

Effet du chaulage sur la survie et la reproduction de 3 espèces de vers de terre exotiques potentiellement envahissantes dans les érablières du Québec

Jean-David Moore, Rock Ouimet et Patrick Bolhen

Résumé

Au cours des dernières décennies, des vers de terre exotiques ont colonisé les sols dans plusieurs forêts de l'Amérique du Nord. L'acidité des sols et la rigueur du climat pourraient avoir limité leur colonisation dans certaines forêts tempérées de feuillus. Cependant, le réchauffement climatique et l'utilisation de plus en plus fréquente du chaulage pour contrer le dépérissement des érablières pourraient rendre ces sites plus vulnérables à la colonisation par les vers de terre. Par des expériences sur le terrain et en laboratoire, nous avons évalué la capacité de survie et de reproduction de 3 espèces de vers de terre exotiques dans des sols chaulés (pH de 5,0 à 5,6) et non chaulés (pH ~ 4,0) d'une érablière au sol acide située au nord de l'aire de répartition des érablières au Québec. L'amélioration des caractéristiques du sol par le chaulage a positivement influencé le degré d'activité, la survie et la reproduction de *Lumbricus terrestris* et d'*Aporrectodea caliginosa*, 2 espèces d'origine européenne établies en Amérique du Nord. Par contre, l'acidité du sol non chaulé ne semble pas favorable à la colonisation par *Lumbricus terrestris*, mais pourrait ne pas limiter *Aporrectodea caliginosa*. Par ailleurs, nos observations indiquent qu'*Amyntas hawayanus*, une espèce d'origine asiatique établie aux États-Unis, était très active durant la saison estivale et automnale, autant dans le sol acide que chaulé, mais n'avait pas réussi à compléter son cycle de vie avant l'hiver. À la lumière de ces résultats, il semble donc probable que certaines espèces de vers de terre, telles qu'*Aporrectodea caliginosa* et *Lumbricus terrestris*, puissent coloniser certaines érablières chaulées au cours des prochaines décennies. Selon des études récentes, cette colonisation par les vers de terre pourrait nuire à l'intégrité écologique de ces érablières.

MOTS CLÉS : *Amyntas hawayanus*, *Aporrectodea caliginosa*, colonisation, forêt, *Lumbricus terrestris*

Abstract

Over the last few decades, it has been shown that exotic earthworms have colonized forest soils in several parts of North America. To date, the more acidic soils and a harsher climate may have prevented their invasion of certain northern hardwood stands. Climatic change and the increasing use of liming to counter sugar maple dieback could, however, make these sites more vulnerable to colonization. Field and laboratory experiments were conducted to evaluate the survival and reproduction of 3 exotic earthworm species in unamended and lime-amended acidic soil from a sugar maple stand located at the northern limit of the distribution range of the northern hardwood forest in Québec. Liming positively improved those soil parameters beneficial to earthworms, and consequently increased the level of activity, survival and reproductive output of *Aporrectodea caliginosa* and *Lumbricus terrestris*, 2 European species established in North America. By contrast, although the high acidity (pH ~ 4) of the untreated soil did not appear to limit *A. caliginosa*, it was not suitable for *L. terrestris*. Finally, even though *Amyntas hawayanus*, an Asian species established in the United States, was very active during the summer and fall, irrespective of whether the soil was amended or not, it was not able to complete its life cycle before the onset of winter. In light of these findings, it seems likely that over the coming decades some earthworm species, such as *A. caliginosa* and *L. terrestris*, may colonize limed sugar maple stands. According to recent studies, this could negatively affect the ecological integrity of the affected stands.

KEYWORDS: *Amyntas hawayanus*, *Aporrectodea caliginosa*, colonization, forest, *Lumbricus terrestris*.

Introduction

Historiquement, les vers de terre étaient considérés comme bénéfiques pour les écosystèmes dans lesquels ils vivaient. Toutefois, on s'inquiète de plus en plus des effets de la colonisation par les vers de terre des écosystèmes forestiers. Ce phénomène peut affecter l'intégrité des écosystèmes en modifiant directement ou indirectement leurs composantes, comme la diversité biologique (Gundale, 2002; Hale et collab., 2006; Holdsworth et collab., 2007; Maerz et collab., 2009; Loss et Blair, 2011) et la dynamique forestière (Eisenhauer et collab., 2009; Nuzzo et collab., 2009; Larson et collab., 2010). Selon Sutherland

et collab. (2011), la colonisation des forêts par les vers de terre est l'un des phénomènes émergents les plus préoccupants pour la conservation de la biodiversité forestière en Amérique du Nord.

Jean-David Moore et Rock Ouimet sont ingénieurs forestiers et chercheurs scientifiques à la Direction de la recherche forestière du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, alors que Patrick Bohlen est biologiste et professeur de biologie à l'University of Central Florida.

jean-david.moore@mffp.gouv.qc.ca

Par ailleurs, la densité, la diversité et le taux de survie des vers de terre sont généralement faibles dans les sols acides (Curry, 1998; Rusek et Marshall, 2000). Bien que certaines espèces puissent survivre dans de tels sols (Rusek et Marshall, 2000; Moore et collab., 2009), la plupart des cas de colonisation par les vers de terre causant des changements à l'écosystème étaient l'œuvre de vers intolérants à l'acidité du sol, tels que *Lumbricus terrestris* (Hale et collab., 2006; Suárez et collab., 2006; Tiunov et collab., 2006). La forte acidité du sol a donc pu empêcher la colonisation, par les vers de terre exotiques, des écosystèmes forestiers aux sols acides (Addison, 2009; Bernard et collab., 2009), comme ceux que l'on trouve au Québec.

Le chaulage, un traitement qui permet d'augmenter le pH et le contenu en cations basiques (principalement le calcium) des sols, est de plus en plus utilisé dans les érablières aux sols acides et peu fertiles du nord-est de l'Amérique du Nord, particulièrement au Québec. En corrigeant les carences nutritionnelles de l'érable à sucre (*Acer saccharum*), ce traitement permet d'améliorer la vigueur et ultimement la croissance des arbres (Long et collab., 2011; Moore et collab., 2012). Au Québec, les vers de terre sont habituellement absents de ce type d'érablières, probablement en raison des conditions acides des sols. De nombreuses études ont toutefois rapporté une augmentation de l'abondance et de l'activité des vers de terre à la suite du chaulage (voir Moore et collab., 2013 pour une synthèse de la littérature), ce qui laisse croire que les érablières ainsi chaulées pourraient éventuellement être colonisées par les vers de terre.

Étant donné leur éradication provoquée par la dernière période glaciaire, les vers de terre indigènes sont rares dans les forêts du nord-est de l'Amérique du Nord (Gates, 1976; Reynolds, 1995). Cependant, des vers de terre d'origine européenne, tels que *Lumbricus terrestris* et *Aporrectodea caliginosa*, ont colonisé plusieurs sols forestiers à la suite de l'immigration européenne (Gates, 1982; Hale et collab., 2006). La colonisation du nord-est américain par des vers asiatiques du genre *Amyntas* est un phénomène beaucoup plus récent que celle par les vers européens (Bernard et collab., 2009; Greiner et collab., 2012). Les caractéristiques des vers asiatiques et leur présence dans les milieux forestiers et urbains des États du nord-est américain laissent présager que la colonisation de certaines forêts canadiennes par ces vers n'est qu'une question de temps. Toutefois, les vers de terre asiatiques ne se rencontrent

habituellement pas aussi loin au nord que les espèces européennes, ce qui laisse croire que des considérations climatiques pourraient limiter leur propagation (Moore et collab., 2013).

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet du chaulage du sol acide d'une érablière sur la survie et la reproduction de 3 espèces de vers de terre exotiques. Une partie de l'étude a été réalisée dans une érablière située au nord de l'aire de répartition de l'érable à sucre alors qu'une autre partie a été faite en laboratoire. Nous avons testé l'hypothèse qu'une augmentation du pH du sol par le chaulage permettrait à 2 espèces d'origine européenne de survivre et de se reproduire, mais que les températures froides prévalant dans l'érablière à l'étude empêcheraient la survie de l'espèce d'origine asiatique.

Aires d'étude, méthodes et vers de terre utilisés

L'expérience en milieu forestier a été effectuée dans une érablière de la Station forestière de Duchesnay, située à environ 50 km de la ville de Québec (figure 1; 46° 57' N., 71° 40' O.; altitude: 350 m). Les précipitations et la température annuelles moyennes sont respectivement de 1 200 mm et 4,3°C. Le pH de l'humus et du sol minéral dans cette érablière est considéré très acide. Le dispositif expérimental était composé de 4 blocs de 12 microcosmes (figure 2), pour un total de 48 unités expérimentales. Les microcosmes d'une capacité de 50 litres (diamètre intérieur: 29 cm; profondeur: 50 cm) ont été remplis avec du sol de l'érablière. De la chaux dolomitique a été ajoutée à une dose de 45 tonnes par hectare à la moitié de ces unités pour élever le pH à 5,6 (pH du sol non chaulé (témoin) = 4,1). Cinq vers de terre (*Lumbricus terrestris* ou *Amyntas Hawayanus*) ont été introduits dans chacun des microcosmes (témoins et chaulés) en juin 1997. Les microcosmes ont été démontés un

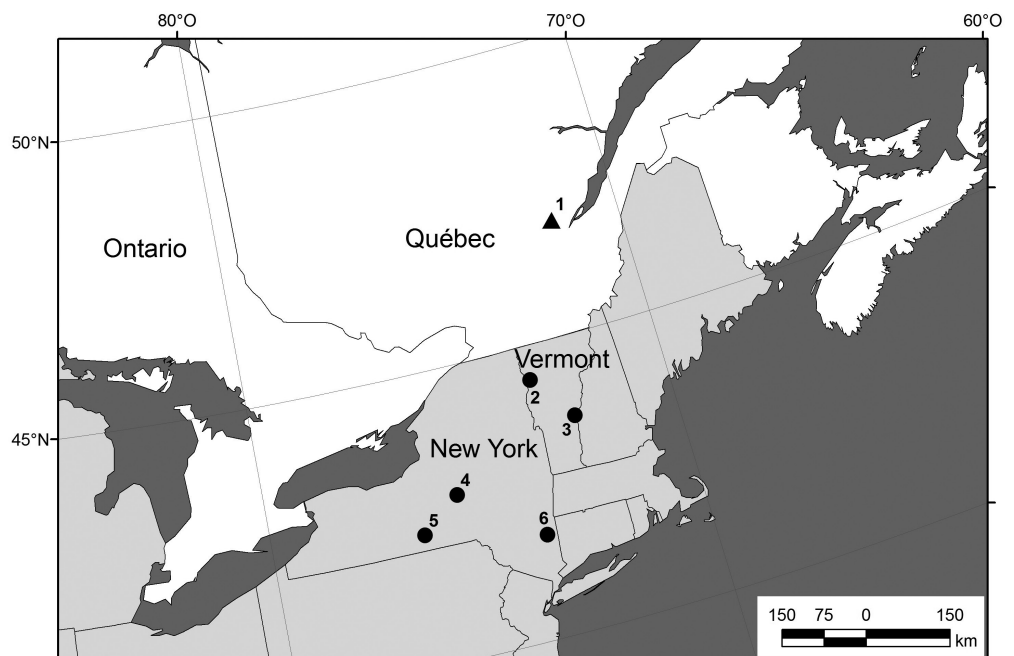


Figure 1. Emplacement de la Station forestière de Duchesnay (triangle noir) ainsi que celui de certains sites (ronds noirs) où le genre *Amyntas* a été observé dans le nord-est de l'Amérique du Nord.



Figure 2. Photo du dispositif, Station forestière de Duchesnay, Québec.

an plus tard, en juin 1998. Le sol a été minutieusement examiné afin de prélever les vers de terre adultes et juvéniles, ainsi que les cocons qui s'y trouvaient. Des analyses chimiques ont été effectuées sur les différents horizons du sol. Pour plus de détails sur la méthodologie, voir Moore et collab. (2013).

Pour l'expérience en laboratoire, le sol de la même érablière a servi pour remplir les microcosmes (contenants rectangulaires en plexiglas de 15 cm de largeur $\times$ 15 cm de longueur $\times$ 25 cm de hauteur). Le dispositif expérimental était constitué de 3 degrés d'acidité du sol (témoin : pH = 4,1, chaulé : pH = 5,0 et 5,6), chacun avec 5 répétitions. Les sols des microcosmes traités avaient préalablement été chaulés pour élever leur pH. Par la suite, en juin 1997, 10 individus *Aporrectodea caliginosa* adultes ont été introduits dans chacun des contenants. Dans chaque contenant, la biomasse initiale des 10 vers a été mesurée. L'ouverture supérieure de chaque contenant a été recouverte d'une moustiquaire afin d'éviter que les vers ne s'échappent. Les contenants ont été placés dans une chambre de croissance durant 6 mois, à une température constante de 15°C. Un léger arrosage a été réalisé toutes les semaines pour conserver une humidité adéquate à l'activité des vers de terre. L'uniformité de l'arrosage était vérifiée en fonction du poids initial des microcosmes, en même temps qu'une rotation des microcosmes à l'intérieur de la chambre de croissance. À la fin de l'expérience (décembre 1997), la biomasse des vers introduits initialement ainsi que celle des juvéniles et des cocons ont également été mesurées.

Les données de biomasse des vers de terre ont été analysées avec un modèle linéaire mixte (l'effet des blocs a été considéré comme aléatoire), tandis que le nombre de vers à la fin de l'expérience a été analysé à l'aide du modèle linéaire généralisé (glm). Dans les 2 cas, les blocs ont été considérés comme un facteur aléatoire. Le poids initial des vers de chacun des microcosmes a servi de covariable dans le cas des analyses de biomasse. La normalité des données et l'homogénéité de la variance ont été vérifiées graphiquement.

Les vers de terre peuvent généralement être classés en 3 différents groupes écologiques : a) les espèces épigées sont des vers de petite taille ($< 5,5$ cm) qui vivent dans les horizons riches en matière organique à la surface du sol; b) les espèces endogées, comme le genre *Aporrectodea*, sont des vers de taille moyenne (de $< 5,6$ à 11,0 cm) qui consomment plus de matière minérale que les espèces épigées, et mélangent ensemble les horizons minéraux et organiques; c) les espèces anéciques, comme *Lumbricus terrestris*, sont des vers de grande taille (de 11,1 à 30 cm) qui creusent de profonds tunnels verticaux, s'alimentent principalement de la litière de surface, incorporent cette litière dans le sol et transportent à la surface des particules du sol minéral provenant d'horizons plus profonds.

Lumbricus terrestris est une espèce anécique, généralement très abondante dans les érablières « riches » du Canada et des États-Unis, et bien établie dans le sud du Québec (Léger et Millette, 1977; Reynolds et Reynolds, 1992; Coderre et collab., 1995). C'est le plus gros ver de terre que l'on peut rencontrer dans le nord-est de l'Amérique du Nord, pouvant atteindre 25 cm de longueur. Il est connu pour son efficacité à incorporer la litière au sol, et peut même faire disparaître en une seule saison les feuilles tombées au sol à l'automne (Staaf, 1987; Suárez et collab., 2006). Cette espèce est en grande partie responsable de la formation des humus forestiers de type « mull » (Edwards et Bohlen, 1996).

Comparativement aux vers européens établis dans le nord-est de l'Amérique du Nord, *Amyntas hawayanus* a un cycle de vie annuel. Au printemps, les vers émergent des cocons, atteignent leur maturité sexuelle durant l'été, se reproduisent, puis meurent à l'automne (Greiner et collab., 2012). Cette espèce épi-endogée (p. ex. Moore et collab., 2009) peut rapidement atteindre plus de 10 cm de longueur (Greiner et collab., 2012), a une diète très variée (Zhang et collab., 2010) et peut supporter de fortes densités de population (Hale, 2007).

Résultats et discussion

Réaction de *Lumbricus terrestris* et *Aporrectodea caliginosa* au chaulage

L'amélioration des caractéristiques du sol acide à Duchesnay par le chaulage, particulièrement l'augmentation de pH (de 4,1 dans les microcosmes témoins à 5,6 dans ceux chaulés), a positivement influencé le taux de survie (figure 3), de reproduction (28 juvéniles dans les sols chaulés, 0 dans les témoins) et de croissance en biomasse (figure 4) de *Lumbricus terrestris* dans cette érablière, comparativement au sol non chaulé. De plus, 4 mois après le début de l'expérience, la litière avait complètement disparu de la surface du sol des microcosmes chaulés. Des résultats similaires ont été observés en Europe pour cette espèce après des traitements de chaulage (Judas et collab., 1997; Ampoorter et collab., 2011). Les auteurs d'autres études ont observé la présence ou la colonisation par cette espèce dans des sols au pH supérieur à 4,5 (Langmaid, 1964; Nicholson et Owen, 1982; Eisenhauer et collab., 2007).

Les travaux réalisés en laboratoire ont aussi montré un effet positif du chaulage d'un sol d'érablière sur *Aporrectodea*

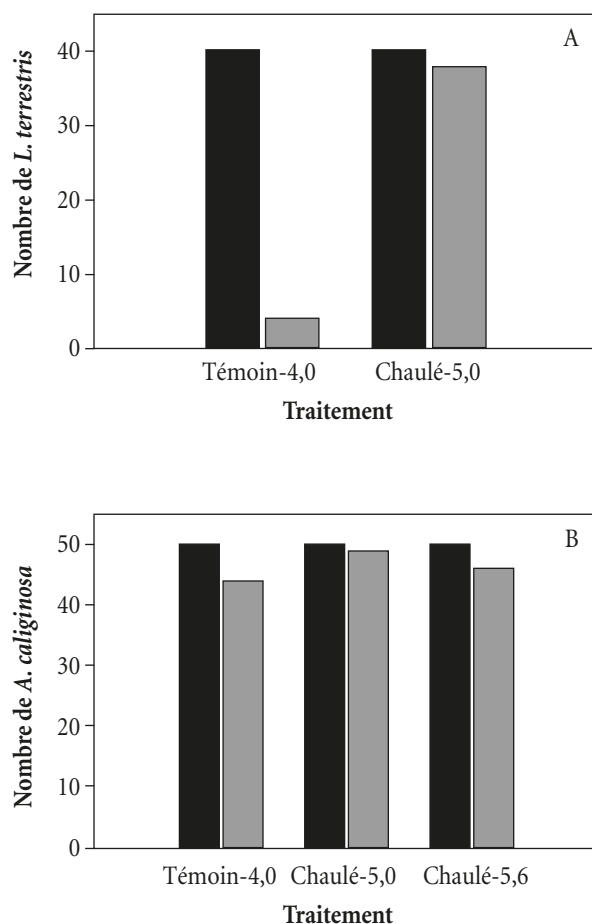


Figure 3. Nombre total d'adultes *Lumbricus terrestris* et *Aporrectodea caliginosa* avant (barres noires) et après (barres grises) le début du traitement de chaulage (selon le pH du sol), à la Station forestière de Duchesnay (A) et en laboratoire (B).

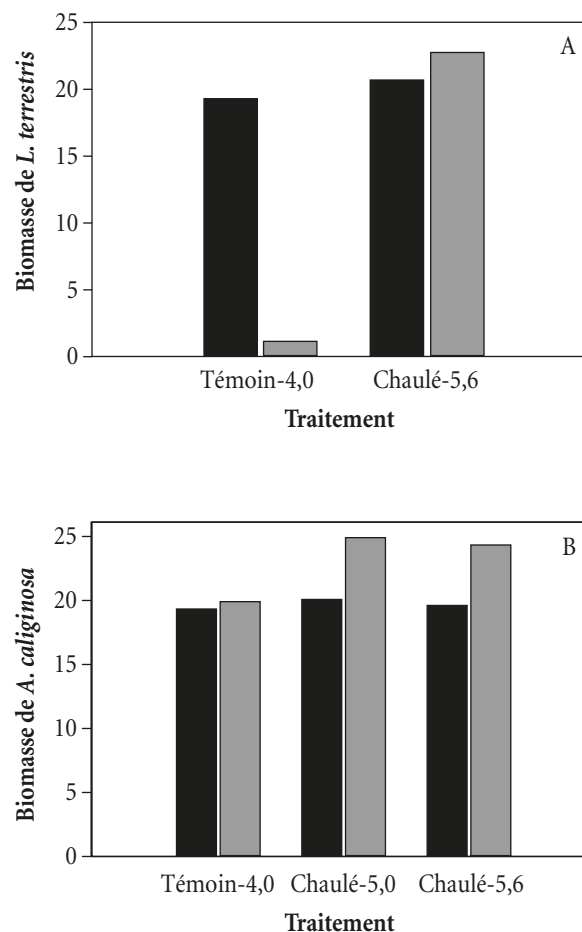


Figure 4. Biomasse totale (adultes, juvéniles, cocons) de *Lumbricus terrestris* et d'*Aporrectodea caliginosa* avant (barres noires) et après (barres grises) le début du traitement de chaulage (selon le pH du sol), à la Station forestière de Duchesnay (A) et en laboratoire (B).

caliginosa (figure 3), une espèce aussi très commune au Québec. Dans ce cas également, l'augmentation de la biomasse a principalement été causée par l'augmentation du taux de reproduction dans les sols chaulés (40 juvéniles et cocons dans les sols au pH de 5, et 57 dans ceux au pH de 5,6), comparativement aux témoins (16 juvéniles et cocons dans les sols au pH de 4,1).

Ces résultats montrent que le chaulage augmente la susceptibilité des érablières à la colonisation par certaines espèces de vers de terre d'origine européenne, telles que *Aporrectodea caliginosa* et *Lumbricus terrestris*. Par contre, la forte mortalité (réduction de 90 % de la population) et l'absence de reproduction de *Lumbricus terrestris* dans les sols non chaulés montrent que les sols du secteur d'étude, dont le pH de surface est souvent inférieur à 4,0, ne sont pas favorables à cette espèce. Nos résultats confirment toutefois la tolérance de *Aporrectodea caliginosa* à l'acidité du sol (figure 3; Satchell, 1955; Bouché et collab., 1988).

Bien que les spécimens de *Lumbricus terrestris* étudiés aient survécu à l'hiver, ce résultat à court terme ne nous permet pas de conclure avec certitude que cette espèce peut survivre à long terme dans la région de Duchesnay. Des études réalisées ailleurs au Canada (Eisenhauer et collab., 2007; Moore et collab., 2009) et en Russie (Tiunov et collab., 2006) ont toutefois montré que des populations de *Lumbricus terrestris* peuvent être observées dans des régions plus froides que celle de Duchesnay. Ces observations, jumelées à celles des résultats de chaulage, tendent à démontrer que l'absence de *Lumbricus terrestris* dans cette région des Basses-Laurentides s'explique davantage par l'acidité du sol que par un climat trop rigoureux.

Réaction de *A. hawayanus* au chaulage et à la température

L'espèce *Amyntas hawayanus* a été très active au cours de la première saison de croissance, aussi bien dans les microcosmes chaulés que non chaulés de Duchesnay. À l'automne, presque

Tableau 1. Informations sur le climat du site d'étude de la Station forestière de Duchesnay et de certains sites où le genre *Amyntnhas* a été observé dans le nord-est de l'Amérique du Nord. Nombre de jours sans gel (médiane): $T > 0^{\circ}\text{C}$ ($T > 2^{\circ}\text{C}$); date de gel au sol (médiane): $T \leq 0^{\circ}\text{C}$; Température: min./max. mensuel = moyennes pour le mois le plus froid (min.) et le plus chaud (max.).

Numéro de site (voir figure 1)	Référence	Nombre de jours sans gel	Date de gel au sol (début-fin)	Température ($^{\circ}\text{C}$)	
				min./max. mensuel	Moyenne annuelle
1	Station forestière de Duchesnay	144 (123)	09/28-05/08*	-17,0/25,0	4
2	Görres et Melnichuk, 2012	147 (129)	10/03-05/08	-12,6/27,4	7
3	Görres et Melnichuk, 2012	115 (92)	09/20-05/08	-15,8/27,6	6
4	Bernard et collab., 2009	134 (104)	09/26-05/15	-12,9/25,5	9
5	Suárez et collab., 2006	160 (133)	10/09-05/01	-9,4/25,6	7
6	Burtelow et collab., 1998	142 (116)	09/30-05/09	-11,0/27,4	9

toute la litière avait été incorporée dans le sol. Cependant, aucun spécimen n'a été observé au printemps suivant.

À première vue, nos résultats tendent à démontrer que le climat hivernal qui prévaut à Duchesnay a joué un rôle majeur dans la mortalité de l'espèce. Cependant, nous croyons plutôt que 2 facteurs pourraient avoir empêché *Amyntnhas hawayanus* de compléter son cycle vital: 1) l'année au cours de laquelle l'expérience a été menée était plus froide, marquée par une saison de croissance plus courte que la normale (Moore et collab., 2013), et 2) l'introduction quelque peu tardive des vers dans les microcosmes, qui a amputé la période de croissance potentielle de 3 à 4 semaines, a pu empêcher *Amyntnhas hawayanus* d'atteindre sa maturité sexuelle et ainsi produire les cocons nécessaires à sa survie, ces derniers ayant la capacité de survivre à l'hiver. Notre hypothèse semble justifiée, compte tenu du fait que les données climatiques à Duchesnay ne sont pas si différentes de certaines régions frontalières américaines, où d'autres espèces d'*Amyntnhas* ont colonisé les sols (tableau 1). Par ailleurs, l'importante activité d'*Amyntnhas hawayanus*, à la fois dans les sols chaulés et non chaulés, laisse croire que cette espèce est plus tolérante à l'acidité du sol que l'est *Lumbricus terrestris*.

Conclusion

De nombreuses études ont fait état des conséquences potentiellement négatives de la colonisation des forêts par les vers de terre sur l'intégrité écologique de ces écosystèmes (voir Moore et collab., 2013 pour une synthèse de la littérature). Les vers de terre d'origine européenne sont déjà bien implantés dans l'est du Canada (Moore et collab., 2009; Reynolds, 2014). Toutefois, l'acidité des sols et la rigueur du climat ont probablement limité leur colonisation de certaines régions. L'utilisation croissante du chaulage dans les érablières (Moore et collab., 2012, 2015) ainsi que le réchauffement climatique pourraient cependant rendre plusieurs écosystèmes forestiers, autrefois dépourvus de vers de terre, propices à la colonisation par ces organismes. Des études supplémentaires en relation avec le climat sont toutefois nécessaires afin d'évaluer la capacité de colonisation par d'autres espèces, par exemple *Amyntnhas hawayanus*, dans les forêts canadiennes et québécoises.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Benoît Toussaint et Jacques Martineau pour leur aide au montage des microcosmes, le personnel du laboratoire de chimie inorganique et organique du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs pour les analyses chimiques effectuées sur les sols, ainsi que Denise Tousignant pour la révision linguistique du manuscrit. ◀

Références

- ADDISON, J.A., 2009. Distribution and impacts of invasive earthworms in Canadian forest ecosystems. *Biological Invasions*, 11: 59-79.
- AMPOORTER, E., A. DE SCHRIJVER, P. DE FRENNE, M. HERMY et K. VERHEYEN, 2011. Experimental assessment of ecological restoration options for compacted forest soils. *Ecological Engineering*, 37: 1734-1746.
- BERNARD, M.J., M.A. NEATROUR et T.S. MCCAY, 2009. Influence of soil buffering capacity on earthworm growth, survival, and community composition in the Western Adirondacks and Central New York. *Northeastern Naturalist*, 16: 269-284.
- BOUCHÉ, M.B., J. HAIMI et V. HUTHA, 1988. Two earthworms taxa (Oligochaeta: Lumbricidae) new to Finland. *Memoranda Societatis pro fauna et flora Fennica*, 64: 65-67.
- CODERRE, D., D. GAGNON, S. TOUSIGNANT et G. BESSETTE, 1995. Earthworm populations in healthy and declining sugar maple forests. *Pedobiologia*, 39: 86-96.
- CURRY, J.P., 1998. Factors affecting earthworm abundance in soils. Dans: Edwards, C.A. (édit.). *Earthworm ecology*. St. Lucie Press, Boca Raton, p. 37-64.
- EDWARDS, C.A. et P.J. BOHLEN, 1996. *Biology and ecology of earthworms*. 3^e édition. Chapman and Hall, London, 426 p.
- EISENHAEUER, N., S. PARTSCH, D. PARKINSON et S. SCHEU, 2007. Invasion of a deciduous forest by earthworms: Changes in soil chemistry, microflora, microarthropods and vegetation. *Soil Biology and Biochemistry*, 39: 1099-1110.
- EISENHAEUER, N., S. STRAUBE, E.A. JOHNSON, D. PARKINSON et S. SCHEU, 2009. Exotic ecosystem engineers change the emergence of plants from the seedbank of a deciduous forest. *Ecosystems*, 12: 1008-1016.
- GATES, G.E., 1976. More on earthworm distribution in North America. *Proceedings of Biological Society of Washington*, 89: 467-476.
- GATES, G.E., 1982. Farewell to North American megadriles. *Megadrilogica*, 4: 77.
- GÖRRES, J.H. et R.D.S. MELNICHUK, 2012. Asian invasive earthworms of the genus *Amyntnhas* Kinberg in Vermont. *Northeastern Naturalist*, 19: 313-322.

- GREINER, H.G., D.R. KASHIAN et S.D. TIEGS, 2012. Impacts of invasive Asian (*Amyntas hilgendorfi*) and European (*Lumbricus rubellus*) earthworms in a North American temperate deciduous forest. *Biological Invasions*, 14: 2017-2027.
- GUNDALE, M.J., 2002. Influence of exotic earthworms on the soil organic horizon and the rare fern *Botrychium mormo*. *Conservation Biology*, 16: 1555-1561.
- HALE, C.M., 2007. Earthworms of the Great Lakes. Kollath & Stensaas Publishing, Duluth, 36 p.
- HALE, C.M., L.E. FRELICH et P.B. REICH, 2006. Changes in cold-temperate hardwood forest understory plant communities in response to invasion by European earthworms. *Ecology*, 87: 1637-1649.
- HOLDSWORTH, A.R., L.E. FRELICH et P.B. REICH, 2007. Effects of earthworm invasion on plant species richness in northern hardwood forests. *Conservation Biology*, 21: 997-1008.
- JUDAS, M., J. SCHAUERMANN et K.J. MEIWES, 1997. The inoculation of *Lumbricus terrestris* L. in an acidic spruce forest after liming and its influence on soil properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 29: 677-679.
- LANGMAID, K.K., 1964. Some effects of earthworm invasion in virgin podzols. *Canadian Journal of Soil Science*, 44: 34-37.
- LARSON, E.R., K.F. KIPFMEULLER, C.M. HALLE, L.E. FRELICH et P.B. REICH, 2010. Tree rings detect earthworm invasions and their effects in northern hardwood forests. *Biological Invasions*, 12: 1053-1066.
- LÉGER, R.G. et G.F.J. MILLETTE, 1977. Distribution écologique des vers de terre (Oligochaeta: Lumbricidae) dans la forêt du Morgan arboretum. *Le Naturaliste canadien*, 106: 369 -376.
- LONG, P.L., S.B. HORSLEY et T.J. HALL, 2011. Long-term impact of liming on growth and vigor of northern hardwoods. *Canadian Journal of Forest Research*, 41: 1295-1307.
- LOSS, S.R. et R.B. BLAIR, 2011. Reduced density and nest survival of ground-nesting songbirds in relation to earthworm invasions in northern hardwood forests. *Conservation Biology*, 25: 983-992.
- MAERZ, J.C., V.A. NUZZO et B. BLOSSEY, 2009. Declines in woodland salamander abundance associated with non-native earthworm and plant invasions. *Conservation Biology*, 23: 975-981.
- MOORE, J.-D., R. OUIMET et J.W. REYNOLDS, 2009. Premières mentions de vers de terre dans trois écosystèmes forestiers du bouclier canadien, Québec, Canada. *Le Naturaliste canadien*, 133 (1): 31-37.
- MOORE, J.-D., R. OUIMET et L. DUCHESNE, 2012. Soil and sugar maple response 15 years after dolomitic lime application. *Forest Ecology and Management*, 281: 130-139.
- MOORE, J.-D., R. OUIMET et P. BOHLEN, 2013. Effects of liming on survival and reproduction of two potentially invasive earthworm species in a northern forest podzol. *Soil Biology Biochemistry*, 64: 174-180.
- MOORE, J.-D., R. OUIMET, R. P. LONG et P. BUKAVECKAS, 2015. Ecological risks and benefits arising from the use of soil liming as a means of improving productivity of sugar maple forests in northeastern North America. *Environmental Review*. Sous presse. Doi: 10.1139/er-2014-0048
- NICHOLSON, C.P. et R.B. OWEN Jr., 1982. Earthworm abundance in selected forest habitats in Maine. *Megadrilogica*, 41: 78-80.
- NUZZO, V., J.C. MAERZ et B. BLOSSEY, 2009. Earthworm invasion as the driving force behind plant invasion and community change in northeastern North American forests. *Conservation Biology*, 23: 966-974.
- REYNOLDS, J.W., 1995. Status of exotic earthworm systematics and biogeography in North America. Dans: HENDRIX, P.F. (édit.). *Earthworm ecology and biogeography*. Lewis Publishers, Boca Raton, p. 1-28.
- REYNOLDS, J.W. et K.W. REYNOLDS, 1992. Les vers de terre (Oligochaeta: Lumbricidae et Sparganophilidae) sur la rive nord du Saint-Laurent (Québec). *Megadrilogica*, 4: 145-161.
- REYNOLDS, J.W., 2014. A checklist by counties of earthworms (Oligochaeta: Lumbricidae and Sparganophilidae) in Québec, Canada. *Megadrilogica*, 17: 73-103.
- RUSEK, J. et V.G. MARSHALL, 2000. Impacts of airborne pollutants on soil fauna. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 31: 395-423.
- SATCHELL, J.E., 1955. Some aspects of earthworm ecology. Dans: MCEKEVAN, D.K. (édit.). *Soil zoology*. Butterworth, London, p. 102-202.
- STAUF, H., 1987. Foliage litter turnover and earthworm populations in three beech forests of contrasting soil and vegetation types. *Oecologia*, 72: 58-64.
- SUÁREZ, E.R., T.J. FAHEY, J.B. YAVITT, P.M. GROFFMAN et P.J. BOHLEN, 2006. Patterns of litter disappearance in a northern hardwood forest invaded by exotic earthworms. *Ecological Applications*, 16: 154-165.
- SUTHERLAND, W.J., S. BARDSLEY, L. BENNUN, M. CLOUT, I.M. COTE, M.H. DEPLEDGE, L.V. DICKS, A.P. DOBSON, L. FELLMAN, E. FLEISHMAN, D.W. GIBBONS, A.J. IMPEY, J.H. LAWTON, F. LICKORISH, D.B. LINDENMAYER, T.E. LOVEJOY, R. MAC NALLY, J. MADGWICK, L.S. PECK, J. PRETTY, S.V. PRIOR, K.H. REDFORD, J.P.W. SCHARLEMANN, M. SPALDING et A.R. WATKINSON, 2011. A horizon scan of global conservation issues for 2011. *Trends in Ecology and Evolution*, 26: 10-16.
- TIUNOV, A.V., C.M. HALE, A.R. HOLDSWORTH et T.S. VSEVOLODOVA-PEREL, 2006. Invasion patterns of Lumbricidae into the previously earthworm-free areas of northeastern Europe and the western Great Lakes region of North America. *Biological Invasion*, 8: 1223-1234.
- ZHANG, W., P.F. HENDRIX, B.A. SNYDER, M. MOLINA, J. LI, X. RAO, E. SIEMANN et S. FU, 2010. Dietary flexibility aids Asian earthworm invasion. *Ecology*, 91: 2070-2079.

le naturaliste canadien

La plus ancienne revue francophone en sciences naturelles publiée en Amérique

Le *Naturaliste canadien* offre – sur papier et en ligne – un vaste auditoire à tous les professionnels de l’environnement et aux naturalistes qui désirent partager le fruit de leur travail avec ceux qui se préoccupent des sciences naturelles au Québec.

Auteur potentiel ? Soumettez un manuscrit :

- Évaluation par les pairs
- Aucun frais de publication
- Tirés à part électroniques gratuits
- Diffusion en deux formats : imprimé et en ligne (plateforme Érudit)

(www.provancher.qc.ca/fr/publication/naturaliste/soumettre-un-article)

Publié depuis 1869, le *Naturaliste canadien* paraît grâce au soutien de la Société Provancher d’histoire naturelle du Canada, un organisme voué à la conservation des milieux naturels, à l’éducation environnementale et à la diffusion des connaissances en sciences naturelles.

Lecteur potentiel ? Devenez membre :

- Faites d’une pierre deux coups : Adhérez à la Société Provancher et recevez gratuitement tous les numéros du *Naturaliste*!
- Membre individuel : 30 \$ par année ; familial : 35 \$; institutionnel : 70 \$

(<http://www.provancher.qc.ca/fr/societe/devenir-membre>)

