



CONFÉRENCES

Village Sites et Sols Pollués



Union des Professionnels
de la Dépollution des Sites.



ESTRALAB

**INGENIERIE
DES PROJETS
DE
DEPOLLUTION**

Sommaire

- Pourquoi faire des essais ?
- Quel cadre ?
- Avec qui ?
- Quelques REX

L'ingénierie en SSP : un domaine complexe car riche en aléas



ÉTENDUE DE LA POLLUTION

Age du diagnostic, qualité et modes de prélèvements
Nombre et complétude des données, zones non investiguées
Hétérogénéités - Zones karstiques
Fractions granulo analysées
Produit pur (flottant, fond d'aquifères)



RENDEMENT DES TRAITEMENTS

Localisation des pollutions
Données de sol par horizon
Rayons d'action
Substances compétitrices, inhibitrices
Vitesse de nappe
Hétérogénéités
Maîtrise des paramètres de process



DÉCOUVERTES FORTUITES

Obstacles : béton, acier
Réseaux
Explosifs, munitions
Futs, déchets
Amiante
Particularités géologiques : sols grésifiés, résistants



EMISSIONS ET ENVIRONNEMENT DES CHANTIERS

Emissions atmosphériques
Odeurs
Bruit
Hostilité
Protection des personnels



Face au risque : des attitudes possibles mais peu efficaces

MAITRE D'OUVRAGE

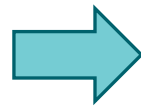
- Contrat au forfait,
- Clauses abusives

TRAVAUX

- Se reprocher le travail
- Le p...

- Accepter des risques inacceptables

en conception-
qu'on connaît



N'empêch
Conséq

Surcouts

Retards

Relations
DREAL

Image

Plus que favorable à l'arrêt

« sach

Le p

« Cependant, les valeurs mesurées s'avèrent plus importantes que celles qui étaient prévues initialement »

« Les premières analyses sont largement en dessous de ce qui pourrait engendrer un danger pour la santé de la population. Cependant, les valeurs mesurées s'avèrent plus importantes que celles qui étaient prévues »

HUNINGUE Chantier de dépollution du site de la Steih
Depuis mardi dernier, le site de l'ancienne station d'épuration des eaux usées de Huningue (Steih) est en veille. Son chantier de décontamination a été suspendu par la société Novartis. En cause, des émissions de poussières, notamment détectées à Bâle, plus importantes que prévues. Pour autant, les valeurs mesurées ne revèlent pas de risque pour la santé des riverains.



« L'Office pour l'environnement et l'énergie à Bâle a confirmé jeudi soir, « que les concentrations mesurées sont nettement inférieures aux seuils d'investigation des instructions suisses sur les matériaux terreaux ».

Chargement des matériaux

Une première évaluation ne détecte aucun risque, ce qui porte pour l'instant l'Office pour l'environnement « à ne pas recommander de mesures concrètes pour la protection de la population ».

Les autorités badoises et la Dreal ont constaté que les poussières qui présentent des poussières augmentées d'hexachlorocyclohexane (HCH), matière toxique au lindane, ne s'échappent pas uniquement des travaux d'excavation sur le site. Le problème de dispersion des poussières viendrait plutôt de l'opération de chargement des matériaux sur des bateaux des cales de ces derniers. Les ouvertures lors du chargement. De nouvelles analyses sont actuellement en cours. Mais les premiers résultats ne devraient être connus que d'ici quelques jours.



L'exemple de la géotechnique

article 1792 du Code Civil - loi Spinetta et Code des assurances - : *Tout constructeur d'un ouvrage est responsable de plein droit, envers le maître ou l'acquéreur de l'ouvrage, des dommages, même résultant d'un vice du sol, qui compromettent la solidité de l'ouvrage ou qui, l'affectant dans l'un de ces éléments constitutifs ou l'un de ses éléments d'équipement, le rendent impropre à sa destination.*

- Le décret no 73-207 du 28 février 1973 : définit les étapes et responsabilité des projets :
 - APS, APD, STD, DCE, CGT et RDT et TPD
- La norme **NORME NF P 94-500** :
 - Définir des missions géotechniques.
 - Poussé par les assureurs qui sont très exposés
 - Hors d'une mission : point d'assurance



L'exemple de la géotechnique

La norme NORME NF P 94-500

■ En phase Design

Essais associés
pour données
d'entrée

■ En phase réalisation

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission	Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser	Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)	À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)	Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)	Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique						
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)	Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)	Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)						
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT	Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux								
						À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)	Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

En dépollution des sols : le PCT

POLITIQUE DE 2017

- Introduit la notion de PCT qui est un élément du Plan de Gestion
- **Le PCT** : fournit les éléments techniques nécessaire à la rédaction du cahier des charge Travaux : des essais sont obligatoires.
- **Etude d'AVP B120** : étudie et évalue les problématiques géotechniques, d'exposition des personnels et du voisinage, d'accès, d'organisation, etc... de façon à ce que l'entreprise de travaux ait les données à disposition.

GUIDE PCT BRGM (OCT 2019)

- Le PCT :
 - Affine le choix entre solutions
 - S'appuie sur les prestations B111 et B112 de la norme (essais labo et essais pilotes sur site)
- **Fournit les données en vue du dimensionnement et de la consultation en intégrant leur variabilité**
 - E1 : Données préalables de terrain,
 - E2 : Essais d'orientation,
 - E3 : Evaluation des performances

- ✓ Clarification des responsabilités DO/MOE/ETx
- ✓ Clarification des données à fournir par le MOU



Un cadre pour les essais B111 et B112 : le guide technique Estrapol (Ademe)

PROJET ESTRAPOL
GUIDE TECHNIQUE

Essais de faisabilité de traitement des sols pollués

Version finale

- Guide Technique 2019 publié par Ademe en partenariat avec 4 partenaires techniques et/ou industriels
- **1^{ère} partie : généralités,**
- **2^{ème} partie : fiches technique**
 - description,
 - paramètres d'exclusion
 - Paramètres critiques
 - Essais en laboratoire
 - Essais terrain
 - Pour aller plus loin
- **En complément** : normes NF, ISO, ASTM, essais ITRC, tests métier

Mise en œuvre	N°	Technique	Codification NF X 31-620-4
Traitement in situ	1	Venting – Bioventing	C311a – C315b
	2	Sparging - Biosparging	C311c – C315c
	3	Récupération de NAPL : Pompage/Écrémage – Pompage de DNAPL – Extraction multiphasique	C311e – C311b
	4	Pompage – Traitement	C311d
	5	Biodégradation aérobie en ZS	C315a
	6	Biodégradation anaérobie en ZS	C315a
	7	Oxydation chimique	C313b
	8	Réduction chimique	C313c
	9	Désorption thermique	C314a
	10	Lavage (eau, tensio-actifs)	C313a
Traitement sur site	11	Biodégradation aérobie	C325b
	12	Tri physique	C321b
	13	Venting sur site	Non codifiée
	14	Stabilisation – Solidification	C322b
Méthode de gestion	15	Atténuation Naturelle Contrôlée	Non codifiée



Les bénéfices d'essais amonts

- **Réduction des aléas techniques**
- **Identification en amont des paramètres dimensionnants**
 - Sécurisation de ces paramètres, évaluation de leur variabilité
 - Traitement technique des aléas
 - Traitement contractuel des aléas résiduels en phase consultation
- **Consultation plus ouverte**



Optimisation des couts, des délais, de l'image



Qui doit faire ces essais ?

LES BE ?

- C'est la logique PCT & PG
- Garde la consultation ouverte
- Intérêt contractuel des entreprises de travaux
- Limite : moyens et expertise sur sujets pointus

LES SOCIETES DE TRAVAUX ?

- Ont des Moyens MAIS ce n'est pas leur cœur de métier
- Protocoles et rapports pas toujours transparents et complets,
- Conflit d'intérêt, consultation ultérieure déséquilibrée
- Couverture d'assurance conception seule pas toujours disponible



Les essais proposés par EstraLab

ESSAIS LABO SOL & EAUX (B111-E2)		ESSAIS LABO DE MISE EN ŒUVRE (B111-E3)	PILOTES SUR SITE (B111-E3)
Granulométrie, pH, Eh, condté perméabilité, capacité de neutralisation acide/bas	Essais thermiques en four avec suivi de la consommation énergétique	Essais colonne : injection, ox/red, stab	Pilotes de venting
Bio : Essais respiro, biostimulation, bioaugmentation.	Etude de stabilisation	Criblage, Structuration, teneur en eau critique, test de désorption à froid.	Pilotes de sparging-venting
Oxydation : DSO, Essais en batch, activation	Filtration, Adsorption , fixation (résines, CA..)	Traitement aux liants, rhéologie,	Pilotes d'injection (ox red)
Réduction et bio anaérobie : essais batch, demi vies.	Bilans ioniques et équilibres pour P&T	Teneur en eau critique en soilmixing et indice de malaxage, Rhéologie	Bail down Test
Essais de criblage et lavage des sols	Essais de coag-floc, Déshydratation	Essais d'attrition et L/S pour lavage	Études hydrauliques



Quelques REX

- Essais ISCO-ISCR avec rôle du Fer des sols
- Essais ISS ISCO avec gains
- Essais bio avec tests Bio moléculaires

Essais de traitabilité par oxydation chimique in situ

Besoin : Sol impacté + eau nappe + sol non impacté (DSO)

Durée : 2 à 3 mois (1 à 2 mois de séjour à 12°C selon polluants et oxydants)

Les étapes :

1. HSE, Réception et préparation du sol
2. Caractérisation sol et eau : yc MO (PF, COT) , pH, POR, Conductivité, Fe, Cl, SO₄, CO₃/HCO₃, métaux... sur brut, éluats
3. DSO et choix des oxydants
4. Dimensionnement des essais et lancement
5. Monitoring des réacteurs : gaz, pH, POR, conductivité, oxydant résiduel
6. Analyses, bilans matière, métaux dans les eaux
7. Conclusion



REX sur les essais de traitements par oxydation chimique (et réduction)

- La DSO : un paramètre important mais insuffisant
 - Attention à la méthodologie de mesure
 - Un paramètre statique
 - Des indicateurs intéressants : pH, variation 24h/7j, écart type et variations entre oxydants
- Exemple d'un autre paramètre : le fer & le pH

Sol schisteux (Ardennes)



35 à 38g/kg Fer

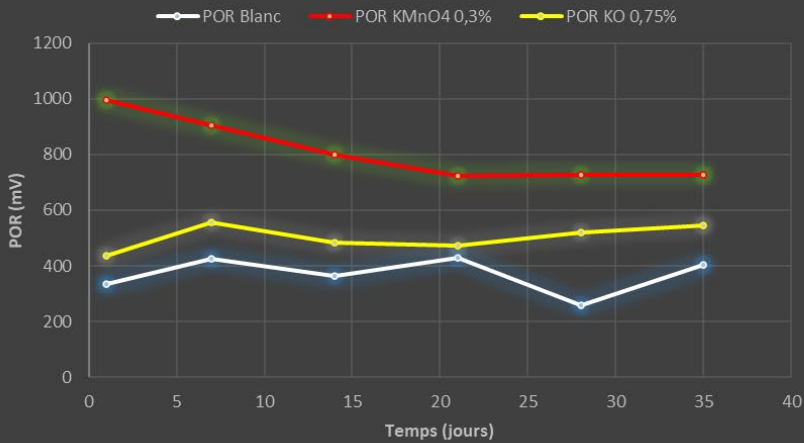
DSO 48h (sol non impacté) :

DSO moyenne KMnO4	0,7 g/kg M.S.
DSO moyenne PSN	2,0 g/kg M.S.
DSO moyenne KO	3,1 g/kg M.S.

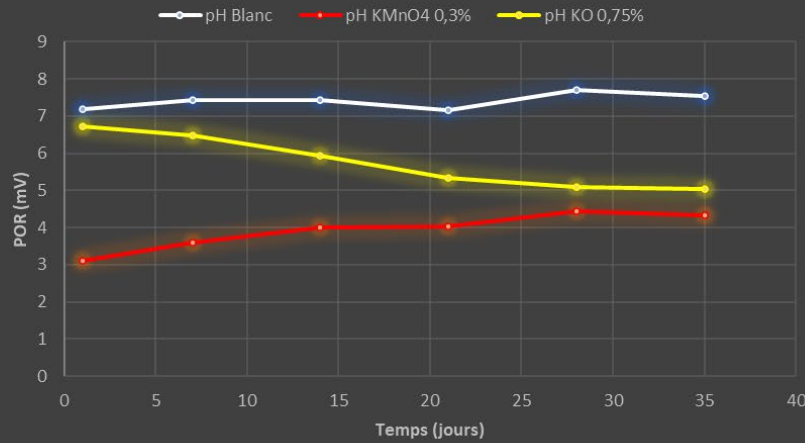


REX sur les essais de traitements par oxydation chimique

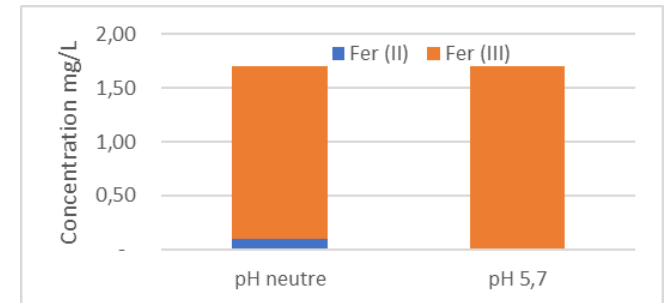
Oxydation : suivi du POR



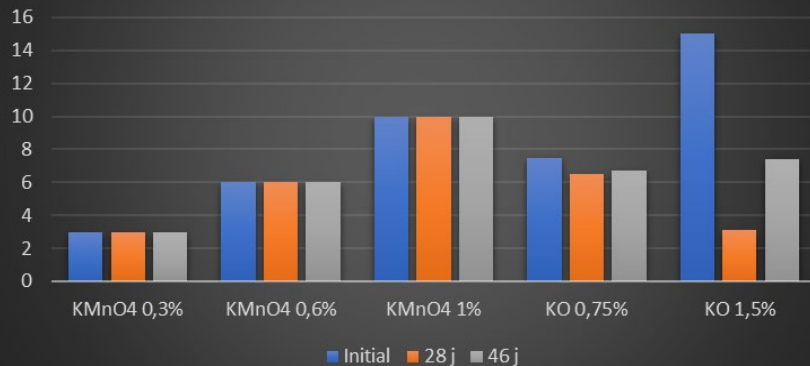
Oxydation : suivi du pH



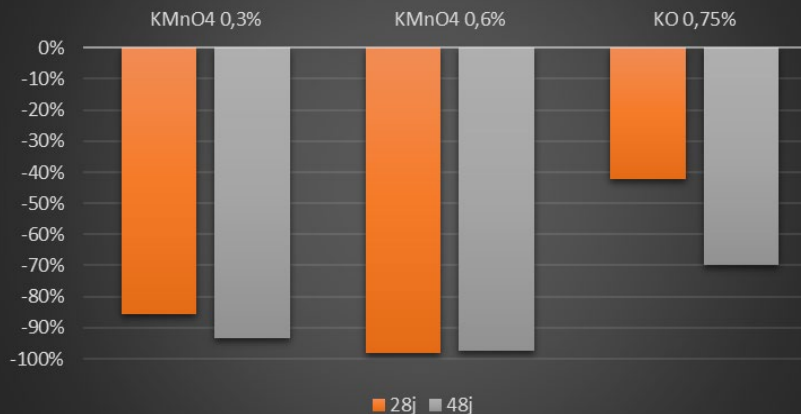
Spéciation du fer sur un éluat du sol :



Oxydant initial et consommé (g/kg MS)



Abattements sur COHV obtenus



=> importance du sol
 => importance du monitoring
 => importance de mener un **essai**



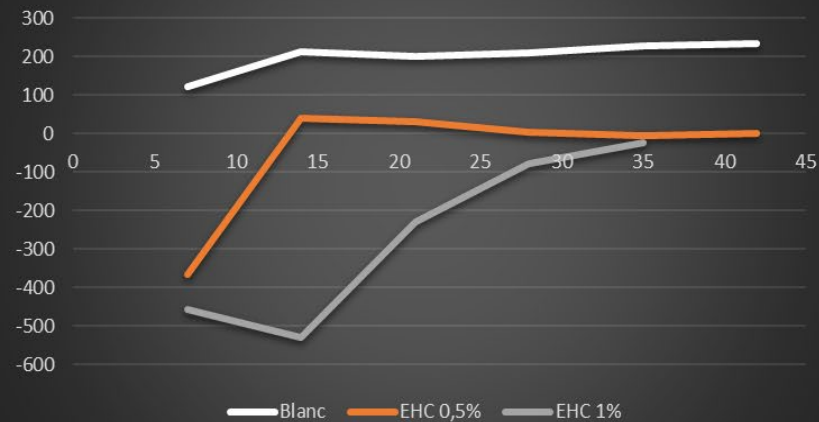
REX sur les essais de traitements par réduction chimique

■ Sol :



pH:8,3 ,POR:209
Fe : 34,7g/kg MS

Réduction : suivi du POR (mV)



Réduction : suivi du pH

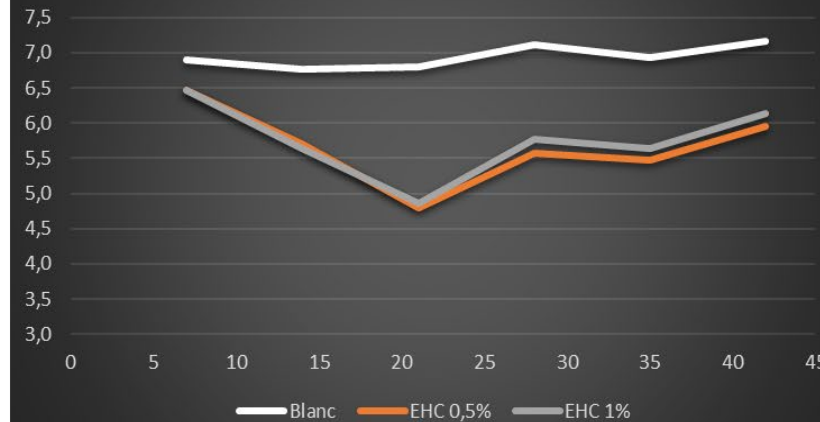
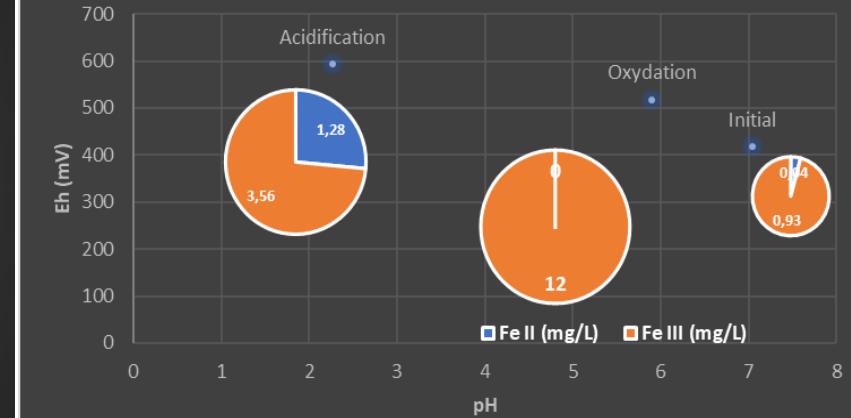


Diagramme Eh, pH



Consommation en réducteur, abattement incomplet, stratégie réductive à interroger



Essais de traitabilité par ISCO + ISS

ISCO-ISS : Qu'est ce que c'est ?

- ISCO : In Situ Chemical Oxidation (ici au Persulfate de Sodium)
- ISS : Stabilisation aux liants in situ (par soilmixing)

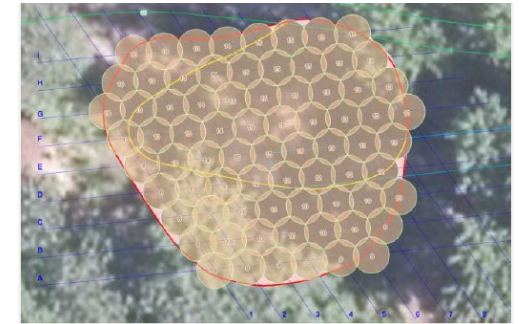
Intérêt :

- Combine les effets des deux traitements
- Permet de faire de l'ISCO en ZNS (eau retenue dans porosité)
- Assure un contact intime (pas d'effet rebond)
- Permet des traitements sans soutènement, sans tente (odeur), sans rabattement (cout tt)

Ambition de ce type de traitement :

- Réduction des teneurs brut en éléments portant le risque
- Réduction transfert vers les eaux
- Réduction transfert vers les gaz

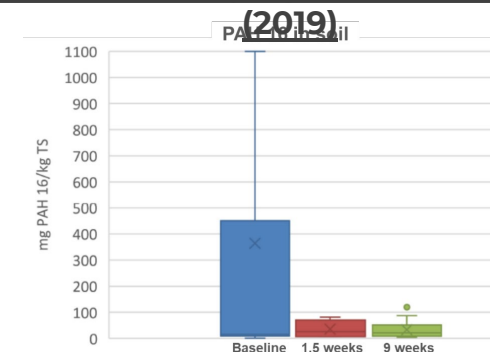
Søllerød Gasværk, Copenhagen (2018-2019)



Compound	Baseline Concentration ¹ (mg/Kg)	Post Application Concentration (mg/Kg)	Reduction due to Treatment (%)
Benzene	13 to 27	ND	>99
Naphthalene	100 to 160	23	80-85
Phenols	3	0.04	99
TOC	500 to 800	23	85-90

1. Based on conversion of contaminant mass estimates

Ancienne UAG Norra Djurgårdsstaden de Stockholm



Essais de traitabilité par ISCO + ISS

Besoin : Sol impacté + eau nappe si ZS

Durée : 3-4 mois

Les étapes :

1. HSE, Réception et préparation du sol
2. Caractérisation yc DSO
3. Phase ISS :
 1. Définition du besoin en liquide pour soilmixing
 2. Définition du besoin de liant et adjuvants
4. Dimensionnement ISS+ISCO, fabrication des mix
5. Evaluation des performances (Rc, K, brut, lixi eau, lixi air) à 28j, 56
6. Conclusion

Exemple d'application : sol d'une AUG



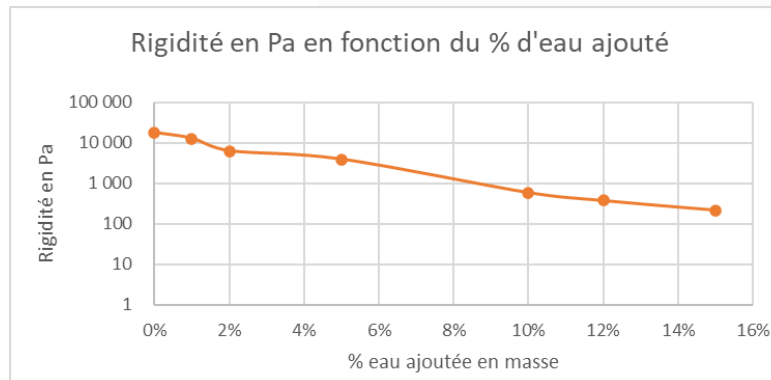
Cyanures totaux	15 mg/kg Ms
Cyanures libres	<0,5 mg/kg Ms
Hydrocarbures C5-C10	28,3 mg/kg Ms
Hydrocarbures C10-C40	4980 mg/kg Ms
Somme 16 HAPs	1600 mg/kg Ms
BTEX	14,6 mg/kg Ms



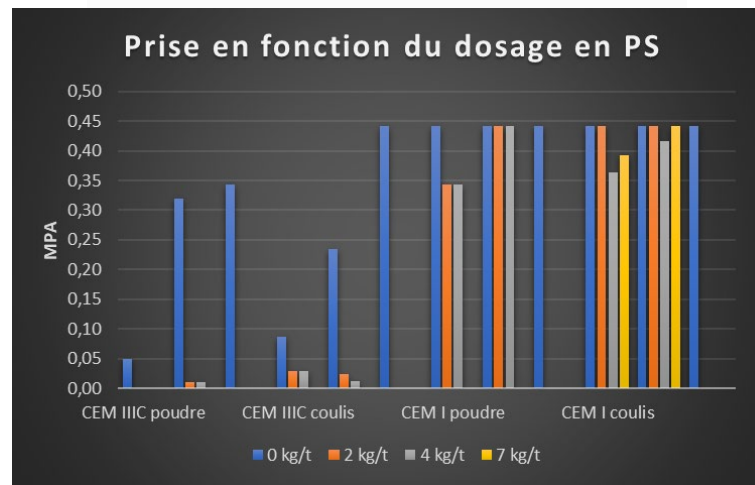
REX d'une traitabilité ISCO-ISS sur sols AUG

- La DSO 48h : +/- 1% sur sol impacté (PS activé soude)

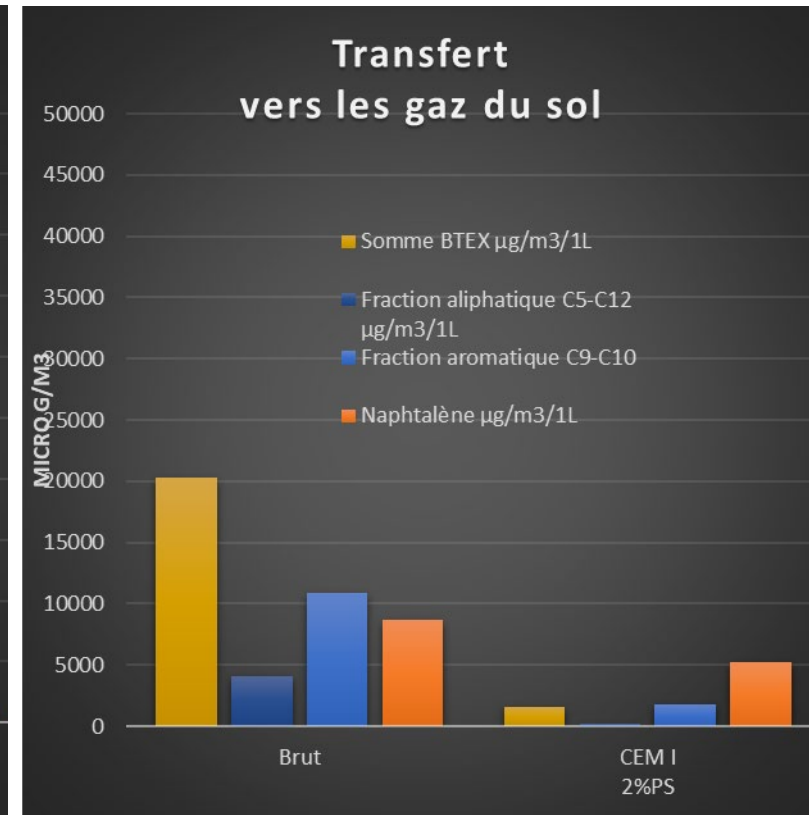
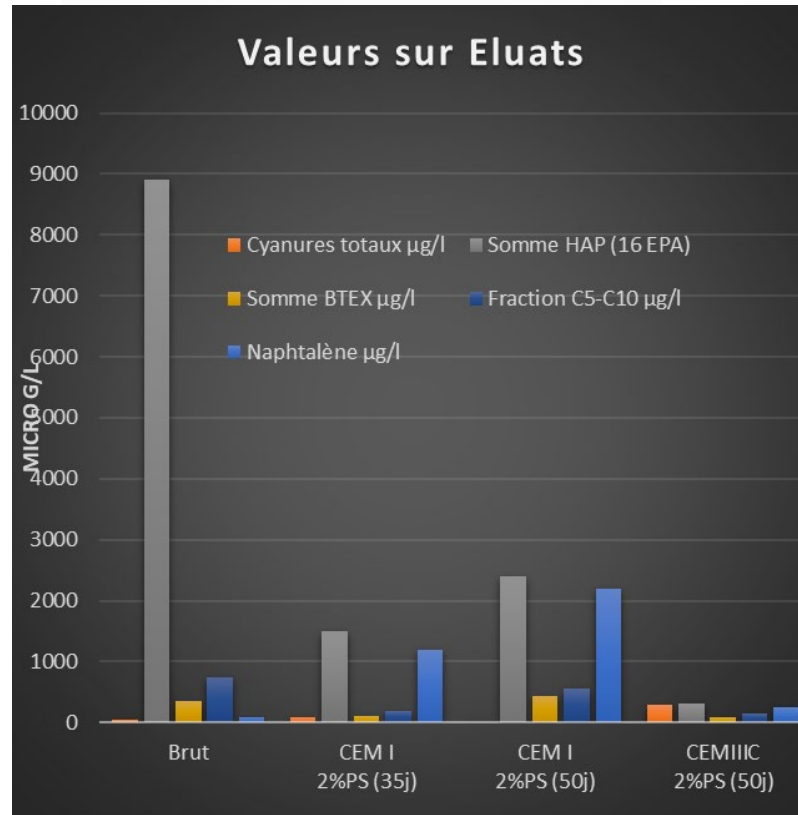
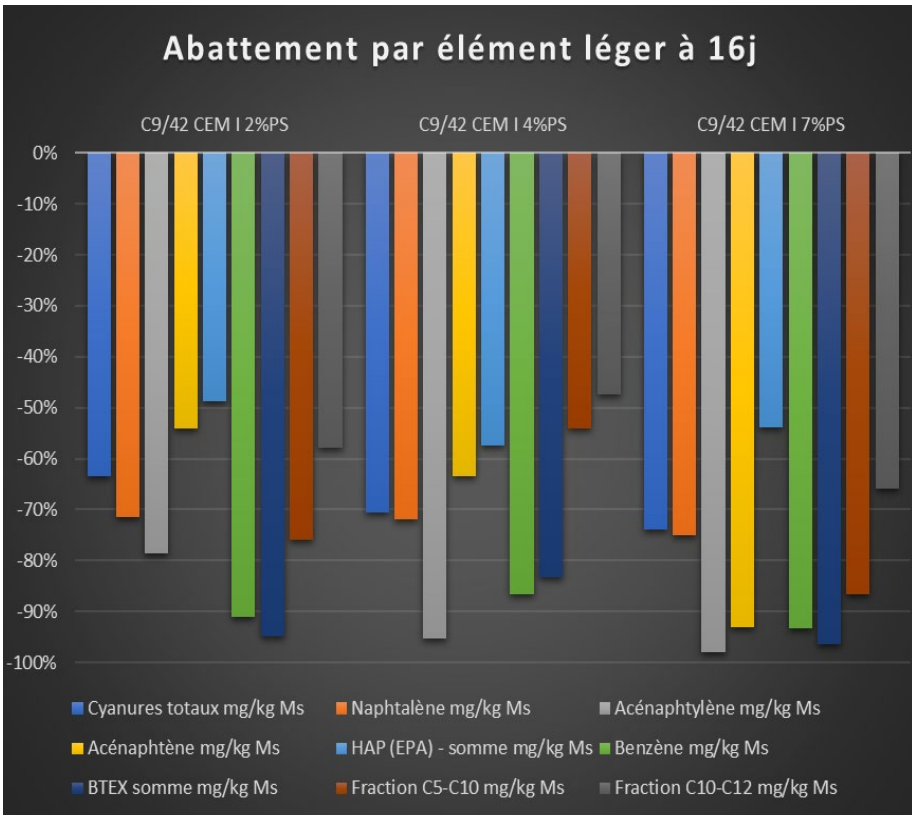
- Soilmixing :



- Essais de prise sans puis avec PS :



REX d'une traitabilité ISCO-ISS sur sols AUG



Essais de traitabilité par dégradation biologique aérobie

Besoin : Sol impacté

Durée : 4-4,5 mois (dont 3 mois de réacteur/mésocosme)

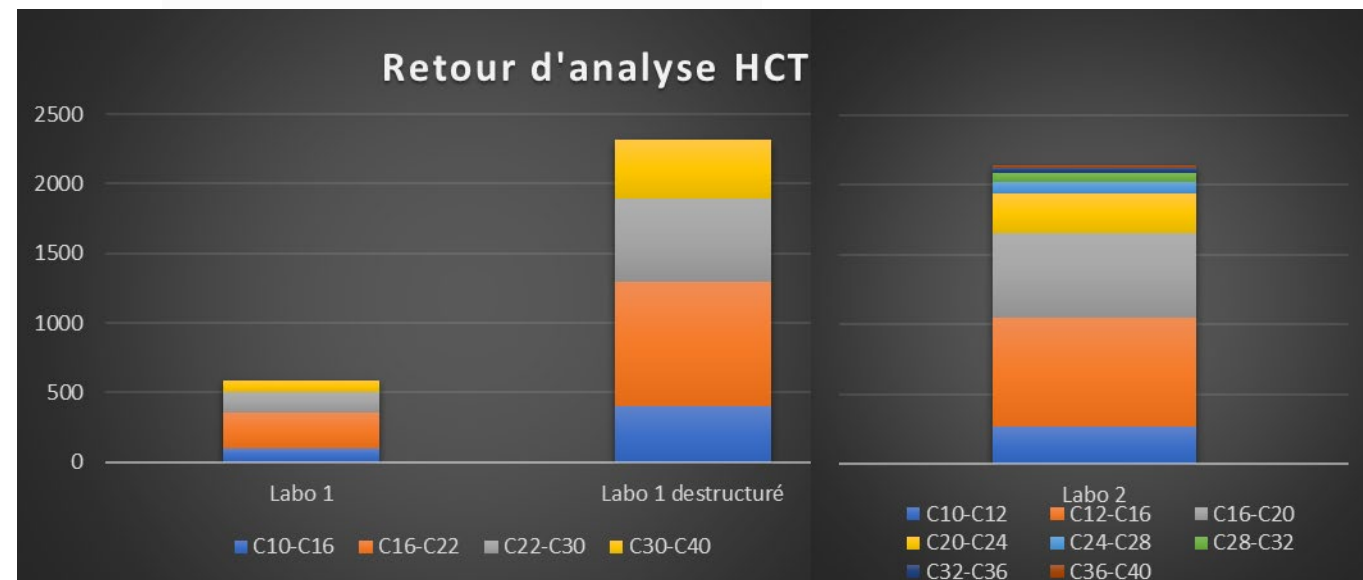
Les étapes :

1. HSE, Réception et préparation du sol
2. Caractérisation sol : yc MO (PF, COT) , pH, POR, Conductivité, équilibre NPK, populations initiales, capacité à foisonner/être structuré
3. Essais de respirométrie rapide en oxytop (7 j)
4. Dimensionnement des essais, choix des réactifs et lancement
5. Monitoring des mésocosme : CO₂, humidité, N résiduel, évolution des populations
6. Analyses à 2 et 3 mois, abattements
7. Conclusion



Rex sur les essais de traitabilité par dégradation biologique aérobie

- **Un point d'attention : l'analyse initiale des HCT**
 - Souvent sous-estimée et plus élevée par la suite qu'à l'initial après déstructuration, action des bio TA => extraction hexane incomplète ?



Puis jusqu'à 2970 mg/kg MS dans les essais !

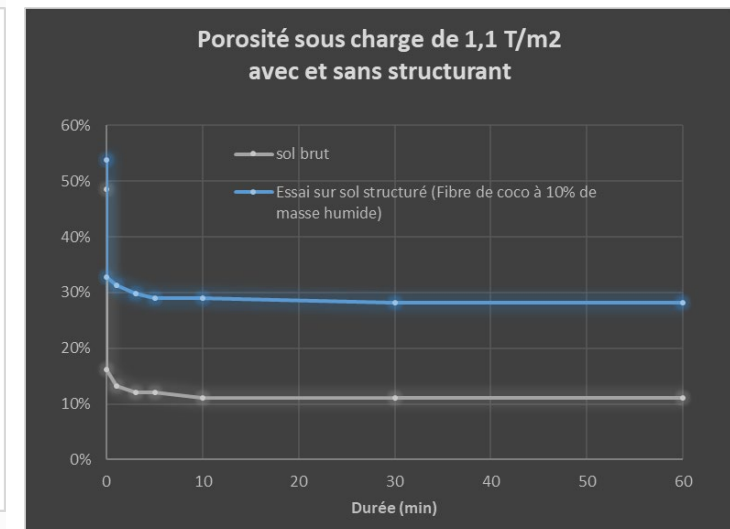
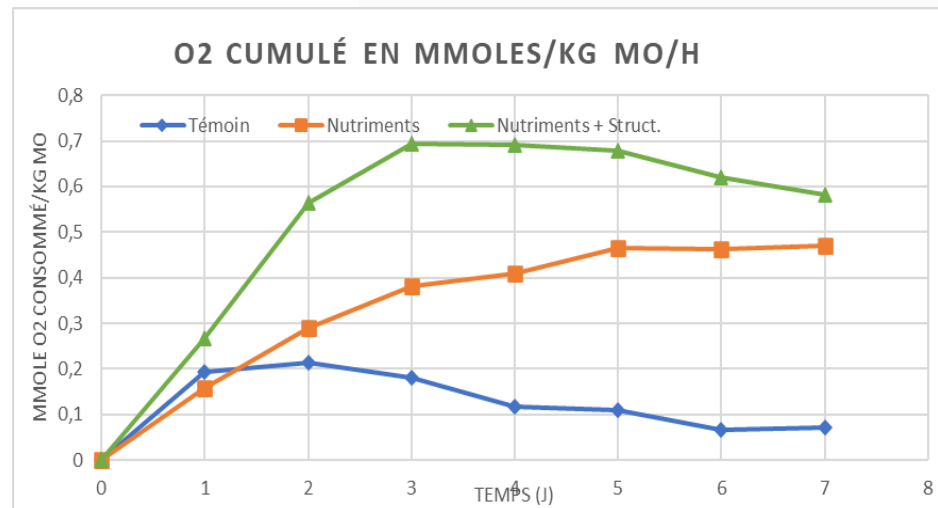


Rex sur les essais de traitabilité par dégradation biologique aérobie

- Constat général :
 - Des populations initiales en nombre (mesure en PCR ou extraction)
 - Déficit en azote assez facilement compensable
 - Mais, un point fondamental et manquant : l'accès à l'oxygène de l'air
 - Comment qualifier l'efficacité de la structuration ?

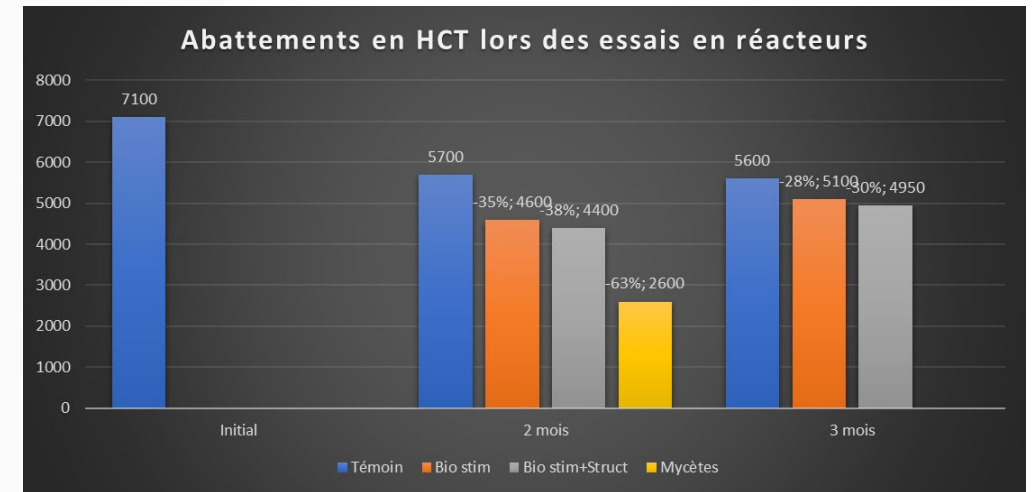
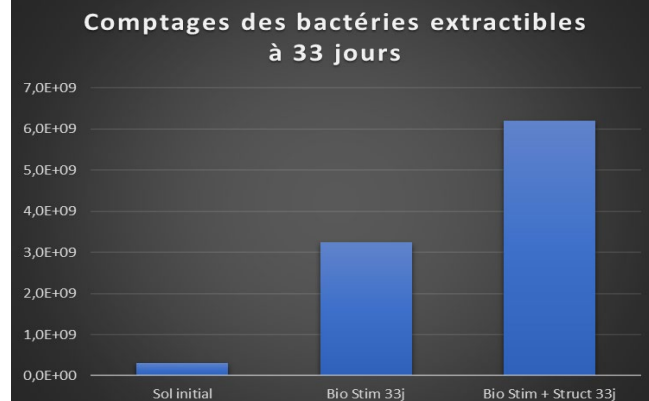
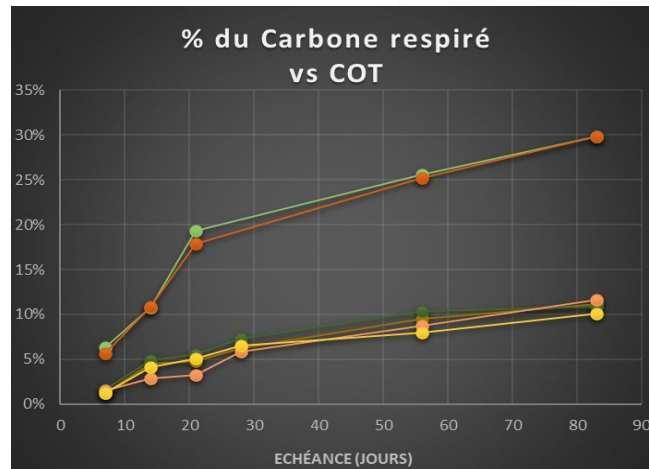
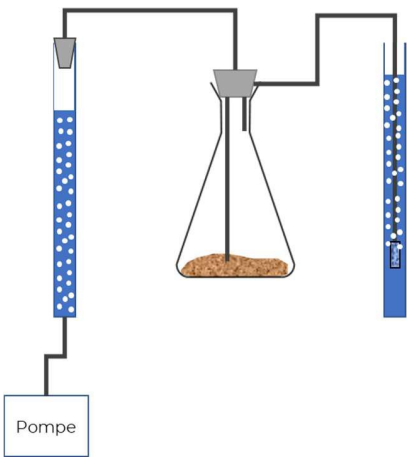
Essais en oxytop

Essais de structuration et chargement



Rex sur les essais de traitabilité par dégradation biologique aérobie

- Des essais longs (2-4 mois) nécessitant un monitoring



Exploitation des résultats en flux / vitesse / ratio de respiration :

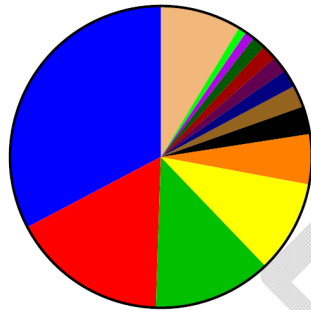
Constat : dégradation de 100 à 600mg HCT par mois
 Respiration : cà 300 à 600mg par mois
 => une activité bio entre 30% et 100% orientée vers la dégradation de la cible qui ne représente « que » 25% du C dégradé.



Rex sur les essais de traitabilité par dégradation biologique aérobie

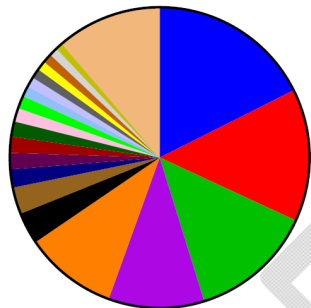
- Réalisation de PCR + essais Shotgun pour analyser les populations + gènes activés

Top Family classification relative abundance %

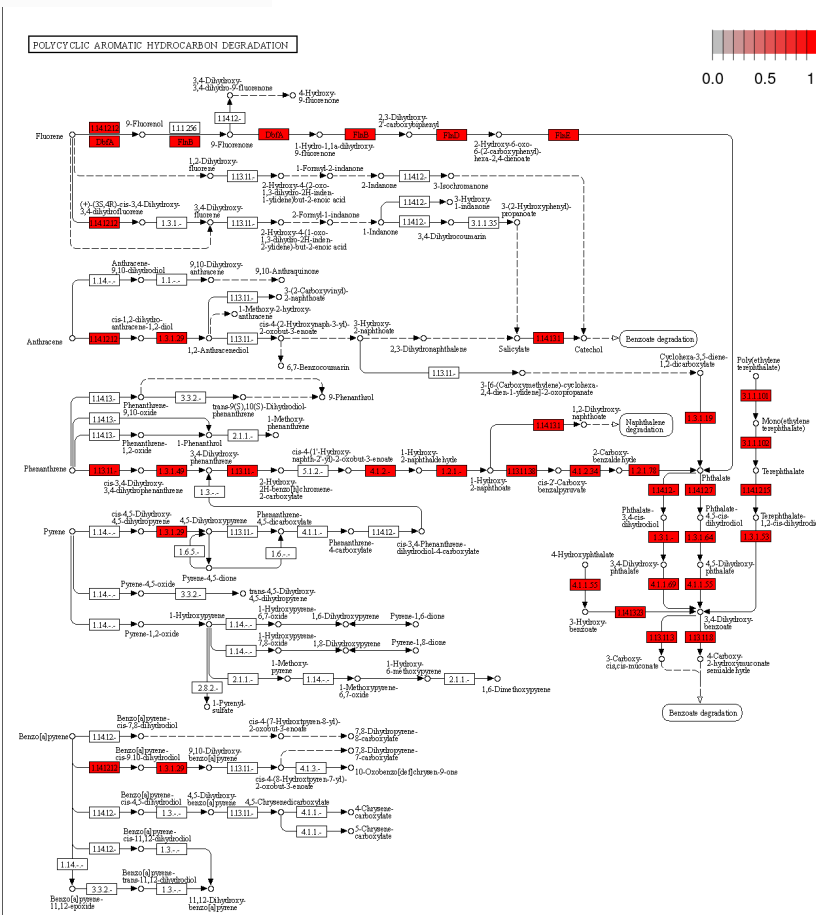


32.72%	Xanthomonadaceae
16.76%	Dietziaceae
12.68%	Moraxellaceae
9.93%	Pseudomonadaceae
5.35%	Comamonadaceae
2.99%	Alcaligenaceae
2.35%	Sphingomonadaceae
1.86%	Dermabacteraceae
1.75%	Intrasporangiaceae
1.64%	Micrococcaceae
1.42%	Caulobacteraceae
1.02%	Nocardiaceae
0.88%	Microbacteriaceae
0.86%	Others

Top Genus classification relative abundance %



17.61%	Dietzia
14.27%	Lysobacter
13.32%	Acinetobacter
10.33%	Pseudomonas
9.98%	Stenotrophomonas
3.42%	Xanthomonas
2.87%	Pseudoxanthomonas
1.95%	Brachybacterium
1.75%	Luteimonas
1.73%	Janibacter
1.65%	Sphingobium
1.45%	Acidovorax



Nos convictions

- **Les essais labo :**

- Une étape indispensable avant la sélection des techniques de dépollution
- Permettent de comprendre des phénomènes en jeu, de tester des stratégies, d'éviter des erreurs, d'identifier des difficultés ou des opportunités,
- Les limites : représentativité (nb d'échantillons souvent faible) et prise en compte des modes de mise en œuvre.

- **A ce stade, ils sont donc :**

- Une base indispensable pour sécuriser les projets,
- Une base de discussion et d'échange pour une réappropriation par les opérateurs travaux
- Demain, ils pourront devenir des données d'entrée s'ils sont standardisés, certifiés...





Les plus d'EstraLab

- Expertise
- Indépendance
- Vision opérationnelle



Pour nous contacter :



ESTRALAB



+33 (0)7 85 97 01 66



www.estralab.com



contact@estralab.com

