



**HAL**  
open science

## Protection de la biodiversité et sciences durables

Claire Grison, Claude Grison

► **To cite this version:**

Claire Grison, Claude Grison. Protection de la biodiversité et sciences durables. *Biologie Aujourd'hui*, 2024, 218 (1-2), pp.55-61. 10.1051/jbio/2024002 . hal-04650876

**HAL Id: hal-04650876**

**<https://hal.science/hal-04650876v1>**

Submitted on 17 Jul 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Protection de la biodiversité et sciences durables

Claire M. Grison et Claude Grison\*

Laboratoire de chimie bio-inspirée et Innovations écologiques, UMR 5021 CNRS, Université de Montpellier, Cap Delta, 1682 rue de la Valsière, 34790 Grabels, France

**Résumé** – Le dernier rapport de l’IPBES a clairement montré que la pollution et la multiplication des espèces exotiques envahissantes constituaient deux des cinq facteurs majeurs responsables du déclin de la biodiversité. Face à cette situation, nous présentons dans cette brève revue le développement de solutions fondées sur la nature pour répondre à ces deux défis. Cette approche a tout d’abord permis de progresser dans la compréhension des stratégies d’adaptation des plantes et des microorganismes associés, pour répondre à des agressions telles que celle de la pollution. Ainsi, il a pu être démontré que certaines espèces végétales sont capables de se développer dans des milieux contaminés par des éléments métalliques, voire de séquestrer les polluants toxiques dans leurs feuilles ou leurs racines. Ces recherches ont permis d’apporter des solutions originales pour la restauration écologique des sols et la décontamination des systèmes aquatiques à l’aide d’espèces végétales exotiques envahissantes mortes. Afin de les rendre pérennes et économiquement viables, ces solutions ont été valorisées à travers le concept de l’écocatalyse, à l’interface de l’écologie et de la chimie.

**Mots clés** : biodiversité, pollution, écosystèmes terrestres et aquatiques, espèces exotiques envahissantes, écocatalyse

**Abstract - Protecting biodiversity and sustainable sciences.** The latest IPBES report clearly showed that pollution and proliferation of invasive alien species constituted two of the five major factors responsible for the biodiversity decline. Faced with this situation, we present here the development of nature-based solutions in response to these two challenges. This approach has firstly made it possible to progress in understanding the adaptation strategies of plants and associated micro-organisms to respond to attacks such as pollution. Thus, relevant studies showed that certain plant species are able to grow in environments contaminated with metallic elements, or even to sequester toxic pollutants in their leaves or their roots. This research has made it possible to provide original solutions for the ecological restoration of soils and the decontamination of aquatic systems using dead invasive exotic plant species. The promotion of these solutions through the concept of ecocatalysis, at the interface of ecology and chemistry, contributed to make them sustainable and economically viable.

**Keywords:** biodiversity, pollution, land and aquatic ecosystems, invasive alien species, ecocatalysis

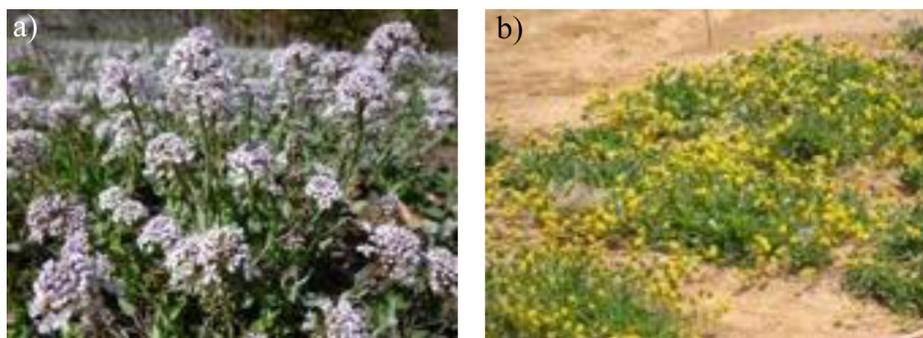
## Introduction

Compte-tenu de leur immobilité, les plantes ne peuvent s’échapper d’un milieu devenu éventuellement hostile. Elles subissent donc totalement les contraintes liées à cet environnement et doivent s’y adapter ou disparaître. Certaines plantes sont amenées à développer des mécanismes biologiques très particuliers pour répondre à des agressions telles que sécheresse, attaques par les herbivores, les parasites, piétinement, stress oxydant et pollution (Ncama *et al.*, 2022 ; Sytar et Kumar, 2023).

Quand on réalise que ces conditions varient continuellement, on ne peut qu’être fasciné par les stratégies mises en œuvre par les plantes pour survivre, se tenir, croître, être pollinisées, se disséminer, germer et résister face aux contextes changeants de leur environnement. La compréhension de ces processus est particulièrement importante dans un monde soumis à des changements globaux rapides. Ainsi, par exemple, certaines espèces végétales sont capables de se développer sur des terrains hautement contaminés en métaux de transition, voire de séquestrer des polluants hautement toxiques dans leurs feuilles (Reeves et Baker, 2000). Elles peuvent donc apporter des solutions originales à la décontamination des sols. Cet aspect est à l’origine de solutions fondées sur la nature, qui seront développées dans la première partie de cet article.

---

\*Auteur correspondant : [claude.grison@cnrs.fr](mailto:claude.grison@cnrs.fr)



**Figure 1.** Inflorescences des deux hyperaccumulateurs de Zn naturellement présents sur le site minier des Avinières: a) *Noccaea caerulescens*; b) *Anthyllis vulneraria*.

La pollution des sols entraîne fréquemment la pollution des écosystèmes aquatiques et vice-versa. Il y a en quelque sorte un continuum entre la pollution des sols et celle de l'eau. La deuxième partie de l'article sera dédiée à cet aspect, et illustrera la possibilité de s'appuyer là-encore sur des solutions naturelles pour dépolluer l'eau. En effet, d'autres espèces végétales ont développé des capacités d'adaptation pour vivre en milieu aquatique ou semi-aquatique pollué; ce sont des espèces hydrophytes et hygrophytes spécifiques. Pour capter les nutriments en milieu dilué, elles ont développé des racines aux structures physico-chimiques particulières qui les prédisposent à être des biomatériaux performants pour dépolluer l'eau.

Parmi les espèces végétales les plus efficaces pour dépolluer les milieux aquatiques, bon nombre d'entre elles sont des exotiques envahissantes. Ces espèces hygrophytes et hydrophytes sont révélatrices d'un problème majeur. Alors que les premières étouffent la biodiversité des milieux aquatiques, gênent l'écoulement des eaux et rendent les voies non navigables, les secondes fragilisent les berges de nos rivières et colonisent les zones humides, si utiles à la régulation des extrêmes climatiques (Roy *et al.*, 2023). La troisième partie de l'article abordera cet aspect.

Enfin, si l'on souhaite que ces solutions fondées sur la nature soient pérennes, il est important qu'elles soient économiquement viables. Ce dernier point fondamental sera abordé à travers le concept émergent de l'écocatalyse.

## Restauration des sols dégradés et pollués par phytoextraction

L'épuisement des ressources mondiales de minéraux primaires et stratégiques est devenu un problème critique, d'un point de vue économique et environnemental. Les techniques de recyclage restent peu développées et le maintien d'une demande forte en éléments métalliques laisse présager un épuisement à court terme des ressources actuelles de métaux tels que Zn, Mn, Ni, Pd, Pt, Co, Cu, Ce, Eu, Sc etc., pourtant indispensables à la mise en œuvre de nombreux procédés industriels, notamment comme catalyseurs. Ces besoins conduisent les opérateurs miniers à étendre leurs exploitations et à utiliser de nouvelles techniques d'extraction, au prix d'importants impacts

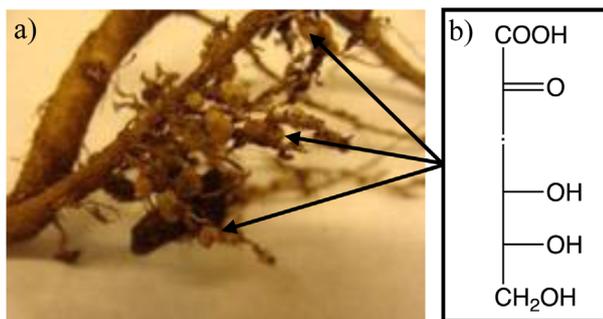
environnementaux: dégradation de milieux naturels, perte de biodiversité, pollution des écosystèmes, production de déchets indésirables, etc.

Afin de restaurer les milieux naturels dégradés ou pollués par les activités minières, des premières recherches en écologie ont consisté à développer des programmes de phytoremédiation innovants sur sites et à grande échelle, en métropole (anciens sites miniers du Gard) et en Nouvelle-Calédonie (cinq sites répartis sur tout le territoire, soit 6 ha). Ces recherches ont été réalisées en collaboration étroite avec les opérateurs miniers. La phytoextraction a été privilégiée, car elle est l'une des phytotechnologies les plus prometteuses, capable d'apporter une dimension sociale et économique aux efforts de réhabilitation. La phytoextraction repose sur l'utilisation de plantes capables d'extraire les éléments métalliques des sols et de les concentrer dans leurs parties aériennes. Cette technologie naturelle contribue ainsi à la diminution progressive de la teneur en éléments traces métalliques dans les sols contaminés. Elle permet également l'introduction d'un couvert végétal protecteur sur les sites les plus pollués ou dégradés, qui est capable de limiter l'érosion éolienne et/ou hydraulique des sites réhabilités (Grison, 2015).

## Restauration minière dans les Cévennes

Dans le Gard, le site minier des Avinières est un haut lieu de contamination (500 à 800 fois plus de Zn, Cd et Pb que n'autorisent les normes européennes). Des travaux d'écologie microbienne et végétale ont permis d'établir une première preuve de concept de réhabilitation par phytoextraction à grande échelle, à l'aide de grands hyperaccumulateurs de Zn naturellement présents sur le site tels que les espèces *Noccaea caerulescens* et *Anthyllis vulneraria* (Figure 1) (Grison *et al.*, 2015a).

Des études fondamentales sur les stratégies de défense de *N. caerulescens* ont permis de progresser dans la connaissance des mécanismes d'adaptation des brassicacées, très représentées chez les espèces végétales hyperaccumulatrices de métaux. Une corrélation entre production de glucosinolates, molécules de défense des brassicacées, et concentration en éléments métalliques phytoaccumulés a pu être établie (Montaut *et al.*, 2017).



**Figure 2.** a) Nodosités racinaires d'*Anthyllis vulneraria* abritant *Rhizobium metallidurans*; b) KDG (acide 3-désoxy-D-érythro-2-hexulosonique) produit par *Rhizobium metallidurans*.

*A. vulneraria* est une des très rares légumineuses hyperaccumulatrices de Zn et, à ce titre, a donc été l'objet d'études approfondies. La caractérisation phénotypique, génotypique et métabolique d'une nouvelle espèce bactérienne symbiotique, *Rhizobium metallidurans* (Figure 2) (Grison *et al.*, 2015), nous a permis de comprendre les stratégies d'adaptation de cette bactérie hors-normes au niveau physiologique et moléculaire. Il a ainsi été prouvé que *R. metallidurans* n'utilise pas la glycolyse comme voie de dégradation du glucose mais la voie d'Entner Doudoroff, la seule connue pour conduire à la biosynthèse de KDG (acide 3-désoxy-D-érythro-2-hexulosonique) comme intermédiaire spécifique (Figure 2b). La synthèse chimique de KDG a, par la suite, permis de montrer que ce métabolite se comporte comme un stimulateur spécifique de la croissance de *R. metallidurans* (Grison *et al.*, 2014).

Ce résultat est important dans le cadre des travaux de restauration minière. Les ressources en azote disponibles dans ces sols miniers sont faibles en raison de la forte pollution et de la faible abondance de la végétation. La stimulation sélective du développement de *R. metallidurans* par rapport à la population microbienne globale du sol minier à réhabiliter a permis de stimuler (i) la croissance d'*A. vulneraria* et, en conséquence, (ii) la production naturelle d'ammonium par fixation du diazote atmosphérique, qui enrichit le sol pollué et favorise la croissance de plantes hyperaccumulatrices, telles que *N. caerulescens* (Grison *et al.*, 2015b).

La réussite de ce programme nous a conduit à poursuivre nos efforts de restauration minière en Nouvelle-Calédonie.

### Restauration minière en Nouvelle-Calédonie

La Nouvelle-Calédonie, haut-lieu de la biodiversité mondiale, héberge 3260 espèces végétales avec un taux d'endémisme d'environ 74%. La diversité floristique de Nouvelle-Calédonie est étroitement liée à son histoire géologique. Celle-ci a entraîné des conditions édaphiques très particulières : une grande partie du sol du territoire est riche en éléments phytotoxiques : Ni, Co, Cr, Mn, Fe. Ces conditions géochimiques très particulières ont généré une flore originale composée de plantes qui se sont adaptées aux sols ultramafiques. Soumises à de fortes pressions de

sélection, certaines espèces sont devenues capables de se développer sur des sols riches en éléments métalliques toxiques, mais souvent pauvres en éléments minéraux essentiels à la croissance des végétaux. C'est en particulier le cas de nombreux métalphytes hyperaccumulateurs de Ni et de Mn endémiques. Ce contexte est exceptionnel, et représente un scénario d'adaptation remarquable du monde végétal.

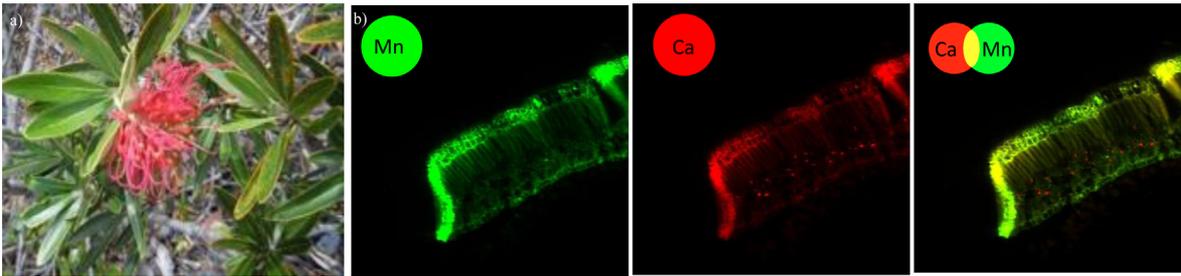
Cependant, ces conditions géochimiques sont également à l'origine d'extractions minières intenses, qui menacent parallèlement cette même biodiversité. À ce jour, on recense plus de 23 000 ha impactés par des activités minières entraînant une forte érosion des sols, qui pollue le lagon et menace le récif corallien. Depuis 2009, la réhabilitation est devenue obligatoire, mais seuls 1,6% ont été revégétalisés et de nombreuses connaissances scientifiques restent à acquérir.

Dans ce contexte, nous avons développé une approche originale de restauration minière. La démarche s'appuie sur la richesse de la biodiversité calédonienne et l'existence des plantes hyperaccumulatrices de Ni et Mn, capables de s'adapter aux multiples contraintes locales : milieu ouvert, climat tropical, contraintes édaphiques et hydriques, altitude élevée, bon pouvoir germinatif, sols dégradés et appauvris en nutriments et micro-organismes, mais riches en éléments toxiques (Losfeld *et al.*, 2015a, 2015b).

Un vaste programme de revégétalisation de versées à stériles a été développé à l'aide de plantes hyperaccumulatrices de Ni et de Mn. La réussite de ces travaux, alliant expériences de terrain à grande échelle (>6 ha) et recherche fondamentale nous a permis de progresser davantage dans la connaissance des capacités adaptatives des métalphytes sur sites miniers dégradés.

Il a été possible de développer conjointement la phytoextraction du Ni et du Mn sur un même site minier en s'appuyant sur des espèces locales (Losfeld *et al.*, 2015c). Les espèces hyperaccumulatrices de Mn, peu connues, appartiennent au genre *Grevillea*; elles ont montré une forte adaptation à des sols carencés en phosphore, ce qui a orienté le choix et la composition des amendements à utiliser. Les suivis réguliers des différents sites réhabilités ont montré une très bonne dynamique de croissance des différents plants installés (Grison *et al.*, 2015a).

La distribution cellulaire et subcellulaire du Mn dans les feuilles, tiges et racines de l'hyperaccumulateur de Mn, *Grevillea meisneri* (Figure 3), a été étudiée par spectroscopie de microfluorescence à rayons X ( $\mu$ XRF). Qu'il s'agisse de plants sauvages ou développés sur sites miniers, le manganèse est principalement concentré dans les tissus épidermiques des feuilles, dans le cortex et les tissus vasculaires des tiges et des racines primaires, ainsi que dans le phloème et le péricycle-endoderme des racines mères. Le développement d'un tel hyperaccumulateur de Mn sur des sols riches en Ni pose question. L'absorption préférentielle de Mn par rapport au Ni dans les racines implique des transporteurs spécifiques du Mn qui restent à caractériser. Cependant, la colocalisation observée par  $\mu$ XRF de Ca et de Mn suggère des voies de transport communes (Figure 3b) (Bihanic *et al.*, 2021).



**Figure 3.** a) Parties foliaires et inflorescence de *Grevillea meisneri*; b) Localisation du Mn, Ca, et superposition Mn-Ca dans l'épiderme d'une feuille de *Grevillea meisneri* observée par  $\mu$ XRF.

La phytoextraction du Mn est une démarche nouvelle et prometteuse; elle permet l'introduction d'espèces pionnières et compatibles avec les objectifs de valorisation. En effet, il a été démontré que les vieilles feuilles et les litières étaient les plus chargées en Mn. Les récoltes destinées aux actions de valorisation ne sont donc pas destructrices (Losfeld *et al.*, 2015c).

### Dépollution des milieux aquatiques par voies écologiques

Ressource naturelle vitale, l'eau est également un élément moteur du développement économique et social. Les activités anthropiques, domestiques, agricoles et industrielles, ajoutées aux facteurs tels que changements climatiques, pression démographique, surconsommation de l'eau, constituent une véritable menace pour l'accès aux ressources en eau potable. Selon le PFE (Partenariat Français pour l'Eau), « les plus grands risques du réchauffement climatique décrits par le GIEC concernent en premier lieu l'eau » ([https://www.partenariat-francais-eau.fr/wpcontent/uploads/2021/10/Messages\\_Climat\\_PFE-2.pdf](https://www.partenariat-francais-eau.fr/wpcontent/uploads/2021/10/Messages_Climat_PFE-2.pdf)).

La directive européenne 2000/60/CE a établi un cadre pour améliorer la qualité des eaux. Cette directive présente, en particulier, une stratégie pour le contrôle de la pollution par les substances les plus préoccupantes en imposant de définir des normes de qualité. Les éléments métalliques font partie de la liste des substances prioritaires relevant de cette directive. La préservation des ressources en eau est devenue un défi mondial. Il s'agit de l'objectif 6 du développement durable (ODD – Sommet de l'ONU sur le développement durable, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/>) à atteindre à l'horizon 2030.

L'intensité des sécheresses estivales, conjuguée aux activités industrielles et agricoles implique l'absolue nécessité de la protection des ressources en eau potable. Il s'agit d'un des plus grands défis actuels.

Développer de nouvelles approches pour anticiper ces situations, prévenir les sources de pollution, traiter les eaux polluées en amont en mettant en place des procédés de traitement innovants faisant appel à des technologies durables, sont devenus incontournables. Dans un premier

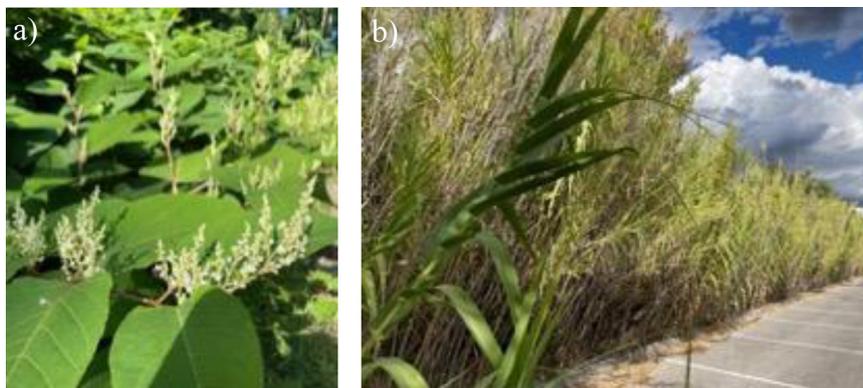
temps, nous avons étudié de façon approfondie des plantes aquatiques capables de bioconcentrer les éléments métalliques tels que le cuivre ou le palladium par rhizofiltration (Clavé *et al.*, 2016, 2017; Garel *et al.*, 2016). Il a été montré de façon surprenante que le principe pouvait être étendu à des plantes mortes. Ce résultat a été expliqué à l'échelle moléculaire par la structure physicochimique particulière du système racinaire. Très riche en hémicellulose, et donc en acides carboxyliques, ces matériaux sont également insolubles dans l'eau grâce à leur richesse en lignine ou en tannins. La mise au point d'une méthode physicochimique par spectroscopie IR a permis de prédire la capacité de nouvelles espèces aquatiques à biosorber les éléments métalliques. Ainsi, un nouveau système de dépollution d'effluents contaminés par les éléments métalliques a pu être développé. Basé sur une technologie de biosorption, il repose sur l'utilisation en batch ou en continu d'un filtre constitué exclusivement de matériaux végétaux réduits à l'état de poudres. Ce procédé a été d'abord étudié avec des plantes aquatiques autochtones (Gard, Tarn), puis transposé à des plantes aquatiques envahissantes (Figure 4) très efficaces pour traiter des eaux polluées. Il s'agit d'un résultat majeur qui ouvre de nouvelles pistes dans le cadre de la maîtrise du développement et de la prolifération des espèces végétales exotiques envahissantes (Stanovych *et al.*, 2019; Cases *et al.*, 2021; Garcia *et al.*, 2021).

Ces résultats de recherche ont été transposés à un procédé pilote (Figure 4b), adapté à la problématique environnementale de pollution au Zn, Cd, Pb, As, et aux aléas climatiques du département concerné: sécheresse intense en été, épisodes cévenols violents à l'automne. Le procédé général a été mis à l'épreuve sur deux sites représentatifs de ces scénari courants en région Occitanie et dont la gestion est difficilement contrôlable en période d'inondations et d'intempéries. Le grand site minier des Malines (Saint-Laurent-Le-Minier, Gard) et la mine de Salsigne (Aude) ont été choisis comme modèles d'étude et de démonstrations (Richards *et al.*, 2022).

D'un point de vue global, ces filtres végétaux permettent d'extraire les éléments métalliques polluants de nature différente et dans des contextes variables: effluents miniers, effluents de carrières et de l'industrie chimique pour recycler des catalyseurs homogènes utilisés industriellement.



**Figure 4.** a) *Ludwigia peploides*, une plante aquatique exotique envahissante utilisée pour ses capacités de biosorption ; b) Appareil de dépollution des eaux minières par biosorption (dans les Cévennes).



**Figure 5.** Deux des 100 espèces exotiques les plus envahissantes au monde : a) *Fallopia japonica* ; b) *Arundo donax*.

Aujourd'hui, la technologie permet de répondre à des scénari très différents de pollution métallique : métaux stratégiques, métaux primaires, métaux toxiques (Grison *et al.*, 2023).

Ainsi, des plantes aquatiques, considérées comme indésirables car envahissantes, ont trouvé une utilité, même mortes, de par leur capacité à dépolluer l'eau et finalement préserver la qualité de l'eau.

### Gestion éco-responsable des espèces végétales exotiques envahissantes (EVEE)

L'étude de la dépollution de l'eau et des effluents industriels nous a amenés à découvrir le problème plus global des EVEE en milieu aquatique, mais aussi en zones humides. La préservation des zones humides est essentielle. Alors qu'elles constituent les plus grands réservoirs de matière organique carbonée, les zones humides contribuent également à l'atténuation des phénomènes climatiques extrêmes (inondations et sécheresses), à la purification de l'eau et à la préservation de la biodiversité. Cependant, 85 % des zones humides ont été perdues en 300 ans ; elles continuent de disparaître trois fois plus rapidement que les forêts. Depuis les années 1970, un problème supplémentaire a été mis en évidence : le nombre d'EVEE dans les zones humides et les milieux aquatiques a

augmenté de 70 %. Il s'agit d'un des cinq facteurs responsables du déclin de la biodiversité. F. Courchamp et ses collaborateurs ont montré que le coût des conséquences de cette situation s'élevait à 1024 millions de dollars sur 40 ans au niveau mondial (Bodey *et al.*, 2022).

Le réchauffement climatique est favorable au développement des EVEE. Renouée du Japon (*Fallopia japonica*), canne de Provence (*Arundo donax*), pour les plus connues (Figure 5), se développent de façon incontrôlée sur les berges des effluents français, les zones de marécages, les mares, les bras morts des fleuves et des rivières, les forêts alluviales. Elles étouffent les espèces végétales indigènes, affectent directement la biodiversité, accroissent les risques d'inondations, fragilisent les berges, limitent l'accès aux voies navigables. Si l'espoir d'une éradication n'est plus d'actualité (il est admis que ces espèces sont définitivement installées), les différentes techniques de gestion (excavation, fauches répétées, application foliaire d'herbicides, broyages répétés, injection de vapeur) sont centrées sur un objectif commun : contrôler leur prolifération.

Les premières analyses de cycle de vie selon les différentes techniques de gestion précitées ainsi que les études de l'état de santé de l'écosystème après gestion tendent à montrer que la pratique de fauches répétées

(fauchage intensif de longue durée) est un bon compromis entre efficacité, coûts de gestion et santé durable des écosystèmes (Conelli *et al.*, 2020). Une étude de modélisation de la technique prenant en compte l'influence de la taille initiale de la population, le nombre moyen de fauches par an, la superficie et le nombre de couronnes de peuplements prouve qu'il est possible d'obtenir l'éradication du peuplement de renouées exotiques à une condition : la durée minimale de la gestion pour y parvenir est d'environ dix ans (Lavallée *et al.*, 2019).

Ces conclusions illustrent la nécessité de soutenir ces efforts de gestion dans la durée à travers une valorisation économique viable et écoresponsable.

## Conclusion – Valorisation des solutions écologiques de préservation de la biodiversité

Que les plantes soient issues de la restauration minière par phytoextraction, de la dépollution des écosystèmes aquatiques par rhizofiltration ou biosorption, ou des grands programmes de gestion des EVEC par fauches intensives, elles possèdent toutes un point commun : une composition minérale inhabituelle. Elles ont alors trouvé une seconde utilité : devenir des outils incontournables de la chimie verte en diminuant l'énergie d'activation d'une réaction chimique et en la rendant ainsi possible et efficace. C'est ce que l'on appelle un catalyseur. En d'autres termes, les catalyseurs métalliques de la chimie conventionnelle peuvent être remplacés par des poudres végétales issues des parties aériennes des plantes hyperaccumulatrices de métaux et des EVEC ou bien encore des filtres végétaux issus d'espèces de plantes aquatiques indigènes ou envahissantes. Nous les avons appelés des *écocatalyseurs*<sup>®</sup> (Grison & Lock Toy Ki, 2021).

Ces *écocatalyseurs*<sup>®</sup> nous ont permis de revisiter les grandes réactions de la chimie organique de synthèse avec un nouveau défi : préparer des molécules utiles pour notre bien-être, notre santé, avec un impact environnemental le plus réduit possible. Les *écocatalyseurs*<sup>®</sup> sont une véritable révolution en chimie durable : ils peuvent remplacer les catalyseurs qui résultent de l'extraction minière et des transformations métallurgiques qui ont de lourdes conséquences sur l'environnement ; de plus, les *écocatalyseurs*<sup>®</sup> peuvent être utilisés dans des procédés sobres totalement repensés et conçus pour respecter l'environnement (Grison & Grison, 2024).

Il s'agit d'une réponse ambitieuse et innovante à court-moyen terme pour soutenir les solutions fondées sur la nature et destinées à remédier à deux grands facteurs responsables du déclin de la biodiversité : la pollution et le développement incontrôlé d'espèces végétales exotiques envahissantes.

## Références

- Bihanic, C., Petit, E., Perrot, R., Cases, L., Garcia, A., Pelissier, F., Poullain, C., Rivard, C., Hossaert-McKey, M., McKey, D., Grison, C. (2021). Manganese distribution in the Mn-hyperaccumulator *Grevillea meisneri* from New Caledonia. *Sci Rep*, 11(1), 23780. doi: 10.1038/s41598-021-03151-9.
- Bodey, T.W., Angulo, E., Bang, A., Bellard, C., Fantle-Lepczyk, J., Lenzner, B., Turbelin, A., Watari, Y., Courchamp, F. (2022). Economic costs of protecting islands from invasive alien species. *Conserv Biol*, 37, e14034.
- Cases, L., Adler, P., Pelissier, F., Diliberto, S., Boulanger, C., Grison, C. (2021). New biomaterials for Ni biosorption turned into catalysts for Suzuki-Miyaura cross coupling of aryl iodides in green conditions. *RSC Advances*, 11, 28085-28091.
- Clavé, G., Garel, C., Poullain, C., Renard, B.L., Lange, B., Shutcha, M., Faucon, M.P., Grison, C. (2016). Ulmann reaction through ecocatalysis: insights from bioresource and synthetic potential. *RSC Advances*, 6, 59550-59564.
- Clavé, G., Pellissier, F., Campidelli, S., Grison, C. (2017). Ecocatalyzed Suzuki-Miyaura cross coupling of heteroaryl compounds. *Green Chem*, 19, 4093-4103.
- Conelli, A., Guignard, C., Pedrazzini, S. (2020). Écobilan de différentes méthodes de lutte contre les renouées exotiques. Rapport sur mandat de SPAAS-Sezione protezione aria acqua suolo, Dipartimento del territorio, Repubblica e Cantone Ticino. [https://m4.ti.ch/fileadmin/GENERALE/organismi/rapporti\\_studi/R-2227-Ecobilan\\_Renouee\\_Japon\\_2020-07-13.pdf](https://m4.ti.ch/fileadmin/GENERALE/organismi/rapporti_studi/R-2227-Ecobilan_Renouee_Japon_2020-07-13.pdf).
- Garcia, A., Deyris, P.A., Adler, P., Pelissier, F., Dumas, T., Legrand, Y.M., Grison, C. (2021). Ecologically responsible and efficient recycling of Pd from aqueous effluents using biosorption on biomass feedstock. *J Clean Prod*, 299, 126895.
- Garel, C., Renard, B.L., Escande, V., Galtayries, A., Hessemann, P., Grison, C. (2016). C-C bond formation strategy through ecocatalysis: insights from structural studies and synthetic potential. *Applied Cat A*, 504, 272-286.
- Grison, C. (2015). Combining Phytoextraction and EcoCatalysis: an environmental, ecological, ethic and economic opportunity. *Environ Sci Pollu Res*, 22, 5589-5698.
- Grison, C., Escande, V., Olszewski, T.K. (2015a). Bioremediation and Bioeconomy, in: *Ecocatalysis; a new approach toward bioeconomy*. Elsevier, London, pp. 629-663.
- Grison, C., Biton, J., Escande, V. (2015b). Ecocatalysis: A new integrated approach to scientific ecology, in: *A new approach to rehabilitation by phytoextraction*. ISTE Elsevier, London, pp. 1-49.
- Grison, C., Lock Toy Ki, Y. (2021). Ecocatalysis, a new vision of green and sustainable chemistry. *Curr Opin Green Sustain Chem*, 29, 100461.
- Grison, C., Deyris, P.A., Poullain, C., Olszewski, T. K. (2023). Bioremediation and Biotechnology 2, in: *From preservation of aquatic ecosystems to ecocatalysis*. Elsevier, London, pp. 733-766.
- Grison, C., Grison, C.M. (2024). Ecocatalysis: A unique combination of global ecology and green and sustainable chemistry. *RSC Green Chem*, à paraître.
- Grison, C.M., Renard, B.L., Grison, C. (2014). A simple synthesis of 2-keto-3-deoxy-D-erythro-hexosonic acid isopropyl ester, a key sugar for the bacterial population living under metallic stress. *Bioorg Chem*, 52C, 50-55.

- Grison, C.M., Jackson, S., Merlot, S., Dobson, A., Grison, C. (2015). *Rhizobium metallidurans* sp. nov., a symbiotic heavy metal resistant bacterium isolated from the *Anthyllis vulneraria* Zn-hyperaccumulator. *Int J Syst Evol Microbiol*, 65, 1525-1530.
- Lavallée, F., Smadi, C., Alvarez, I., Reineking, B., Martin, F.M., Dommanget, F., Martin, S. (2019). A stochastic individual based model for the growth of a stand of Japanese knotweed including mowing as a management technique. *Ecol Model*, 413, 108828.
- Losfeld, G., Fogliani, B., L'Huillier, L., Grison, C. (2015a). Leaf-age effect: a key factor to report trace-elements hyperaccumulation by plants and design applications. *Environ Sci Pollut Res*, 22, 5620-5632.
- Losfeld, G., Fogliani, B., L'Huillier, L., Jaffre, T., Grison, C. (2015b). Mining in New Caledonia – Environmental stakes and restoration opportunities. *Environ Sci Pollut Res*, 22, 5592-5607.
- Losfeld, G., Fogliani, B., L'Huillier, L., Jaffre, T., Grison, C. (2015c). Phytoextraction from mine-spoils – Insights from New Caledonia. *Environ Sci Pollut Res*, 22, 5608-5619.
- Montaut, S., Guido, B.S., Grison, C., Rollin, P. (2017). Identification of glucosinolates in seeds of three Brassicaceae species known to hyperaccumulate heavy metals. *Chem Biodiv*, 14,3, e1600311.
- Ncama, K., Aremu, O.A., Sithole, N.J. (2022). Plant adaptation to environmental stress: Drought, chilling, heat, and salinity, in: C.M. Galanakis (Ed.), *Environment and Climate-smart Food Production*, Springer, Cham.
- Richards, K., Garcia, A., Legrand, Y.M., Grison, C. (2022). A two-step biosorption methodology for efficient and rapid removal of Fe(II) then As(V) from aqueous solution using abundant biomaterials. *Int J Environ Sci Technol*, 20, 8.
- Stanovych, A., Balloy, M., Olszewski, T. K., Petit, E., Grison, C. (2019). Depollution of mining effluents: Innovative mobilization of plant resources. *Environ Sci Pollut Res*, 26, 19327-19334.
- Sytar, O., Kumar, A. (2023). The adaptation strategies of plants to alleviate important environmental stresses. *Front Plant Sci*, 14, 1307399.
- Reeves, R.D., Baker, A.J.M. (2000). Metal-accumulating plants, in: I. Raskin, B.D. Ensley (Eds.), *Phytoremediation of toxic metals, using plants to clean up the environment*, John Wiley, London.
- Roy, H.E., Pauchard, A., Stoett, P., Truong, R.T., Bacher, S., Galil, B.S., Hulme, P.E., Ikeda, T., Sankaran, K.V., McGeoch, M.A., Meyerson, L.A., Nuñez, M.A., Ordonez, A., Rahlao, S.J., Schwindt, E., Seebens, H., Sheppard, A.W., Vandvik, V. (Eds.), IPBES. (2023). Summary for policymakers of the thematic assessment report on invasive alien species and their control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES secretariat, Bonn, Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7430692>.