais les espèces qui sont sensibles à ce champignon seront incapables de former des plantules ou, plus tard en saison, verront peu à peu la couleur de leurs tissus virer du vert au jaune ou au blanc, ce qui entraînera la mort. La prolifération du champignon engendre la formation de métabolites (macrocidines) qui seraient des inhibiteurs de croissance chez les racines et aussi les responsables du blanchiment des tissus (Bailey et al. 2011b, Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2016c).

L'efficacité de la souche 94-44B de *Phoma macrostoma* est maximisée lorsque la préparation qui la contient est appliquée sur un sol humide ou lorsqu'il pleut, ou que le sol est irrigué dans les 24 à 72 heures suivant l'application. Elle est aussi plus élevée si la température se situe entre 15 et 30 °C. Selon le fabricant, en prélevée (avant la germination des graines), une seule application à raison de 1,65 kg/100 m² permettrait de supprimer ou du moins réprimer un certain nombre de plantes nuisibles, ce qui inclut la petite herbe à poux (répression partielle seulement). En postlevée, deux à trois traitements à raison de 3,17 kg/100 m² par application permettraient aussi de supprimer ou de réprimer quelques espèces, mais cela n'inclut pas la petite herbe à poux.

Efficacité

LA DÉCISION D'HOMOLOGATION DE L'ARLA pour ce qui concerne la souche 94-44B de *Phoma macrostoma* fait état de données en provenance de 79 essais répétés effectués au champ et en pépinière de 2002 à 2009 à plusieurs endroits en Alberta, en Californie (États-Unis), à l'Île-du-Prince-Édouard, au Nouveau-Brunswick, en Nouvelle-Écosse, en Ohio (États-Unis), en Ontario

et au Québec. L'ARLA ajoute que des renseignements adéquats ont été soumis pour étayer les allégations de suppression des plantes testées (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2016c), mais on ne trouve pas dans le document de données permettant de vérifier les prétentions du fabricant. Ces données ont été transmises à l'ARLA, mais cette dernière, pas plus que le fabricant d'ailleurs, n'a l'obligation légale de les rendre disponibles au public. On ne peut en prendre connaissance que dans les bureaux de l'ARLA, à Ottawa. Il n'était pas dans le mandat de ce travail d'aller les consulter sur place.

Cela dit, bon nombre de ces données peuvent être retracées dans la littérature scientifique, particulièrement celle issue du laboratoire de la chercheuse Karen Bailey, d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (Saskatoon). Il est à noter qu'une partie des recherches sur le champignon *Phoma macrostoma* a été financée par la compagnie SCOTTS, productrice de pesticides. Cela ne remet pas en cause l'indépendance des chercheurs, d'autant plus que les travaux ont été publiés dans des revues scientifiques de renom, mais il est tout de même important de le souligner par souci de transparence.

Les différents tests effectués montrent que le champignon est particulièrement efficace dans la lutte contre le pissenlit officinal, avec une répression à hauteur de 70–100 % (Bailey et al. 2011b, 2013, Smith et al. 2015, Wolfe et al. 2016). La performance peut toutefois varier d'une année à l'autre si la dose n'est pas assez élevée, et n'est pas aussi bonne chez les autres plantes nuisibles des pelouses. Aussi, le blanchiment des tissus ne mène pas forcément à la mort des plantes. Certains chercheurs (Smith et al. 2015, Wolfe et al. 2016) estiment que les herbicides formés avec la souche 94-44B de *Phoma macrostoma* ne peuvent pas être considérés comme des produits à large spectre d'efficacité (ont des effets sur un grand nombre d'espèces), et que cette efficacité est fortement tributaire de la dose utilisée et surtout de la répétition des traitements, comme chez bien d'autres bioherbicides.

Bailey et al. (2011a) ont inoculé des plants de petite herbe à poux avec la souche 94-44B de *Phoma macrostoma*. Les plants n'ont pas montré de signes de blanchiment, mais 62 % des individus sont tout de même morts suite à l'inoculation. Les chercheurs qualifient donc la petite herbe à poux de partiellement résistante au champignon sur la base de cette absence de blanchiment.

Nocivité environnementale

L'IMPACT DE LA SOUCHE 94-44B DE *PHOMA MACROSTOMA* SUR L'ENVIRONNEMENT a été très peu étudié dans un contexte d'usage comme herbicide. Cela n'est pas surprenant, car ce champignon n'est pas disponible depuis très longtemps sur le marché pour la lutte contre les plantes nuisibles.

L'ARLA estime, vraisemblablement sur la base des travaux de Zhou et al. (2004), que :

« La souche 94-44B de Phoma macrostoma survivra vraisemblablement dans les sols dans des conditions ambiantes (température et humidité) favorables après l'application des produits susmentionnés, mais les populations de cette souche devraient revenir à la normale au fil du temps. Phoma macrostoma n'étant pas considéré comme un champignon aquatique, on ne s'attend pas à ce qu'il soit persistant dans les milieux aquatiques. (...) on ne prévoit aucun effet important sur les oiseaux, les mammifères sauvages, les arthropodes aquatiques et terrestres, les invertébrés non-arthropodes ou les poissons » (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2016c, p. 5).

Zhou et al. (2014) estiment que le champignon est peu mobile dans le sol, car rarement détecté à une distance de 30–60 cm des endroits où il est déposé. Il persiste dans le sol au moins quatre mois, mais ses populations déclinent au fil du temps pour disparaître une année après le traitement.

Conclusions

EFFICACITÉ DES BIOHERBICIDES

AU CANADA, L'HOMOLOGATION D'UN PESTICIDE par l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) implique une évaluation de l'efficacité. Cette évaluation se fait grâce à des tests qui doivent avoir été effectués au Canada. Les données de ces tests peuvent avoir été récoltées par le personnel du fabricant ou par d'autres chercheurs lors d'études indépendantes ou financées par le fabricant. Les experts de l'ARLA portent un jugement sur ces seules données, qui doivent par ailleurs être fournies par le fabricant. Les données n'ont pas à être rendues publiques, ni par l'ARLA, ni par le fabricant. La seule façon d'y avoir accès est de les consulter dans les bureaux de l'agence.

Tout pesticide dûment homologué est évidemment réputé efficace, et cette efficacité ne pourrait être remise en cause que suite à un examen attentif des données soumises à l'ARLA. Comme je n'avais pas le mandat d'aller les examiner, le postulat de départ de ce rapport est que tous les bioherbicides (matières actives) étudiés dans ce travail sont efficaces (leur mode d'action). Cela dit, le contexte ou les conditions dans lesquels les bioherbicides sont utilisés peuvent influencer l'efficacité. C'est ici que les tests supplémentaires effectués sur les bioherbicides par des chercheurs indépendants des fabricants peuvent être utiles. Les chercheurs peuvent non seulement faire des tests pour couvrir une plus grande panoplie de conditions, mais aussi en faire sur des espèces nuisibles qui ne sont pas mentionnées sur les étiquettes. Il arrive parfois que les doses recommandées par les fabricants s'avèrent excessives ou insuffisantes (toujours selon le contexte), et des recherches peuvent permettre de les ajuster en conséquence. Toutes ces expériences peuvent, à terme, aboutir à une révision des informations contenues sur l'étiquette d'un produit.

De manière générale, les bioherbicides étudiés dans ce rapport sont-ils aussi efficaces que les herbicides de synthèse ?

Les bioherbicides sont efficaces, mais cette efficacité est tributaire d'une stricte observance des instructions d'utilisation. Elle est généralement moindre que celle des herbicides de synthèse. L'efficacité des bioherbicides varie beaucoup selon les espèces ciblées et est généralement meilleure contre les plantes annuelles. Elle est beaucoup plus élevée si les produits sont pulvérisés au début de la croissance des plantes nuisibles (acide acétique, chlorure de sodium). Les études indépendantes sur l'acide acétique suggèrent que les produits à usage commercial, aux concentrations plus élevées, sont beaucoup plus susceptibles d'être efficaces que les produits domestiques, aux concentrations plus faibles. Ces derniers vont probablement devoir être utilisés à plus d'une reprise pour répondre aux exigences des consommateurs.

IL Y A PEU DE DOUTES QU'UN BIOHERBICIDE, s'il est utilisé conformément au mode d'emploi, aura un effet nocif sur la plante ciblée, pourvu que celle-ci figure bel et bien sur l'étiquette du produit. L'efficacité de l'acide acétique a été bien démontrée chez plusieurs plantes avec des taux de répression supérieurs à 90 %. Il en est de même pour le champignon *Phoma macrostoma* pour ce qui concerne le pissenlit officinal. Il est plus difficile de se

prononcer sur l'efficacité de l'acide 4-chloroindole-3-acétique et du chlorure de sodium, faute d'un nombre suffisant d'études indépendantes, mais tout porte à croire que ces produits sont aussi efficaces.

Malgré tout, l'efficacité des bioherbicides est souvent matière à débat. Ils ne suscitent pas toujours l'enthousiasme. Les bioherbicides sont souvent comparés aux produits à base de glyphosate ou à d'autres herbicides de synthèse. La plupart du temps, ils soutiennent difficilement la comparaison quant à leur efficacité (Chinery et Weston 2002, Young 2004, Barker et Probst 2008, Rowley et al. 2011, Main et al. 2013). Quoiqu'on puisse penser du glyphosate, c'est une molécule à l'efficacité redoutable, et elle a la qualité (ou le défaut, c'est selon) d'être non sélective. Les herbicides avec glyphosate sont systémiques et peuvent atteindre les racines, contrairement à l'acide acétique ou au chlorure de sodium qui sont des herbicides de contact et qui n'ont pas cette propriété. C'est, entre autres choses, pourquoi les bioherbicides sont moins efficaces contre les plantes vivaces. Enfin, les herbicides avec glyphosate sont assez bon marché, beaucoup moins chers que les bioherbicides lorsqu'il s'agit de traiter de grandes surfaces.

Si les bioherbicides ont parfois une performance décevante, c'est que ce sont des produits dont l'efficacité est davantage tributaire que les herbicides de synthèse d'une stricte observance des instructions d'utilisation, ce que les particuliers ou entreprises négligent souvent de faire. Par exemple, une pluie quelques heures après un traitement peut annihiler leurs effets (acide acétique, acide 4-chloroindole-3-acétique, chlorure de sodium). Ce sont aussi des produits moins toxiques que les herbicides de synthèse. Plusieurs applications sont parfois nécessaires pour atteindre un certain niveau de répression – ce que les fabricants reconnaissent d'emblée – ce qui peut engendrer de l'insatisfaction. Enfin, plusieurs tests faits avec les herbicides traités dans ce rapport ont montré que leur efficacité varie beaucoup d'une espèce à l'autre ou entre les années, alors que celle du glyphosate est généralement plus stable. Encore une fois, les conditions d'utilisation peuvent influencer les résultats.

Les études indépendantes (Evans et Bellinder 2009, Evans et al. 2009, Ivany 2010, Brainard et al. 2013, Garcia et Youngblood 2017, Weber et al. 2018) sur l'acide acétique suggèrent que les produits à usage commercial, aux concentrations plus élevées, sont beaucoup plus susceptibles d'être efficaces que les produits domestiques, aux concentrations plus faibles. Ces derniers vont probablement devoir être utilisés à plus d'une reprise pour répondre aux exigences des consommateurs.

Les bioherbicides sont-ils efficaces dans la lutte contre la petite herbe à poux ?

Les tests indépendants sur l'efficacité des bioherbicides dans la lutte contre la petite herbe à poux sont très rares. Dans l'état actuel des connaissances, les produits à usage commercial d'acide acétique sont probablement efficaces contre la petite herbe à poux pendant quelques semaines, mais seulement s'ils sont appliqués sur des plants au tout début de leur croissance, avec au plus six feuilles. Comme l'acide acétique n'empêchera pas la germination des graines et n'affectera que les plants qui entrent directement en contact avec le produit, une nouvelle génération de plants pourra prendre place si les traitements ne sont pas répétés. Il est par ailleurs impossible de se prononcer sur l'efficacité de l'acide 4-chloroindole-3-acétique, faute d'études portant sur la petite herbe à poux. On sait par contre que la répression avec le champignon *Phoma macrostoma* ne pourra être que partielle.

Seul le chlorure de sodium a fait l'objet d'un certain nombre de tests en matière de lutte contre la petite herbe à poux. La pulvérisation d'une solution saline à usage commercial est probablement efficace en début d'été et à court terme (deux semaines ?) pour réduire l'abondance des plants, ou à plus long terme (deux mois ?) avec une répétition du traitement. Par contre, on ne sait pas si, en définitive, cela a une influence significative sur la quantité des grains de pollen produits à une échelle locale ou régionale, dans le cadre par exemple d'une campagne de lutte de grande envergure, comme en bordure des emprises routières.

COMME LA PETITE HERBE À POUX FIGURE NOMMÉMENT SUR L'ÉTIQUETTE de tous les bioherbicides étudiés dans ce travail, et plus précisément dans la liste des plantes pouvant être supprimées ou du moins réprimées partiellement, on présume qu'une application de ces produits aura un effet nocif sur cette espèce. Malheureusement, les tests indépendants permettant d'évaluer la hauteur de cette efficacité, selon différents contextes, sont très rares. Encore plus rares sont les travaux qui comparent l'usage de ces produits à d'autres méthodes de lutte, comme la fauche.

Les quelques études sur l'efficacité (générale) de l'acide acétique suggèrent néanmoins que les produits à usage commercial (plus concentrés) sont probablement efficaces contre la petite herbe à poux, mais seulement s'ils sont appliqués sur des plants au tout début de leur croissance, avec au plus six feuilles. Une pulvérisation dans de bonnes conditions météorologiques engendra fort probablement la mort des plantules s'ils sont convenablement aspergés du produit. L'effet sur la population de petite herbe à poux (diminution du nombre de plants) perdurera probablement pendant quelques semaines. Par contre, comme l'acide acétique n'empêchera pas la germination des graines et n'affectera que les plants qui entreront directement en contact avec le produit, une nouvelle génération de plants pourra prendre place si les traitements ne sont pas répétés.

Comme mentionné dans la section de ce rapport qui traite de cette matière active, le test routier effectué par le Transportation Center de l'Université du Massachusetts avec une solution d'acide citrique et d'acide acétique s'est avéré décevant quant à son efficacité. Le jugement quant à cette solution est sans équivoque :

« Several formulations of citric acid-acetic acid were evaluated. None of these had potential for suppression of growth of vegetation. Any formulation of citric

acid-acetic acid must be used at full-strength without dilution with water for suppression of vegetative growth, although some label recommendations were for use at 25 % to 33 % strength of the concentrated formulation because of higher concentrations of active ingredients in the formulations. (...) The efficacy of citric acid-acetic acid blends was too low to warrant their use for management of roadside vegetation. » (Barker et Prostack 2008, p. 144).

Les traitements avec acide citrique et acide acétique s'avèrent aussi, toujours selon cet organisme, très onéreux, soit de 37 à 85 fois plus coûteux qu'un traitement au glyphosate sur une base annuelle. Épandre du glyphosate en bordure des routes n'est guère une option au Québec, sinon pour des traitements très localisés, mais cela montre néanmoins qu'opter pour de l'acide acétique pour lutter contre la petite herbe à poux sur de très grandes surfaces pourrait s'avérer particulièrement dispendieux.

Il est impossible de se prononcer sur l'efficacité de l'acide 4-chloroindole-3-acétique, faute d'études (accessibles) portant sur la petite herbe à poux. On sait par contre que la répression avec le champignon *Phoma macrostoma* ne pourra être que partielle.

Le cas du chlorure de sodium comme bioherbicide est plus intéressant, car cette matière active a surtout été étudiée en prévision d'une lutte contre la petite herbe à poux. Je n'ai pas fait de recension systématique de son usage, mais au Québec, ce bioherbicide a été utilisé à cet effet par le ministère des Transports du Québec et par plusieurs municipalités, comme Châteauguay, Longueuil, Prévost, Saint-Gabriel-de-Valcartier, Saint-Lazare, Trois-Rivières et Vaudreuil-Dorion (recherche non exhaustive sur internet). Par contre, il semble que le ministère des Transports du Québec n'utilise plus guère, depuis 2018, les solutions salines dans son programme de lutte à la petite herbe à poux (J.-P. Robitaille, ministère des Transports du Québec, comm. pers.).

Les solutions salines sont certainement efficaces pour tuer des plantules de petite herbe à poux. Cela dit, un usage à grande échelle, en bordure d'une route, permet-il de faire chuter de manière significative le nombre de plants dans une population et donc la quantité de grains de pollen produite ? Il est très difficile de répondre à cette question, car une seule étude indépendante, effectuée avant l'homologation au Canada du chlorure de sodium comme matière active, a été réalisée sur le sujet (Watson et al. 2003). Comme mentionné auparavant, les chercheurs ont constaté un effet significatif du produit sur les populations de petite herbe à poux, surtout au niveau du couvert et particulièrement lors des deux semaines qui suivent une pulvérisation en début d'été. Par contre, jamais dans cette étude l'effet de cette réduction n'a été évalué sur la production du pollen. Moins de plants, et donc moins de fleurs, se traduisent forcément par moins de grains de pollen. Toutefois, compte tenu de la quantité phénoménale de grains qu'un plant de petite herbe à poux peut produire (jusqu'à six milliards ; Lavoie 2019), on ne peut affirmer avec certitude que la lutte avec solution saline a un réel impact en matière de santé publique, faute de données.

La lutte à la petite herbe à poux dans une perspective de santé publique n'a de sens que si elle se traduit, à plus ou moins long terme, par une réduction dans l'air ambiant de la concentration des grains de pollen de la plante sous un seuil à partir duquel les symptômes des rhinites apparaissent ou s'aggravent. La valeur seuil (nombre de grains de pollen par mètre cube d'air) n'est pas été clairement identifiée à ce jour. Elle pourrait varier, pour l'apparition des symptômes, entre 1 et 20 grains par m³ chez les gens très allergiques et entre 10 et 70 grains par m³ chez la plupart des personnes allergiques. Au-

delà d'une valeur de 100 à 200 grains par m³, toutes les personnes sensibles sont affectées (Demers 2013, Essl et al. 2015, Jones et al. 2019).

La lutte à l'herbe à poux permet-elle, quelle que soit la méthode, d'abaisser la quantité de grains de pollen sous ces différents seuils ? Aussi étonnant que cela puisse paraître, très rares sont les études ayant établi un lien de cause (méthode de lutte) à effet (réduction de la concentration des grains de pollen) avec la petite herbe à poux. Il existe un grand nombre de travaux sur les conséquences des fauches ou des herbicides de synthèse sur la densité des plants, sur la quantité de fleurs ou sur l'envergure du réservoir de graines (voir Lavoie 2019 pour une revue), mais à ma connaissance, seulement deux études ont démontré expérimentalement qu'une réduction de la biomasse ou du nombre de fleurs engendre aussi une baisse significative de la quantité des grains de pollen produite (Simard et Benoît 2011, Basky et al. 2017). Les études de terrain sont toutes aussi rares, et je n'en connais que trois (toutes québécoises) qui sont relatées dans les sections suivantes. Seule la première traite d'un bioherbicide ; les autres sont mentionnées à des fins comparatives.

Châteauguay (2005–2007)

LA PREMIÈRE ÉTUDE, très peu détaillée, a été effectuée par l'entreprise HERBANATUR qui fabrique des solutions salines (ADIOS AMBROS, A.D.I.O.S). Elle est relatée dans le site internet de la compagnie⁷. Elle a été effectuée dans la ville de Châteauguay de 2005 à 2007. Des capteurs de pollen (tiges de polystyrène) ont été installés chez des citoyens selon qu'ils se trouvaient dans ou hors de la zone d'influence des sites traités à la solution saline. Ils ont ensuite été analysés quotidiennement par examen microscopique par le laboratoire AEROBIOLOGY RESEARCH LABORATORIES.

Dans cette étude, on aurait enregistré une réduction par un facteur de quatre à six de la quantité de grains de pollen allergène dans les secteurs traités comparativement aux secteurs non traités. Dans les secteurs traités, la quantité de grains de pollen aurait été en moyenne de 6 par m³ d'air, alors que dans les secteurs non traités, elle aurait été de près de 38 par m³.

Faute d'accès à la documentation complète, il est impossible de procéder à une analyse critique de cette étude. On n'indique pas, par exemple, la distance minimale séparant les sites traités des sites non traités. On précise par contre qu'une fauche a précédé les traitements à l'herbicide dans certains secteurs dits problématiques de Châteauguay. Il est donc possible que l'effet mesuré ne soit pas uniquement redevable à celui de l'herbicide. Les pulvérisations ont eu lieu du 15 juillet au 15 septembre les trois années des traitements, alors que le fabricant recommande l'application de son produit lorsque les plants sont encore petits. Or, dans la grande région de Montréal, où se trouve Châteauguay, la petite herbe à poux émerge du sol probablement dès la fin-mai – début-juin, et la floraison peut s'amorcer dès la mi-juillet (Bassett et Crompton 1975, Comtois 1990).

L'entreprise fournit sur son site internet un graphique où on remarque que le secteur témoin dit non traité s'étendait de Kahnawake (tout près de Châteauguay) à Trois-

⁷ <http://www.herbanatur.ca/services-speacutecialiseacutes.html> (consulté le 17 septembre 2019).

Rivières, une ville située à plus de 140 km à vol d'oiseau de Châteauguay⁸. Si cela est exact, il serait très difficile de conclure à un quelconque effet de l'herbicide étant donné que le secteur témoin (non traité) recouvrait une superficie très largement supérieure à celle du secteur traité, superficie par ailleurs essentiellement rurale et susceptible d'être fortement envahie par la petite herbe à poux.

Salaberry-de-Valleyfield (2007–2010)

LA SECONDE ÉTUDE a été réalisée dans le cadre du *Projet Herbe à poux 2007–2010* réalisé par la Direction de la santé publique de la Montérégie et par Agriculture et Agroalimentaire Canada (Sauvé et al. 2011, Krzywkowski et al. 2013). Elle a été effectuée dans la ville de Salaberry-de-Valleyfield de 2007 à 2010. On a comparé avec des capteurs Rotorod la concentration de grains de pollen dans cette ville, où l'on effectuait plusieurs opérations de répression de la petite herbe à poux (essentiellement de la fauche et de l'arrachage), à celle d'une autre ville où aucune action de lutte ne se faisait, en l'occurrence Saint-Jean-sur-Richelieu.

Après trois ans d'interventions, la concentration du pollen à Salaberry-de-Valleyfield a connu des variations de l'ordre de -7 à $+40$ %, alors que les variations étaient plutôt de $+155$ à $+160$ % à Saint-Jean-sur-Richelieu. Sauvé et al. (2011) rapportent toutefois pour la même étude une réduction de 58 % de la concentration pollinique dans les quartiers résidentiels de Salaberry-de-Valleyfield. Même s'il s'agit là d'une réduction remarquable, la concentration dans ces quartiers est toutefois demeurée supérieure à 100 grains de pollen par m³ d'air. Les symptômes de rhinites chez les adultes allergiques étaient néanmoins en diminution à Salaberry-de-Valleyfield, alors qu'on observait peu de changements à Saint-Jean-sur-Richelieu (Sauvé et al. 2011, Krzywkowski et al. 2013).

Cette étude est solide, mais elle comporte un biais méthodologique important, à savoir la ville qui a été choisie comme témoin. Saint-Jean-sur-Richelieu se situe à 70 km de Salaberry-de-Valleyfield. Or, le rayon d'influence allergène d'un plant de petite herbe à poux est estimé à 500–1 000 m (Jacques et al. 2008). Qui plus est, la production du pollen peut varier énormément d'une ville à l'autre pour un même type d'habitat, y compris dans les quartiers résidentiels (Kervran et al. 2015). L'emplacement des capteurs peut donc avoir une influence énorme sur les résultats lorsqu'il s'agit de comparer une ville à une autre.

Granby et Trois-Rivières (2016)

LE MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DU QUÉBEC (2017) et Demers et Gosselin (2019) rapportent une troisième initiative, effectuée celle-là simultanément dans les villes de Granby et de Trois-Rivières en 2016. Malheureusement, très peu de détails méthodologiques ont été rendus publics à ce jour. On a comparé la concentration pollinique (capteurs de pollen) dans des secteurs de ces deux villes où des interventions contre la petite herbe à poux (arrachage, tonte, traitements thermiques) ont été effectuées à celle d'autres secteurs où il n'y a pas eu d'interventions. On a observé une concentration pollinique de 65 % (Granby) à 80 % (Trois-Rivières) inférieure dans les sites

⁸ Il est possible aussi que cela ne concerne que les villes de Kahnawake et de Trois-Rivières, le graphique n'est pas très clair à ce sujet.

traités par rapport aux sites non traités. Malgré cela, la concentration est demeurée très élevée dans les sites traités, soit entre 538 (Trois-Rivières) et 993 (Granby) grains de pollen par m³ d'air. Puisque l'impact sanitaire de ces interventions n'a pas été mesuré, on ne sait pas si elles ont eu dans ces deux villes un effet sur la santé des personnes allergiques.

NOCIVITÉ ENVIRONNEMENTALE DES BIOHERBICIDES

De manière générale, les bioherbicides ont-ils des effets négligeables sur l'environnement ?

Les bioherbicides étudiés dans ce rapport n'ont probablement que des effets négligeables sur l'environnement si utilisés conformément au mode d'emploi. Rares toutefois sont les études indépendantes sur le sujet. Le chlorure de sodium est réputé nocif, mais dans le contexte d'une pulvérisation routière pour la lutte contre, par exemple, la petite herbe à poux, la quantité de sel utilisée à cet effet est minime par rapport à celle épandue l'hiver pour déglacer la chaussée, du moins au Québec.

LA NOCIVITÉ ENVIRONNEMENTALE DES PESTICIDES fait toujours l'objet d'une évaluation par l'ARLA lors du processus d'homologation. Cette évaluation peut se baser sur des tests effectués par les fabricants, mais aussi (et surtout) sur une revue de la littérature scientifique. L'ARLA peut ainsi obtenir le portrait le plus complet possible des impacts potentiels d'une matière active sur la qualité de l'eau et des sols, ou sur les populations floristiques et fauniques. Tous les pesticides, même ceux avec le préfixe *bio-*, ont des effets sur l'environnement ou sur des plantes ou des animaux non ciblés. L'ARLA doit en conséquence se prononcer sur le niveau de risque associé à un produit s'il est utilisé conformément au mode d'emploi et sur les usages pour lesquels le risque de contamination serait trop élevé, par exemple en milieu aquatique.

L'ARLA estime que tous les biopesticides étudiés dans ce rapport n'ont que des effets négligeables sur l'environnement. Rares toutefois sont les études indépendantes sur le sujet. Les jugements de l'ARLA sont donc fondés essentiellement sur les connaissances générales sur les matières actives soumises à examen. L'organisme estime par exemple que l'acide acétique et l'acide 4-chloroindole-3-acétique se biotransforment si facilement et si rapidement qu'il est improbable que ces matières actives aient un quelconque impact indésirable sur l'environnement. Elle juge aussi que les doses d'acide 4-chloroindole-3-acétique qui sont préconisées sont si faibles et que le champignon *Phoma macrostoma* disparaît du sol si vite qu'ils ne peuvent avoir un impact significatif sur l'eau, le sol, la flore et la faune, sauf bien sûr pour ce qui concerne les plantes nuisibles ciblées.

Les quelques rares chercheurs ayant investigué la question de la nocivité des biopesticides dans le contexte d'une lutte contre les plantes nuisibles ne fournissent pas d'indices qui pourraient suggérer que les jugements de l'ARLA soient erronés. Exception notable : Booth et Skelton (2009) qui rapportent des effets nocifs (peu documentés) de l'acide acétique sur la végétation non ciblée d'un parc urbain. Par contre, les chercheurs ont, lors de cette expérience, épandu sur le sol jusqu'à 100 000 L d'acide, à une concentration de 8 %, par hectare de terrain. On ne saurait se surprendre d'observer une

conséquence sur la végétation suite à un épandage aussi volumineux, même avec un acide à concentration relativement faible.

Le cas du chlorure de sodium est différent, car la littérature traitant de l'épandage massif de cette substance en hiver pour déglacer les routes est explicite quant aux conséquences néfastes de cette pratique sur la qualité de l'eau. Toutefois, comme je l'ai expliqué dans la section qui traite de cette matière active, dans le contexte d'une pulvérisation routière pour la lutte contre la petite herbe à poux, la quantité de sel utilisée est minime par rapport à celle épandue l'hiver, du moins au Québec. Aussi, peu d'effets sont observés sur les sols et la végétation, du moins selon Watson et al. (2003). L'ajout de sel dans l'environnement n'est jamais souhaitable, mais si les autorités publiques veulent combattre les conséquences néfastes du sel sur la qualité de l'eau, elles devraient d'abord et avant tout investir leurs efforts sur la recherche de solutions de remplacement au chlorure de sodium pour déglacer les routes.

CONCLUSION

LA LUTTE CONTRE LA PETITE HERBE À POUX N'EST PAS CHOSE FACILE. Elle est pourtant essentielle pour soulager les personnes qui souffrent des rhinites saisonnières que le pollen de cette plante occasionne, sans compter les effets de ce végétal sur le rendement des cultures. Il existe plusieurs méthodes de lutte, comme l'arrachage, la fauche, les herbicides de synthèse et les bioherbicides, qui se sont avérées plus ou moins efficaces selon les contextes, en Amérique du Nord comme en Europe. Il n'était pas dans le mandat de ce travail de faire une étude comparative de l'efficacité respective de ces différentes méthodes ou une évaluation de leur rapport coût-bénéfice (mais voir Lavoie 2019 pour un résumé). On m'a uniquement demandé de produire un avis sur l'efficacité intrinsèque des bioherbicides dûment homologués au Canada pour la lutte contre la petite herbe à poux, ainsi que sur leur nocivité environnementale.

On peut conclure de cette revue de littérature que :

- Les études traitant de l'efficacité des bioherbicides contre la petite herbe à poux, effectuées de manière indépendante des fabricants de pesticides, sont peu abondantes.
- Néanmoins, dans l'état actuel des connaissances, tout porte à croire que les bioherbicides, si utilisés conformément au mode d'emploi, sont efficaces contre la petite herbe à poux, surtout si appliqués au tout début de la croissance des plants, lorsqu'ils sont dotés d'au plus six feuilles.
- On ne sait toutefois pas si l'usage répété des bioherbicides, sur plusieurs années, a un effet significatif sur l'envergure ou la dynamique des populations de petite herbe à poux, particulièrement dans un contexte d'usage à grande échelle, comme en bordure des routes.
- On ne sait pas non plus si cet effet des bioherbicides, pour autant qu'il existe, se traduit par une chute significative de la quantité de grains de pollen produite par une population de petite herbe à poux, et donc par une plus faible prévalence des symptômes de rhinite chez les personnes allergiques qui résident au voisinage des sites traités. Cela ne veut pas dire qu'un traitement au bioherbicide n'a pas d'impact. Il est possible, et même plausible en certaines circonstances qu'un tel effet puisse être observé, mais il n'a pas encore été, à ce jour, formellement démontré.
- Si utilisés conformément au mode d'emploi, les bioherbicides n'ont guère d'effets nocifs sur l'environnement. Le chlorure de sodium est plus toxique, mais la quantité de sel pulvérisée en bordure d'une route pour la lutte contre la petite herbe à poux est très faible par rapport à celle épanchée pour le déglacage hivernal.

Dans le contexte d'une lutte de nature domestique, comme chez les particuliers et sur de petites surfaces, l'usage d'un bioherbicide conformément au mode d'emploi et en début d'été constitue une alternative valable à l'utilisation d'un herbicide de synthèse beaucoup plus toxique. On peut s'interroger sur la pertinence de cette solution par rapport à un arrachage à la main, ou sur la facilité avec laquelle les citoyens peuvent identifier la petite herbe à poux au tout début de sa croissance lorsqu'il s'agit de faire une pulvérisation ciblée, mais cela ne remet pas en cause l'efficacité de ces produits.

Dans le contexte d'un usage industriel, comme en bordure des routes, les informations dont on dispose (surtout Watson et al. 2003 et Bilyea 2011) suggèrent que la lutte avec le chlorure de sodium pourrait être efficace (réduction du couvert de la petite herbe à poux) si :

- Le traitement est effectué au début de la saison de croissance de la plante (juin, juillet – cela peut varier selon les régions) aux doses prescrites par les fabricants et par temps chaud et sec. Étonnamment, entre 2015 et 2017, les solutions salines utilisées par le ministère des Transports du Québec ou ses contractants ont été épandues en bordure des routes surtout de la mi-juillet à la fin août, ce qui est très tardif dans la saison (J.-P. Robitaille, ministère des Transports du Québec, comm. pers.).
- Aucune précipitation ne survient dans les 24 heures qui suivent le traitement.
- Le traitement est répété à au moins une reprise (une quinzaine de jours plus tard) après la première application.

Cette dernière recommandation ne correspond pas à ce qu'on trouve sur les étiquettes des produits qui ne prescrivent qu'un seul traitement pour la petite herbe à poux. Toutefois et de manière générale, rares sont les bioherbicides pour lesquels une seule application suffira pour avoir un effet sur toute la durée d'une saison de croissance.

Littérature citée

- Abouzienna, H.F.H., A.A.M. Omar, S.D. Sharma et M. Singh. 2009.** Efficacy comparison of some new natural-product herbicides for weed control at two growth stages. *Weed Technology* 23 : 431–437.
- Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. 2006.** *Projet de décision réglementaire PRDD2006-01. Chlorure de sodium.* Santé Canada, Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, Ottawa.
- Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. 2014a.** *Projet de décision d'homologation PRD2014-15. Acide acétique.* Santé Canada, Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, Ottawa.
- Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. 2014b.** *Décision d'homologation RD2014-27. Acide acétique.* Santé Canada, Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, Ottawa.
- Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. 2016a.** *Projet de décision d'homologation PRD2016-27. Acide 4-chloroindole-3-acétique.* Santé Canada, Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, Ottawa.
- Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. 2016b.** *Décision d'homologation RD2016-37. Acide 4-chloroindole-3-acétique.* Santé Canada, Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, Ottawa.
- Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. 2016c.** *Projet de décision d'homologation PRD2016-28. Souche 94 44B de Phoma macrostoma.* Santé Canada, Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, Ottawa.
- Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. 2016d.** *Décision d'homologation RD2016-39. Souche 94 44B de Phoma macrostoma.* Santé Canada, Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, Ottawa.
- Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. 2017.** *Projet de décision de réévaluation PRVD2017-08. Acide acétique.* Santé Canada, Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, Ottawa.
- Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. 2018.** *Décision de réévaluation RVD2018-13. Acide acétique et préparations commerciales connexes. Décision d'homologation finale.* Santé Canada, Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, Ottawa.
- Bailey, K.L., S. Falk, J.-A. Derby, M. Melzer et G.J. Boland. 2013.** The effect of fertilizers on the efficacy of the bioherbicide, *Phoma macrostoma*, to control dandelions in turfgrass. *Biological Control* 65 : 147–151.
- Bailey, K.L., W.M. Pitt, S. Falk et J. Derby. 2011a.** The effects of *Phoma macrostoma* on nontarget plant and target weed species. *Biological Control* 58 : 379–386.
- Bailey, K.L., W.M. Pitt, F. Leggett, C. Sheedy et J. Derby. 2011b.** Determining the infection process of *Phoma macrostoma* that leads to bioherbicidal activity on broadleaved weeds. *Biological Control* 59 : 268–276.
- Baldos, O.C., J. DeFrank et G. Sakamoto. 2010.** Tolerance of transplanted seashore dropseed to pre- and postemergence herbicides. *HortTechnology* 20 : 772–777.

- Barker, A.V. et R.G. Probst.** 2008. *Herbicide alternatives research*. University of Massachusetts Transportation Center, Amherst.
- Basky, Z., M. Ladányi et A. Simončič.** 2017. Efficient reduction of biomass, seed and season long pollen production of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.). *Urban Forestry and Urban Greening* 24 : 134–140.
- Bassett, I.J. et C.W. Crompton.** 1975. The biology of Canadian weeds. 11. *Ambrosia artemisiifolia* L. and *A. psilostachya* DC. *Canadian Journal of Plant Science* 55 : 463–476.
- Bilon, R., M. Mottet, J. Jacquin-Dantin et B. Chauvel.** 2016. Le traitement de l'ambrosie à feuilles d'armoise par le sel en solution : une méthode alternative pour les zones non agricoles? *Quatrième conférence sur l'entretien des jardins, espaces végétalisés et infrastructures*. Association française de protection des plantes, Toulouse.
- Bilyea, D.** 2011. *Protocol 1. Weed control and tolerance of organic soybean to Adios Ambros®*. University of Guelph, Ridgetown.
- Booth, A.L. et N.W. Skelton.** 2009. The use of domestic goats and vinegar as municipal weed control alternatives. *Environmental Practice* 11 : 3–16.
- Breton, M.-C., M. Garneau, I. Fortier, F. Guay et J. Louis.** 2006. Relationship between climate, pollen concentrations of *Ambrosia* and medical consultations for allergic rhinitis in Montreal 1994–2002. *Science of the Total Environment* 370 : 39–50.
- Brainard, D.C., W.S. Curran, R.R. Bellinder, M. Ngouajio, M.J. VanGessel, M.J. Haar, W.T. Lanini et J.B. Masiunas.** 2013. Temperature and relative humidity weed response to vinegar and clove oil. *Weed Technology* 27 : 156–164.
- Brosnan, J.T., J. DeFrank, M.S. Woods et G.K. Breeden.** 2009a. Efficacy of sodium chloride applications for control of goosegrass (*Eleusine indica*) in seashore paspalum turf. *Weed Technology* 23 : 179–183.
- Brosnan, J.T., J. DeFrank, M.S. Woods et G.K. Breeden.** 2009b. Sodium chloride salt applications provide effective control of sourgrass (*Paspalum conjugatum*) in seashore paspalum turf. *Weed Technology* 23 : 251–256.
- Chinery, D. et L. Weston.** 2002. How well does organic weed control work? *Cornell University Turfgrass Times* Spring 2002 : 11–15.
- Comtois, P.** 1990. Variations temporelles et spatiales de l'indice pollinique de l'herbe à poux. *Naturaliste canadien* 117 : 199–202.
- Daniels, C. et T. Miller.** 2015. *Pesticide ingredient: acetic acid/vinegar*. Washington State University Extension fact sheet FS161E, Washington State University, Pullman.
- Demers, I.** 2013. *État des connaissances sur le pollen et les allergies. Les assises pour une gestion efficace*. Institut national de santé publique, Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Québec.
- Demers, I. et P. Gosselin.** 2019. Pollens, climat et allergies : initiatives menées au Québec. *Promotion de la santé et prévention des maladies chroniques au Canada. Recherche, politiques et pratiques* 39 (4) : 149–154.
- DiTommaso, A.** 2004. Germination behavior of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) populations across a range of salinities. *Weed Science* 52 : 1002–1009.
- Drolet, I. et S. Lavallée.** 2007. *Expérimentation de l'utilisation du vinaigre pour lutter contre les mauvaises herbes dans la production biologique de la canneberge. Rapport final*. Club environnemental et technique atocas Québec en collaboration avec Agrinova, Notre-Dame-

- de-Lourdes. Rapport 06-BIO-03 soumis au Secrétariat du programme de soutien au développement de l'agriculture biologique de la Direction de l'innovation scientifique et technologique du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.
- Dugan, H.A., S.L. Bartlett, S.M. Burke, J.P. Doubek, F.E. Krivak-Tetley, N.K. Skaff, J.C. Summers, K.J. Farrell, I.M. McCullough, A.M. Morales-Williams, D.C. Roberts, Z. Ouyang, F. Scordo, P.C. Hanson et K.C. Weathers. 2017.** Salting our freshwater lakes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114 : 4453–4458.
- Duke, S.O., D.K. Owens et F.E. Dayan. 2014.** The growing need for biochemical bioherbicides. Dans Gross, A.D., J.R. Coats, S.O. Duke et J.N. Seiber, rédacteurs. *Biopesticides: state of the art and future opportunities*. American Chemical Society Publications, Washington D.C., p. 31–43.
- Engvild, K.C. 1996.** Herbicidal activity of 4-chloroindoleacetic acid and other auxins on pea, barley and mustard. *Physiologia Plantarum* 96 : 333–337.
- Environment Canada et Health Canada. 2001.** *Canadian Environmental Protection Act, 1999. Priority substances list assessment report. Road salts*. Environment Canada et Health Canada, Ottawa.
- Eom, S.H., A. DiTommaso et L.A. Weston. 2013.** Effects of soil salinity in the growth of *Ambrosia artemisiifolia* biotypes collected from roadside and agricultural field. *Journal of Plant Nutrition* 36 : 2191–2204.
- Essl, F., K. Biró, D. Brandes, O. Broenniman, J.M. Bullock, D.S. Chapman, B. Chauvel, S. Dullinger, B. Fumanal, A. Guisan, G. Karrer, G. Kazinczi, C. Kueffer, B. Laitung, C. Lavoie, M. Leitner, T. Mang, D. Moser, H. Müller-Schärer, B. Petitpierre, R. Richter, U. Schaffner, M. Smith, U. Starfinger, R. Vautard, G. Vogl, M. von der Lippe et S. Follak. 2015.** Biological flora of the British Isles: *Ambrosia artemisiifolia*. *Journal of Ecology* 102 : 1069–1098.
- Evans, G.J. et R.R. Bellinder. 2009.** The potential use of vinegar and a clove oil herbicide for weed control in sweet corn, potato, and onion. *Weed Technology* 23 : 120–228.
- Evans, G.J., R.R. Bellinder et M.C. Goffinet. 2009.** Herbicidal effects of vinegar and a clove oil product on redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Technology* 23 : 292–299.
- Evans, G.J., R.R. Bellinder et R.R. Hahn. 2011.** Integration of vinegar for in-row weed control in transplanted bell pepper and broccoli. *Weed Technology* 25 : 459–465.
- Fay, L. et X. Shi. 2012.** Environmental impacts of chemicals for snow and ice control: state of the knowledge. *Water, Air, and Soil Pollution* 223 : 2751–2770.
- Feldman, S.R. 2011.** Sodium chloride. *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*. John Wiley and Sons, Hoboken.
- Garcia, F. et Y. Youngblood. 2017.** Agricultural vinegar as a growth control agent for both glyphosate susceptible (GS) *Amaranthus palmeri* and glyphosate resistant (GR) *Amaranthus palmeri*. *Pursue* 1 : 40–52.
- Glenn, B.D., B.J. Brecke, J.B. Unruh, J.A. Ferrell, K.E. Kenworthy et G.E. MacDonald. 2015.** Evaluation of alternative herbicides for southern crabgrass (*Digitaria ciliaris*) control in St. Augustinegrass. *Weed Technology* 29 : 536–543.
- Hildebrand, E.M. 1946.** War on weeds. *Science* 103 : 465–468, 492.

- Ivany, J.A. 2010.** Acetic acid for weed control in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Canadian Journal of Plant Science* 90 : 537–542.
- Jacques, L., S. Goudreau, C. Plante, M. Fournier et R.L. Thivierge. 2008.** *Prévalence des manifestations allergiques associées à l'herbe à poux chez les enfants de l'île de Montréal.* Agence de la santé et des services sociaux de Montréal, Direction de la santé publique, Montréal.
- Jones, D.K., B.M. Mattes, W.D. Hintz, M.S. Schuler, A.B. Stoler, L.A. Lind, R.O. Cooper et R.A. Relyea. 2017.** Investigation of road salts and biotic stressors on freshwater wetland communities. *Environmental Pollution* 221 : 159–167.
- Jones, N.R., M. Agnew, I. Banic, C.M. Grossi, F.J. Colón-González, D. Plavec, C.M. Goodess, M.M. Epstein, M. Turkalj et I.R. Lake. 2019.** Ragweed pollen and allergic symptoms in children: results from a three-year longitudinal study. *Science of the Total Environment* 683 : 240–248.
- Kervran, G., J. Riffon, E. Masson, J.-B. Drapeau, M. Tremblay, C. Plante, F. Hubert et S. Goudreau. 2015.** *Herbe à poux. Exploration d'une méthodologie d'identification de terrains avec un potentiel de colonisation par l'herbe à poux : une approche cartographique d'utilisation du sol.* Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, Québec.
- Krzywkowski, P., E. Masson, N. Noisel et J. Groulx. 2013.** *Mobiliser une communauté du sud du Québec pour contrer l'herbe à poux : analyse des coûts de l'intervention et de ses effets sur la distribution spatiale des plants, du pollen et des symptômes d'allergie chez les adultes.* Agence de la santé et des services sociaux de la Montérégie et Institut national de santé publique, Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Québec.
- Lam, H.K., S.A.M. McAdam, E.L. McAdam et J.J. Ross. 2015.** Evidence that chlorinated auxin is restricted to the Fabaceae but not to the Fabeae. *Plant Physiology* 168 : 798–803.
- Larivière, V. et C.R. Sugimoto. 2018.** *Mesurer la science.* Les Presses de l'Université de Montréal, Montréal.
- Lavoie, C. 2019.** *50 plantes envahissantes : protéger la nature et l'agriculture.* Les Publications du Québec, Québec.
- Main, C.C., K.R. Sanderson, S.A.E. Fillmore et J.A. Ivany. 2013.** Comparison of synthetic and organic herbicides applied banded for weed control in carrots (*Daucus carota* L.). *Canadian Journal of Plant Science* 93 : 857–861.
- McCullough, P.E. et P.L. Raymer. 2011.** Sodium chloride efficacy for smooth crabgrass (*Digitaria ischaemum*) control and safety to common bermudagrass and seashore paspalum. *Weed Technology* 25 : 688–693.
- Meilleur, A. 2009.** Le contrôle de l'herbe à la puce au parc national d'Oka. *Naturaliste canadien* 133 (3) : 102–106.
- Meunier, D., J. Rioux, J.-F. Poulin et F. Gauthier. 2012.** Evaluation of different ragweed control methods on Hydro-Québec properties. Dans Evans, J.M., J.W. Goodrich-Mahoney, D. Mutrie et J. Reinemann, rédacteurs. *Environmental concerns of rights-of-way management 9th international symposium.* International Society of Arboriculture, Portland, p. 87–92.
- Miller, T.W., A.D. Halpern, F. Lucero et S.H. Shaw. 2014.** Efficacy of several herbicides on yellow archangel (*Lamiastrum galeobdolon*). *Invasive Plant Science and Management* 7 : 269–277.

- Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec. 2017.** *Contrôle des pollens allergènes dans 3 municipalités québécoises à l'été 2016 : des résultats convaincants !* Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, Québec.
- Ministère des Transports du Québec. 2010.** *La gestion environnementale des sels de voirie au Québec. État de situation partiel.* Ministère des Transports du Québec, Direction de l'environnement et de la recherche, Québec.
- Morrison, J.R., H.A. Sandler et L.K. Romano. 2005.** Management of swamp dodder (*Cuscuta gronovii* Willd.) in cranberry may be enhanced by the integration of a nontoxic household cleaner. *Crop Protection* 24 : 1–6.
- Mukula, J. et E. Ruuttunen. 1969.** Chemical weed control in Finland in 1887–1965. *Annales Agriculturae Fenniae* 8 (suppl. 1) : 3–46.
- Patton, A.J., R.C. Braun et D.V. Weisenberger. 2019.** Single applications of natural postemergence weed control options do not provide effective ground ivy control. *Crop, Forage and Turfgrass Management* 5 : 180101.
- Ramakrishna, D.M. et T. Viraraghavan. 2005.** Environmental impact of chemical deicers : a review. *Water, Air, and Soil Pollution* 166 : 49–63.
- Raynor, R.N. et J.W. Britton. 1943.** *Toxicity of herbicides to livestock.* University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, Berkeley.
- Reinecke, D.M. 1999.** 4-chloroindole-3-acetic acid and plant growth. *Plant Growth Regulation* 27 : 3–13.
- Rowley, M.A., C.V. Ransom, J.R. Reeve et B.L. Black. 2011.** Mulch and organic herbicide combinations for in-row orchard weed suppression. *International Journal of Fruit Science* 11 : 316–331.
- Sauvé, J. (directrice). 2011.** *Projet herbe à poux 2007–2010. Réduire le pollen de l'herbe à poux : mission réaliste. Le succès d'une communauté mobilisée.* Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, Québec.
- Simard, M.-J. et D.L. Benoit. 2011.** Effect of repetitive mowing on common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen and seed production. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 18 : 55–62.
- Smith, J., B. Wherley, C. Reynolds, R. White, S. Senseman et S. Falk. 2015.** Weed control spectrum and turfgrass tolerance to bioherbicide *Phoma macrostoma*. *International Journal of Pest Management* 61 : 91–98.
- Smith-Fiola, D. et S. Gill. 2017.** *Vinegar: an alternative to glyphosate?* University of Maryland, College of Agricultural and Natural Resources, College Park.
- Snell, S. 2012.** *Efficacy of organic weed control methods.* United States Department of Agriculture, Cape May Plant Materials Center, Cape May Court House.
- Watson, A.K., S. Saint-Louis, J. Buron et C. Costa. 2003.** *Vers une gestion intégrée et durable des dépendances vertes : la suppression de la petite herbe à poux par l'utilisation d'un produit naturel.* Université McGill, Département de phytotechnie, Montréal. Rapport 647 soumis au Service de l'environnement et des études d'intégration au milieu du ministère des Transports du Québec.
- Webber, C.L., III, P.M. White, Jr, J.W. Shrefler et D.J. Spaunhorst. 2018.** Impact of acetic acid concentration, application volume, and adjuvants on weed control efficacy. *Journal of Agricultural Science* 10 (8): doi:10.5539/jas.v10n8p1.

- Wolfe, J.C., J.C. Neal et C.D. Harlow. 2016.** Selective broadleaf weed control in turfgrass with the bioherbicides *Phoma macrostoma* and thaxtomin A. *Weed Technology* 30 : 688–700.
- Young, S.L. 2004.** Natural product herbicides for control of annual vegetation along roadsides. *Weed Technology* 18 : 580–587.
- Ziska, L., K. Knowlton, C. Rogers, D. Dalan, N. Tierney, M.A. Elder, W. Filley, J. Shropshire, L.B. Ford, C. Hedberg, P. Fleetwood, K.T. Hovanky, T. Kavanaugh, G. Fulford, R.F. Vrtis, J.A. Patz, J. Portnoy, F. Coates, L. Bielory et D. Frenz. 2011.** Recent warming by latitude associated with increased length of ragweed pollen season in central North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108 : 4258–4251.
- Zhou, L., K.L. Bailey et J. Derby. 2004.** Plant colonization and environmental fate of the biocontrol fungus *Phoma macrostoma*. *Biological Control* 30 : 634–644.