



ANR-11-RSNR-0005



BIOSCIENCES AND BIOTECHNOLOGIES INSTITUTE OF AIX-MARSEILLE

BIAM

DEMETERRES

***ou comment soigner la
terre par les plantes***

Nathalie LEONHARDT

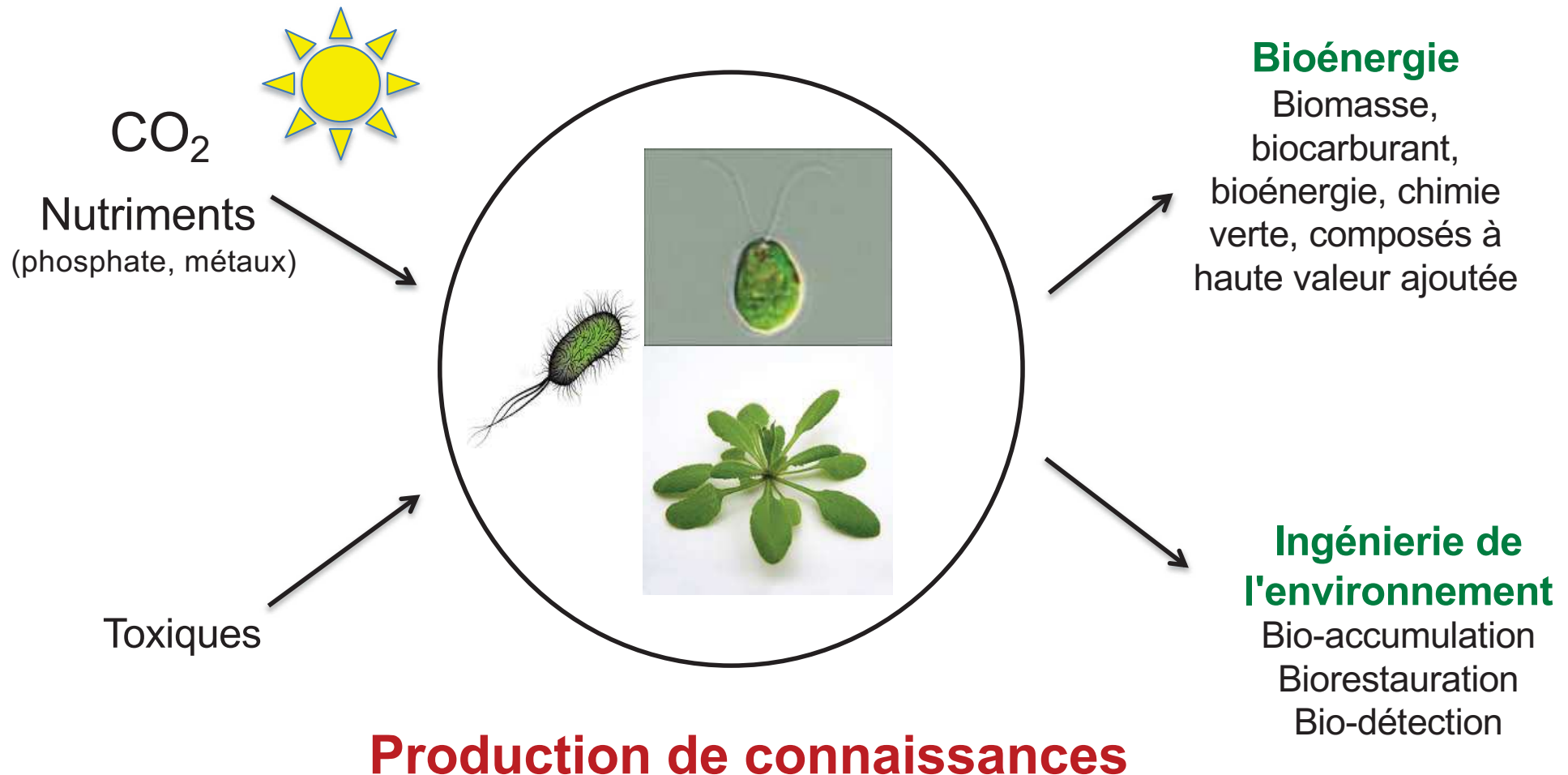
nathalie.leonhardt@cea.fr

cea



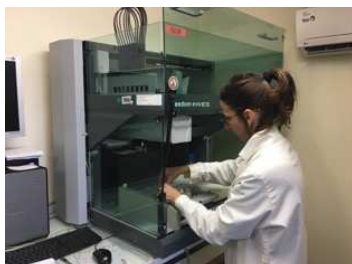
Comment le vivant s'adapte-t-il aux ressources environnementales ?

Approches mécanistes : génétique, génomique, physiologie, imagerie, biochimie structurale et fonctionnelle



PROTEINTEC

Expression de protéines recombinantes
De la purification à l'analyse structurale



PHYTOTEC



Mesures et culture de plantes en conditions contrôlées
Expérimentation sous atmosphère modifiée
Étiquetage isotopique
Réponses aux stress environnementaux



ZONE CONTRÔLÉE



ACCÈS RÉGLEMENTÉ

SALTO

Laboratoire de microbiologie
et végétal pour l'utilisation de
traceurs radio-isotopiques ou
de radionucléides

PROTEINTEC

PHYTOTEC

SALTO

HELIOBIOTEC

ZOOM

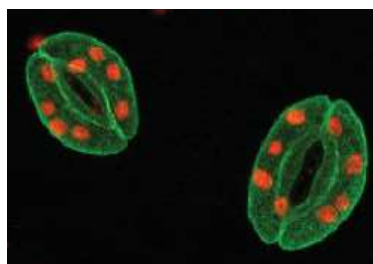
HELIOBIOTEC

Culture dans des photobioréacteurs contrôlés
Analyse métabolomique des composés lipidiques



ZOOM

Pool de microscopes
(optique, confocal)





© Frédéric PERASSO Architecte

POURQUOI FAUT-IL SOIGNER LES TERRES ?

La population mondiale augmente



Les surfaces cultivables diminuent
En France : perte de 82 000 ha/an



Toutes les terres cultivables sont de plus en plus précieuses
(cf FAO 2015 année internationale des sols)
En France valeur économique et culturelle
Au Japon valeur économique et spirituelle

PEUT-ON SOIGNER DES TERRES CONTAMINEES ?

Les terres peuvent être polluées par :

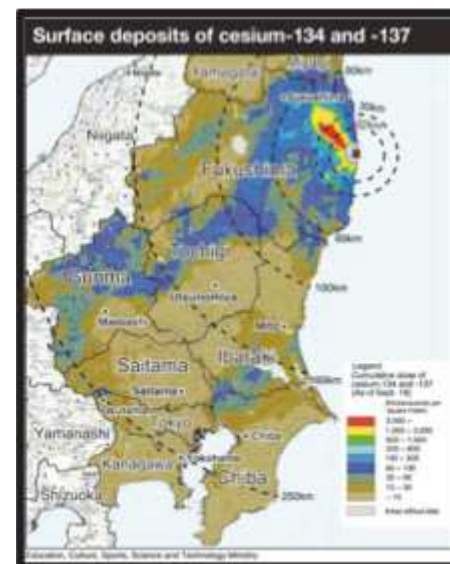
✓ **Des contaminants organiques :**
raffineries, chimie, pesticides,...

✓ **Des contaminants métalliques :**
les mines, les déchets de station épuration,
les accidents technologiques,...

✓ **Des contaminants biologiques :**
bactéries, champignons invasifs, ...



L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA



APRES L'ACCIDENT

Surfaces : 515 km² dont 88 km² cultivés et 410 km² de forêt



Volume : 22 millions de m³ (70 tours Montparnasse)



ET EN FRANCE ?

58 réacteurs nucléaires



54 réacteurs nucléaires



2012 : Appel à projets RSNR

Développement de contre-mesures sanitaires et environnementales, traitement de la contamination et méthodes avancées de décontamination, bio-remédiation, gestion et traitement des effluents et des déchets associés

DEMETERRES : lauréat d'un appel à projets compétitif

Développement de **M**éthodes bio et **E**co **T**echnologiques pour la **R**emédiation **R**aisonnée des **E**ffluents et des **S**ols en appui à une stratégie de réhabilitation post-accidentelle

Objectifs :

- Technologies innovantes de remédiation sol et effluents (Cs et Sr)
- Sélectives des radionucléides
- Non intrusives
- Optimisées en matière de déchets secondaires

Méthodes :

- Biotechnologies dont la phytoremédiation
- Physicochimie dont mousse de flottation

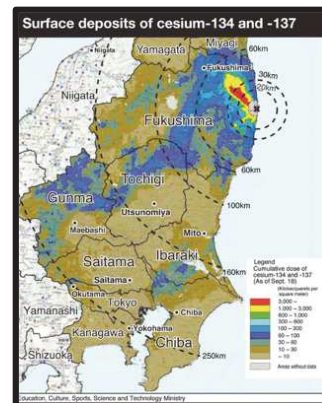
Durée : 5 + 1 ans

Budget : 21 M€ dont 5,6 M€ d'aide de l'ANR

Projet multipartenaire

CEA, ORANO, VEOLIA, INRA, CIRAD, IRSN (60 personnes)

DEMETERRES



- Traitements**
- sols et matrices solides
 - des effluents liquides



Bio remédiation

Pilotes industriels

Phytotechnologies



Sécurité
alimentaire

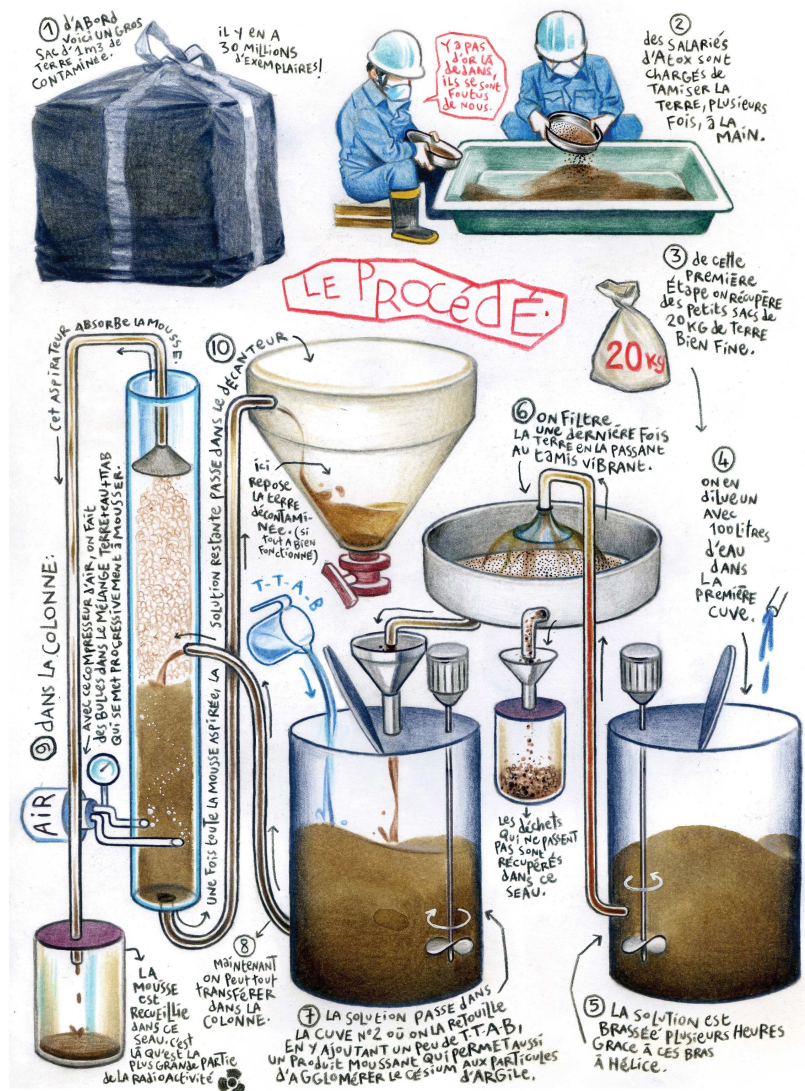


Biotechnologies

Physico-Chimie

COMMENT SIGNER LES TERRES MALADES ? (1/2)

BIG BAGS ET MOUSSE DE FLOTTATION



Sol en solution

Collecte de mousse contenant les particules fines et plus hydrophobes

Fines particules chargées négativement capturées par les bulles d'air

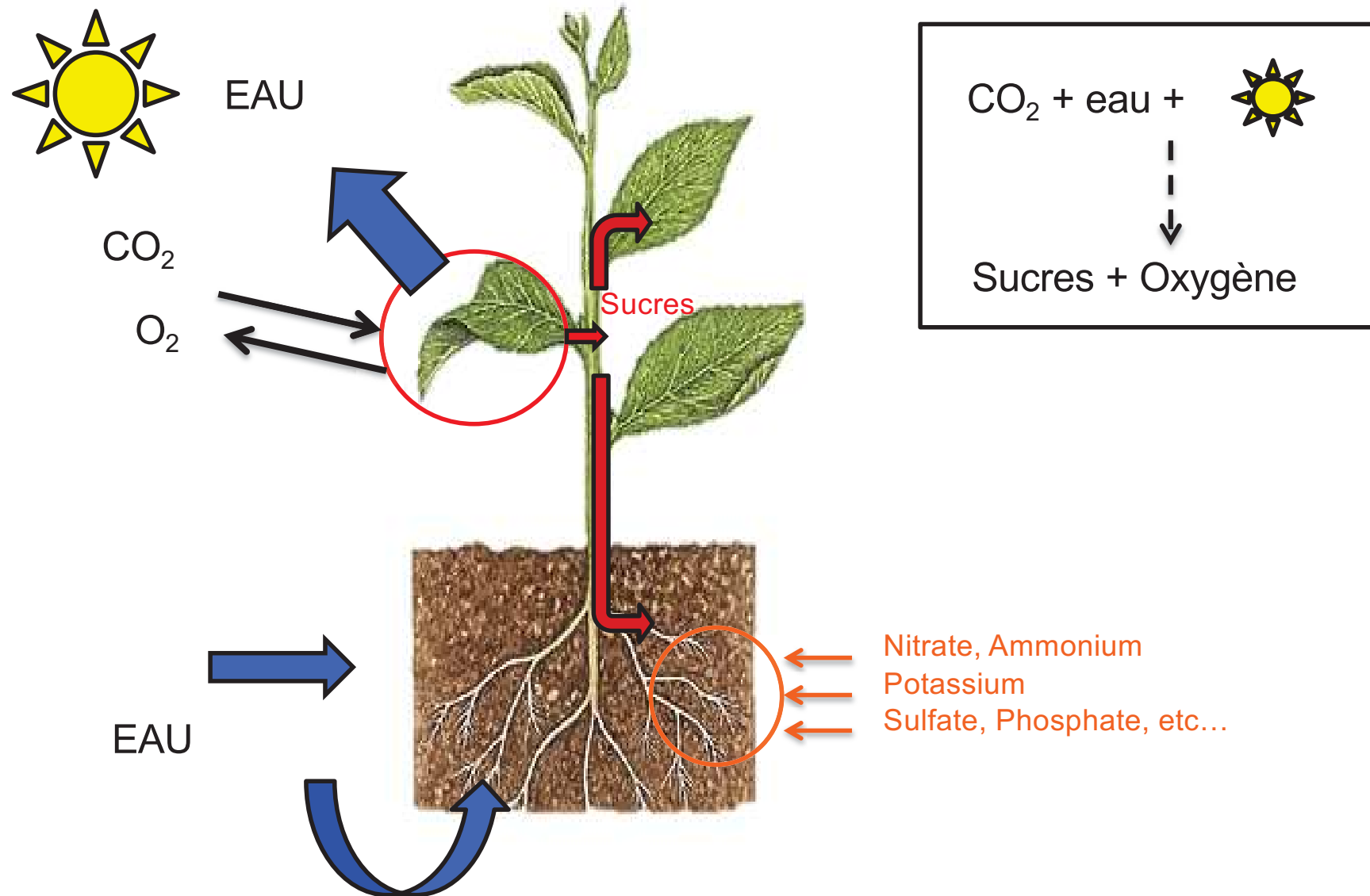
Air

Particules non flottées (grosses et plus hydrophiles)

COMMENT SOIGNER LES TERRES MALADES ? PAR LES PLANTES



COMMENT FONCTIONNE UNE PLANTE ?



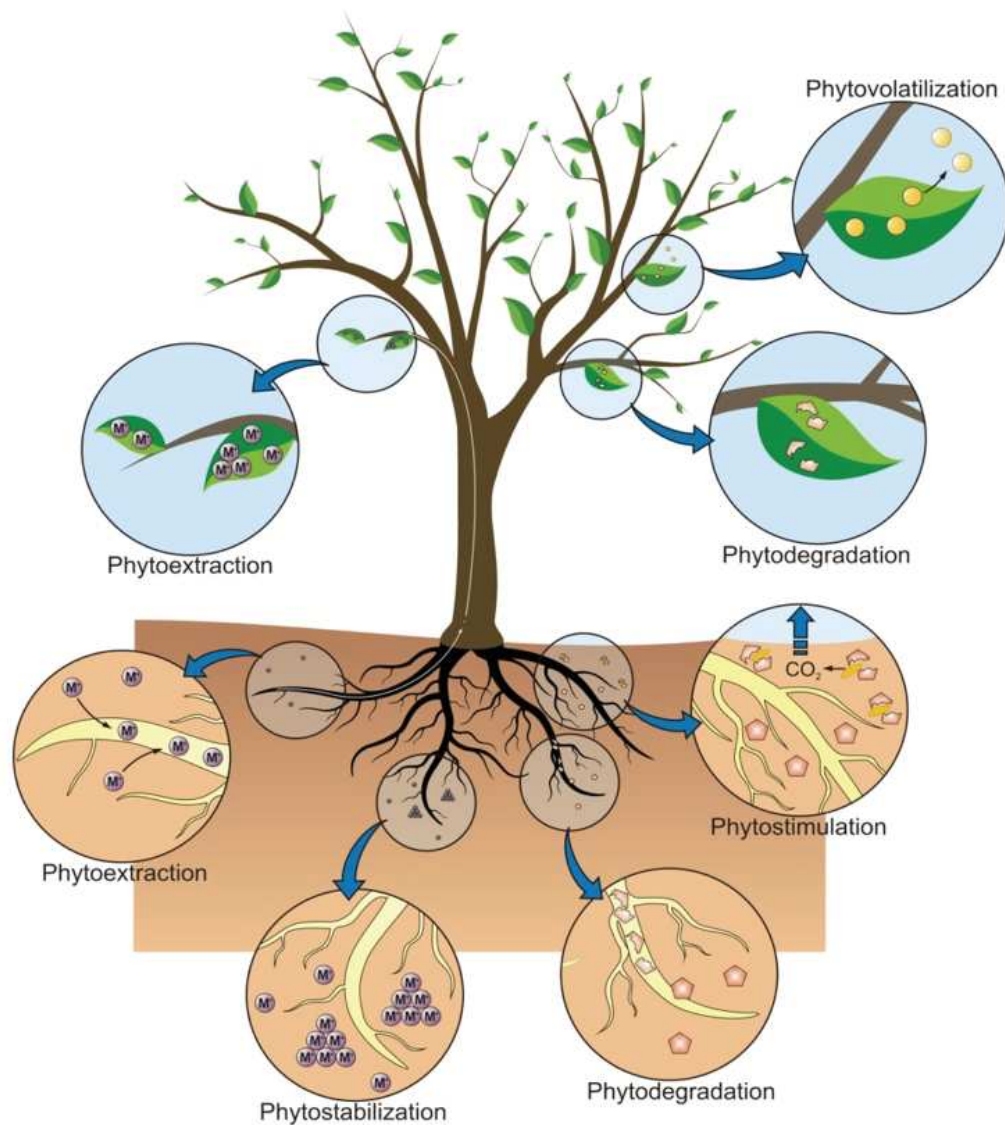
L'utilisation des végétaux et de leurs microorganismes pour éliminer les contaminants de l'environnement ou les rendre inoffensifs.

“Phyto” = Plant (in Greek)

“Remediare” =To remedy (in Latin)

- ✓ **Processus naturel:** peut être une méthode d'assainissement efficace sur une variété de sites et sur de nombreux contaminants.
- ✓ Certaines espèces végétales possèdent le **potentiel génétique d'éliminer**, de **dégrader**, de **métaboliser** ou d'**immobiliser** une vaste gamme de contaminants.

COMMENT FONCTIONNE LA PHYTOREMÉDIATION ?



- ✓ Technologie d'assainissement *in situ* ou *ex situ*
- ✓ Le mécanisme et l'efficacité de la phytoremédiation dépendent du **type de contaminant**, de sa **biodisponibilité** et des **propriétés du sol**.
- ✓ Le **système racinaire** offre une **surface énorme** qui absorbe et accumule l'eau et les nutriments essentiels, ainsi que des contaminants non essentiels.

LES INTÉRÊTS MAJEURS DE LA PHYTOREMÉDIATION



- ✓ **Impact mineur sur l'environnement** par rapport aux techniques physiques ou chimique; **préservation** du paysage et de **la fertilité des sols** pour l'avenir.
- ✓ **Assainissement de grandes superficies** présentant une contamination modérée à faible et **réduire l'érosion** par le vent et l'eau.
- ✓ Bien acceptée par la population comme une "**technologie verte**".
- ✓ **Coût modéré**, généralement de 10 à 100 fois inférieur à celui d'autres techniques
- ✓ Le **recyclage de la biomasse** par la production d'énergie est économiquement intéressant et crée une activité dans des zones où l'agriculture est compromise.

LES LIMITES DE LA PHYTOREMÉDIATION



- ✓ Le taux de pollution ne doit pas être supérieur au **taux de résistance des végétaux**.
- ✓ On ne peut utiliser que des végétaux adaptés au **secteur géographique** à dépolluer.
- ✓ Les racines végétales n'atteignent pas toujours les zones polluées: pollution des sous-sols.
- ✓ La dépollution exige plusieurs années.



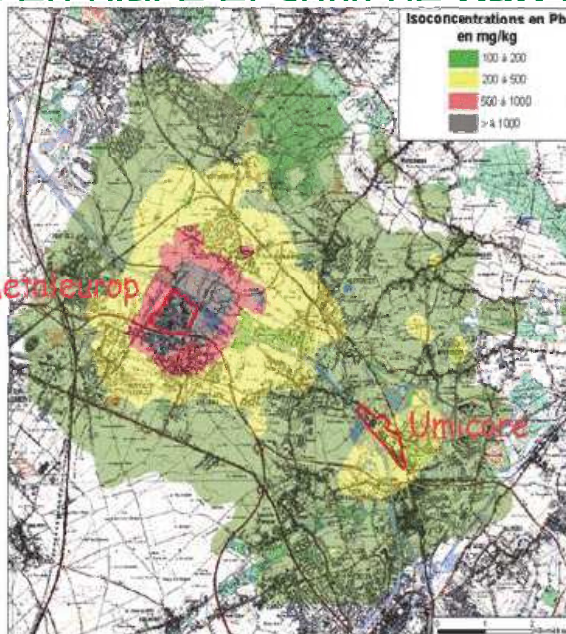
Site de Leforest
(Nord –Pas de Calais)
Texture Argilo-limoneuse

Site de Pierrelaye
(Val d'Oise)
Texture sableuse

➤ Mise en place et suivi de **parcelles expérimentales in situ** de peuplier

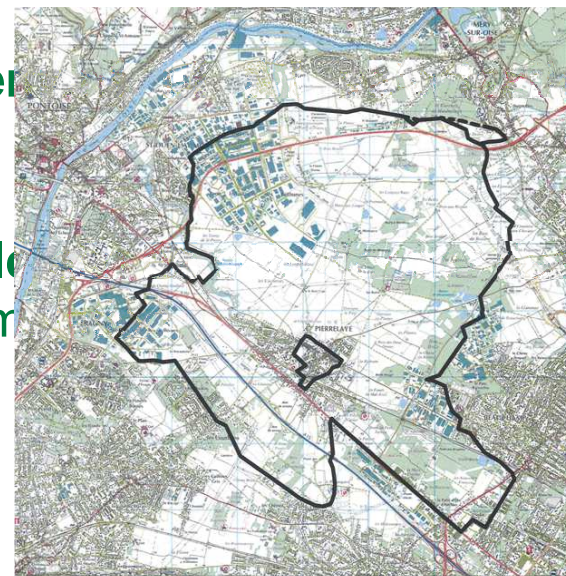
➤ Dév
bio

➤ Etu
plus

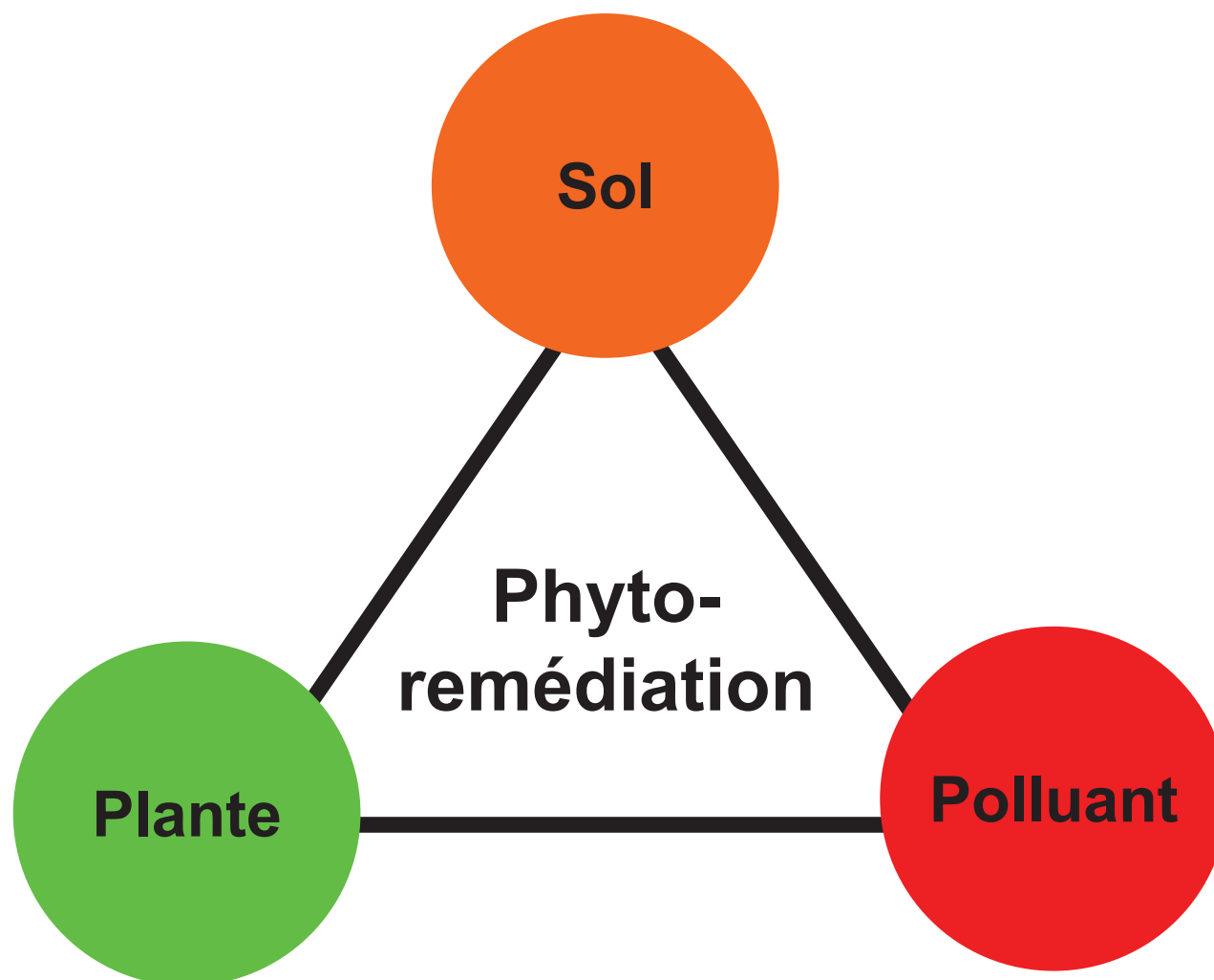


de traiter

ogie végétale
acité d'accum



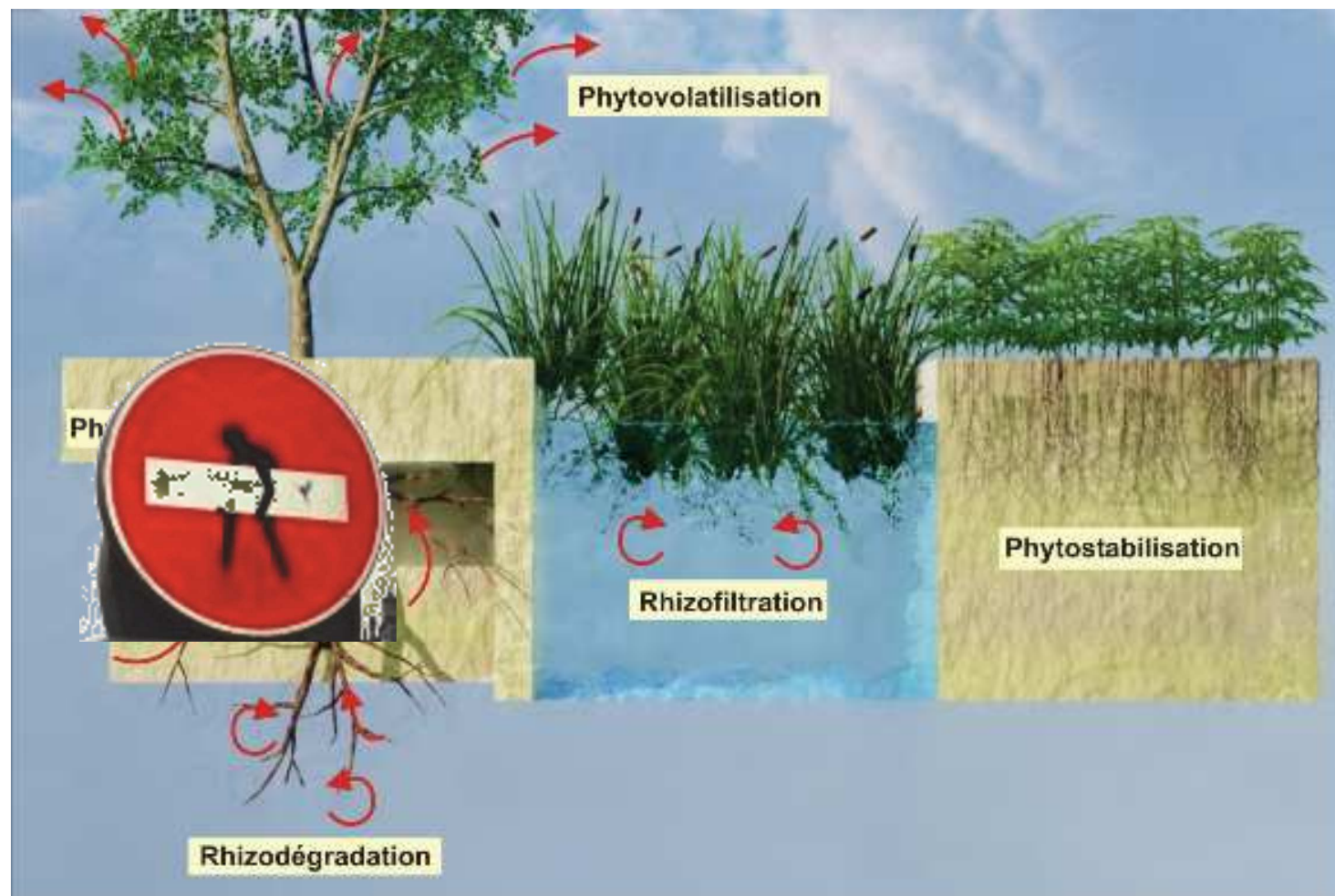
n de la
peupliers



PHYTOREMÉDIATION MAIS AUSSI SÉCURITÉ ALIMENTAIRE...

Plante

Sécurité
alimentaire



LES ESPÈCES : PAS TOUTES PERFORMANTES ...

Plante



Environmental Pollution, Vol. 97, No. 1 2, pp. 11 15, 1997
 © 1997 Elsevier Science Ltd
 All rights reserved. Printed in Great Britain
 0269-7491/97 \$17.00 + 0.00
 PII: S0269-7491(97)00090-0

DIFFERENCES IN ROOT UPTAKE OF RADIOCAESIUM BY 30 PLANT TAXA

Martin R. Broadley and Neil J. Willey*



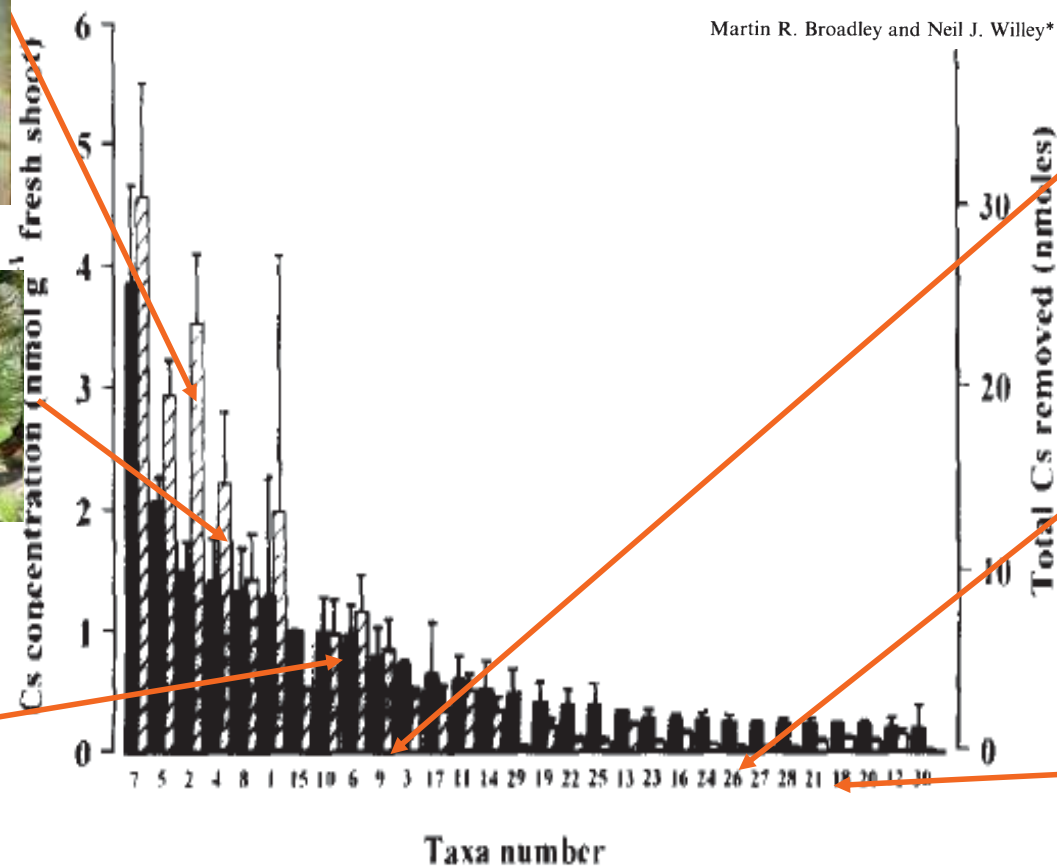
Quinoa



Beta



Atriplex



Ray-grass



Festuca



Trifolium

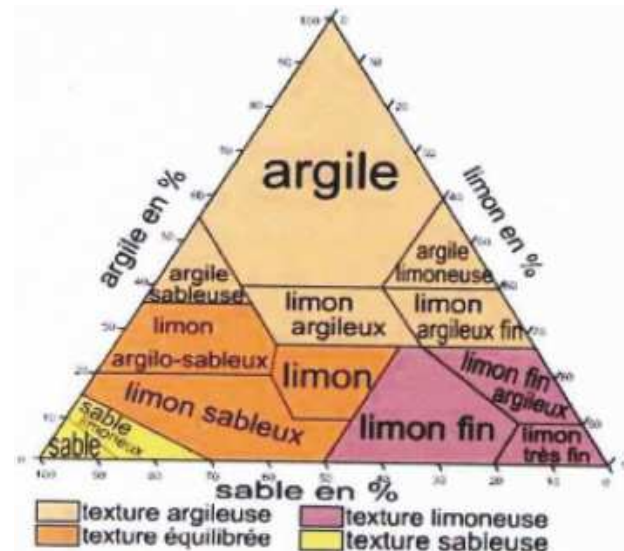
TOUS LES SOLS NE RESSEMBLENT PAS

Sol

➤ Sol

- Fraction solide: matière minérale et matière organique
- Solution du sol: éléments minéraux, eau (agrégation, stabilité, structure, texture...)

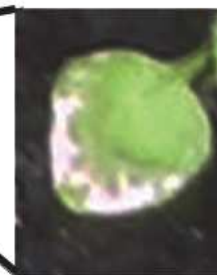
➤ Profil du sol



^{137}Cs TRÈS PEU ABONDANT MAIS TRÈS RADIOTOXIQUE

Polluant

✓ ^{133}Cs est faiblement toxique du point de vue chimique.



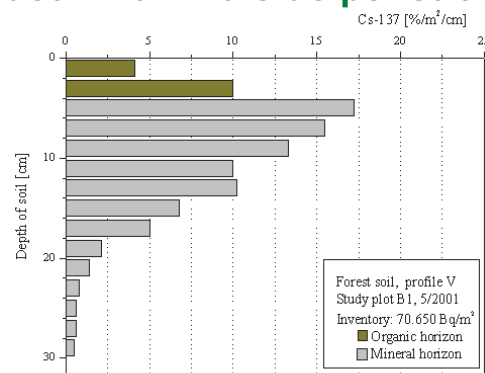
1 mmole/kg

X 5000

✓ Les ^{134}Cs et ^{137}Cs dérivés de la fission nucléaire sont radiotoxiques.

- La demi-vie du ^{137}Cs est de 30,2 ans, celle du ^{134}Cs est de 2,1 ans et celle du ^{135}Cs est de $2,3 \cdot 10^5$ ans.
- Sol 250 000 Bq/kg = 1 $\mu\text{mole/kg}$

✓ La profondeur maximale de pénétration du ^{137}Cs dans le sous-sol atteint 40 cm

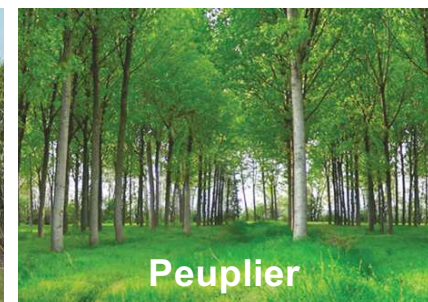


LES OBJECTIFS POUR LE PROJET DEMETERRES

- **X2** la capacité de transfert du Cs du sol vers la partie aérienne des plantes: Phytoextraction.
- **÷2** la capacité de transfert du Cs du sol vers la partie aérienne des plantes: Sécurité Alimentaire.
- Participer au transfert des résultats d'une plante modèle, *Arabidopsis thaliana*, vers des espèces d'intérêt agricole.



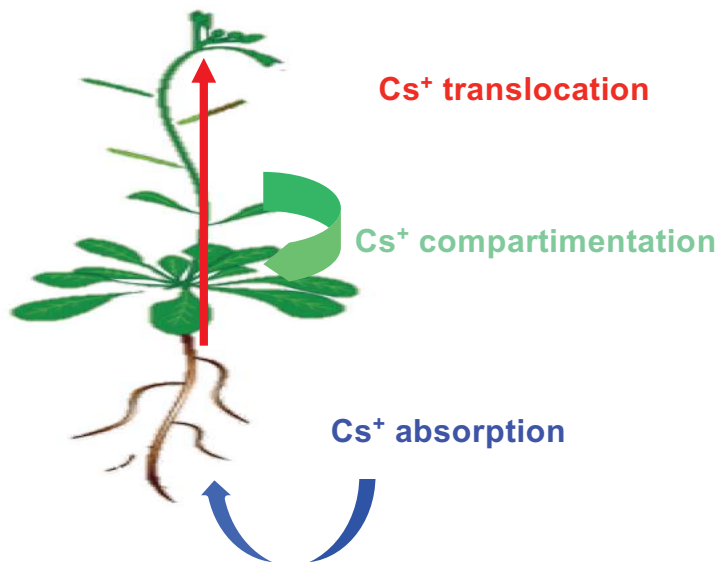
Arabidopsis thaliana



COMMENT PEUT-ON DIMINUER OU AUGMENTER L'ABSORPTION ET L'ACCUMULATION DE Cs IN PLANTA ?

➤ Stratégies développées

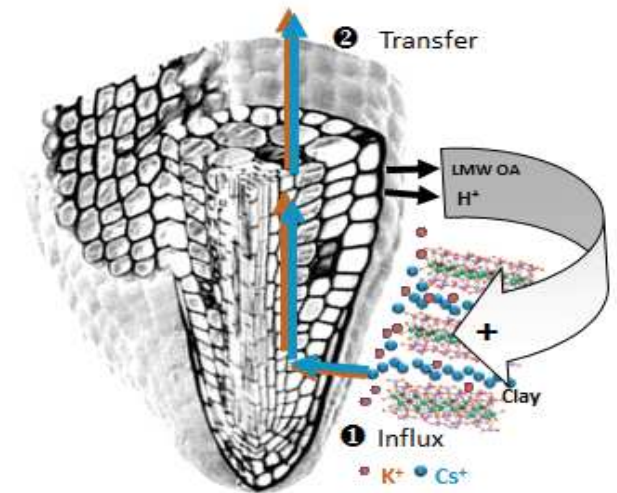
Etude des systèmes de transport du Cs chez les plantes



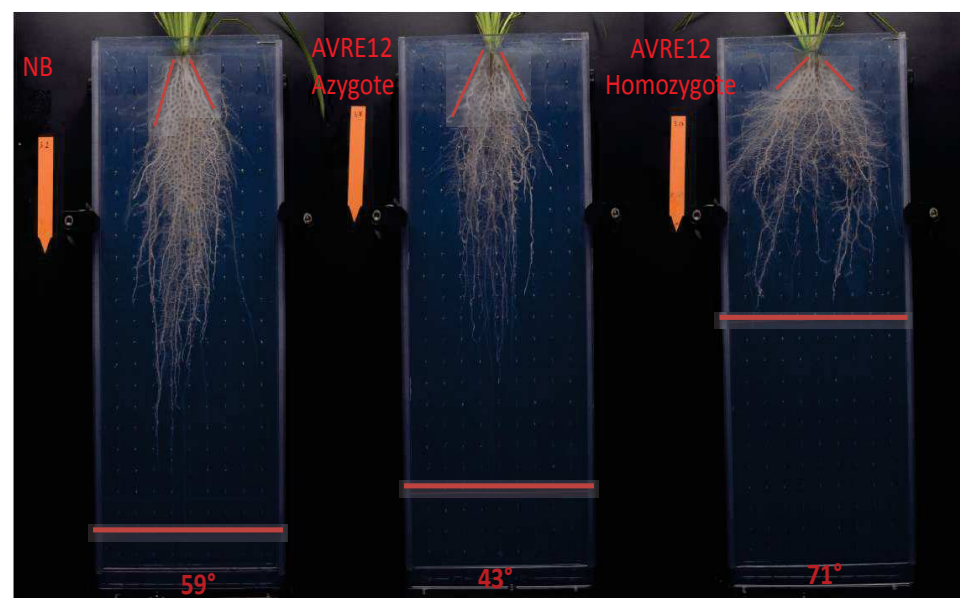
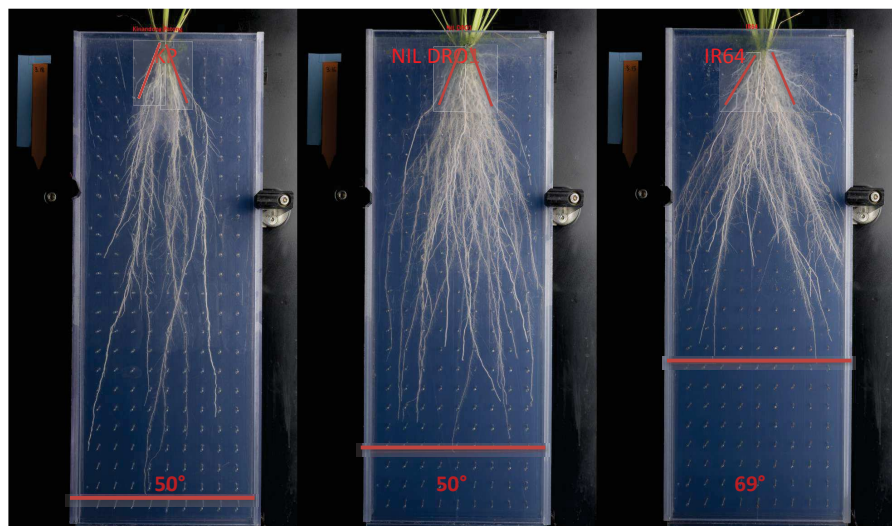
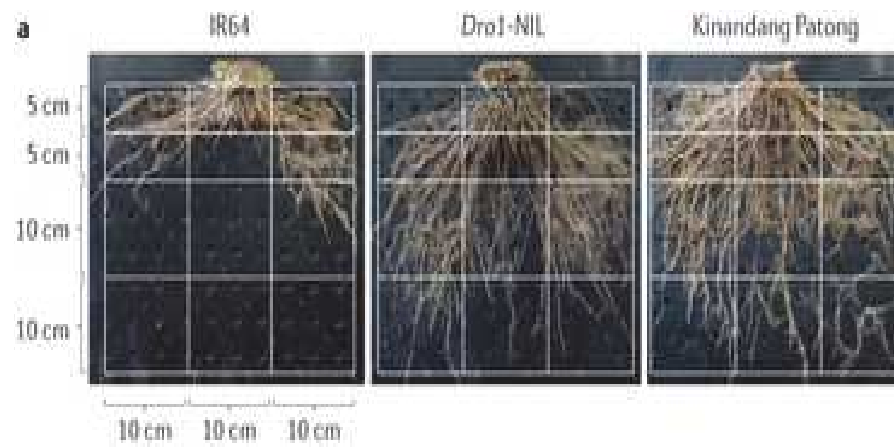
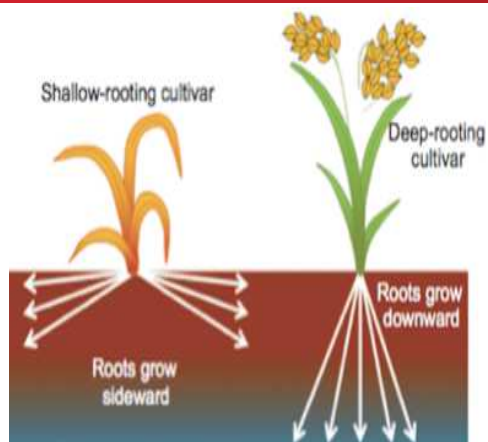
Modification de l'architecture racinaire: profondeur d'enracinement



Biodisponibilité du césium dans la rhizosphère: impact des exsudats racinaires



MODIFICATION DE L'ARCHITECTURE RACINAIRE: EFFET DE LA PROFONDEUR D'ENRACINEMENT



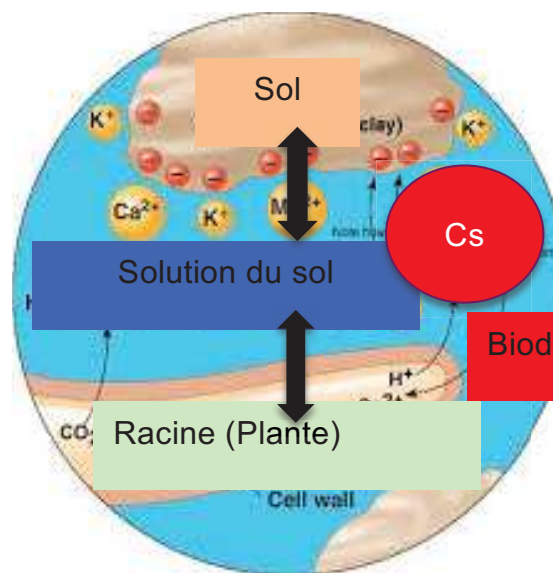
MODIFICATION DE LA BIODISPONIBILITÉ DE Cs DANS LA RHIZOSPHERE

- Acteurs majeurs qui déterminent la biodisponibilité du Cs:

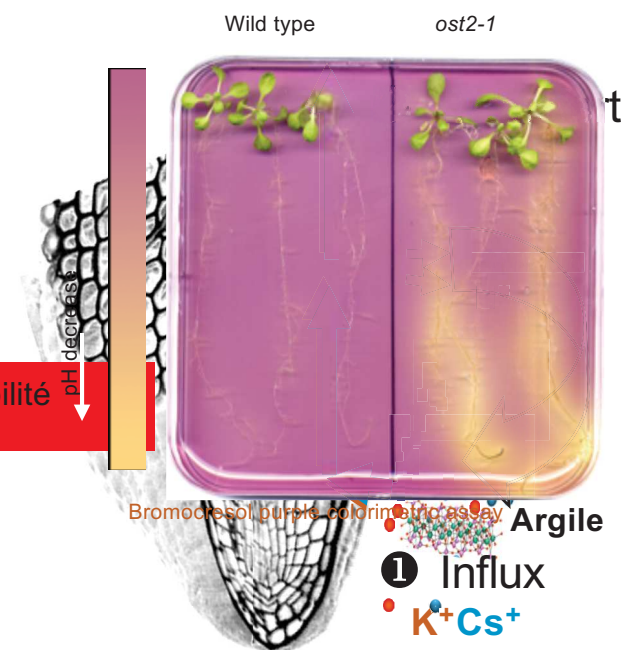
Sol
(matrice solide)



Solution du sol



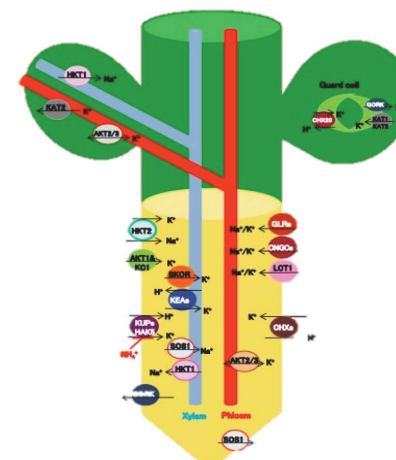
Racine
(Plante)



MODIFICATION DES SYSTÈMES DE TRANSPORT DU Cs^+ CHEZ DANS LA PLANTE

- Cs^+ présente des propriétés chimiques similaires à celles du K^+
- Le Cs emprunte les voies de transport du K^+

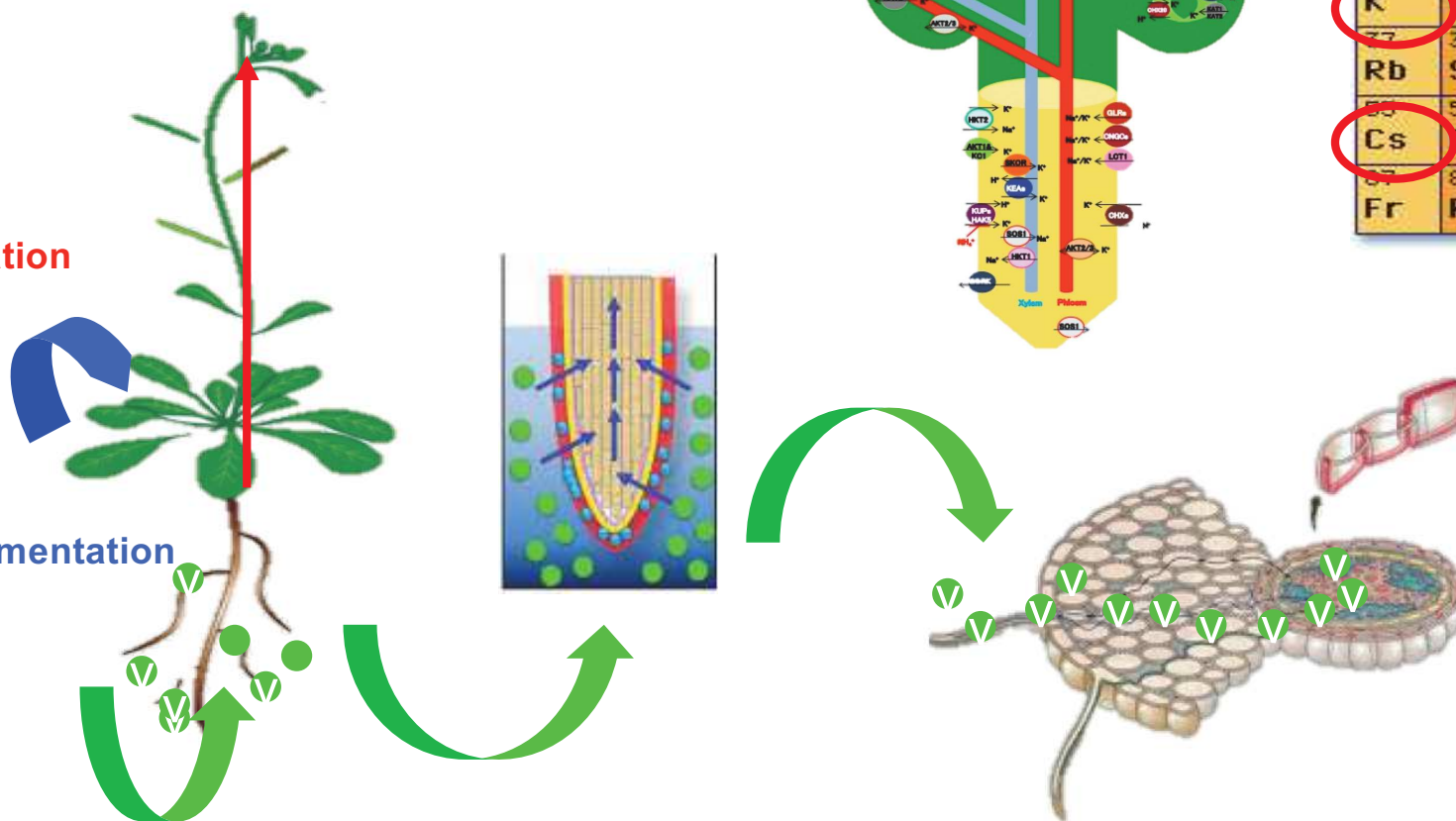
1	2
H	He
3	4
Li	Be
11	12
Na	Mg
19	20
K	Ca
37	38
Rb	Sr
55	56
Cs	Ba
87	88
Fr	Ra



Cs^+ translocation

Cs^+ compartimentation

Cs^+ absorption



LE Cs^+ EMPRUNTE LES VOIES DE TRANSPORT DU K^+



Avec K^+

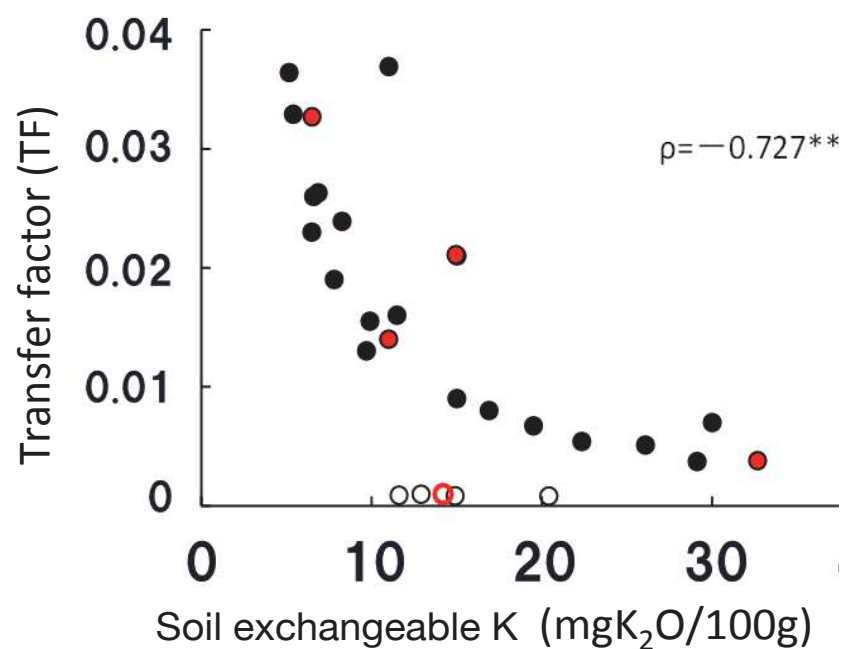
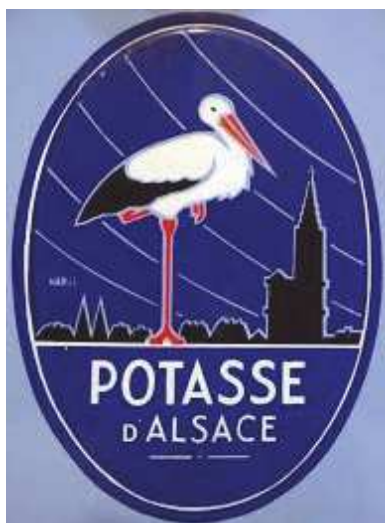
Sans K^+



^{137}Cs



DES AMENDEMENTS EN K^+ POUR AGIR SUR L'ABSORPTION DU Cs^+



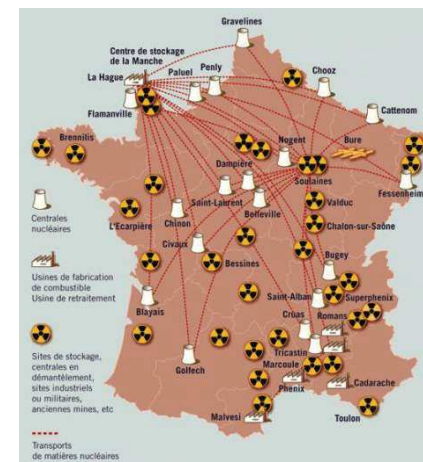
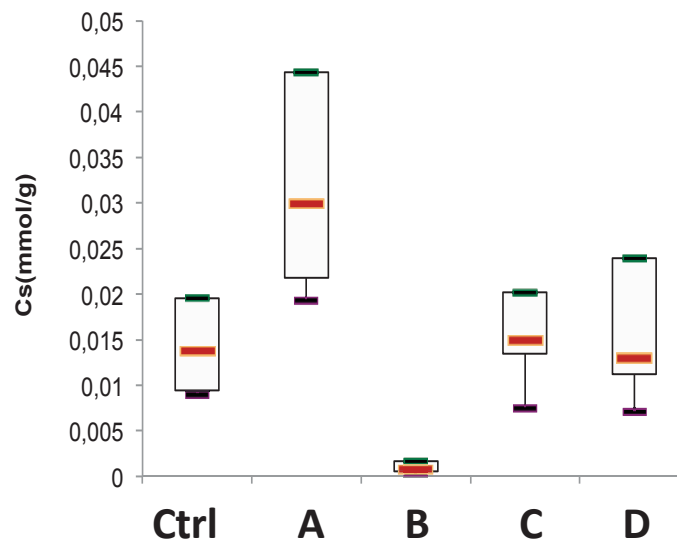
➤ Plus de 10 millions d'euros pour des engrais K^+ supplémentaires !!!

ÉTUDES SUR DES SOLS FRANÇAIS

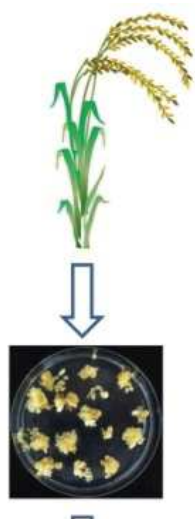
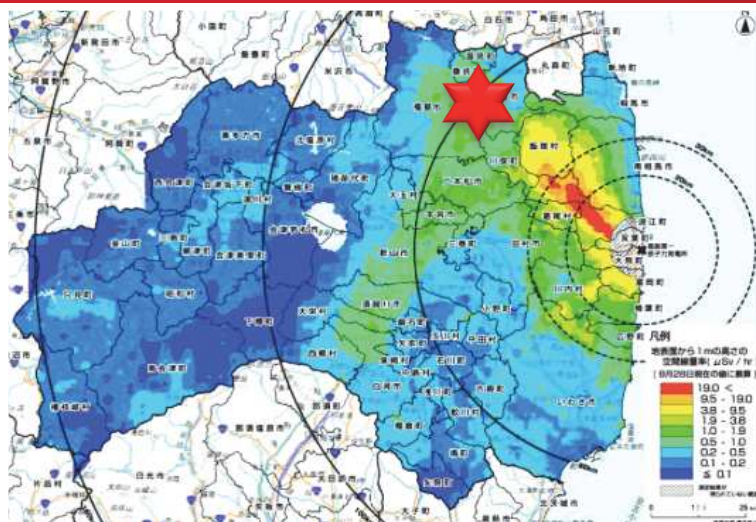
- Inventaire de la typologie des sols dans les 10, 20 et 30 km autour des 19 sites nucléaires français
- Evaluation des résultats obtenus en laboratoire sur un sol contaminé en ^{133}Cs



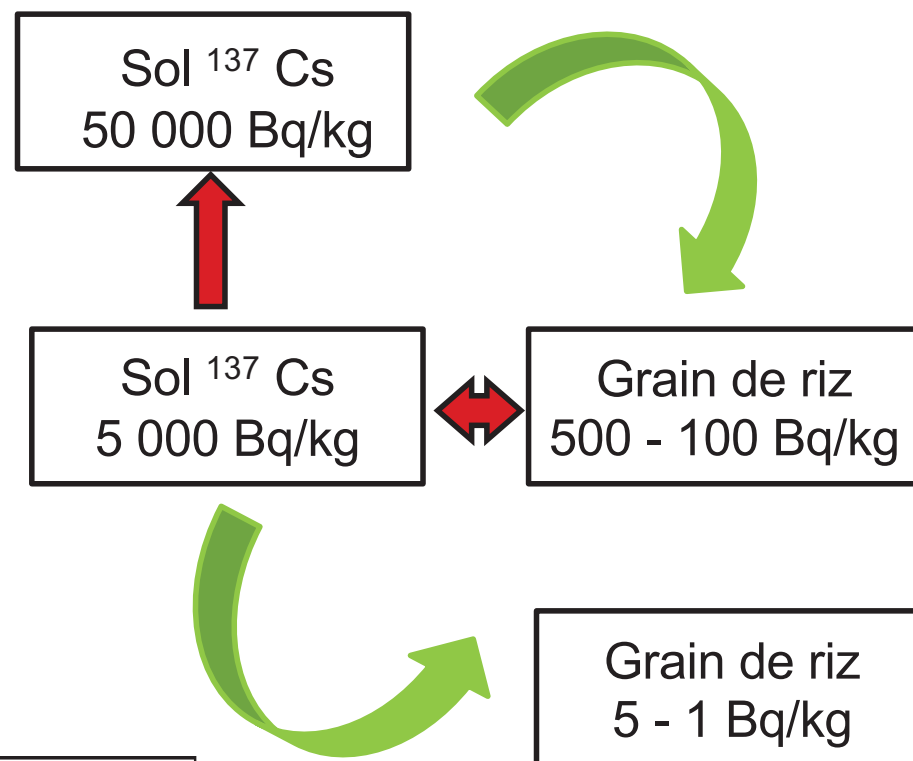
Contenu en Cs dans les
feuilles des différentes
lignées disponibles



TESTS SUR SOLS CONTAMINES JAPONAIS



DES PLANTES PERFORMANTES



		Objectif initial	Résultats obtenus
SAFE FOOD	Riz	-50%	-99% (*)
	Arabidopsis	-50%	-95%
PHYTOEXTRACTION	Arabidopsis	+100%	+200%

LA PHYTOREMÉDIATION POUR GAGNER DU TEMPS

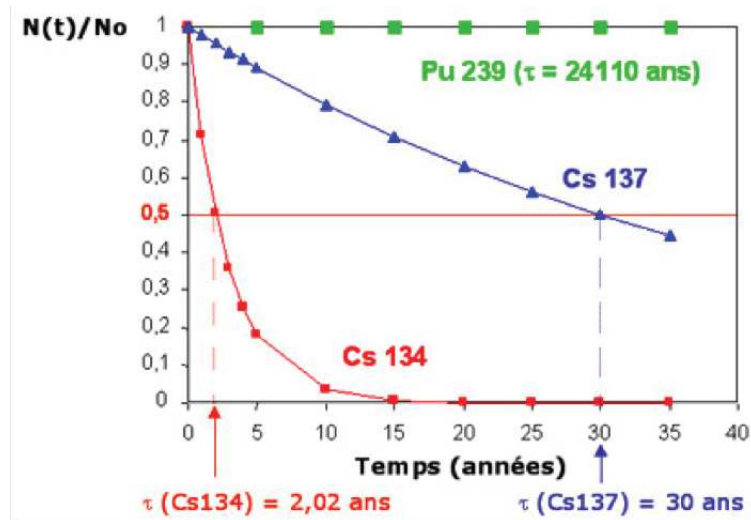


Sol 10 000 Bq/kg



30 ans sans plante
 26 ans avec plantes de culture
 20 ans avec plantes DEMETERRES 1
 16 ans avec plantes DEMETERRES 2?

Sol 5 000 Bq/kg



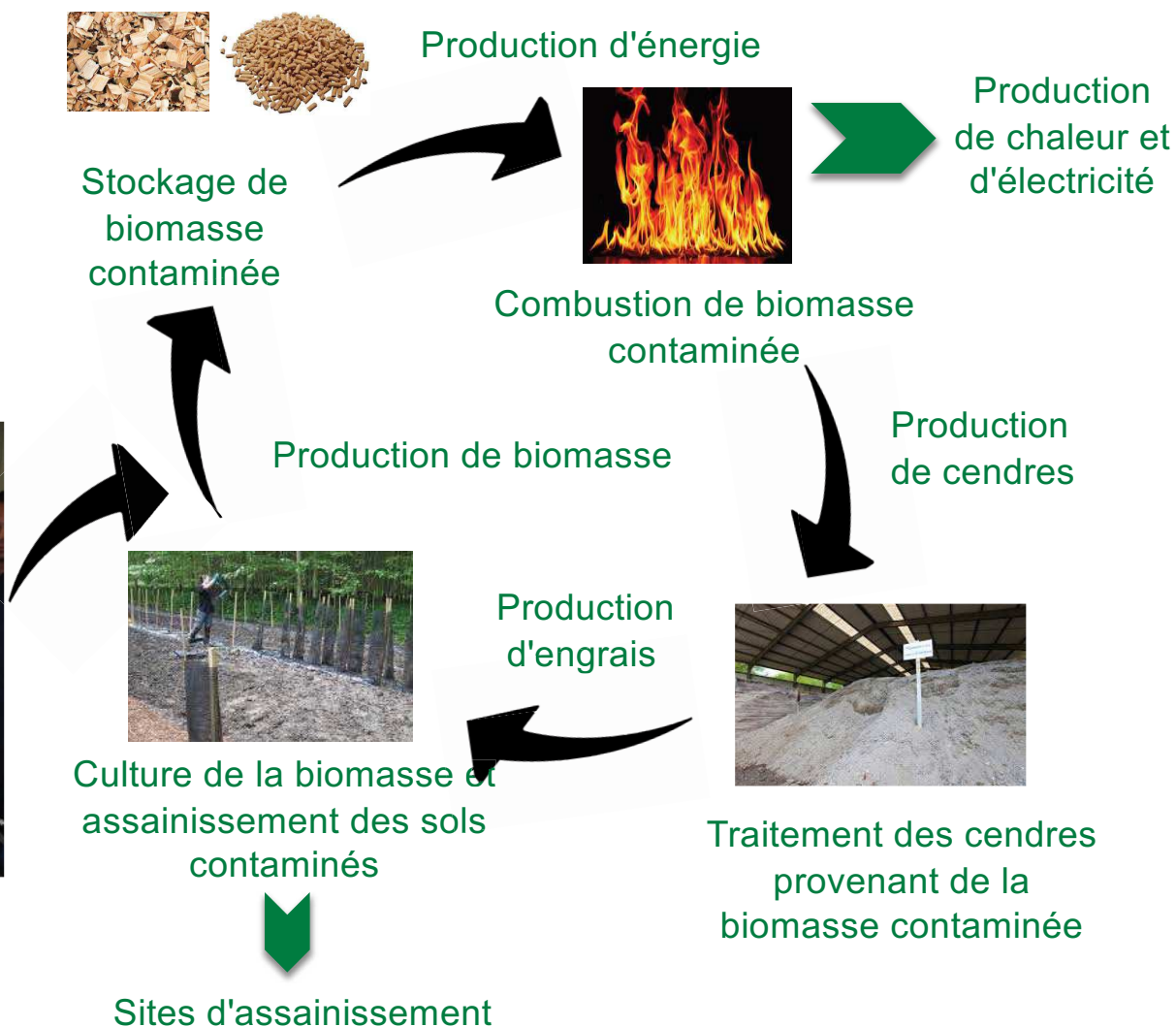
COMBINAISON DU PROCÉDÉ DES MOUSSES DE FLOTTATION ET DU PROCÉDÉ DE PHYTOREMÉDIATION



Particules fines
dans la mousse



La mousse
stable



Thanks

