

n°13 // Décembre 2022

upds MAG

LE MAGAZINE DES PROFESSIONNELS
DE LA DÉPOLLUTION DES SITES

 upds
Union des Professionnels
de la Dépollution des Sites.

// UPDS

L'UPDS a 30 ans, l'âge de raison ?

// ACTUALITÉS

Les dernières publications

DOSSIER

**BIODIVERSITÉ ET
SITES POLLUÉS //**



// SOMMAIRE

Edito //	3
UPDS //	
L'UPDS A 30 ANS, L'ÂGE DE RAISON ?	4
Dossier : biodiversité et sites pollués //	
ETUDES POUR LA RECONVERSION DE FRICHES URBAINES VIA DES TECHNIQUES INNOVANTES DE PHYTOMANAGEMENT Ville renouvelée // appel a projets ademe.	6
QUAND LES ESPÈCES EXOTIQUES ENVAHISSANTES S'INVITENT DANS LES PLANS DE GESTION DE LA MÉTHODOLOGIE DE GESTION DES SITES ET SOLS POLLUÉS.	9
RECONVERSION DES FRICHES : COMMENT CONCILIER RÉHABILITATION, ENJEUX DE PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ ET RENATURATION ? L'exemple de la ZAC Bongraine.	11
RÉPONDRE AUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX DU TERRITOIRE GRÂCE AUX BIOINDICATEURS. Les friches, un vivier de foncier à fort potentiel environnemental !	14
LA PHYTOREMÉDIATION POUR RÉGÉNÉRER UN ÉCOSYSTÈME DU SOL FONCTIONNEL	17
ENTRE TRAVAUX ET CRAPAUDS	21
LA RENATURATION : UNE SOLUTION POUR LES FRICHES INDUSTRIELLES DE TYPE DECHARGES ET SITES MINIERES DE RIO TINTO Ou comment allier biodiversité et maîtrise des risques, à des coûts compétitifs ?	23
Actualité //	
LES DERNIÈRES PUBLICATIONS	26



Union des Professionnels
de la Dépollution des Sites.

UPDS MAG n°13 Décembre 2022

Magazine édité par l'UPDS

Union des Professionnels de la Dépollution des Sites
183 avenue Georges Clémenceau 92000 NANTERRE
www.upds.org

Réalisation

UPDS

Comité de rédaction

Christel de LA HOUGUE, Franck LECLERC, Yves GUELORGET, Nicolas FOURAGE,
Jonathan SÉNECHAUD

Crédits photo

@UPDS @adhérents UPDS

Reproduction interdite sans accord de l'UPDS

// CALENDRIER

Colloque sur la Gestion des eaux souterraines (SMEGREG EBTP, INP ENSEGID, AHSP)

15-17 Février 2023 à Bordeaux

Formation "Géostatistique des sites et sols pollués et friches urbaines. Concepts et bonnes pratiques" (eOde)

29-30 Mars 2023 à Nantes

3rd Global Soil Biodiversity Conference

13-15 Mars 2023 à Dublin Irlande

Environmental Pollution, Treatment and Protection (ICEPTP'23)

30-31 Mars 2023 à Lisbonne Portugal

International Symposium on Bioremediation and Sustainable Environmental Technologies (Battelle)

8-11 Mai 2023 à Austin U.S.A.

NICOLE 2023 Spring Workshop in Paris

10-12 Mai 2023 à Paris

Salon de la géotechnique, du forage et des fondations spéciales : Solscope

14-15 juin 2023 à Lyon Eurexpo

Formation CSTB Radon et Sols Pollués protection des bâtiments

25 Mai ou 30 Novembre 2023 à Paris

AquaConSoil 2023

11-15 Septembre 2023 à Prague, République Tchèque

POLLUTEC

10-13 Octobre 2023 à Lyon Eurexpo

Cliquez pour plus d'info

// SUIVEZ-NOUS



// CONTACTEZ-NOUS

Pour toute proposition de sujet ou demande d'information :

upds@upds.org

// ÉDITO



Ingrid HAMON
Trésorière
de l'UPDS

Chères lectrices, chers lecteurs, chers adhérent(e)s,

L'UPDS a eu l'immense plaisir de vous retrouver nombreux le 11 octobre dernier pour fêter ses trente ans !

A l'âge de la maturité, le moment était venu de revenir sur l'histoire de notre profession et de nous re-questionner : d'où venons-nous, qui sommes-nous et où allons-nous ?

La rétrospective de l'évolution des sites et sols pollués montre bien la richesse du chemin parcouru : 30 ans d'évènements, de chantiers, d'évolutions réglementaires et normatives structurantes, d'évolutions de la technicité et des pratiques, toujours plus complexes.

Au cœur des préoccupations environnementales et climatiques majeures, le sol est un sujet à enjeux à bien des égards (captation du carbone, préservation de la santé humaine, de l'eau, de la biodiversité, de l'environnement).

Resté le parent pauvre de la réglementation tant Européenne que Française, il est remis sous le feu des projecteurs ces dernières années (Commission d'enquête sénatoriale sur les sols de 2020 ayant abouti à une proposition de loi) et est intégré dans les réflexions et textes (Zéro Artificialisation Nette (ZAN), "Plan Biodiversité", Loi Climat et résilience...).

Le projet de directive Européenne sur la santé des sols pour la protection, la gestion durable et la restauration des sols de l'UE, posera un cadre pour une future loi sur les sols en France.

Au quotidien, nous constatons aussi que nos projets requièrent de plus en plus une approche systémique et intégrée, liant gestion des pollutions et maîtrise des risques sanitaires, géotechnique, préservation de la biodiversité, refunctionalisation des sols, économie circulaire.

C'est pourquoi notre futur ne peut s'envisager sans ouverture et échanges avec les professions complémentaires à la nôtre. Dans ce sens, l'UPDS parraine depuis cette année SOLSCOPE et prévoit d'engager des actions avec d'autres syndicats et unions professionnelles.

Pour illustrer tout ceci, cette 13^{ème} édition de l'UPDS Mag est consacrée au sujet "Biodiversité et sites et sols pollués".

Bonne lecture, bonne année 2023 à tous et longue vie à l'UPDS !

// UPDS

L'UPDS A 30 ANS, L'ÂGE DE RAISON ?

L'UPDS, chambre syndicale des professionnels de la dépollution des sites, a été créée en 1992 par sept entreprises qui avaient démarré cette activité quelques temps avant. En 2022, l'UPDS a donc eu 30 ans ! Prendre un peu de recul sur ce qui s'est passé pendant ces trente années et imaginer ce que sera l'avenir de la profession est apparu comme une nécessité pour les adhérents de l'UPDS.



Fin 2021, un groupe de travail s'est constitué. Il a rassemblé dix-huit adhérents d'âges et d'expériences différentes dans le domaine des sites et sols pollués (SSP) à parts égales entre les collègues ingénierie et travaux. Un laboratoire, adhérent associé, a également participé à ces réflexions.

TROIS ATELIERS DE RÉFLEXION

Trois ateliers d'une demi-journée ont eu lieu. La première demi-journée a permis de retracer les 30 années de la profession, les grandes étapes et les grandes évolutions qui ont jalonné son histoire. Ces réflexions ont donné naissance à une frise chronologique qui est accessible sur le site internet de l'UPDS : www.upds.org [Actualités]

Les deux autres ateliers ont eu pour objectif de réfléchir à l'avenir de la profession. D'abord, une réflexion sur les orientations à courts, moyens et longs termes concernant l'évolution du marché des SSP, afin d'imaginer comment la profession doit évoluer pour garantir la gestion des SSP par des experts métiers. Enfin, une réflexion

sur les actions à mener pour mettre en œuvre ces orientations, et pour favoriser la continuité et le développement des marchés des SSP par les acteurs de la profession.

TROIS GRANDES ORIENTATIONS

Trois grandes orientations ont émergé à la suite de ces discussions :

1. Que les adhérents, qui réalisent essentiellement des diagnostics de site et des traitements de sols et d'eaux souterraines, évoluent vers une prise en compte plus globale des questions liées au sol et au sous-sol, afin de devenir la profession "du sol" au sens large.
2. Que cette profession "du sol", porteuse de valeurs essentielles, occupe la place centrale qui lui revient à l'initiative des préoccupations environnementales des projets et soit considérée comme un

interlocuteur incontournable, apporteur de solutions plus que de contraintes.

3. Que cette profession "du sol" soit au cœur de la gestion des nouveaux polluants, dits émergents, dont il est de plus en plus question.

UNE BELLE FÊTE D'ANNIVERSAIRE...

Le 11 octobre 2022, l'UPDS a rassemblé à la Bellevilloise à Paris plus de 220 personnes, adhérents et non adhérents, pour un colloque et une soirée festive. Le colloque a permis d'aborder le sujet des partenariats, qui sont pour nous les gages du succès d'une opération.

En début d'après-midi, une table-ronde a été consacrée aux réflexions sur l'avenir de la profession des sites et sols pollués. Puis, la dernière partie du colloque a été consacrée à la question de la transition



écologique au cœur de la réhabilitation des sites pollués. La journée s'est conclue par une soirée au cours de laquelle les participants ont partagé leurs souvenirs et échangé de manière informelle et détendue.

LES PREMIÈRES ACTIONS À METTRE EN ŒUVRE

La table-ronde organisée lors du colloque des 30 ans de l'UPDS a été l'occasion d'échanger ouvertement avec les personnes présentes sur les orientations ayant émergé lors des groupes de réflexion ainsi que sur les propositions d'actions et moyens à déployer, afin de recueillir leurs réactions, avis et propositions. Quelques premières actions et moyens à mettre en œuvre pour respecter ces orientations ont été identifiés :

- **Se rapprocher**, notamment par le biais de création de partenariats, d'autres chambres syndicales du domaine du sol (géotechnique, génie écologique, paysage, eau...), à l'image du récent parrainage de Solscope par l'UPDS ;
- **S'orienter** vers une gestion environnementale plus globale des projets prenant en compte, en plus de la gestion de la pollution des sols et des eaux souterraines, la lutte contre le réchauffement climatique, la biodiversité, ...
- **Communiquer** sur le fait que le métier de réhabilitation des SSP est un élément clé de la mutation urbaine (sans l'étape de gestion des pollutions, certains projets ne pourraient pas se faire), qu'il n'est pas une contrainte mais qu'il solutionne des problèmes et apporte aux parties prenantes un gain pour des valeurs essentielles (sanitaire, environnementale) ainsi que sur le plan économique ;



- Adapter le métier, ses techniques et les marchés au changement climatique ;
- Demander la publication d'une loi sur les sols incluant notamment le recours obligatoire aux sociétés certifiées pour toute intervention sur les SSP, l'économie circulaire (p.ex, valorisation des TEX, sortie de statut de déchets,...), la prise en compte des polluants émergents ;
- Développer les incitations financières pour favoriser le développement du métier (p.ex, augmentation de la TGAP sur l'enfouissement ainsi que des prix des matériaux nobles...) ;
- Demander que l'Etat consacre plus de moyens financiers pour la recherche et le développement, notamment sur les polluants émergents (élaboration de VTR, développement de méthodes de traitement...).

L'HUMAIN AU CŒUR DE CES ACTIONS...

Tout cela ne sera pas possible sans recrutement de nouveaux profils pour enrichir la réflexion au sein des équipes projets !

Le métier des sites et sols pollués a du sens. Il faut lui redonner la valeur qu'il mérite, être en mesure de présenter toutes les compétences qu'il requiert et le rendre accessible aux jeunes.

Les jeunes doivent également être accompagnés dans leur progression au sein de l'entreprise, pour qu'ils se passionnent pour ce métier et souhaitent y faire une part importante de leur carrière.

Nous devons pour cela recenser les écoles capables de fournir les profils adaptés puis aller y présenter notre métier.

EN CONCLUSION...

Pour valoriser ces réflexions, les prochaines années devront permettre à la profession des SSP de s'ouvrir à des métiers connexes pour motiver les jeunes générations.

Il faudra aussi qu'elle se regroupe pour être plus forte, pour progresser et transmettre le savoir-faire et la passion qui animent de nombreux acteurs du domaine...

Un beau programme en perspective... Joyeux anniversaire et bon vent à l'UPDS !



Christel de LA HOUQUE

Déléguée Générale de l'UPDS

// DOSSIER : BIODIVERSITÉ ET SITES POLLUÉS

ETUDES POUR LA RECONVERSION DE FRICHES URBAINES VIA DES TECHNIQUES INNOVANTES DE PHYTOMANAGEMENT

VILLE RENOUVELÉE // APPEL A PROJETS ADEME

La ZAC de l'Union : une réflexion intégrée liant la réhabilitation d'une friche par les techniques de gestion des pollutions "usuelles" aux phytotechnologies pour un aménagement visant l'équilibre entre densité urbaine et espaces de respiration en favorisant les cycles naturels (sols vivants, biodiversité).

Dans un objectif de reconquête d'espaces vacants du fait de la désindustrialisation, la Métropole Européenne de Lille (MEL) conduit un projet d'aménagement sur la Zone d'Aménagement Concerté de l'Union à la jonction des trois villes de Roubaix, Tourcoing et Wattrelos, sur une surface de 80 ha.

L'aménagement de cette zone a été confié à Ville Renouvelée (SEM VR). Les avancées d'aménagement ont valu l'obtention du Grand prix national Ecoquartier en 2011, confirmé en 2013 par le diplôme «Ecoquartier engagé dans la labellisation».

Dans ce cadre, la SEM VR projette de reconverter deux friches nommées "Aréna" et "Triangle Mercure", situées entre voies ferrées, immeubles d'habitation, parcs aménagés et bureaux, pour des usages temporaires ou pérennes, via des travaux de reconversion répondant à des enjeux écologiques et sociétaux.

La démarche repose sur une approche de gestion intégrée qui fait appel, outre à la réhabilitation et techniques de dépollution "usuelles" des zones sources et concentrées, à un ensemble de techniques utilisant les végétaux ("phytotechnologies") pour gérer et maîtriser la pollution résiduelle et redonner de la valeur au site dans un souci de fonctionnalité des sols.



L'objectif est ainsi de vérifier si les terres peuvent être végétalisées, avec ou sans amélioration de leurs propriétés agronomiques, d'évaluer le potentiel de recouvrement des sols par les végétaux, d'estimer la mise en sécurité des sites contre l'envol de poussières et maîtriser, voire dégrader les pollutions.

A ce titre, le projet est un des lauréats de l'appel à projets "fond friches" porté par l'ADEME dans le cadre du Plan de relance (Edition 2021).

Portées par GINGER BURGEAP, accompagné de MICROHUMUS, SOL&CO et M. Lemoine, référent biodiversité de l'EPF Hauts-de-France, les études de faisabilité ont reposé sur une approche pluridisciplinaire regroupant gestion des pollutions, compatibilité sanitaire, agro pédologie, biodiversité et tests en laboratoire (biodisponibilité de certains métaux, recherche de ces métaux dans les végétaux présents).

UNE APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE POUR DÉFINIR LA QUALITÉ DES MILIEUX (SOLS, VÉGÉTAUX)

Les études menées sur l'ensemble de la ZAC ont montré que la source principale en COHV (dans la zone saturée et non saturée) est présente en dehors des zones "Aréna" et "Triangle Mercure".

Sur la zone "Mercure", les investigations ont mis en évidence la présence de remblais de chemin de fer de mauvaise qualité principalement impactés en métaux.

Sur la zone "Aréna", les analyses effectuées ont confirmé la présence de traces, dans les sols et dans une moindre mesure dans les eaux souterraines, de composés organiques (COHV) et métalliques (notamment en plomb avec un dépassement ponctuel du seuil d'alerte du Haut Conseil Santé Publique (HCSP) mais restant toutefois très peu mobiles).

Les investigations ont également visé la caractérisation agronomique et environnementale des sols :

- Les transferts de polluants dans les végétaux ont été caractérisés et un diagnostic faune et flore réalisé sur site afin d'identifier d'éventuelles espèces protégées.

- En parallèle, des tests de germination avec des mélanges de graines de poacées (ray grass...) et de fabacées (trèfle blanc...) ont été menés pour évaluer la phytotoxicité des sols.

Sur la zone "Mercure", il apparaît une faible biomasse microbienne sur les remblais de mauvaise qualité. La présence d'un bois, constitué de frênes et érables ayant résisté à divers épisodes de tempêtes, témoigne toutefois d'une certaine stabilité.

Sur la zone "Aréna", une végétation dite rudérale présente sur les bords des champs et sur les décombres ainsi qu'une faible diversité de la macrofaune de surface indiquent une friche relativement altérée et tassée.

La présence de plantes thermophiles a également été relevée. Le plomb analysé dans les végétaux, systématiquement inférieur à la limite de quantification du laboratoire, n'est pas corrélé aux mesures de disponibilité du plomb.

Ces études ont montré la faisabilité technique d'une gestion des métaux par

"phytostabilisation" et des solvants chlorés par "rhizodégradation", sous réserve d'une refunctionalisation nécessaire des terres via l'apport d'un amendement organique et d'engrais.

Les végétaux analysés pour les deux zones répondent à la norme NF U44-051 et à l'arrêté du 03/08/2018, et pourraient être utilisés en amendement organique de type "déchets verts" et/ou envoyés en centrale biomasse

ELABORATION D'UNE STRATÉGIE DE GESTION AJUSTÉE AUX ENJEUX AVEC LA MAÎTRISE D'OUVRAGE

L'aménagement envisagé à court/moyen terme au moment des études sur les zones "triangle Mercure" et "Aréna" est une voie verte pour connexion avec le canal situé au sud (figure ci-dessous).

A l'issue du plan de gestion de la ZAC, le scénario présentant le plus grand intérêt environnemental et écologique (conservation de certains espaces, techniques in situ, bilan carbone plus bas) et une optimisation financière attendue a été retenu par le maître d'ouvrage.

Les opérations de dépollution (excavation des sols, traitement sur site par désorption, réduction chimique et biologique) sont ainsi réservées aux zones sources et concentrées de la ZAC de l'Union, sur lesquelles des projets sont prévus ou sur lesquelles des

risques de transfert de pollution à l'extérieur du site sont identifiés.

Sur les zones "triangle Mercure" et "Aréna", le confinement avec gestion par phytostabilisation et rhizodégradation dont la faisabilité a été montrée est privilégié.

STRATÉGIE DE PHYTOMANAGEMENT MISE EN ŒUVRE

Le scénario sélectionné vise le confinement et la stabilisation des polluants présents dans les sols en partie nord de la zone "Aréna" et l'isolement de la zone par la plantation serrée de peupliers et ensemencement. Les terres décapées en partie sud, permettant un apport sur la zone de phytomanagement de la zone "Aréna", seront criblées et amendées de compost puis réensemencées afin de permettre leur refunctionalisation.

Concernant la zone "triangle Mercure", les terres impactées en métaux seront décapées, criblées et amendées puis déplacées afin de constituer une plateforme de phytomanagement qui sera ensuite recouverte de géotextile et d'un apport du reste des déblais non impactés amendés. Le bois en partie sud sera nettoyé des déchets présents en surface.

PHYTOSTABILISATION/MÉTAUX

La phytostabilisation est une technique se basant sur la capacité des plantes à séquestrer les polluants dans leurs racines et/ou à proximité, grâce à la production d'exsudats racinaires.



Possibilités ultérieures de scénarii d'aménagement des voies vertes/cyclables au niveau des zones



Prélèvement de végétaux au sécateur sur la zone "Aréna" (source MICROHUMUS) - Photographie d'avril 2022 de la zone boisée "Mercure"

Ces derniers modifient chimiquement l'environnement proche des racines, le rendant propice à l'immobilisation des polluants.

Des espèces végétales locales ont été recherchées, de préférence vivaces, persistantes ou semi-persistantes, couvresol et aux racines profondes.

Pour la zone "Aréna", ce sont des poacées et fabacées, éventuellement associées à des espèces ligneuses régionales qui ont été retenues.

Pour la zone "Mercure", il a été décidé de laisser la végétation en place dans la zone de bois, de reboiser les clairières et de diversifier les boisements (hêtres, chênes, merisiers, tilleuls, sorbiers, ...) avec des espèces régionales labélisées "végétal local".

RHIZODÉGRADATION/COMPOSÉS CHLORÉS EN ZONE SATURÉE

Les espèces végétales étudiées pour la phytodégradation sont le peuplier, le bouleau, le chêne et le frêne (Strycharz, S., et L. Newman. 2009 ; Weyens et al. 2009).

Le peuplier est l'espèce végétale la plus étudiée pour la phytodégradation des COHV et notamment du tétrachloroéthylène (PCE) et du trichloroéthylène (TCE) du fait de sa croissance rapide (jusqu'à 3 mètres par année) et de son fort taux d'évapotranspiration (100 à 200 L d'eau par jour).

Il peut donc permettre de réduire les teneurs en COHV dans la zone saturée du sol et les eaux souterraines.

Cette solution, visant la plantation serrée de

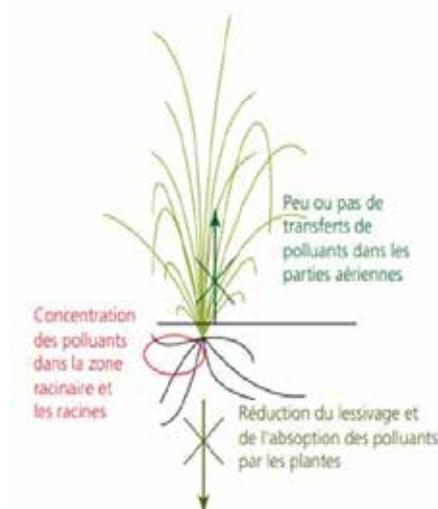


Schéma de la technique de phytostabilisation (source ADEME)

peupliers avec le maintien de ces derniers, est ainsi envisagée pour la zone "Aréna", où seules des voies de circulation sont prévues. Ces plantations seraient maintenues.

LE SUIVI

Afin de contrôler l'absence de risque sanitaire pour l'usage fixé par le maître d'ouvrage, ces mesures seront assorties d'un programme de suivi des milieux (dont le bois et le système foliaire des peupliers).

La surveillance portera principalement sur les composés volatils de la zone "Aréna" ainsi que sur le maintien de la partie boisée et des usages.

EN CONCLUSION

La gestion des pollutions de la ZAC de l'Union s'inscrit dans un projet ambitionnant l'innovation et la durabilité.

Déployer les phytotechnologies, re-fonctionnaliser les sols et favoriser la biodiversité tout en assurant l'absence de risques sanitaires, exige donc anticipation, pluridisciplinarité et co-conception pour fixer les usages avec le maître d'ouvrage.

Sur les zones "Mercure" et "Aréna", la faisabilité a été démontrée pour l'usage initialement prévu de voie verte.

La conception du projet évoluant en parallèle, les études de faisabilité vont se poursuivre pour y intégrer un usage d'équipement métropolitain.

Vincent HUBER (Ginger Burgeap)

// DOSSIER : BIODIVERSITÉ ET SITES POLLUÉS

QUAND LES ESPÈCES EXOTIQUES ENVAHISSANTES S'INVITENT DANS LES PLANS DE GESTION DE LA MÉTHODOLOGIE DE GESTION DES SITES ET SOLS POLLUÉS

La prise en compte des notions de biodiversité dans les plans de gestion permet une approche globale et intégrée s'inscrivant dans le changement de paradigme actuel qui prévaut pour l'aménagement des territoires et la réutilisation des friches industrielles, en assurant une trajectoire écologique plus pertinente et adaptée aux sites étudiés. C'est ce qu'a pu expérimenter Ekos Ingénierie, avec son client, sur un site contaminé par des métaux lourds, grâce à une reconnaissance en amont de la présence d'une espèce végétale exotique envahissante (ou EVEE). Cette composante a ainsi pu être intégrée dans le schéma conceptuel, dans le bilan coûts-avantages et, finalement, dans la solution de gestion proposée pour le traitement de l'ensemble des problématiques du site.

La zone d'étude correspond à un terrain en friche végétalisé. Le site a exploité pendant près de 30 ans plusieurs procédés industriels lourds.

Dans les années 2000, ces activités ont été arrêtées et les installations démolies. Les investigations menées à l'époque ont permis d'identifier puis de traiter des impacts des sols en métaux lourds sur certaines parties du site.

De nouvelles investigations ont été menées plus récemment à la demande du client afin de documenter l'état environnemental de l'ensemble du site. Ces dernières investigations ont mis en évidence l'existence d'une zone bâtie présentant un impact significatif en métaux lourds et métalloïdes, vraisemblablement en relation avec le dépôt historique de résidus de fonderie (scories issues de la métallurgie des métaux non-ferreux).

Des investigations complémentaires ont alors été réalisées par Ekos Ingénierie afin de confirmer les niveaux d'impact observés et de les délimiter.

Ces investigations environnementales ont également permis de constater la présence d'une plante invasive pouvant induire des coûts de traitement supplémentaires et nécessitant une prise en charge spécifique dans le cadre de la remise en état du site et des travaux envisagés : la Renouée du Japon (cf. Illustration 1).

LA RENOUÉE DU JAPON: NE PAS SE LAISSER ENVAHIR

La Renouée du Japon est une plante vivace herbacée rhizomateuse.

En fin de période végétative, les tiges peuvent atteindre jusqu'à 2 mètres de haut. La floraison a lieu à la fin de la période estivale. Ces végétaux se présentent sous forme de massifs de taille et de densité variables.

Sa forme en fourré dense et sa production de longs rhizomes engendrent une grande quantité de biomasse lors de sa gestion.



Illustration 1 - Renouée du Japon sur site

Les Renouées se propagent par la dissémination de graines ou de fragments de tiges ou de rhizomes (Cf. Illustration 2).

Un seul fragment d'un à deux centimètres peut permettre la génération d'une nouvelle plantule^[1] rendant le traitement de cette espèce invasive très délicat.

Outre ses capacités de régénération et de reproduction impressionnantes, cette plante prolifère d'autant plus qu'elle trouve dans les milieux remaniés par les activités humaines des conditions de milieu très favorables et ce, au détriment des autres espèces.

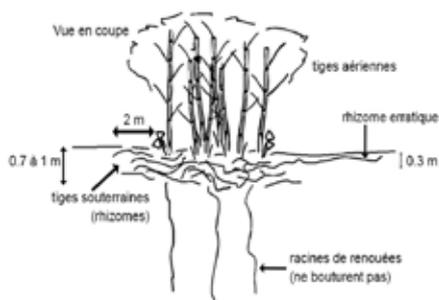


Illustration 2 - Schéma de principe en coupe des renouées asiatiques [3]

A cause de ses impacts sur la biodiversité, l'économie et la société, la Renouée du Japon est considérée comme l'une des 100 pires espèces envahissantes au monde par le Global Invasive Species Database^a.

TRAITEMENT ET GESTION DES TERRES INFESTÉES

Les parties vivaces des renouées étant dans le sol, la purge des terres infestées est l'opération la plus radicale pour éliminer complètement ces plantes.

Cela nécessite ensuite de gérer rigoureusement ces terres pour ne pas provoquer la colonisation d'un autre site. L'enfouissement des terres infestées ou leur mise en centres de stockage (ISDND) ne constituent pas des solutions durables, car d'une part, cela augmente le risque de contamination d'un autre site et, d'autre part, cela conduit à renoncer à les valoriser.

Afin de diminuer le transport nécessaire (risque de contamination, bilan carbone ...) mais aussi dans une logique d'économie circulaire (réutilisation des terres sur site) la solution préconisée pour le site d'étude a donc été le **traitement immédiat des terres infestées par criblage/concassage** développée par Moiroud C.[2].

Ainsi ces volumes de terres peuvent être avantageusement réutilisés en remblaiement des excavations issues du traitement des zones polluées du site.

SOURCES ET RÉFÉRENCES

^a<http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Polygonum+cuspidatum>

^bRemédiation : une activité de gestion qui vise à supprimer les sources de dégradation [4]

^cRéhabilitation : Les actions de gestion qui visent à rétablir un niveau de fonctionnement des écosystèmes sur des sites dégradés, où l'objectif est la fourniture renouvelée et continue de services écosystémiques [4]

^dRestauration : processus d'inversion de la dégradation des écosystèmes, afin de retrouver leur fonctionnalité écologique et d'améliorer leur productivité et leur capacité à répondre aux besoins de la société.[4]

#	Date	Auteur	Titre
[1]	2014	Direction générale de la nature et du paysage	Classeur 7 de la Charte des jardins du Canton de Genève : Les plantes exotiques envahissantes
[2]	2019	Moiroud C., Brasier W., et Boyer M.	Traitement mécanique de volumes importants de terres infestées par des rhizomes de renouée du Japon : technique par criblage-concassage". Sciences Eaux & Territoires Numéro 27 (1): 68. https://doi.org/10.3917/set.027.0068
[3]	2020	CEREMA	La problématique des renouées asiatiques sur un chantier routier. Analyse bibliographique des techniques de gestion et recommandations pour la gestion d'importants volumes de terres infestées
[4]	2022	Learning for Nature	Introduction à la restauration des écosystèmes. Leçon 1

SOLS CONTAMINÉS PAR DES MÉTAUX ET SOLS INFESTÉS PAR DES RENOUÉES : UNE COMPLÉMENTARITÉ DE TRAITEMENT DANS LE PLAN DE GESTION

Dans son plan de gestion, Ekos Ingénierie, a décidé de proposer une approche complémentaire de traitement de ces terres et a préconisé à son client le scénario suivant :

- Un fauchage des parties aériennes des bosquets de Renouées et une valorisation des déchets verts engendrés en centre agréé (intervention avant la fructification) ;
- Une excavation des sources concentrées en métaux lourds sur le premier mètre de sol au droit de la zone (intégrant la quasi-totalité des problématiques sols mises en évidence lors des investigations) – Orientation des terres en ISDD ;
- Une sur-excavation de toutes les mailles ayant montré des indices de prolifération de Renouée ;
- Le concassage et le criblage à 10 mm de ces terres excavées pour élimination des rhizomes ;

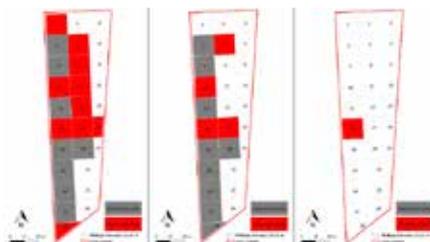


Illustration 3 - Exemple de la schématisation des complémentarités de gestion à différentes profondeurs

- Le remblaiement "sur place" des secteurs précédemment excavés à l'aide des terres purgées des espèces invasives ;

- Le régalage de la zone à l'aide des volumes de remblais excédentaires non impactés présents sur site ;

- Une couverture du sol avec une géomembrane pour limiter le développement des éventuels fragments de rhizomes laissés en place au niveau des anciennes surfaces infestées du site et la mise en place d'une concurrence végétale au niveau des anciens sites infestés (plantation d'espèces locales adaptées au site).

Ces étapes doivent être accompagnées d'une gestion de chantier rigoureuse et adaptée afin d'éviter toute dissémination sur site et vers des zones vierges : zones de circulation en dehors des foyers d'EVEE ; zone de stockage spécifique au dépôt d'EVEE et nettoyage des roues, sur une surface imperméable, loin des cours d'eau (avec récupération des eaux) ; nettoyage des engins avant et après chantier (éviter le transport accidentel de fragments de tiges, de rhizomes ou de graines vers d'autres sites) ; sensibilisation des opérateurs sur site ; établissement et respect de règles de circulation strictes sur le chantier.

Cette approche intégrative de l'ensemble des problématiques environnementale du site a permis une **synergie dans les traitements envisagés**. Elle a l'avantage d'anticiper la gestion des problématiques EVEE post-travaux, en évitant des étapes d'intervention décalées dans le temps induisant un coût significativement plus élevé et en diminuant le risque de propagation de la Renouée sur site et hors site (cf. Illustration 3).

En intégrant l'ensemble des enjeux environnementaux très en amont et en proposant **des solutions de gestion et de renaturation bien plus satisfaisantes d'un point de vue écologique et écosystémique** sur nos projets nous pourrions ainsi passer de la **remédiation^b** à la **réhabilitation^c** des milieux voire à la **restauration^d** de certaines fonctions écologiques et d'une dynamique évolutive sur site. La complémentarité sites et sols pollués/génie écologique, prônée par Ekos Ingénierie, prend alors ici tout son sens.

Ariane ANCEL (Ekos Ingénierie)
Amandine PENEY (Ekos Ingénierie)
Audrey THINES (Ekos Ingénierie)
Olivier CORRÈGE (Ekos Ingénierie)

// DOSSIER : BIODIVERSITÉ ET SITES POLLUÉS

RECONVERSION DES FRICHES : COMMENT CONCILIER RÉHABILITATION, ENJEUX DE PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ ET RENATURATION? L'EXEMPLE DE LA ZAC BONGRAINE

La reconversion en écoquartier de l'ancienne friche ferroviaire de Bongraine à Aytré (17), sous maîtrise d'ouvrage de la Communauté d'Agglomération de La Rochelle (CDA), nécessite une réhabilitation préalable dont les travaux sont conditionnés, dans leur conception et leur phasage, au respect des cycles biologiques complexes d'espèces protégées telles que l'Azuré du Serpolet (papillon) et l'Odontite de Jaubert (plante). Conséquence indirecte, les sols mis à nu vont voir leur fertilité s'appauvrir, orientant l'opération vers la mise en œuvre de solutions de refunctionalisation des sols.

LA RECONQUÊTE D'UNE ZONE ARTIFICIALISÉE

Site de 35 ha à fort potentiel de mutation en raison de sa localisation à proximité du centre-ville de la Rochelle, du pôle universitaire et des zones d'emploi, la friche Bongraine est empreinte des traces de son exploitation industrielle passée jusque dans les années 70 (maintenance et réparation des trains, plate-forme de stockage de machines, cuves et réseaux chargés en hydrocarbures, stockages de résidus de combustion des locomotives, ...). Outre la présence de vestiges industriels et leurs cortèges de sols et eaux polluées aux hydrocarbures (déjà traités ou traités sous peu), les sols de surface sont recouverts sur plus de 15 ha de remblais de mâchefers (résidus de la combustion du charbon) en épaisseurs très hétérogènes (de 5 cm à plus d'1 m).

La pollution métallique contenue dans les mâchefers a été identifiée comme peu mobile mais bioaccessible. Après bilan coût-avantage, une solution de valorisation paysagère des 50 000 m³ de remblais de



Papillon Azuré du Serpolet

mâchefers par confinement sur site est retenue dès 2015, au détriment d'une solution d'évacuation hors site en filière, 3 fois plus onéreuse et émettrice de CO₂. Entre 2016 et 2020, de multiples diagnostics et essais physico-chimiques et géotechniques viennent confirmer et préciser la solution technique (confinement) retenue et un

Plan de Gestion (2019) suivi d'un Plan de Conception de Travaux (2020) sont établis par EODD, bureau conseil de la CDA depuis 2016. Un travail étroit associant la CDA, EODD et l'aménageur Aquitanis a permis une conception intégrée des modalités de confinement des remblais de mâchefers au projet d'écoquartier, entre autres vis-

à-vis de la gestion des eaux pluviales, des zones de promenades, des perspectives et du nivellement global, ... mais aussi de la biodiversité.

QUAND LA BIODIVERSITÉ OBLIGE !

Du fait de l'état de friche depuis la fin des années 1970, la biodiversité a repris ses droits sur le site ; l'analyse environnementale réalisée dans le cadre de l'étude d'impact lancée en 2015 identifie ainsi une espèce patrimoniale protégée, l'Azuré du Serpolet. Disparu de la région depuis de nombreuses années, ce papillon possède un habitat associé à un développement important de sa plante-hôte, l'origan, identifié sur différentes zones du site. La chenille du papillon se développe initialement sur l'origan, puis a besoin pour achever son cycle de développement d'être prise en charge par certaines espèces de fourmis qui la transportent dans leur fourmilière.

L'arrêté d'autorisation environnementale émis le 4 novembre 2020 intègre en conséquence des mesures d'évitement (sanctuarisation d'une zone de 6 000 m², non polluée), une expérimentation de déplacement de l'habitat et la prise en compte d'un calendrier de travaux adapté aux cycles biologiques de l'espèce. Ces prescriptions sont alors traduites de manière opérationnelle par EODD au sein du marché de travaux de réhabilitation lancé en 2020.

Alors que le chantier démarre tout juste, l'Odontite de Jaubert, plante protégée, est découverte et amène à interrompre les travaux dans l'attente du nouvel arrêté complémentaire. A nouvelle espèce, nouvelles prescriptions ! Le projet de réhabilitation doit évoluer afin de tenir compte du nouvel arrêté préfectoral de mars 2021 :

- Les mesures de compensation sont complétées par un décapage sur 10 à 20 cm des 55 000 m² de sols comprenant les graines d'Odontite puis leur régalage sur site (environ 4 ha, dont confinement) et hors site (13 ha). Ces terrassements sélectifs, sur des zones polluées ou non, réduisent alors les cadences et modifient le design des confinements.

- Le calendrier de travaux est là encore adapté aux cycles biologiques de l'espèce : travaux de défrichage de septembre à novembre, opérations de déplacement de l'habitat du papillon entre décembre et février, travaux de décapage et régalage des terres à Odontites entre



Horizon de mâchefers surmontant le terrain naturel



Expérimentation de déplacement de l'habitat de l'Azuré du Serpolet



Décapage des mâchefers (premier plan) et andains de terres à Odontites (second plan)

septembre et mars. Une première phase de travaux a été réalisée entre novembre 2021 et juin 2022, une seconde a été déclenchée en septembre 2022, la fin du chantier étant prévue pour début 2023.

Outre la souplesse et l'agilité requises des intervenants pour s'adapter à la découverte de nouvelles espèces, le succès de ce genre d'opération réside dans la capacité des parties prenantes à :

- mobiliser les expertises ad-hoc aux bons moments : la CDA a ainsi fait intervenir son chargé de mission écologue, EODD ses spécialistes Biodiversité et Aquitanis son maître d'œuvre OLM paysagiste-urbaniste ;
- adapter les marchés de travaux (compétence en génie écologique intégrée dans le groupement d'entreprises) ;



Odontite de Jaubert

- faire converger les intentions, quand bien même les calendriers se croisent (les zones de compensation et d'évitement seront livrées alors même que la conception globale de l'écoquartier n'est pas stabilisée).

RECONSTITUER DES SOLS FERTILES ET VIVANTS

Le projet d'Ecoquartier porte de nombreuses ambitions environnementales et sociales et notamment la volonté de créer un quartier agréable à vivre et animé. A ce titre, il est nécessaire de développer un projet paysager et écologique riche et diversifié favorisant une diversité des usages et une grande biodiversité. Mais les différents travaux décrits préalablement ont impacté le capital « Sol » du site avec la quasi mise à nu de la roche mère. En effet, une partie des sols a été évacuée en raison des déplacements de mâchefers mais également lors des opérations de déplacement des espèces protégées (Odontite et habitat de l'Azuré). Les horizons superficiels étant déjà faiblement épais sur site, le volume résiduel de "terres fertiles" sur site est insuffisant pour créer le projet paysager et écologique souhaité.

Cette situation nécessiterait, dans le cadre de pratiques habituelles, un apport extérieur très important de terres végétales. Fort heureusement, les acteurs se sont tournés vers la recherche de solutions alternatives pour réduire l'empreinte écologique du projet dans une ambition d'économie circulaire et de préservation des sols agricoles et naturels. Ainsi, Aquitanis a demandé à EODD et Fleur de sol de travailler sur un projet de reconstitution de sols fertiles.

Pour cela, différentes études et axes de réflexion sont engagés. La première mission consiste à établir un diagnostic précis de la qualité agronomique des sols en place en caractérisant sur le plan agronomique et environnemental le système "Sol-Eau-Végétal-Climat" du site. Suite à ce diagnostic, il est procédé à un bilan quantitatif des matériaux fertiles en comparant les terres en place et les besoins en sol du projet paysager.

Afin de combler le différentiel en matériaux fertiles, un diagnostic des ressources disponibles sur le territoire est mené pour identifier les matériaux (compost, déchets verts, argiles, ...) qui peuvent être utilisés dans la reconstitution de sols ainsi que les terres végétales disponibles à partir de chantiers à proximité.

Une fois l'adéquation réalisée entre les besoins et les ressources disponibles, il sera proposé différents itinéraires techniques des sols ou, dit autrement, la méthodologie de mise en œuvre d'amélioration du sol (génie agronomique), en réalisant différentes opérations qui varient selon les caractéristiques des matériaux mis en œuvre, les caractéristiques du projet d'aménagement (par exemple contraintes et opportunités du chantier), la saison/le climat (précipitations et humidité des sols), ...

Les prescriptions portent ainsi sur les opérations de terrassement/extraction, de mise en stock provisoire, de formulations d'un mélange adapté au bioclimat pour les apports de matière organique et/ou de matières minérales ainsi que de mise en place des plantations sur site. En parallèle, le projet paysager évolue de facto pour s'adapter aux ressources des sols disponibles.

Evidemment, la mise en œuvre opérationnelle est questionnée avec le calcul des flux de matières en fonction du phasage du projet, l'analyse du contexte juridique et réglementaire et le prédimensionnement des installations de pré-traitement et de traitement des terres.

La mise en place de cette démarche doit ainsi réduire les apports de terres végétales, s'inscrire pleinement dans le cadre de l'économie circulaire tout en permettant de réaliser un projet paysager ambitieux.

Damien MOREAU (CDA)
Gaëtan URVOY (EODD ingénieurs conseils)
Sonia SAFARI (EODD ingénieurs conseils)
Jean François NAU (EODD ingénieurs conseils)

// DOSSIER : BIODIVERSITÉ ET SITES POLLUÉS

RÉPONDRE AUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX DU TERRITOIRE GRÂCE AUX BIOINDICATEURS.

LES FRICHES, UN VIVIER DE FONCIER À FORT POTENTIEL ENVIRONNEMENTAL !

Pour répondre aux besoins d'une gestion intégrée et durable des territoires, l'intégration de projets de renaturation, de promotion de la biodiversité et de production d'énergie renouvelable dans la stratégie de développement territorial est aujourd'hui une nécessité. Cependant, les fonciers disponibles pour le développement de ce type de projets sont rares dans les zones tendues alors que ce sont précisément ces espaces qui nécessiteraient le plus la création de poumons de verdure.

Depuis quelques années, le regard des politiques publiques se porte sur les friches. Avant perçues comme des points noirs dus au spectre des pollutions engendrées par leurs activités passées, elles offrent aujourd'hui une ressource foncière pour répondre aux enjeux sociétaux et environnementaux de la planification urbaine.

Ces espaces, souvent en cœur de ville, sont une réelle opportunité pour les territoires et font de plus en plus l'objet de réhabilitations à destination de nouveaux usages comme l'agriculture urbaine permettant des circuits courts de production et la création de lien social ou la production d'énergie renouvelable (photovoltaïque, biocarburant...).

Dans ces projets à forte valeur environnementale, la bonne caractérisation et la gestion optimisée des contaminations et pollutions des sites est un des piliers majeurs de leur succès.

Ainsi, il existe un besoin d'outil pour caractériser la mobilité des contaminants et les risques qu'ils représentent pour l'Homme mais également pour les écosystèmes (faune, flore...).

Depuis de nombreuses années, ces outils existent mais sont encore méconnus de la profession : les bioindicateurs de la qualité des sols.

L'utilisation de bioindicateurs¹, qu'elle soit faite in situ ou en laboratoire, va venir en complément de la caractérisation des contaminants présents dans les sols.

En fonction des bioindicateurs utilisés (bioindicateurs d'effet ou d'accumulation), les informations vont permettre au maître d'ouvrage de statuer sur le risque environnemental des contaminants présents sur son site en parallèle de la caractérisation des risques sanitaires via l'EQRS.

Dernièrement, dans le cadre d'un projet de recherche mené par l'INERIS², un indice de préoccupation (IdP) sur la base de valeurs écotoxicologiques de référence a été développé.

Cet indice de préoccupation se veut être un outil d'aide à la décision, permettant de déterminer facilement quelles sont les friches ne présentant pas un état préoccupant et pouvant bénéficier d'une

requalification vers un usage écologique (intégrée dans une trame verte, bénéficiant d'un usage promenade, etc...) et quelles sont les friches qui présentent un état préoccupant pour lesquelles il n'est pas permis de se prononcer sans dérouler la démarche complète d'une évaluation des risques pour les écosystèmes (démarche TRIADE).

Un projet de recherche entre Tesora et Chrono-Environnement soutenu par l'ADEME

Tesora et le laboratoire Chrono-environnement ont mené une évaluation des risques pour les écosystèmes des contaminants métalliques sur 16 sols provenant de friches localisées principalement en Rhône-Alpes et en Lorraine avec des degrés variés de contaminations métalliques et organiques³.

Dans le cadre de l'évaluation des risques pour les écosystèmes (ERE), une mesure de la biodisponibilité des contaminants métalliques a été réalisée à l'aide de l'outil "indice SET-escargot"⁴.

¹Organisme, famille ou communauté (végétal ou animal) qui fait l'objet de mesures permettant d'indiquer la présence et/ou les effets des contaminants

²INERIS. 2022. Identification des friches polluées éligibles à une reconversion écologique : élaboration d'un indice de préoccupation, 89p.

³Pour les besoins de cette synthèse, seules les contaminations métalliques ont été considérées (après vérification qu'aucun risque n'était lié à la présence des contaminants organiques).

⁴Indice SET-escargot : bioindicateur d'accumulation destiné à quantifier les transferts réels entre le sol et les organismes du sol et donc la biodisponibilité des polluants. <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/fiches-techniques-innovantes/biodisponibilite-environnementale>



L'indice SET quantifie les excès de transfert de polluants métalliques vers les tissus des escargots par rapport à un sol non pollué.

Le couplage de l'indice de préoccupation et de la prise en compte de la biodisponibilité des contaminants devrait, dans certains cas, mettre en évidence que des mesures de gestion alternatives (ex : phytomanagement, sanctuarisation...) sont envisageables évitant de recouvrir des sols contaminés par des sols sains.

Ces outils visent à démontrer qu'il est parfois possible de conserver la valeur écologique d'un site dont les sols sont contaminés.

CARACTÉRISATION DES RISQUES POUR LES ÉCOSYSTÈMES

Lors d'une évaluation des risques pour les écosystèmes (ERE), le calcul de l'indice de préoccupation (IdP) peut être complété par des études mettant en œuvre des bioindicateurs d'effets (Oméga3 et/ou nématodes) et/ou d'accumulation (indice SET et/ou PhytoMet).

Dans cette étude, le choix du bioindicateur s'est porté sur la mesure de l'indice SET-escargot. Ainsi le couplage de l'IdP et de l'indice SET permet d'orienter les mesures de gestion et les suites à donner selon le logigramme ci dessous (Figure 1)

Cette méthodologie a été appliquée sur les 16 parcelles étudiées pour caractériser les risques pour les écosystèmes.

L'Indice de préoccupation permet de mettre en évidence que 4 sites sont dans un état préoccupant et que 3 parcelles ne présentent aucun risque pour les écosystèmes.

Pour les 9 autres parcelles, une étude plus approfondie doit être menée (étude complémentaire de type TRIADE).

La mesure de la biodisponibilité via l'indice SET-escargot permet, quant à elle, de montrer que, bien que les sols soient contaminés, la faible biodisponibilité des contaminants métalliques permet de conclure à une absence de risques pour 11 parcelles. Seule une parcelle présente un risque avéré.

Le couplage de l'IdP et de l'indice SET permet alors de statuer sur les risques environnementaux des parcelles et des démarches à entreprendre pour la gestion des pollutions.

Ainsi, parmi les 16 parcelles étudiées :

- seule la parcelle 3 présente un risque avéré pour les écosystèmes avec des degrés de contamination élevés. Sur cette parcelle, des opérations de dépollution devront alors être mises en place afin de gérer les risques pour les écosystèmes.
- sur les parcelles 12, 13 et 15, l'absence de risques environnementaux est caractérisée par l'IdP et confirmée par l'indice SET. Aucune étude complémentaire ne sera à mettre en œuvre sur ces 3 parcelles.
- pour les 9 parcelles sur lesquelles l'IdP avait conclu à une incertitude, la caractérisation d'une faible biodisponibilité des contaminants métalliques via l'indice SET permet de conclure à une absence de risques pour les écosystèmes pour 8 d'entre elles.

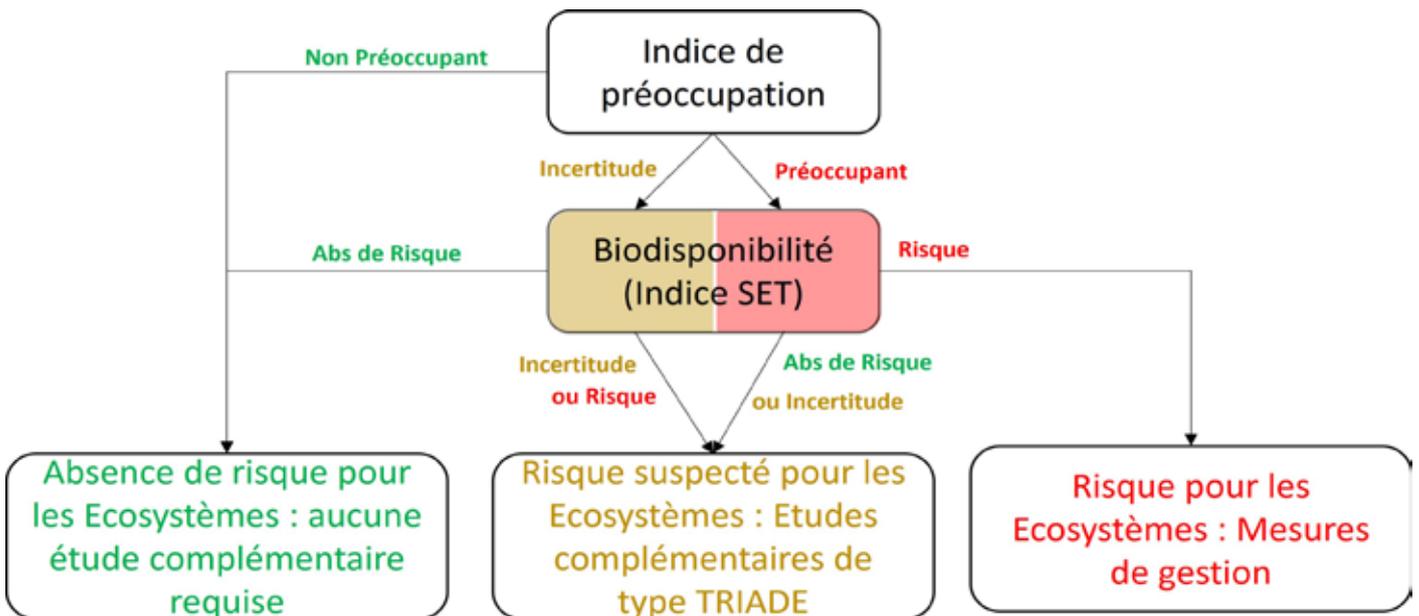


Figure 1 : Logigramme pour statuer sur les risques environnementaux

- pour la parcelle 4 ainsi que pour les parcelles 1,2 et 8 sur lesquelles l'IdP avait conclu à un état préoccupant, l'incertitude mise en évidence via l'indice SET aboutit à la nécessité de réaliser une étude complémentaire TRIADE pour ces 4 parcelles.

Ainsi, cette méthodologie permet d'établir que :

- 1 parcelle présente un risque pour les écosystèmes et des mesures de gestions doivent être mises en place ;
- 11 parcelles ne présentent pas de risques pour les écosystèmes ;
- 4 parcelles nécessitent des études environnementales plus poussées de type TRIADE pour pouvoir statuer définitivement sur le risque environnemental.

L'absence de risque pour les écosystèmes identifiée sur 11 parcelles conclut à la faisabilité de la mise en place de projet de renaturation/trame verte/zone naturelle avec une compatibilité de la pollution en place avec l'usage.

Alors même que ces parcelles présentent toutes au moins 1 élément métallique dépassant les gammes de valeurs ordinaires dans les sols français (ASPITET), la caractérisation du risque pour les écosystèmes montre que les contaminants présents dans les sols ne sont pas ou peu biodisponibles et que ce risque est faible et maîtrisé.

Dans les cas où les évaluations des risques pour les écosystèmes conduisent à la mise en place d'études complémentaires de type TRIADE, les coûts d'études et de gestion potentiels ont été estimés indépendamment des résultats de la caractérisation du risque : soit la TRIADE conclut à une absence de risques et le site peut avoir un usage de renaturation, soit un risque pour les écosystèmes est identifié et la parcelle sera dépolluée par évacuation des sols contaminés (TRIADE puis Gestion).

Il apparaît que sur les 4 parcelles présentant une incertitude concernant le risque environnemental, les coûts d'études complémentaires (TRIADE) sont compensés

Parcelle	IdP	SET	ERE
1	Préoccupant	Incertitude	Incertitude : TRIADE
2	Préoccupant	Incertitude	Incertitude : TRIADE
3	Préoccupant	Risque	Risque : Mesure de gestion
4	Incertitude	Incertitude	Incertitude : TRIADE
5	Incertitude	Abs. De Risque	Non Préoccupant
6	Incertitude	Abs. De Risque	Non Préoccupant
7	Incertitude	Abs. De Risque	Non Préoccupant
8	Préoccupant	Incertitude	Incertitude : TRIADE
9	Incertitude	Abs. De Risque	Non Préoccupant
10	Incertitude	Abs. De Risque	Non Préoccupant
11	Incertitude	Abs. De Risque	Non Préoccupant
12	Non Préoccupant	Abs. De Risque	Non Préoccupant
13	Non Préoccupant	Abs. De Risque	Non Préoccupant
14	Incertitude	Abs. De Risque	Non Préoccupant
15	Non Préoccupant	Abs. De Risque	Non Préoccupant
16	Incertitude	Abs. De Risque	Non Préoccupant

Tableau 1 : Evaluation des risques pour les écosystèmes

du moment qu'au moins 1 parcelle est identifiée comme ne présentant pas de risque pour l'environnement permettant d'éviter une évacuation des pollutions au profit de la mise en place de projets environnementaux.

UNE GESTION FINE ET OPTIMISÉE D'UN PORTEFEUILLE FONCIER

Ainsi, à une échelle plus globale, la prise en compte des risques environnementaux au même titre que le risque sanitaire apporte des informations qui permettent une gestion plus fine et optimisée d'un portefeuille foncier.

Dans le process de gestion des friches et des sites et sols pollués, les méthodes actuelles se basant sur les concentrations totales en contaminants dans les sols pour statuer sur la contamination du site et pour réaliser les études de risques sanitaires et écosystèmes apparaissent comme limitantes au regard

des possibilités qu'offre la prise en compte de la biodisponibilité dans les ERE.

Dans cette étude, il a été démontré la pertinence d'intégrer les évaluations des risques pour les écosystèmes (avec mesure de la biodisponibilité) le plus en amont possible.

En effet, celles-ci ont montré tout leur intérêt en permettant de statuer sur la possibilité de maintien en place des pollutions pour limiter les coûts de gestion.

Ainsi, les projets de renaturation, de création de zones de biodiversité et de production d'ENR peuvent être sécurisés d'un point de vue environnemental.

Benjamin PAUGET (Tesora),
Annette DE VAUFLEURY (Chrono-Environnement)

// DOSSIER : BIODIVERSITÉ ET SITES POLLUÉS

LA PHYTOREMÉDIATION POUR RÉGÉNÉRER UN ÉCOSYSTÈME DU SOL FONCTIONNEL

Les sols ont un pouvoir épurateur important sous condition que l'écosystème du sol soit fonctionnel. Les techniques de phytoremédiation ou de bioremédiation s'appuient sur les fonctions naturelles des écosystèmes des sols pour dépolluer et restaurer leurs qualités chimique et écologique. La bioremédiation, en stimulant la microflore du sol, restaure de nombreuses activités biocatalytiques nécessaires au développement d'organismes plus complexes. Cette re-fonctionnalisation peut être davantage développée en revégétalisant les sols.

TRAITEMENT SUR SITE DE 15 000 M³ DE SOL CONTAMINÉ AUX HYDROCARBURES PEU BIODISPONIBLES

Le site est localisé dans une zone agricole dominée par la culture du maïs. Il a été dans les années 80/90 le lieu de stockage de Sols Contaminés par des Boues de Forage de puits pétroliers (SCBF).

Dans le cadre du Plan de Gestion, des solutions de gestion de ces SCBF ont été étudiées afin de rendre le site à sa vocation première agricole. Une de ces solutions a été l'excavation et le transport des 15 000 m³ de SCBF.

Le coût, les difficultés à trouver un exutoire à ces terres et la volonté de réduire l'impact environnemental lié aux mesures de gestion a mené la réflexion vers des solutions alternatives sur site.

La phytoremédiation offre l'avantage supplémentaire de restaurer des fonctions écologiques et potentiellement la qualité agronomique des sols. Dans le cadre du Plan de Conception des Travaux, un pilote a été réalisé sur 29 à 51 mois selon les essais (décembre 2017 à mars 2022) par la mise en place de 14 andains de 50 m³ chacun (Figure 1).



Figure 1. Photographie du site d'étude lors du suivi du pilote.

Les concentrations initiales en hydrocarbures (HCT) dans les SCBF étaient de 29 800 +/- 9 750 mg/kg MS.

L'analyse détaillée de la composition des HCT dans les SCBF indique la prépondérance des fractions peu solubles et donc peu biodisponibles : 93% des HCT

sont des fractions C12-C35. Les fractions aromatiques constituent environ 30 à 33% de la somme des HCT.

Des composés polaires sont également présents à hauteur de 5 à 8 % de la masse en HCT et sont vraisemblablement liés à la décomposition des composés organiques

FRACTIONS MASSIQUES (POIDS SEC)	TRAITEMENTS – PROTOCOLES A, B ET C				TÉMOINS	
	4/6	4/6a	2/8	2/8a	Pollué	Non pollué
SCBF*	64.9%	64.8%	84.3%	84.1%	100%	-
Terre végétale	31.2%	31.1%	13.2%	13.1%	-	100%
Compost	3.8%	3.8%	2.5%	2.5%	-	-
Chaux	-	0.26%	-	0.25%	-	-
Urée	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	-	-

*SCBF = sol contaminé aux boues de forage

Tableau 1 : Constitution des andains des protocoles A, B, C et des témoins

présents. Ces molécules de grande taille (16 à 28 atomes de carbone) ne sont pas rapidement métabolisées mais sont davantage solubles et biodisponibles : acides carboxyliques, alcools, stérols et glycérol.

DIMENSIONNEMENT DE L'ESSAI PILOTE SUR SITE : CONDITIONS TESTÉES, AMENDEMENTS DES SOLS ET VÉGÉTAUX

La microflore du sol est à l'origine de l'ensemble des réactions de biocatalyse nécessaires à l'assimilation des nutriments par les plantes. Elle joue un rôle important dans la biodisponibilité de ces nutriments et également des polluants présents dans les sols. Dans le cadre du PCT, trois protocoles ont été appliqués :

- Protocole A : stimulation de la microflore (bioremédiation) avec un malaxage mécanique des terres tous les 2 à 3 mois et un maintien sous bâche ;
- Protocole B : stimulation de la microflore durant 2 mois (idem protocole A, y.c. malaxage) puis re-végétalisation (phytoremédiation) sans perturbation ;
- Protocole C : stimulation de la microflore durant 4 mois (idem protocole A, y.c. malaxage) puis re-végétalisation (phytoremédiation, même végétaux que le Protocole B).

Les résultats issus du protocole B se sont montrés rapidement peu probants en termes de dépollution comme sur le plan de la re-végétalisation. Seuls les résultats issus des protocoles A et C sont donc présentés dans la suite de l'article.

Pour chacun des protocoles, deux mélanges de matériaux ont été testés (environ 60% et 80% de SCBF dans les andains) ainsi que deux andains témoins (contaminé / non contaminé, cf Tableau 1).

La qualité agronomique des terres a été évaluée afin de sélectionner les essences végétales les plus adaptées au milieu et réduire autant que possible les apports de fertilisants.

Les analyses réalisées à T0 sur les andains du protocole A représentatifs des différents mélanges d'amendement ont montré des paramètres homogènes en COT (entre 24 et 35 g/kg MS) et des quantités de potassium et phosphore suffisantes pour assurer les besoins de la majorité des cultures.

En revanche, le rapport C/N compris entre 21 et 27 était relativement élevé entraînant un risque que l'azote devienne limitant lors de la biodégradation de la matière organique.

Un mélange de luzerne et de ray-grass a été retenu dans le choix du couvert végétal. En effet, la luzerne, en symbiose avec une bactérie du genre Rhizobium, a la capacité de fixer l'azote atmosphérique et d'en restituer une fraction sous forme d'ammonium dans le sol.

Sur les protocoles B et C, un fertilisant azoté additionnel a été apporté au moment du semis et du sur-semis (3 à 5 kg d'engrais de fond et 2 à 4 kg d'engrais universel par andain).

LA PHYTORÉMÉDIATION, UN TRAITEMENT PERFORMANT MAITRISANT LES RISQUES D'ÉCOTOXICITÉ ET DE TRANSFERTS

Les andains du protocole B, les andains amendés en chaux (A, B ou C) ainsi que les modalités de traitement à environ 60% de SCBF (andains notés "4/6" et "4/6a") n'ont pas mis en évidence d'avantages, voire ont pu rendre compte d'un retard sur les courbes d'efficacité de traitement. Après 18 mois de traitement, il a été décidé de ne plus suivre les andains "B".

Après 29 mois de traitement, les concentrations moyennes en HCT ont atteint 3 800 mg/kg dans l'andain A2/8 et 5 200 mg/kg dans l'andain C2/8 (concentrations initiales # 17 000 mg/kg pour les deux modalités, Figure 2).

Dans ce dernier, les concentrations résiduelles à 51 mois sont de 1 500 mg/kg entre 0 et 60cm de profondeur et 2 800 mg/kg entre 60 et 90cm.

L'abattement plus performant dans le tiers supérieur de l'andain est cohérent avec les observations de l'extension du système racinaire plus dense sur cet horizon.

Les fractions d'hydrocarbures les plus biodisponibles ont été dégradées en priorité durant les 6 premiers mois menant à un enrichissement relatif des fractions lourdes dans les andains des protocoles A et C : T1/2 # 6 à 7 mois pour les C10-C12 et 25 à 30 mois pour les C21-C35.

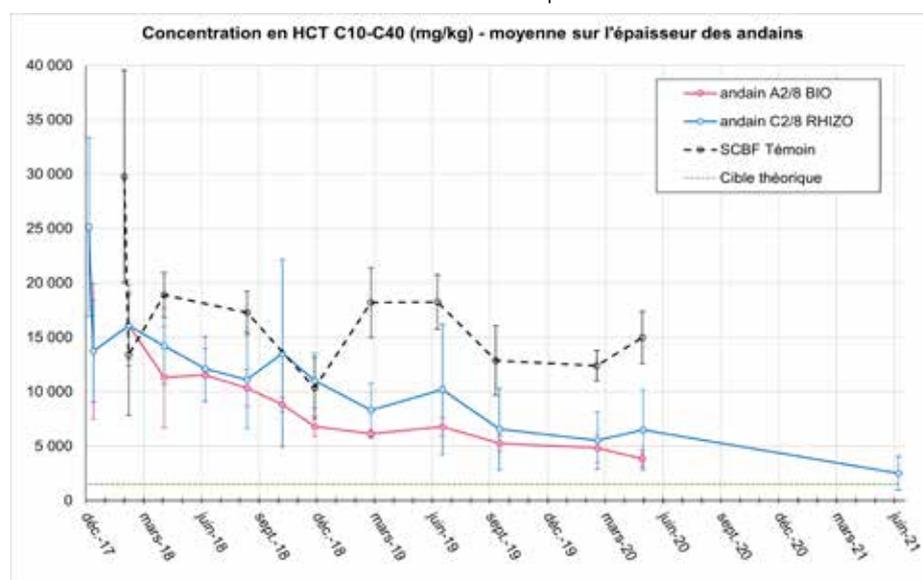


Figure 2. Concentrations en hydrocarbures dans les andains A2/8 et C2/8 (moyenne des concentrations sur l'épaisseur de chaque andain).

La composition en composés aliphatiques / aromatiques / polaires a évolué d'un état initial de 70 / 25 / 5 à 45 / 20 / 35 après 21 mois de traitement traduisant la probable dégradation des fractions aliphatiques lourdes en composés polaires.

Des essais d'écotoxicité ont été réalisés en laboratoire sur différents organismes cibles (Daphnia, Fischeri, Ver de terre, Laitue) afin de déterminer le caractère écotoxique des polluants initiaux et de ceux potentiellement issus de la biodégradation des premiers. Les différents essais menés n'ont pas mis en évidence d'écotoxicité.

La végétalisation des andains contenant des SCBF peut conduire à la phytoextraction des polluants et leur bioaccumulation. Les concentrations observées entre le 10^{ème} et le 21^{ème} mois de traitement dans le couvert végétal de ray-grass/luzerne ne dépassaient pas 6,9 mg/kg du poids sec de biomasse indiquant une faible capacité des végétaux à extraire et accumuler les polluants (bilan de masse : HCT accumulés dans les végétaux # 0,35 g vs. HCT biodégradés dans les sols # 750 kg).

Dans l'hypothèse d'un futur usage agricole, du maïs a été semé sur l'andain B2/8 au 15^{ème} mois.

Après plus de 3 mois de développement des plants, aucun HCT n'a été détecté dans les épis de maïs, alors que les concentrations étaient de l'ordre de 2 mg/kg de poids sec de biomasse dans les tiges et les feuilles.

Aucun HCT n'a été détecté sur les différentes parties aériennes des maïs plantés dans le champ agricole jouxtant la parcelle d'étude.

AMÉLIORATION DES FONCTIONS BIOLOGIQUES ET DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

La densité en bactéries totales a augmenté d'un facteur de 10 000 dans l'ensemble des andains amendés après 4 mois de traitement avant de se stabiliser. Aucune carence d'azote n'a été observée lors du développement des végétaux dans les andains C ; les nitrates / nitrites n'ont pas été détectés. Ces observations appuient l'hypothèse d'une biodégradation progressive de l'urée menant à un apport suffisant d'azote (sous forme d'ammonium) tout au long du pilote sans être en excès.

La densité du semis a été choisie selon les espèces, et contrôlée au moment de l'application des graines 4 mois après

Impact visuel

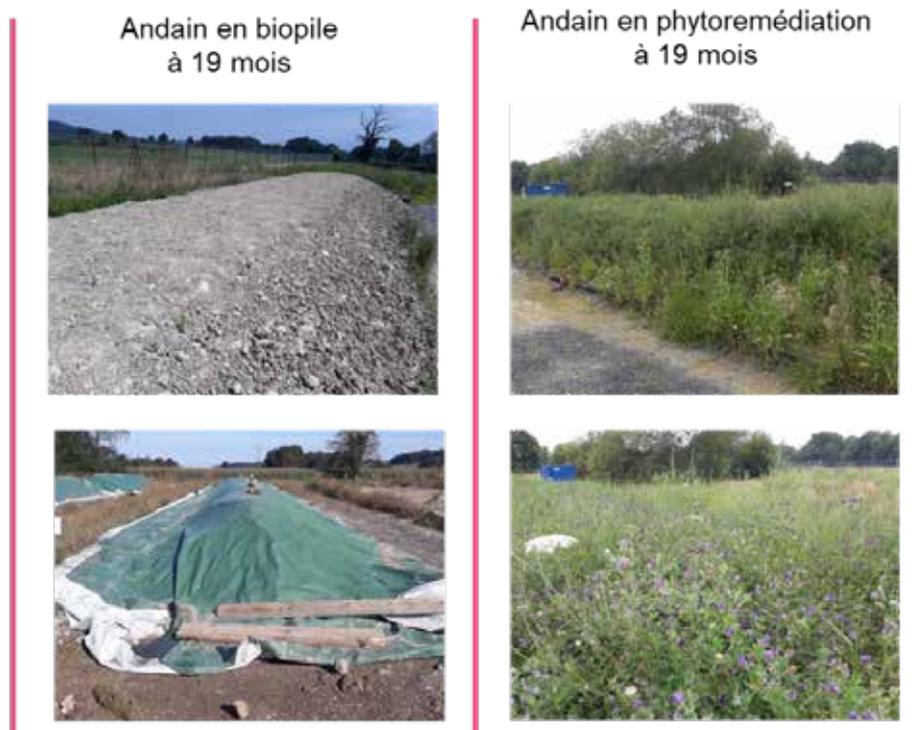


Figure 4. Photographie des andains en biopile et en phytoremédiation après 19 mois.

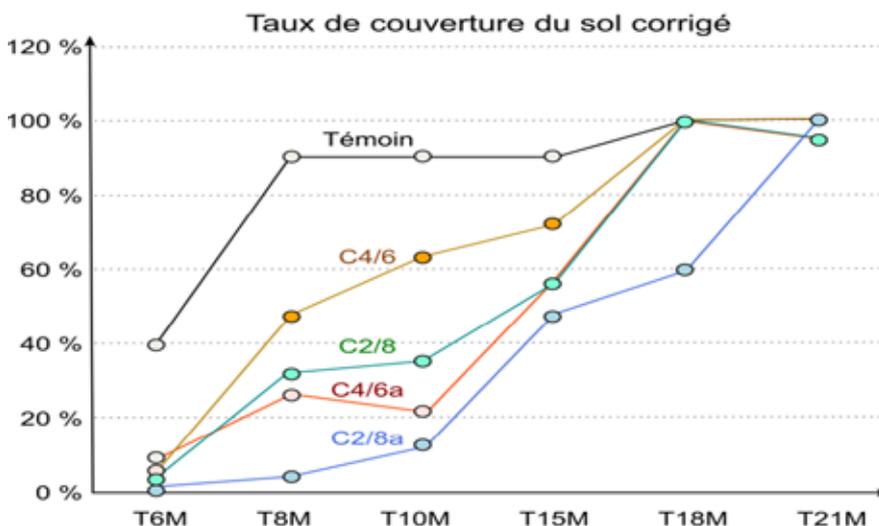


Figure 3. Evolution du couvert végétal

le début du pilote : seulement 69 % des graines ont levé pour le ray-grass et 48% pour la luzerne.

La forte pluviométrie et le faible ressuyage des sols est un facteur d'explication, particulièrement pour la luzerne qui souffre de conditions trop humides.

Les polluants des sols des andains (hydrocarbures, chaux) semblent expliquer l'évolution du couvert végétal, tant en

quantité (retard de développement de 35% pour le ray-grass et de 83% pour la luzerne par rapport à la parcelle témoin) qu'en qualité (indice Omega 3 inférieur de 15 à 30%).

La végétalisation du sol est homogène sur la parcelle témoin mais pas sur les andains où certaines zones apparaissent complètement nues.

Une amélioration de la végétalisation en quantité et qualité est observée au cours du temps avec une cinétique différente selon les modalités.

Au printemps 2019 (T18 mois) tous les andains présentaient un couvert végétal dense (Figure 3 et Figure 4).

Les nématodes ont été utilisés comme bioindicateurs de l'évolution de la qualité des sols car ils jouent un rôle essentiel dans la biologie du sol et sont très sensibles aux changements de conditions du milieu. Après 21 mois, leur abondance était similaire dans les andains C et dans l'andain témoin de terres végétales (Figure 5), contrairement aux andains A (sol malaxés, absence de végétalisation) où l'abondance était moindre et similaire à l'andain SCBF témoin.

Une plus grande diversité a également été observée dans les andains C avec notamment la présence de nématodes phytophages et fongivores, non présents dans les andains A.

Cette diversité des groupes de nématodes est révélatrice d'un écosystème plus complet et plus fonctionnel.

CONCLUSION

Les essais menés dans le cadre du PCT ont permis d'une part de démontrer la faisabilité d'un traitement par phytoremédiation pour dégrader les hydrocarbures contenus dans les SCBF (efficacité > 90%) et d'autre part de dimensionner les travaux à réaliser pour traiter les 15 000 m³ stockés avec des objectifs atteignables et démontrables.

En complément de la réduction de la charge polluante des sols, la phytoremédiation a également permis de refonctionnaliser les sols (captage du CO₂, régulation des flux d'eau, biodiversité ...) permettant d'envisager un nouvel usage.

S'il est facilement admis que les services écosystémiques jouent un rôle dans la préservation des sols agricoles, leur rôle peut également être intégré dans les travaux en contexte urbain pour améliorer, même temporairement, la qualité de vie des populations (ilots de fraîcheur, parcs, régulation des eaux pluviales...) et participer à la revalorisation du foncier.

Aujourd'hui, eu égard aux enjeux actuels (changement climatique, transition écologique, maintien des surfaces agricoles, zéro artificialisation nette, etc.), les modes de gestion des sites et sols pollués ne peuvent plus se contenter de retirer, même totalement, la pollution présente dans les milieux souterrains.

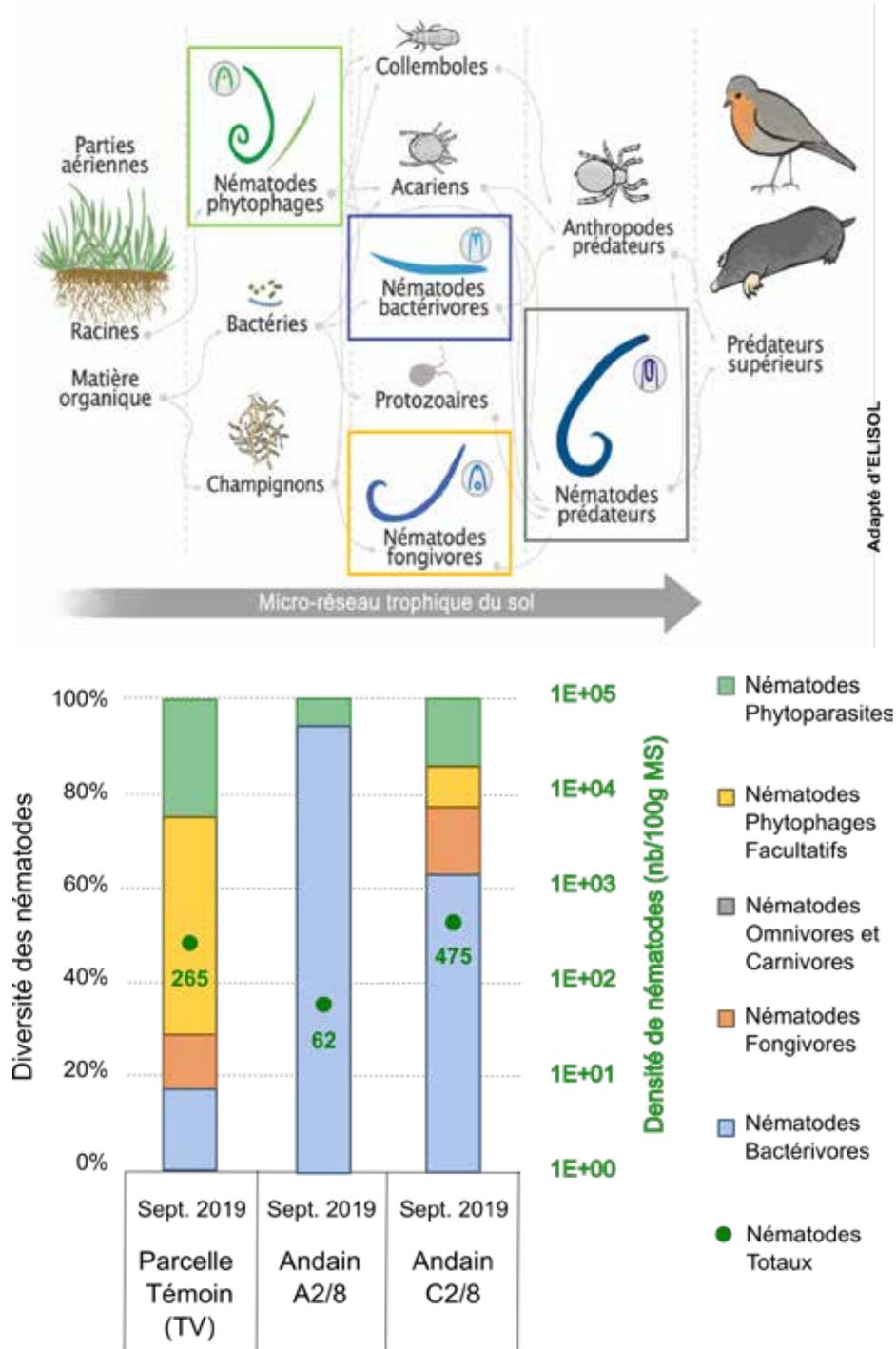


Figure 5. Abondance et diversité des nématodes

En effet, il convient d'orienter vers des solutions permettant de dépolluer et de retrouver (certaines) des fonctions d'un sol sain, conjointement ou successivement.

Pour rendre compatibles ces deux objectifs, il convient de définir pour quel(s) usage(s) futur(s) ces modes de réhabilitation (en qualité et fonctionnalité) sont pertinents.

Dans l'étude présentée, l'approfondissement des études de risques sanitaires et de productivité (qualité et quantité)

selon la filière agricole (végétaux pour consommation humaine, pour ensilage, pour usages industriels ou de biomasse, etc.) permettrait d'apporter des éléments d'arbitrage entre les différents usages agricoles possibles du site et sa renaturation (réserve foncière de biodiversité).

Alexiane GODAIN (Tauw)

Julie ESTIVAL (Tauw)

Sébastien KASKASSIAN (Tauw)

// DOSSIER : BIODIVERSITÉ ET SITES POLLUÉS

ENTRE TRAVAUX ET CRAPAUDS

Dans le cadre de la réalisation du chantier de dépollution de la future extension du Parc départemental George Valbon (La Courneuve - 93), des mesures d'évitement, de réduction et de compensation ont été mises en place du fait des nombreuses espèces protégées recensées sur ce site.

UN CHANTIER D'AMPLEUR...

Sur cet ancien dépôt de carburants appartenant anciennement au ministère des Armées, fortement pollué aux hydrocarbures totaux C5-C40 et hydrocarbures volatils C5-C16, EXTRACT a réalisé les travaux de dépollution.

D'importants terrassements de matériaux pollués (plus de 70 000 m³ de terres excavées) ont été effectués. Ces matériaux ont ensuite été majoritairement traités sur site par voie biologique.

Au total, 5 Biopiles ont été montées pour traiter plus de 40 000 m³ de terres polluées. Après traitement, les terres ont été réutilisées pour remblayer les vides de fouille.

...EN PRÉSENCE D'ESPÈCES PROTÉGÉES !

La présence d'espèces protégées sur ce site était connue avant la réalisation des travaux. En effet, ce secteur avait été identifié lors d'études préalables comme porteur, entre autres, d'une importante population de Crapauds Calamites (*Epidalea calamita*), espèce protégée¹, de plusieurs centaines, voire de milliers, d'individus.

Le site est notamment suivi par des associations d'écologues telle que l'ANCA ou URBAN ECO, qui réalisent régulièrement des comptages de cette espèce.

Le crapaud Calamite est une espèce pionnière qui fréquente des milieux chauds et secs avec une végétation assez



Figure 1. Vue du chantier pendant les travaux



Figure 2. Crapauds Calamites (*Epidalea calamita*),

¹En vertu de l'Arrêté du 8 janvier 2021 fixant la liste des amphibiens et des reptiles représentés sur le territoire métropolitain protégés sur l'ensemble du territoire national et les modalités de leur protection.

clairsemée et des sols meubles. Ce crapaud se reproduit dans des zones humides de faible profondeur avec peu de végétation et un ensoleillement important.

Il est tributaire d'habitats naturels ou anthropiques constitués d'une mosaïque de milieux regroupant notamment des mares temporaires ou permanentes.

Il bénéficie d'un cycle court de reproduction. Il lui suffit de quelques flaques (ornières de camions par exemple).

LES INTERVENANTS SE SONT ADAPTÉS...

EXTRACT a adapté ses travaux à la présence du crapaud calamite sur le site en préservant l'environnement propice à cette espèce lors des opérations de dépollution.

Différents suivis environnementaux spécifiques ont été mis en place.

Avant le démarrage des opérations, l'ensemble des équipes chantier (chefs de chantier, techniciens, chauffeurs d'engins et de camions, etc..) a suivi une demi-journée de formation de manière à pouvoir gérer les différentes découvertes (Crapauds Calamites, têtards, pontes) sur site lors de la réalisation des travaux.

Cette formation a été dispensée par une association ayant pour but de veiller à la sauvegarde et à la protection de la nature et de l'environnement,

Des rondes quotidiennes étaient effectuées afin de vérifier l'absence d'espèces dans les zones de circulation et de travaux.

Une mare temporaire a été créée, afin d'y transférer tous les têtards et pontes



Figure 3. Matériel de prélèvement



Figure 4. Pontes des crapauds

retrouvés par les équipes.

Du matériel spécifique a été mis en place afin de procéder à la récupération et au déplacement des crapauds, têtards et pontes, lorsqu'une découverte était faite sur le chantier.

A chaque découverte, une fiche de constat avec photo de l'individu, localisation de son emplacement sur un plan était rédigée lors de chaque découverte et déplacement, et transmise à l'ensemble des acteurs du

projet ainsi qu'aux différentes associations d'écologues.

Pour valider les démarches ou se faire conseiller au cours des différentes étapes du chantier, EXTRACT a confié une mission d'accompagnement en sous-traitance à un écologue.

Les informations qu'il transmettait étaient directement remontées au maître d'œuvre, ainsi qu'au maître d'ouvrage et aux différentes associations d'écologues en charge de ce site.

... POUR TRANSFORMER L'ESSAI !

Ces différentes mesures ont été mises en place par EXTRACT qui est allé au-delà de ce qui lui était demandé en application de la réglementation dans le cahier des charges.

L'objectif était en effet de poursuivre (grâce notamment aux différents suivis réalisés par l'écologue sous-traitant) le travail réalisé par les associations pour la surveillance et préservation de cette espèce protégée.

Ce travail a été parfaitement intégré et réalisé par les équipes de chantier. Leur important investissement personnel a été régulièrement souligné par les différentes associations d'écologues.

La réalisation de travaux de dépollution n'est donc pas incompatible avec la présence d'espèces protégées sur un site.

Même si elle nécessite des adaptations du chantier et une formation spécifique du personnel, cette contrainte peut être transformée en motivation pour les équipes.



Figure 5. Vue du chantier après les travaux

Amandine CHEVALIER (Extract)

// DOSSIER : BIODIVERSITÉ ET SITES POLLUÉS

LA RENATURATION : UNE SOLUTION POUR LES FRICHES INDUSTRIELLES DE TYPE DECHARGES ET SITES MINIERS DE RIO TINTO

OU COMMENT ALLIER BIODIVERSITÉ ET MAÎTRISE DES RISQUES, À DES COÛTS COMPÉTITIFS ?

CONTEXTE

Les décharges en post exploitation, comme les anciennes exploitations minières, intéressent peu les re-développeurs classiques (promoteurs, investisseurs).

En effet, ces surfaces ne peuvent souvent pas accueillir de projet d'aménagement "classique" en raison de leur localisation et/ou de contraintes techniques liées à leur histoire. Pour autant, elles nécessitent souvent un entretien générant ainsi des frais pour ceux qui en ont la charge.

Les risques inhérents à ces types de sites sont principalement :

- Risques sanitaires liés à une pollution chimique
- Risques d'envol de poussières
- Risques géotechniques.

Le responsable du site cherche donc des solutions de gestion nécessitant à l'issue de la remise en état peu d'entretien et un minimum de besoin en énergie.

Les solutions de phytomanagement apparaissent comme des solutions de gestion durable permettant de maîtriser,



Vue d'un crassier après réhabilitation par renaturation



Intégration paysagère d'un bassin de rétention des eaux pluviales et de son chenal d'évacuation

à des coûts compétitifs, les risques sur le long terme. Ce type de solution ouvre la voie à des projets de redéveloppement alternatifs pouvant présenter des bénéfices économiques (biomasse, énergie renouvelable...), sociétaux (cadre de vie, emplois...), culturels (accueil du public...) et environnementaux (refonctionnalisation des sols, biodiversité ...).

Rio Tinto Closure group est confronté à ce problème sur ses anciens crassiers et c'est pourquoi les équipes pluridisciplinaires de Ramboll France et ses partenaires ont accompagné Rio Tinto dès la phase d'études préliminaires de conception, la conduite et la coordination des phases d'essais pilotes ou la phase d'exécution des travaux, pour des projets de renaturation variés, décrits dans les paragraphes suivants.

INTÉGRATION PAYSAGÈRE D'OUVRAGES HYDRAULIQUES

Dans le cadre de travaux de gestion des eaux d'un ancien crassier situé au cœur d'un parc national, le cheminement et la gestion des eaux pluviales ont été améliorés afin d'empêcher l'infiltration dans les résidus. Un bassin de décantation, un bassin de rétention et un fossé étanche conduisant à la rivière ont été mis en place sur le crassier. Les travaux devaient répondre à de multiples contraintes :

- Statut d'ancienne Installation Classée pour la Protection de l'Environnement ;
- Espace boisé classé (reboisement du crassier par l'ONF dans les années 1990) ;
- Parc national (valeur écologique et touristique) ;

- Secteur péri-urbain (fréquentation régulière par les riverains) ;

- Site vendu à la collectivité territoriale dans les années 1990.

L'ensemble des parties prenantes a été impliqué dans le projet dès son démarrage. L'intégration paysagère et la préservation du contexte naturel et de la biodiversité figuraient parmi les enjeux forts des travaux.

En conséquence :

- le projet technique a été défini de manière à être le moins invasif possible : limitation des matériaux d'apport, du trafic sur site, et des coupes d'arbres ;

- le projet a permis la création d'une zone humide saisonnière (dimensionnement du bassin afin de retenir un volume d'eau) ;

- l'intégration paysagère a compris la revégétalisation de tous les ouvrages étanchés (bassin de rétention et fossé étanche) et la mise en place de roches décoratives locales sur tous les ouvrages de génie civil (fond du bassin de décantation et ouvrage de sortie du bassin de rétention) ;

- le périmètre des travaux a été défini en fonction de la présence des espaces et espèces d'intérêt ;

- le planning des travaux a été adapté pour limiter l'impact pour les riverains et les espèces animales protégées (notamment le hibou Grand Duc).

LUTTE CONTRE L'ÉROSION ET L'ENVOL DE POUSSIÈRES

Afin de revégétaliser les sols stériles (résidus industriels non inertes non dangereux) sur un site à réhabiliter, plusieurs essais ont été

réalisés pour trouver une solution pérenne et limitant les apports de matériaux extérieurs (solution durable) :

- amendement des résidus par des nutriments et matières organiques et ensemencement avec des espèces adaptées ;

- constitution de technosols végétalisables à partir des résidus industriels.

La première phase du projet a consisté en la réalisation d'un inventaire botanique afin d'identifier les espèces qui s'étaient adaptées aux conditions particulières du site (climat méditerranéen et sols non-naturels pauvres en matières organiques), et sélectionner celles qui présentent un intérêt pour la végétalisation du site.

Cette première phase a listé 25 espèces d'intérêt sur les 80 espèces inventoriées.

La seconde phase du projet a consisté en une série d'essais de végétalisation en casiers sur site dont l'objectif était de tester :

- différents types de substrats (issus du site ou apport extérieur) ;

- différentes épaisseurs de substrats (25 ou 50 cm) ;

- différentes recettes de graines (locales ou exotiques, récoltées sur site ou commerciales) ;

- différentes méthodes de végétalisation (transplantation, semis, bouturage) ; et

- différentes pentes (de 15 à 30 %) pour la mise en œuvre de la végétalisation.

Ces essais ont conclu qu'un substrat de 50 cm d'épaisseur, réalisé à partir des résidus issus du site enrichis avec de la matière organique, et ensemencé avec des graines récoltées sur site montrait un résultat satisfaisant.

Une troisième phase a consisté en des essais sur site à plus grande échelle, afin de tester le protocole de végétalisation retenu, la qualité des eaux d'infiltration, la tenue vis-à-vis de l'érosion et du glissement.

Les essais ont montré de bons résultats: recouvrement en 2,5 mois de 85% à 95% de la surface avec une diversité d'espèces végétales assurant la pluralité des espèces entomologiques.

Les essais ont abouti à des préconisations pour les plantations sur les pentes à 30 % (accroche terre). Les eaux percolées présentaient des concentrations importantes pour certains éléments traceurs des résidus, néanmoins, compte-tenu de l'évapotranspiration par le couvert végétal, les volumes d'eau en jeu sont apparus suffisamment faibles pour ne pas nécessiter d'action complémentaire.

Cette série d'essais a donc permis de définir une solution de revégétalisation remplissant les objectifs de développement durable attendus. La solution a dû être adaptée pour répondre aux attentes de l'Administration par addition de 10 cm de terre végétale en surface pour limiter le risque de dégradation de la qualité des eaux de ruissellement. Cette solution a été intégrée à la conception globale du projet, qui est en cours de réalisation.

TRAITEMENT PASSIF D'EFFLUENTS INDUSTRIELS

Afin de traiter les effluents industriels chargés en métaux et sulfates provenant d'un ancien crassier en cours de réhabilitation, plusieurs essais ont été réalisés pour trouver une solution passive et fondée sur la nature permettant de maîtriser, à des coûts compétitifs, les risques sur le long terme.

La première phase du projet a consisté en la réalisation d'essais en laboratoire de plusieurs pilotes à petite échelle, afin de sélectionner les plantes aquatiques pouvant s'acclimater à la qualité des effluents et d'évaluer l'efficacité d'un traitement par marais filtrant.

Ces essais ayant été concluants, un essai pilote a été développé sur le site.

L'essai pilote sur le site a consisté en la création d'une ligne de décantation-aération suivie par un traitement de finition constitué de bassins plantés (marais filtrants).

Il avait pour objectifs de :

- tester l'efficacité d'un prétraitement des eaux par décantation-aération ;



Intégration paysagère d'un bassin de décantation – avant – après



- évaluer la capacité de rétention en métaux de plusieurs substrats ;

- estimer l'efficacité d'abattement en métaux des 3 espèces de plantes sélectionnées lors de l'essai en laboratoire.

Cet essai a confirmé l'efficacité d'un prétraitement par décantation-aération et a démontré l'efficacité du traitement pour le piégeage des métaux. En revanche, la technologie ne permet pas de traiter les sulfates.

De nouveaux essais spécifiques au traitement des sulfates par des bactéries sulfato-réductrices ont donc été réalisés en laboratoire (à petite et moyenne échelle).

Ces essais ont donné des résultats très encourageants mais sont encore au stade de recherche et développement.

En conséquence, une solution passive constituée d'un prétraitement par décantation-aération et marais filtrant a été intégrée à la conception globale du projet, qui est en cours de réalisation (au sein du périmètre clôturé du site).

Des solutions complémentaires par traitement membranaire sont également prévues dans un premier temps afin de garantir l'atteinte des seuils de rejet au milieu naturel.

Il est actuellement anticipé que, d'ici 10 ans, le traitement actif ne sera plus nécessaire compte-tenu des travaux de réhabilitation effectués par ailleurs conduisant à une réduction du débit des effluents.



Essais sur site de végétalisation d'un technosol (substrat constitué à partir des matériaux du site)



Essais sur site de traitement d'effluents par marais filtrant

Juliette FOURNIER (Ramboll)

// ACTUALITÉ

LES DERNIÈRES PUBLICATIONS

SITES ET SOLS POLLUÉS

GUIDES



[Guide](#) : Intégrer les friches à risque de pollution dans les démarches de planification territoriale

[Trois fiches de REX](#) "incroyables mais verts !" sur des sites aidés dans le cadre du plan de relance

[Identification de friches polluées](#) éligibles à une reconversion écologique – étude TIPOMO

[Fiche de référence](#) - Dépollution d'une ancienne gravière à Vigneux sur Seine (91)

[Fiche de référence](#) - Evaluation et gestion des risques pour les projets d'agriculture urbaine en IDF

[Mise en sécurité](#) des sites à responsables défaillants : l'intervention de l'ADEME en pratique



[Guide pratique](#) pour la préparation et l'analyse des végétaux consommés par l'Homme dans le contexte des sites et sols pollués



[Synthèse des réunions](#) du GT Laboratoires – Mise à jour 2022

[Retour d'expérience](#) sur la mise en place de l'avis du 30 décembre 2020

[Guide technique](#) sur l'échantillonnage des sols pour la recherche des COV/COSV

[Glossaire "Sites et sols pollués"](#) regroupant les termes les plus fréquemment utilisés par les acteurs des Sites et Sols Pollués



[Guide pratique](#) de la reconversion des friches

DOCUMENTATION

[Plaquette sur la cessation d'activité](#) des ICPE (et les attestations ASAP)





SOLSCOPE

Échangeons, creusons l'avenir

2023

LE MEILLEUR
ENDROIT
SUR TERRE

POUR COMPRENDRE
CE QUI SE PASSE
SOUS TERRE

“
LA
GÉOTECHNIQUE
RESPONSABLE
”

15^e SALON INTERNATIONAL DE LA GÉOTECHNIQUE,
DU FORAGE ET DES FONDATIONS SPÉCIALES

14 ET 15 JUIN 2023
LYON EUREXPO

upds **MAG**
LE MAGAZINE DES PROFESSIONNELLS
DE LA DÉPOLLUTION DES SITES

 upds

Union des Professionnels
de la Dépollution des Sites.

183 Av. Georges Clémenceau
92000 Nanterre
T : 01 47 24 78 54
www.upds.org