

Le phytomanagement, une seconde vie pour les sites et sols pollués

Anissa LOUNES - HADJ SAHRAOUI

anissa.lounes@univ-littoral.fr



UNITÉ DE CHIMIE ENVIRONNEMENTALE ET INTERACTIONS SUR LE VIVANT (UCEiV)

UNIVERSITÉ DU LITTORAL CÔTE D'OPALE (ULCO)

Journée mondiale des sols

La vie souterraine, un enjeu majeur pour la vie sur terre



 Association Française
pour l'étude du sol

IL EXISTE PLUS
D'ORGANISMES DANS
UNE CUILLÈRE À CAFÉ
DE SOL SAIN...



...QUE DE PERSONNES
SUR TERRE.



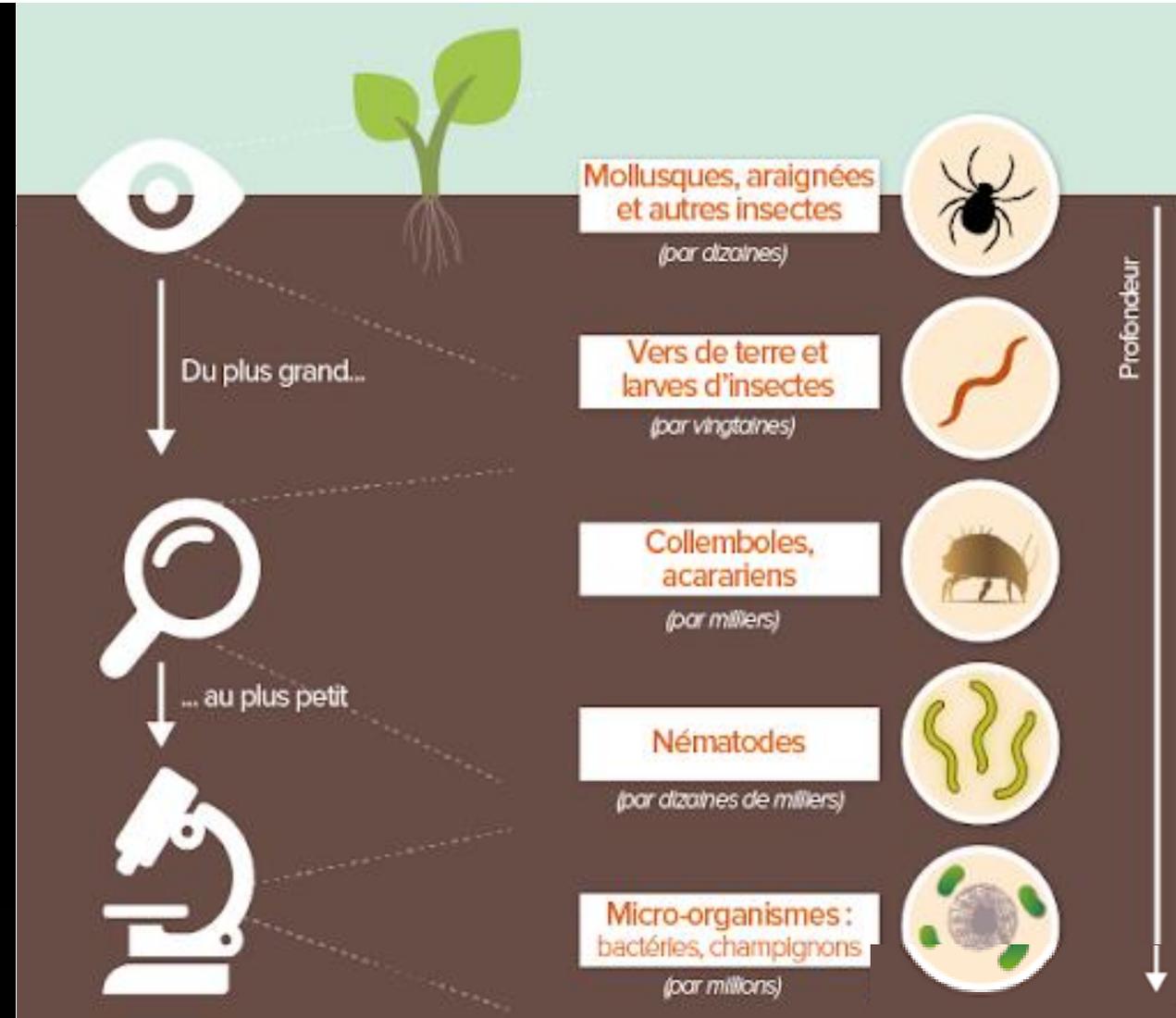
Organisation des Nations Unies
pour l'alimentation et l'agriculture

Le sol, un fantastique réservoir d'organismes vivants

1 g de sol contient :

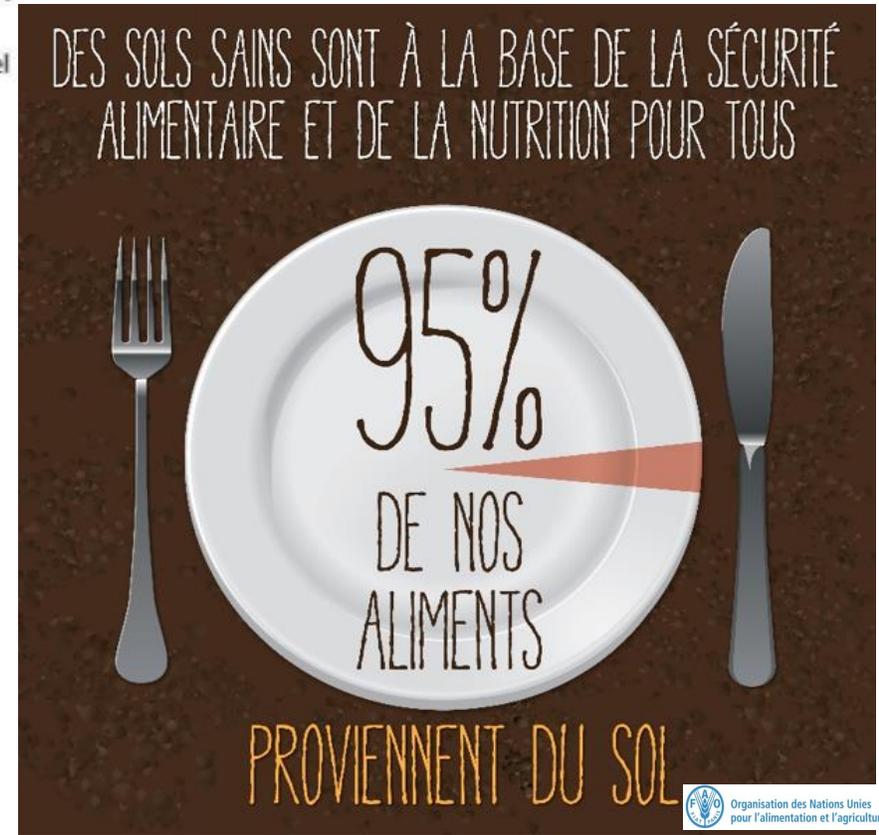
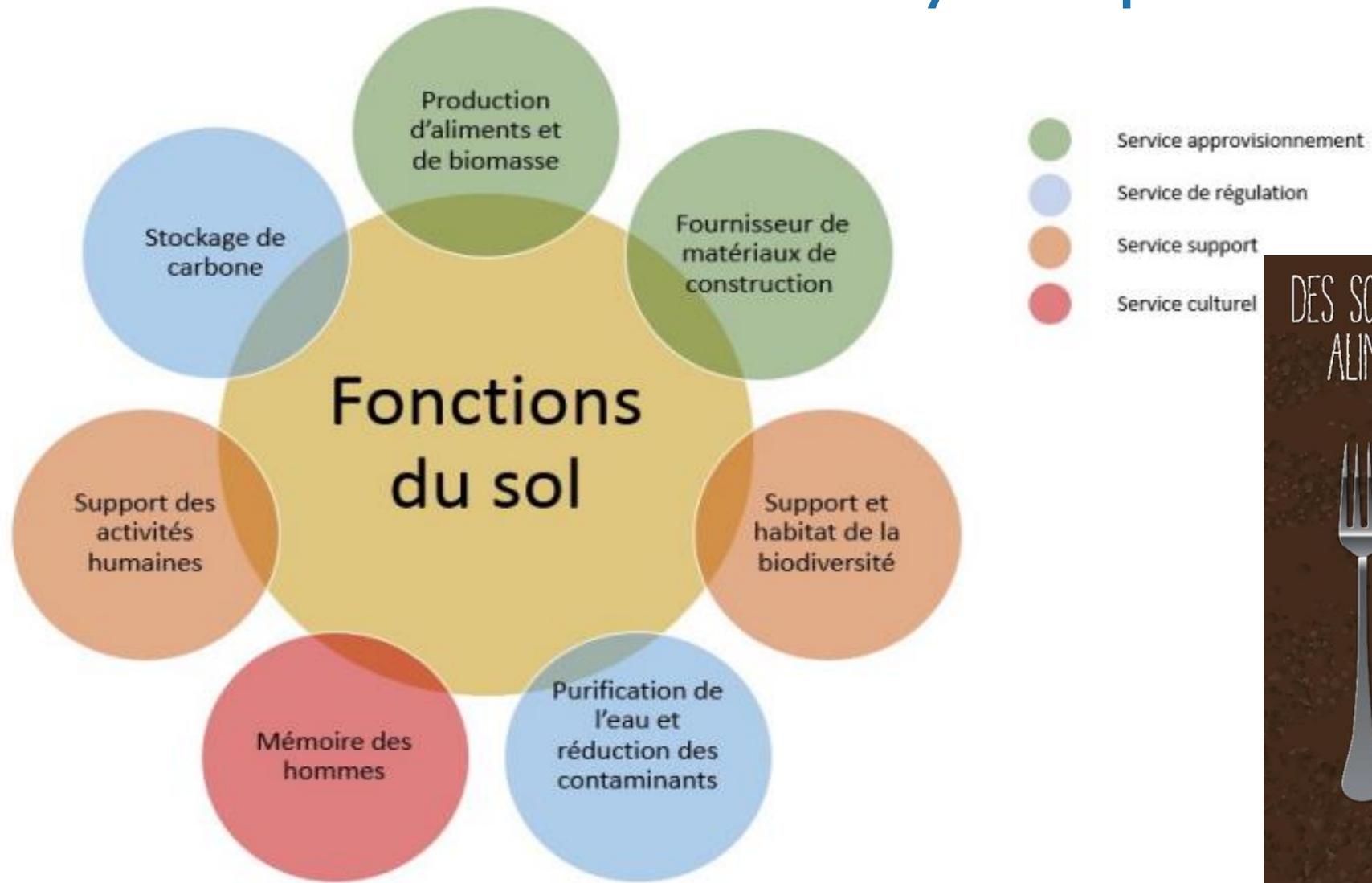
- Bactéries : 1- 2 milliards
- Champignons : 1 million
 - Algues : 5000
 - Protozoaires : 2000
- Nématodes, arthropodes, etc

Equivalent en ADN :
80 fois le génome humain



Le sol, au cœur des enjeux majeurs de la société d'aujourd'hui et de demain

Fonctions des sols : les sols fournissent des services écosystémiques essentiels à la vie sur terre





La pollution menace la fertilité des sols

La dégradation des sols touche
3,2 milliards de personnes



Sites et sols pollués : quelques chiffres



10 millions de sites et sols pollués :
20 millions d'ha
(FAO 2018)



3 millions de sites et sols pollués
(Mench et al., 2018)



7200 de sites et sols pollués répertoriés
(Basol 2020)



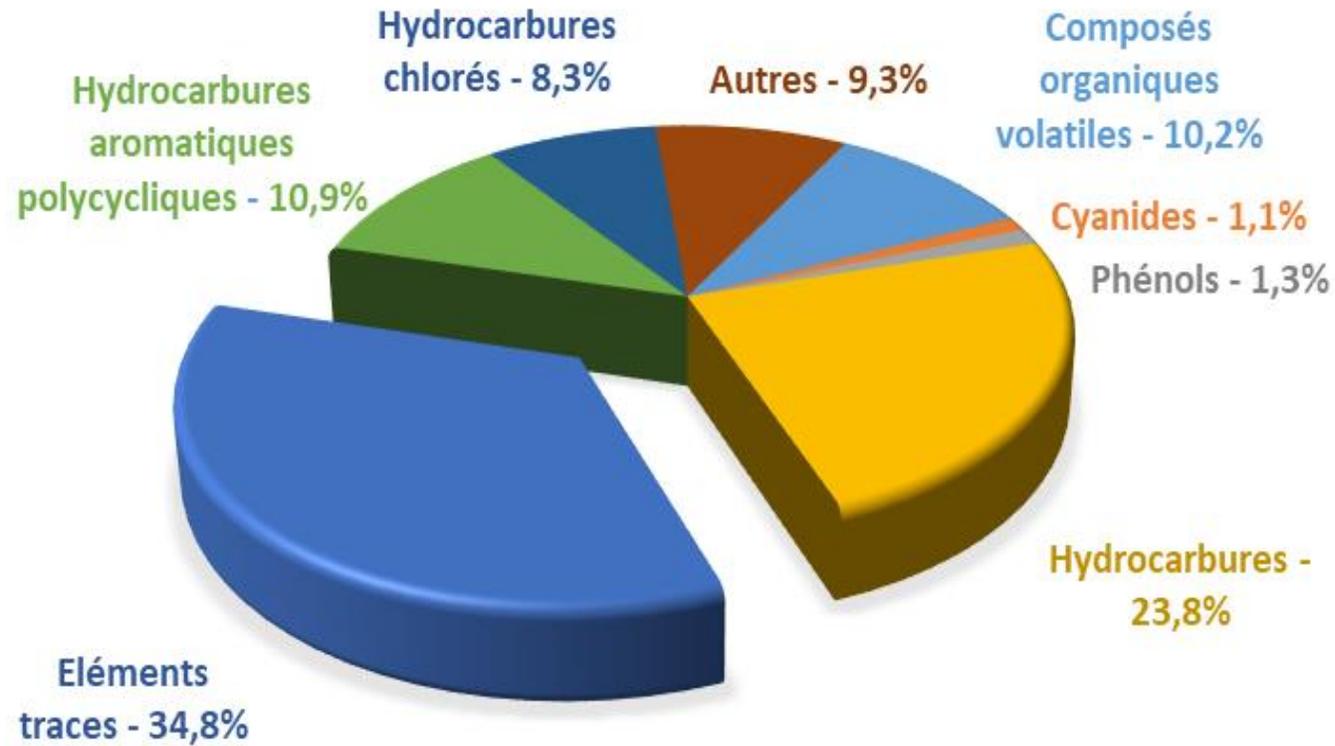
14% recensés dans les Hauts-de-France
(Basol 2020)



Basol 2020



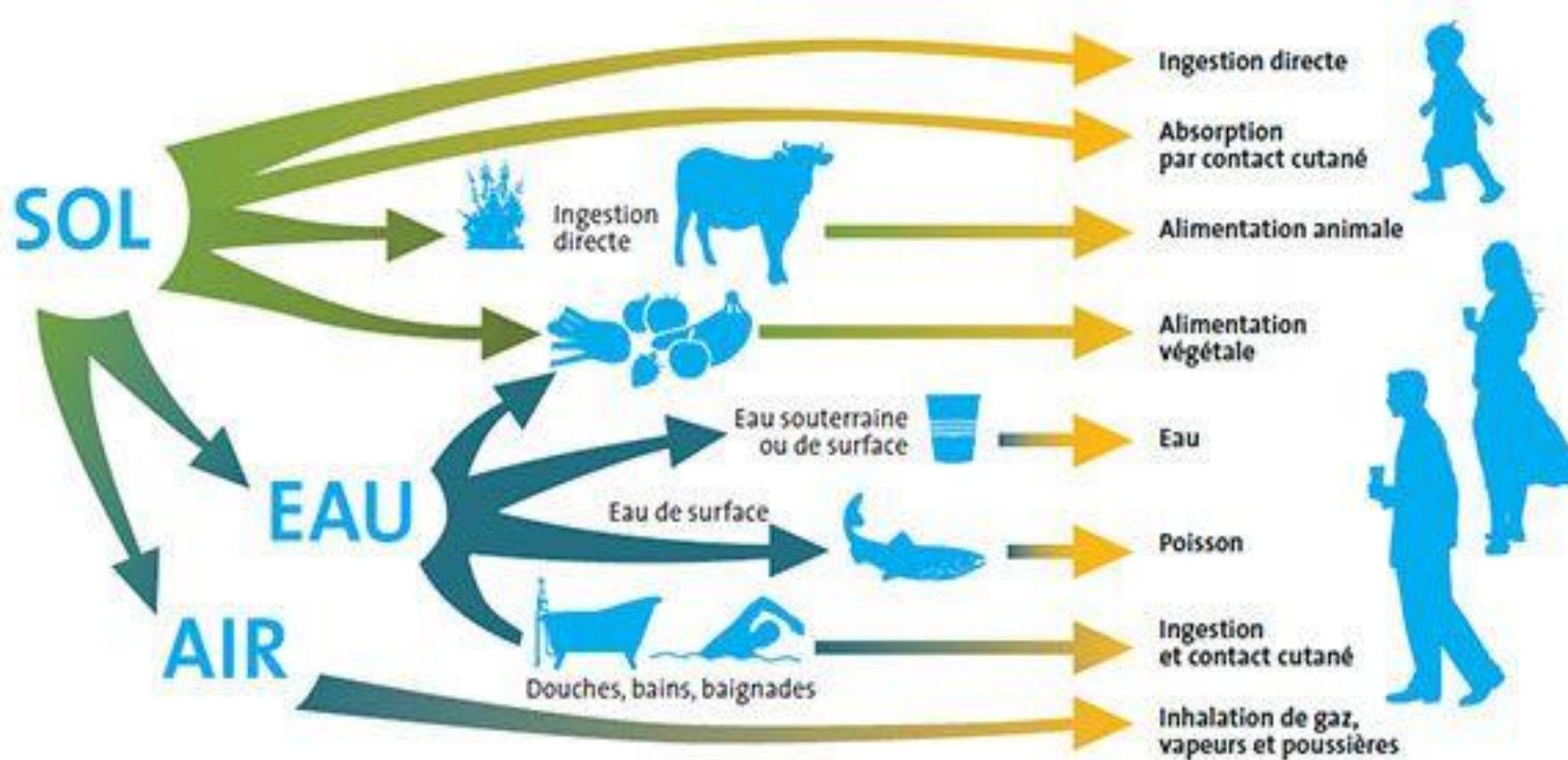
Polluants retrouvés dans les sols



Adapté de Panagos et al., 2013



Pollution des sols : un risque pour notre santé, la sécurité alimentaire et l'environnement



**Risques
sanitaires et environnementaux**





Comment traiter la pollution des sols ?



Méthodes actuelles :

excavation et/ou méthodes physico-chimiques



Développement de
METHODES BIOLOGIQUES
Exemple : la phytoremédiation

Action prioritaire du Grenelle
de l'Environnement:

**article 43 loi Grenelle II du 3
août 2009**

Gestion durable des sites et
sols pollués

« Importance d'utiliser les
techniques de dépollution par les
plantes, de préférence »



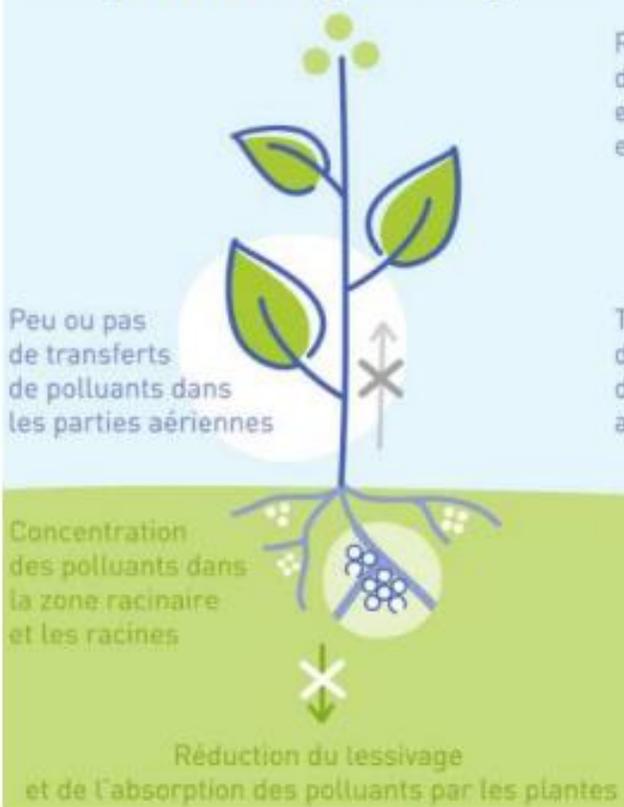
La phytoremédiation, c'est quoi au juste ?

PHYTOSTABILISATION

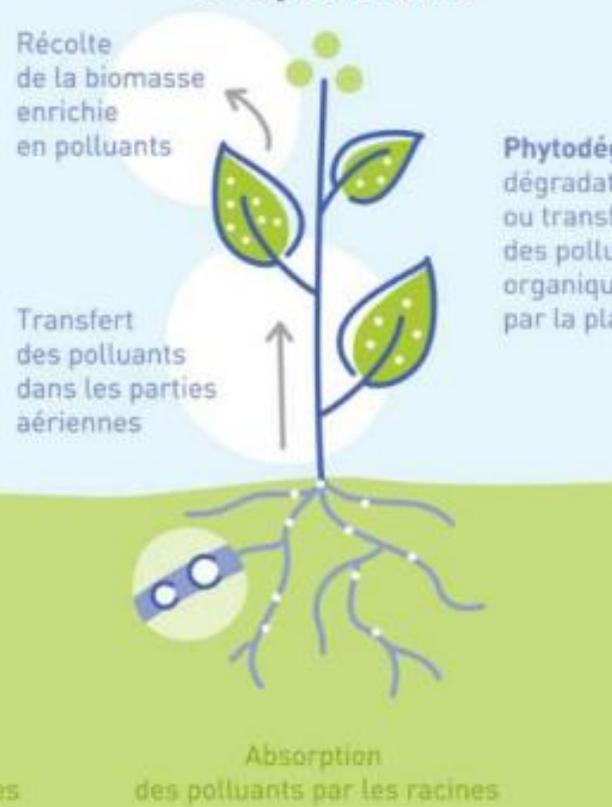
PHYTOEXTRACTION

PHYTODEGRADATION

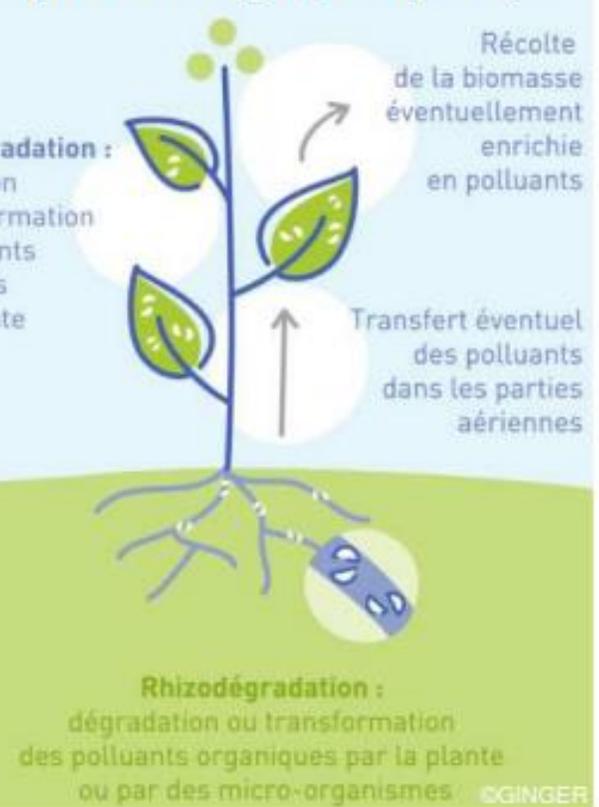
Plante qui stabilise les polluants (racines)



Plante qui accumule les polluants



Plante qui dégrade les polluants (organiques)

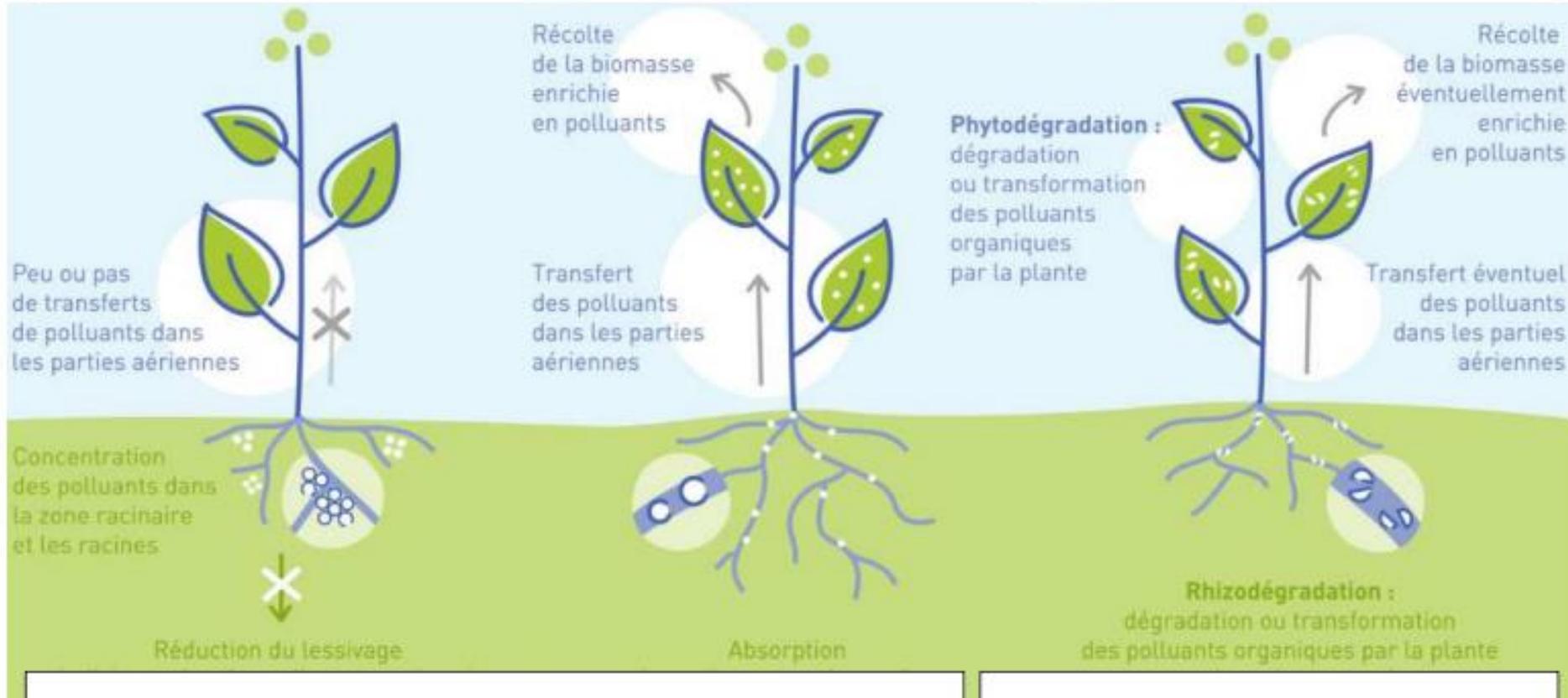


Quels types de polluants ?

PHYTOSTABILISATION

PHYTOEXTRACTION

PHYTODEGRADATION



POLLUANTS INORGANIQUES

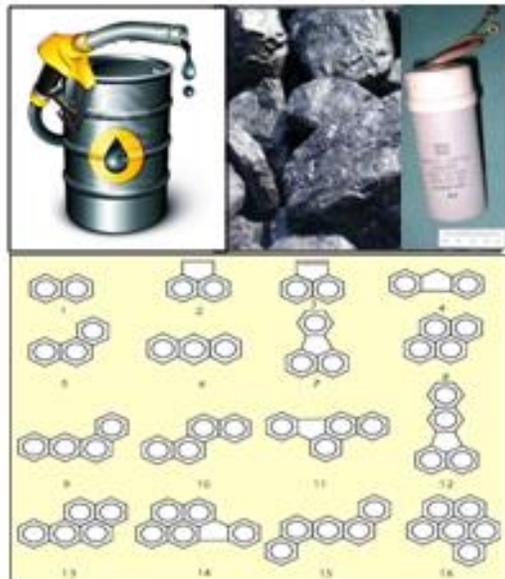
POLLUANTS ORGANIQUES



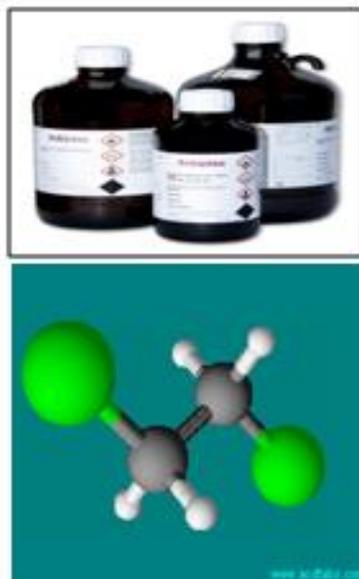
Exemples de polluants traités par phytoremédiation

Polluants organiques

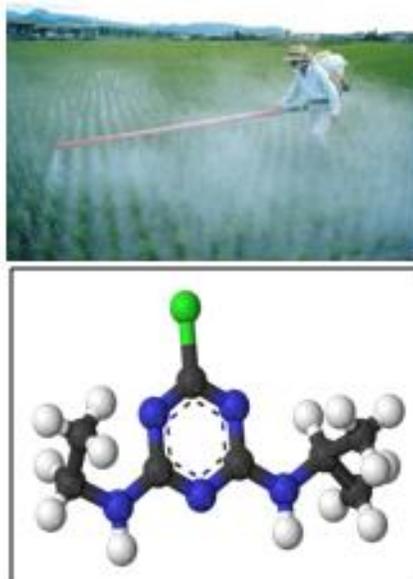
HAP, HCT, BTEX, PCB



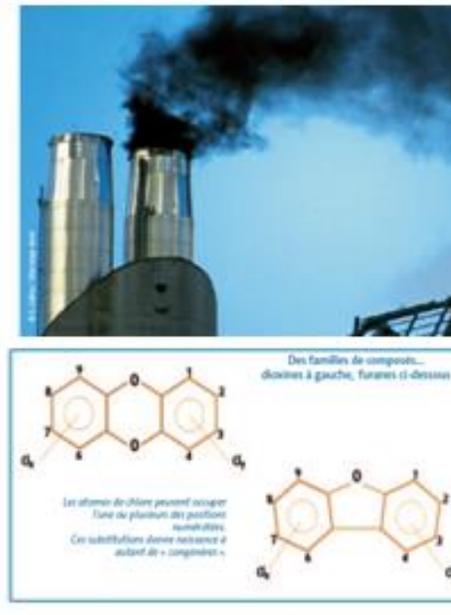
SOLVANTS CHLORES



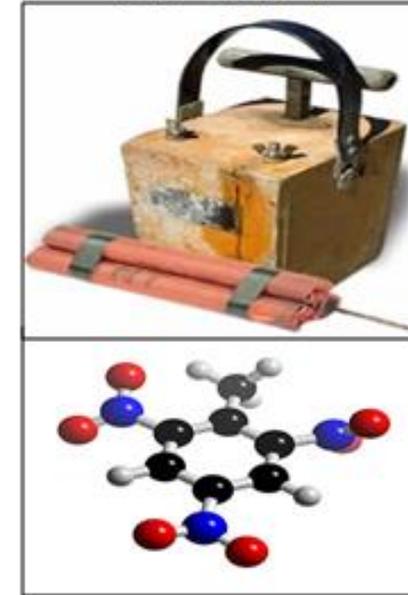
PESTICIDES



DIOXINES/FURANNES



EXPLOSIFS



Polluants inorganiques

ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES

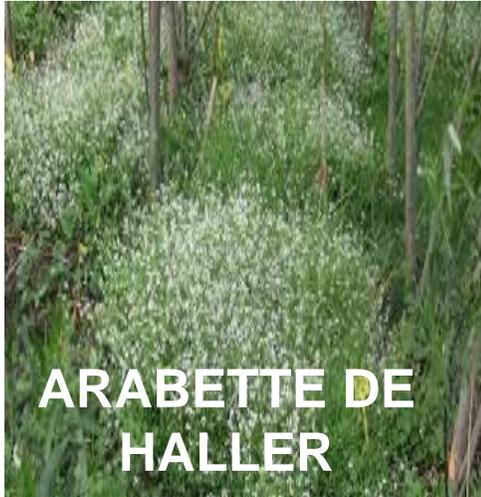




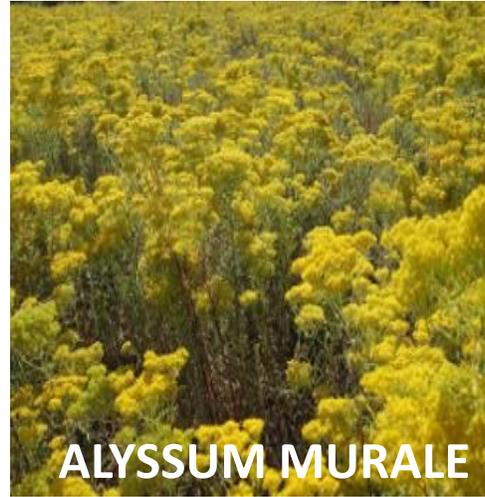
Exemples d'espèces végétales utilisées en phytoremédiation



RAY-GRASS



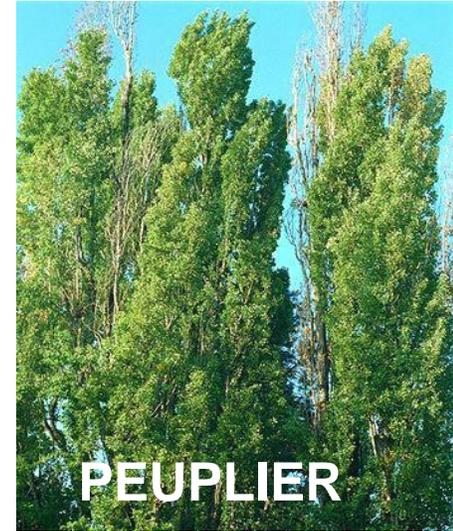
ARABETTE DE HALLER



ALYSSUM MURALE



BLE



PEUPLIER



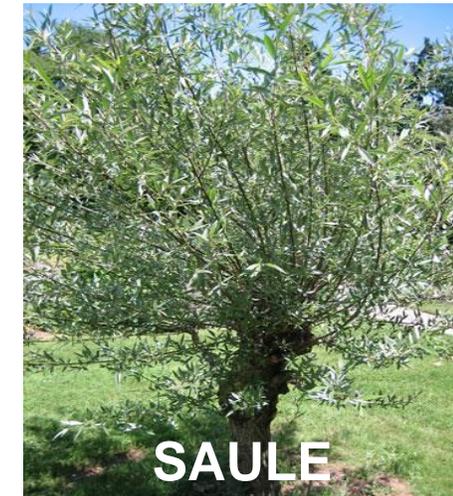
LUZERNE



NOCCA EA CAERULESCENS



MAIS



SAULE



TREFLE



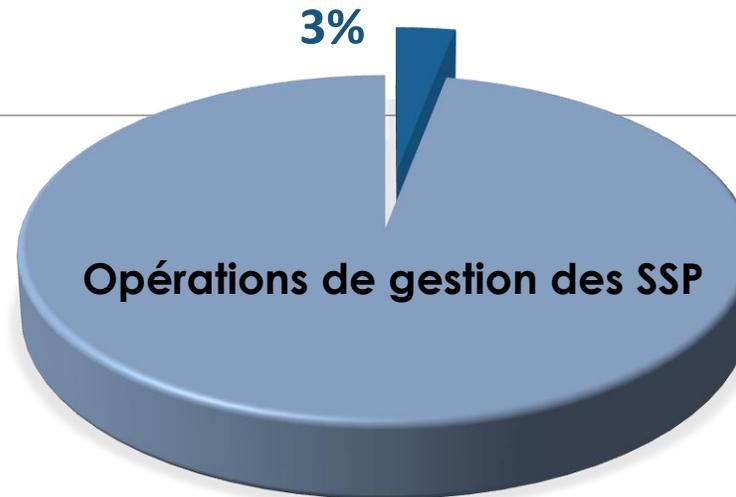
MISCANTHUS



Place de la phytoremédiation dans la gestion des SSP ?



- Ecologique
- Economique
- Applicable sur de grandes surfaces
- Bien acceptée
- Facile à mettre en œuvre



- Lenteur
- Efficacité limitée
- Manque de REX sur des essais *in situ* (démonstrateurs) et sur la rentabilité socio-économique



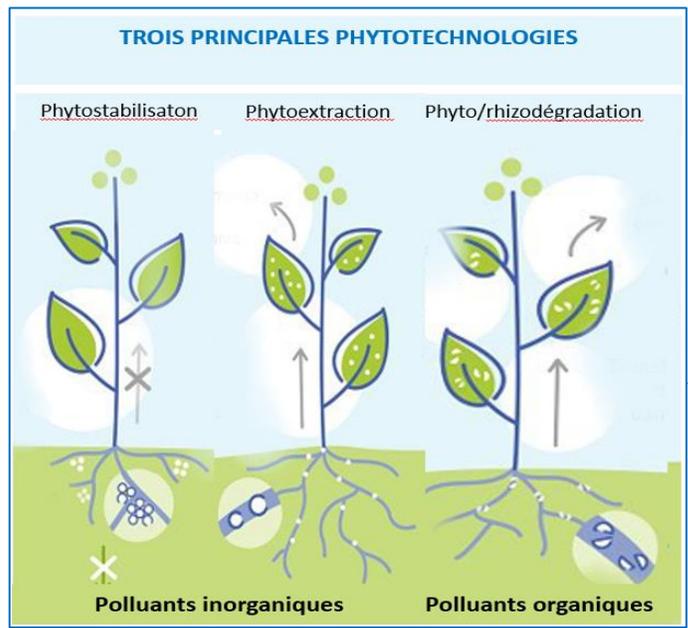
Avenir de la phytoremédiation ?

Le phytomanagement

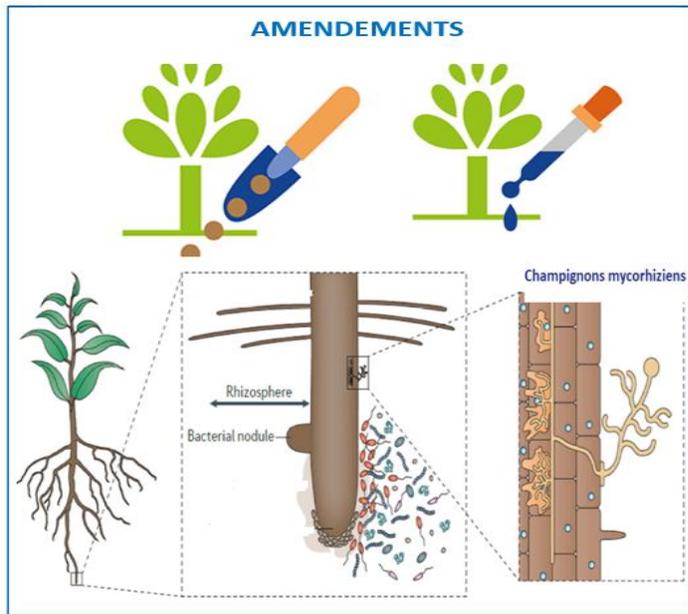
Phytoremédiation assistée

+

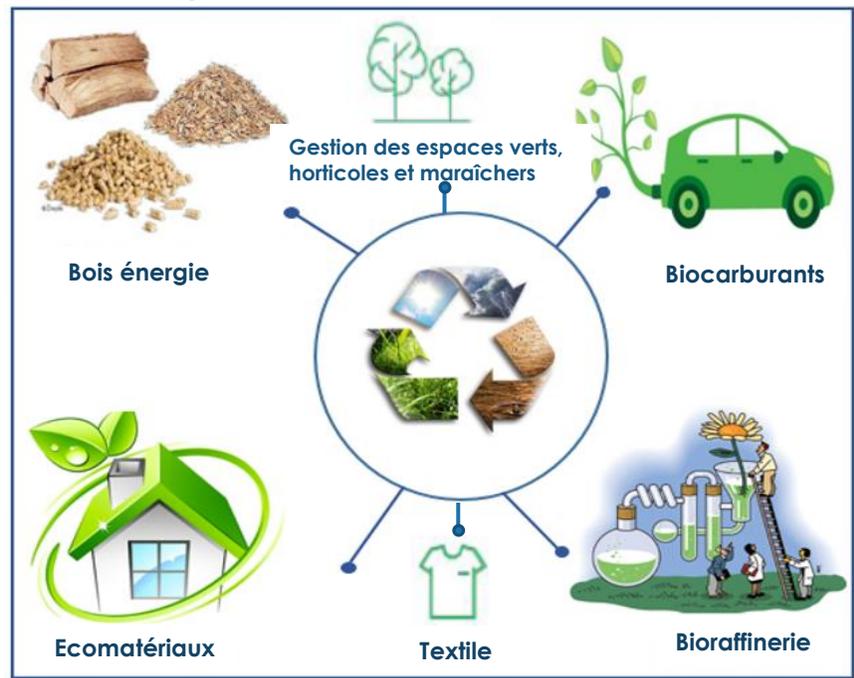
Valorisation de la biomasse végétale produite



+



+



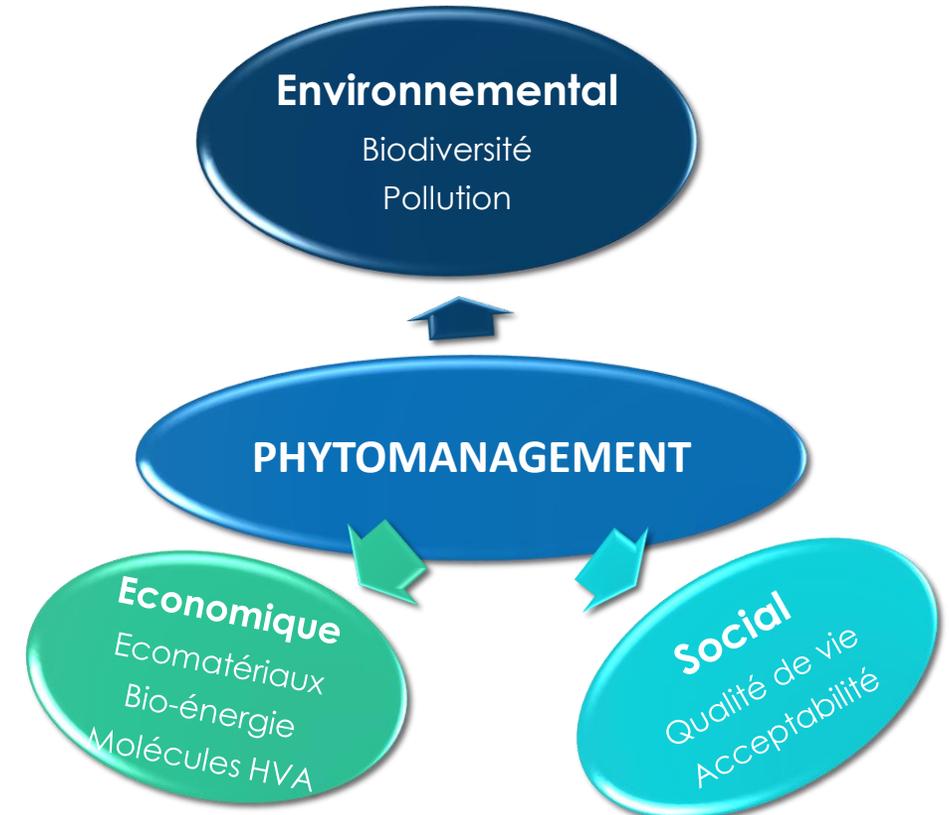
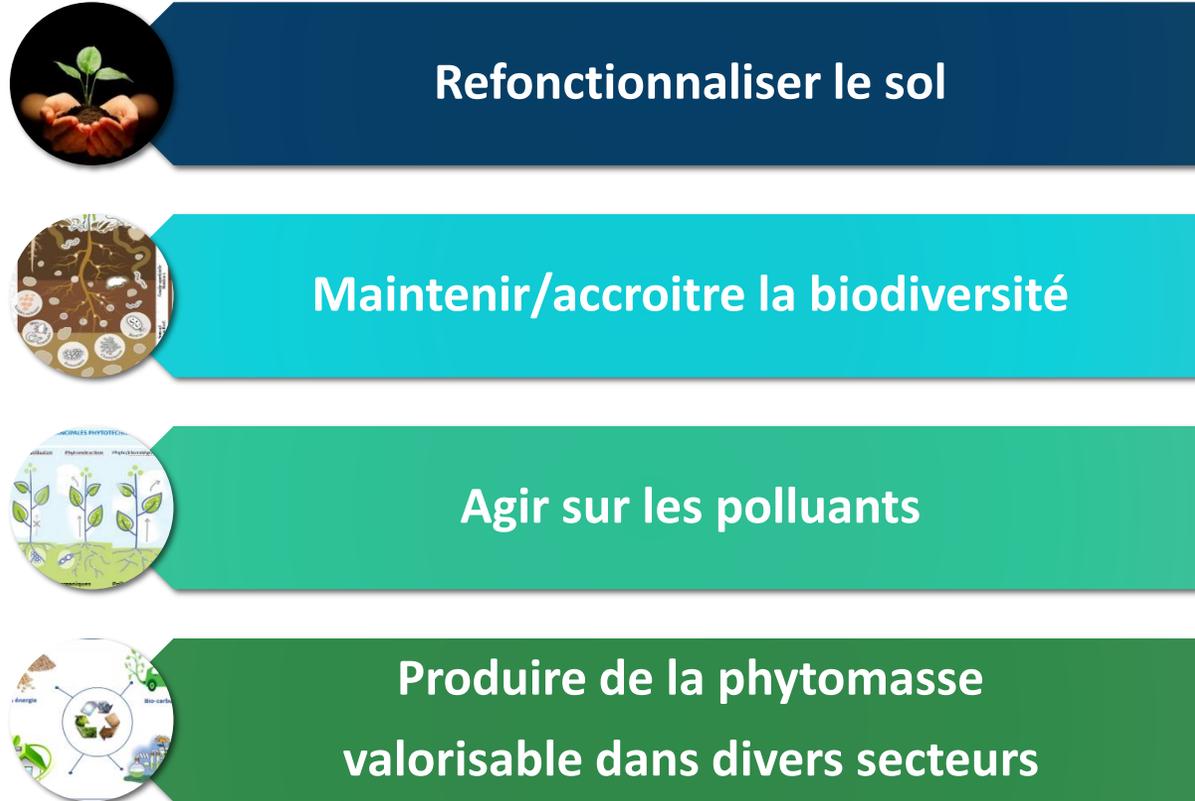


Intérêt du phytomanagement ?



Un couvert végétal
aux multiples fonctions

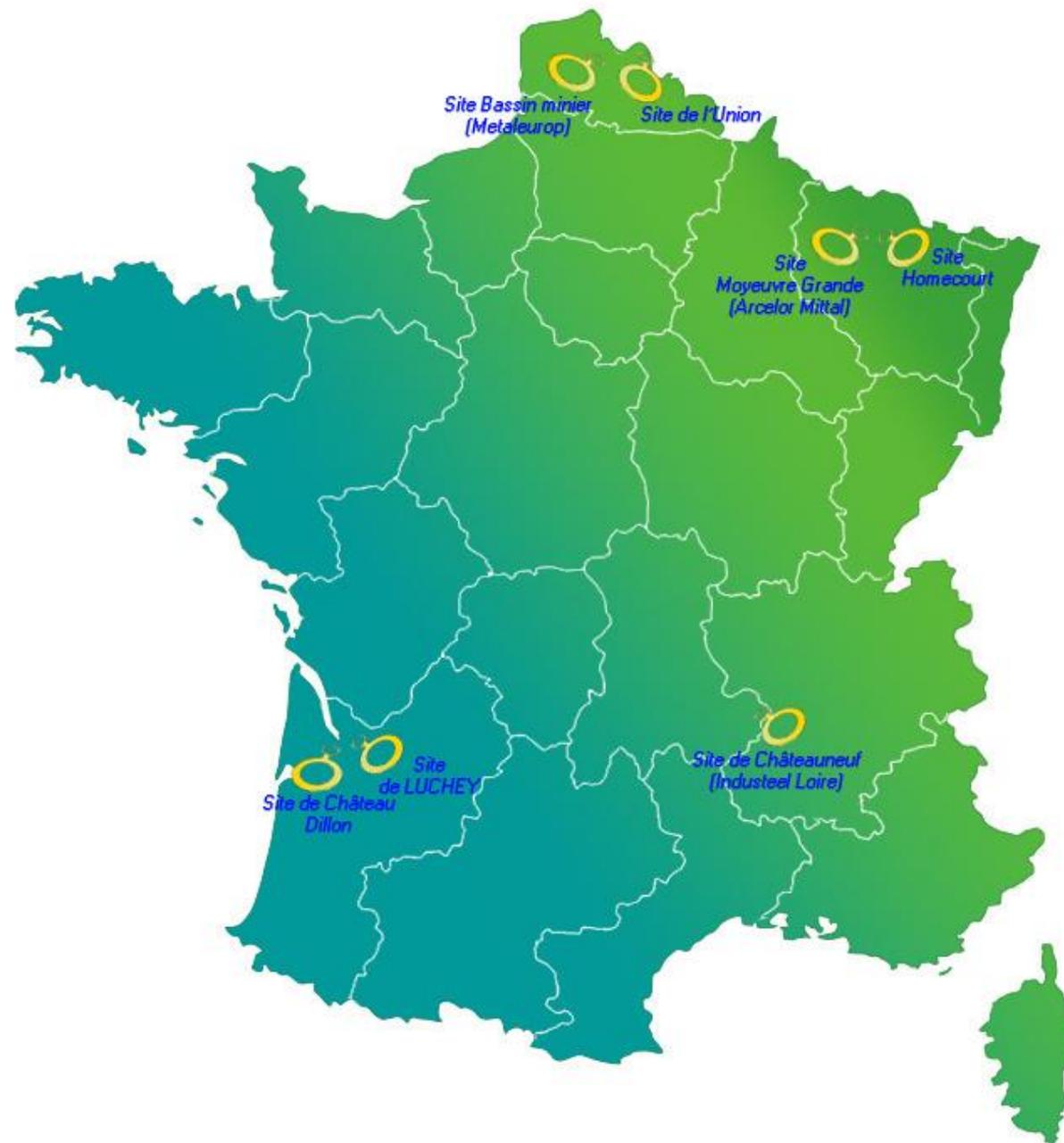
Réponse
à des enjeux multiples





Qu'en est-il en France du Phytomanagement ?

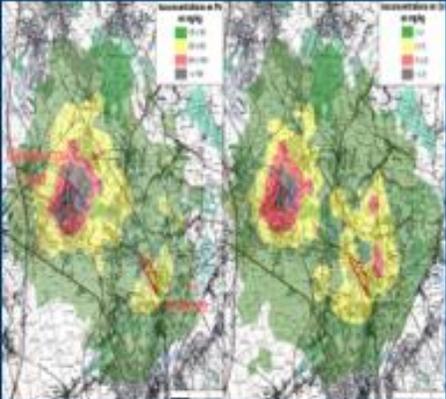
- Plusieurs équipes de recherche
- Stade expérimental de démonstration



Réseau SAFIR : Sites Ateliers Français pour l'Innovation et la Recherche



Exemples de programmes de recherche à l'ULCO : Des démonstrateurs de phytomanagement

<u>Sites</u>	<u>Metaleurop*</u>	<u>Creil</u>	<u>Union*</u>	<u>Halluin</u>
<u>Projets</u>	PHYTENER, PHYTEO, DEPHYTOP (ADEME)	PHYTOEXCO, EXTRA-Zn (ADEME)	GIS 3SP (Région/PMCO/IRENI)	Programme Chercheurs-Citoyens (FEDER/Région/ADEME)
				
<u>Polluants</u>	ETM	ETM	HAP/Alcanes	Dioxines/furanes
<u>Modes de gestion</u>	PHYTOSTABILISATION	PHYTOEXTRACTION	RHIZO/PHYTODEGRADATION	

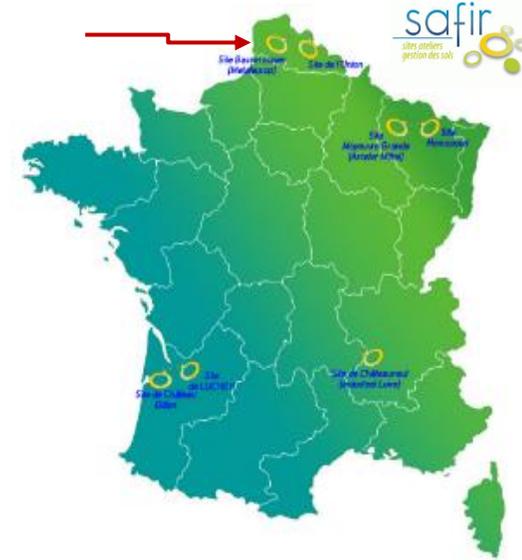


Exemple d'un projet de recherche en phytomanagement

Le site de Metaleurop

Ancienne usine de fonderie de Pb Metaleurop Nord
située dans l'ex- bassin minier

- Plusieurs centaines de salariés sans emploi
- Situation sanitaire du site et des terres environnantes préoccupante



- 730 ha terres agricoles polluées
- 31 exploitations agricoles concernées
- 10 communes du Nord et du Pas-de-Calais concernées



Plan d'action pour la zone agricole polluée autour de Metaleurop

Projet de territoire pour le renouveau du bassin minier

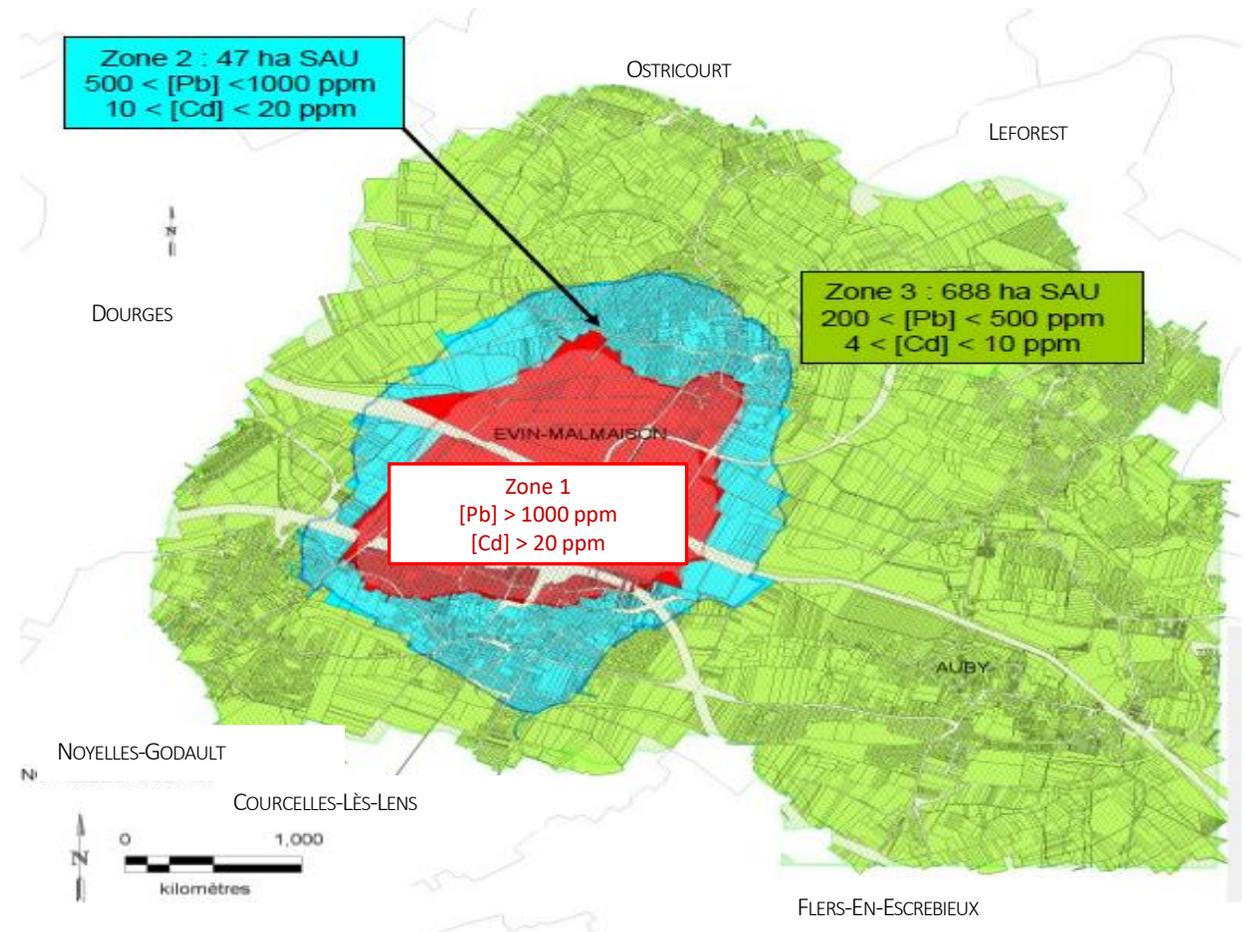
Son ambition : "Regarder les contraintes comme des opportunités"

1

Encadrement sanitaire des productions agricoles

2

Reconversion des sols agricoles pollués via le développement de filières non-alimentaires innovantes de valorisation de la phytomasse produite sur ces sols pollués



Plan d'action pour la zone agricole polluée autour de Metaleurop

2. Développement de filières non-alimentaires innovantes de valorisation de la biomasse produite sur sols pollués

1



**Projet de Méthanisation
En développement**

Culture de plantes pour la production d'énergie

2



**Filière Miscanthus
En développement**

- Bois-énergie
- Paillage
- Eco-matériaux

3



**Filière Chanvre
Industriel**

Stade expérimental

- Eco-construction (béton, panneaux isolants...)
- Papeterie

4



**Filière Plantes
Aromatiques**

Stade expérimental

Huiles essentielles



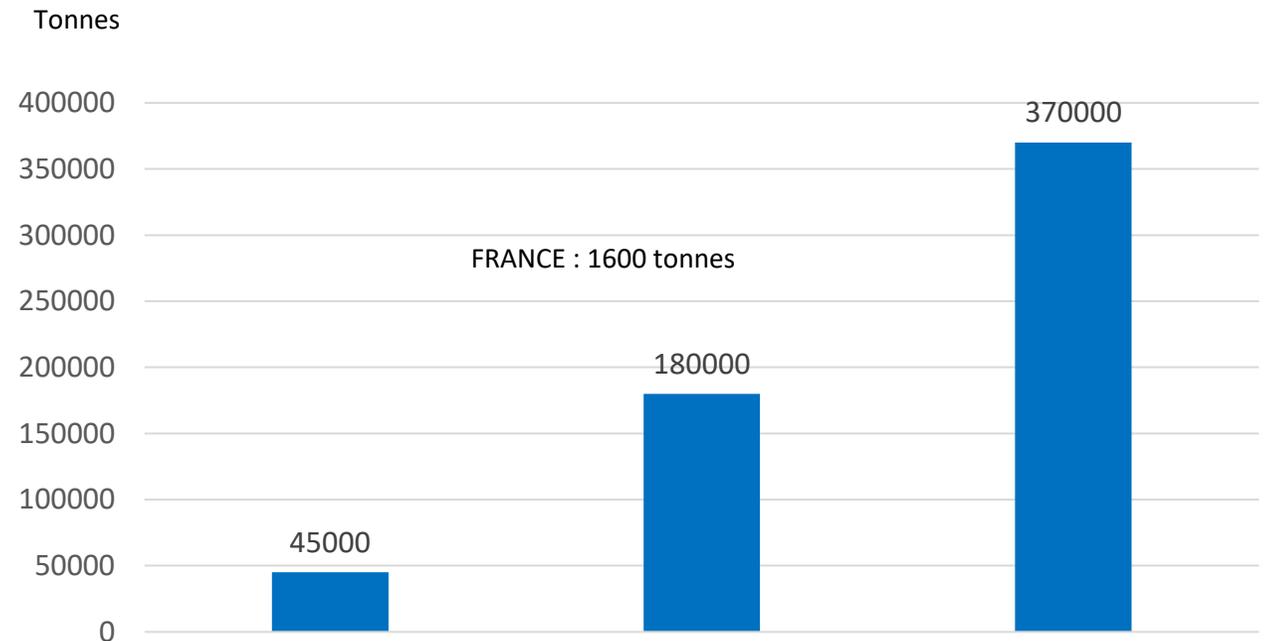
Développement de la filière Plantes Aromatiques pour la production d'huiles essentielles sur le site Metaleurop



2017 – 2021

<https://phyteo.univ-littoral.fr>

Demande mondiale d'huiles essentielles en forte augmentation

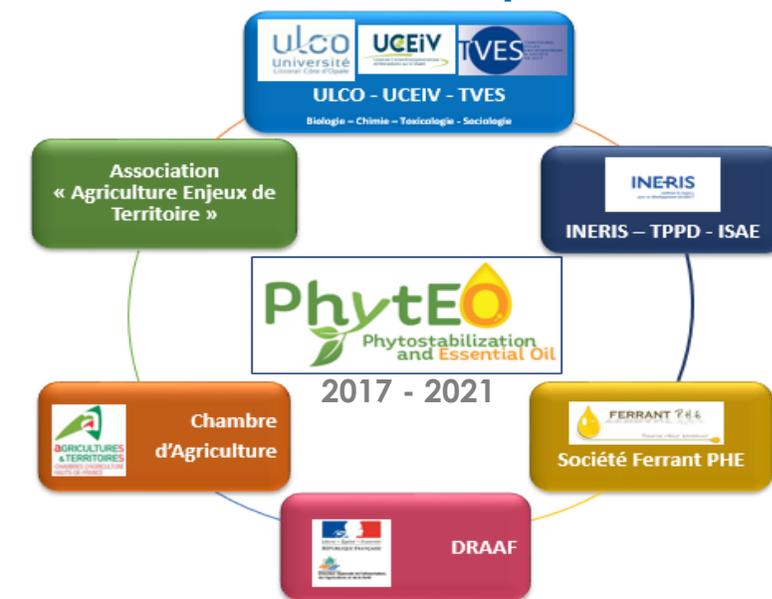


Estimation à 370.000 tonnes pour 13,9 milliards US\$ en 2024

Objectifs

Partenariat académique transdisciplinaire, institutionnel et privé

Etude de la faisabilité technique et socio-économique du phytomanagement dans le cas de sols agricoles pollués par les ETM (éléments traces métalliques) en cultivant des plantes à parfums aromatiques et médicinales (PPAM) pour la production d'huiles essentielles (HE) à activités biologiques



1.

Mise en place de démonstrateurs *in situ* et à grande échelle pour tester la phytostabilisation aidée

2.

Développement d'une filière de valorisation non alimentaire de la biomasse produite sur sols pollués : PPAM/HE

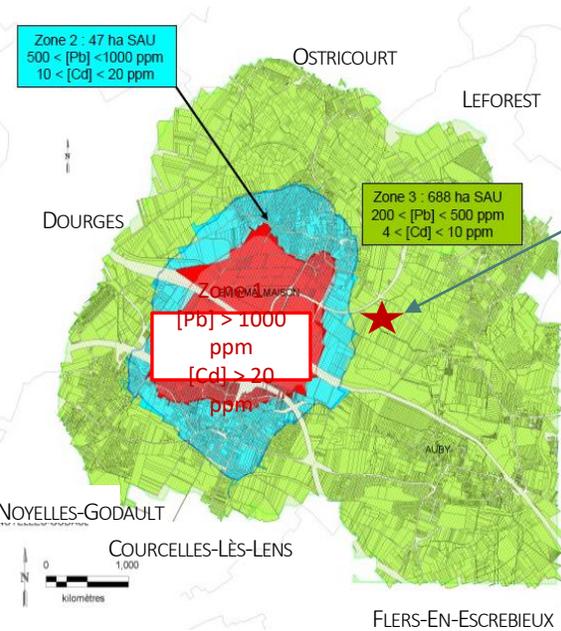
3.

Analyse technico-économique

4.

Etude d'acceptabilité sociale

Dispositif expérimental *in situ* : Deux parcelles de 2 ha



**Parcelle polluée
Evin-Malmaison**

★ : site Metaleurop (SAFIR)



**Parcelle non polluée
Rodelinghem**



Dispositif expérimental *in situ* : Trois espèces de PPAM testées

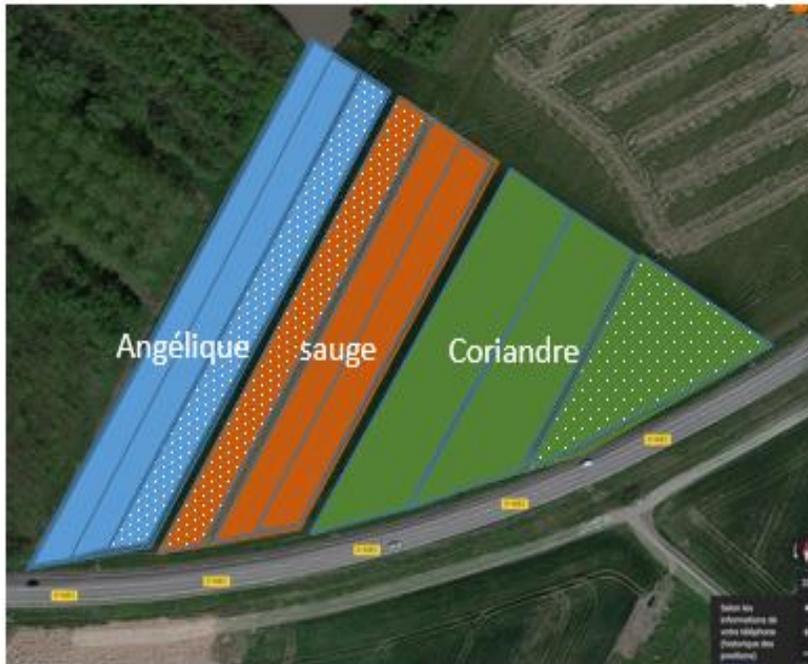
Critères de choix des PPAM testées :

- Adaptation aux conditions pédo-climatiques de la région Hauts de France
- Disponibilité et le coût de la semence
- Intérêt commercial de l'HE qui en est issue
- Potentiel en phytostabilisation
- Cycle de végétation

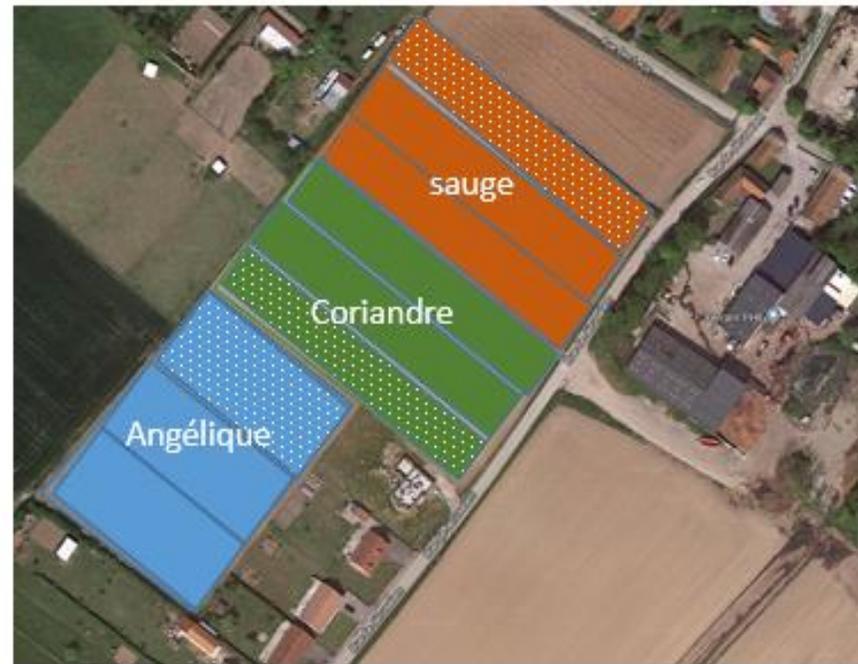
	Angélique (<i>Angelica archangelica</i>)	Sauge sclarée (<i>Salvia sclarea</i>)	Coriandre (<i>Coriandrum sativum</i>)
			
Cycle de Végétation	Pérenne	Bisannuelle	Annuelle
Récolte	Dès la 2 ^{ème} année	1 ^{ère} (≈ 10 %), 2 ^{ème} (100%) et 3 ^{ème} année (70%)	Année du semis
Parties récoltées	graines	inflorescences	Parties aériennes ou graines

Dispositif expérimental *in situ* : Deux modalités de culture

Parcelle polluée

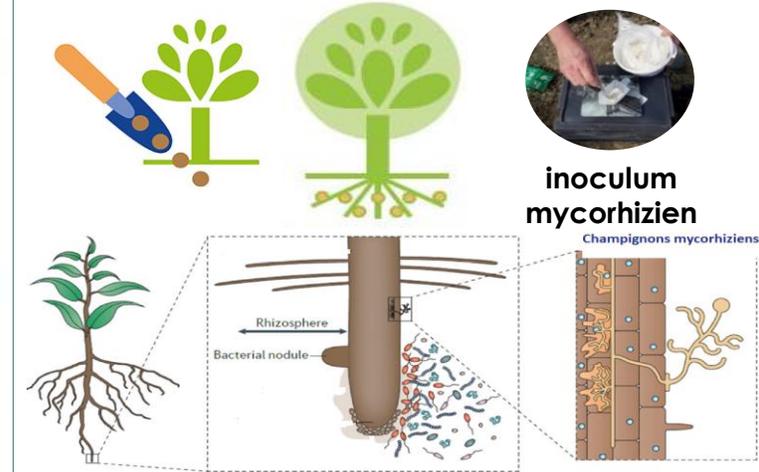


Parcelle non polluée



- Sans amendement
- Amendement biologique (inoculum mycorhizien)

Phytostabilisation aidée par les champignons mycorhiziens



- Exploration par les racines mycorhizées d'un volume de sol plus important
- Meilleure nutrition minérale et hydrique pour la plante
- Meilleure croissance et tolérance aux stress pour la plante
- Contribution à la stabilisation des polluants

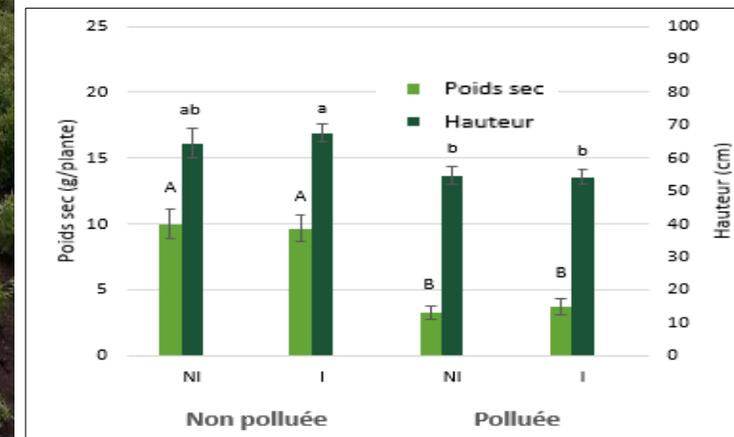
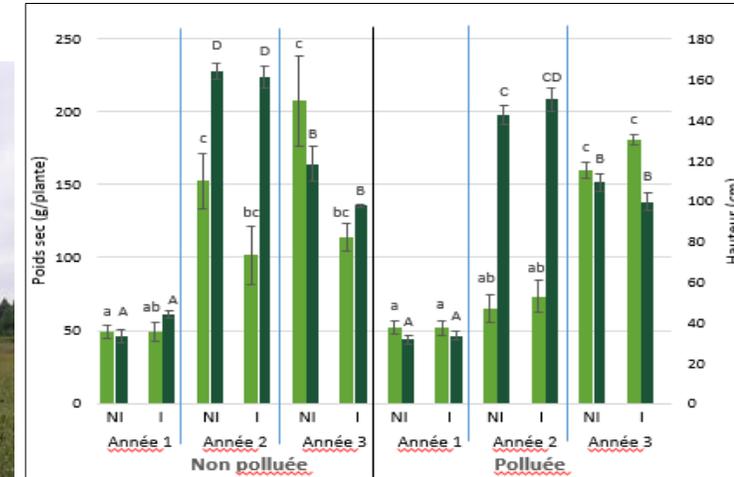
Est-ce que les PPAM sont capables de se développer sur des sols pollués par les ETM ?

Développement de la sauge et de la coriandre sur les sols fortement contaminés par les ETM

Sauge sclarée



Coriandre – Parties aériennes et graines récoltées



Raveau et al, 2021, Sci. Total Environ

Quel est l'impact de la pollution des sols par les ETM sur les rendements en HE ?

Pas d'impact de la pollution en ETM sur les rendements en HE

	Rendements HE (kg/ha)		
	Coriandre Parties aériennes récoltées	Coriandre Graines récoltées	Sauge sclarée Inflorescences Année 2
Non polluée	10,6	7,5	20,3
Polluée	9,6	6,2	24,2

Raveau et al, 2021, Sci. Total Environ



Quelle est la qualité des HE produites sur sols pollués par les ETM ?

Accumulation des ETM limitée dans les HE

		Coriandre Parties aériennes récoltées			Coriandre Graines récoltées			Sauge sclarée Inflorescences Année 2		
		Non polluée	Polluée	Commerciale	Non polluée	Polluée	Commerciale	Non polluée	Polluée	Commerciale
Contamination	Cd	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Pb	0,041	0,042	0,63	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,01
	Zn	0,078	0,052	5,05	0,063	< LQ	0,11	< LQ	0,086	0,11

LQ : limite de quantification

Raveau et al, 2021, Sci. Total Environ

Quelle est la qualité des HE produites sur sols pollués par les ETM ?

Compositions chimiques des HE non impactées par la pollution et présentant une grande richesse en principes actifs

		Coriandre Parties aériennes récoltées	Coriandre Graines récoltées	Sauge sclarée Inflorescences Année 2
Compositions Chimiques		2-décéanal, linalol, décanal et 2-dodécanal	Linalol, γ -terpinène et α -pinène	Acétate de linalyle, linalol et germacrène-D
Activités biologiques	Protection des cultures (anti-fongiques, herbicides, anti-germinatives, insecticides)	++	+	+
	Santé humaine (anti-oxydantes, anti-inflammatoires)	++	+	+

Raveau et al, 2021, Molecules

Principaux acquis et avancées permises par le projet PhytEO



Coriandre



- Croissance PPAM, production de biomasse et rendements HE
- Qualité des HE (composition, contamination, propriétés biologiques)
- Capacité de phytostabilisation aidée
- Valorisation des résidus de distillation
- Analyse technico-économique
- Etude d'acceptabilité sociale



Sauge sclarée

=

une bonne option

pour le

phytomanagement

des sols pollués par

les ETM

Angélique à évaluer



CONCLUSION

Phytomanagement, bonne alternative pour redonner une seconde vie aux sols pollués



Sol, ressource non renouvelable
Prévenir la pollution des sols



Maintenir un sol vivant
Protéger la biodiversité



**Des sols sains,
un avenir sain**

THANK YOU

Pr Anissa LOUNES - HADJ SAHRAOUI

Responsable équipe IPCR - UCEiV

anissa.lounes@univ-littoral.fr

Equipe Interactions Plantes-Champignons et Remédiation (IPCR)

UNITÉ DE CHIMIE ENVIRONNEMENTALE ET INTERACTIONS SUR LE VIVANT (UCEiV)

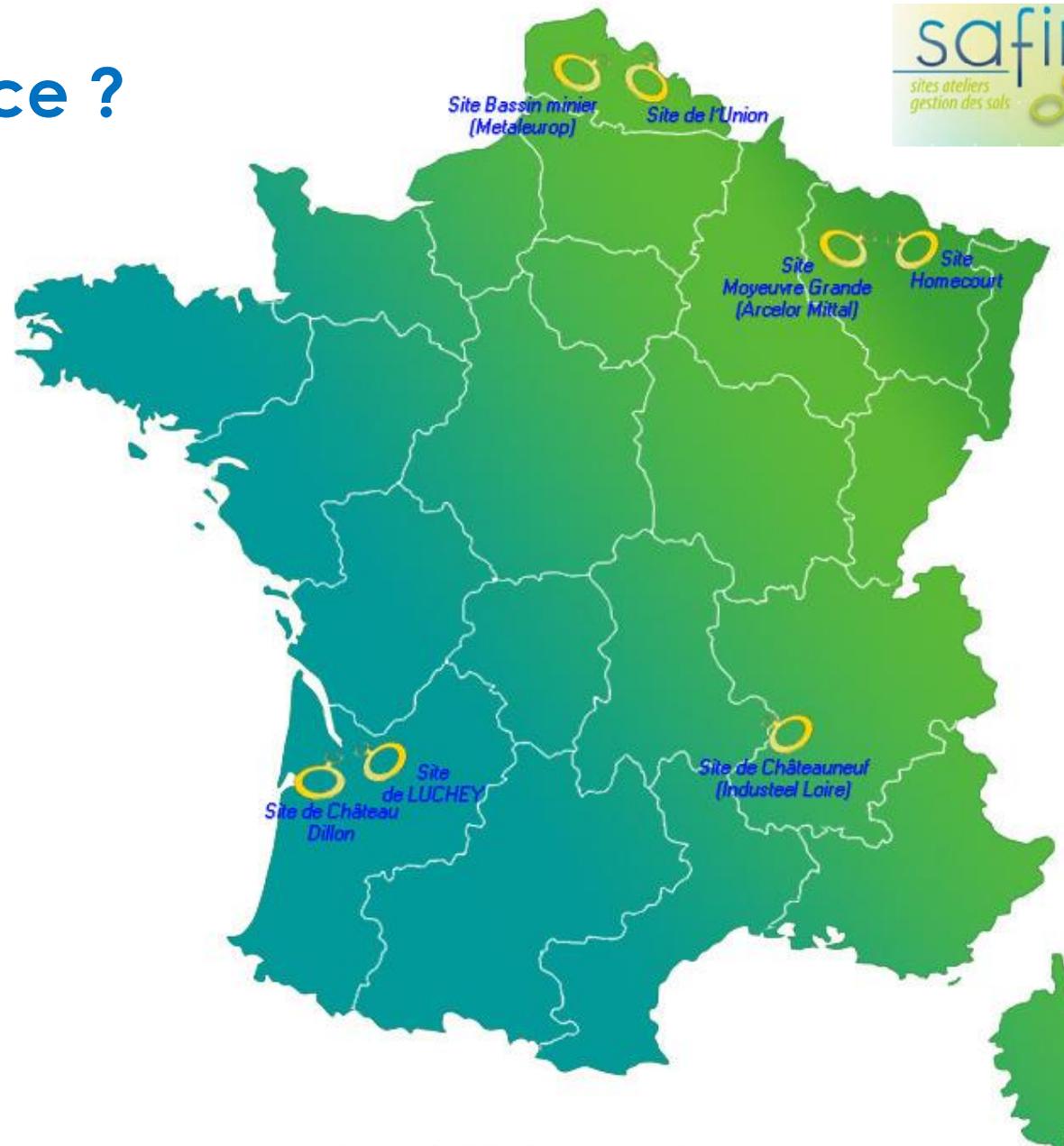
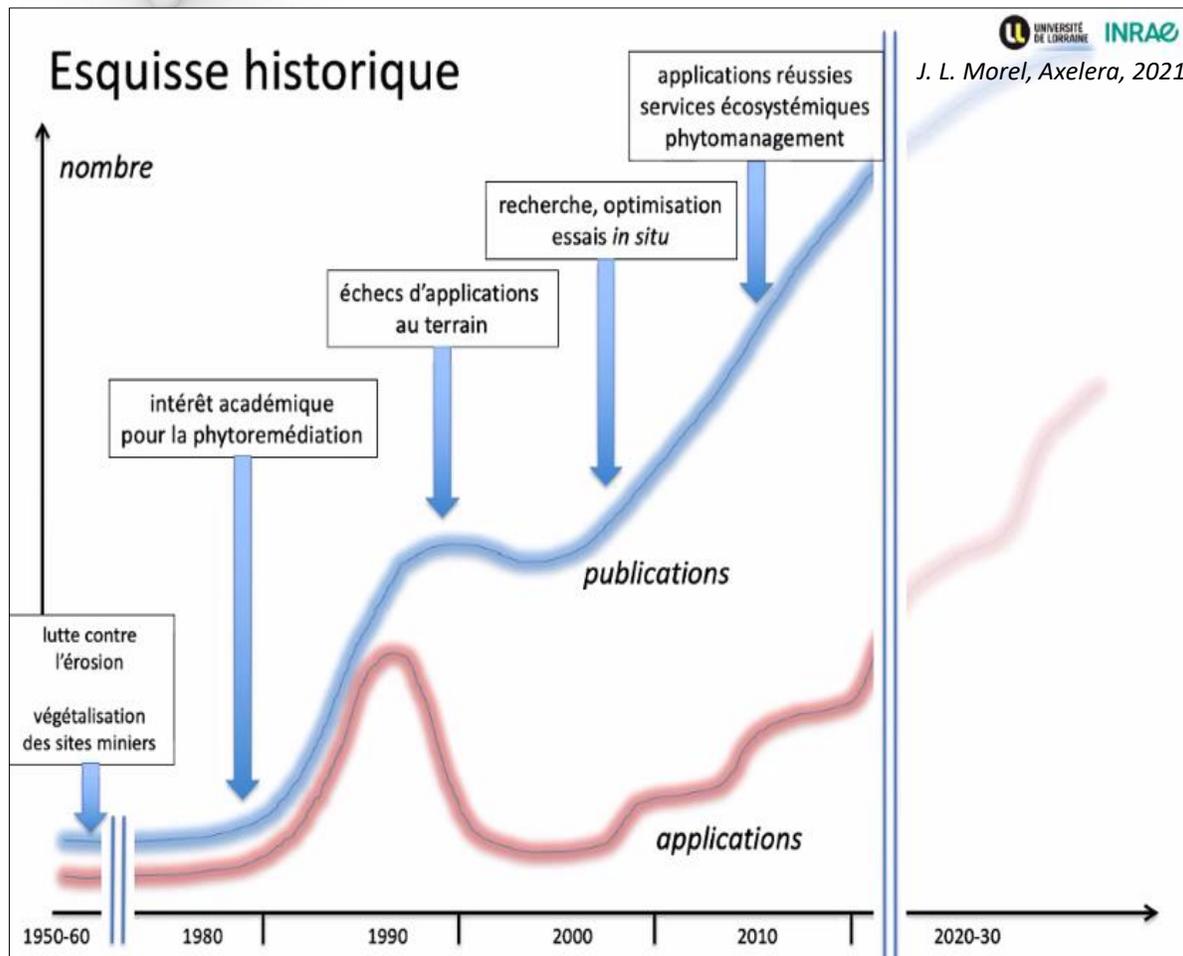
UNIVERSITÉ DU LITTORAL CÔTE D'OPALE (ULCO)

Journée mondiale des sols

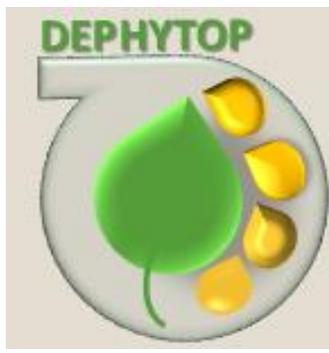




Qu'en est-il en France ?



* Réseau SAFIR : Sites Ateliers Français pour l'Innovation et la Recherche



Perspectives : programme DEPHYTOP



2021 - 2024
(ADEME, APR graine 2019)
<https://dephytop.univ-littoral.fr/>