



# Sols contaminés: la solution verte

Michel Labrecque

Chercheur Institut de recherche en biologie végétale  
Professeur associé département de Sciences biologiques  
Université de Montréal

# Phytoremédiation

Utilisation des végétaux et des microorganismes qui leur sont associés pour éliminer, contenir ou rendre moins toxiques les contaminants environnementaux.



# Origine des sites à restaurer

- Anciens sites industriels
- Anciens sites miniers
- Anciens sites d'enfouissement
- Dépotoirs à neige
- Sites utilisés pour des activités militaires
- Épandage de boues usées, etc.



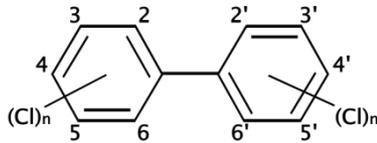
# Types de contaminants



## Organiques



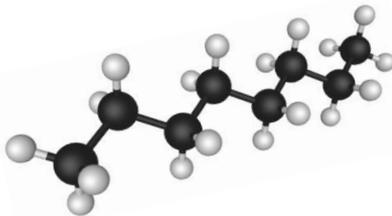
HAP



BPC



COV  
(BTEX)



C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>

## Inorganiques

ETM

Métalloïdes

Organophosphorés

# Phytoremédiation de contaminants organiques

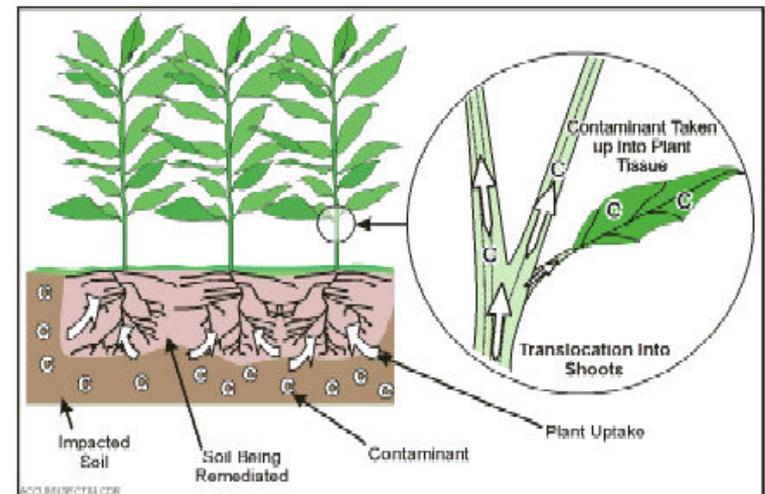


- Absorption directe (apoplasme)
  - Accumulation ou volatilisation (**phytovolatilisation**)
- Dégradation dans la rhizosphère (exsudats ou processus enzymatiques) et/ou à l'aide des microorganismes du sol (**phytodégradation**)

# Phytoremédiation de contaminants inorganiques

- **Phytostabilisation:** diminuer la biodisponibilité et le lessivage des contaminants.
- **Phytoextraction:** permet l'extraction des métaux suite à leur translocation dans les parties aériennes et la récolte de ces dernières.

Un facteur limitant important, la biodisponibilité



# Choix de végétaux



## Plantes hyperaccumulatrices:

- Peuvent concentrer dans leurs tissus des traces (MT) jusqu'à 5% de leur poids sec.
- Environ 400 espèces de plantes hyper-accumulatrices connues.
- Spécificité à l'égard de certains MT.
  - *Thlaspis* affinité pour le zinc, le cadmium et le nickel.
  - *Brassica juncea*) pour le cuivre et du plomb.

## Plantes à croissance rapide:

- Implantation et établissement faciles.
- Plus compétitrices, s'accommodent de sol moins fertile.
- Système racinaire dense et ramifié.
- Impact visuel immédiat.
- Gestion des plantes plus simples pour la récolte
- Possibilité d'utiliser les végétaux récoltés.

# Pourquoi les saules?



- **Facilité d'implantation**
- **Faibles exigences (sols lourds, peu fertiles...)**
- **Rapidité de croissance**
- **Production de rejets après la taille**
- **Diversité d'espèces (> 375 sp.) et de cultivars**
  - **76 espèces au Canada sur 200 espèces ligneuses**

# Caractéristiques des sols contaminés en zones urbaines

- Pauvres en matière organique
- Généralement très compactés
- Alcalins
- Mal drainés
- Très hétérogènes et présence de contamination mixte



# Caractéristiques des sols sur les sites miniers

- Absence de matière organique
- Drainage déficient
- Compaction des sols
- Haut niveau de contaminants inorganiques



# Quelques cas de phytoremédiation



# Phytoextraction de métaux lourds sur une friche industrielle:



# Phytoextraction de métaux traces sur une friche industrielle:



## Situation

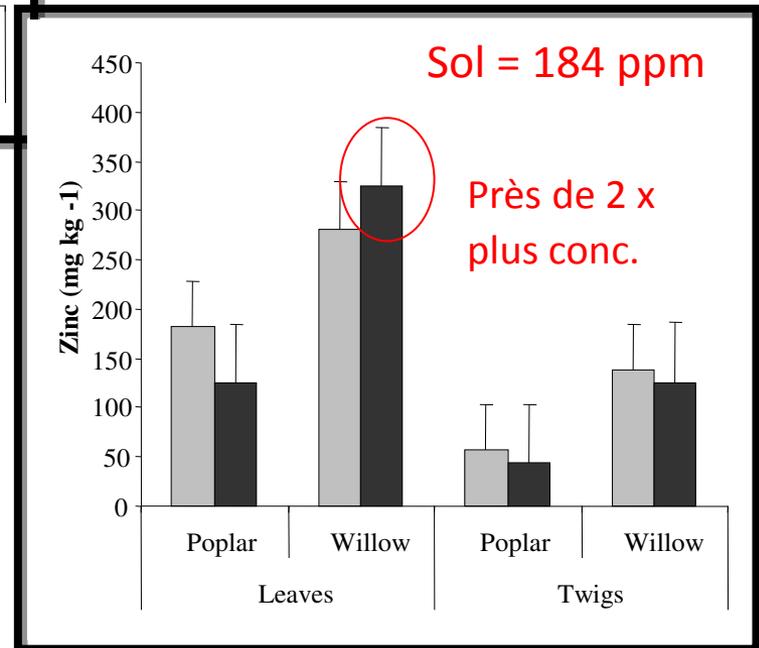
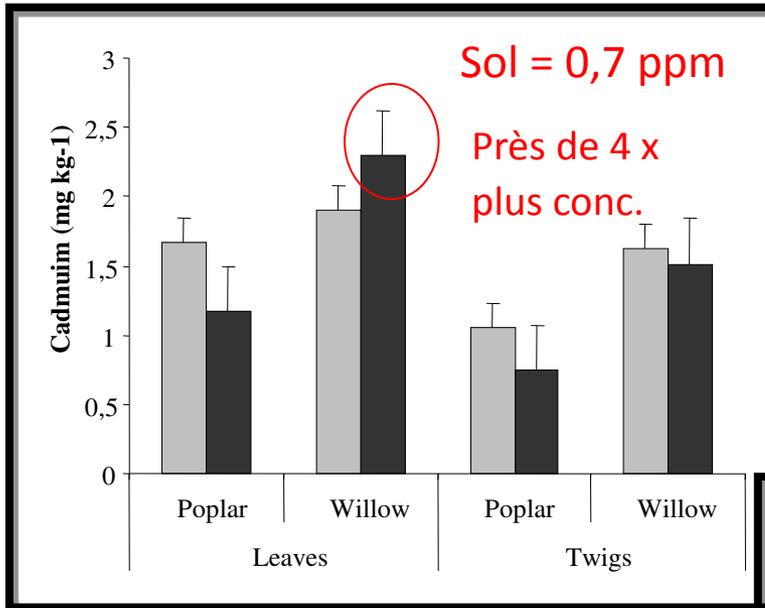
- Site urbain contaminé en métaux traces;
- Déversement anarchique de déchets;
- Sols compacts, minéralisés, présence de gros débris.

## Approche

- Utilisation de plantes à croissance rapide (peupliers et saules);
- Utilisation d'inoculum mycorhizien (*Glomus intraradices*)



# Comparaison des concentrations des métaux lourds dans les tiges et les feuilles après une saison



D'après Bissonnette et al. 2010. Plant and Soil.

# Résultats

- L'usage de saules et de peupliers permet l'implantation rapide de végétaux.
- L'utilisation d'inoculum mycorhizien: effet positif sur l'établissement mais pas sur l'absorption des polluants.
- L'efficacité de plantes à accumuler des métaux s'accroît avec le temps.
- Permet d'envisager de ramener le site de C à B sur un horizon de 15 ans.



**Un cas de phytostabilisation (*ET cap*):  
Parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC)**



# Parc d'entreprises de la Pointe-Saint-Charles (PEPSC) - Petite histoire

- Pendant près de cent ans, ce site a été utilisé, à même le lit du fleuve Saint-Laurent, pour l'enfouissement de déchets industriels et domestiques.
- Devenu par la suite un vaste remblai de plus de 102 ha, ce site a été aménagé en stationnement pour l'exposition universelle en 1967.
- Un problème de pollution diffuse qui entraîne une percolation de contaminants vers le fleuve

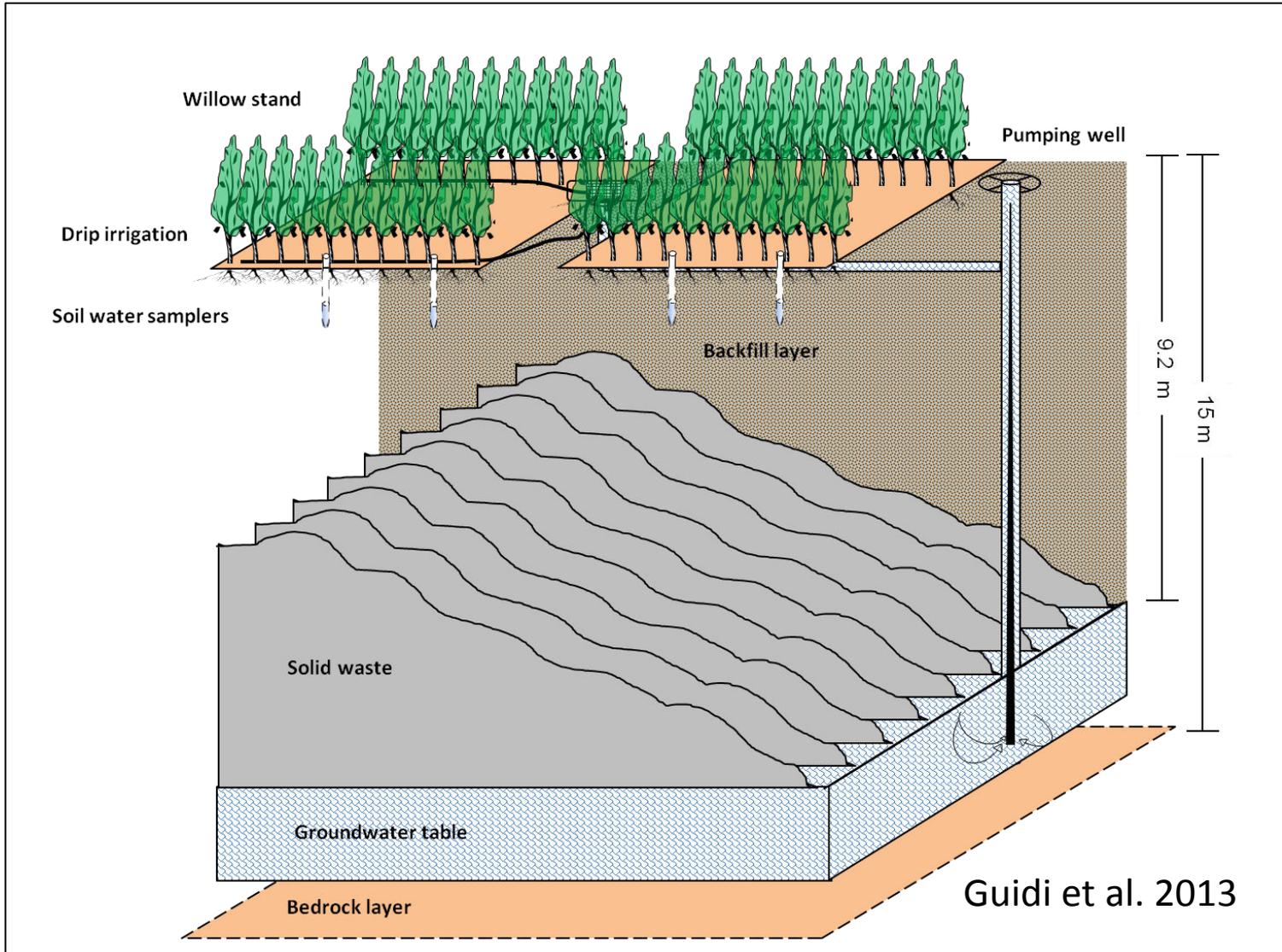


# Approche proposée

- Mise en place d'une unité de traitement (UT) des eaux souterraines par évapotranspiration.
- Mise en place d'un système de pompage de l'eau souterraine et distribution de celle-ci sur l'UT.
- Suivi de la dynamique des contaminants dans les plantes et dans l'eau de percolation (récoltée dans des lysimètres).
- Évaluation des effets de l'irrigation sur la croissance de deux cultivars de saule.
- Évaluation de l'efficacité de l'UT et des risques environnementaux associés.



# Schéma du site du PEPSC



Guidi et al. 2013



# Installation et suivi







# Quelques résultats après deux saisons de suivi



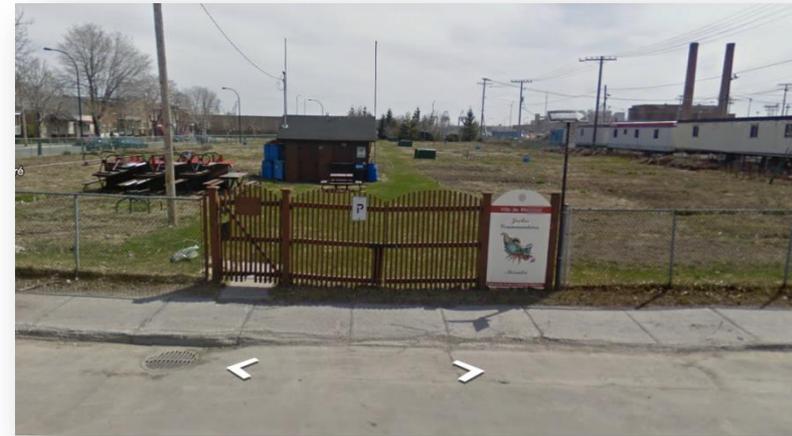
- Au cours des saisons 2010-11 plus de 400 000 litres d'eau (éq. de 5 M l par ha) chargée en azote ammoniacal ont été traités par l'UT;
- L'eau récoltée dans des lysimètres est faiblement chargée en azote ammoniacal (0,5 et 11 ppm) comparativement à l'eau d'irrigation (55 ppm);
- Les saules ont retenu plus de 90 % de l'azote ammoniacal contenu dans l'eau souterraine apportée par l'irrigation.
- La percolation représentait à peine 1% des eaux apportées au système (irrigation + eau de pluie).

# Phytoremédiation en milieu résidentiel



## Situation

- Ancien jardin communautaire du quartier MHM de Montréal contaminé en métaux traces et HAP;
- Déclassé par la Direction de la Santé publique;
- Soucis plus grand du respect de l'esthétique.



## Approche

- Utilisation de 5 espèces choisies tant pour leur potentiel de décontamination que pour leur esthétique.
- Le suivi des diverses opérations tout au cours du projet, afin de proposer un outil d'aide à la décision (ACV).
  - ✓ Mise en place
  - ✓ L'entretien
  - ✓ La récolte des plantes et leur gestion

# Phytoremédiation en milieu résidentiel





# AMÉLIORER LA BIOREMÉDIATION DE SOLS POLLUÉS PAR DES APPROCHES GENOMIQUES



# Équipe multidisciplinaire

- **Ecophysiologie des saules**
- **Microbiologie**
- **Génomique**
- **Transcriptomique**
- **Métabolomique**
- **Bioinformatique**



# Objectifs

- Faire de la phytoremédiation une technologie plus efficace et moins couteuse.
- En améliorant nos connaissances:
  - Meilleures combinaisons plantes-microorganismes pour la phytoremédiation
  - En isolant et identifiant des organismes prometteurs



# Diverses expériences communes

## Une expérience en serre:

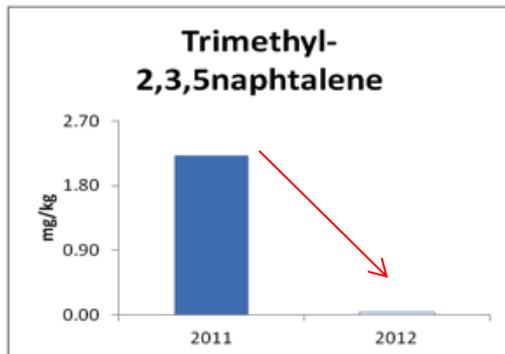
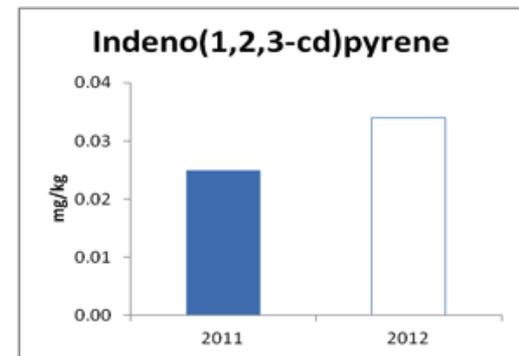
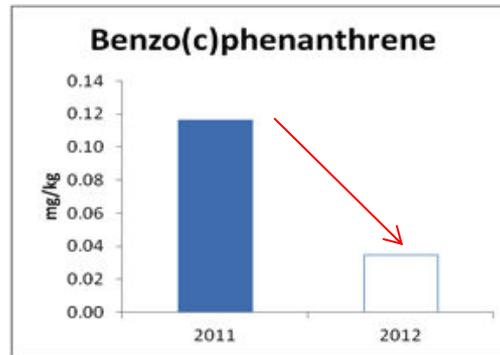
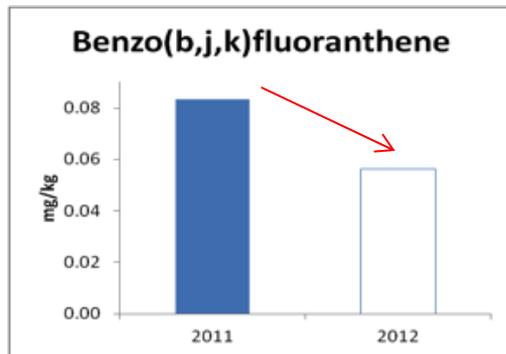
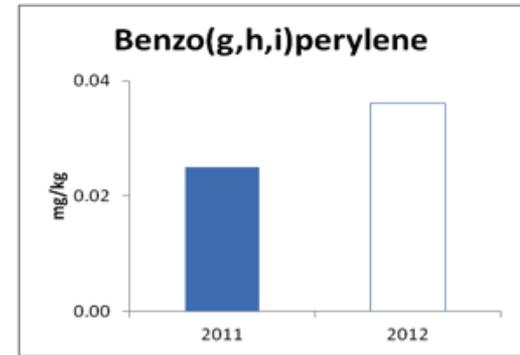
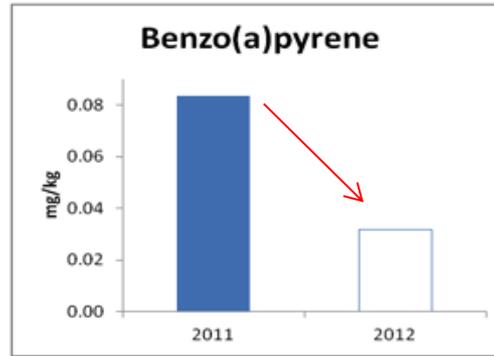
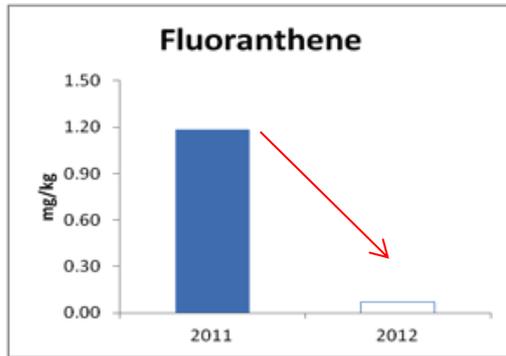
- Un cultivar de saule *S. purpurea* (Fish Creek) cultivé en pot – Sol contaminé vs non contaminé

## Deux expériences sur des sites contaminés:

- **Expérience 1** – À Varennes sur un site utilisé anciennement par une industrie pétrochimique
- **Expérience 2** – Sur une base militaire (Valcartier) sur un site utilisé comme dépotoir

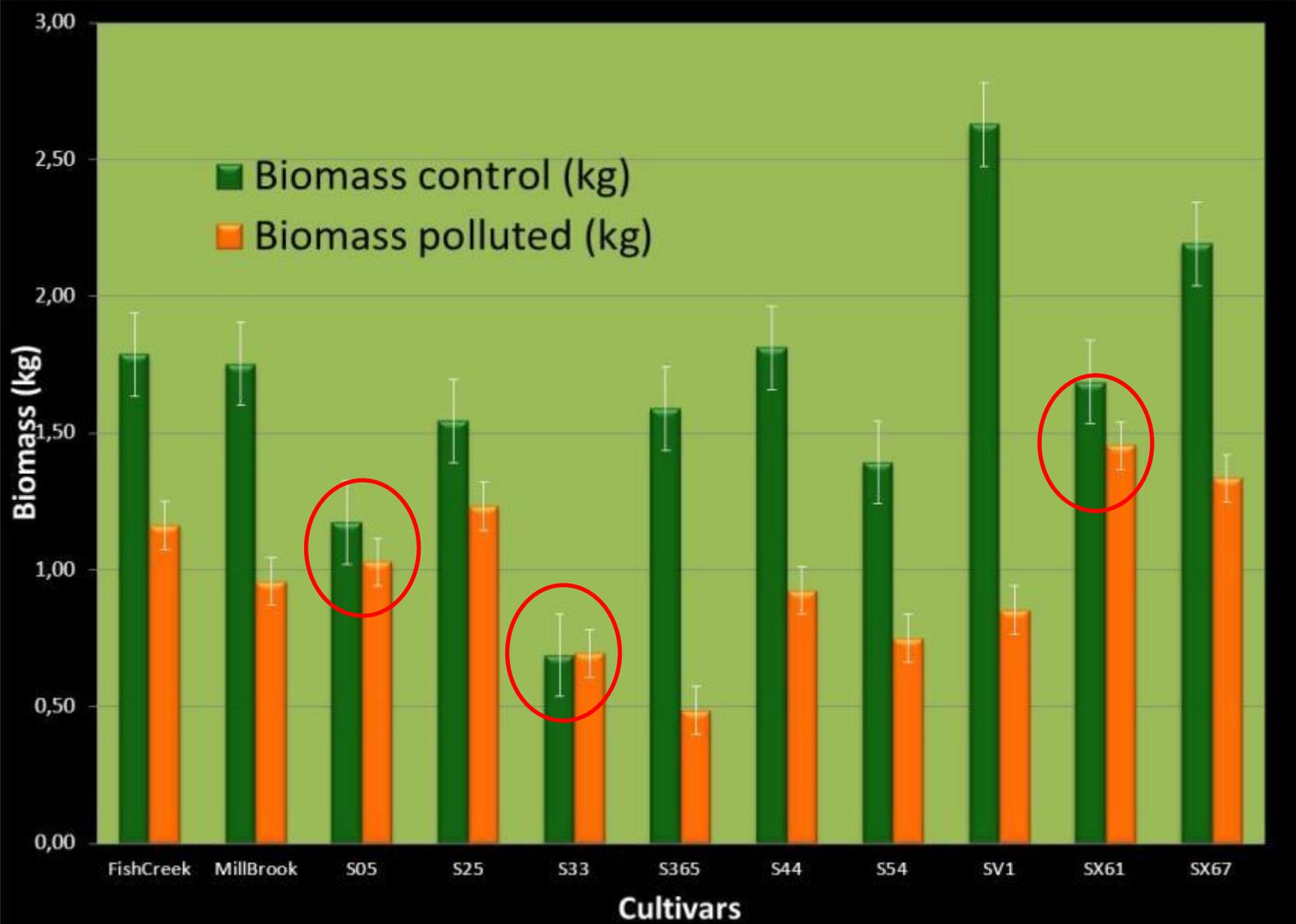


# Changements des concentration de HAP dans le sol une année après la plantation de saules



- Résultats préliminaires montrent une diminution générale des HAP.

# Mean aboveground biomass per plant for the 11 cultivars of the Varennes site, after two years of growth



# Conclusions

- La phytoremédiation constitue un ensemble de technologies respectueuses du développement durable qui offrent des solutions « vertes » pour la décontamination de sols.
- Des résultats probants ont été obtenus dans plusieurs études ou projets de démonstration.
  - Donc oui ça marche.
  - Cependant le suivi et l'entretien sont nécessaires pour assurer les meilleurs résultats.
- Le temps requis varie selon plusieurs facteurs.
  - Si le temps n'est pas un enjeu, la phytoremédiation peut être très attrayante.
- Des technologies nouvelles qui deviendront plus efficaces et moins coûteuses à mesure que les connaissances vont se développer.



# Merci à nos collaborateurs et partenaires



Pétromont Société en commandite

**TATA COMMUNICATIONS**

