

Utilisation de capteurs passifs pour prédire le prélèvement de cadmium et de plomb par les végétaux.

Denaix L., Zarrouk S., Laporte M.A., Bermond A., Kolsi-Bensina N., Sappin-Didier V.

UMR 1220 TCEM, INRA-ENITAB, Centre Bordeaux Aquitaine

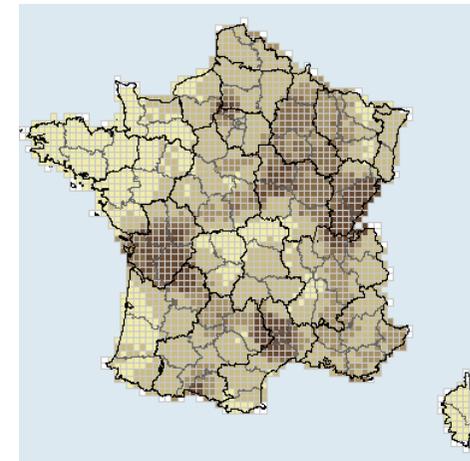
Laboratoire de Chimie Analytique, AgroParisTech, Paris

Laboratoire de Science du sol et Environnement, INAT, Tunis

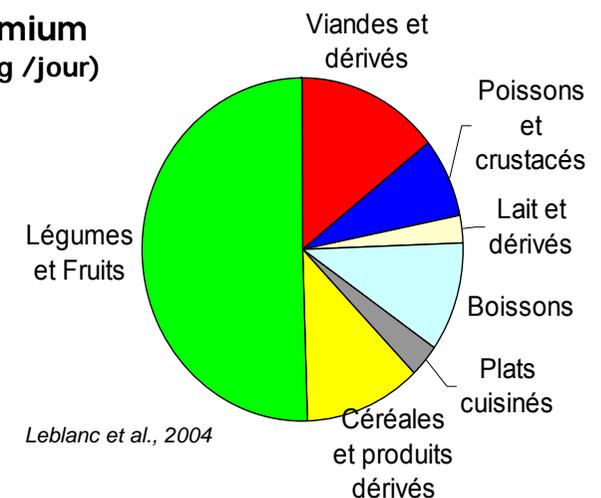


Contexte général : contamination des sols agricoles par des éléments traces minéraux (ETM)

- Contamination diffuse des sols agricoles
⇒ *Sol système accumulateur*
⇒ *Usage anthropique + pollution atmosphérique*
- L'exposition des humains (non fumeurs) aux métaux provient majoritairement des aliments d'origine végétale
- Durcissement des réglementations européennes pour l'alimentation animale ou humaine (EC1881/2006...)
- *Prédiction de la contamination des cultures en ETM ?*



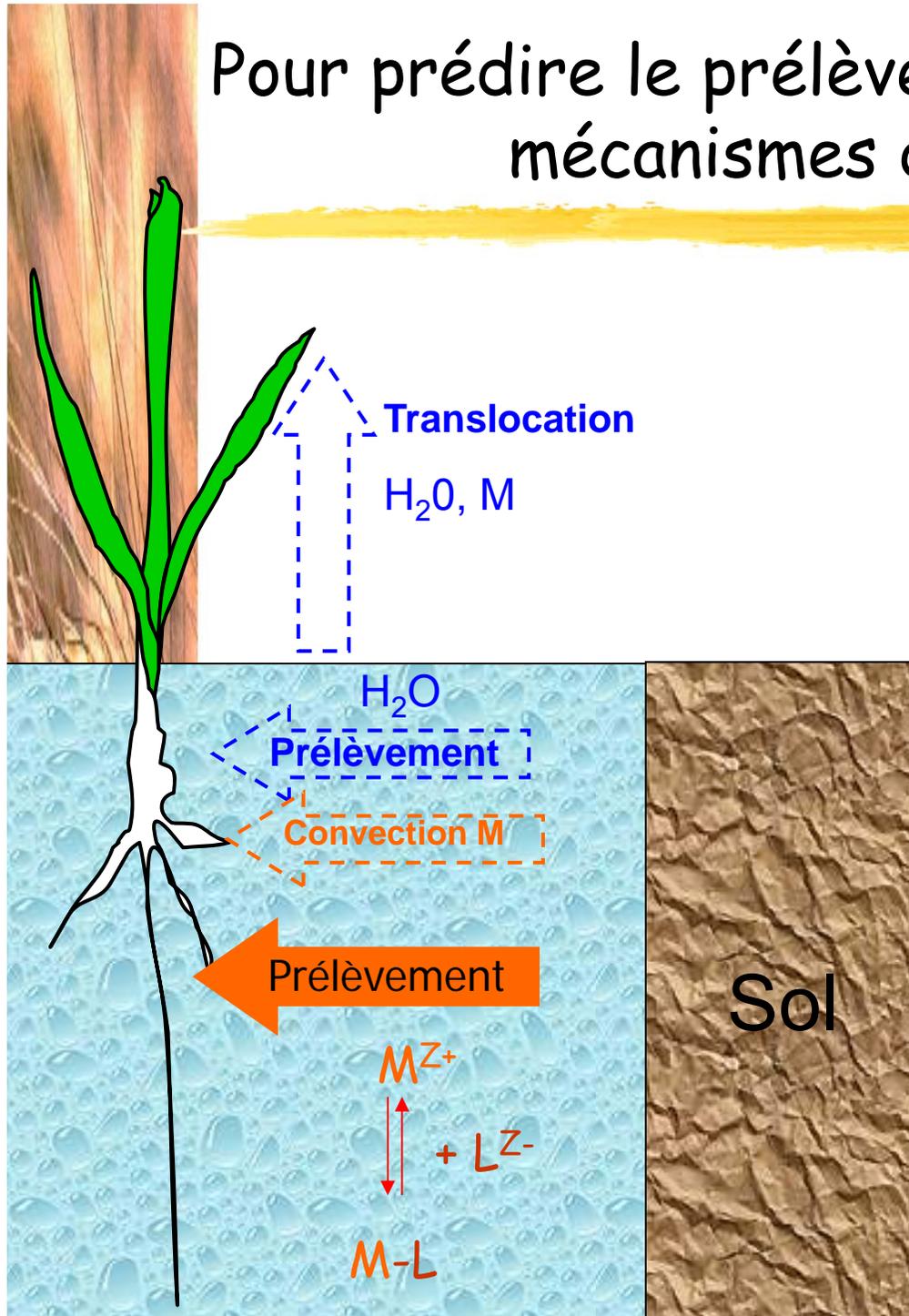
Cadmium
(2.7 µg /jour)



Leblanc et al., 2004

Modélisation du transfert sol-plante des ETM :
Recherche d'une démarche générique et simple

Pour prédire le prélèvement, il faut simuler les mécanismes de prélèvement



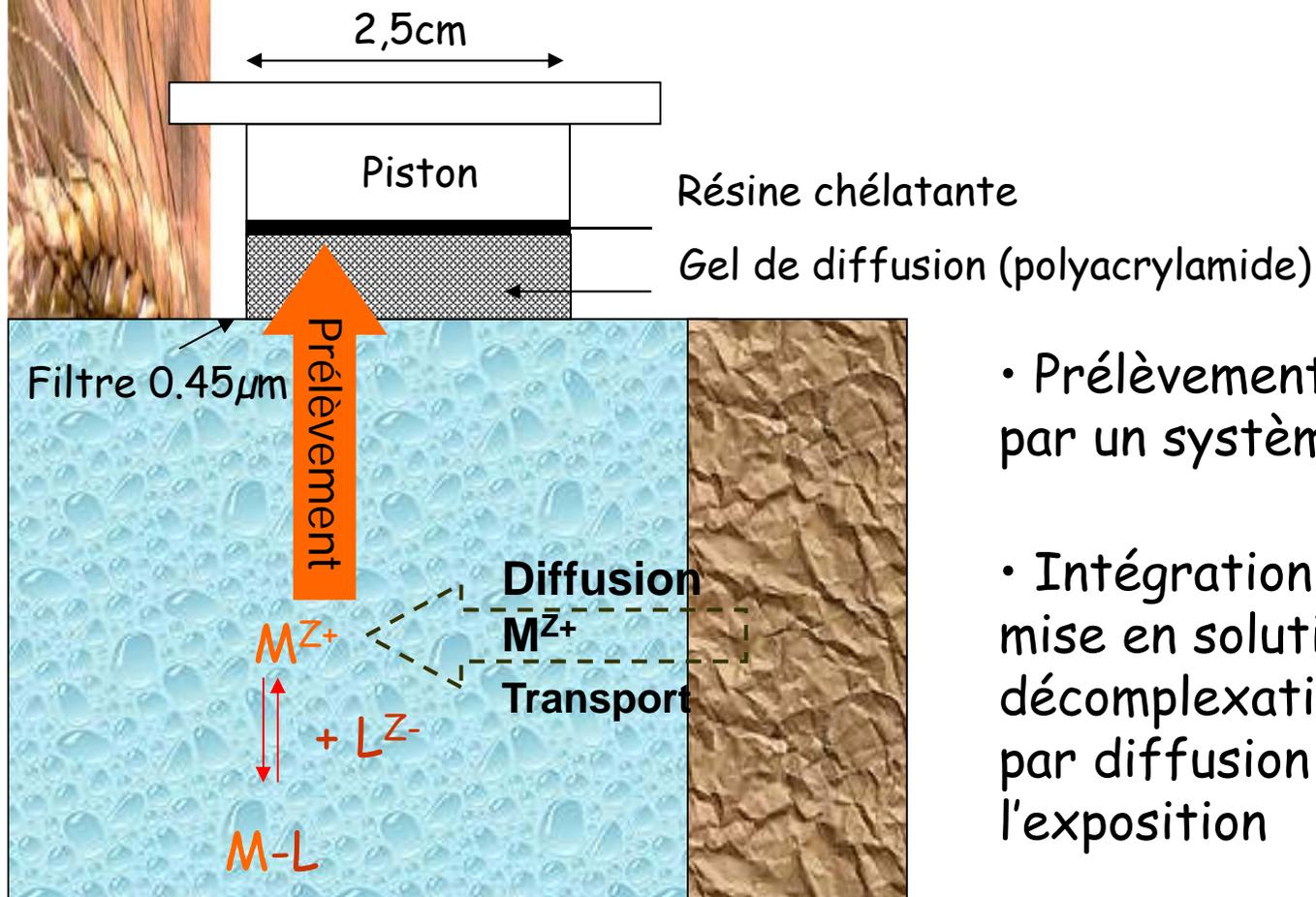
Flux convectif

Flux diffusif

Désorption de la phase solide
Complexation en solution

Simulation opérationnelle du flux diffusif

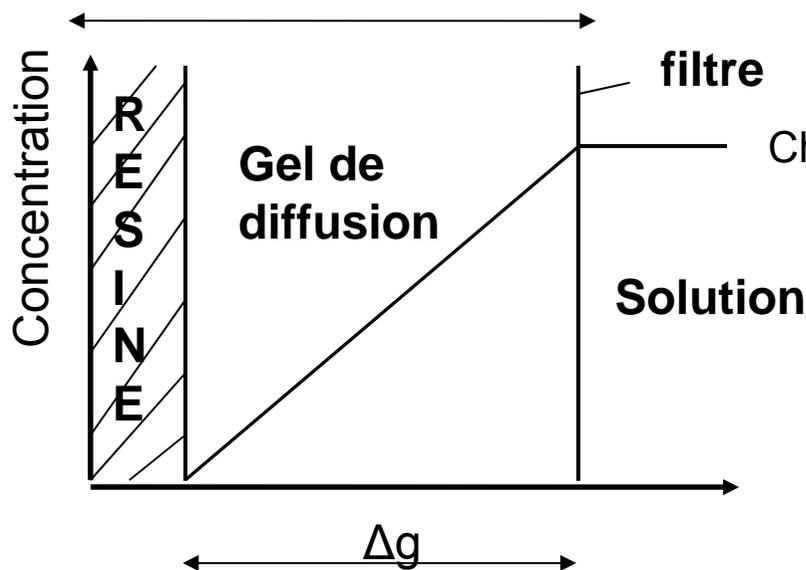
Capteur Passif : Dispositif DGT (Diffusive Gel in Thin films)



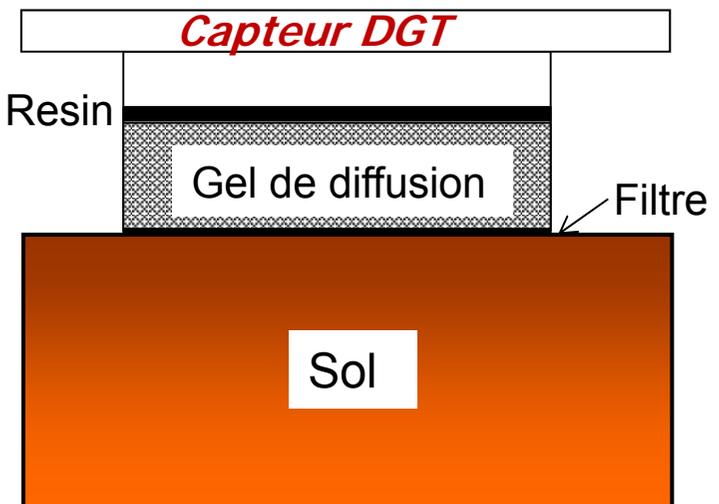
- Prélèvement localisé et continu par un système accumulateur
- Intégration des processus de mise en solution, de décomplexation et de transport par diffusion sur la durée de l'exposition

Principe de la mesure DGT pour estimer le flux diffusif

Section du capteur DGT



Davison and Zhang (1994)



Flux DGT (F)

$$F = \frac{D \cdot C_{DGT}}{\Delta g} = \frac{M}{A \cdot t}$$

F = DGT flux

M = metals accumulated on the resin

A = Diffusion gel surface

t = time of DGT deployment

C_{DGT} = labile metal concentration in soil solution

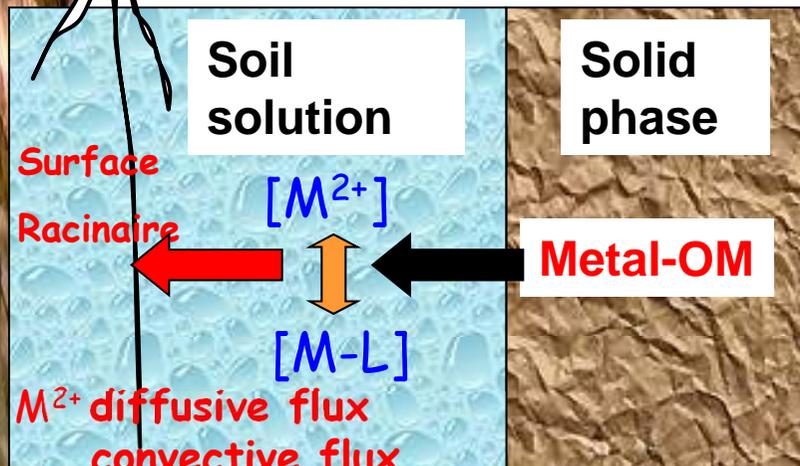
Δg = Thickness of diffusion gel

D = diffusion coefficient

Modéliser le prélèvement végétal par une démarche simple

Quelques hypothèses générales :

- Prélèvement total = flux convectif + flux diffusif
Tous les ETM arrivant à la surface de la racine sont absorbés
- Flux diffusif \gg flux convectif dans les sols à contamination modérée
- la surface de prélèvement n'est pas constante :
 - **Surface totale comme pour les éléments majeurs ?**
 - **Apex pour les éléments traces ?**



Expérimentation



Préparation du sol

Echantillons de sol séchés à l'air

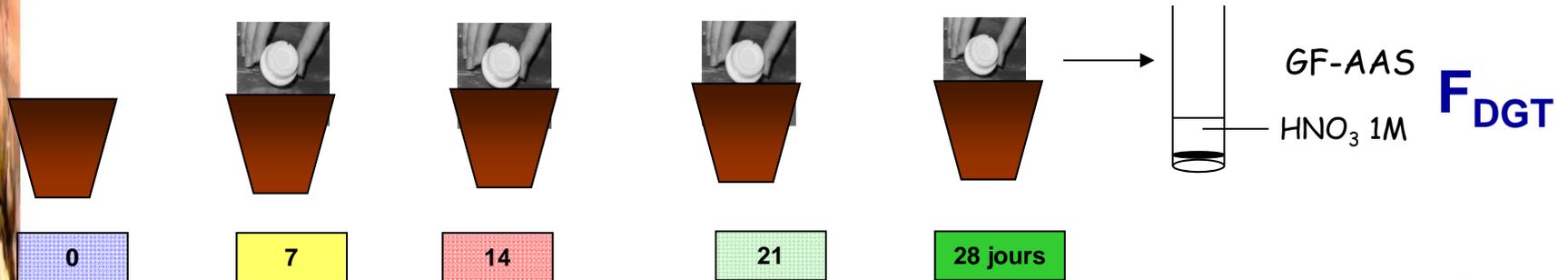
Tamisés à 2 mm et réhumectés à 90 % de la capacité au champ

Culture végétale

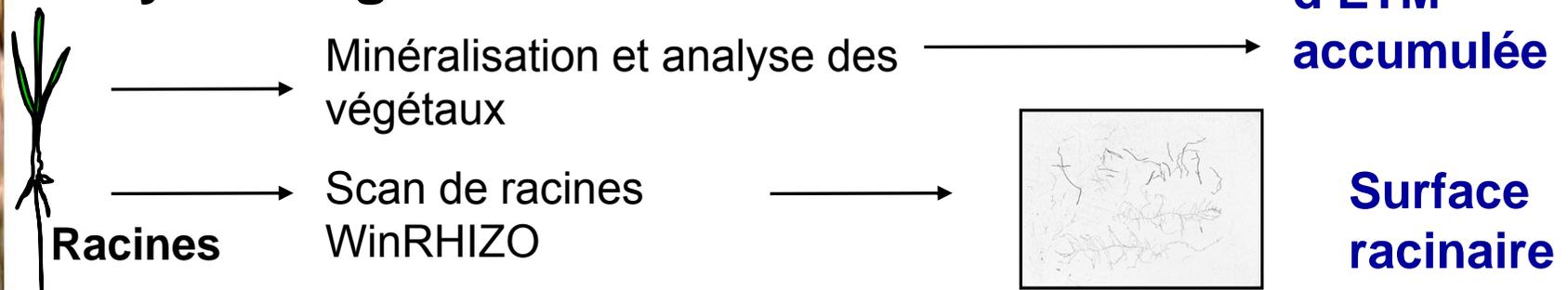
Blé dur (*Triticum turgidum* L. ssp durum cv. « Dakter »).

4 replicats/pot/traitement in serre cultivés pendant 4 semaines.

Mesures DGT *in situ*



Analyses végétales



1er cas : Epandage de boues de STEP ou de compost de déchets ménagers sur des sols acides (Couhins, Bordeaux, France)



SOERE PRO - Bordeaux



Sols amendés pour du compost urbain ou de la boues de STEP (10 t MS/2 ans) pendant 20 ans.

Sol de surface (0-20 cm) prélevé en 2011

Choix des échantillons

✓ Fertilisés ou non avec de l'ammonitrate (400kg N/ha/an pendant 20 ans)

⇒ pH variable

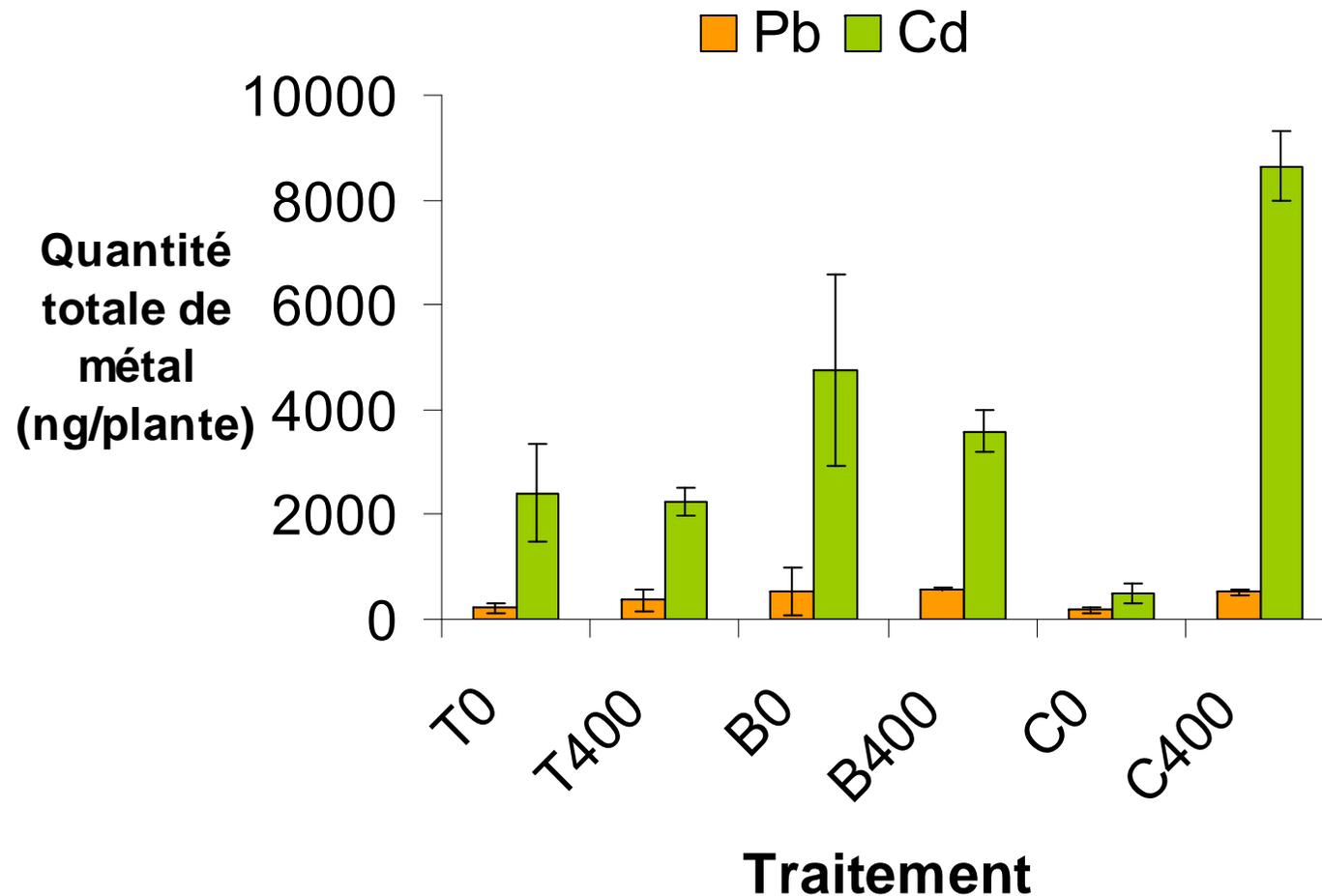
Différentes concentrations totales de métaux

⇒ **Gradient potentiel de biodisponibilité**

Concentrations totales dans les sols (mg.kg⁻¹)

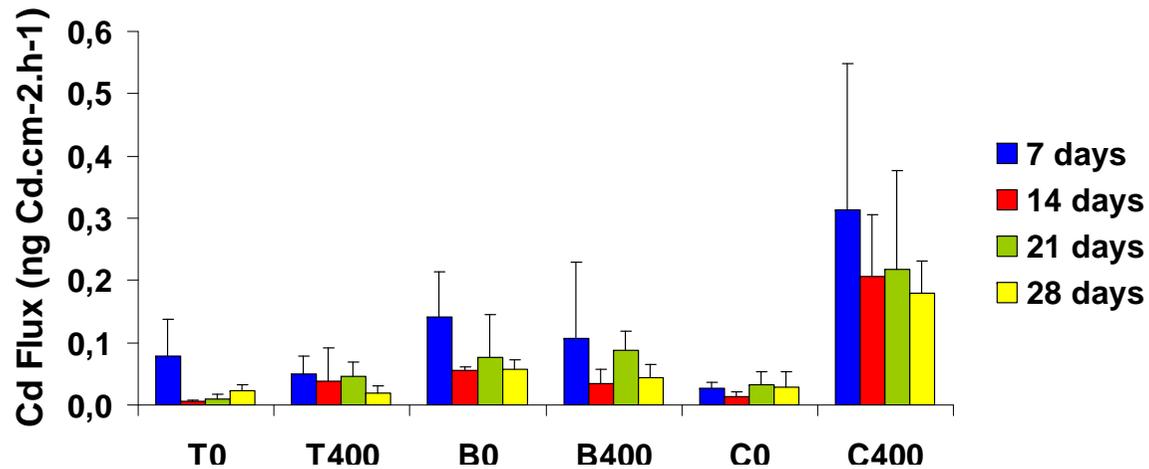
<i>Sols</i>	<i>pH</i>	<i>Cd</i>	<i>Pb</i>
T0	6.5	0.2	17.8
T400	5.4	0.2	28.7
B0	6.6	1.3	31.8
B400	5.4	0.4	31.3
C0	6.7	0.3	31.6
C400	5.4	2.8	43.0

La quantité de métal accumulé est variable suivant les métaux



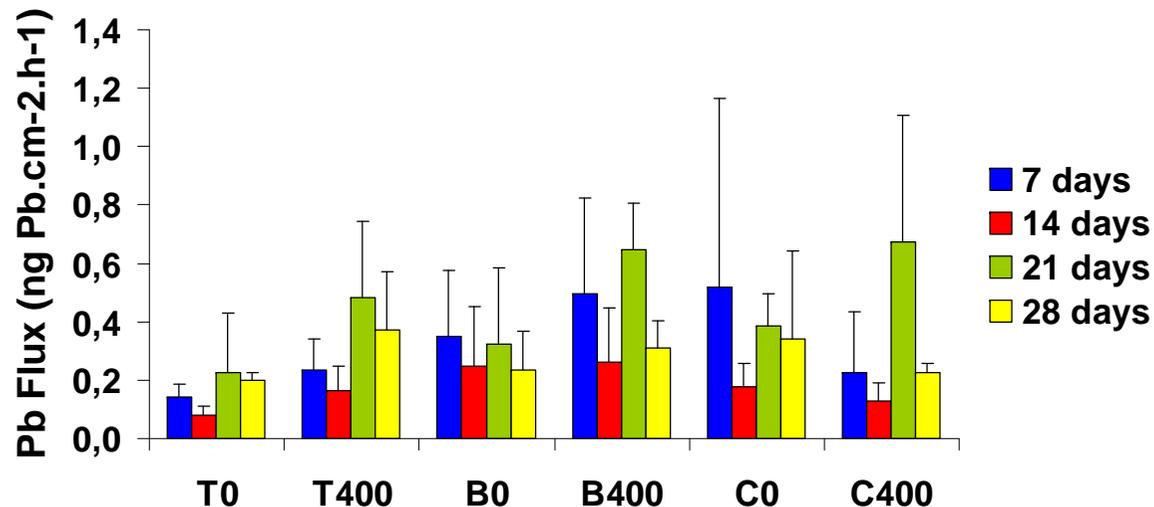
➔ Comment modéliser la quantité totale de métal (Q) prélevée par la plante?

Le flux DGT est constant



Pour chaque traitement, F_{DGT} (Cd) ne varie pas significativement sur la durée de la culture ($P>0.05$)

F_{DGT} (Cd) and (Pb)= cst



Pour chaque traitement, F_{DGT} (Pb) ne varie pas significativement sur la durée de la culture ($P>0.05$)

Modélisation du prélèvement à partir du flux DGT et de la surface racinaire

$$Q = \sum_{t=1}^T F_{DGT}(t) * S(t)$$

Q=Quantité totale de métal prélevé; $F_{DGT}(t)$ =Flux DGT; $S(t)$ =surface racinaire

- Le flux DGT est constant au cours du temps.

Hypothèse 1

- La totalité de la surface racinaire absorbe les métaux

$$Q = F_{DGT} * \sum_{t=1}^T S(t)$$

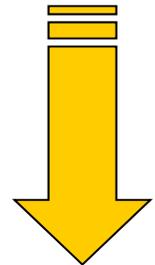
La surface racinaire est calculée à partir du modèle de croissance $S(t) = S_0 e^t$

Hypothèse 2

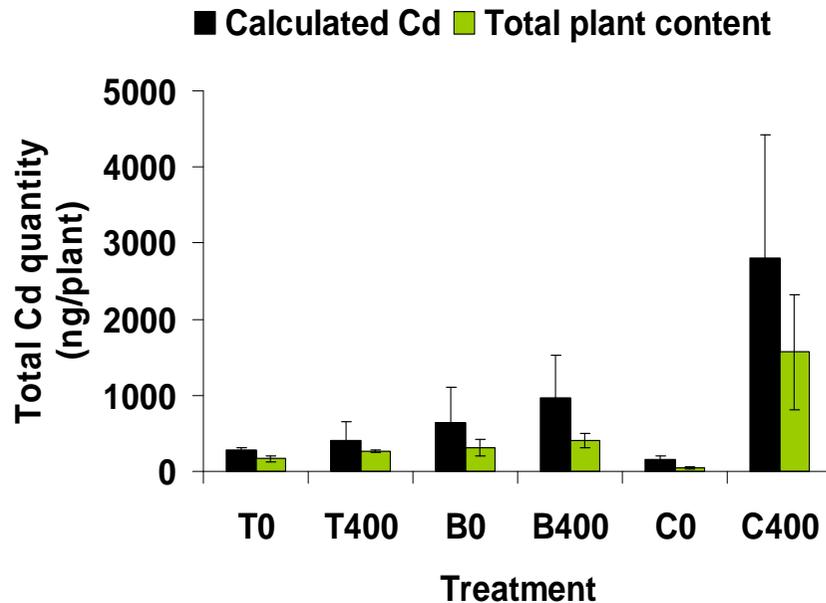
- Seule la surface de la racine jeune (racine ayant poussé en une journée) absorbe les métaux

$$Q = \sum_{t=1}^T F_{DGT}(t) \delta S(t) = F_{DGT} * \sum_{t=1}^T \delta S(t)$$

F_{DGT} = flux DGT ($\text{ng.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$)



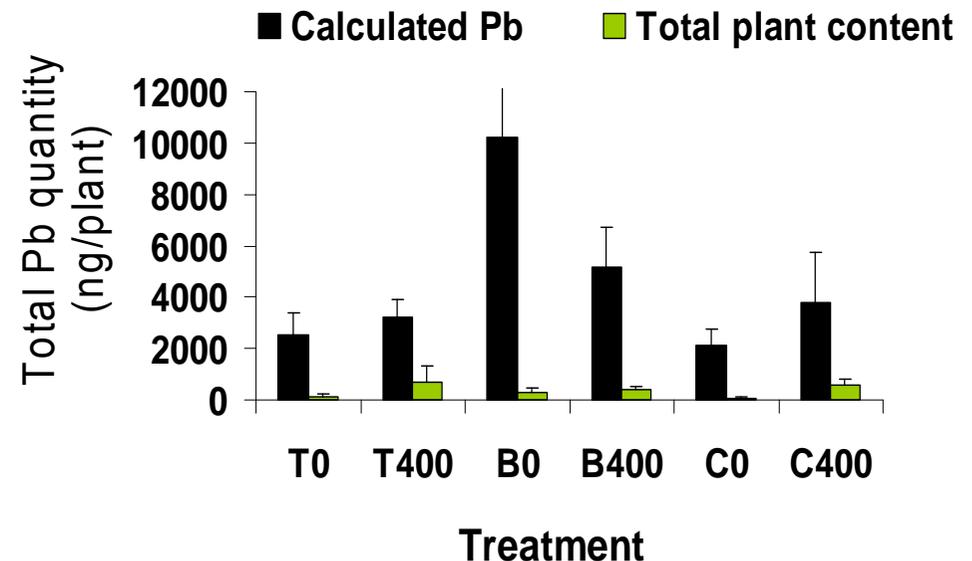
Calcul du prélèvement en utilisant la surface totale



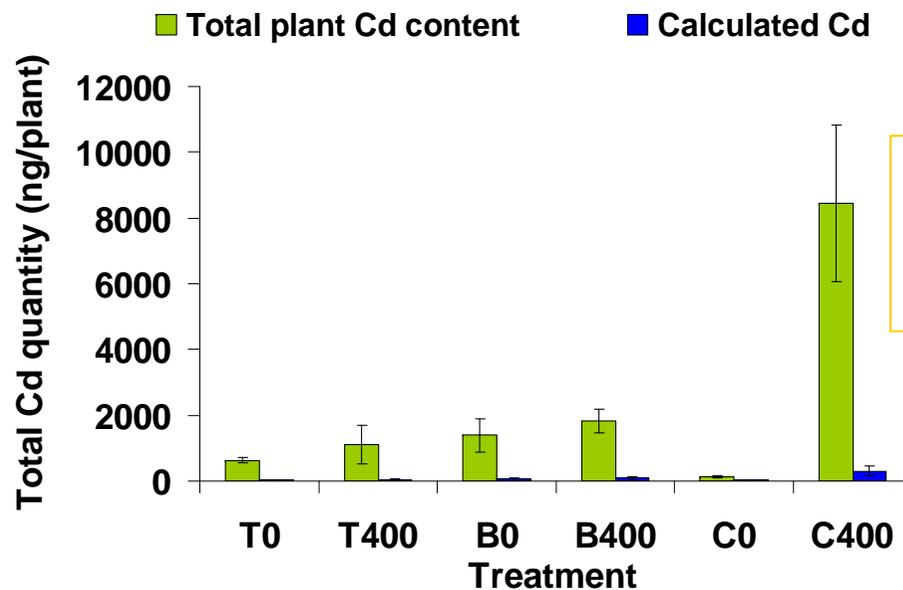
Surface totale ?

=> Pour Cd, le modèle utilisant la surface totale prédit correctement le prélèvement ou le surestime légèrement

=> Pour Pb, le modèle utilisant la surface totale surestime fortement le prélèvement



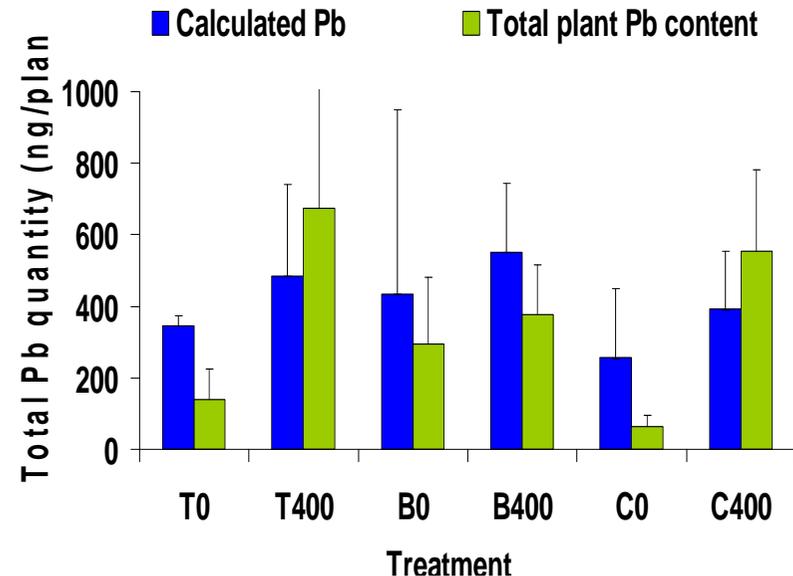
Calcul du prélèvement en utilisant la surface jeune (produite en une journée)



Surface jeune ?

=> Pour Cd, le modèle utilisant la surface totale sous-estime fortement le prélèvement

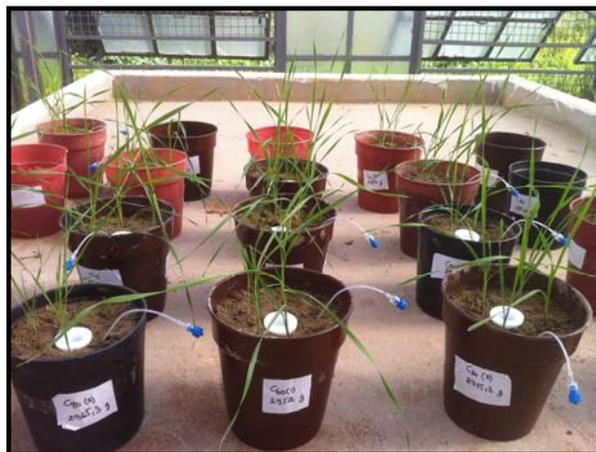
=> Pour Pb, le modèle utilisant la surface totale prédit correctement le prélèvement (sauf pour le témoin)



2ème cas : épandage de composts urbains sur des sols calcaires (Mornag, Tunisie)



Sols amendés avec du compost urbain dopé avec des sels de métaux.



Sol de surface (0-30 cm)
prélevé en 2009

Choix des échantillons

- ✓ pH alcalin
- ✓ Différentes concentrations totales de métaux (concentration élevée en Cd du sol témoin)

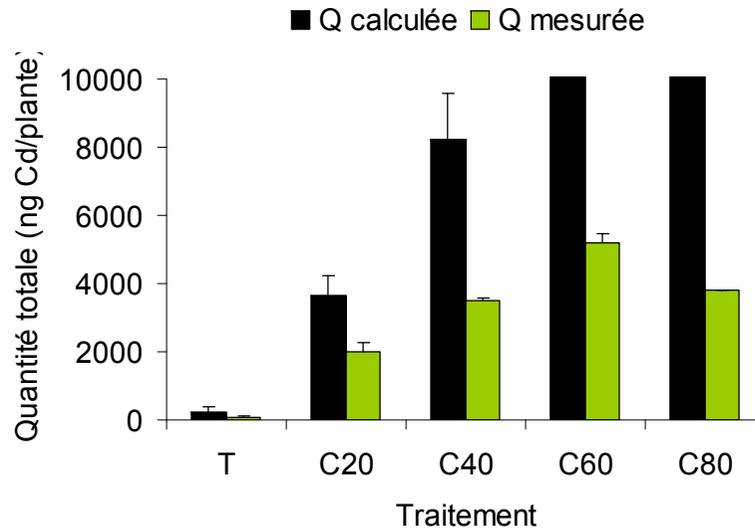
⇒ **Faible biodisponibilité potentielle ?**

Concentrations totales dans les sols (mg.kg⁻¹)

Sols	pH	Cd	Pb
T	7.5	2.95	40.3
C20	7.5	2.95	40.8
C40	7.5	2.95	41.4
C60	7.5	2.96	41.9
C80	7.5	2.96	42.4

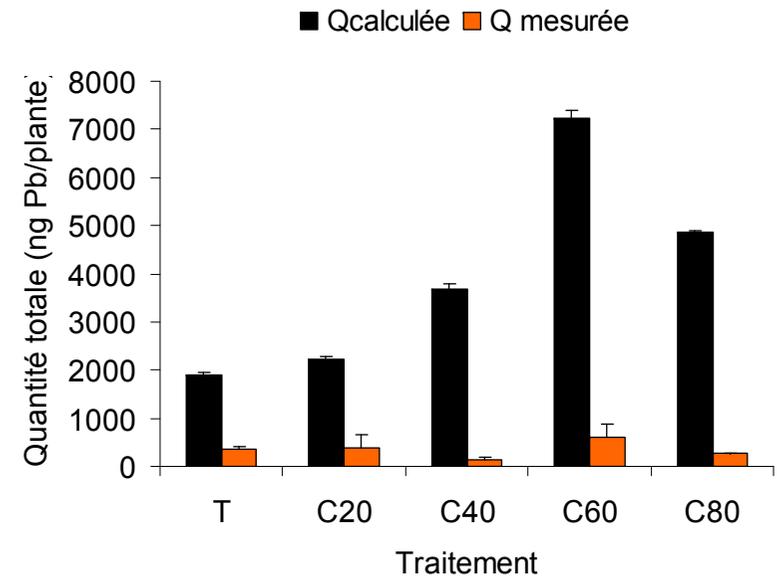
Calcul du prélèvement en utilisant la surface totale

Surface totale ?



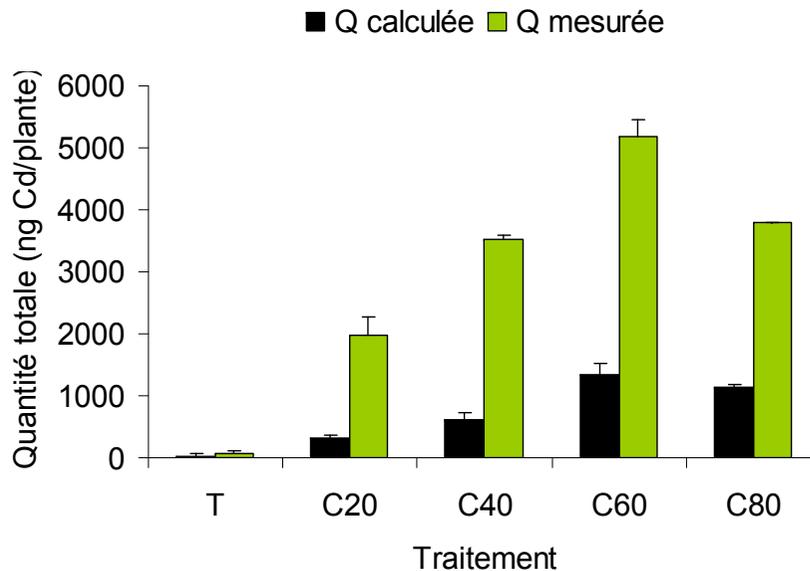
=> Pour Cd, le modèle utilisant la surface totale surestime d'un facteur 2 à 3 le prélèvement

=> Pour Pb, le modèle utilisant la surface totale surestime fortement le prélèvement



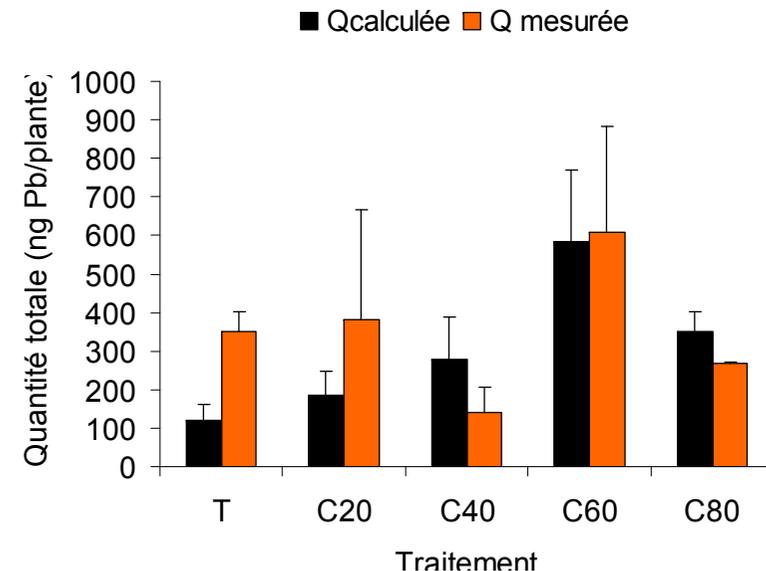
Calcul du prélèvement en utilisant la surface jeune (produite en une journée)

Surface jeune ?



=> Pour Cd, le modèle utilisant la surface jeune sous-estime fortement le prélèvement

=> Pour Pb, le modèle utilisant la surface jeune prédit correctement le prélèvement (sauf pour le témoin)





Conclusion

- DGT : capteur passif performant pour évaluer la biodisponibilité des métaux dans des cas variables de contamination.
- La DGT peut être utilisée pour modéliser simplement le prélèvement total de cadmium ou de plomb par les plantes
 - Le prélèvement du blé dur dans des cas de sols acides ou calcaires contaminés par des boues ou des compost d'ordures ménagères
 - Le prélèvement du maïs dans le cas de sols agricoles classiques (RMQS)
- Le modèle proposé intègre le flux DGT et la surface racinaire
- La surface racinaire à considérer dépend du métal :
 - Surface jeune pour le plomb
 - Surface totale ou une partie de la surface totale pour le cadmium
- La capacité de prélèvement de la plante doit être intégrée aux modèles de disponibilité.