

SITES CONTAMINÉS PAR LES MÉTAUX : UN MODÈLE D'ÉTUDE POUR DES RECHERCHES INNOVANTES



**Bastien LANGE, Olivier POURRET et
Michel-Pierre FAUCON**

Unité HydrISE (hydrogéochimie et
interactions sol-environnement),
Institut polytechnique LaSalle Beauvais

La contamination des sols par les métaux augmente à la surface de la Terre, se positionnant au cœur d'enjeux environnementaux et sanitaires (Alloway 1995, Banza et al. 2009). Dans ce contexte, des sols métallifères secondaires, initialement sains, sont apparus. La teneur en métaux de ces sols peut être 1.000 fois supérieure à celle de sols normaux, représentant une contrainte très importante pour la végétation, et une importante source de pollution. Il est nécessaire à ce jour de remédier à ces pollutions, par l'utilisation de méthodes novatrices et respectueuses de l'environnement comme les procédés de phytoremédiation (Bhargava et al. 2012).

La mise en œuvre de ces techniques nécessite l'utilisation de plantes tolérantes aux métaux et les espèces qui ont développé des populations tolérantes aux métaux sont relativement peu nombreuses. Parmi celles-ci, certaines possèdent la capacité d'absorber massivement les métaux et de les concentrer dans leurs parties aériennes : elles sont qualifiées d'hyperaccumulatrices.

Cette capacité d'hyperaccumulation a été signalée pour le zinc (Zn), le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le

nickel (Ni), le cuivre (Cu), le cobalt (Co) et le manganèse (Mn).

Des plantes hyperaccumulatrices

Les hyperaccumulatrices de Cu et de Co (>300 mg/kg matière sèche) (Krämer 2010; van der Ent et al. 2013) constituent un groupe remarquable de plantes dont l'écologie et l'évolution de la tolérance et de l'accumulation de ces métaux restent très mal comprises. En particulier, une grande variation des concentrations foliaires en Cu et Co est observée entre les espèces, les populations, voire au sein des populations, chez la majorité des hyperaccumulatrices de Cu et Co. Par exemple, chez *Crepidiorhopalon tenuis*, une pseudo-metallophyte du Katanga (République Démocratique du Congo), les teneurs mesurées en Cu et en Co dans les parties aériennes allaient de 80 à 1.400 mg.kg⁻¹ et de 61 à 1.105 mg.kg⁻¹, respectivement (Faucon et al. 2007). Notons que de rares travaux examinant l'accumulation de Cu et de Co en conditions expérimentales n'ont pas pu reproduire ce phénomène (Morrison et al. 1979 ; Baker et al. 1983; Faucon et al. 2009). Les études expérimentales de caractérisation de

l'accumulation du Cu et du Co dans les plantes en conditions contrôlées réalisées très souvent en culture hydroponique, in vitro ou en pot avec un substrat essentiellement organique sont critiquées étant donné qu'elles sont très éloignées des conditions édaphiques naturelles (van der Ent et al. 2013). Une combinaison particulière de conditions physico-chimiques à l'échelle de la rhizosphère et peut-être microbiologiques, semble nécessaire pour que l'hyperaccumulation des métaux dans les plantes ait lieu.

De plus, les matériaux végétaux à haute concentration en métaux présentent des perspectives de valorisation très prometteuses. En effet, ces matrices organiques à haute concentration en métaux peuvent être utilisées comme catalyseurs en chimie organique industrielle. Un exemple très encourageant est celui du zinc (Zn²⁺) hyperaccumulé par *Noccaea caerulea*, qui peut être employé après une purification minimale (i.e., traitement thermique, traitement acide et filtration) comme catalyseur de réactions chimiques organiques (Grison et Escarré 2010). Il importe donc de maîtriser l'ensemble des facteurs déterminant la composition de ces tissus en métaux,

afin de pouvoir garantir la qualité et la reproductibilité du matériau.

Lancement d'études scientifiques

Pour ce faire, plusieurs unités de recherche ont lancé un projet dont l'objectif premier est de connaître et de caractériser les facteurs pédogéochimiques qui influencent la disponibilité et la phytotoxicité du Cu et du Co, associe une approche pédogéochimique, une approche évolutive de l'hyperaccumulation et une application directe d'utilisation des populations les plus accumulatrices de Cu et de Co pour la production de phytomasse à haute valeur ajoutée. Des études récentes, réalisées en partenariat entre l'Université Libre de Bruxelles (Belgique), AgroBioTech Gembloux, l'Université de Liège (Belgique), l'Université de Lubumbashi (RD Congo) et l'Institut Polytechnique

LaSalle Beauvais (France), ont permis une première caractérisation des différentes formes chimiques (i.e., fractionnement) du Cu et du Co dans les sols métallifères du Katanga (Faucon et al. 2011 ; Pourret et al. 2015). Le Co semblerait être fixé en partie par les oxydes de manganèse, contrairement au Cu qui est fixé préférentiellement aux oxydes de Fe et à la matière organique. La disponibilité de Cu et Co dans ces sols semble être régulée de manière différente et conduit à des disponibilités apparentes difficiles à prévoir à partir des teneurs totales du sol. La démarche scientifique suivie repose sur l'échantillonnage d'une collection de populations de l'espèce *Anisopappus chinensis* (L.) Hook. f. & Arn. (Asteraceae) (Figure 1), choisie comme espèce modèle, qui colonise des sols riches en Cu et en Co du sud de l'Afrique Centrale, présentant des caractéristiques géo-

chimiques contrastées (i.e., concentrations en métaux, teneurs en matières organiques, pH...). Ainsi, la caractérisation de l'accumulation du Cu et Co chez cinq populations métalliques d'*Anisopappus chinensis* in situ se développant dans des contextes pédogéochimiques contrastés, a été réalisée. Les analyses minérales des sols récoltés dans la rhizosphère des mêmes plantes, ont permis d'estimer le fractionnement du Cu et du Co dans ces sols. Ceci a permis de mettre en évidence l'importance de certains facteurs du sol pour expliquer les variations des concentrations en Cu et en Co dans la plante (Lange et al. 2014). Pour faire suite à cette étude de terrain, la mise en culture en conditions contrôlées d'une population de référence d'*A. chinensis*, à trois concentrations en Cu et Co et un total de 36 traitements, a permis de tester expérimentalement les résultats in natura et → →

ENVIRONORD

800 APPLICATIONS EXEMPLAIRES À DÉCOUVRIR



DÉCHETS
Collecter - Trier - Recycler - Valoriser



EAU
Capter - Distribuer - Traiter - Économiser



ÉNERGIE
Produire - Stocker - Utiliser - Économiser



BÂTIMENT
Concevoir - Construire - Maîtriser - Gérer



CONGRÈS EUROPÉEN
ÉCO-TECHNOLOGIES
POUR LE FUTUR

Demandez votre badge d'accès gratuit sur salon-environord.com CODE **PET**

10 AU 11 JUIN 2015 | **LILLE**
GRAND PALAIS









→ → examiner l'influence des oxydes de fer et de manganèse et de la matière organique, sur la mobilité et l'accumulation du Cu et du Co (Lange et al. in prep.). Ces travaux s'inscrivaient dans le cadre du projet Solmetplant financé par la SFR Condorcet (FR CNRS n°3417) en collaboration avec l'Université de Reims Champagne Ardenne. Ces deux études ont confirmé la complexité de la disponibilité réelle des métaux dans les sols et de son estimation. La matière organique semblerait être un facteur essentiel de la mobilité du Cu et du Co dans les sols. Cependant, les variations d'accumulation ne s'expliquent pas

nécessairement par une variation de mobilité. La variation génétique inter- et intra- populationnelle de l'accumulation et de la tolérance au Cu et au Co pourrait également expliquer le phénomène.

Des perspectives de valorisation de la biomasse des populations les plus accumulatrices de Co et de Cu se dessinent en collaboration avec l'unité de Claude Grison (Laboratoire de Chimie bio-inspirée et d'innovations écologiques, FRE CNRS-UM2 3673). Une méthode novatrice basée sur la récupération des métaux présents en des concentrations élevées dans la biomasse produite via la phytoextraction de

sols contaminés en Cu et Co sera ainsi explorée. La technique est basée sur l'utilisation directe de cations métalliques issus de la minéralisation de la biomasse comme catalyseurs (appelés écocatalyseurs) dans la synthèse de molécules organiques à haute valeur ajoutée (molécules plates formes aromatiques, hétérocycles, structures cycliques chirales) trouvant des applications dans les secteurs de la biocosmétique, des biopesticides, les médicaments à bas coût ou encore comme intermédiaire clé de l'industrie chimique. ●

Bibliographie :

- Alloway, B.J., 1995. Heavy metals in soils - Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability, 2nd ed., DOI 10.1007/978-94-007-4470-7.
- Baker, A.J.M., Brooks, R.R., Pease, A.J., Malaisse, F., 1983. Studies on copper and cobalt tolerance in three closely related taxa within the genus *Silene* L. (Caryophyllaceae) from Zaïre. *Plant and Soil*, 73, 377-385.
- Banza Lubaba Nkulu, C., Nawrot, T.S., Haufroid, V., Decrée, S., De Putter, T., Smolders, E., Ilunga Kabyla, B., Numbi Luboya, O., Ndalallunga, A., Mwanza Mutombo, A., Nemery, B. 2009. High human exposure to cobalt and other metals in Katanga, a mining area of the Democratic Republic of Congo. *Environmental Research* 109, 745-752.
- Bhargava A, Carmona FF, Bhargava M, Srivastava S, 2012. Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. *Journal of Environmental Management* 105, 103-120.
- Faucon, M.P., Collinet, G., Jitaru, P., Verbruggen, N., Shutcha, M., Mahy, G., Meerts, P., Pourret, O., 2011. Relation between Cobalt Fractionation and its Accumulation in Metallophytes from South of Central Africa. *Mineralogical Magazine*, 75, 832.
- Faucon, M.P., Collinet, G., Mahy, G., Ngongo Luhembwe, M., Verbruggen, N., Meerts, P., 2009. Soil influence on Cu and Co uptake and plant size in the cuprophytes *Crepidodolopalon perennis* and *C. tenuis* (Scrophulariaceae) in SC Africa. *Plant and Soil*, 317, 201-212.
- Faucon, M.P., Shutcha, M.N., Meerts, P., 2007. Revisiting copper and cobalt concentrations in supposed hyperaccumulators from SC Africa: influence of washing and metal concentrations in soil. *Plant and Soil*, 301, 29-36.
- Grison, C., Escarre, J., 2010. Utilisation de plantes accumulatrices de métaux lourds pour la mise en oeuvre de réactions chimiques. Brevet n° PCT/FR2010/052451.
- Krämer, U., 2010. Metal hyperaccumulation in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 517-534.
- Lange, B., Faucon, M.-P., Meerts, P., Shutcha, M., Mahy, G., Pourret, O., 2014. Prediction of the edaphic factors influence upon the copper and cobalt accumulation in two metallophytes using copper and cobalt speciation in soils. *Plant and Soil*, 379, 275-287.
- Morrison, R.S., Brooks, R.R., Reeves, R.D., Malaisse, F., 1979. Copper and cobalt uptake by metallophytes from Zaïre. *Plant and Soil*, 53, 535-539.
- Pourret, O., Lange, B., Houben, D., Collinet, G., Shutcha, M. and Faucon, M.-P., 2015. Modeling of cobalt and copper speciation in metalliferous soils from Katanga (Democratic Republic of Congo). *Journal of Geochemical Exploration* 149, 87-96.
- van der Ent, A., Baker, A.M., Reeves, R., Pollard, A.J., Schat, H., 2013. Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: Facts and fiction. *Plant and Soil*, 362, 319-334.



Figure 1. *Anisopappus chinensis*, accumulatrice de cobalt et de cuivre, espèce candidate pour la phytoextraction et phytostabilisation des sols hautement contaminés par les métaux.