

La phytoextraction « arme végétale contre la pollution »

En quoi consiste la phytoextraction ? Pourquoi les plantes ont-elles développé cette capacité d'hyperaccumulation ?

1

Quelles plantes peut-on utiliser pour dépolluer ?

2

Est-ce que les plantes dépolluent "toute seule" ?

2

Combien de temps faut-il pour dépolluer ?

2

Expérience de PHYTOEXTRACTION par CULTURE IN VITRO de graines de tabouret

2

Tableau expérimental 1 : manipulation réalisée le 4.01.2017

4

Tableau expérimental 2 : manipulation réalisée le 31.01.2018

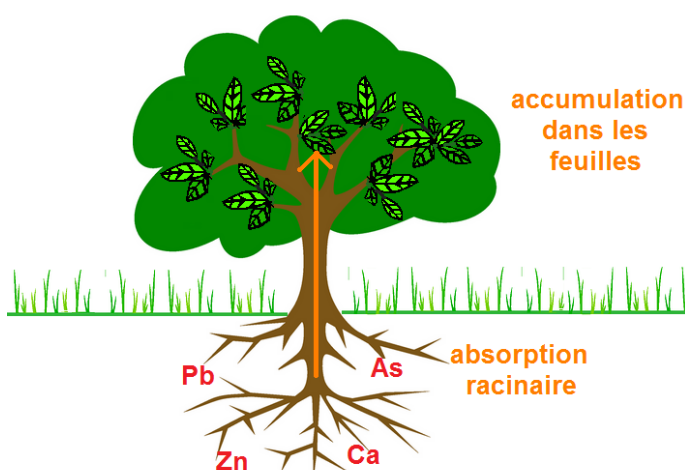
7

Recherche documentaire

8

En quoi consiste la phytoextraction ? Pourquoi les plantes ont-elles développé cette capacité d'hyperaccumulation ?

La phytoextraction utilise des plantes hyperaccumulatrices de métaux car ce sont des plantes qui se sont adaptées aux sols pollués. Pour pouvoir s'implanter et se développer sur des sols contaminés, elles ont dû évoluer pour devenir résistantes aux "métaux lourds" et pouvoir les capter et les stocker dans leurs feuilles.



le tabouret bleuâtre
(*Thlaspi caerulescens*)

Quelles plantes peut-on utiliser pour dépolluer ?

Pour la phytoextraction des “métaux lourds”, on peut utiliser certaines plantes comme Thlaspi, Alyssum ou brassica. Nous avons utilisé la moutarde, le cresson et la roquette et nous avons découvert le tabouret que nous avons récolté aux abords du site Umicore à l'automne dernier et que nous allons tester au printemps.

PRINCIPALES PHYTOTECHNOLOGIES

Polluants à traiter	Plantes utilisées	Action
PHYTOSTABILISATION		
Métaux (Pb, Cd, Zn, Cu, As, Cr, Se).	Plantes à racines fibreuses et profondes.	Confinement des polluants par le couvert végétal pour limiter le risque de lessivage et d'envol des polluants.
PHYTOEXTRACTION		
Métaux (Pb, Cd, Zn, Cu), nitrate.	Thlaspi, alyssum, brassica (moutarde).	Extraction des polluants du sol par des plantes accumulatrices dans leurs parties récoltables (feuilles, tiges, racines).
PHYTODÉGRADATION / PHYTOTRANSFORMATION		
Composés organiques, nitrate, phosphate.	Arbres (famille du saule, peuplier), herbes, légumes.	Transformation par la plante de molécules organiques complexes en composés plus simples, intégrés dans les tissus de la plante.
RHIZODÉGRADATION		
Composés organiques, solvants, produits phytosanitaires.	Herbes à racines fibreuses: bermuda, blé, seigle, fétuque.	Dégradation des polluants par les racines et l'activité microbienne qui y est associée.
PHYTOVOLATILISATION / PHYTOSTIMULATION		
Métaux (As, Hg, Se), composés organiques volatils.	Brassica juncea (moutarde), plantes marécageuses.	Volatilisation du polluant absorbé par la plante et éliminé par évapotranspiration.

sources : Émission FuturMag du 8 novembre 2014 “Dépolluer nos sols grâce aux plantes”

<http://www.futurmag.fr/nouvelle-economie/depolluer-nos-sols-grace-aux-plantes>

Article “l'arme végétale contre la pollution” Science et vie junior mai 2013 n°284 pages 58 à 61

Est-ce que les plantes dépolluent “toute seule” ?

Selon l'article “l'arme végétale contre la pollution” de Science et vie junior, “les plantes ont besoin d'une armée de bactéries et de champignons pour se développer”, elles travaillent en symbiose avec les microorganismes qui vont décrocher les polluants de la terre pour qu'elles puissent les absorber par leurs racines et les stocker dans leurs feuilles.

Combien de temps faut-il pour dépolluer ?

Sachant que la valeur maximale en plomb mesurée au laboratoire par la Cire est de 24 000 mg/kg, et qu'il faut 10 ans pour dépolluer un sol renfermant plus de 2500 mg/kg, il faudra $(24000/2500 \times 10 = 95 \text{ ans})$ au moins 95 ans pour dépolluer les sols les plus pollués par phytoextraction.

sources : [Institut supérieure de l'éducation et de la formation continue département des sciences naturelles Bioremédiation / Phytoremediation SN 232](#)

[Professeur : Chedly ABDELLY Année Universitaire 2006/2007](#)

Expérience de PHYTOEXTRACTION par CULTURE IN VITRO de graines de tabouret

avec Mme Maurel et Mme Mas

semaine A : mercredi 4 janvier de 13 à 17h : 4h

En attendant le printemps pour semer les graines en pleine terre, nous avons expérimenté la culture in vitro l'occasion pour nous de mettre un pied en BTC Biologie et Technologie Cellulaire en le BTS biotechnologie.

Cette expérience doit nous permettre de répondre à plusieurs questions :

- les graines de tabouret sont elles capables de germer après désinfection et en milieu stérile ?
- les graines de tabouret sont elles capables de germer en absence de plomb, en présence de plomb à la limite réglementaire et à des concentrations 3, 5 et 10 fois supérieures à la norme ?

données : limites réglementaires

Éléments	Limites réglementaires en mg.kg ⁻¹	Valeurs maximales labo mesurées par la Cire en mg.kg ⁻¹	Conclusion < : inférieur, > supérieur, N : Norme
Plomb	600	24000	40 fois > N
Cadmium	100	180	2 fois > N
Arsenic	20	800	40 fois > N
Zinc	1500		

Calculs préalables aux manipulations :

Calcul de la masse de plomb à ajouter dans un pot de gélose pour un équivalent concentration de la limite réglementaire dans la terre 600mg/kg (voir partie 3.2.1.) :

600 mg pour 1kg soit 0.6mg/g

pour 21.5g de gélose, il faut ajouter $21.5 \times 0.6/1 = 12.9\text{mg}$ soit 0.0129 g de plomb à ajouter à la gélose.

On ne dispose pas de plomb en poudre mais de nitrate de plomb $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

$M \text{ Pb}(\text{NO}_3)_2 = 331.2 \text{ g/mol}$ et $M \text{ Pb} = 207.2 \text{ g/mol}$

Il faut donc déterminer le nombre de moles de plomb et la quantité de nitrate de plomb correspondante à ajouter au tube :



1 mole 1 mole 2 moles

$$n \text{ Pb}^{2+} = m \text{ Pb}^{2+} / M \text{ Pb}^{2+} = 0.0129 / 207.2 = 6.23 \cdot 10^{-5} \text{ moles}$$

$$n \text{ Pb}(\text{NO}_3)_2 = n \text{ Pb}^{2+} / M \text{ Pb}(\text{NO}_3)_2 = 6.23 \cdot 10^{-5} / 331.2 = 0.02 \text{g de nitrate de plomb}$$

Peut-on réutiliser les solutions mère de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ déjà préparées à 0.001mol/L et 0.01 mol/L ? Quel volume nous devons ajouter dans le flacon ?

- avec la solution mère de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ à 0.001mol/L, on apporte : 0.001 moles avec 1L donc il faut 62.3mL pour apporter $6.23 \cdot 10^{-5}$ moles
- avec la solution mère de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ à 0.01mol/L, on apporte : 0.01 mol avec 1L donc il faut 6.23mL pour apporter $6.23 \cdot 10^{-5}$ moles

les volumes sont trop importants, il faut concentrer la solution 10 fois pour avoir un volume à pipeter de 600μL

Préparation d'une solution de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ à 0.1mol/L pour recréer la limite réglementaire 600mg/kg

Préparation d'une solution de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ à 1mol/L pour être 10 x au delà de la limite réglementaire nous ne pouvons pas recréer les 40 x supérieur à la norme pour des raisons de limite de solubilité des cristaux dans l'eau

Stérilisation des solutions par filtration

Tableau expérimental 1 : manipulation réalisée le 4.01.2017

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nom opérateur :	Léa	Léa	Malaury	Malaury	Audrey	Audrey	Jonathan	Jonathan	Hugo	Hugo
concentration visée(mg de pb/kg)	0		limite réglementaire 600 mg/kg		3 x limite réglementaire 2000 mg/kg		5 x limite réglementaire 3000 mg/kg		10 x limite réglementaire 6000 mg/kg	
volume et concentration déposés	-		600 µL à 0.1 mol/L		200µL à 0.961 mol/L		300µL à 0.961 mol/L		600µL à 0.961 mol/L	
masse du milieu			26.67 g	22.14 g	21.83 g	26.89 g	22.86	24.65	22.78g	23.92g
concentration finale réelle (mg de pb/kg)	0	0	466	562	1824	1481	2613	2423	5245	4995
germination 17/01/2017	+	+	+	+	0	0	0	0	0	0
contamination 17/01/2017	0	0	0	0	0	0	0	moisissure repiquage sur milieu sabouraud pour identification	0	0
comportement 22/02/2017	flétrissement, mort par manque d'eau ou impossibilité d'établir la symbiose car graine stérilisé et milieu stérile									

Une fois filtrées

Manipulations :

Nous avons donc préparé :

- une solution de $Pb(NO_3)_2$ à 0.1mol/L : pour recréer la limite réglementaire 600mg/kg
- une solution de $Pb(NO_3)_2$ à 1mol/L : pour être 10 fois au delà de la limite réglementaire

Nous ne pouvons pas recréer une concentration 40 fois supérieure à la norme car les cristaux ne se dissoudront pas dans l'eau (limite de solubilité).



sur filtre millipore sous la hottes à flux laminaire les solutions de plomb sont prêtes à être utilisées. Après avoir établi le tableau expérimentale (ci-dessus), nous avons :

- ajouter les volumes de plomb aux géloses pour qu'il s'imprègne dans le milieu,
- décontaminé les graines dans du désinfectant puis nous les avons rincé avec de l'eau stérile avant ajout dans la gélose, avec difficulté car elles ont une sorte de couche gélatineuse autour d'elles et sont difficile à saisir avec la spatule.



Nous avons rencontré une difficulté pendant le TP, nous n'avons pas réussi à avoir une imprégnation homogène du plomb dans la gélose, il a formé une sorte de précipité avec le milieu.

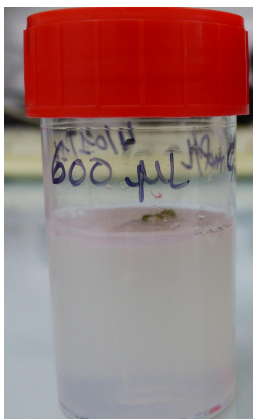
Calcul de la concentration réelle dans les flacons :

concentration finale réelle $_{(\text{mg de pb/kg})} = (V \text{ Pb(NO}_3)_2 \text{ (L)} \times C \text{ Pb(NO}_3)_2 \text{ (mol/L)} \times M \text{ Pb}^{2+} \text{ (mg/mol)}) / \text{masse du milieu (kg)}$

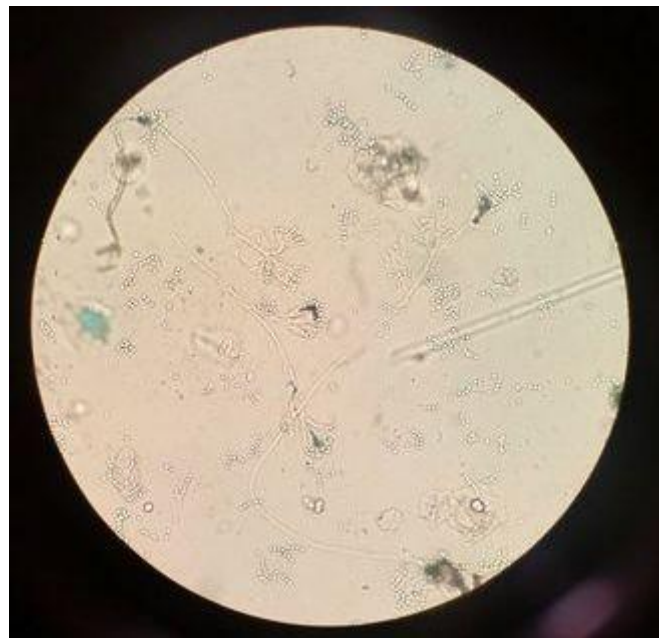
concentration finale réelle $_{(\text{mg de pb/kg})}$ flacon 5 = $(200 \cdot 10^{-6} \times 0.961 \times 207.2 \cdot 10^3) / 21.83 \cdot 10^{-3} = 1824 \text{ mg/kg}$

Résultats et Interprétations :

Après 15 jours dans le phytotron, les graines semées en absence de plomb (témoin) et à la limite réglementaire ont germé. Par contre, celles en contact avec une concentration en plomb supérieure à la norme n'ont pas germé.



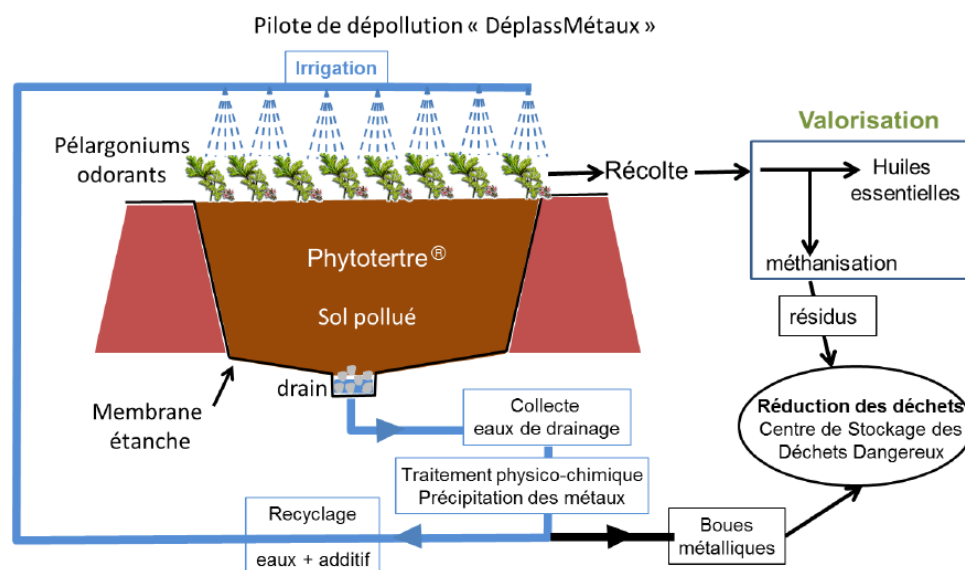
Nous avons constaté une contamination du tube n°8 contenant 5 fois la limite réglementaire par une moisissure, ce qui veut dire qu'elle résiste dans ces conditions et peut présenter un intérêt pour dépolluer la terre. Nous l'avons donc repiqué sur milieu Sabouraud pour pouvoir l'identifier et la conserver. Il s'agit d'un *Penicillium* la moisissure est en forme de pinceau



Après 1 mois 1/2, les graines semées en absence de plomb (témoin) et à la limite réglementaire et qui avaient germé présentent un flétrissement, elles sont mortes par manque d'eau ou impossibilité d'établir la symbiose un fois germé car nous avons utilisé des graines et un milieu stériles.

Perspectives :

Pour essayer de trouver des solutions techniques à notre problème nous avons décidé d'aller à la rencontre des chercheurs qui mènent des recherches en phytoextraction. Nous avons demandé son aide à Claude Grison et avons programmé une sortie scientifique le 20 avril prochain avec une visite du laboratoire ECOLAB à l'INP à Toulouse pour découvrir le projet "Déplass métaux" mené par l'équipe de Jean Kallerhoff et sa mise en oeuvre sur le terrain sur le site de dépollution de Graulhet où nous allons rencontrer Laurent Thannberger responsable du projet pour l'entreprise VALGO.



source : www.valgo.com/common/img/cp-2014-10-09.pdf

Un procédé révolutionnaire

Le principe du projet « DÉPLAssMétaux » repose sur la phytoextraction par des plantes sélectionnées et sur l'utilisation d'une solution déminéralisante : les plantes sont arrosées et attirent les métaux lourds présents dans le sol. La démarche passe par la mise en place d'un drain pour la récupération des particules présentes dans l'eau irrigant la plantation, puis par un traitement et enfin par un recyclage des eaux traitées. Les plantes ainsi récoltées sont elles aussi recyclées, pour servir à la fabrication d'huiles essentielles ou pour participer à un processus de méthanisation.

« Nous avons créé un Phytotertre®, c'est-à-dire une sorte de bac géant de 100 mètres carrés au fond duquel nous avons déposé une bâche avant d'y déverser la terre polluée. Nous récupérons ainsi les eaux qui vont s'écouler de ces terres polluées. Les plants de pélaronium, plantés en mai, captent par leurs racines les métaux lourds contenus dans la terre et les stockent dans les parties aériennes. Pour accélérer ce processus d'absorption, nous ajoutons un produit qui permet de fixer les métaux. A partir de novembre, les feuilles et les tiges seront récoltées, traitées et recyclées. Puis nous repartirons sur un nouveau cycle à partir du printemps » explique Laurent Thannberger, Directeur Scientifique et Technique de Valgo.

Tableau expérimental 2 : manipulation réalisée le 31.01.2018

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nom opérateur :	Anna.T	Anna.T	Anna.T	Malaury	Malaury	Malaury	Estelle	Estelle	Audrey	Audrey
concentration visée(mg de pb/kg)	0		limite réglementaire 600 mg/kg		3 x limite réglementaire 2000 mg/kg		5 x limite réglementaire 3000 mg/kg		10 x limite réglementaire 6000 mg/kg	
volume et concentration déposés	-		400µL à 0.1 mol/L		150µL à 1 mol/L		250µL à 1 mol/L		500µL à 1 mol/L	
masse du milieu standardisée pour 20mL de milieu			17.94g	17.94g	17.94g	17.94g	17.94g	17.94g	17.94g	17.94g
concentration finale réelle (mg de pb/kg)			462	462	1732	1732	2887	2887	5775	5775
germination (+/-) 7.02.2018	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
contamination (+/-) 7.02.2018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Calcul de la concentration réelle dans les flacons :

concentration finale réelle _(mg de pb/kg) = (V Pb(NO₃)₂ (L) x C Pb(NO₃)₂ (mol/L) x M Pb²⁺ (mg/mol)) / masse du milieu (kg)

concentration finale réelle _(mg de pb/kg) flacons 3/4 = (400.10⁻⁶ x 0.1 x 207.2.10³) / 17.94.10⁻³ = 462 mg/kg

perspectives : idée tester des concentrations plus proche de 600mg/kg pour déterminer la limite de germination....

composition du milieu ? mode de préparation?

calculer les volumes de nitrate de plomb à ajouter au fond des tubes?

Manipulations :

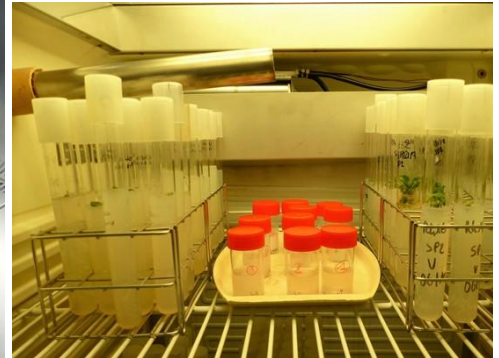
Pour avoir une répartition homogène du plomb dans la gélose cette année nous allons intégrer le plomb dans la gélose nutritive en surfusion.



tri des graines



semi après désinfection des graines



mise en place dans le phytotron (enceinte climatique)

mode de stérilisation?

précautions à prendre sous les hottes à flux laminaires? pourquoi?

pourquoi les tubes sont ils divisés avant la mise en place dans le phytotron?

pourquoi place t-on les tubes dans le phytotron?

Résultats et Interprétations :

Perspectives :

RECHERCHE DOCUMENTAIRE

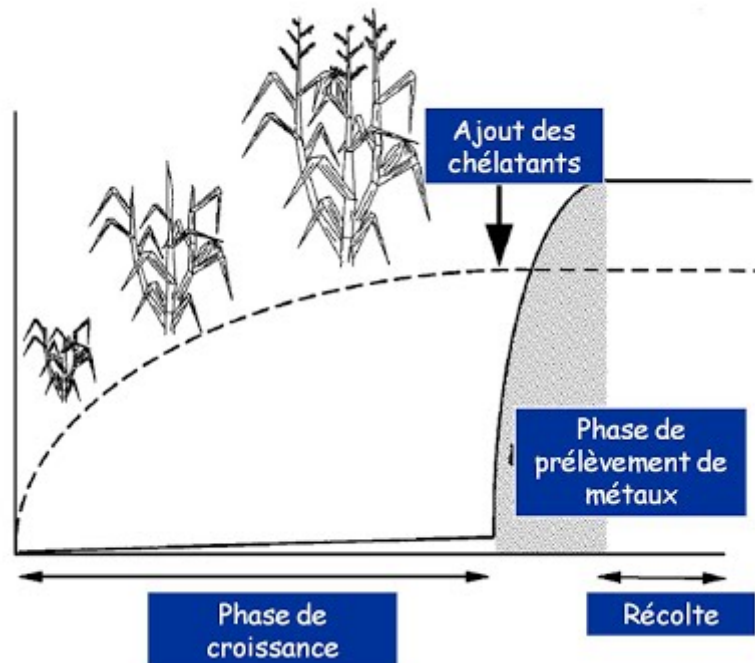
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00486649/document>

page 17

Phytoextraction induite

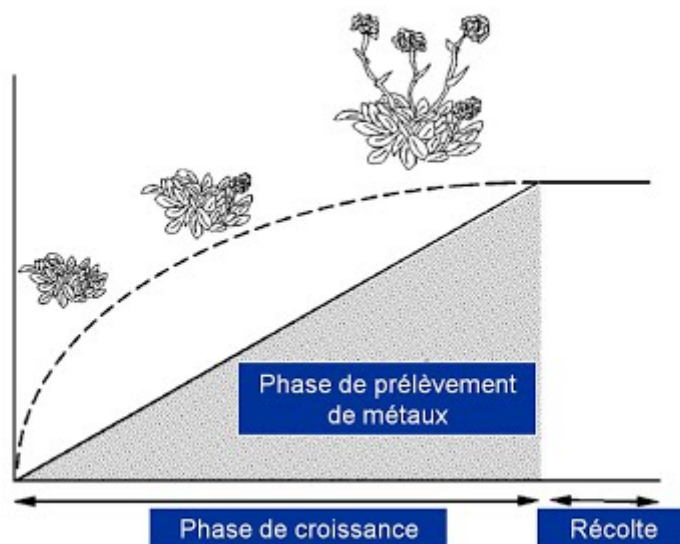
La phytoextraction induite (Figure 4) se fait en présence de chélateurs et de plantes à forte biomasse et à croissance rapide. Lorsque la plante a atteint un certain niveau de croissance, les chélateurs de métaux sont appliqués au sol. Ceux-ci permettent d'induire l'accumulation de métaux lourds dans la plante par augmentation de la biodisponibilité de l'élément ciblé. Les chélateurs des métaux lourds comme EDTA (éthylène diamine tetra acetic acid) et EDDS (ethylene diamine disuccinate) pour le plomb, et EGTA (ethylene glyco-O,O'-bis-[2-amino-ethyl]-N,N,N',N',- tetra acetic acid) pour le cadmium, sont connus pour améliorer la

phytoextraction par l'augmentation de la biodisponibilité et de l'accumulation des métaux lourds (Cooper et al., 1999 ; Tandy et al., 2006). Des expériences, réalisées par Jarvis et Leung (2002), ont montré que la plante *Pinus radiata* n'est capable d'accumuler naturellement que 60 à 80 mg.kg⁻¹ de plomb ; l'application d'un chélateur synthétique, comme l'EDTA ou l'H-EDTA multiplie par 5 ou 6 son pouvoir d'absorption du plomb (Jarvis et Leung, 2002). En fait, lors de l'ajout du chélateur dans le site contaminé par le plomb, celui-ci est absorbé et migre vers la partie aérienne où il s'accumule sous la forme du complexe Pb-EDTA (Salt et al., 1998 ; Huang et Cunningham, 1996). Ce phénomène a pu être décrit chez *Zea mays* L. ; l'ajout d'EDTA ou d'EDDS permet une augmentation de l'accumulation de plomb dans la partie racinaire (Luo



III.2.2 Phytoextraction continue

Contrairement à l'absorption induite par des chélateurs, la phytoextraction continue (Figure 5) est basée sur les capacités génétiques et physiologiques des plantes spécialisées dans l'absorption, la translocation et la tolérance des métaux lourds. On parle de « plante hyperaccumulatrice ». Brooks et al. (1997) ont utilisé le terme « hyperaccumulateur = hyperaccumulatrice » la première fois pour décrire des plantes avec une teneur en nickel supérieure à 0,1% de leur matière sèche, ce qui correspond à une valeur nettement plus élevée que celle rencontrée chez les plantes non accumulatrices (Brooks et al., 1977). Aussi, selon Baker et Brooks (1989), les plantes hyperaccumulatrices devraient avoir une valeur seuil d'accumulation de métaux lourds dans leur partie aérienne à 1% pour Zn, Mn, 0,1% pour Pb, Cu et Al, 0,01% pour Cd et Se et 0,001% pour Hg de leur matière sèche. Actuellement, environ 400 espèces hyperaccumulatrices ont été répertoriées (Tableau 2) (Baker et al., 1999).



Les plantes hyperaccumulatrices

Environ 400 espèces de plantes sont reconnues comme étant hyperaccumulatrices de métaux lourds, la majeure partie d'entre elles (300 espèces) accumulant le Nickel. On a vu que ces végétaux présentent la particularité d'accumuler une très grande quantité de métaux lourds toxiques, à des concentrations cent fois plus élevées que chez les autres. On peut citer par exemple la moutarde brune (*Alysum bertolonii*), la pensée calaminaire (*Viola calaminaria*), le tabouret bleuâtre (*Thlaspi caerulescens*), le colza, le tournesol. D'ailleurs plusieurs chercheurs américains travaillent aussi beaucoup sur des arbres comme le peuplier, capable d'extraire le métal du sol et des eaux.

Les plantes vont donc être choisies en fonction de la nature du polluant contaminant le sol (type de métal), car il faut que la plante utilisée soit capable d'extraire le métal, en fonction du climat, et également en fonction de sa biomasse, de façon à ce qu'elle puisse accumuler une quantité importante de polluants. De plus, le sol est souvent contaminé par de nombreux métaux, ce qui nécessite une culture de différentes espèces de plantes.

Les familles les plus rencontrées dans l'accumulation du Zinc sont les Brassicacées, les Caryophyllacées, les Lamiacées et les Violacées. En ce qui concerne le Plomb et le Cadmium il s'agit surtout des Brassicacées (ex: moutarde brune). Les espèces hyperaccumulant le Cuivre et le Cobalt sont peu nombreuses (24). Elles sont originaires du Zaïre. Les familles concernées sont les Lamiacées, les Astéracées, les Cypéracées, les Scrofulariacées et les Amarantacées. Le Nickel est quant à lui hyperaccumulé par les trois quarts des espèces connues. Elles appartiennent à des familles telles que les Brassicacées, les Scrophulariacées, les Euphorbiacées, les Saxifragacées et les Sapotacées.

Le tableau ci-dessous donne le nombre de familles et de variétés concernées par L'hyperaccumulation:

Métal	Limite inférieure (% en matière sèche de feuilles)	Nombre d'espèces	Nombre de familles
Cadmium	> 0,01	1	1
Cobalt	> 0,1	28	11

Cuivre	> 0,1	37	15
Plomb	> 0,1	14	6
Manganèse	> 1,0	9	5
Nickel	> 0,1	317	37
Zinc	> 1,0	11	5
Thallium	> 0,1	2	1

Voici quelques plantes utilisées dans la dépollution des métaux lourds:



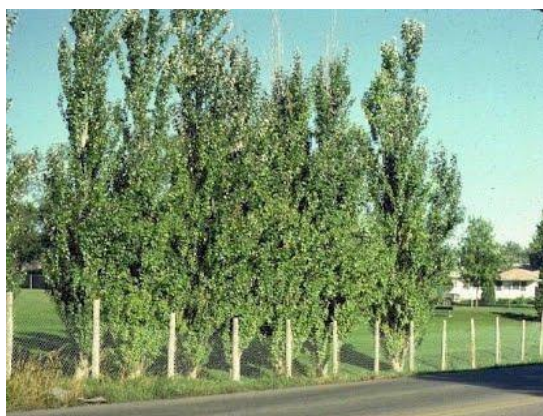
Alyssum bertolonii



Astragalus bisulcatus



la moutarde brune (*Brassica juncea*)



Peupliers



le tabouret bleuâtre (*Thlaspi caerulescens*)



la pensée calaminaire (*Viola calaminaria*)



tournesol (*Helianthus annuus*)



Colza (*Brassica napus* var. *napus*)

<https://sites.google.com/site/tpesurlaphytoremediationgroupe/La-depollution-des-metaux-lourds>

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00486649/document>

intéressant plan d'expérience :

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00486649/document>

page 34

II.2.5 Le plomb

Le plomb est utilisé sous la forme d'une poudre d'acétate de plomb qui est mise en solution dans de l'eau distillée. Afin d'obtenir une concentration de 500 ppm et 1000 ppm, nous avons procédé aux calculs ci-dessous :

$$\text{Poids} = \frac{C(\text{mg/kg}) * \text{Poids du sol}(\text{kg}) * \text{Masse molaire de l'acétate de plomb}}{\text{Masse molaire du plomb}}$$

M $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ = 331.2 g/mol M Pb = 207.2 g/mol

poids = $(600 \times 20 \cdot 10^{-3} \times 331.2) / 207.2 = 19.18 \text{ mg de plomb soit } 0.019\text{g}$

II.3 Plan de l'expérience

L'expérimentation comporte 4 traitements avec 5 réplicats pour chaque traitement : (i) sol (S), (ii) sol-ver (SV), (iii) sol-plante (SP), (iv) sol-plante-ver (SPV). Nous avons également 3 niveaux de pollution au Pb (i) sans Pb (T), (ii) 500 mg.kg⁻¹ de Pb (Pb⁺), (iii) 1000 mg.kg⁻¹ de Pb (Pb⁺⁺). Deux temps d'expérimentation, 1 mois et 2 mois, ont été aussi réalisés.

Les pots sont disposés selon le plan d'expérimentation présenté dans la Figure 17.

Celui-ci a été obtenu après avoir réalisé un tirage aléatoire, nous permettant de nous affranchir des facteurs environnementaux pouvant fausser nos résultats.

Les traitements au plomb sont arrosés avec 300 ml de solution de Pb acétate pour avoir une concentration finale à 500 et 1000 mg.kg⁻¹ et 300 ml d'eau pour tous les contrôles.

Les pots sont protégés par un toit en bambou et plastique transparent afin d'éviter la pluie (Figure 18).

Durant toute la période de l'expérimentation, une observation visuelle (décoloration, jaunissement, pigmentation, nécroses, flétrissement...) et une mesure de croissance de la partie aérienne des plantes (nombre de feuilles, de rameaux, longueur et largeur du pied) sont réalisées chaque semaine.

p38 Spectromètre d'absorption atomique

IV.2 Teneur en plomb des plantes

Les feuilles, les tiges et les racines des plantes sont pesées puis séchées à l'étuve, la teneur en plomb étant estimée par g de poids sec. La teneur en plomb a été déterminée au laboratoire d'analyses chimiques de l'Université d'Agronomie et de Foresterie d'Ho Chi Minh ville à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique (Spectro AA220) (Figure 26)

[compte rendu C.Génial 2016](#)

vidéo [Projet "Dépol Decaz" lycée "la découverte..."](#) par [biotech-decaz](#)

travail 2016-2017 [sensibilité dosage complexométrique](#) | [phytoextraction in vitro](#) | [influence du plomb sur la croissance microbienne](#) | [implication des microorganismes dans la dépollution](#)