

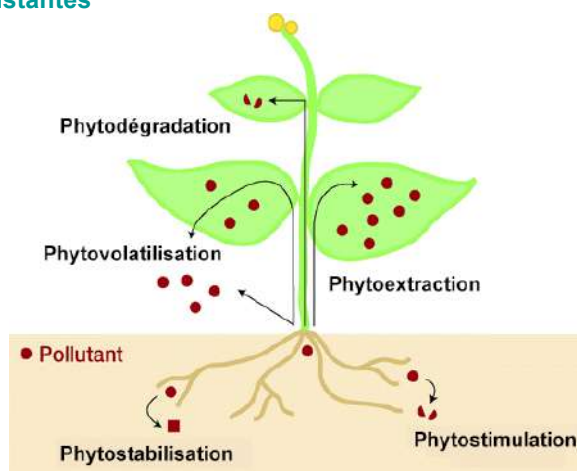
> GESTION DES ZONES POLLUÉES GRÂCE AUX PLANTES (PHYTOREMÉDIATION)

// Description générale et caractérisation de l'entité de la SfN

I.1 Définition et différentes variantes existantes

Définition	Cette SfN est basée sur l'utilisation de plantes et d'arbres et sur leur interaction avec des micro-organismes pour le traitement de sols pollués. Le concept est très vaste et couvre ainsi une gamme de technologies relativement différentes. Nous allons étudier les phytoremédiation.
-------------------	--

Différentes variantes existantes



Mode d'action des plantes sur les polluants du sol (*Pilon-Smits, 2005*)

La phytoremédiation rassemble quatre modes différents d'action :

=>Phytostabilisation

La surface est protégée contre le phénomène de dégradation, ce qui limite le déplacement de particules remplies de polluants par l'intermédiaire de l'eau et du vent. Si vous intégrez un couvert végétal, il stabilisera le sol.

=>Phytoextraction

Il s'agit du principe de l'aspiration. La plante capture les polluants avec ses racines. Elle les transfère vers les parties aériennes pour les séquestrer.

=>Phytodégradation

Ce processus provient principalement de la stimulation de l'activité biologique, qui peut contribuer à la dégradation de polluants organiques grâce aux enzymes des plantes, avec la production de dioxyde de carbone mais aussi de produits intermédiaires. Avec l'aide des micro-organismes rhizosphériques pour transformer les polluants organiques, on appelle ce procédé la rhizomédiation.

=>Phytostimulation/rhizodégradation

Il s'agit d'une stimulation de l'activité de biodégradation des contaminants organiques dans les racines (rhizosphère).

=>Phytovolatilisation

Ce processus est une extension de la phytoextraction car la plante est capable de rendre les polluants volatiles. Les plantes peuvent également transformer des oligoéléments qui prennent ensuite la forme de matières volatiles.

I.2 Enjeux urbains principaux et secondaires associés + impacts		
Principaux enjeux et sous-enjeux ciblés par la SfN	05 Gestion des sols > 05-1 Gestion et qualité des sols 04 Biodiversité et espace urbain >04-2 Développement et régénération de l'espace urbain > 04-3 Gestion de l'espace urbain	- Réhabilitation des sites pollués - Peut restaurer ou gérer la fertilité des sols (Alori, 2012)
Co-bénéfices	02 Gestion et qualité de l'eau > 02-1 Gestion des eaux urbaines 04 Biodiversité et espace urbain >04-1 Biodiversité 06 Efficacité des ressources >06-2 Matières premières 07 Santé publique et bien-être >07-3 Santé 11 Économie verte >11-3 Valeur économique directe de la SfN	- Phytodépuration - Mise à disposition d'un habitat pour les êtres vivants - Extraction de métaux précieux (phytoextraction) - Une phytoextraction réussie réduit la quantité totale de concentrations biodisponibles dans le sol urbain en-dessous du seuil de risque pour la santé de l'homme, des eaux souterraines ou d'autres récepteurs (Dickinson et al., 2009)
Effets négatifs possibles	07 Santé publique et bien-être >07-3 Santé 11 Économie verte >11-1 Économie circulaire	- Présence d'insectes indésirables - Récupération des résidus contaminés (cendres)

II/ Informations plus détaillées sur l'entité de la SfN

II.1 Description et implication à différentes échelles spatiales	
Échelle à laquelle la SfN est mise en œuvre	D'une entité individuelle à un quartier dans un jardin sur une échelle individuelle comme le long des rues, des routes...
Échelles affectées	Les échelles affectées sont dans la plupart des cas limitées. Elles concernent la zone à nettoyer ou le voisinage proche.
II.2 Perspective temporelle (avec problèmes de gestion)	
Temps estimé avant que la SfN ne prenne entièrement effet après sa mise en œuvre	Longue durée de traitement : 5 à 10 ans en moyenne. Le principal facteur déterminant la durée de la phytoextraction est la masse d'éléments potentiellement toxiques (PTE) éliminée par la culture pour chaque unité de temps (années) par rapport à la masse de PTE dans le sol.
Durée de vie	La durée de la dépollution. Par exemple, Dushenkox, D. (2003) a découvert que la phytovolatilisation a été efficace contre le tritium (3H), un isotope d'hydrogène radioactif, décomposé en hélium stable avec une période biologique d'environ 12 ans. Toutefois, il est possible de conserver les plantes ou les arbres sur le site nettoyé pendant toute leur durée de vie.

Développement durable et cycle de vie	La phytodégradation, la phytoextraction et la phytostimulation sont des solutions sur le long terme car elles favorisent une réutilisation du sol dépollué. Quant à la phytoextraction, elle implique l'exportation et le traitement de résidus verts (considérés comme des déchets) pour pouvoir être une solution à long terme. En revanche, la phytostabilisation est une solution temporaire. Elle fixe les polluants mais la zone reste polluée.
Aspects relatifs à la gestion (type d'interventions + intensité)	Aucune ou faible maintenance des plantes mais la fertilisation est nécessaire dans certains cas.

II.3 Intervenants impliqués/aspects sociaux

Intervenants impliqués dans le processus de décision	Le public, le propriétaire du site, les organisations non gouvernementales, les propriétaires des sites voisins
Intervenants et réseaux techniques	Entreprises ou associations spécialisées dans la dépollution
Aspects sociaux	Demande beaucoup de temps

II.4 Conception/techniques/stratégie

Connaissances et savoir-faire impliqués	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier la phytotechnologie appropriée en fonction du type de contamination (cf. diagramme) - Sélectionner les plantes ou les arbres adaptés au type de contamination et au climat local (presque tous les contaminants peuvent être traités avec différents niveaux d'efficacité) - La technique peut être utilisée seule ou associée avec d'autres techniques de décontamination (ex : bioremédiation) - Généralement utilisée sur des sites plus vastes (les plantes ou les arbres ont besoin d'espace pour grandir) - Concentration de contaminants estimée basse à moyenne - Préférable que la contamination soit superficielle (< 5 m)
--	--

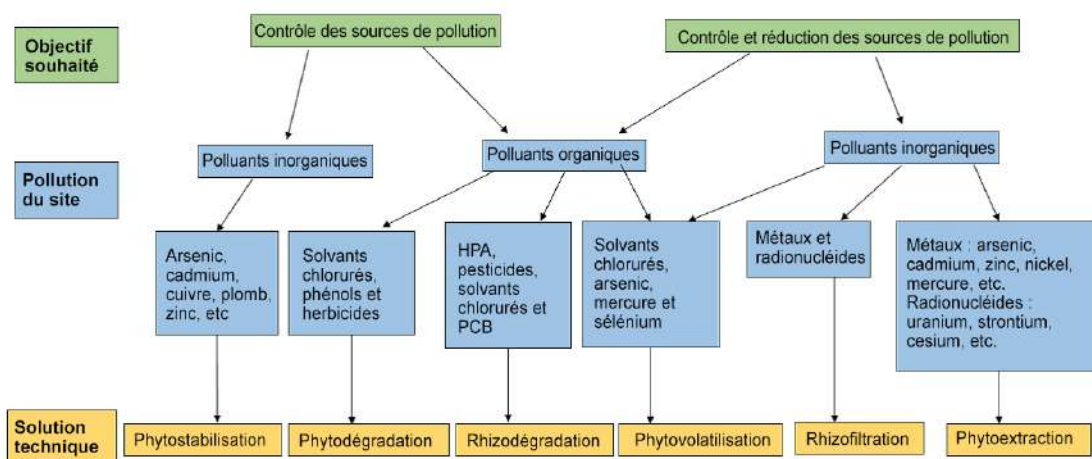


Fig. 2: Flow diagram to identify appropriate phytotechnology by type of contamination
Source: ADEME, 2012

Organigramme de programmation pour identifier la phytotechnologie appropriée par type de contamination (Bert, 2013)

Matériel impliqué	Aucun matériel spécifique requis
--------------------------	----------------------------------

II.5 Aspects légaux associés

- Absence de réglementations spécifiques pour les sols pollués
- Pour installer les plantes ou les arbres sur un site pollué, le propriétaire du site doit donner son accord.

II.6 Aspects économiques et financiers

Gamme de coûts	<ul style="list-style-type: none"> - Faible coût de décontamination (jusqu'à 10 fois plus bas que les techniques traditionnelles) - Ex d'un site pollué au plomb : - Techniques de décontamination in situ traditionnelles : coût estimé entre 15 et 50 €/t (rejet dans l'atmosphère), 40 et 120 €/t (oxydation ou réduction), 15 et 50 €/t (bioventing) - Technique de phytoremédiation : coût estimé entre 2 et 40 €/m² (c.-à-d. 35 et 70 €/m²)
Origine du financement (public, privé, public/privé, autre)	<ul style="list-style-type: none"> - En fonction du propriétaire du site pollué - Des structures publiques (à consulter pour chaque pays) sont impliquées dans le financement des activités de dépollution - Des territoires ont investi dans la reconversion de sites pollués (municipalités, régions...) - Financement européen (ex : le FEDER 2014-2020 finance des projets impliquant la remédiation du sol)

II.7 Associations possibles avec d'autres types de solutions

- Possibilité d'associer différentes techniques de remédiation du sol pour augmenter les performances et réduire le nombre de traitements :
- Interaction bioaugmentation/phytoremédiation
- Interaction phytoextraction/récupération énergétique de la biomasse (remédiation du sol et utilisation de la biomasse pour produire de l'énergie, biocatalyseurs)
- Système de phytoremédiation à multitraitements
- Double avantage :
- phytoremédiation/agromine : Remédiation du sol, production de la biomasse et extraction du métal (les métaux contenus dans les plantes sont séparés et purifiés pour produire des sels à haute valeur ajoutée)



La sève bleue du *Pycnanthus acuminata* (accumulation de nickel par cette espèce d'arbre)
(photo : Antony van der Ent)

III. Éléments clés et comparaison avec des alternatives

III.1 Facteurs de réussite et de limite	
Facteurs de réussite	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser les bonnes plantes et la phytotechnologie appropriée en fonction du type de contamination - La zone décontaminée ne doit pas dépasser plus de 50 cm de profondeur (sauf en cas de décontamination par les arbres)
Facteurs de limite	<ul style="list-style-type: none"> - Le traitement est impossible si de la polluants sont répartis de manière trop hétérogène - Le traitement est impossible si les concentrations de polluants sont trop élevées - Les temps de traitement sont importants

III.2 Comparaison avec des alternatives	
Équivalent de solutions anciennes ou conventionnelles	<p>Techniques traditionnelles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'excavation est la technique d'extraction du sol avant traitement. - Le confinement (sol pollué) consiste à installer une cloison souterraine pour empêcher la migration de polluants sur la surface d'une nappe. - Le lavage (sols contaminés) stimule la circulation d'agents actifs ajoutés à l'eau dans le sol afin de libérer et disperser les produits organiques qui sont ensuite séparés par décantation au niveau du sol.
SfN similaire	Zones humides construites pour phytoremédiation

IV/ Références

- Alori, E., & Fawole, O. (2012) Phytoremediation of soils contaminated with aluminium and manganese by two arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Agricultural Science*, 4(8), 246
- Armando C., (2017), *Soil Pollution : From Monitoring to Remediation*, Academic press, 314pp
- Bert, V. (2013). *Les phytotechnologies appliquées aux sites et sols pollués* (pp. 100-p). EDP Sciences. Paris.
- Chevier E., (2013), *La Phytoremédiation, une solution d'avenir pour le Québec*, https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2013/Chevrier_E_2013-09-09_.pdf (website consulted the 24th january 2018)
- Dickinson, N. M., Baker, A. J., Doronila, A., Laidlaw, S., & Reeves, R. D. (2009). Phytoremediation of inorganics: realism and synergies. *International Journal of Phytoremediation*, 11(2), 97-114
- Dushenkov, D. (2003): Trends in phytoremediation of radionuclides. – *Plant and Soil*. 249; 167-175.). United Nations Environment Program (UNEP), 2002, *Phytoremediation : An Environmentally sound technology for pollution prevention, control and remediation*, <http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Freshwater/FMS2/1.asp> (website consulted the 25th january 2018)

V/ Auteur(s)

Nom	Institution/entreprise	Rédacteur/Expert
Caroline ROBIN	Cerema	Rédacteur
Thierry LEBEAU	Université de Nantes	Expert
Ryad BOUZOUIDJA	Agrocampus-ouest	Expert
Marjorie Musy	Cerema	Expert