

Électroremédiation : décontamination et déshydratation des sols et sédiments

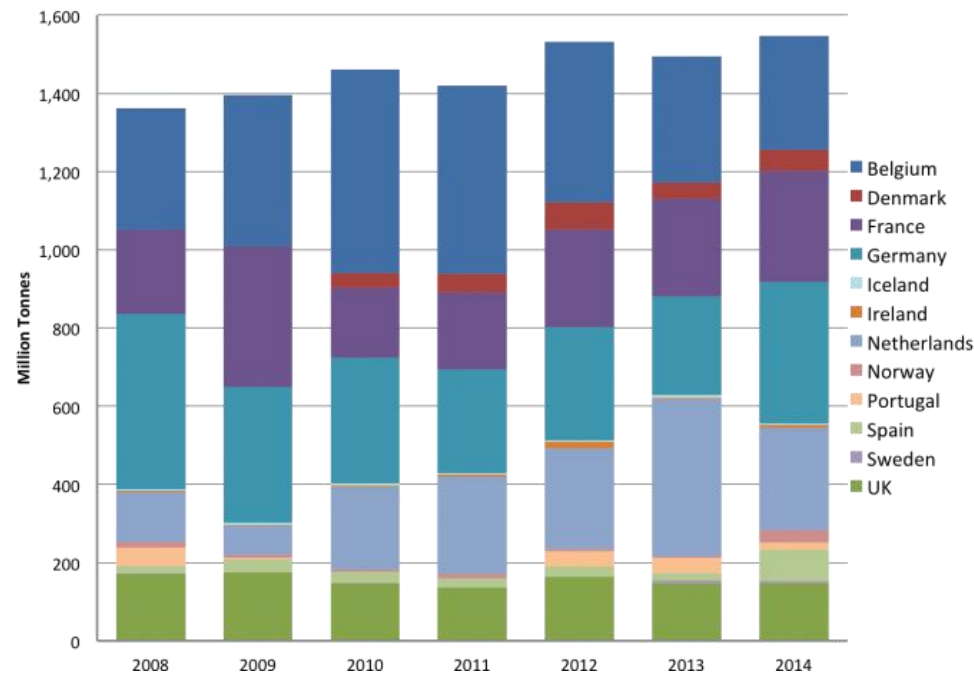
Mohamed-Tahar Ammami, Ahmed Benamar

Laboratoire Ondes et Milieux complexes (LOMC), UMR 6294 CNRS, Université Le Havre Normandie (ULHN), 76600 Le Havre, France.

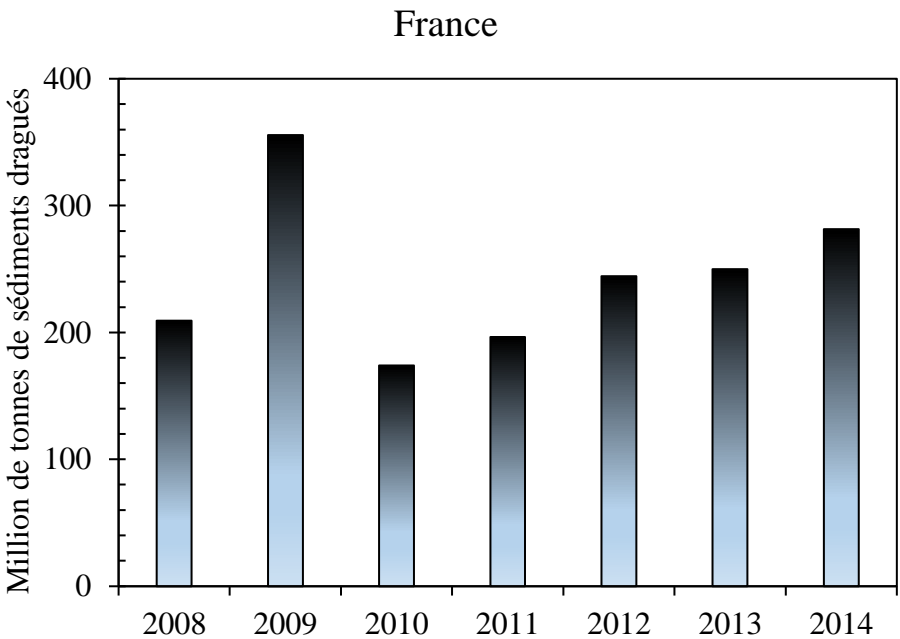
mohamed-tahar.ammami@univ-lehavre.fr; ahmed.benamar@univ-lehavre.fr

Volumes de sédiments Dragués en Europe et en France

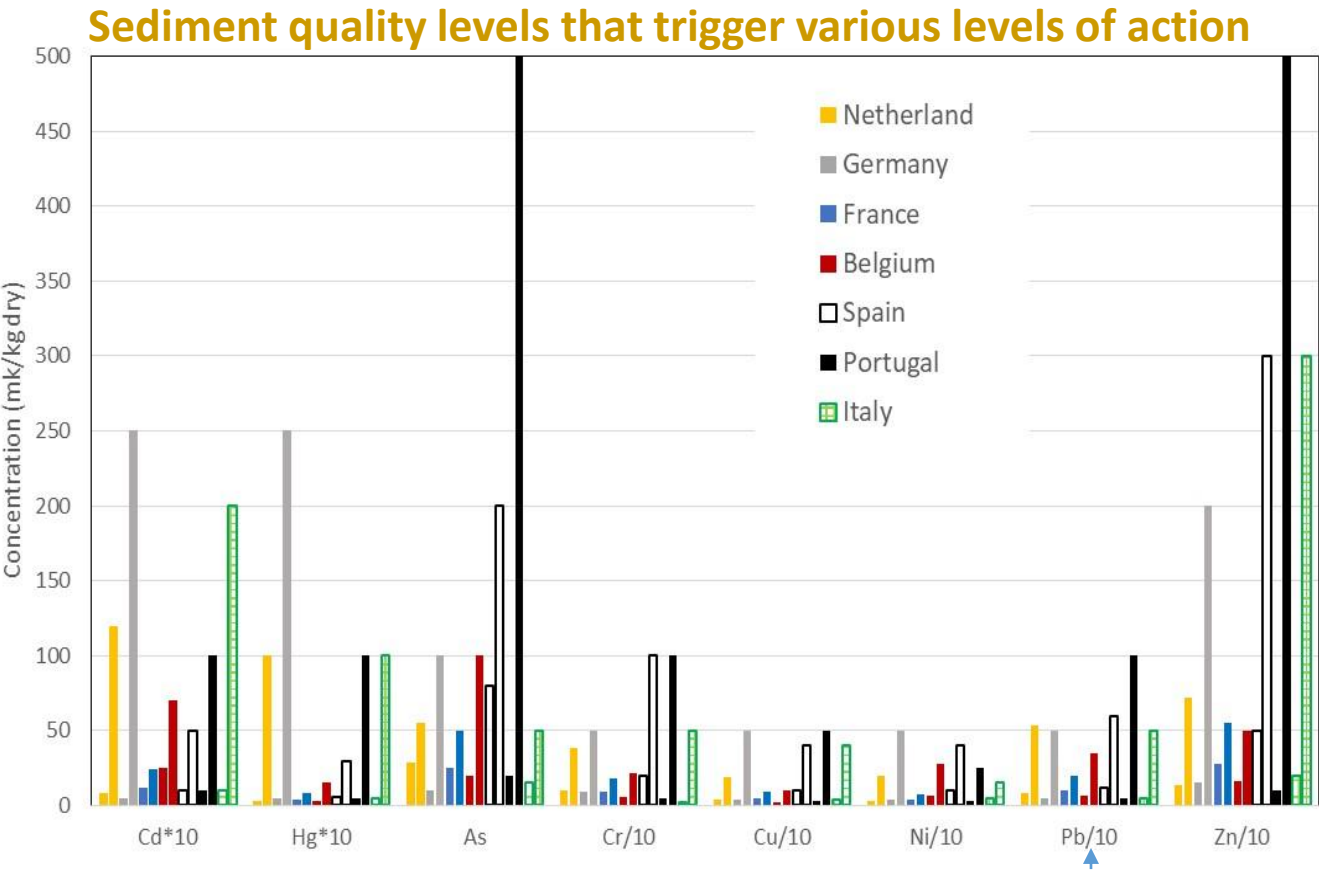
~1 500 millions de tonnes de sédiments dragués et immergés chaque année en Europe



<https://www.ospar.org/work-areas/eiha/dredging-dumping>



Législation en Europe

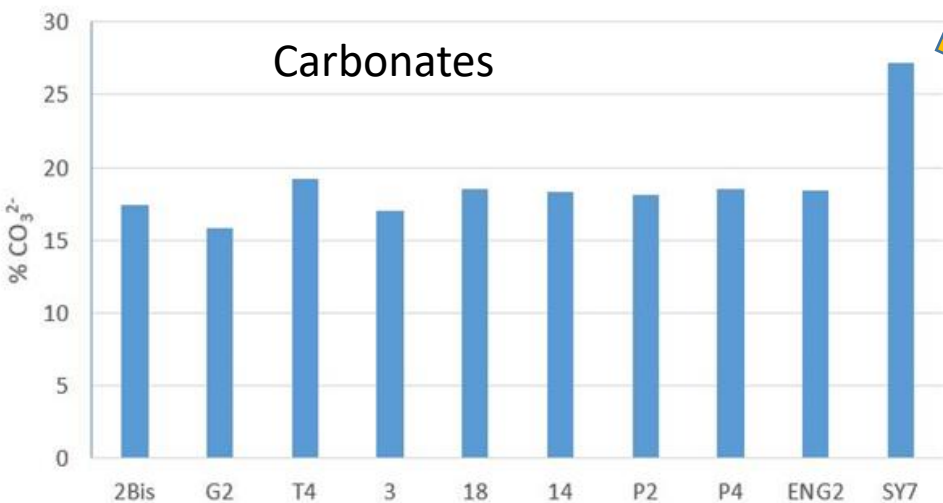
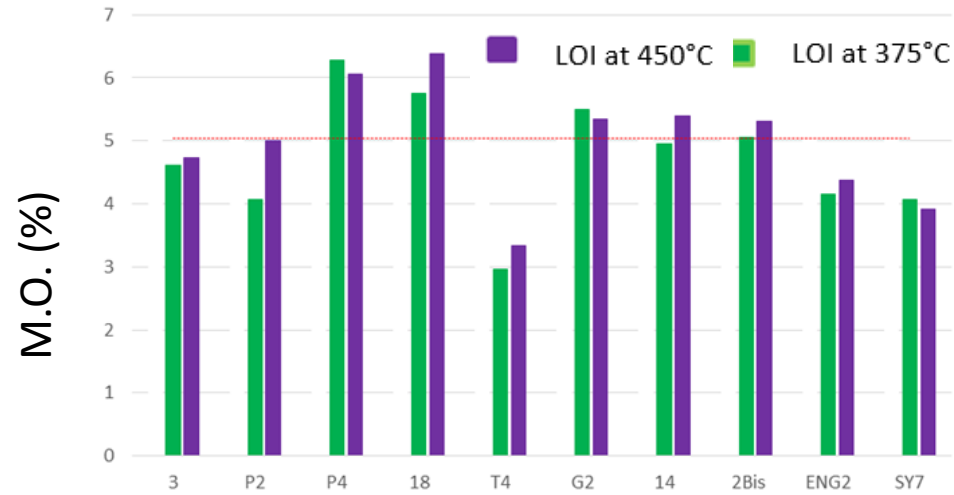
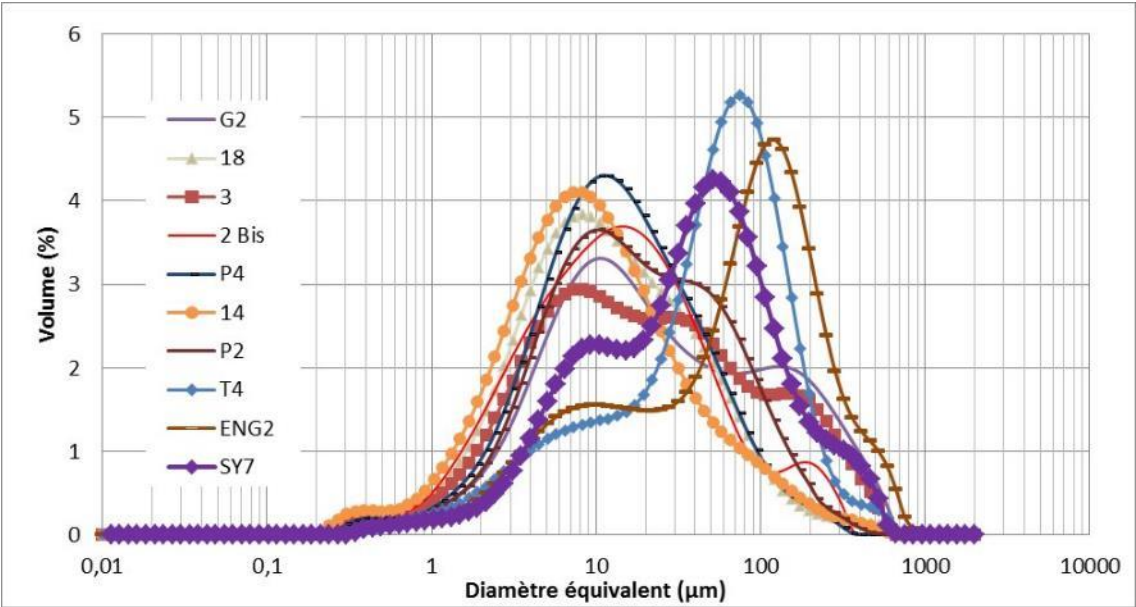
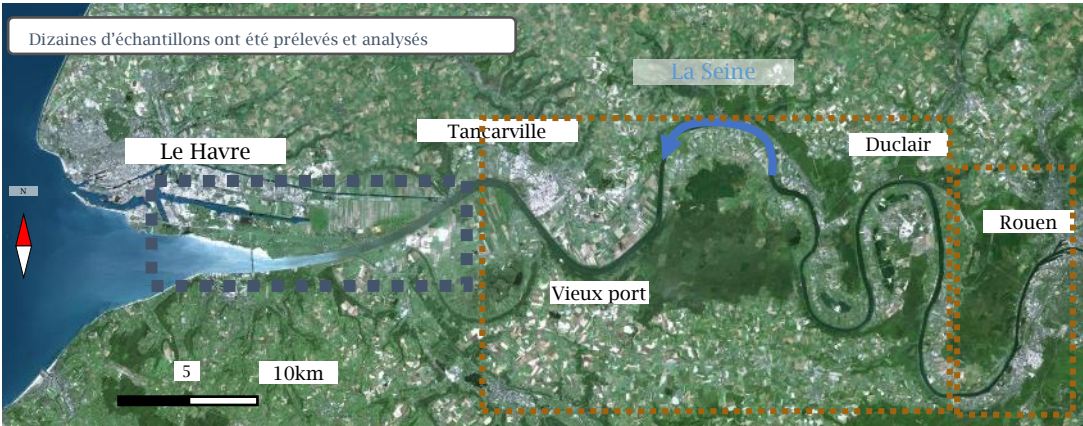


Sediment = déchet ➡ Défi de le valoriser

Element	Cd	Hg	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Agricultural soil							
Mean background value	0.42	0.08	75	14.9	41.3	64.8	149
Sludges use in land							
EEC Limit value	3	1.5	200	140	75	300	300
French standard (NF 44-041)	2	1	150	100	50	100	300
CDF limit values							
Inert waste	0.04	0.01	0.5	2	0.4	0.5	4
Not dangerous waste	1.00	0.20	10	50	10	10	50
Dangerous waste (values from leaching test)	5.00	2.00	70	100	40	50	200

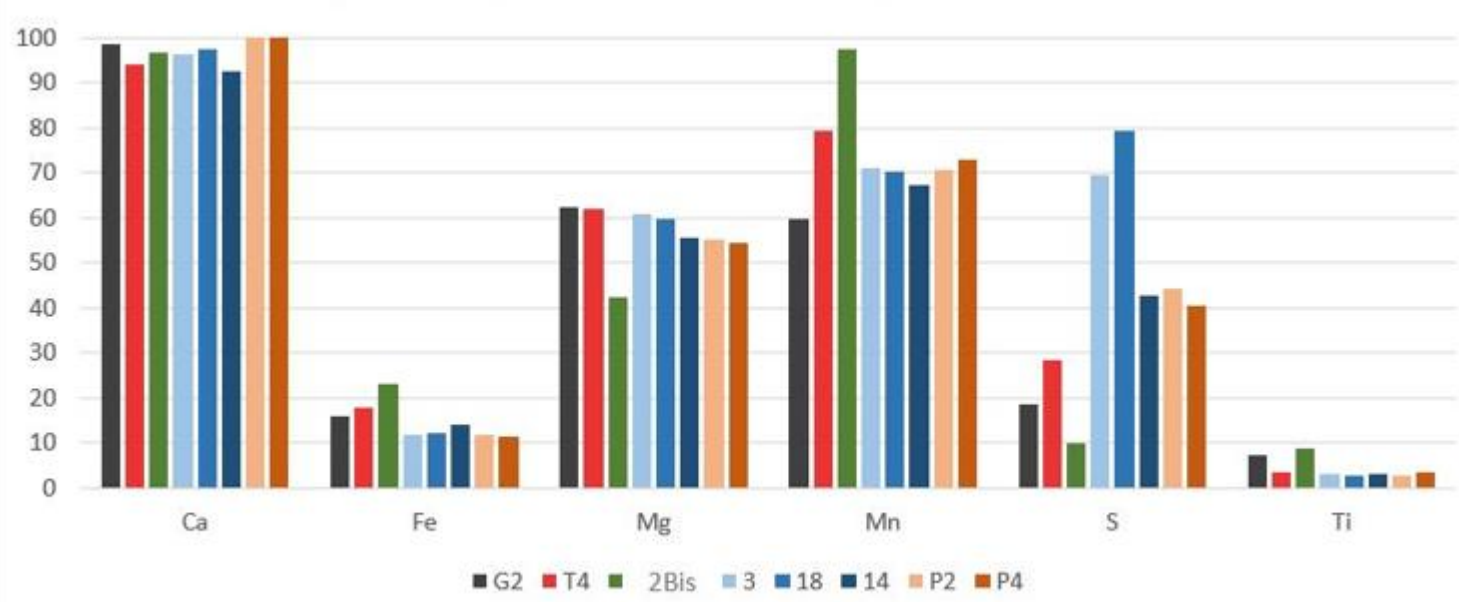
Limit Values (maximal and minimal) for metals concentration in European countries regulations

Sédiments - Normandie

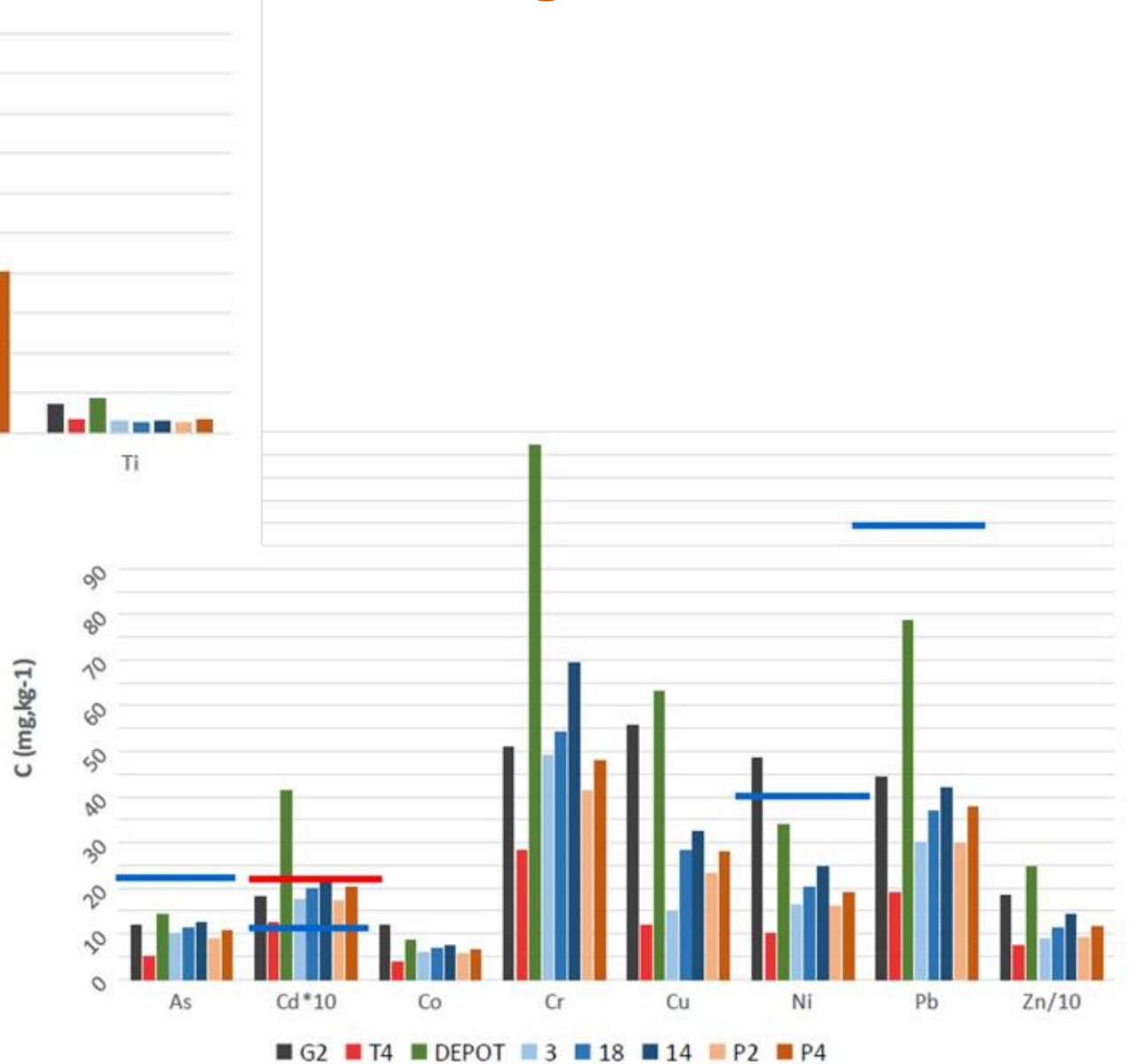
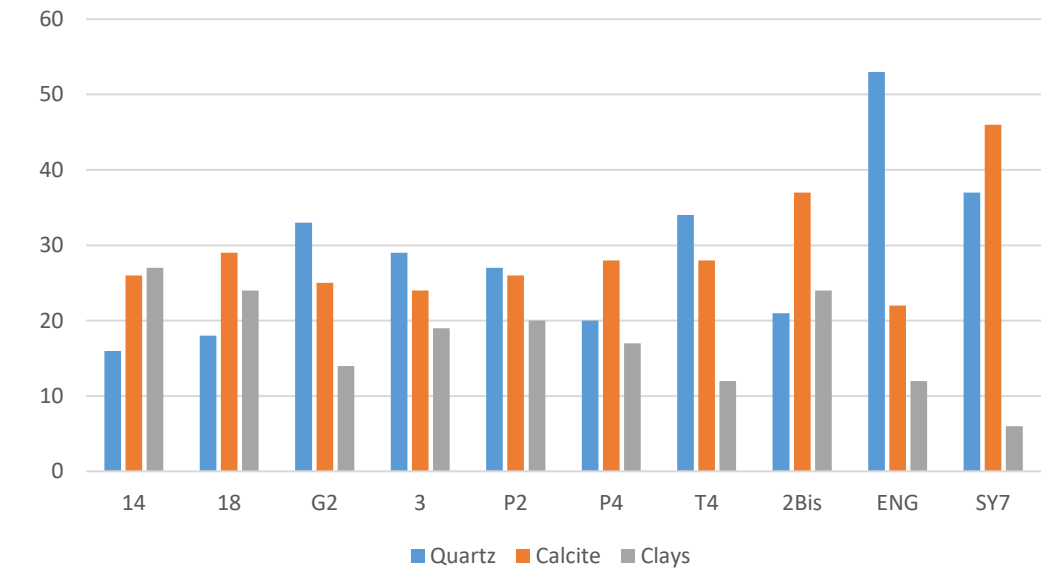


Faible variabilité des caractéristiques

Less variability of material characteristics in investigated area



Minerals



N1

N2

TME (mg/kg)	Average value From other 8 sediments	Used raw sediment in ReCon Soil	NFU 44-551 Threshold values for sludge use in land	NFU 44-051 standard (organic amendements)
As	10.6	12.8		18
Cd	2.1	<DL	2	3
Cr	57.4	98.2	150	120
Cu	32.4	39.5	100	300
Ni	24.7	82.6	50	60
Pb	39.8	46.1	100	180
Zn	131.2	170.1	300	600

Filière terrestre



TANCARVILLE SITE (2007) **57 325 m²**



Au remplissage



10 ans après

LE HAVRE SITE (2018)



Chambre de dépôt avec système de drainage



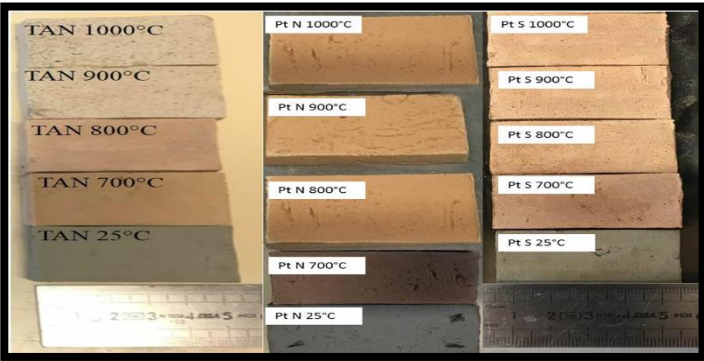
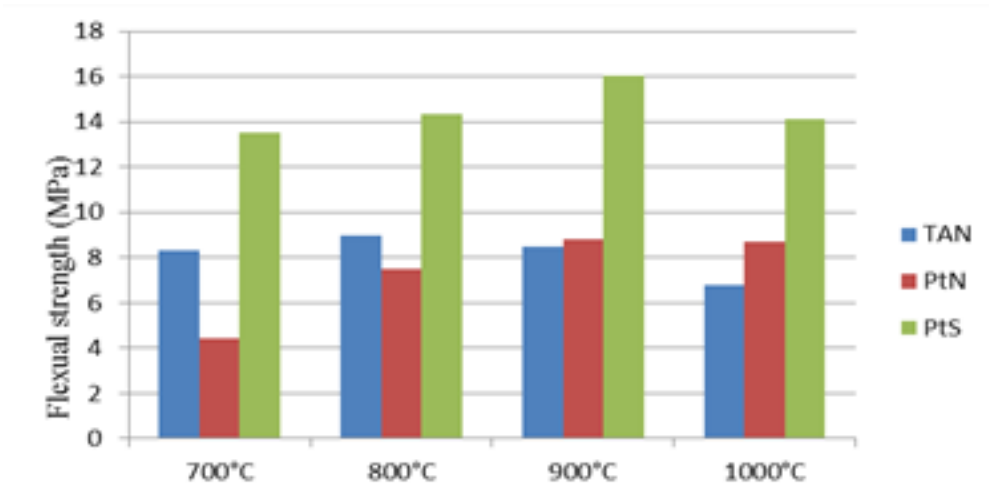
2 ans après

Remédiation & Valorisation

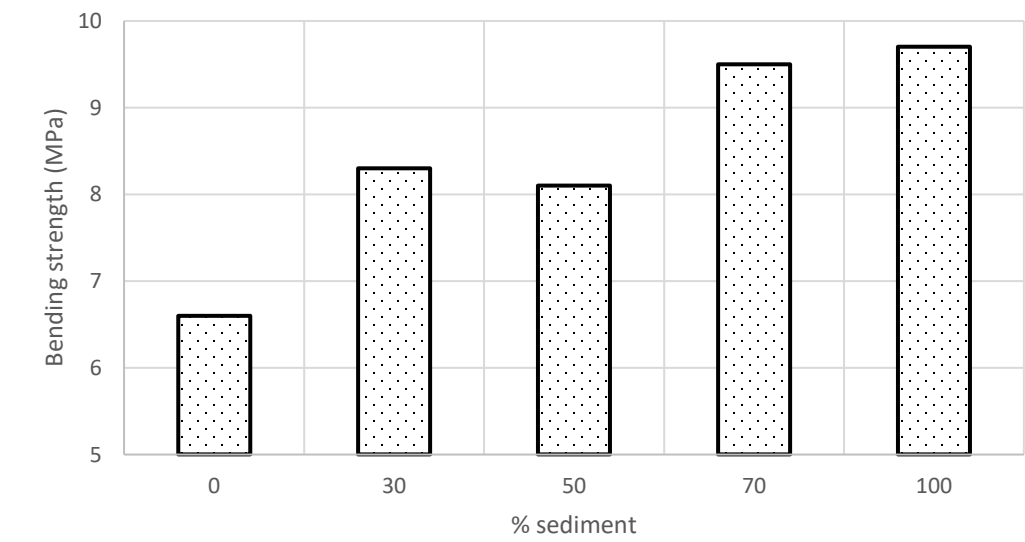
 **SEDIBRIC**
Valorisation de sédiments
en briques et tuiles



Remédiation & Valorisation



Clay + Sediment (%) fired at 850° C



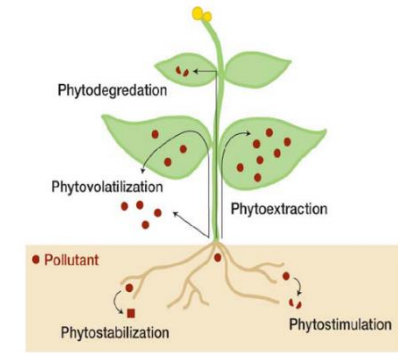
Mais l’ajout de sédiment augmente l’adsorption d’eau

Remédiation & Valorisation

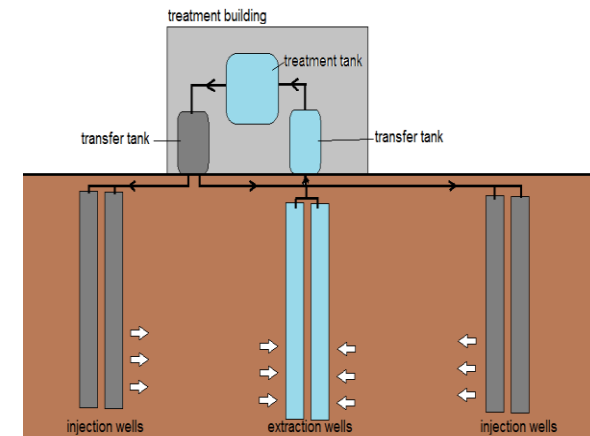
- ❑ Confinement-Stabilisation: barrières physiques imperméables (bitumineuses...) ou réactives (oxydation); stabilisation par liants *ex-situ* (ciments, chaux...), vitrification *ex-situ* (>1000°C) ou phytostabilisation *in-situ* (racines).
- ❑ Lavage/lessivage : lessivage *in-situ* par eau + additifs (acide phosphorique...) sous pression, suivi de Pump & Treat;
- ❑ Tri des fines *ex-situ* puis lavage par solvants (alcool) + additifs.
- ❑ Bioremédiation: bioréacteurs *ex-situ*: bactéries réductrices
- ❑ Phytoextraction par plantes hyperaccumulatrices puis fauchage

➤ Avantages du traitement électrocinétique EK

- ✓ *In-situ* sans excavation, facilité d'installation, peu énergivore
- ✓ Possible pour sols peu perméables
- ✓ Abaissement assez rapide
- ✓ Multi-décontamination



Phytotechnologies

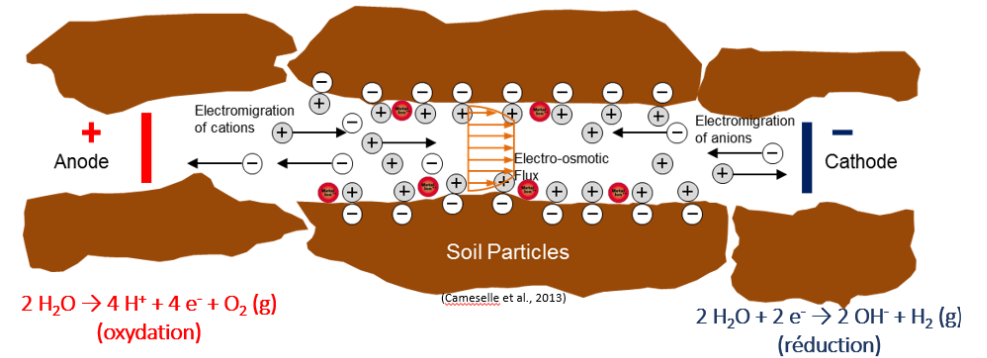
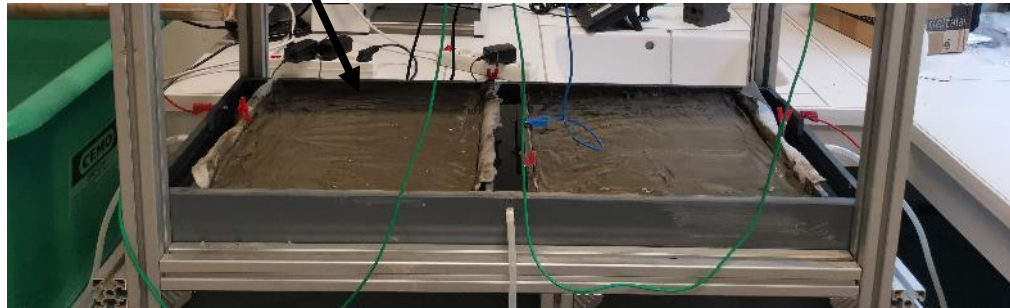
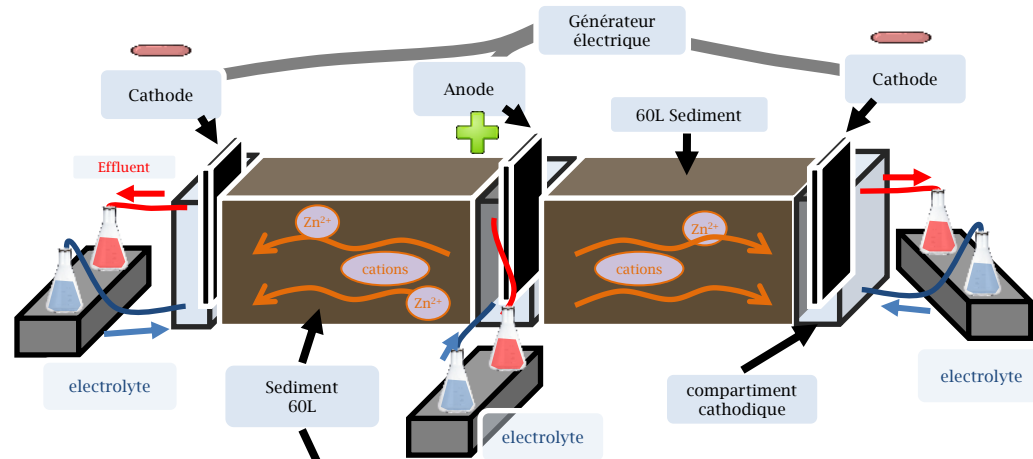


Technologie « pump & treat »

Remédiation & Valorisation

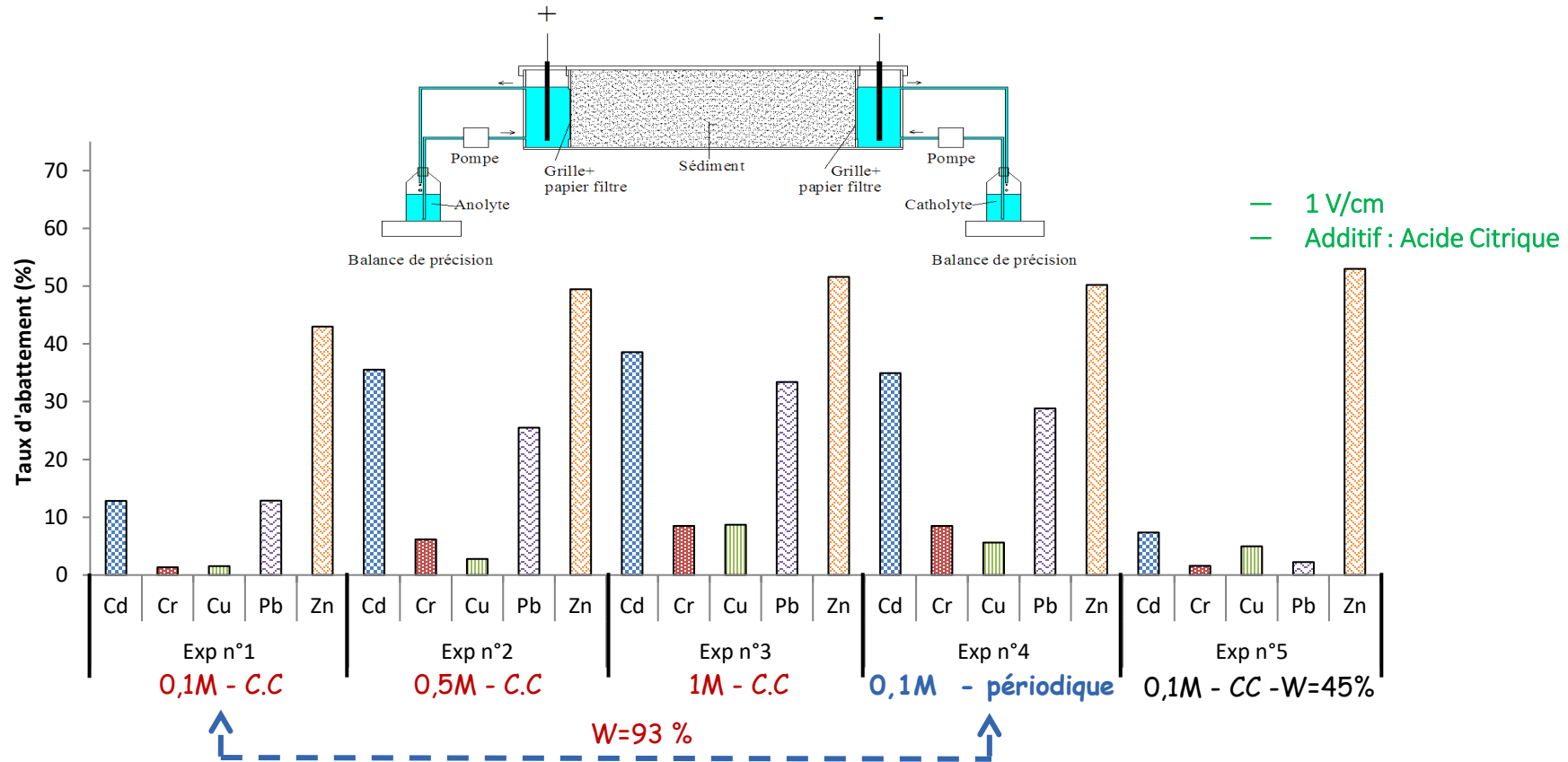
Technologie de remédiation		Avantages	Limites
Physique	Remplacement de sol (excavation)	Pour des faibles volumes pour des superficie limités	Coûteuse ; besoin des décharges (CET) ; Déconseillé pour les terres agricoles
	Vitrification	Efficacité sur une longue durée ; réduction de volume ; produits à potentiel de réutilisation ; large gamme d'applications	Coûteuses ; pertes importantes ; gaz doivent être traités, ne conviennent pas aux grandes surfaces
	Thermique	Processus simple, appareils mobiles, extraction et récupération efficaces du mercure et la sécurité	Coûts élevés, efficacité uniquement à des teneurs en mercure total assez élevées ; nécessite un contrôle des émissions de gaz et installations spécialisées, endommagement de la structure du sols
	Electrocinétique	Applicable pour les sols fins saturés ; temps de traitement court ; faible consommation d'énergie ; réparation complète	Hétérogénéité ; Profondeur important
Chimique	Stabilisation chimique	Relativement rentable, simple ; approche de remédiation rapide	Ne peut pas éliminer les métaux lourds du sol ; modification des propriétés physico-chimiques
	Solidification/ Stabilisation	Coût relativement faible ; utilisation facile ; haute résistance à la biodégradation Augmentation du volume de la matière traitée ; surveillance à long terme est nécessaire	Augmentation du volume de la matière traitée ; surveillance à long terme est nécessaire
	Lavage du sol	Élimine définitivement les contaminants ; méthode rapide, très efficace pour les sols fortement pollué	Détérioration de la structure du sol ; les nutriments peuvent être libérés simultanément du sol pendant le processus ; coûts élevés et processus de travail pénibles
Biologique	Phytostabilisation, Phytoextraction	Rentable ; pas de pollution secondaire Traitement limité en profondeur ; long cycle de réparation ; les plantes et le sol nécessitent surveillance à long terme	
	Bioremédiation : Utilisation de micro-organismes (bactéries, champignons)		

Traitement électrocinétique



- Migration des ions : H^+ vers la cathode et OH^- vers l'anode
- gradient de pH : pH ↓ à proximité de l'anode et pH ↑ près de la cathode

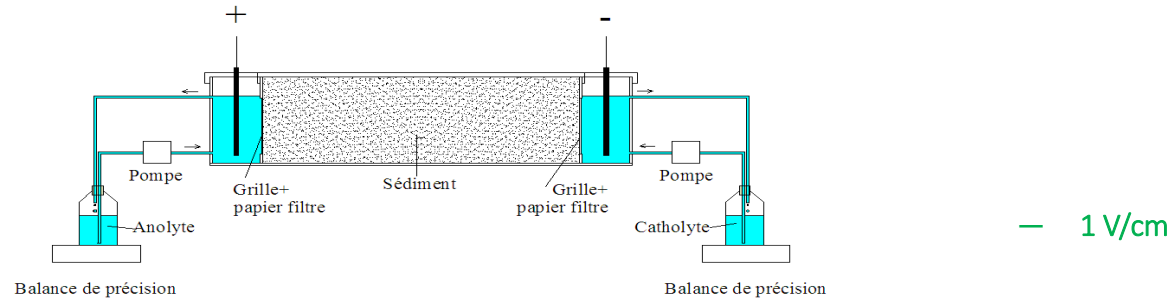
Résultats



Ammami et al., 2020

- ✓ abatement de tous les métaux ➡ quand AC ➡
- ✓ Voltage intermittent: ➡ abatement de tous les métaux
- ✓ conditionnement : sans effet sur l'abatement à l'exception du Zn

Résultats



	Essai n°1	Essai n°2	Essai n°3	Essai n°4	Essai n°5
Taux d'abattement moyen Σ 16 HAP (%)	35.3	43.1	54.4	48.1	54.9
DEO (ml.h ⁻¹)	0,14 ± 0,07	0,37 ± 0,27	0,79 ± 0,82	0,64 ± 0,22	0,50 ± 0,15

- ✓ Le taux d'abattement des HAP augmente quand le flux électroosmotique augmente.
- ✓ L'application d'une tension périodique conduit à des résultats meilleurs
- ✓ L'augmentation du flux électroosmotique ne suffit pas à améliorer sensiblement l'abattement des HAP lourds d'où l'intérêt d'un conditionnement avec le Tween 20.

Reconstruction de Sols à partir de “déchets”



Objectif: utiliser le sédiment (traité ou non) pour construire un sol

Culture de courgette

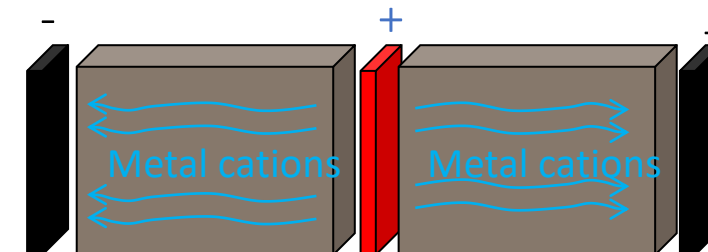
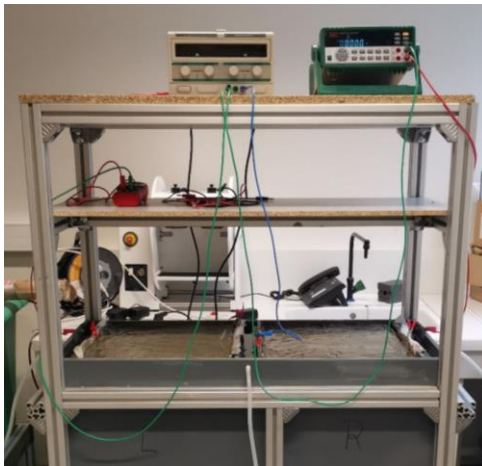
5 échantillons de sol reconstitué

- 1 Sédiment traité (100%)
- 2 Sédiment traité + sol agricole (30%-70%)
- 3 Sédiment non traité (100%)
- 4 Sédiment non traité + sol agricole (30%-70%)
- 5 Sol référence (sol agricole 100%)



Paramètres de Control:
Physico-chimie (pH, salinité, CE), la
concentration de éléments
métalliques, les minéraux (sulfates,
carbonates) et les organiques

Traitement EK du Sédiment



Reconstructed soil 1
100% treated
sediment
Tr_Sed



Reconstructed soil 2
30% treated sediment
+ 70% agricultural soil
Tr_Sed+Soil



Reconstructed soil 3
100% non-treated
sediment
Sed



Reconstructed soil 4
30% non-treated sediment
+ 70% agricultural soil
Sed+Soil



Control
100% agricultural
soil
Ctr



29/03

1^{er} semis

2nd semis

12/09



Conclusions

- Des volumes importants de sédiments dragués et leur immersion n'est plus durable
- Les sédiments de dragage sont encore considérés comme des déchets (legislation actuelle)
- Des solutions à terre doivent être largement utilisées dans le but de valoriser le sédiment comme matériau alternative dans la construction
- Les techniques de remédiation doivent être déployées plus efficacement et durablement dans le cadre de l'atténuation du risque environnemental
- Adapter le procédé de dépollution électrocinétique à un site de démonstration (in situ) : Mise au point du procédé industriel (étude du changement d'échelle en cours)
- Couplage des processus électrocinétiques avec la bioremédiation ou la phytoremédiation
- La valorization des sediments peut être étendue à la reconstruction de sols dégradés
- L'usage local des sediments en agriculture et en aménagement urbain constitue un défi environnemental et societal
- Nécessité de comprendre et mesurer les modifications apportées au matériau par le traitement EK