

Quand les plantes dépolluent

Certaines espèces végétales ont la capacité de capter voire de détruire des polluants, métaux ou hydrocarbures. Reportage sur un ancien site industriel où des chercheurs étudient cet étonnant processus et tentent d'identifier les micro-organismes les plus efficaces pour dépolluer des sols souillés.

Symboles de la désindustrialisation, les tours du haut-fourneau U4 dominent de plusieurs mètres un parc de 12 hectares. À Uckange, en Moselle, cette ancienne usine sidérurgique a été réhabilitée en lieu culturel en 2007. Mais pendant plus de cent ans, de 1890 à 1991, elle a craché ses fumées dans la vallée de la Fensch. Les sols du territoire gardent la trace de cette activité industrielle: ils sont, encore aujourd'hui, imbibés de nickel, cuivre, plomb, manganèse... L'U4 compte ainsi parmi les plus de 9500 « sites et sols pollués », recensés en France par le ministère de la Transition écologique. Pour tenter de réduire ces tapis de substances polluantes, étape préalable à la plupart des projets de réhabilitation, on recourt très généralement à des excavations: la terre est alors extraite sur plusieurs mètres de profondeur pour être stockée, incinérée, ou transportée sur des sites d'enfouissement. C'est d'ailleurs cette méthode qui a été utilisée sur une partie du parc de l'U4. Mais sur d'autres

parcelles, la communauté de communes de la vallée de la Fensch, propriétaire des lieux, a opté pour une autre technique, soutenue par l'université de Lorraine: une dépollution par les plantes, ou phytoremédiation. « Nous avons voulu utiliser la contrainte de la pollution comme un atout, pour transformer ces friches en

démonstrateurs scientifiques de la phytoremédiation, en créant des Jardins de la transformation », explique Leslie Sieja, médiatrice scientifique à l'U4.

Certaines espèces végétales ont en effet la capacité de capter voire de détruire certains polluants. Grâce à des adaptations et évolutions génétiques, elles parviennent à absorber des métaux, et à les stocker dans leur sève, leurs feuilles ou leurs tiges. Quant aux polluants organiques, comme les hydrocarbures, ils peuvent être dégradés par l'action de micro-organismes, présents de manière plus abondante au niveau du système racinaire des végétaux. « Les plantes développent ces procédés pour

survivre, ou pour se protéger de prédateurs ou de la concurrence d'autres plantes », explique Guillaume Echevarria, professeur à l'université de Lorraine. Avec ses collègues, il étudie ces phénomènes depuis une trentaine d'années. Au Laboratoire sols et environnement, Sonia Henry s'est également spécialisée dans ce domaine.

Des teneurs importantes en éléments traces métalliques

Dans le parc de l'U4, les deux chercheurs ont trouvé un parfait terrain d'expérimentation. Des prélèvements effectués à « T zéro » ont permis de révéler non seulement la présence d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), polluants organiques issus majoritairement des activités de combustion, mais aussi des teneurs en éléments traces métalliques (ETM) — communément appelés « métaux lourds » — supérieures aux quantités présentes naturellement dans le sol de cette zone géographique. « La teneur de certains éléments métalliques dans les sols de l'U4 est de dix à 30 fois plus importante, indique Sonia Henry. C'est le cas du zinc, un oligo-élément





Aurélie Gueniffey, de l'association La Forêt gourmande, surveille l'évolution des différentes espèces plantées dans un des jardins-forêts sur le site de l'U4, à Uckange (Moselle).

potentiellement toxique à haute dose. » Sous les tours, plusieurs parcelles de 150 à 250 m² laissent sortir de terre ici des feuilles de miscanthus, là le tronc d'un jeune chêne, là-bas quelques vignes. « Les expériences de phytoremédiation se concentrent généralement sur une espèce particulière, constate Sonia Henry. La particularité de notre projet est de regrouper différentes modalités de traitement

[voir l'infographie ci-dessus], en associant plusieurs espèces végétales. » Dans cette optique, l'université de Lorraine s'est associée à l'association La Forêt gourmande (FoGo), qui développe des jardins-forêts dans lesquels toutes les espèces plantées sont comestibles. L'implantation de tels jardins à l'U4 vise ainsi à tester la capacité de dépollution de nouvelles espèces. « Nous disposons

Les 4 actions des végétaux sur les polluants

EXTRACTION

Les racines extraient les polluants et les stockent dans les tiges et les feuilles. Les plantes sont ensuite récoltées et brûlées. Certains polluants peuvent être récupérés.

Polluants concernés : métaux et radioéléments.



STABILISATION

Absorption et séquestration des polluants au niveau des racines, ce qui limite leur entrée dans les nappes phréatiques.

Polluants concernés : arsenic et radioéléments.



VOLATILISATION

Les polluants sont transformés en éléments volatils moins nocifs qui sont libérés dans l'atmosphère par transpiration des feuilles.

Polluants concernés : sélénium, mercure.



DÉGRADATION

Absorption des polluants organiques puis dégradation par des enzymes qui sont ensuite incorporés à la plante.

Polluants concernés : hydrocarbures, pesticides, explosifs.



de données scientifiques sur le transfert des polluants de plantes hyperaccumulatrices de métaux [lire l'encadré p. 46], ou de certaines espèces potagères, mais presque aucune sur les essences des jardins-forêts », justifie Sonia Henry. En mars 2022, une vingtaine d'espèces a ainsi été plantée par parcelle : des lamiers, de l'hibiscus, des cornouillers, des fraisières, des grands orpins... « Nous ►

PHYTOEXTRACTION

Des plantes pour recycler des métaux

Les plantes dites hyperaccumulatrices ont la capacité d'absorber, dix à 100 fois plus que leurs congénères, certains métaux dans leurs parties aériennes, généralement leurs feuilles. En récoltant et en incinérant celles-ci, il est possible d'extraire les métaux stockés. En 2016, plusieurs chercheurs de l'université de Lorraine ont créé l'entreprise Econick, spécialisée dans ce processus d'« agromine ». Cette « phytoextraction », envisageable dans tous les sols qui contiennent certains métaux, peut aussi s'avérer une méthode de dépollution d'anciens sites industriels, comme à l'U4, où Econick a implanté des spécimens. Parmi eux: l'alyssum, une plante capable d'absorber 150 kg de nickel par hectare. « Nous testons aussi quelques plants de *Noccaea*, décrit

Guillaume Echevarria, cofondateur d'Econick. Cette espèce, qui pousse dans le Grand Est et au Luxembourg, peut accumuler du nickel, du zinc, du cadmium et du plomb. C'est notre championne locale ! » Une fois récoltées, les feuilles de ces hyperaccumulatrices sont incinérées, en prenant soin si nécessaire de filtrer les fumées. Puis c'est dans les cendres que les métaux sont récupérés et séparés, grâce à des « solutions complexes. Ce processus est encore agressif, et nécessite beaucoup d'intrants chimiques, prévient-il. Mais nous recherchons d'autres procédés plus légers. » Alors que la demande ne cesse de croître pour la fabrication des batteries, récupérer du cobalt ou du nickel est une alternative à leur importation, même si les quantités produites ne peuvent atteindre celles des sites miniers.

micro-organismes peuvent dégrader certains HAP », détaille Sonia Henry, penchée sur son microscope dans une autre pièce du laboratoire. Elle observe des micro-organismes mis en culture avec, comme seule source de carbone, des HAP: « S'ils parviennent à se développer dans ce milieu-là, c'est qu'ils ont la capacité de découper les liaisons. L'intérêt pour nous est d'utiliser ces micro-organismes pour dégrader les molécules organiques. Le but étant d'aller jusqu'à la minéralisation, c'est-à-dire de passer d'un HAP toxique à des molécules minérales, à savoir du CO₂ et de l'eau. » La présence de tels micro-organismes à l'U4 accroît les chances de dépollution: « Plus les espèces végétales sont variées, plus la diversité microbienne sera aussi, et plus il sera probable d'avoir des micro-organismes possédant les capacités enzymatiques de dégradation des molécules organiques », renchérit Sonia Henry, pour confirmer l'intérêt des jardins-forêts.

Des analyses pour déterminer où les polluants se sont déplacés

Mais si les espèces plantées parviennent à dégrader les hydrocarbures, ou à stocker certains métaux, les parties comestibles seront-elles contaminées? « La question est de savoir si l'on pourra manger les raisins des vignes, ou les glands des chênes, estime Fabrice Desjours. Est-ce que les polluants seront transférés dans les racines, dans les feuilles ou dans les fruits? » Pour tenter de répondre à ces questions, c'est une nouvelle fois en laboratoire que Sonia Henry s'affaire. Dans un tube, elle dépose quelques grammes de végétaux broyés, prélevés sur l'une des parcelles cultivées de l'U4. « On ajoute un mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique, puis on fait monter le tout

► avons choisi de varier au maximum les ressources disponibles, en mélangeant des tubercules, des fruitiers, des légumes potagers, des arbustes... », liste Fabrice Desjours, fondateur de la FoGo. Mais le premier critère de sélection était celui de leur capacité à se développer sur des « technosols »: ce n'est en effet pas une terre fine, riche en matières organiques, qui s'étend sous le haut-fourneau; ici, il y a des zones de remblai, des dalles de béton, des boues, entre lesquelles les racines doivent se frayer un chemin, tout en composant avec les polluants présents dans le sol. Pour évaluer leur capacité à croître dans ce milieu hostile, ces plantes sont testées en laboratoire, à l'IUT de Thionville. Dans des chambres où sont contrôlés la température, le taux d'humidité ou encore la luminosité,

Sonia Henry dépose des pots témoins, qui contiennent une terre classique, ainsi que d'autres pots, remplis d'échantillons du sol de l'U4. Puis elle y plante l'espèce qu'elle souhaite tester. Objectif: évaluer l'impact des polluants sur la croissance en mesurant les racines. Ces tests d'écotoxicité donnent un aperçu de la capacité de certaines espèces à pousser même en présence d'éléments métalliques ou d'hydrocarbures. « Nous cherchons également à repérer quels

Ces tests d'écotoxicité donnent un aperçu de la capacité de certaines espèces à pousser même en présence d'éléments métalliques ou d'hydrocarbures



Des tests d'acidité du sol du jardin-forêt (en haut) et de croissance de plants d'avoine (au milieu) sont effectués par les chercheurs. Fabrice Desjours, de la Forêt gourmande, et Sonia Henry, de l'université de Lorraine, dosent les éléments traces métalliques dans des échantillons de végétaux prélevés sur l'une des parcelles cultivées de l'U4 (en bas).

en température », décrit-elle en plaçant ses tubes dans une sorte de four. « Cette étape de minéralisation permet de couper toutes les liaisons entre les éléments traces métalliques dans le but de les libérer, afin de pouvoir les doser, explique la chercheuse. On fait ces mêmes analyses sur les racines, les tiges, les feuilles, les fruits, afin de déterminer où les polluants se sont déplacés. »

Une nouvelle source de semences ou de biomasse

De premiers prélèvements des jardins-forêts de l'U4 ont été réalisés, mais les résultats restent à confirmer. *« Les taux de transfert apparaissent très faibles pour le moment, mais cela peut résulter du pH, plutôt basique, du sol de l'U4, qui est amené à s'acidifier du fait de la présence de végétaux, affirme Sonia Henry. Or, plus un sol est acide, plus les métaux seront mobiles et transférables dans la plante ».* Donc potentiellement dans ses parties comestibles. *« Même si, finalement, il n'est pas possible de manger ce qui pousse sur ce site, celui-ci pourrait devenir un lieu de semences »,* avance Fabrice Desjours. Encore faudrait-il s'assurer que ces graines ne sont pas contaminées, ou du moins ne contamineront pas leurs progénitures. Autre piste de débouchés explorée : l'exploitation de la biomasse de ces végétaux. Le miscanthus par exemple, particulièrement vigoureux en milieux pollués, peut être utilisé comme source de chauffage, de méthanisation, de matériaux de construction ou d'isolants.

Reste le problème de la lenteur du processus, mais Sonia Henry demeure optimiste : *« Quand les conditions sont réunies, en laboratoire, les taux d'abattement par phytoremédiation pour un polluant organique peuvent atteindre 80 % en quelques mois. »* Si le succès est au rendez-vous, les « Jardins de la transformation » d'Uckange pourraient devenir un modèle pour les autres sites pollués de notre territoire. ■

Camille Jourdan

Reportage photo : Éléonore Henry de Frahan / Collectif Argos pour Sciences et Avenir