



FICHE USAGE ALTERNATIF

Phytoremédiation

2 à 20 ans
durée du traitement

18 à 40 €/m²
de surface de sols traités pour la
phytoextraction
(hors apport de terre végétale)

2 à 12 €/m²
de surface de sols traités pour la
phytostabilisation extraction

Projet ADEME - parcelle de phyto-extraction à base de ligandre à Leforest - 63

Cette fiche vise à donner à la collectivité ou au propriétaire d'un site des repères-clés pour envisager (ou non) sa reconversion par des techniques de « phytoremédiation ». Elle présente les conditions favorables à ce type de reconversion (caractéristiques intrinsèques du site, réglementations), donne un aperçu des modalités de mise en œuvre et synthétise les impacts attendus.

CONTEXTE

La gestion des sites et sols pollués est un enjeu majeur dans la reconversion des friches. Celle-ci s'appuie, depuis 2007, sur l'évaluation des risques en fonction de l'usage des sites. De plus, la note ministérielle du 19 avril 2017, qui met à jour les textes méthodologiques, rappelle que « quelle que soit la nature du polluant, et dans le respect des principes de l'économie circulaire, les traitements in situ ou sur site, qui limitent la production et le transport de déchets, doivent être privilégiés ».

Utiliser *in situ* des plantes pour réhabiliter un sol contaminé : voici le principe des technologies de phytoremédiation. En effet, certaines plantes sont capables de fixer, dégrader ou accumuler des polluants présentant des similitudes atomiques ou moléculaires avec les nutriments nécessaires à leur croissance.

Bien que jugées plus conformes aux enjeux du développement durable que les techniques classiquement utilisées, ces méthodes restent encore émergentes sur les marchés de gestion des sites et sols pollués.

Pourtant, un certain nombre d'expérimentations sur l'ensemble du territoire, dont certaines sont encouragées et soutenues par l'ADEME depuis plusieurs années, permet aujourd'hui de présenter des retours d'expériences dans différentes situations de pollution. Elles donnent aussi une vision concrète des apports et des limites des différentes solutions appliquées sur le terrain.

Il est intéressant pour les maîtres d'ouvrage et propriétaires d'envisager ces solutions car elles peuvent permettre la remédiation de certains sites pollués où des techniques classiquement utilisées seraient trop coûteuses à court terme. Au-delà de l'objectif premier de traitement, ces solutions présentent des intérêts environnementaux et sociaux qui peuvent impulser le redéveloppement d'un site. Et pourquoi ne pas proposer son terrain à l'expérimentation pour accompagner le développement de ces solutions ?



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement

POINTS CLÉS

SITUATION DU SITE

Les techniques de phytoremédiation peuvent s'appliquer sur une large variété de sols pollués en milieu rural et urbain. Elles ne nécessitent pas de ressources particulières excepté un ensoleillement et un apport d'eau adaptés ainsi qu'une qualité de sols propices au développement des végétaux.

La méthodologie de gestion des sites et sols pollués insiste sur les points importants à analyser :

- **Un accès facile** pour l'entretien des plantes
- **Un temps de mise à disposition adapté** : les techniques de phytoremédiation prennent du temps, ce qui n'est pas compatible avec une remise en état « rapide »

TAILLE DU SITE

D'un point de vue technico-économique, les phytotechnologies constituent des solutions plutôt adaptées aux sites à vastes surfaces polluées. Leur mise en œuvre se fait donc préférentiellement sur des sites de grandes tailles, à définir en fonction du bilan économique.

À des échelles plus petites, elles peuvent certainement offrir des alternatives douces aux objectifs de gestion dans des contextes où la durée du traitement n'est pas une contrainte. Ces terrains de taille plus modestes peuvent également être propices à l'expérimentation.

ACCUEIL DU PUBLIC

Les démarches de phytoremédiation peuvent être couplées à un accueil du public, si cet accueil est sanitaire compatible avec les pollutions présentes sur le site.

Il convient également de protéger les espaces plantés ou ensemencés pour permettre le bon développement des végétaux.

Ces espaces peuvent être à vocation pédagogique et sont propices à des actions de concertation et de communication, notamment dans le cas de limitation des conditions d'accès.

TEMPORALITE

La phytoremédiation est un traitement long pour lequel le suivi de la dépollution est important afin d'assurer l'atteinte des objectifs. Les délais peuvent être de l'ordre de plusieurs années (2 à 20 ans).

La durée d'immobilisation du site peut être variable en fonction de l'évolution des résultats, et ne doit donc pas être une contrainte majeure.

COMPATIBILITE AVEC UN BATI

Le site doit pouvoir être planté ou ensemencé, et donc être au préalable démolit et désimperméabilisé.

Rien n'empêche cependant d'envisager ces méthodes sur seulement une partie du site, en fonction du projet futur.

COMPATIBILITE AVEC DES POLLUTIONS

« Les phytotechnologies ne sont pas applicables pour tous les sites pollués et dans toutes les situations. La mise en œuvre de ces outils suppose la définition préalable des objectifs de gestion pour le site (maîtrise ou réduction des polluants en place), en cohérence avec l'usage futur ou constaté de celui-ci, l'évaluation de la pollution des milieux et des risques sanitaires associés, conformément à la méthodologie nationale en vigueur pour la gestion de sites et sols pollués » (ADEME)

Il est donc nécessaire de disposer d'informations sur la nature des polluants présents sur le site sur la base d'un diagnostic de qualité.

Les techniques de phytoremédiation s'appliquent essentiellement sur les sols de subsurface silteux à sableux **jusqu'à 50 cm de profondeur** lorsque les surfaces polluées sont importantes. Au-delà, il est préférable d'utiliser des arbres ou d'excaver les terres pour les gérer.

Les polluants les plus couramment traités par phytoremédiation sont les métaux/métalloïdes par phytostabilisation et dans une moindre mesure par phytoextraction (cette technique s'appliquant aussi aux radioéléments). Par ailleurs des traitements sur les autres substances inorganiques (fertilisants, nitrates) ainsi que sur des substances organiques (hydrocarbures, phénols, pesticides et herbicides, COV, COHV, SCOV, SCOHV, TNT et certains produits pyrotechniques) sont possibles.

Il peut s'avérer pertinent, en fonction des polluants, de gérer de manière différenciée une zone du site avec une technique et une autre partie du site avec un procédé différent. La phytoremédiation peut également être un complément aux techniques conventionnelles.

Il est également important de préciser que la dégradation de molécules organiques complexes peut former des sous-composés plus toxiques avant qu'ils soient dégradés à leur tour. Il convient donc de bien maîtriser les processus que l'on souhaite développer.

Comme pour toute intervention sur site pollué, une attention particulière doit être portée aux conditions de travail des intervenants

DOCUMENTS D'URBANISME

Il s'agit d'un usage transitoire réversible - pas de constructions - il n'y a donc pas d'autorisations d'urbanisme à prévoir.

MODALITES DE MISE EN ŒUVRE

DESCRIPTION TECHNIQUE

Les phytotechnologies regroupent un ensemble de techniques qui utilisent des espèces végétales, avec ou sans combinaison à des amendements, pour extraire, immobiliser ou dégrader des polluants organiques ou inorganiques. D'une manière générale, les composés inorganiques sont immobilisés ou extraits alors que les composés organiques sont dégradés.

Selon le métabolisme de la plante, différentes stratégies de phytoremédiation sont possibles :

- La phytoextraction
- La phytostabilisation
- La phytovolatilisation
- La phytodégradation

La phytoremédiation

PRINCIPE

Technologie utilisant le métabolisme des plantes pour accumuler, transformer, dégrader, concentrer, stabiliser ou volatiliser des polluants (molécules organiques et inorganiques, métaux et radioéléments) contenus dans des sols ou des eaux contaminés. Présentation des différentes stratégies de phytoremédiation.

Phytovolatilisation

Transformation et dégradation de certains types de polluants en éléments volatils moins toxiques, qui sont ensuite libérés dans l'atmosphère par transpiration de la plante.

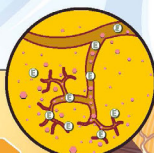
Polluants concernés : quelques composés organiques et métaux (sélénium, mercure).



Phytostabilisation

Absorption et séquestration (ou immobilisation) dans le cas de la rhizofiltration) des polluants au niveau des racines (rhizosphère). Objectif : réduire leur dispersion par le vent ou leur lessivage par les eaux de pluie, et limiter, par conséquent, leur migration et leur entrée dans la chaîne alimentaire ou les nappes phréatiques.

Polluants concernés : radioéléments comme l'uranium.



Phytodégradation

Absorption et décomposition des contaminants par la libération d'enzymes et par des processus d'oxydation et de réduction. Les polluants dégradés, donc moins toxiques, sont ensuite incorporés dans la plante ou libérés de nouveau dans le sol.

Polluants concernés : composés organiques (hydrocarbures, pesticides, explosifs...)



Phytoextraction

Extraction, transport, accumulation des polluants dans les tiges et les feuilles. Les plantes sont dites accumulatrices. Les feuilles, ou la plante entière, sont alors récoltées par des techniques agricoles, puis brûlées dans des usines. Les polluants sont concentrés dans les cendres et les filtres qui sont ensuite traités, comme des déchets de haute activité dans le cas d'une pollution nucléaire.

Polluants concernés : métaux (cuivre, or...) et radioéléments (césium, strontium...)



À SAVOIR

Pour optimiser les différentes stratégies de phytoremédiation, il est possible d'avoir recours à la bioaugmentation. Celle-ci permet de stimuler et accélérer, au moyen d'organismes chimiques ou biotechniques, l'activité des micro-organismes présents dans le sol ou dégradant et transformant les propriétés physico-chimiques des polluants. Les polluants sont alors mieux tolérés et plus facilement absorbés par les plantes.

Polluants concernés : tous les produits biodégradables.

Avantages

- Faibles coûts de traitement (10 à 100 fois inférieurs aux technologies classiques) ;
- Adaptation aux grandes superficies contaminées (dizaines d'hectares) ;
- Récupération des polluants ;
- Conversion possible de la biomasse en énergie ;
- Technologie visuellement attractive ;
- Faible perturbation du milieu contaminé ;
- Technologie verte ayant une bonne image auprès du public.

Limites

- Limitation aux surfaces colonisables par les racines ;
- Temps de traitement très long (minimum 3 ans) ;
- Dépendance de la nature du sol, de la météorologie, des attaques d'insectes, des micro-organismes... ;
- Besoin de grandes superficies et d'une pollution peu profonde (de 50 cm à 3 m) ;
- Application pour des contaminations modérées pour que la plante survive.

Les défis du CEA, Juin 2016 n°208
Amélie Loeuf et Fabrice Mathé (biogéologie), avec la collaboration des chercheurs du CEA Jacques Bouguignon (BIO) et Alain Vercasseur (SEAM)

Source : Les défis du CEA – Juin 2016 – n°208 - <http://www.cea.fr/multimedia/Documents/infographies/posters/defis-du-CEA-infographie-phytoremédiation.pdf>

Etudes :

Le choix des technologies et des plantes utilisées dépend des caractéristiques agronomiques du site et du type de pollution. Les études sont à mener en parallèle :

- Diagnostic pollution & définition des objectifs à atteindre en termes d'exposition résiduelle ou de concentration résiduelle en polluants acceptable pour l'usage envisagé du site.
- Etudes des caractéristiques agronomiques du terrain : sols ; pH ; topographie ; conditions météorologiques...
- Bilan coût/avantages. A noter que sur foncier non convoité, riche en biodiversité, sans risque de transfert, ..., les processus « naturels » déjà en place peuvent suffire. Dans ce cas, la démarche peut consister à « laisser faire » et suivre l'évolution du site et des polluants. Il est donc intéressant d'analyser l'intérêt et le risque d'une non-intervention

Avant la mise en œuvre de la ou des techniques choisies, il est recommandé de réaliser des essais de validation de la faisabilité technique.

Travaux :

- Préparation du site (défrichage, démolition...)
- Sélection des espèces végétales et des amendements éventuels
- Semis et plantations
- Entretien
- Récolte et valorisation de la biomasse
- Suivi, surveillance voire animation du site

La production de biomasse valorisable

En cas de transfert de pollution milieu - plantes (phytoextraction) un traitement ultérieur pour la gestion de la biomasse est nécessaire. Dans certains cas, la biomasse issue des procédés de phytoremédiation peut représenter une ressource valorisable sur le plan énergétique (production de biocarburants, biométhane) ou chimique (chimie végétale). Des verrous réglementaires restent à lever sur le statut de la biomasse.

MODÈLE ÉCONOMIQUE

Dépenses :

- Diagnostics
- Travaux
- Entretien, gestion

Les coûts sont très disparates et dépendent étroitement de la durée du suivi. Ils varient de 18 à 40 €/m² de surface de sols traités pour la phytoextraction et de 2 à 12 €/m² de surface de sols traités pour la phytostabilisation extraction.

Source : Sélecdepol, <http://www.selecdepol.fr/>



Les coûts se répartissent comme suit :

- La part de l'**investissement initial** est relativement importante. Celui-ci correspond à la préparation des sols et l'ajout d'amendements éventuels, la végétalisation des surfaces dont les sols sont pollués et l'éventuelle mise en place d'installations permettant la gestion des eaux de ruissellement
- Les **charges récurrentes** sont principalement liées à l'entretien des plantes. Un traitement des eaux de ruissellement peut aussi être nécessaire

En tant que technique innovante et traitement in situ, le suivi est particulièrement important.

Recettes :

Dans certains cas, la biomasse issue des procédés de phytoremédiation peut représenter une ressource valorisable sur le plan énergétique : production de combustible (bois, miscanthus...) biocarburants, biométhane, chimique (chimie végétale) ou l'extraction de métaux (agromine), bien que ces deux derniers aspects soient assez marginaux.

L'analyse économique globale de ces techniques est encore à poursuivre en tenant compte des différents scénarii de valorisation de la biomasse et des coûts liés aux phases de mise en place sur le site, de suivi de la performance et de surveillance sur le long terme. Elle est surtout à comparer aux coûts des techniques classiques et leurs conséquences plus globales comme l'immobilisation de terrains pour le confinement, l'évacuation et le traitement (thermo-résorption) gourmands en énergies fossiles, le trafic routier, ...

COMPATIBILITE AVEC UN AUTRE USAGE

De nombreux autres usages peuvent être envisagés, si la phytoremédiation ne concerne qu'une partie du site :

- Renaturation
- Urbanisme transitoire
- Centrales photovoltaïques

La gestion sur site et in situ des sols pollués en général et les techniques de phytoremédiation en particulier peuvent être intégrés dans le projet à terme de reconversion du site : aspects paysagers, biodiversité, maintien des plantations sur le long terme, ...

Aller plus loin : le phytomanagement

Coupler phytoremédiation, approches de renaturation, développement des fonctions de sols, ..., c'est l'esprit du phytomanagement qui se développe en même temps que le nouveau regard porté sur les friches. En voici une définition proposée par le groupe de travail IDfriches sur le sujet :

Le phytomanagement est une approche de gestion d'un site dégradé ou délaissé permettant d'accroître progressivement sa valeur directe ou indirecte en faisant appel à un ensemble de techniques utilisant les végétaux.

ET APRES ?

L'usage est facilement réversible, surtout dans le cas de végétaux bas.

Il serait cependant dommage que le site n'ait pas vocation à terme à être au moins partiellement un aménagement paysager ou que le projet ne prenne pas en compte la restauration ou l'amélioration des fonctions du sol permis par la phytoremédiation.

IMPACTS ATTENDUS

ÉCONOMIQUES

Il est globalement considéré que les traitements des pollutions par phytotechnologies coûtent significativement moins cher que ceux ayant recours aux techniques traditionnelles.

Cependant, leur mise en œuvre nécessite une durée importante et implique la *non valorisation* immédiate du foncier. La phytoremédiation est donc à favoriser sur des espaces à *renaturer* ou qui bénéficient d'un *temps long*.

Selon les technologies et filières mise en place, un revenu peut être tiré de la vente de biomasse pour valorisation, énergétique et chimique.

SOCIÉTAUX

« Les projets de gestion de la pollution sont généralement bien acceptés par la population puisqu'ils visent à réduire l'exposition de la population au voisinage d'un site pollué, notamment en limitant des voies de transfert des pollutions » (ADEME)

Ces espaces peuvent être à vocation pédagogique et sont propices à des actions de concertation et de communication.

ENVIRONNEMENTAUX

Par nature, cet usage a un impact environnemental positif par son effet de gestion de la pollution. Il s'agit cependant de bien maîtriser les filières de valorisation/élimination après fauchage.

Au-delà de l'intérêt paysager, ces techniques permettent également la valorisation d'espèces locales, le développement de la biodiversité et l'amélioration de la fertilité et de la structure du sol.

Elles demandent peu d'apports énergétiques, mais des impacts peuvent être liés aux usages de fertilisants.

ÉCOSYSTÉMIQUES

« Les phytotechnologies ont pour force principale un objectif sous-jacent : gérer le sol en place et lui permettre d'assurer ses fonctions. Elles doivent tenir compte sur le moyen et long terme de la biodisponibilité des polluants et conduisent à caractériser les communautés d'organismes vivants du sol et favoriser leur développement. In fine, les services écosystémiques rendus par les sols (rétention d'eau, cycle de la matière organique, accueil pour la biodiversité...) sont aujourd'hui au cœur d'une gestion par phytomanagement et se doivent d'être mieux considérés dans la définition des options de gestion de sites pollués. » (ADEME)

Le site géré et restauré peut contribuer aux services écosystémiques :

- Approvisionnement : biomasse non alimentaire
- Régulation : sol propre et sûr ; biodiversité du sol ; stabilité du sol ; capacité de stockage des eaux ; stockage de carbone ; biodiversité
- Culturels : récréation/ tourisme ; paysage ; éducation

STRUCTURATION DE LA FILIÈRE

La phytoremédiation est une approche innovante et intégrative pour la gestion des sites et sols pollués qui considère le sol contaminé non seulement comme un site à réhabiliter mais aussi comme une ressource à exploiter. Bien qu'elles soient encore peu utilisées et fassent encore l'objet de recherches, les phytotechnologies gagnent en maturité.

Si les phytotechnologies ont du mal à se développer, ce n'est plus exclusivement par manque de retours scientifiques, c'est aussi parce qu'elles font appel à de nouveaux métiers, peu représentés dans le monde de la gestion des sites et sols pollués. Les phytotechnologies, et plus globalement le phytomanagement, exigent en plus d'un *temps long* et d'une volonté d'agir : une expertise en pédologie et en génie végétal, mais aussi en agronomie et en génie des procédés (valorisation des biomasses).

À RETENIR

Les phytotechnologies restent encore émergentes sur les marchés des techniques de gestion des sites et sols pollués. Elles peuvent s'appliquer in situ sur une large variété de sols pollués et constituer a priori, des solutions technico-financières particulièrement bien adaptées aux sites pollués de vastes surfaces.

Elles permettent dans certains cas de valoriser économiquement des sols pollués et impropres à la réalisation de cultures alimentaires en produisant de la biomasse herbacée, cellulosique ou ligneuse pour les filières énergétiques et industrielles en limitant les transferts des polluants et/ou en participant à leur dégradation.

À l'échelle de la parcelle, elles peuvent certainement constituer des alternatives aux objectifs de gestion dans des contextes où la durée d'immobilisation du site à gérer n'est pas une contrainte, répondre à des attentes sociétales et développer les services écosystémiques rendus par les sols.



À retenir :

Les +

- Un processus encouragé par le contexte et la loi
- Des services écosystémiques et impacts environnementaux évidents

Les -

- Un manque de retour d'expériences
- Un modèle économique à stabiliser



Structuration de la filière / Ressources

Ressources :

- Les organismes de recherche comme l'INERIS et le BRGM sont des interlocuteurs privilégiés ainsi que l'ADEME qui finance et anime des projets dans le domaine.
 - ADEME : www.ademe.fr
 - INERIS : www.ineris.fr
 - BRGM : www.brgm.fr/

Syndicat :

- UPDS : upds.org
- UPGE : www.genie-ecologique.fr

Guide IDfriches : Quels usages alternatifs pour les friches ?

Auteur : Claire BOURGEOIS (CERF)

Contributeurs : Guillaume LEMOINE (EPF - Nord pas de Calais), Charlotte MARTINEZ (INDURA), Aurélie OHANNESSIAN (AXELERA), Anne-Laure MARECHAL (Région Auvergne-Rhône-Alpes)

Mise en page : Bérengère ROURE (IDfriches)