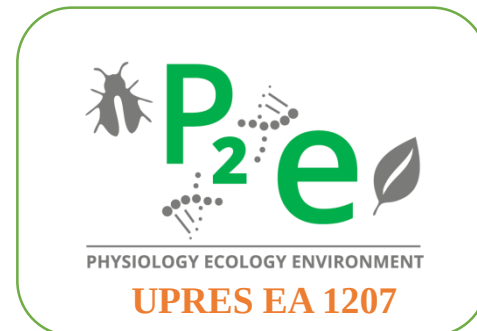




Utilisation du phytomanagement en réhabilitation de zones polluées

Domenico MORABITO





Sources de pollutions anthropiques

Boues provenant des eaux usées

Activités de service

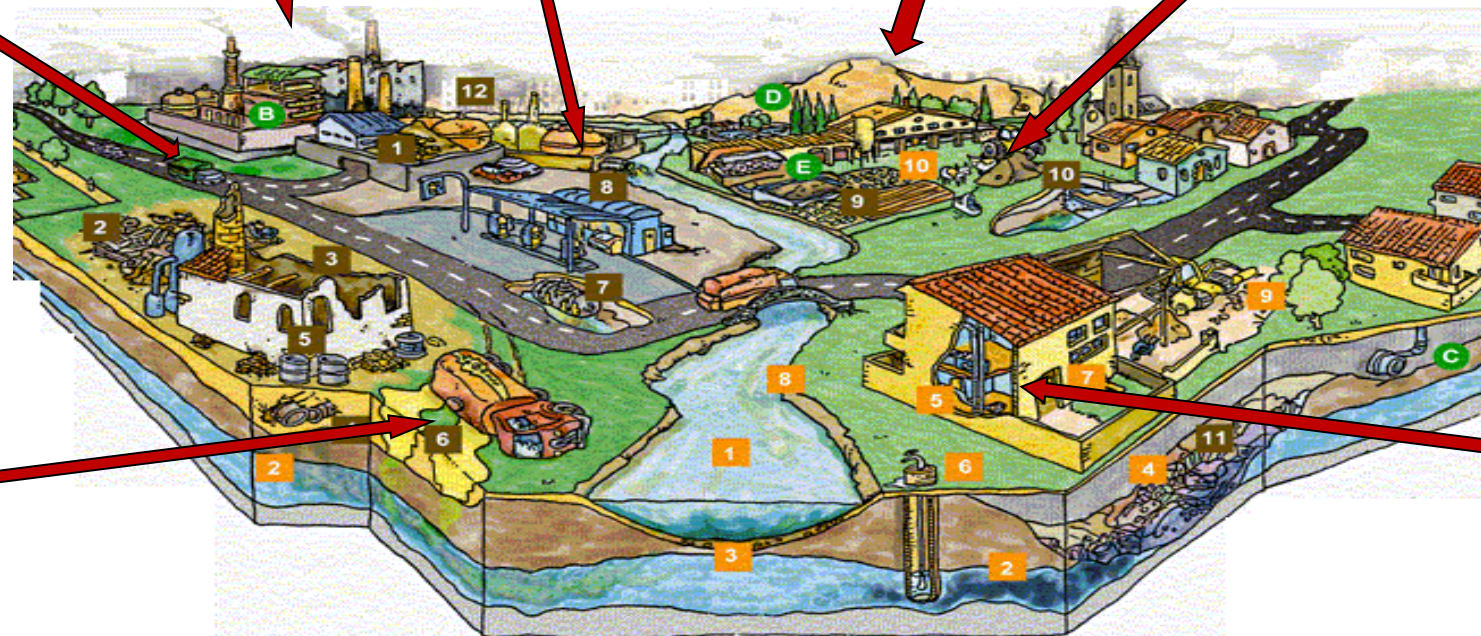
Dépôts miniers

Utilisation de fertilisants
et de produits
phytosanitaires

Émissions par les
activités industrielles et les transports

Accidents

Pollution domestique



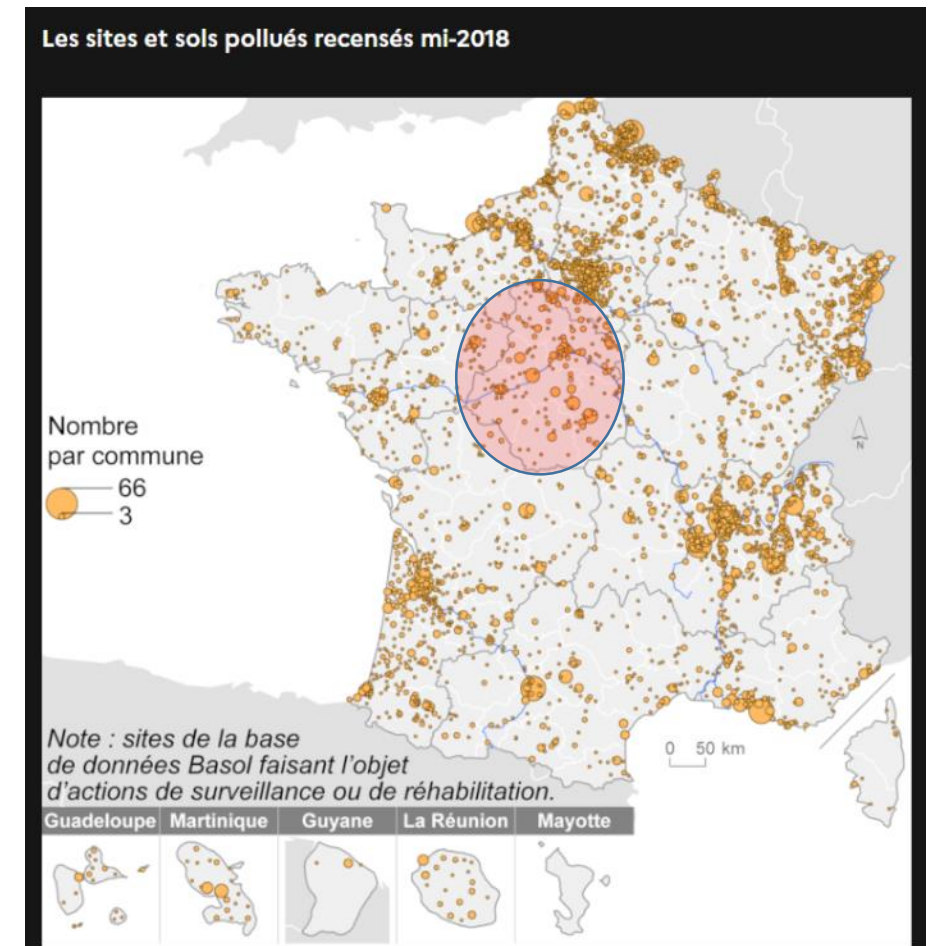


Inventaire des sites et sols pollués en France

Inventaire de tous les sites industriels et d'activités de service abandonnés ou non, susceptibles d'engendrer une pollution de l'environnement.

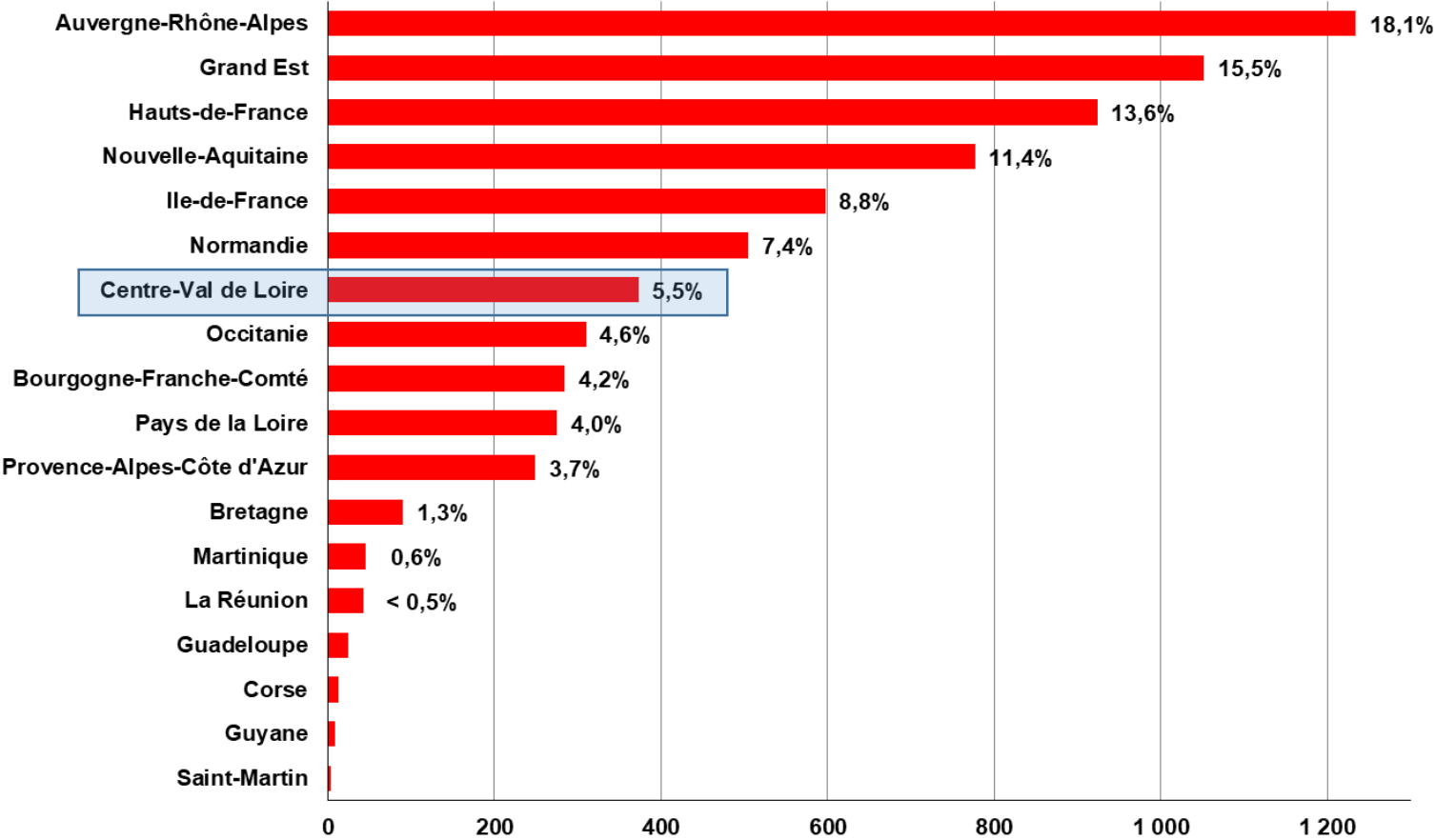
Conserver la mémoire de ces sites, fournir des informations utiles aux acteurs de l'urbanisme, du foncier et de la protection de l'environnement.(300000 à 400000 sites)
(approximativement 100000 hectares)

Sites et sols **appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif**, prévenir les risques sur les personnes et l'environnement (+ de 4000)





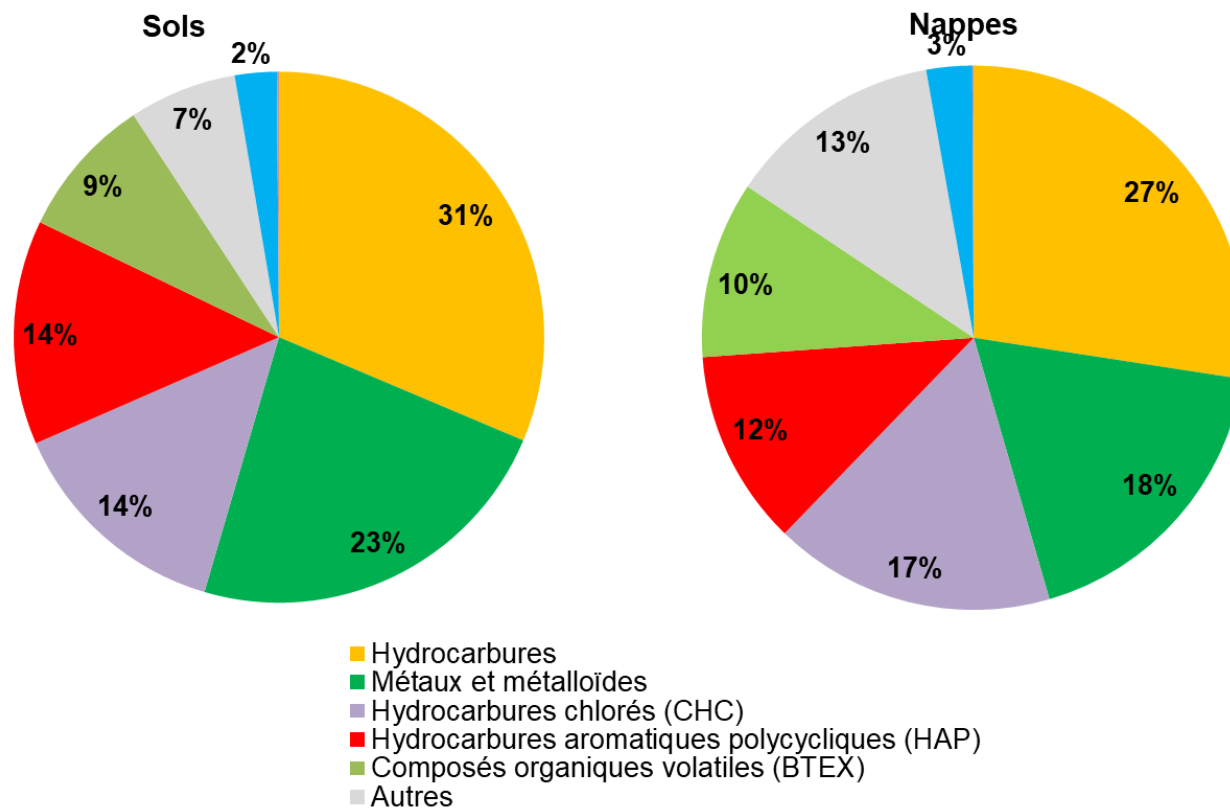
Nombre de sites et sols pollués par régions mi-2018



Note : sites de la base de données Basol faisant l'objet d'actions de surveillance ou de réhabilitation.
Source : MTES/DGPR, Basol au 4 juillet 2018. Traitements : SDES, 2018

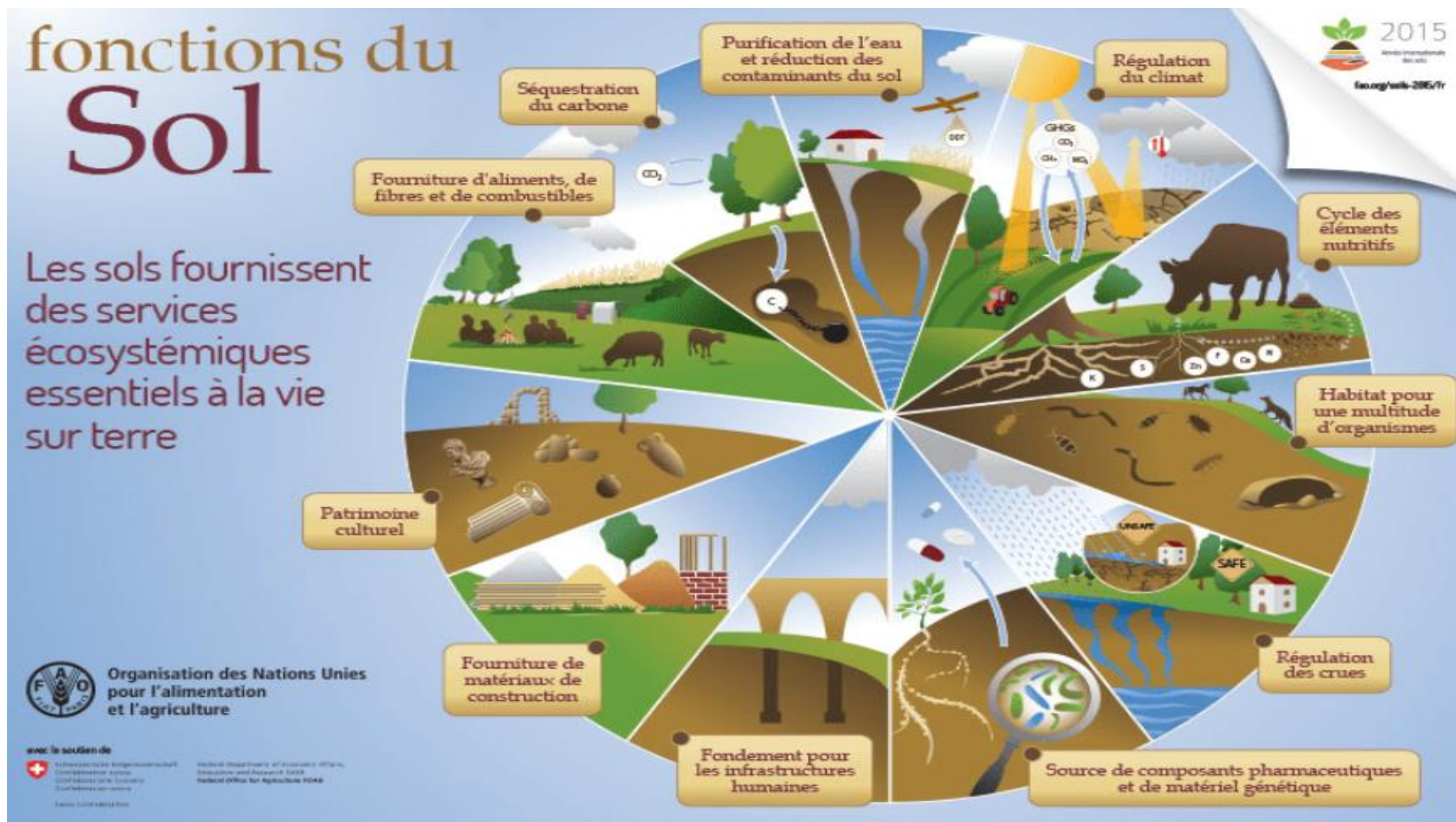


Poids global des 7 familles de polluants identifiées dans les sols ou les nappes mi-2018



Note de lecture : un tiers des pollutions des sols identifiées dans Basol implique des hydrocarbures de type minéral.

Source : MTES/DGPR, Basol au 4 juillet 2018. Traitements : SDES, 2018



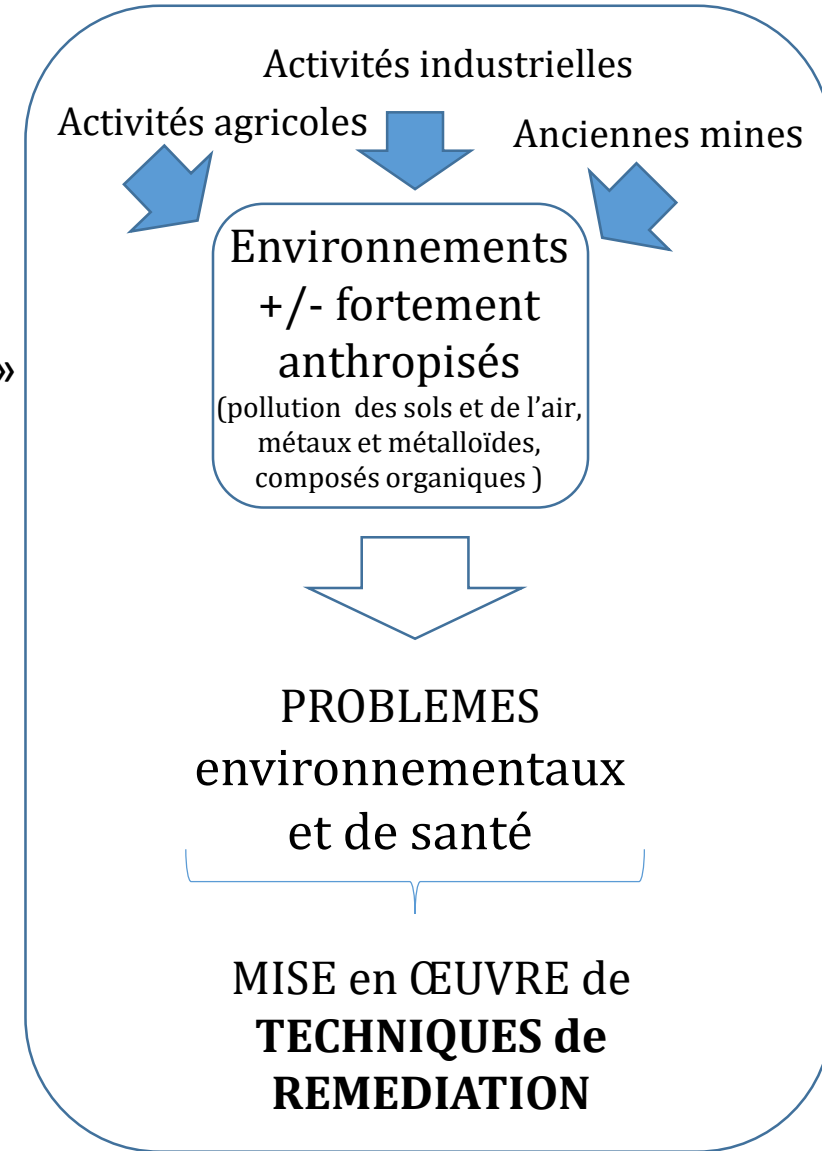


Qu'est ce qu'un site pollué?

Site présentant un risque pérenne, réel ou potentiel, pour la santé humaine ou l'environnement du fait d'une pollution, résultant d'une activité actuelle ou ancienne »

Nécessité de réhabilitation!

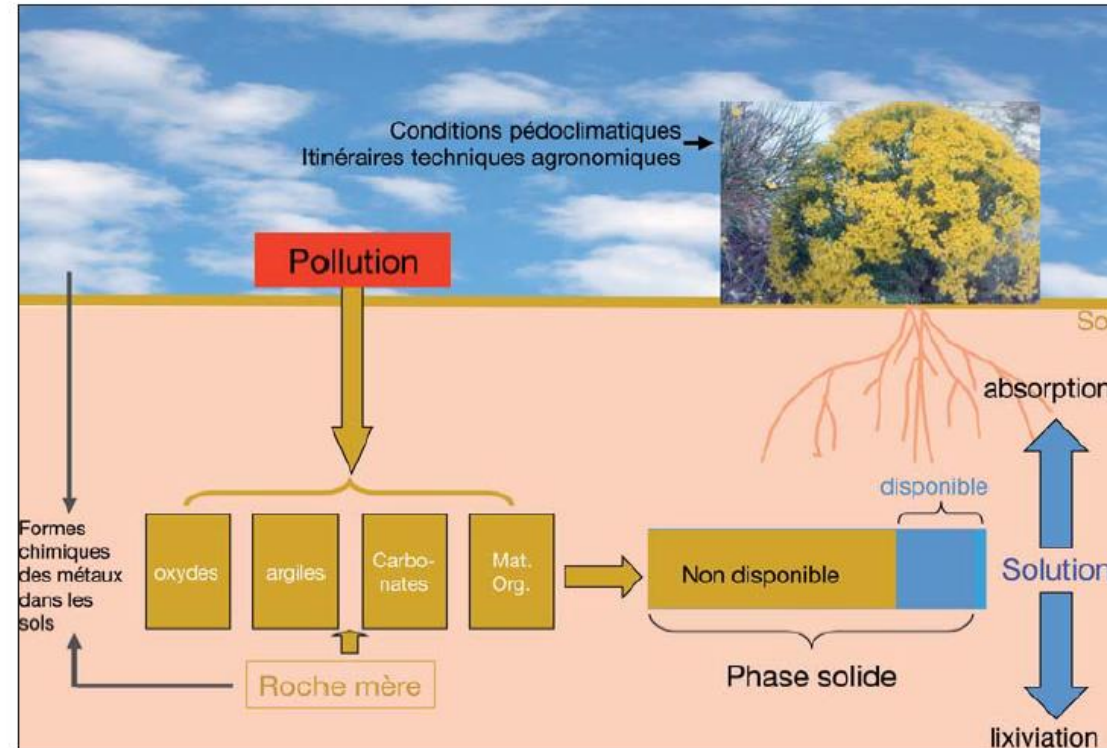
Consiste à le rendre apte à un nouvel usage: industriel, résidentiel ou récréatif.





Il faut tout d'abord caractériser les risques liés à un sol pollué?

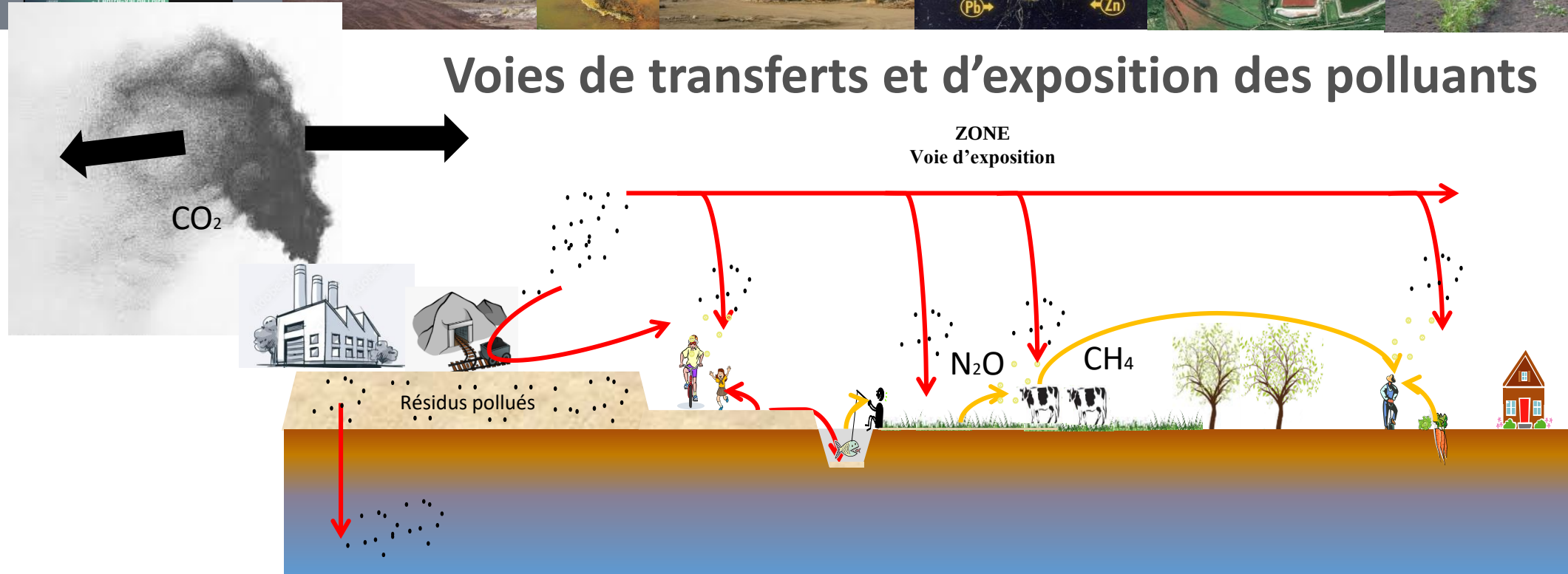
Cas des métaux lourds



Jean Louis Morel



Voies de transferts et d'exposition des polluants



Sources : concentration en métaux et métalloïdes



Vecteurs : transfert direct de substances (aérosols, sols, végétaux)



Vecteurs : transfert indirect de substances (végétaux, viandes ...)



Cibles: biosphère

Comment limiter le transfert des métaux et métalloïdes vers les cibles potentielles ?



Différentes techniques de remédiation de sites pollués

Remédiation Physique

- Recouvrement
- Rinçage
- Traitement thermique
- ...

Confinement Immobilisation

In situ mise en place de barrières étanches pour empêcher la propagation des polluants

Traitement thermique

Combustion ou pyrolyse pour dégrader les polluants (incinération, désorption thermique, vitrification).

Excavation et évacuation des terres polluées vers un centre de traitement adapté (incinérateurs, centre d'enfouissement technique, centres de traitement des terres).

Remédiation Chimique

- Oxydation
- Catalyse
- Adsorption
- ...

Traitement chimique

Apport d'un adjuvant (solvant, acide, électrolyse, etc.) pour enlever ou transformer le polluant en un composé moins toxique (oxydation, réduction, lavage par solvant).

Bioremédiation

- Bioaugmentation
- Bioventing
- **Phytoremediation**
- ...

Traitement biologique

Activité d'organismes vivants (bactéries, champignons, végétaux supérieurs) qui ont la capacité de dégrader ou d'absorber certains types de polluants (exemples : biodégradation, phytoremediation).



Quelles sont les différentes techniques de phytoremédiation?

Phytovolatilisation:

Prélèvement et transformation des contaminants du sol en substances volatiles,

Phytodegradation:

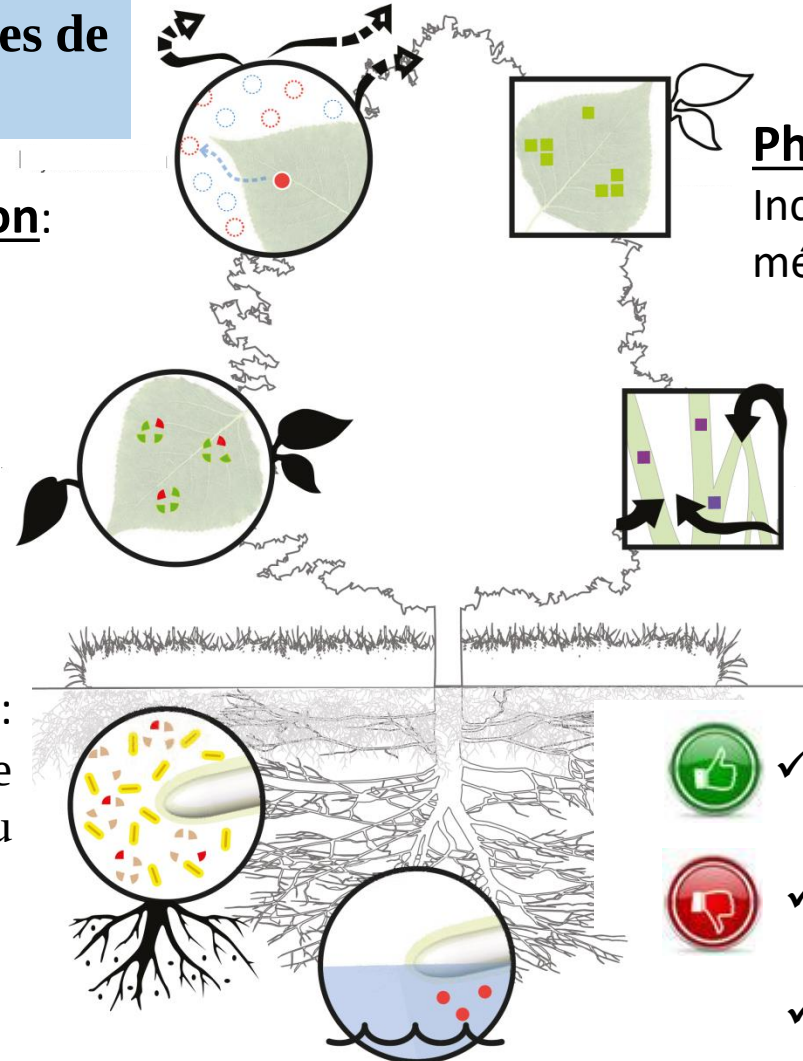
Absorption et dégradation

Rhizodegradation:

Absorption ou adsorption de contaminants présents dans l'eau

Rhizofiltration:

Absorption ou adsorption de contaminants présents dans l'eau



Phytometabolisme:

Incorporation (polluants organiques) dans le métabolisme des plantes

Phytoextraction:

Prélèvement des contaminants du sol et accumulation de ceux-ci dans les tissus récoltables de la plante



✓ En cas de pollution faible



✓ Longue période : 157 000 années pour Pontgibaud (PhD R. Nandillon)

✓ Si pollution profonde

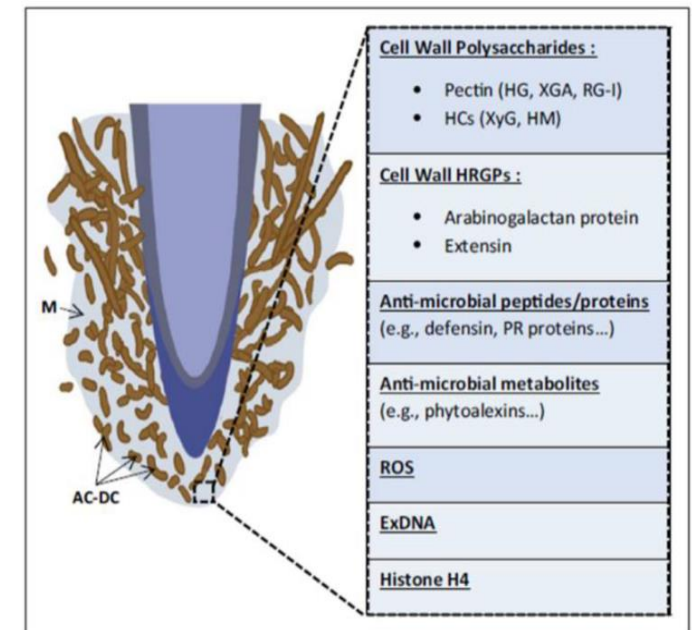
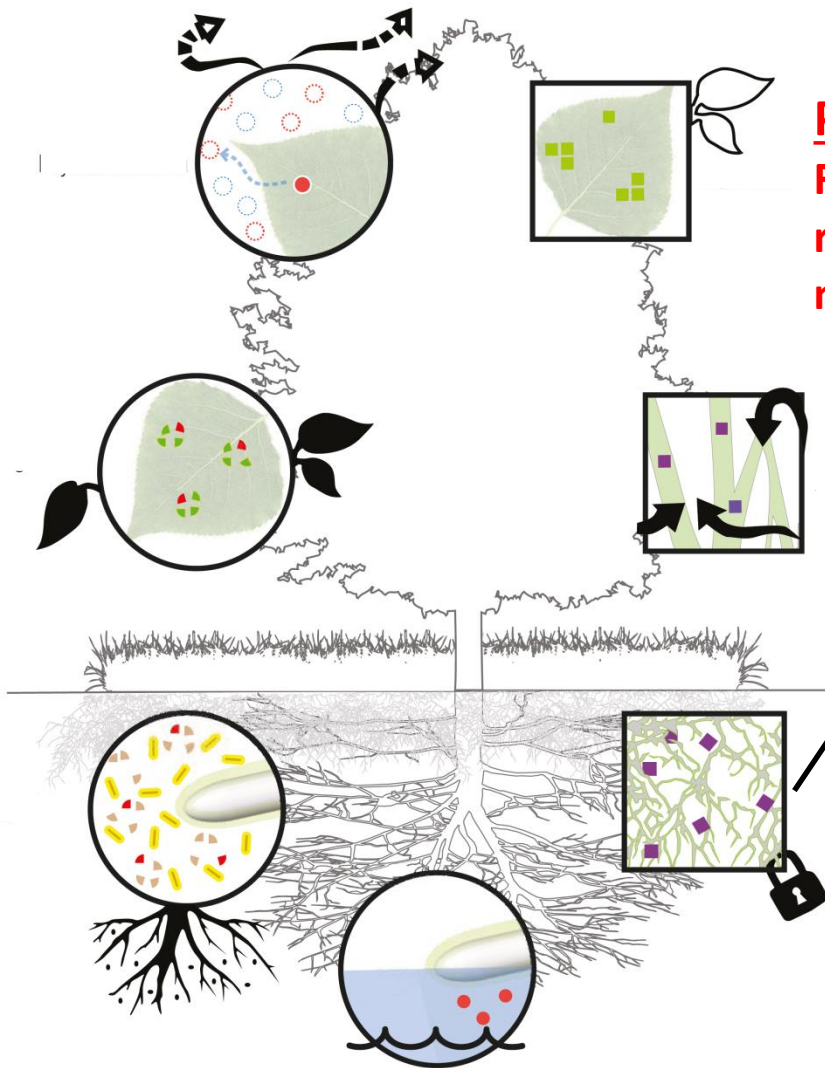
✓ **Collecter et traiter** la biomasse

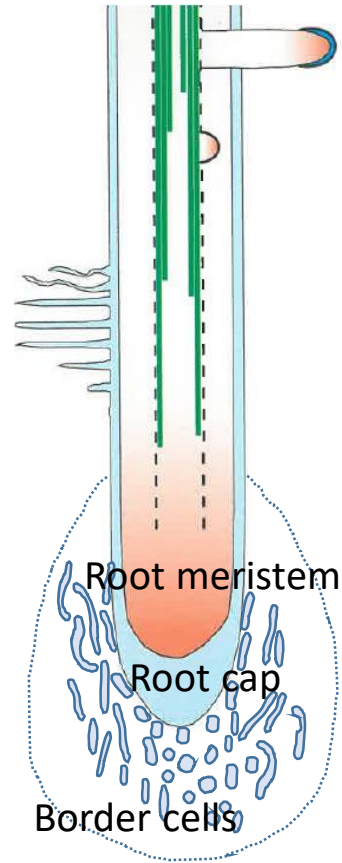


Une alternative : la Phytostabilisation?

Phytostabilisation:
Fixation des polluants dans la zone racinaire (rhizosphère) en association avec microorganismes

« Piéger les polluants dans la racine et dans l'espace extracellulaire »





« Piège extracellulaire racinaire »

- Quelques dizaines à plusieurs milliers de cellules frontières produites par la coiffe racinaire
- Sécrétrices de mucilages

RET de germinations de *P. nigra* L. observé par coloration de contraste à l'encre de Chine

Cellules frontières : Border cells ou AC-DCs for Associated Cap-Derived Cells



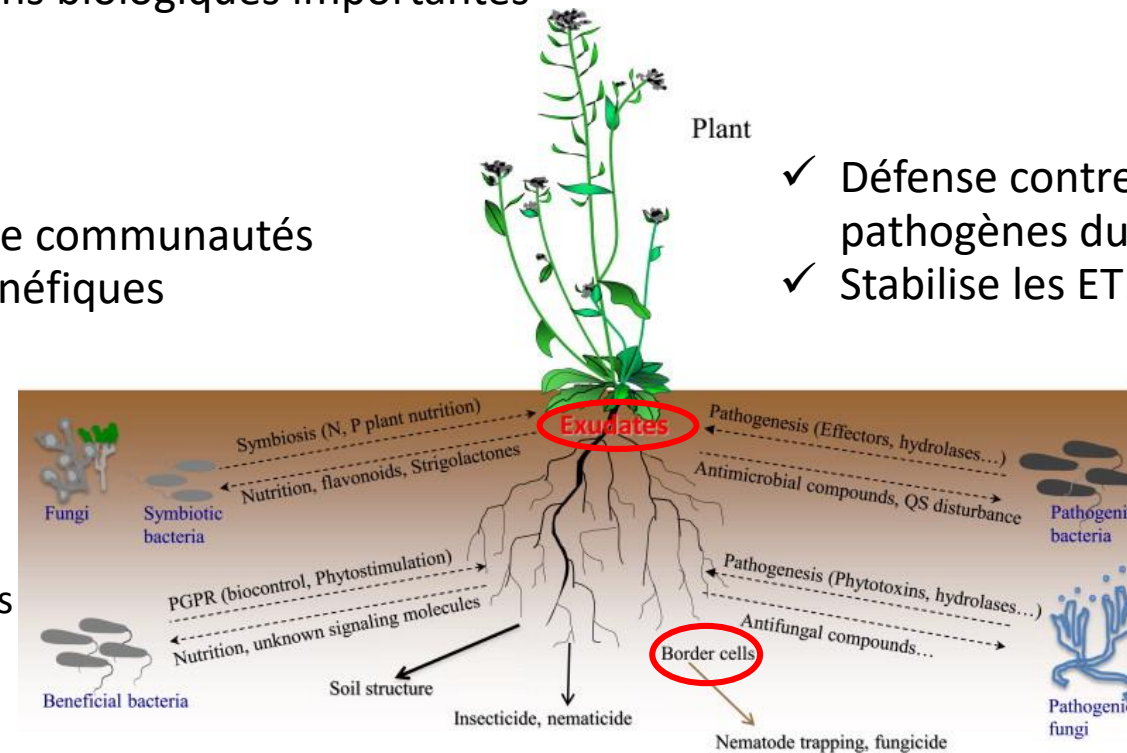
- ▷ Quantité de carbone alloué (10 à 40 %), grande diversité de molécules
- ▷ Variété de fonctions biologiques importantes

✓ Recrutement de communautés microbiennes bénéfiques

✓ Défense contre les pathogènes du sol
✓ Stabilise les ETM

PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria)

Champignons mycorrhiziens



Haichar et al (2014) Soil Biol. Biochem. 77:65-80

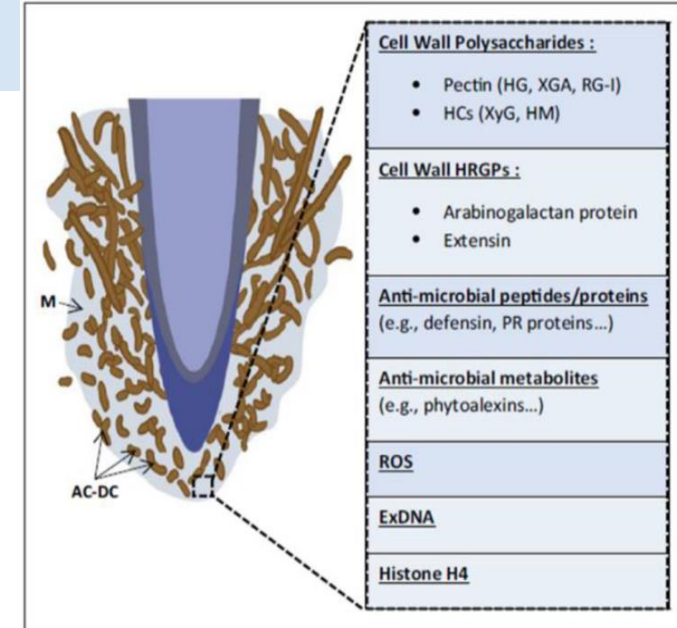


Une alternative : la Phytostabilisation?

Phytostabilisation:
Fixation des polluants dans la zone racinaire (rhizosphère) en association avec microorganismes

Des problèmes demeurent
-pollution polymétallique
-carence nutritive

Phytostabilisation assistée

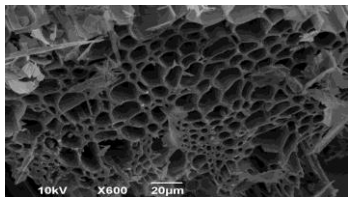




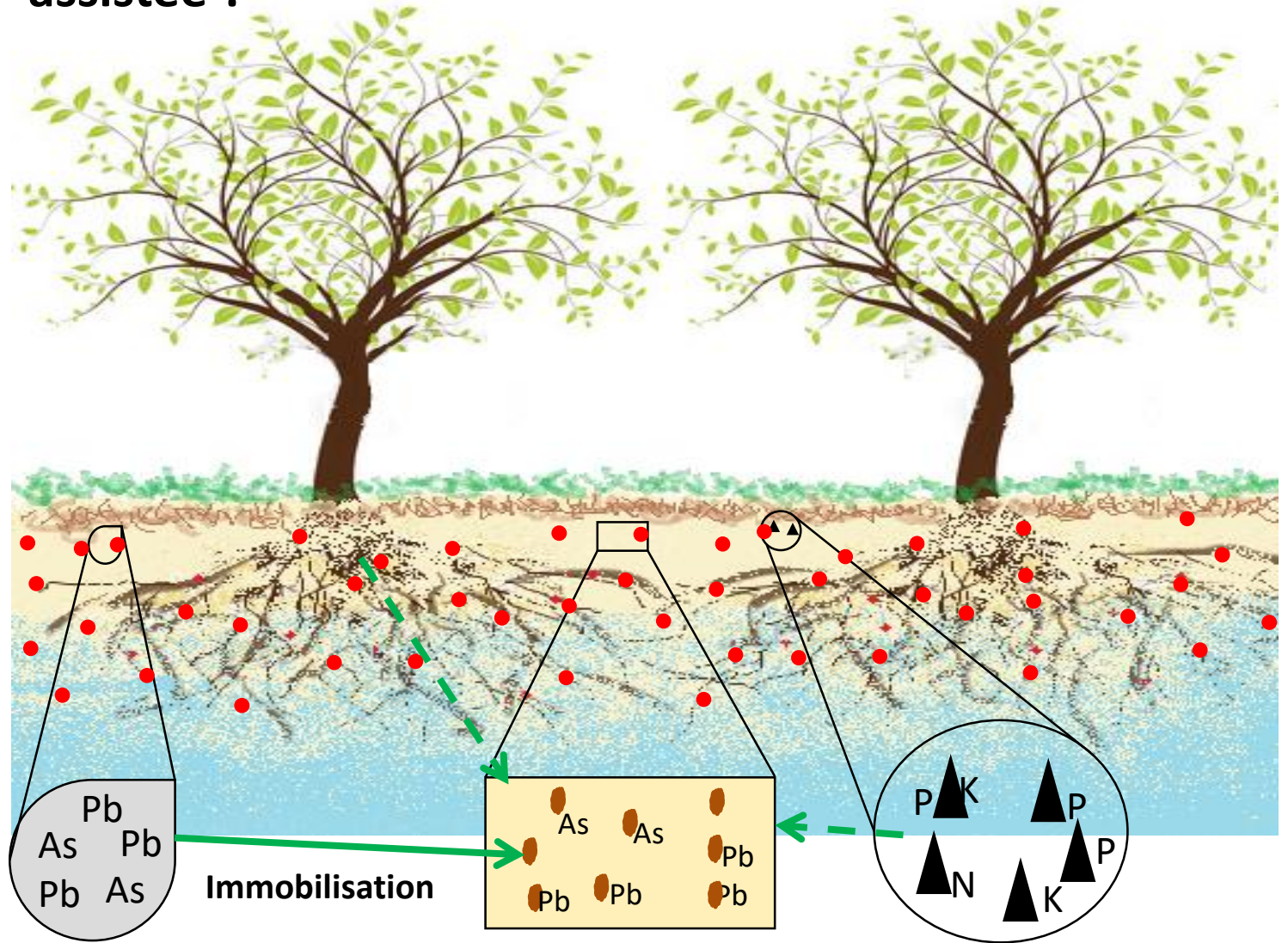
Qu'est-ce que la phytostabilisation assistée ?

Utilisation d'amendements et/ou de microorganismes pour soutenir le développement des végétaux sur des sols fortement pollués en abaissant la toxicité du sol

Exemple : Biochar



- Métaux et métalloïdes (Pb, As...)
- ▲▲ Amendements
- Eau interstitielle
- Particules du sol



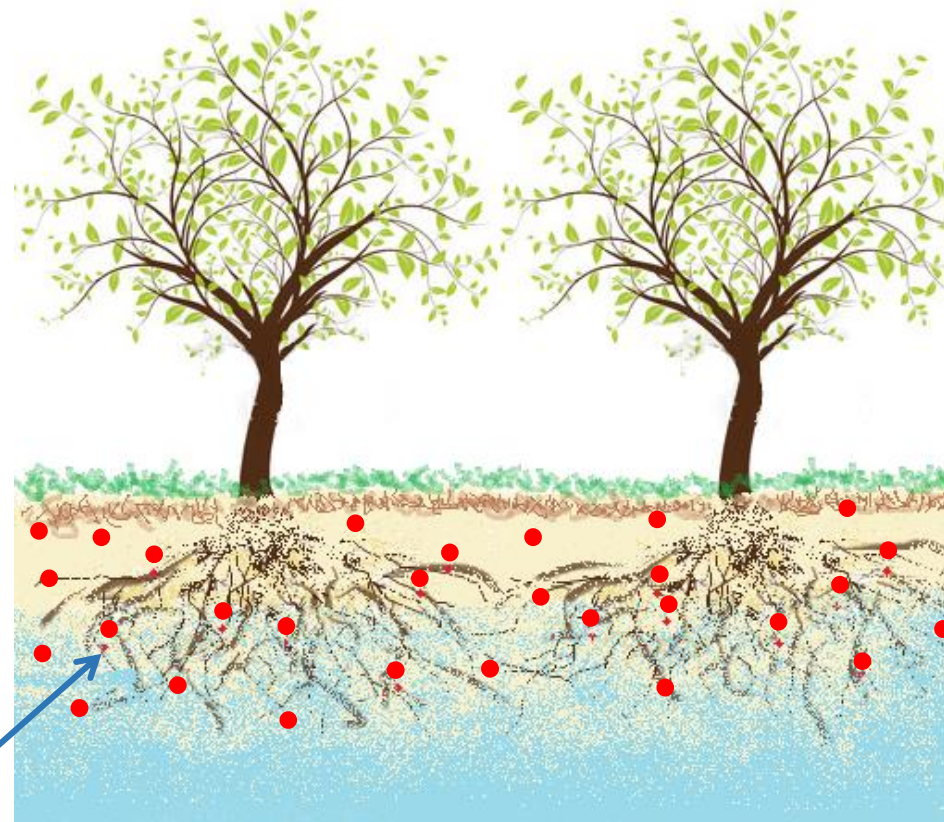


Qu'est-ce que le phytomanagement ?

Définition :

« Combinaison à long terme de la production d'une biomasse végétale rentable avec des options douces de remédiation (GRO, gentle remediation options) afin de diminuer graduellement la pollution d'un sol et de rétablir les fonctions écologiques sources de services écosystémiques» (Mench 2018)

● Métaux et métalloïdes



Adapté de Burges *et al.*, 2018

Production de biomasse végétale
+
Eviter le transfert de pollution
+
Rétablissement des services écosystémiques

PHYTOMANAGEMENT

Avantages

ENVIRONNEMENTAL

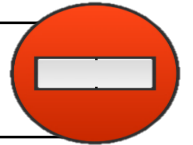
ECONOMIQUE

SOCIAL



Mise en place d'un procédé de Phytomanagement

Caractérisation du technosol : Analyses physico-chimiques
Matière organique, pH, éléments majeurs (NPK) et mineurs, capacité hydrique, ETM
(totaux et disponibles), analyses microbiologiques



laboratoire

Amélioration de la qualité des substrats :
Utilisation d'amendements

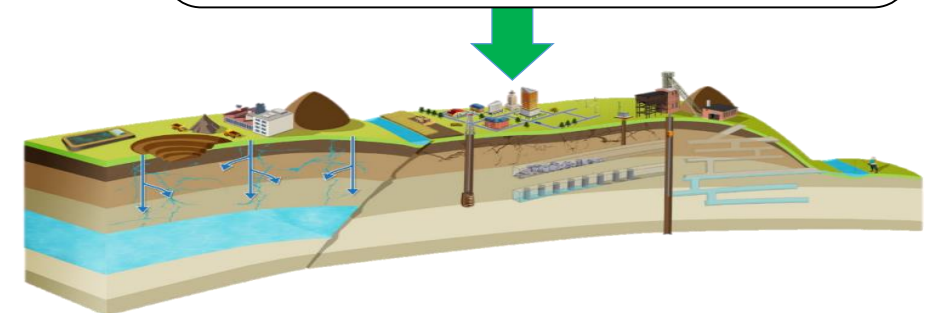
- Améliorer la fertilité
- Baisser la toxicité du sol

Choix des espèces végétales

- Capacité à s'enraciner
- Capacité à tolérer la pollution disponible
- Capacité à stabiliser les polluants

Site pilote

Phytostabilisation assistée
Phytomanagement



Préparation - Végétalisation et Instrumentalisation de la parcelle

Evaluation de l'effet de la phytostabilisation assistée
sur la mobilité des ETM – production et qualité des biomasses

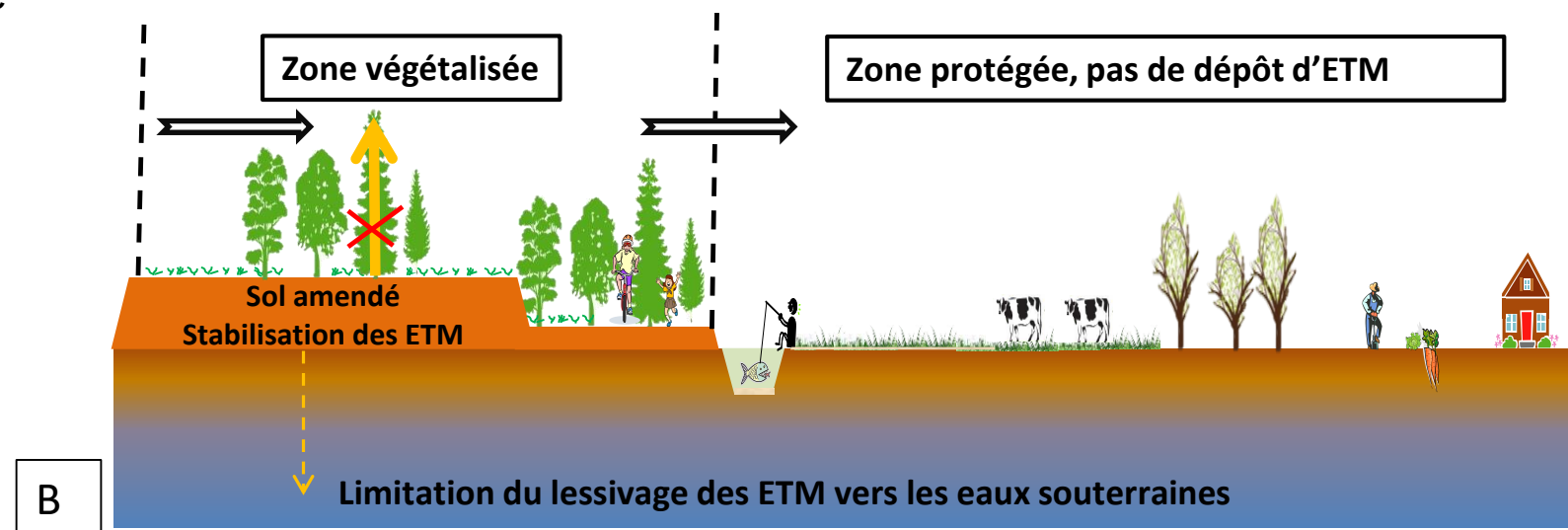
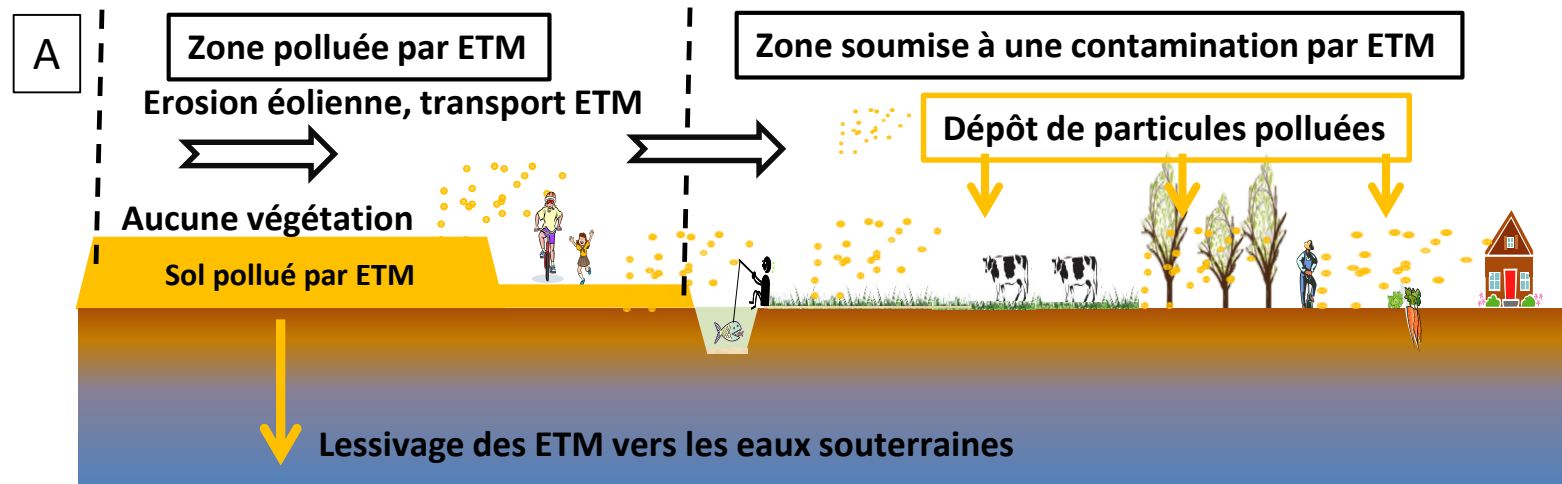


Site pollué

Sol peu fertile

[ETM]

Risque pollution



Lebrun et al. 2022, Assisted phytoremediation (pp. 101-130)

→ Mettre en place un couvert végétal
Réduction des risques
d'érosion et de lessivage
et protéger la zone environnante

Phytostabilisation assistée



-Amendements
-Espèces tolérantes ETM
non accumulatrices



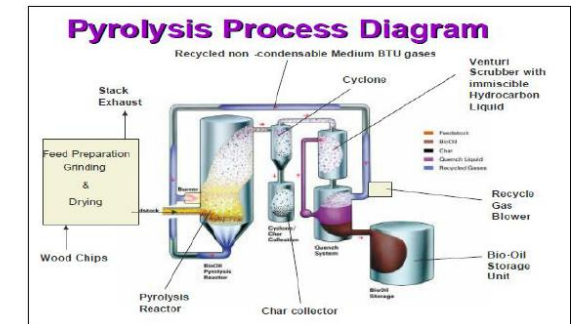
Dernière phase : Valorisation de la biomasse produite, filières énergétiques

Procédés thermochimiques :

Combustion obtention de chaleur, production d'électricité retour au sol des cendres

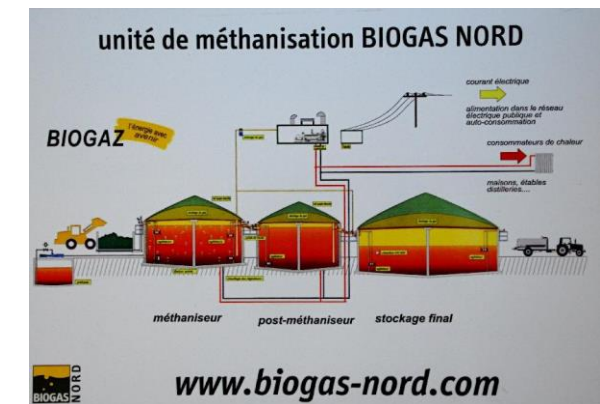
Torréfaction : combustible

Pyrolyse : biochar retour au sol, huiles (chimie, transport, ...), syngaz (carburant)



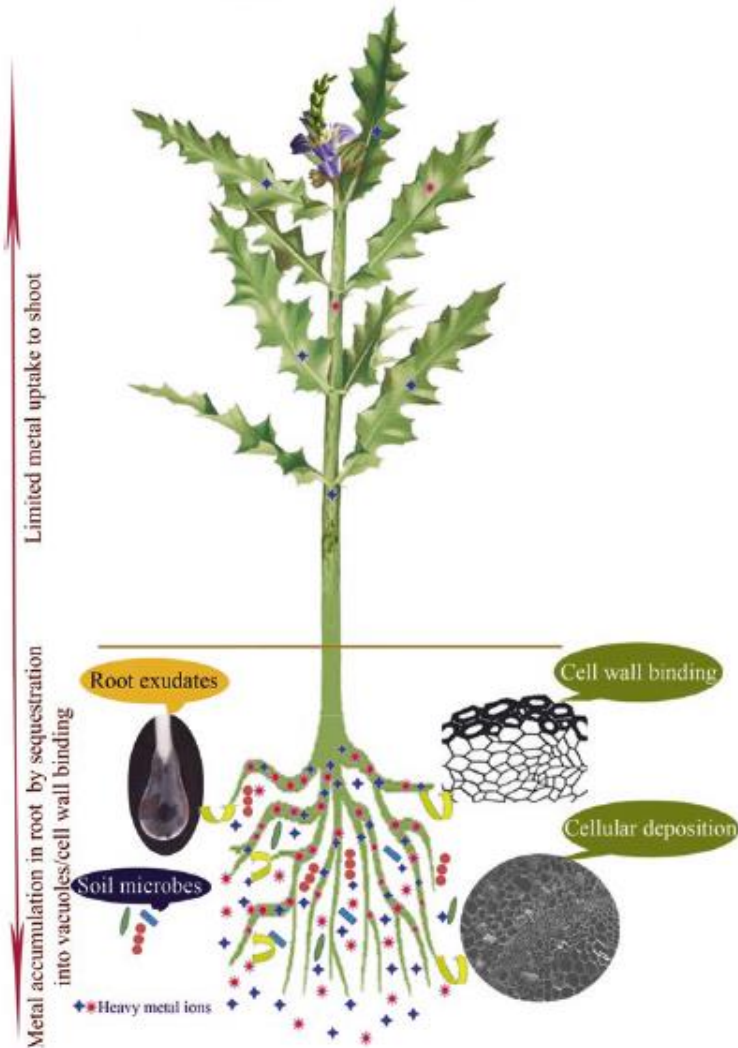
Procédés biologiques :

Méthanisation: obtention de biogaz (chaleur, électricité), digestats (retour au sol)

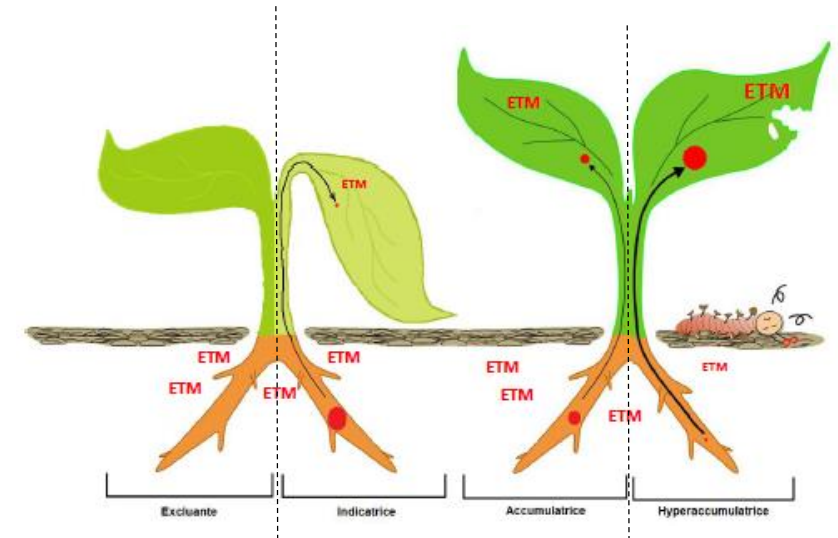
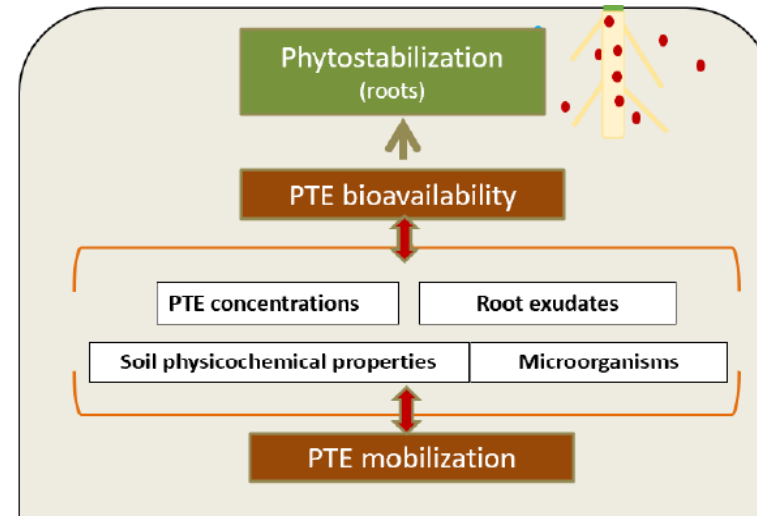




Phytostabilization mechanism



Quelles plantes utilisées?



S. Soussou adapté de Rascio et Navari-Izzo 2011

Peco et al 2021

Fig. 2 General mechanisms of phytostabilization of heavy metals



Quelles sont les espèces ligneuses utilisées ?



❖ **Salicaceae :**

- ✓ Croissance rapide, système racinaire profond et important
- ✓ Capacité de tolérer et d'accumuler des quantités substantielles de métaux et métalloïdes



❖ **Alnus :**

- ✓ Capacité à pousser sur des sols contaminés (stratégies pour accumuler et détoxifier les métaux et métalloïdes)
- ✓ Association du système racinaire avec des micro-organismes



❖ **Ailanthus :**

- ✓ Croissance rapide, fixation de l'azote
- ✓ Capable de pousser sur des sols contaminés

Babu *et al.* 2013; Bart *et al.* 2016; Gatti 2008; Jin *et al.* 2014; Migeon *et al.* 2009; Shin *et al.* 2012



Astragalus armatus



Atractylis caespitosa



Genista hirsuta



Genista tricuspidata



Lotus corniculatus



Reseda lutea



Aristida pungens



Chenopodium murale



Mélia azedarach



Pistacia lentiscus



Retama monosperma



Lotus maroccanus



Quercus ilex



Pinus halepensis



Robinia pseudoacacia



Exemple d'un pilote de phytomanagement

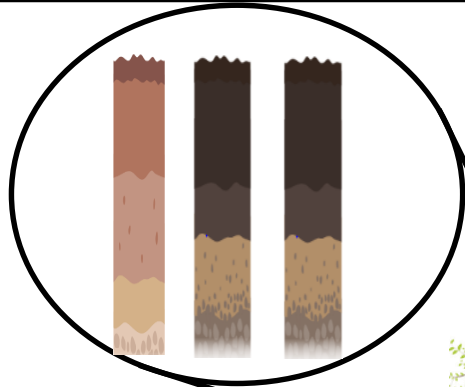
Lagune
As : 0,5g/kg
Pb : 20 g/kg



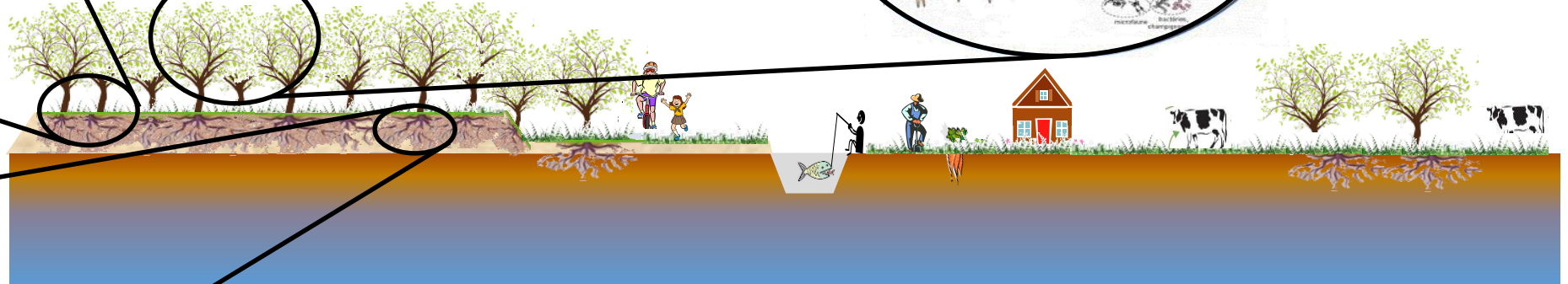
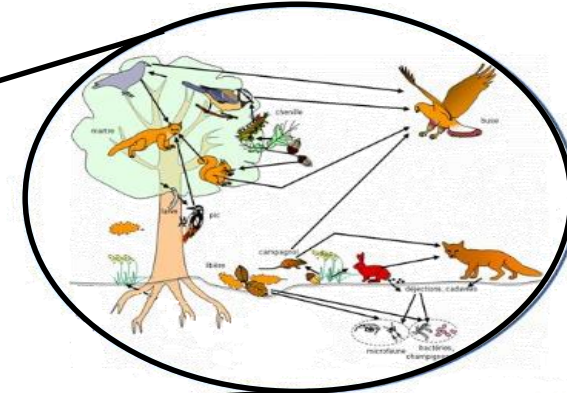


Etude menée AU P2E

(1) Niveau de refonctionnalisation?



(2) Risque de transfert des ETM?



(3) Rôle du « Root Extracellular Trap » en présence d'ETM



Merci de votre attention

