RÉSEAU REBOISEMENT LIGNICULTURE QUÉBEC

Les traits fonctionnels des saules (*Salix* spp.) comme prédicteurs des services de phytoremédiation

Béatrice Gervais-Bergeron*, Pierre-Luc Chagnon* et Michel Labrecque*

Article d'origine : Gervais-Bergeron, B., Chagnon, P.-L., & Labrecque, M. (2021). Willow aboveground and belowground traits can predict phytoremediation services. Plants 10, 1824.

* Institut de recherche en biologie végétale, Université de Montréal, 4101, rue Sherbrooke Est, Montréal (Québec) H1X 2B2

Contexte

Le rythme accéléré de l'industrialisation et de l'urbanisation a fait accroître de manière considérable le nombre de sites contaminés par des polluants organiques et inorganiques. La phytoremédiation, qui permet de gérer les contaminants du sol grâce aux plantes, présente plusieurs avantages sur les plans environnemental, social et économique par rapport à la remédiation conventionnelle de sites contaminés (Garbisu et Alkorta, 2001). Néanmoins, il demeure un défi de déterminer les espèces ou la combinaison d'espèces les plus performantes, capables de tolérer, d'accumuler, d'immobiliser ou de dégrader les contaminants.

Les saules (*Salix* spp.) sont parmi les espèces les plus utilisées pour la décontamination des friches industrielles en raison de leur capacité à accumuler les polluants, à s'établir et croître rapidement sur des sols dégradés ainsi qu'à produire une grande quantité de biomasse (French et collab., 2006). Le genre *Salix* compte près de 500 espèces et plusieurs centaines de cultivars qui présente une large diversité de traits fonctionnels et conséquemment des capacités variables pour la phytoremédiation. Pour sélectionner les génotypes les plus performants et efficaces en matière de phytoremédiation, une approche basée sur les traits fonctionnels – plutôt que sur la diversité spécifique devrait être développée. En effet, des travaux précédents ont démontré que les traits fonctionnels semblaient mieux prédire les fonctions écosystémiques comparativement à la diversité d'espèces, et seraient plus efficaces pour maximiser les services écosystémiques d'un assemblage de plantes (de Bello et collab., 2010, Laughlin, 2014). C'est pourquoi, afin de prédire et maximiser les services de phytoremédiation, cette approche pourrait être utilisée dans la sélection d'espèces à haute capacité de phytoremédiation. Cette approche est d'autant plus utile si la capacité de décontamination des plantes est corrélée à des traits fonctionnels mesurés chez un grand nombre de plantes, comme ceux liés à l'acquisition et à la conservation des ressources. À titre indicatif, la base de données de traits fonctionnels de plantes TRY renferme déjà des informations sur la surface foliaire spécifique de plus que 16 000 espèces et le contenu foliaire en

azote de plus de 12 000 espèces, incluant 80 espèces du genre *Salix*. L'utilisation de saules en phytoremédiation implique des récoltes (recépage) fréquentes des parties aériennes, ce qui pourrait affecter les traits fonctionnels et donc la capacité de phytoremédiation des arbres. Ainsi, il est important de savoir à quel degré les coupes répétées affectent les traits d'intérêt.

Dans cette étude, les auteurs ont exploré l'effet de la diversité des saules et du recépage sur la capacité de phytoremédiation, ainsi que les potentielles corrélations entre les traits fonctionnels des plantes et cette capacité.

Méthodologie

Cette recherche a été réalisée sur une friche industrielle située dans un secteur industriel de l'est de Montréal (Québec, Canada) sur lequel des travaux de phytoremédiation sont conduits depuis quatre ans. Le site était modérément contaminé par des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des éléments traces. Le sol était argileux et légèrement alcalin, et le climat de Montréal se caractérise par des températures moyennes estivales et annuelles respectivement de 20,2 °C et de 6,9 °C. L'expérience s'est basée sur un design factoriel complet à deux facteurs (la diversité des saules et le recépage) distribués aléatoirement sur quatre blocs. Les débris et la végétation ont été enlevés du site expérimental avant de planter les microboutures de saules. Une couche de 10 cm de terreau a été étalée sur chaque parcelle (à l'exception des parcelles témoins) sur laquelle 120 microboutures/m^2 ont été ajoutées. La même densité de plantation a été utilisée pour les polycultures en mélangeant 30 microboutures/m^2 de chacun des quatre cultivars de saules. Chaque bloc comprenait trois parcelles de 4,5 m x 5 m avec : 1) une parcelle témoin (non plantée); 2) une monoculture de *Salix miyabeana* 'SX67'; et 3) une polyculture de quatre cultivars de saules (*Salix miyabeana* 'SX67', *Salix miyabeana* 'SX61', *Salix purpurea* 'Fish Creek' et *Salix gmelinii* 'India'). À la fin de la troisième saison de croissance, les saules de la moitié de chaque parcelle ont été recépés à 10 cm au-dessus du sol. À la fin de la quatrième saison, les saules des parcelles recépées et non recépées avaient respectivement une longueur moyenne de 1,5 m et de 4 m. Notons que les parcelles n'ont pas été fertilisées, mais désherbées chaque mois durant la première année suivant leur mise en place et irriguées au besoin.

Pour mesurer les services de phytoremédiation, six indices ont été sélectionnés : 1) la phytoextraction et 2) la phytostabilisation, calculées respectivement en multipliant la biomasse aérienne et racinaire (t/ha) par leurs concentrations respectives en éléments traces (kg/ha); 3) le facteur de translocation, qui est le ratio des concentrations en éléments traces de la biomasse aérienne sur la biomasse racinaire et qui reflète la capacité d'accumuler des éléments traces dans les parties aériennes ; 4) le facteur de bioconcentration totale et 5) racinaire, qui sont les ratios des concentrations en éléments traces dans les tissus totaux et racinaire de la plantes sur celles du sol; et 6) la décontamination du sol, qui est la différence des concentrations en éléments traces dans le sol entre 2016 et 2019, divisée par leur concentration en 2016. De plus, dix traits fonctionnels ont été mesurés à partir des

tissus de saules des parcelles plantées : 1) la surface foliaire spécifique (SLA) ; 2) la surface foliaire totale (LA); 3) la teneur en matière sèche des feuilles (LDMC); 4) le pH foliaire (LpH); 5) la teneur en azote (LNC) et 6) en carbone (LCC) des feuilles; 7) la teneur en matière sèche des racines (RDMC); 8) la teneur en azote (RNC) et 9) en carbone (RCC) des racines; et 10) la densité spécifique des tiges (SSD). Ces traits ont été sélectionnés pour leurs associations connues à des fonctions écologiques d'intérêt pour la phytoremédiation.

Résultats

La diversité des espèces de saules et le recépage ont eu des effets variés sur la capacité de phytoremédiation. La polyculture de plusieurs espèces de saules a entraîné une meilleure phytostabilisation, mais le facteur de bioconcentration au niveau des racines a été légèrement inférieur, indiquant une biomasse racinaire supérieure à celle des arbres en monoculture. Le recépage a diminué la phytoextraction dû à la suppression de la biomasse aérienne et a également diminué la phytostabilisation, suggérant une réduction de la biomasse racinaire. La décontamination du sol n'était pas favorisée par aucun traitement, mais semblait favorisée par la plantation de saules comparativement aux parcelles non plantées (témoins). Les propriétés physico-chimiques du sol ont aussi affecté la capacité de phytoremédiation, comme pour le contenu en matière organique qui a diminué la phytostabilisation et la bioconcentration pour la biomasse totale et la biomasse racinaire.

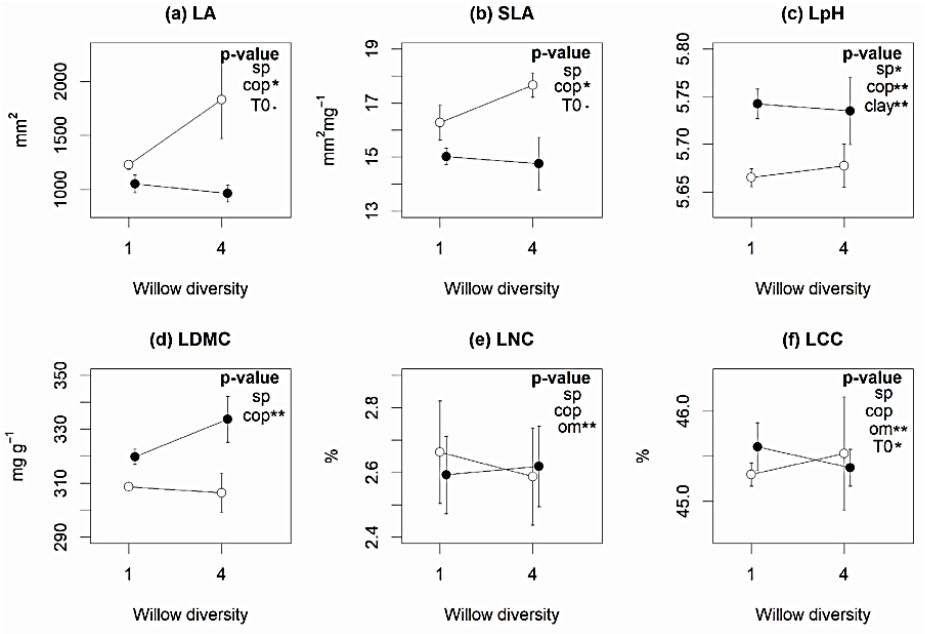

Figure 1. Effet de la diversité des saules (nombre de cultivars [sp]), du recépage (cop) et des facteurs environnementaux (matière organique [om], teneur en argile [clay] et en sable [sand] et teneur initiale en contaminant [t0]) sur les traits fonctionnels (a à j). Les points représentent la moyenne des traits et alors que les barres désignent l'erreur type de chaque traitement croisé. Les parcelles recepées (cercles vides) et non recepées (cercles pleins) sont alignées au-dessus du nombre d'espèces (parcelles de monoculture [1] ou de polyculture [4]). Les traitements ou les facteurs avec des valeurs de p significatives sont indiqués par (.) pour $p < 0,10$, (*) pour $p < 0,05$ et (**) pour $p < 0,01$. Abréviations : surface foliaire totale (LA), surface foliaire spécifique (SLA), pH foliaire (LpH), teneur en matière sèche des feuilles et des racines (LDMC et RDMC), teneur en azote et en carbone des feuilles (LNC et LCC), teneur en azote et en carbone des racines (RNC et RCC) et densité de la tige (SSD).

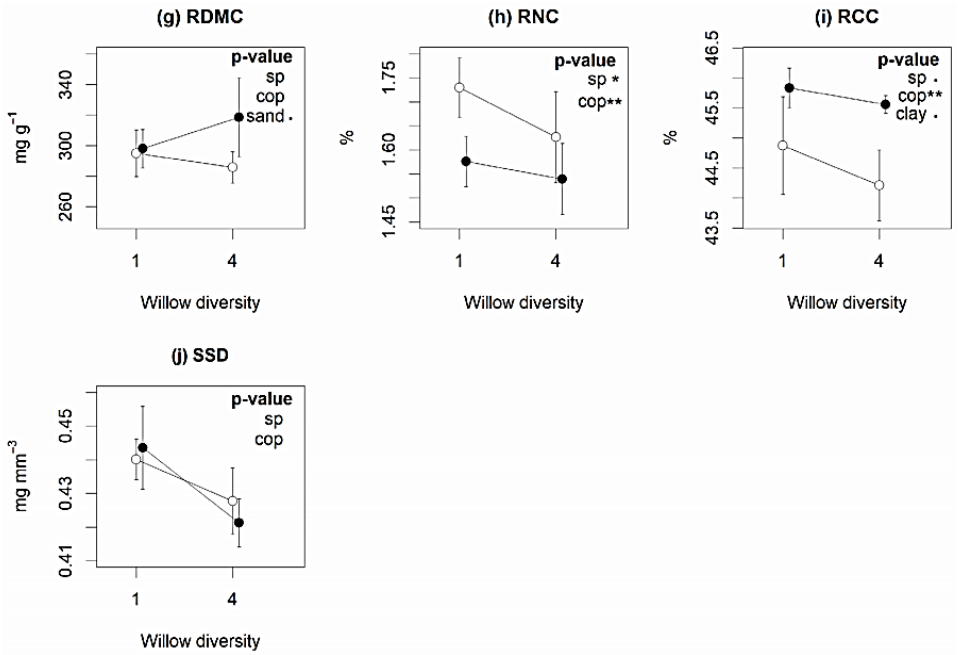

Figure 1 (suite)

Le cadmium et le zinc étaient les éléments traces les plus absorbés et les plus accumulés dans la biomasse des saules. Ces deux éléments avaient le plus haut facteur de bioconcentration pour la biomasse totale et la biomasse racinaire ainsi que le plus haut facteur de translocation. Au niveau des racines, l'accumulation du cuivre était supérieure, et son facteur de translocation était plus bas. Paradoxalement, la haute accumulation du cadmium, du zinc et du cuivre dans la biomasse des saules ne s'est pas traduite par une meilleure efficacité de la décontamination du sol. Les concentrations de ces éléments dans le sol ont même augmenté entre 2016 et 2019. Ce phénomène est parfois expliqué par l'effet de pompe que jouent les saules dans le sol, mobilisant les métaux proches de leurs racines.

Les résultats de cette étude ont également montré que le recépage a affecté plusieurs traits fonctionnels typiquement associés aux stratégies d'acquisition des nutriments. Les arbres dans les parcelles coupées avaient une teneur en matière sèche foliaire, une teneur en carbone des racines et un pH foliaire plus bas, avec une surface foliaire spécifique, une surface foliaire totale et une teneur en azote des racines plus élevées (voir figure 1). Ces tendances suggèrent que le recépage a augmenté le taux de croissance et rajeunit les tissus des saules. La diversité des espèces de saules n'a eu qu'un effet marginal sur les traits à l'échelle de la communauté. Par exemple, la teneur en azote et en carbone des racines ainsi que le pH étaient plus élevés dans la monoculture de *Salix miyabeana* 'SX67' (voir figure 1). Les traits fonctionnels ont été corrélés aux covariables du sol, telles que la matière organique qui a augmenté la teneur en carbone et en azote des feuilles ou la teneur en argile qui a augmenté la teneur en carbone des racines et le pH foliaire. La teneur en sable a réduit la teneur en matière sèche des racines. Les sols ayant des concentrations élevées en éléments traces ont eu tendance à avoir une teneur

en carbone des feuilles plus basse, mais une surface foliaire totale et une surface foliaire spécifique plus élevées, suggérant une stimulation de la croissance.

Les auteurs ont rapporté des liens intéressants entre les traits fonctionnels et les services de phytoremédiation. Par exemple, la décontamination du sol a été associée positivement aux teneurs en azote et en carbone des racines, et négativement à la teneur en carbone des feuilles et à la densité spécifique du tronc, soit à une plus forte allocation des ressources racinaires. La phytoextraction a été corrélée essentiellement à la teneur en carbone des racines et au pH foliaire, alors que la phytostabilisation était plus efficace quand la densité des tissus des arbres était élevée et quand la surface foliaire spécifique ainsi que les teneurs en carbone des feuilles et des racines étaient basses. Ces résultats suggèrent que ces deux services seraient favorisés par des saules aux stratégies plus de conservation des ressources. On a également rapporté que les corrélations entre les traits fonctionnels des saules et les services de phytoremédiation étaient cohérentes – indépendamment de l'élément trace – ce qui laisse croire que ces corrélations peuvent s'appliquer à la majorité des contaminants inorganiques. L'exception à cette tendance était le facteur de translocation, qui semble être davantage affecté par la mobilité des différents métaux. Par exemple, la translocation du plomb, du manganèse et du cuivre (moins mobile) était plus efficace dans les plantes ayant davantage de ressources aériennes (teneur en carbone des feuilles et une densité spécifique élevées), alors que la translocation du sélénium, du cadmium et du zinc (plus mobiles) était corrélée aux ressources (teneurs en azote et en carbone) des racines.

En conclusion, ce travail a mis en évidence des corrélations entre les traits fonctionnels des plantes et les services de saules utilisés pour la phytoremédiation. Les résultats ont montré un patron de covariance des traits qui fait écho à de nombreuses autres études écophysiologiques, soulignant un compromis clair entre les traits d'acquisition (p.ex. : surface foliaire spécifique, teneur foliaire en azote) et les traits de conservation (p.ex. : la teneur en matière sèche des feuilles et des racines). Les saules ayant une stratégie plus conservatrice vis-à-vis des ressources ont favorisé la phytoextraction et la phytostabilisation des contaminants. Cela est en accord avec des études antérieures en phytoremédiation qui ont recommandé des espèces plus tolérantes et résistantes aux contraintes environnementales (donc plus conservatrices). Ainsi, parmi les saules, et potentiellement d'autres espèces ligneuses à croissance rapide, des traits plus conservateurs favoriseraient les services de phytoremédiation rendus.

Références

- de Bello, F.; Lavorel, S.; Díaz, S.; Harrington, R.; Cornelissen, J.H.C.; Bardgett, R.D.; Berg, M.P.; Cipriotti, P.; Feld, C.K.; Hering, D.; et al. Towards an Assessment of Multiple Ecosystem Processes and Services via Functional Traits. Biodivers. Conserv. 2010, 19, 2873–2893.
- French, C.J.; Dickinson, N.M.; Putwain, P.D.Woody Biomass Phytoremediation of Contaminated Brownfield Land. Environ. Pollut. 2006, 141, 387–395.
- Garbisu, C.; Alkorta, I. Phytoextraction: A Cost-Effective Plant-Based Technology for the Removal of Metals from the Environment. Bioresour. Technol. 2001, 77, 229–236.
- Laughlin, D.C. Applying Trait-Based Models to Achieve Functional Targets for Theory-Driven Ecological Restoration. Ecol. Lett. 2014, 17, 771–784.