



EPORA

Établissement public foncier
Au cœur de la région
Auvergne-Rhône-Alpes

Agences d'urbanisme
en Auvergne-Rhône-Alpes
UR
RÉSEAU D'INGÉNIERIE AU SERVICE DES TERRITOIRES



**Approche exploratoire de la
renaturation comme levier de
l'action foncière dans le cadre de
l'objectif *zéro artificialisation
nette***

**Compléments
techniques**

Version du 16/12/2021

SOMMAIRE

I. Définitions et concepts : approfondissements

- SFN (Solutions Fondées sur la Nature)
- Végétalisation / Renaturation / Restauration écologique
- Génie écologique
- Restauration de sols : les phytotechnologies appliquées aux sols pollués (dont phytoremédiation + phytomanagement)
- Artificialisation / Désartificialisation des sols
- Imperméabilisation / Désimperméabilisation des sols
- Le sol et ses composantes (approche pédologique)
- Sols transformés
- Qualité des sols

II. Les réseaux d'acteurs professionnels

- Les acteurs de l'ingénierie écologique
- Les réseaux d'acteurs naturalistes
- Le programme régional Idfriches
- Les acteurs de la recherche
- L'Etat et ses établissements publics

I. Définitions et concepts : approfondissements

Solutions fondées sur la nature

Les solutions fondées sur la nature (SFN) sont définies par l'UICN¹ comme les « **actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité** ».

Elles sont ciblées comme solutions à privilégier « partout où cela est pertinent », tant par le plan national d'adaptation au changement climatique de 2017 que par le plan biodiversité de 2018.

Les solutions d'adaptation fondées sur la nature (SaFN) s'appuient sur les potentialités offertes par les écosystèmes pour répondre plus particulièrement à l'enjeu d'adaptation aux changements climatiques.

Les projets répondant aux objectifs des SFN peuvent concourir notamment à :

- la régulation de la ressource en eau** et la préservation des écosystèmes aquatiques
- la résilience des sols et l'adaptation de l'agriculture**, par exemple en développant des projets d'agroforesterie,
- la résilience de la forêt et l'adaptation des pratiques sylvicoles**, par exemple en adaptant les peuplements,
- la prévention des risques naturels**, par exemple les risques d'incendie en maintenant des milieux ouverts en mosaïque au sein des massifs forestiers, mais aussi les risques gravitaires (avalanches, éboulements, glissements de terrain), d'érosion des sols ou d'inondation.
- la réduction de la vulnérabilité des villes** et l'adaptation aux risques d'îlots de chaleur urbains.

Végétalisation

Processus ou action conduisant à un recouvrement plus ou moins dense des sols par une ou plusieurs espèces de la strate muscinale, herbacée, arbustive et/ou arborescente.

Il peut s'agir :

- ❑ **d'une recolonisation spontanée** par une flore pionnière à la suite d'une altération de l'habitat naturel, puis par une succession d'associations végétales, instaurant une dynamique écologique progressive qui s'inscrit dans la durée (processus de résilience écologique) ;
- ❑ **du résultat d'une ou plusieurs actions humaines**, permettant de favoriser le développement de certaines espèces ou d'introduire des végétaux non présents initialement sur le site. Lorsqu'elle a lieu, cette intervention peut avoir pour objectif d'accélérer ou de "corriger" le processus de recolonisation spontanée, avec une visée fonctionnelle, gestionnaire et/ou esthétique.

La végétalisation est utilisée depuis de nombreuses années pour les bénéfices qu'elle peut apporter à l'homme et à l'environnement (Cf. services écosystémiques) :

- Elle favorise la régulation du cycle de l'eau et permet de prévenir certains risques naturels (inondation, ruissellement, glissements de terrain, chute de blocs...).
- Elle contribue à la circulation de l'air, voire parfois à la filtration et à l'absorption de certaines particules atmosphériques polluantes, mais elle peut être elle-même source de substances toxiques ou d'allergènes.
- Elle améliore souvent le confort thermique estival, en particulier en ville.
- Elle peut aussi contribuer à la gestion des sols pollués, mais pas nécessairement à leur dépollution.

La végétalisation n'est pas toujours synonyme de diversité biologique. Réalisée de manière rudimentaire et en l'absence de gestion intégrée, elle peut même contribuer à la banalisation de la flore et de la faune en raison de la sélection d'un nombre limité d'espèces.

La végétalisation est donc une composante possible de la renaturation, mais toutes les formes de végétalisation ne participent pas nécessairement à un processus de renaturation.

Renaturation

Dans une acception large, la renaturation peut être définie comme un ***retour à l'état naturel ou semi-naturel des écosystèmes qui ont été dégradés, endommagés ou détruits par les activités humaines***, l'objectif étant de retrouver :

- une **fonctionnalité écologique**,
- une **capacité des milieux à s'autoentretenir**,
- un **bouclage des cycles naturels du carbone, de l'eau et de l'azote**,

en mimant les caractéristiques des systèmes naturels.

La renaturation peut être le fruit d'une démarche volontaire assistée par l'homme ; elle peut aussi simplement consister en l'arrêt des perturbations humaines ¹

D'autres définitions, comme celle proposée par le dictionnaire Larousse, mettent explicitement l'accent sur une intervention humaine, semblant exclure toute possibilité de retour spontané du milieu vers l'état naturel initial : « *Opération permettant à un milieu modifié et dénaturé par l'homme de retrouver un état proche de son état naturel initial* ».

La renaturation peut prendre des formes multiples

Le projet de renaturer un site doit passer par une réflexion globale pour en définir les objectifs en prenant en compte l'état initial du milieu, son potentiel de restauration et, selon les cas, les usages actuels et futurs du site.

Un même site pouvant accueillir plusieurs **formes de renaturation** répondant à différents objectifs.

Rappel : différentes formes de renaturation :

- ❑ **Renaturation faisant appel à l'ingénierie écologique** basée sur la conception d'aménagements puis de modes de gestion durables, adaptatifs et multifonctionnels faisant appel aux mécanismes qui gouvernent les systèmes écologiques. C'est une approche centrée sur la biodiversité qui vise un minimum d'intervention humaine.
- ❑ **Renaturation par la reconquête spontanée**, c'est-à-dire l'arrêt d'intervention et de perturbation humaine dans ces espaces. Les espèces sauvages s'installent d'elles-mêmes, tout d'abord les espèces pionnières. L'évolution du site dépend directement du contexte pédologique et écologique.

Sa réussite demande une vigilance quant au **développement des espèces invasives**, très dynamiques, qui peuvent prendre le dessus par rapport aux espèces indigènes sur des sites où les sols ont été perturbés, déstructurés ou compactés. La possibilité d'inscrire le site dans un maillage écologique fonctionnel peut ainsi constituer un gage de succès.

Restauration écologique et Génie écologique

La restauration écologique est définie par la *Society for ecological restoration* comme le « **processus qui assiste le rétablissement d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit** »¹. Elle s'appuie sur une multiplicité d'approches et de techniques au sein d'une discipline scientifique et technique récente dénommée **écologie de la restauration**. Son application opérationnelle relève du génie écologique.

« **Le génie écologique** permet la reconstitution de milieux naturels, la restauration de milieux dégradés et l'optimisation de fonctions assurées par les écosystèmes. Il s'agit de l'ensemble des actions qui, grâce à l'intervention humaine, contribue à « réparer" certains écosystèmes et certaines fonctionnalités. »

Définition proposée par l'Office français pour la biodiversité

Ecologie ingénieriale, ingénierie écologique, génie écologique : qui fait quoi ?



Source : IRSTEA

Exemple de restauration d'une friche industrielle par le génie écologique : le projet Bio-tubes, vallée de la chimie (sud Lyon)

- Projet mené de 2016-2019, coordonné par la société Valorhiz en partenariat avec le BRGM et ELISOL environnement / Avec le soutien de l'Ademe
- Objectif : suivi comparé de différentes modalités d'intervention sur les sols

Modalités d'expérimentation :

- ❑ 4 parcelles tests selon 4 modalités différentes (M0, M1, M2 et M3) et 30 mois de suivi.
- ❑ Suivi photographique régulier et application d'un ensemble d'indicateurs pour appréhender la restauration de différentes fonctions : stock de carbone, dynamique du carbone, support de biodiversité (bactéries, nématodes, végétation et régulation biologique).

- M0 : parcelle « témoin » de sol dégradé laissée en libre évolution.
- M2 : parcelle décompactée et traitée par le génie écologique seul (ensemencement et plantation d'arbres).
- Les mêmes opérations de génie écologique ont été menées sur deux types de technosol (sol ici reconstruit par apport de matériaux) : l'un avec des matériaux pauvres en matière organique (M1), l'autre avec des matériaux riches (M3).

❑ Résultats (après 30 mois) :

- La fonction de stockage de carbone a évolué favorablement sur les quatre parcelles (valeur la plus élevée = M3 / Evolution la plus importante = M 2).
- La fonction support de biodiversité est restaurée de manière satisfaisante, sauf pour M1 (technosol pauvre + génie écologique).

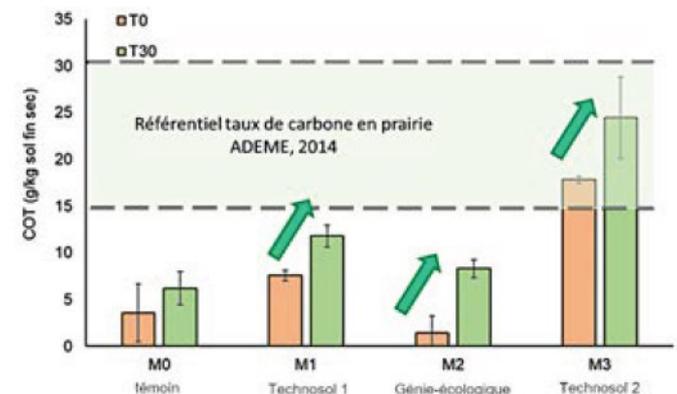


Schéma : évolution en 30 mois de la fonction de stockage de carbone (Source : Taugourdeau et al., 2020.)

Restauration des sols

Les phytotechnologies appliquées aux sols pollués

Certaines plantes sont capables de fixer, dégrader ou accumuler des polluants présentant des similitudes atomiques ou moléculaires avec les nutriments nécessaires à leur croissance.

La **Phytoremédiation¹ (ou phytorestauration)** a pour objectif d'utiliser les plantes comme principal agent de traitement des pollutions. Elle sert notamment dans la dépollution des sols, l'épuration des eaux usées ou l'assainissement de l'air intérieur. Elle participe des techniques de restauration écologique.



Les **phytotechnologies utilisées pour la phytoremédiation** regroupent l'ensemble des techniques qui utilisent *in situ* des espèces végétales pour contenir, extraire ou dégrader des polluants inorganiques ou organiques. Elles ont pour objectif d'améliorer les fonctions et la structure du sol. Ces techniques constituent une alternative ou un complément aux techniques conventionnelles dans le cas notamment de surfaces polluées importantes.

Selon le métabolisme de la plante, **différentes stratégies de phytoremédiation** sont possibles² :

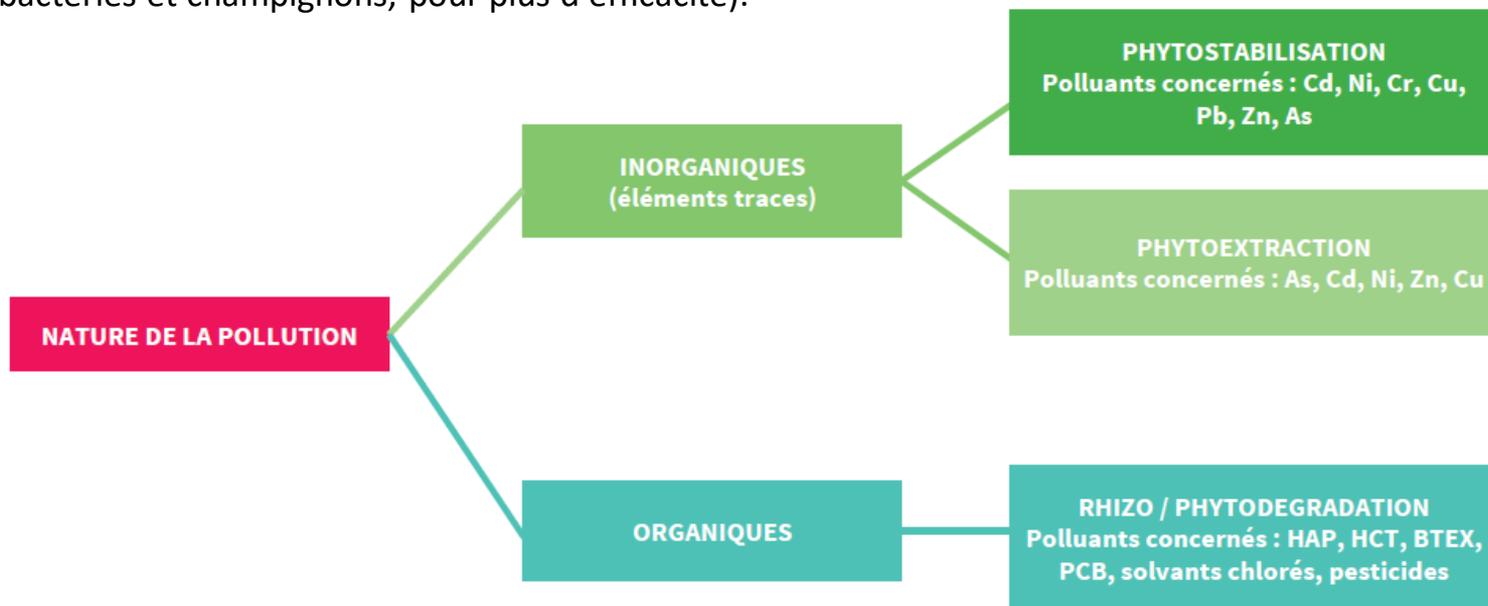
- la phytostabilisation
- la phytoextraction
- la phytodégradation

Restauration des sols

Les phytotechnologies appliquées aux sols pollués

Quels polluants peut-on traiter avec les phytotechnologies¹ ?

- **La phytostabilisation et la phytoextraction** : utilisables pour la gestion des sols pollués par les métaux (ex : nickel, zinc, cadmium) et métalloïdes (ex : arsenic).
- **La phyto/rhizodégradation** : entre en jeu lors de la présence de polluants organiques, afin d'aider à les dégrader (à réaliser en association à une dégradation par les microorganismes rhizosphériques, bactéries et champignons, pour plus d'efficacité).



Source : Ademe, Ineris, ISA-Lille, Mines Saint-Etienne. 2017.

Restauration des sols

Les phytotechnologies appliquées aux sols pollués

La **phytostabilisation¹** est une technique de stabilisation basée sur l'utilisation des végétaux.

- Ce n'est pas une technique de dépollution mais un mode de gestion destiné à stabiliser les éléments traces du sol, c'est-à-dire les métaux (ex : zinc, cadmium) et les métalloïdes (ex : arsenic).
- Les espèces végétales, éventuellement en combinaison avec des amendements (phytostabilisation aidée), réduisent la mobilité des polluants et donc les transferts horizontaux et verticaux de polluants.

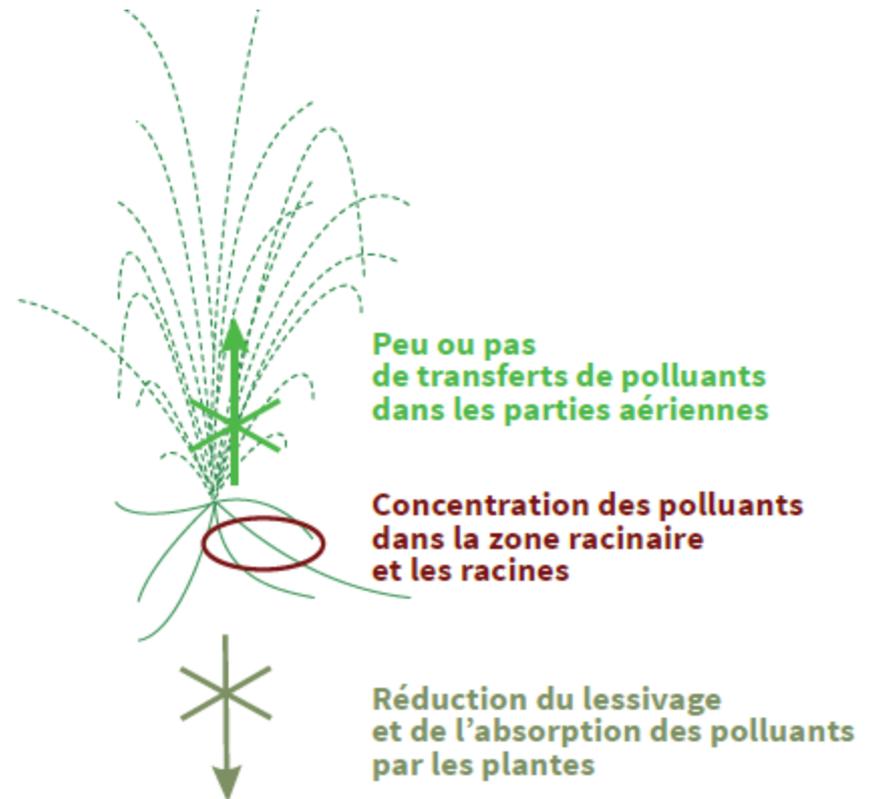


Schéma de fonctionnement de la phytostabilisation

Source : Ademe, Ineris, ISA-Lille, Mines Saint-Etienne. 2017.

Restauration des sols

Les phytotechnologies appliquées aux sols pollués

La **phytostabilisation** : choix techniques des espèces végétales¹

Les espèces végétales à utiliser, de préférence locales, doivent posséder deux principales caractéristiques :

- Peu ou pas de transfert des polluants du système racinaire vers les parties aériennes des plantes
- Résistance aux polluants inorganiques (métaux et métalloïdes)

D'une manière générale, les plantes de la famille des poacées (graminées) possèdent ces caractéristiques ainsi que les salicacées (saules et peupliers).

| | Usage futur | Espèces préconisées | Noms latins |
|-----------------------------|---|---|---|
| Valorisation de la biomasse | Bois-énergie | Arbres et arbustes à croissance rapide et à forte biomasse ; miscanthus | <i>Salix sp., Populus sp., Miscanthus sp.</i> |
| | Compostage | Poacées* | |
| | Méthanisation à la ferme | Maïs ; tournesol ; luzerne ; blé | <i>Zea maïs, Heliantus annuus, Medicago sativa, Triticum sp.</i> |
| | Éco-matériaux | Miscanthus | <i>Miscanthus sp.</i> |
| | Gazéification | Tout type de biomasse | <i>Salix sp., Populus sp., etc.</i> |
| Valorisation écologique | Bioraffineries (biocarburants, etc.) | Blé ; maïs ; tournesol | <i>Triticum sp., Zea maïs, Heliantus annuus</i> |
| | Aménagement paysager | Saules, calamagrostide, joncs | <i>Salix sp., Calamagrostis sp., Juncus sp.</i> |
| | Accroissement de la biodiversité (trame verte et bleue) | Végétation colonisatrice | <i>Agrostis sp., Lolium perenne, Calamagrostis sp., Festuca sp., Deschampsia sp. Phragmites australis, Typha sp., Alnus glutinosa, Robinia pseudoacacia, etc.</i> |
| | Non connu | Végétation colonisatrice | <i>Agrostis sp., Lolium perenne, Calamagrostis sp., Festuca sp., Deschampsia sp. Phragmites australis, Typha sp., Alnus glutinosa, Robinia pseudoacacia, etc.</i> |

Espèces végétales préconisées selon les filières de valorisation de la biomasse produite par la phytostabilisation / Source tableau : Ademe, Ineris. 2013.

Restauration des sols

Les phytotechnologies appliquées aux sols pollués

La **phytoextraction**¹ est l'utilisation d'espèces végétales pour réduire les concentrations de polluants dans les sols, et ainsi contribuer à leur dépollution.

- Les végétaux accumulent les éléments traces dans leurs parties aériennes récoltables.
- La dépollution n'est cependant que partielle car elle ne concerne que la fraction phytodisponible de polluant, c'est-à-dire la fraction de polluant susceptible d'être assimilée par les espèces végétales utilisées.

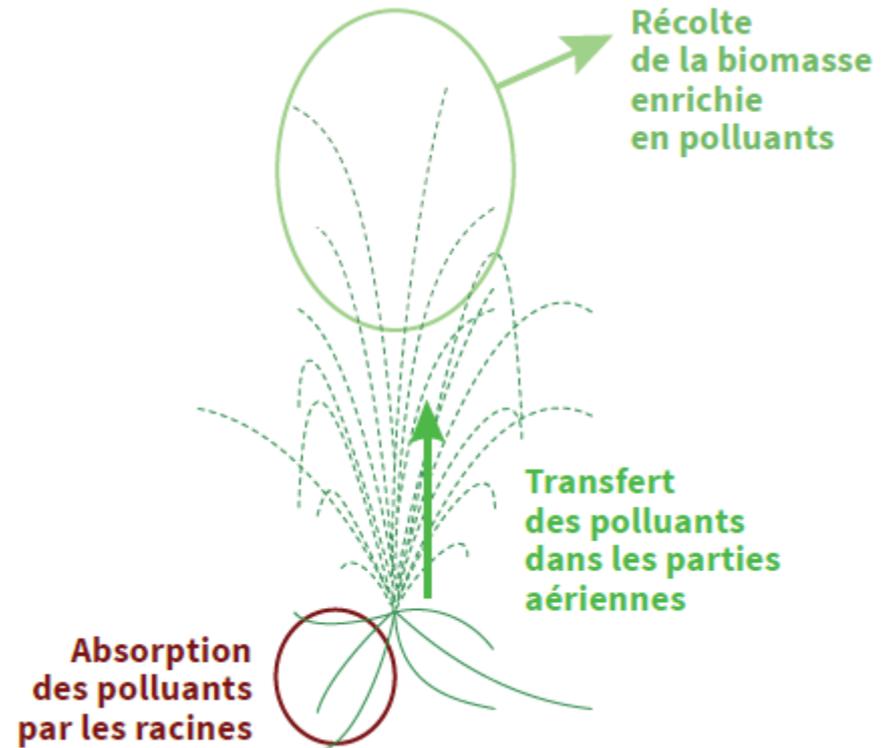


Schéma de fonctionnement de la phytoextraction

Source : Ademe, Ineris, ISA-Lille, Mines Saint-Etienne. 2017.

Restauration des sols

Les phytotechnologies appliquées aux sols pollués

La phytoextraction : choix techniques des espèces végétales¹

Les espèces végétales à utiliser, de préférence locales, doivent posséder les caractéristiques suivantes :

- Transfert important de polluants vers les parties aériennes
- Croissance rapide avec production de biomasse élevée (pour permettre plusieurs récoltes par an des parties aériennes enrichies en polluants)
- Résistance aux polluants inorganiques (métaux et métalloïdes)
- Être facilement récoltables mais non appétentes pour ne pas être mangées par les animaux herbivores.

| Polluant | Espèces préconisées | Noms latins | Filières de valorisation |
|----------|--|--|---|
| Cadmium | Hyperaccumulateurs | <i>Thlaspi (Nocca) caerulescens</i> , <i>Arabidopsis halleri</i> | Co-combustion, gazéification, hydro-métallurgie |
| | Arbres et arbustes à croissance rapide et à forte biomasse | <i>Salix sp.</i> , <i>Populus sp.</i> | Bois-énergie, gazéification |
| | Herbacées à forte biomasse | <i>Zea maïs</i> , <i>Heliantus annuus</i> , <i>Brassica napus</i> | Bioraffineries (biocarburants, etc.) |
| Zinc | Hyperaccumulateurs | <i>Thlaspi (Nocca) caerulescens</i> , <i>Arabidopsis halleri</i> | Co-combustion, gazéification, écomatériaux catalytiques et synthèse de biomolécules |
| | Arbres et arbustes à croissance rapide et à forte biomasse | <i>Salix sp.</i> , <i>Populus sp.</i> | Bois-énergie, gazéification |
| | Herbacées à forte biomasse | <i>Zea maïs</i> , <i>Heliantus annuus</i> , <i>Brassica napus</i> | Bioraffineries (biocarburants, etc.) |
| Arsenic | Hyperaccumulateurs | <i>Pteris vittata</i> | Solvolyse |
| Nickel | Hyperaccumulateurs | <i>Alyssum murale</i> , <i>Alyssum corsicum</i> | Hydro-métallurgie, écomatériaux et synthèses d'agents thérapeutiques |
| Cuivre | Herbacées à forte biomasse | <i>Nicotiana tabacum</i> , <i>Heliantus annuus</i> , <i>Brassica napus</i> | Hydro-métallurgie, solvolyse |
| Cobalt | Hyperaccumulateurs | <i>Alyssum murale</i> | - |

Espèces végétales préconisées pour la phytoextraction selon le type de polluant / Source tableau : Ademe, Ineris. 2013.

Restauration des sols

Les phytotechnologies appliquées aux sols pollués

La **phyto / rhizodégradation**¹ est une technique utilisant des végétaux et des microorganismes pour dégrader des polluants organiques en constituants élémentaires (minéralisation)

- Des descriptifs techniques détaillés de ces techniques, les préconisations pour leur application ainsi que des exemples d'application sont disponibles dans un guide Ineris / Ademe de 2013 (état de l'art et guide de mise en œuvre)

>> *possibilité d'aller plus loin si souhait d'Epora*

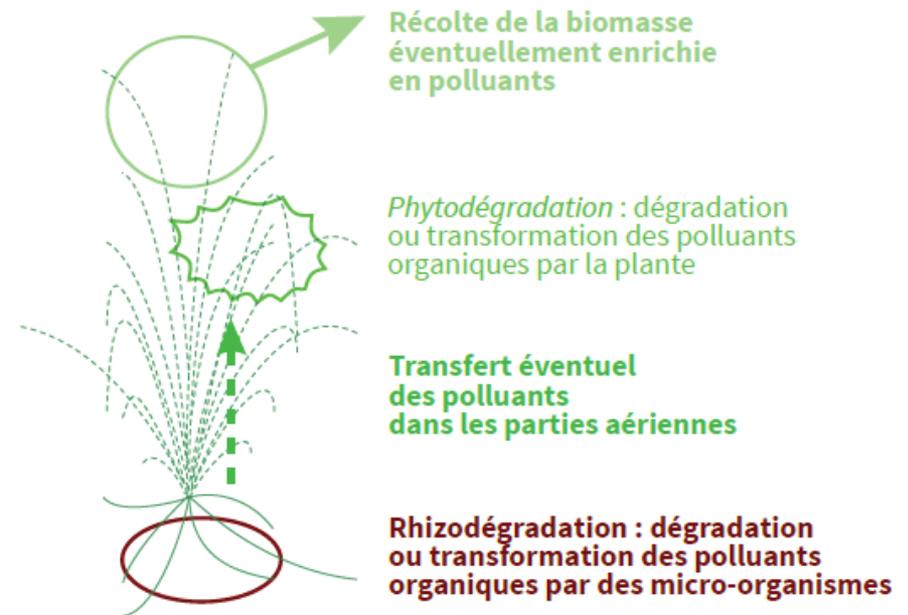


Schéma de fonctionnement de la rhizo/phytodégradation,
Source : Ademe, Ineris, ISA-Lille, Mines Saint-Etienne. 2017.

Restauration des sols

Les phytotechnologies appliquées aux sols pollués

La phyto / rhizodégradation : choix techniques des espèces végétales¹

Les espèces végétales à utiliser, de préférence locales, doivent posséder les caractéristiques suivantes :

- Tolérantes aux polluants et aux conditions environnementales du site
- Capables de dégrader (phytodégradation) ou de favoriser la biodégradation microbienne (rhizodégradation) des polluants présents dans le sol
- Faciles à implanter et à cultiver
- Productrices d'une biomasse importante (densité racinaire et surface foliaire)

| Polluants organiques | Principales espèces préconisées | Noms latins des espèces préconisées |
|--|--|---|
| HCT, HAP, BTEX | – Luzerne, Ray-grass anglais, Trèfle, Miscanthus, Fétuque – Peuplier – Saule | – <i>Medicago Sativa</i> , <i>Lolium perenne</i> , <i>Trifolium repens</i> , <i>Miscanthus giganteus</i> , <i>Festuca arundinacea</i> – <i>Populus berolinensis</i> , <i>P. deltoides</i> , <i>P. nigra</i> – <i>Salix alba</i> , <i>S. nigra</i> |
| PCB, PCDD, PCDF | – Luzerne, Trèfle, blé, Carex, Spartine | – <i>Medicago Sativa</i> , <i>Trifolium repens</i> , <i>Triticum sp.</i> , <i>Carex aquatilis</i> , <i>Spartina pectinata</i> |
| Solvants chlorés (TCE hémichloroéthane, ...) | – Saule – Peuplier | – <i>Salix nigra</i> – <i>Populus deltoides</i> , <i>P. trichocarpa</i> |
| Pesticides (atrazine, DDT, alachlor, ...) | – Luzerne, Maïs, Pois, Trèfle | – <i>Medicago Sativa</i> , <i>Zea mays</i> , <i>Pisum sativum</i> , <i>Trifolium pratense</i> |
| Explosifs (TNT, RDX, ...) | – Blé, Papyrus – Peuplier | – <i>Triticum aestivum</i> , <i>Cyperus esculentus</i> – <i>Populus deltoides</i> , <i>P. nigra</i> |

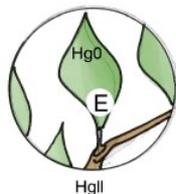
Especies végétales préconisées pour la phyto / rhizodégradation selon le type de polluant organique / Source tableau : Ademe, Ineris. 2013.

Restauration des sols

Les phytotechnologies appliquées aux sols pollués

Exemple d'illustration synthétique des capacités de la plante pour la phytoremédiation

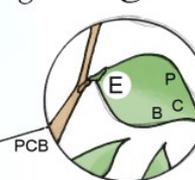
Phyto Volatilisation



Hg0 est 100 x moins toxique que HgII

Certaines plantes absorbent les polluants et les libèrent après transformation en une substance moins toxique dans l'atmosphère, par la transpiration.

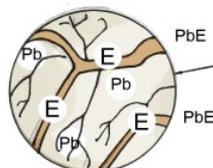
Phyto Dégradation



Elles absorbent et décomposent les polluants (grâce aux enzymes, y compris des processus d'oxydo/réduction). Ces derniers sont dégradés et fixés dans la plante, ou libérés sous une forme moins toxique dans le sol.

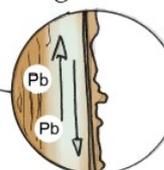
Phyto Stabilisation

Elles peuvent séquestrer (rhizofiltration) ou immobiliser (phytostabilisation) les polluants, grâce aux racines. Elles libèrent également des enzymes qui convertissent les contaminants en molécules moins toxiques.



Cette stabilisation limite la migration des polluants dans le sol, l'eau et l'air

Phyto Extraction



Elles absorbent les contaminants (métaux, radionucléides etc.) avec les racines et les accumulent dans les tissus des tiges, bois, et feuilles.

Nous pouvons récupérer ces polluants « piégés » dans les tissus aérien de la plante et les traiter comme déchets spéciaux.

Source schéma :
Ôbio, bureau d'études
spécialisé en
phytorémédiation

Phytomanagement

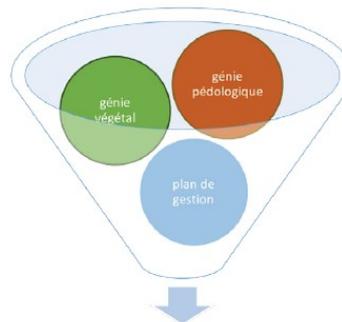
Le **phytomanagement**¹ est une **approche de gestion** d'un site dégradé ou délaissé permettant d'accroître progressivement sa valeur directe ou indirecte en faisant appel à un ensemble de techniques utilisant les végétaux, et soucieux de la fonctionnalité du sol. Le phytomanagement apparaît comme un moyen de procéder à la renaturation.

Le **terme Phytomanagement** a été proposé au début des années 2000 par des chercheurs spécialistes de la phytoremédiation des sols pollués dans l'objectif d'inscrire les phytotechnologies au cœur du plan de gestion d'un site.

Cette **double dimension (technologique et managériale)** distingue le phytomanagement du **génie végétal**, qui propose, quant à lui, un ensemble de techniques faisant intervenir le végétal mais sans la dimension managériale du site.

Fiche IDFRiches « Phytomanagement », avril 2021

PHYTOMANAGEMENT : Une approche bidimensionnelle associant génie végétal et pédologique au plan de gestion du site



PHYTOMANAGEMENT

Génie pédologique : techniques d'ingénierie écologique pour les sols apportant des solutions de refonctionnalisation des sols, voire de construction de sols.

Source schéma : Fiche IDFRiches « Phytomanagement », avril 2021

Artificialisation / Désartificialisation des sols

Artificialisation :

Selon le projet de loi portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets,

« Un sol est regardé comme artificialisé si l'occupation ou l'usage qui en est fait affecte durablement tout ou partie de ses fonctions écologiques, en particulier ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques ainsi que son potentiel agronomique. Les surfaces de pleine terre ne sont pas considérées comme artificialisées »

Version déposée au Sénat le 04/05/21

Cette définition – encore provisoire et qui doit être précisée par décret – peut conduire à envisager l'artificialisation des sols au travers de 3 composantes principales :

- la biodiversité**, reflet des fonctions biologiques du sol ;
- la perméabilité des sols et leur couverture végétale**, qui facilitent les fonctions hydriques et climatiques ;
- la qualité des sols**, pour leur potentiel agronomique, mais aussi au regard de leur aptitude à stocker le carbone atmosphérique.

La **désartificialisation des sols** peut de son côté être appréhendée comme un ensemble d'actions permettant de restaurer certaines fonctions écologiques des sols qui avaient été dégradées ou d'en développer de nouvelles.

Imperméabilisation / Désimperméabilisation des sols

L'**imperméabilisation** correspond au recouvrement permanent du sol par un matériau imperméable. Elle altère la plupart des fonctions des sols de façon irréversible, en particulier celles qui concernent la régulation des flux hydriques.

Selon le *Guide de la ville perméable*¹, « la désimperméabilisation consiste à **remplacer des surfaces imperméables par des surfaces plus perméables, en permettant ainsi de rétablir au mieux les fonctions assurées par le sol avant aménagement** : capacités d'infiltration, échange sol-atmosphère, stockage de carbone, biodiversité, etc. »

Dans le cadre de la mise en œuvre du SDAGE², les actions permettant une meilleure infiltration des eaux pluviales par rapport à la situation précédente peuvent être considérées comme de la "désimperméabilisation", en particulier le fait de déconnecter les eaux pluviales des réseaux d'assainissement pour les infiltrer.



Villeurbanne
Ecole Edouard
Herriot



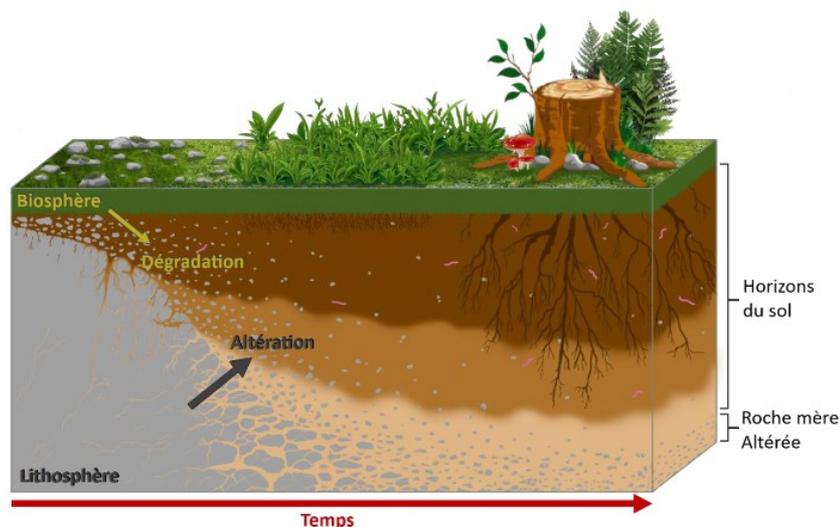
¹ Comité de bassin Rhône-Méditerranée, mars 2017.

² Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux.

Sol : approche pédologique

Interface issue de la dégradation des organismes vivants dans le sol et à sa surface (biosphère), qui fournit de la matière organique, et de l'altération des roches (lithosphère) qui apporte la matière minérale : argiles, limons, sables, éléments grossiers.

La **pédogenèse** désigne l'ensemble des processus conduisant à la formation et à l'évolution des sols. Ceux-ci sont généralement considérés comme des ressources non renouvelables à l'échelle humaine et donc fragiles.



Le sol et son évolution au cours du temps – figure tirée de la description des grandes familles de sols de France métropolitaine (*Sols&Territoires*, 2019)

Une trentaine de familles de sols naturels sont identifiés en France métropolitaine, correspondant chacune à des contextes géologiques et bioclimatiques spécifiques (lithosols, fluvisols, calcisols, brunisols, podzosols...).



Sols transformés

Les sols transformés ou **produits par l'activité humaine** sont généralement désignés sous les termes anthroposols – ou anthrosols – et technosols, avec souvent des nuances dans ce que peut recouvrir ces appellations.

Définitions proposées :

- ❑ **Anthroposols** : sols fortement modifiés ou fabriqués par l'homme, souvent en milieu urbain mais aussi, dans des conditions particulières, en milieu rural. Les modifications des sols en milieu urbain touchent généralement de faibles superficies contrairement aux sols modifiés en zone rurale. (extrait de la définition du référentiel pédologique français de 2008)
- ❑ **Technosols** : dans une acception large, on peut les considérer comme la fraction "urbaine" et "industrielle" des anthroposols. Ils peuvent résulter de la troncature de la partie supérieure du sol, du compactage par le trafic ou lié à la préparation de la construction de bâtiments, du scellement par des revêtements de chaussée, de l'alcalisation par contamination à la suite d'épandages de produits variés, de la pollution par des métaux, des acides ou autres produits chimiques, ou encore du dépôt de matériaux terreux de déchets et sous-produits plus ou moins contaminés.

Le terme "technosol" peut également être utilisé pour désigner un sol construit ou reconstitué selon des processus impliquant au moins pour partie des matériaux techniques, le plus souvent dans une logique de restauration écologique ou agronomique. Dans ce cas, la terminologie "bio-technosol" est aussi parfois employée.

Qualité des sols

La qualité des sols peut être appréciée à travers leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques, en particulier leur aptitude à stocker les matières minérales et organiques, ainsi que le rôle qu'ils jouent dans le développement de la vie animale et végétale.

Le GIS Sols¹ propose de les caractériser principalement à travers :

- ❑ **leur texture**, résultant du mélange de particules minérales de taille différentes constitutives des sols : argiles, limons, sables. Elle influence la rétention et la circulation de l'eau et des gaz dans le sol et conditionne le comportement mécanique des sols ;
- ❑ **leur profondeur**, facteur majeur de la capacité de production et de filtration. Plus un sol est profond, plus il renferme d'eau et de nutriments et plus le temps de transport dans le sol des molécules est long, permettant leur rétention ou leur dégradation ;
- ❑ **la nature des minéraux qui les constituent** – en particulier les minéraux argileux – car celle-ci détermine les propriétés chimiques qui régulent le comportement du sol en termes de mobilité, d'accumulation et de transfert des éléments minéraux ou des molécules qui circulent dans la solution du sol.

Les matières organiques du sol se définissent comme "tout ce qui est vivant ou a été vivant dans le sol". Ce carbone organique provient de la décomposition des végétaux ou d'apports de matière organique exogène (ex : effluents d'élevage). Les matières organiques du sol sont ensuite dégradées plus ou moins rapidement sous l'action des micro-organismes du sol en fonction des conditions du milieu. **Les sols peuvent alors constituer tantôt un puits tantôt une source de CO₂ atmosphérique.**

Qualité des sols

Les sols sont soumis à différents **facteurs de dégradation** qui peuvent altérer, voire leur faire perdre leurs propriétés physiques, chimiques ou biologiques.

- ❑ **Le tassement** est l'effet de la pression exercée par les engins d'exploitation agricole et forestière, mais aussi de l'urbanisation ou du piétinement. Il réduit le potentiel agronomique des sols et accroît le risque de lessivage des nitrates, l'émission de gaz à effets de serre, le ruissellement et l'érosion des sols.
- ❑ **L'érosion** résulte de l'ablation des couches superficielles du sol et du déplacement des matériaux le constituant. Elle peut résulter de l'action de l'eau (ruissellement, coulées d'eau boueuse), du vent, des rivières, des glaciers ou de l'activité humaine.
- ❑ **La contamination par des éléments traces métalliques** (cuivre, plomb, cadmium, chrome, cobalt, zinc...) peut être d'origine naturelle ou humaine. En cas de teneur trop élevée, ces éléments traces peuvent devenir écotoxiques et être transférés vers les chaînes alimentaires et la ressource en eau.
- ❑ **La contamination par des polluants organiques persistants ou des pesticides** est essentiellement d'origine anthropique. Leur résistance à la dégradation naturelle et leur capacité à se stocker durablement dans les tissus vivants en font un enjeu majeur de santé publique.
- ❑ **Le développement de pathogènes** peut être naturel ou résulter de certaines pratiques agricoles (épandages, irrigation...).
- ❑ **L'imperméabilisation** correspond au recouvrement permanent du sol par un matériau imperméable. Elle altère la plupart des fonctions des sols de façon irréversible, en particulier celles qui concernent la régulation des flux hydriques.

L'état initial du sol : un facteur clé

L'état initial du sol¹ constitue un facteur clé pour définir les objectifs du projet selon les moyens disponibles.

Une restauration active n'est pas toujours pertinente : tout dépend des usages futurs du site, des potentialités des sols et du patrimoine présent, des moyens mobilisables et du temps dont on dispose.

Certains sols pauvres et carencés méritent d'ailleurs de rester en place dans la durée : ils constituent des habitats atypiques et parfois riches en biodiversité

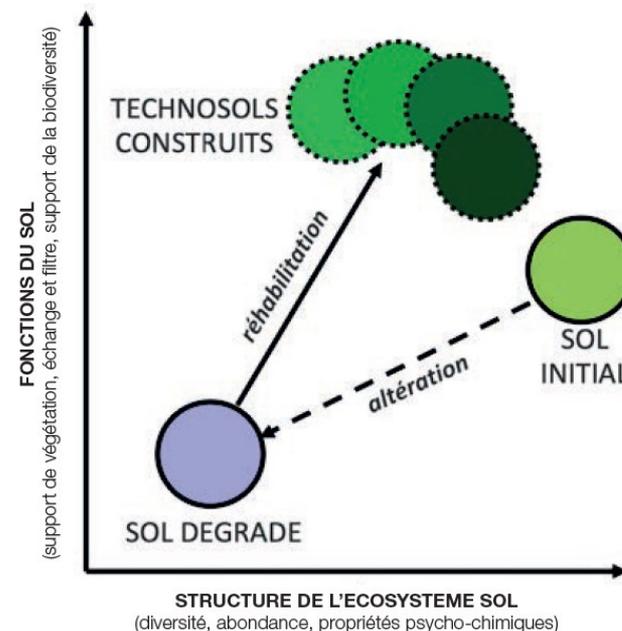
Dans ce cadre, il s'agit prioriser les fonctions du sol à restaurer.

Réhabilitation par le génie pédologique

La composition initiale du sol et les facteurs d'altération amenant au sol dégradé sont à connaître.

Ils permettent d'orienter vers des objectifs fonctionnels et écologiques adaptés

(Schéma d'après Bradshaw, 2002)



II. Les réseaux d'acteurs professionnels

« Zoom Sur » : les acteurs de l'ingénierie écologique

☐ Au niveau national : des ressources liés à des réseaux professionnels

UPGÉ

L'Union professionnelle du génie écologique (UPGE) : fédération des entreprises françaises du génie écologique (fondée en 2008). Mission de structurer la filière et regroupe des adhérents diversifiés : BE naturalistes et écologues, AMO, maîtrises d'œuvre, entreprises de travaux, génie végétal et biologique, ...

Plante&Cité
Ingénierie de la nature en ville
Center for landscape and urban horticulture

Plante&Cité, l'ingénierie de la nature en ville : organisme national d'études et d'expérimentations adossé à un réseau des professionnels et des collectivités œuvrant pour la nature en ville. Un centre technique avec une dimension « recherche et expérimentation » marquée. Statut d'association loi 1901 (créée à Angers en 2006). En 2020, Plante & Cité compte 612 structures adhérentes.

CDC BIODIVERSITÉ 

CDC Biodiversité : filiale à 100% de la Caisse des Dépôts avec pour objectif d'agir pour la biodiversité, en identifiant et en développant des leviers économiques (réglementaires, volontaires...) pour financer la préservation et la restauration de la nature. Un axe d'intervention fort en lien avec la compensation écologique. Peut conduire des travaux de réhabilitation écologique de sites.

« Zoom Sur » : réseaux d'acteurs naturalistes

☐ Au niveau régional : les partenaires experts de la biodiversité et les gestionnaires de milieux naturels



Les conservatoires d'espaces naturels (CEN) organisés en réseau régional : animent le pôle gestion milieux naturels AuRA. Investis sur l'aide à la mise en place et au suivi des mesures compensatoires.



L'Association Rivière Rhône Alpes Auvergne (ARRAA) : regroupe depuis 1999 les différents acteurs concernés par la gestion des milieux aquatiques au sein d'un réseau professionnel régional. Elle compte aujourd'hui plus de 1 300 membres.



Conservatoires botaniques nationaux alpins et du Massif central (CBNA et CBNMC) : expérimentation de techniques végétales pour restaurer des écosystèmes dégradés et/ou végétaliser des pistes de ski. Les CBN aident l'OFB à développer la marque « végétal local » (créée en 2005) avec l'objectif de mettre en place une véritable filière locale (actuellement environ 60 producteurs associés).



Associations de protection de la nature, comme la Ligue pour la Protection des Oiseaux d'Auvergne Rhône-Alpes (LPO AuRA) dont l'un des buts est d'encourager et accompagner l'intégration de la biodiversité dans l'action des pouvoirs publics.

« Zoom Sur » : IDfriches

☐ Au niveau régional : le programme IDfriches Auvergne Rhône-Alpes



IDfriches

Auvergne-Rhône-Alpes

Vocation de soutien et recherche de solutions pour accélérer la reconversion des friches. Créé en janvier 2015 sous l'impulsion de la Région. Réuni des spécialistes de la gestion foncière, des professionnels des travaux publics et de la dépollution, des chercheurs en remédiation des sols. Aujourd'hui portés par deux principaux réseaux professionnels, le pôle de compétitivité AXELERA et le cluster régional INDURA. Comprend également le Centre d'échanges et de ressources foncières (CERF) Auvergne Rhône-Alpes.

Nombreuses publications techniques de références :

- Guide usages alternatifs sur les friches (2019, mise à jour 2020)
- Fiche technique Phytomanagement (2021)
- Guide « Quelles solutions pour accélérer la requalification des friches ? » (2021)

« Zoom Sur » : les acteurs de la recherche

- ❑ Des établissements publics de recherche investis sur les thèmes de l'écologie de la restauration et des sols :



INRAE Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement.

Issu de la fusion le 1er janvier 2020 entre l'Inra, Institut national de la recherche agronomique et Irstea, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture.



CNRS dont **INEE** (Institut Ecologie et Environnement) : comprendre la biosphère pour agir en sa faveur.



BRGM : Service géologique national. Référence dans les applications des sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol.

- ❑ **Le programme interdisciplinaire de recherche IngEco, piloté par l'INEE**

- Programme initié en 2007 par le CNRS, en partenariat avec l'Irstea avec pour objectif de « repérer et de structurer une communauté scientifique capable d'anticiper sur une nouvelle demande forte de recherche » en matière d'ingénierie écologique.
- Plusieurs appels d'offres ont ainsi été lancés, qui ont abouti au financement de 80 projets, mais aussi à la création de **trois réseaux au croisement de la recherche et des professionnels** : Gaié (Groupe d'application de l'ingénierie des écosystèmes), REVER (Réseau d'échanges et de valorisation en écologie de la restauration), AgéBio (Association française de génie biologique pour le contrôle de l'érosion des sols).
- Le programme s'est arrêté en 2011 mais les réseaux semblent toujours fonctionner.

« Zoom Sur » : l'Etat et ses établissements publics

❑ Rôles d'impulsion, de financement mais aussi d'assistance et d'animation



Office Français de la Biodiversité : créé au 1er janvier 2020 sous la double tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Regroupe les agents de l'Agence française pour la biodiversité (AFB) et de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS).

- Anime le centre de ressources du Génie écologique (www.genieecologique.fr/)
- Pilote le projet Life intégré ARTISAN (Accroître la Résilience des Territoires au changement climatique par l'Incitation aux Solutions d'adaptation fondées sur la Nature)



Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement : propose aux collectivités un accompagnement sur le thème de la compensation écologique.



L'Institut national de l'environnement industriel et des risques : apports d'expertises et de méthodes sur l'étude et la renaturation des sols contaminés. Exemples l'application de phytotechnologies aux sites pollués.



Agence de la transition écologique (Ademe) : accompagne également la reconversion des friches polluées (afin de limiter l'étalement urbain et répondre à l'enjeu de l'économie du foncier). Soutien les Solutions Fondées sur la Nature (SFN).