

LES ESSAIS PILOTE :
Un nouveau métier
au service de la dépollution des sites et de ses professionnels

Pollutec Lyon
Mercredi 8 octobre 2025 : 14h05-14h45

ESTRALAB GINGERT-LAB PROVADEMSE

Les intervenants



Pierre-Yves KLEIN, Président ESTRALAB



Annelise GAUTHIER, Responsable GINGER T-LAB, Directrice de projets Métiers GINGER BURGEAP



Emmanuel VERNUS, Directeur technique, INSAVALOR – Plateforme PROVADEMSE

Sommaire

- Pourquoi des essais ?
- Un métier spécifique
- Connecté à tous les intervenants de la dépollution
- Et un métier en devenir : limites et axes de progrès

Pourquoi des essais ?

Petit historique de l'émergence des essais en dépollution des sols

1999-2003

ADEME Essais de traitement de sols

- **Programme R&D** coordination INSAVALOR – POLDEN
- Publication 2003
- Cas d'application (3) 2004-2008



2006-2009

ADEME Traitabilité des sols pollués

- Actualisation du guide de 2003 : coordination INSAVALOR - POLDEN
  - Ajout ISCO, injection de réactifs in situ ;
  - Mise au format cahier des charges
- Publication 2009



2010-2013

SelecDEPOL

- Mise en ligne 2013 : Présélection des techniques de traitement

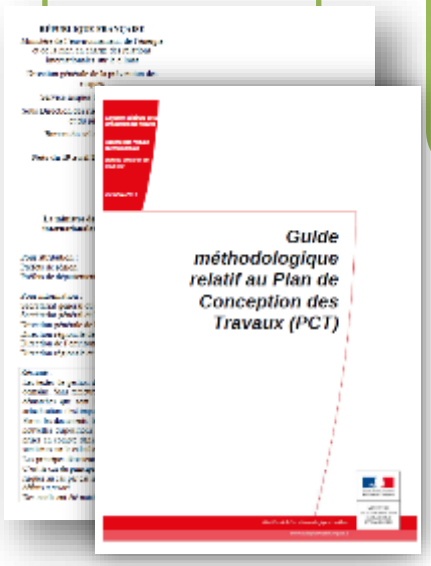
SelecDEPOL



2017

Actualisation de la circulaire 2007

- Plan de Conception de Travaux : réalisation d'essais de faisabilité de traitement en laboratoire ou sur site



2018-2020

ESTRAPOL

- Publication 2020 (ADEME) Coordination PROVADEMSE avec SUEZ Remediation, GINGER Burgeap, Hydreka Enoveo
- **Guide opérationnel**, pragmatique
- Référence en lien avec le guide PCT et avec le site SelecDEPOL



Un métier spécifique

Un métier spécifique

- La politique SSP de 2017 entraine de nouvelles exigences :
  - Expertise multi techniques
  - Rigueur & Transparence
  - Capacité à dialoguer et intégrer les contraintes client et terrain
  - Capacité à investir dans des équipements spécialisés

➢ Des entités spécifiques
➢ Des équipes spécialisées
➢ Qui associent des profils scientifiques et métier
➢ Et qui progressent chaque jour

« L'expertise, c'est la capacité à simplifier le complexe sans en perdre la substance. »

Un cadre spécifique

- **Politique nationale de gestion des SSP de 2017**
- **Norme NFX 31620-3**
- **Réglementation SSE au travail**

Guide PCT oct 2019	Autres normes ASTM, API	Normes Prélèvements & analyses
Guide ESTRAPOL déc 2019	Normes Caract déchets	Etat de l'art, bonnes pratiques
Guide analyses en SSP	Normes Géotechniques	CLU-IN, ITRC, Colloques

Question : faut il aller plus loin vers une standardisation des protocoles d'essais ? Pas sûr !

Typologie de l'activité sur 4 ans

Répartition des problématiques :

- **73% validation d'une technique ciblée**
- **27% essais d'orientation**

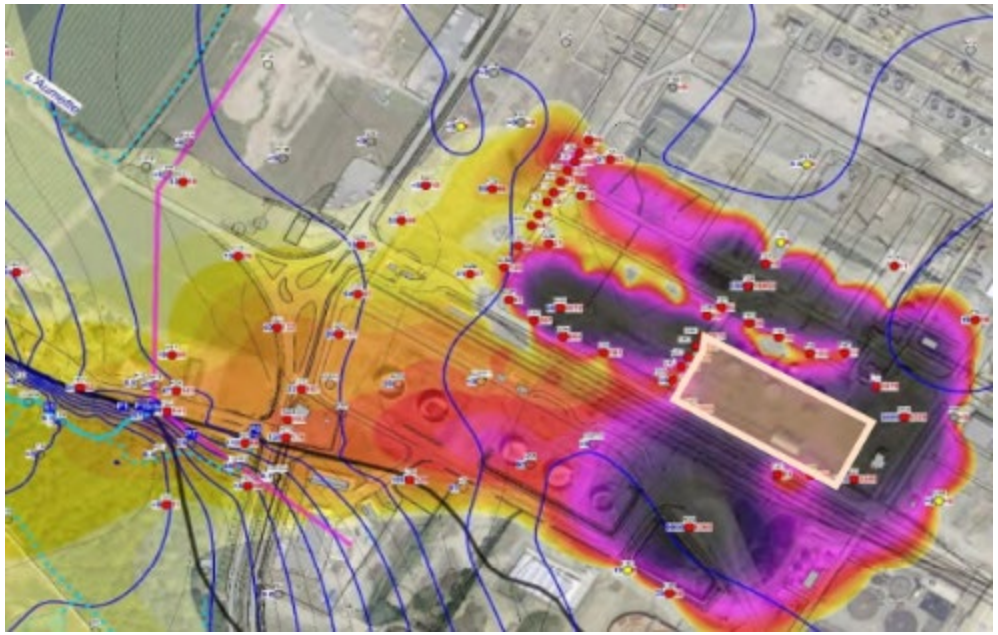
Technique	%
Biodégradabilité Aérobie/Anaérobie	18%
Oxydation / Réduction	16%
Caractérisation approfondie	15%
Etude multi-techniques	14%
Lavage, lavage in situ	9%
Désorption Thermique	8%
Stabilisation chimique	6%
Divers	1%
Etudes spécifiques	13%

Typologie des clients :

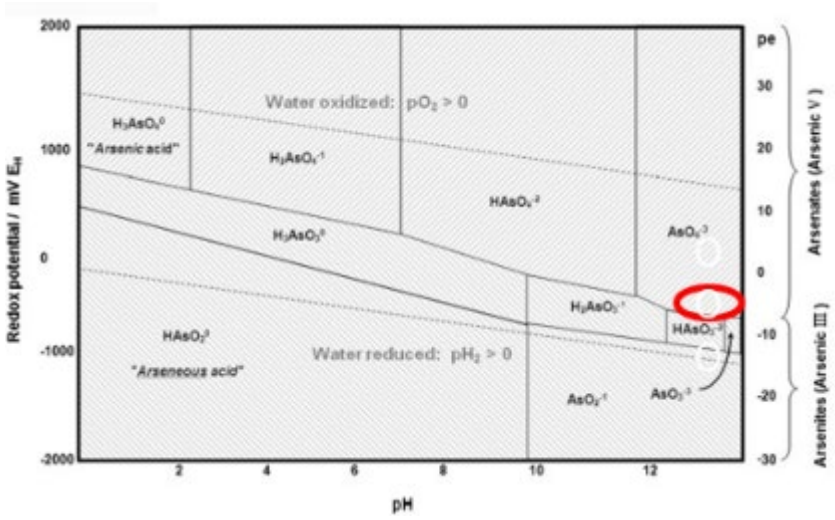
Demandeurs	%
Maitres d'ouvrages	13%
Bureaux d'étude, consultants	74%
Entreprises de travaux	13%

Illustration : Les essais comme outil de conception intégré à tous les stades du projet

- Un panache As sans cause directe



- Des eaux souterraines très particulières :
  - pH très élevé 12,9-13
  - POR = -639 mV (soit Eh de -429mV)
  - Cdté : >20 mS/cm



Exemple 2 : Les essais comme outil de conception intégré à tous les stades du projet

Travail avec MOU, BE

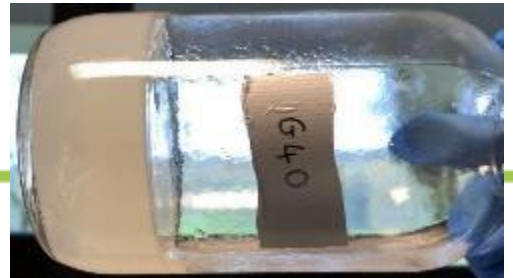
Travail avec Entreprise, MOU, BE

Diagnostic & Compréhension

Simulation des phénomènes au labo



Mise au point d'une méthode de préparation des eaux pour l'analyse



Faisabilité de solutions de traitement







Elaboration des essais pilote sur site

Essais complémentaires

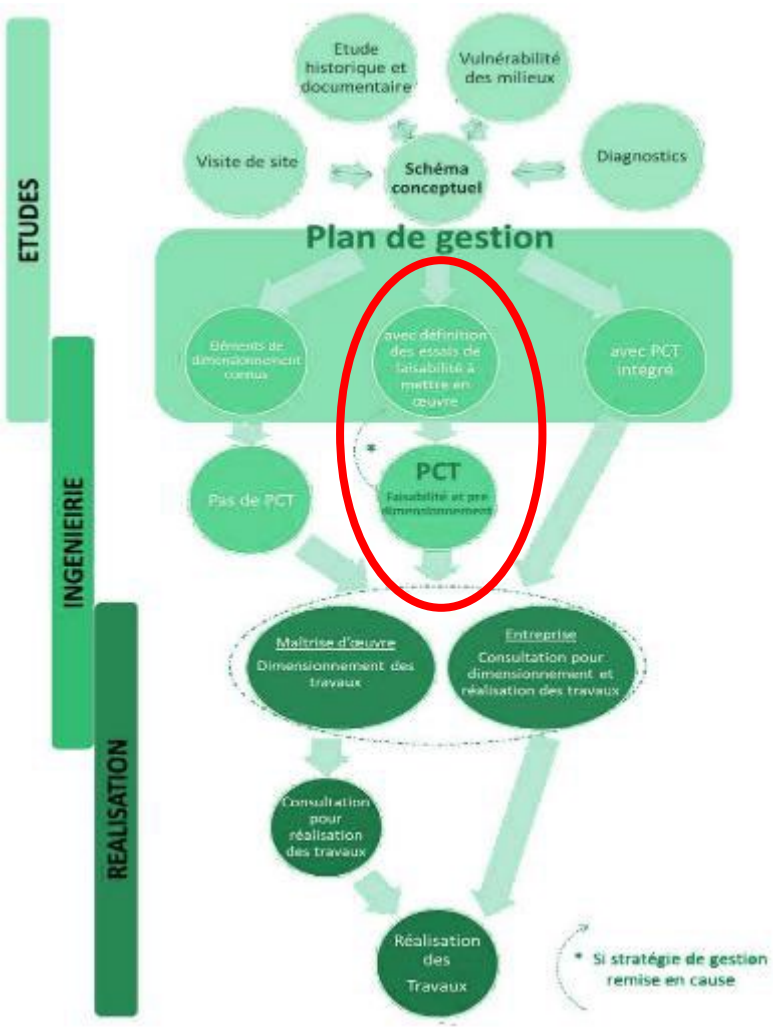
Suivi des essais pilote sur site

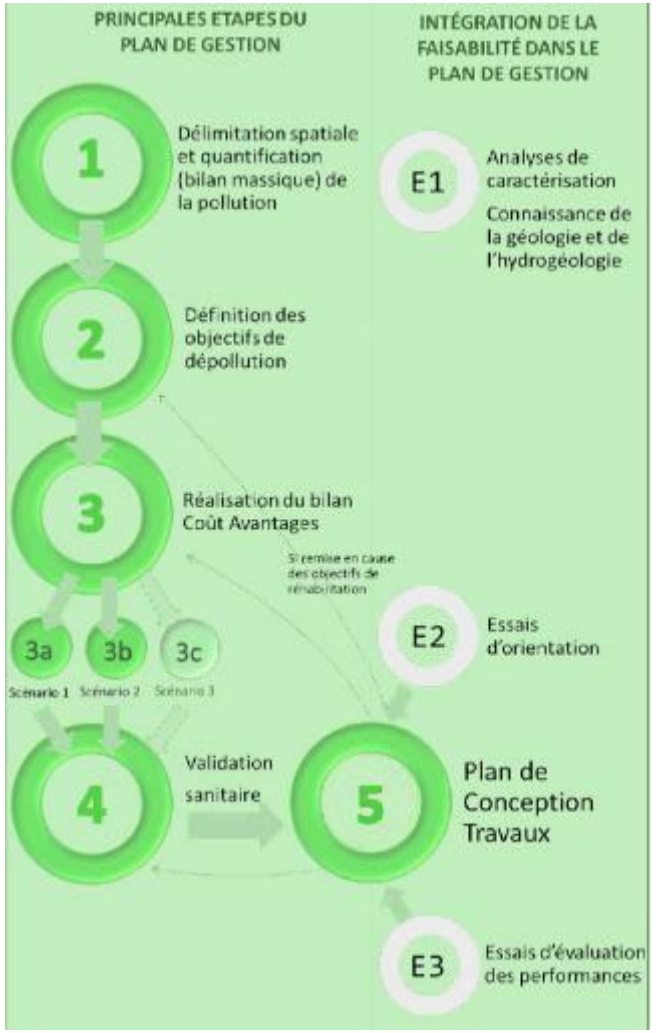
Evaluation performances

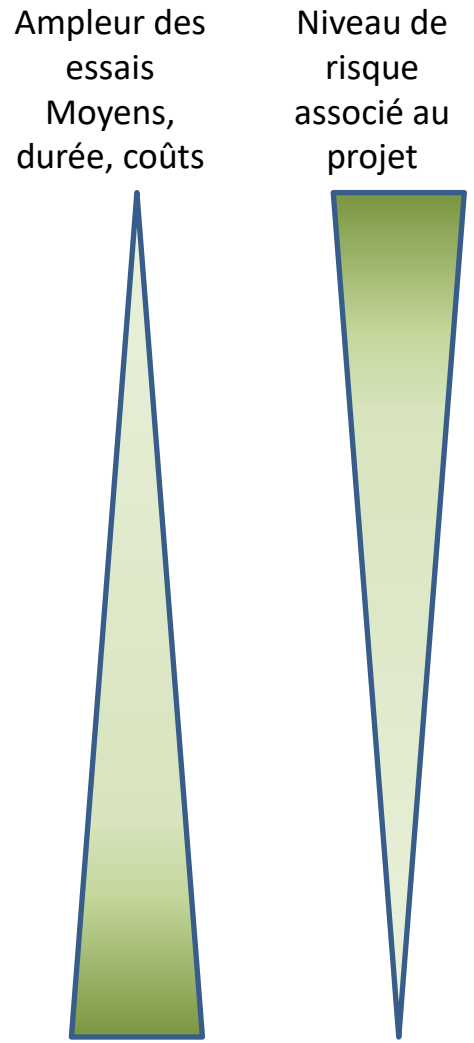


Un métier connecté
à tous les intervenants de la dépollution

Positionnement des essais dans la méthodologie SSP







Positionnement des essais dans la norme NFX31-620

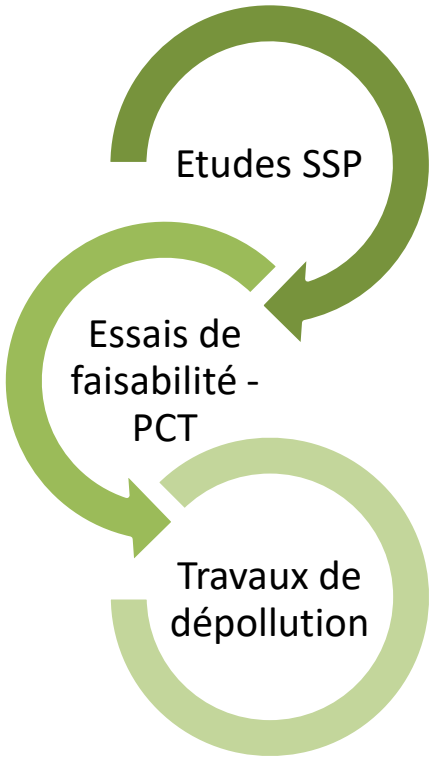
Norme AFNOR NF X 31-620 3 : décembre 2021 - « Qualité du sol – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués – Partie 3 »

Prestations élémentaires (B) concernées	Objectifs
Etudes de conception	
B111	**Essais en laboratoire**
B112	**Essais de terrain**
B120	**Études d'avant-projet (AP)**
B130	Études de projet
Dossiers administratifs	
B200	Établissement des dossiers administratifs.
Maîtrise d'œuvre dans la phase des travaux	
B310	Assistance aux contrats de travaux.
B320	Direction de l'exécution des travaux.
B330	Assistance aux opérations de réception.

Prestations globales (B) concernées	Objectifs
AMO Travaux	Mission de conseil au donneur d'ordre sur la définition des moyens fonctionnels et techniques, l'aide au choix du MOE (CCTP, analyse des offres), dossiers administratifs, suivi des travaux, revue des documents produits…
PCT Plan de conception des travaux	**Validation et sécurisation des scénarios de gestion par la réalisation d'essais, en laboratoire ou sur le terrain, et d'études d'avant-projet.** **Fourniture d'éléments de dimensionnement utilisés pour la consultation des travaux.**
MOE Maîtrise d'œuvre dans la phase des travaux	Vise à s'assurer de la bonne réalisation des travaux avec atteinte des objectifs de dépollution. Missions de conception, direction de l'exécution des travaux et leur réception. Cette prestation comporte la réalisation : • de tout ou partie des études de conception (PCT, B120 et B130) • de la prestation d'Assistance aux contrats travaux (B310) ; • de la prestation de Direction de l'exécution des travaux (B320) ; • de la prestation d'Assistance aux opérations de réception (B330).

Articulation, objectifs et responsabilités

A la croisée des études et travaux pour :
- Servir à tous les prestataires
- Favoriser les échanges



Responsabilité

- Le MOE,
- L'entreprise si conception/réalisation,
- Le MOA vis-à-vis des exigences du cahier des charges de consultation

Objectifs

- Activer / désactiver une technique de traitement
- Pré-dimensionnement des travaux
- Transparence dans les conditions de réalisation des essais, l'interprétation des résultats
- Mise en évidence des difficultés rencontrées et des limites et incertitudes qui peuvent affecter la réussite du traitement

⇨ Appropriation du PCT par les entreprises de travaux
⇨ Avoir conscience des risques techniques et financiers à gérer

- 2 zones de pollution concentrée [HCT] = 17 000 à 23000 mg/kg MS, en ZNS, jusqu'à 8m, NS à 13 m
- Solutions envisagées à l'issue du PG, hors MOE :
  - Scénario 1 : venting / bioventing : 400 à 500 k € HT
  - Scénario 2 : désorption thermique : 1000 à 1300 k € HT → abandonné
  - Scénario 3 : oxydation pour les zones : 800 à 1000 k € HT
  - Scénario 4 : excavation et évacuation des sols hors site 1 zone : 400 à 700 k € HT → abandonné





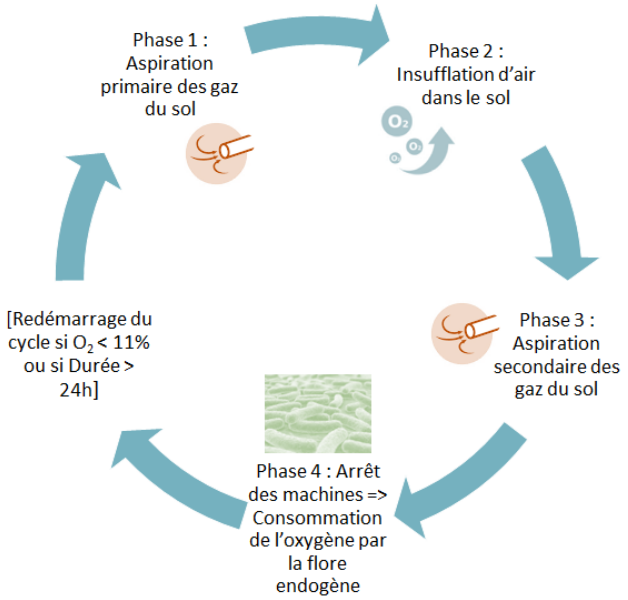


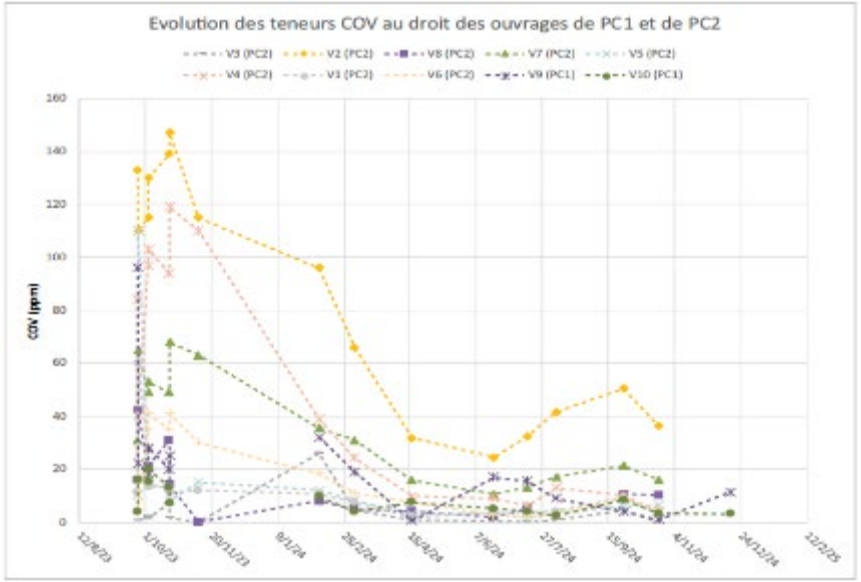
Objectifs de réhabilitation :
HC C10-C40 : 3 500 mg/kg
HC C5-C10 : 40 mg/kg
Estimation de 10 386 kg de HC à traiter

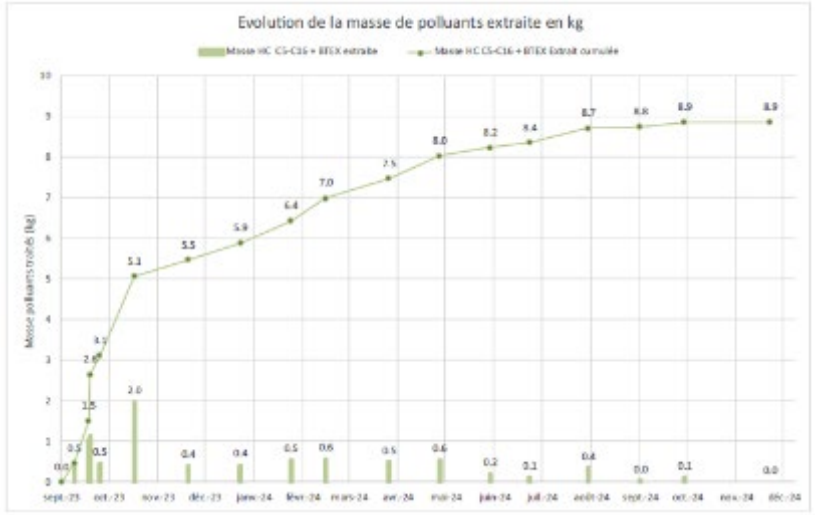
Essais en laboratoire		Essais terrain	
Biodégradation aérobie	✓	Venting	✓

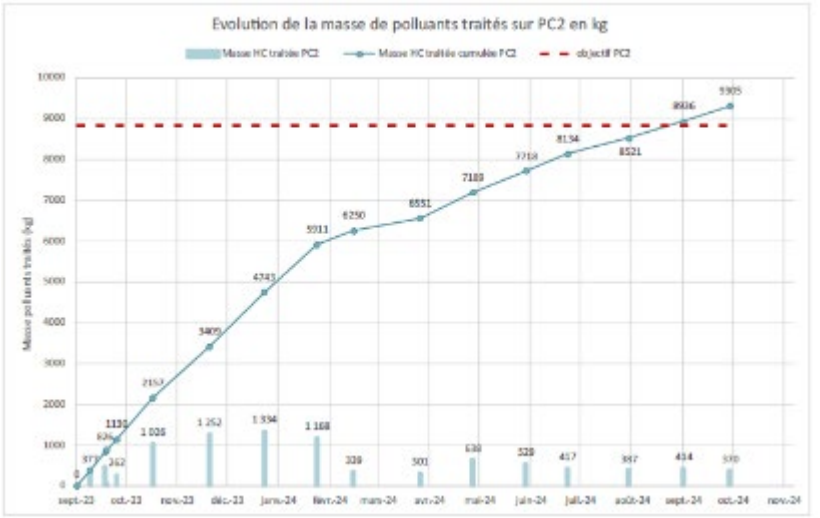
➢ **Traitement retenu à l'issue du PCT : venting / bioventing**
Rayon d'action : 5 m/aiguille
Débit d'air minimal : 30 m3/h
Pas d'amélioration si injection d'air, bonne perméabilité
Bon renouvellement d'O2 favorable au bioventing

MOA	AMO	Entreprise
SAUMUR VAL DE LOIRE AGGLOMÉRATION	GINGER BURGEAP	SOLREM Environnement









Durée du traitement : sept 2023 – dec 2024
10 ouvrages de venting et 13 ouvrages d'injection sur 2 zones
Masse de pollution abattue : 10 754 kg avec 99% de la pollution traitée par voie biologique
- 8,87 kg par venting
- 10 745 kg par voie biologique

Un métier en devenir :
Limites et axes de progrès

Un métier en devenir : limites

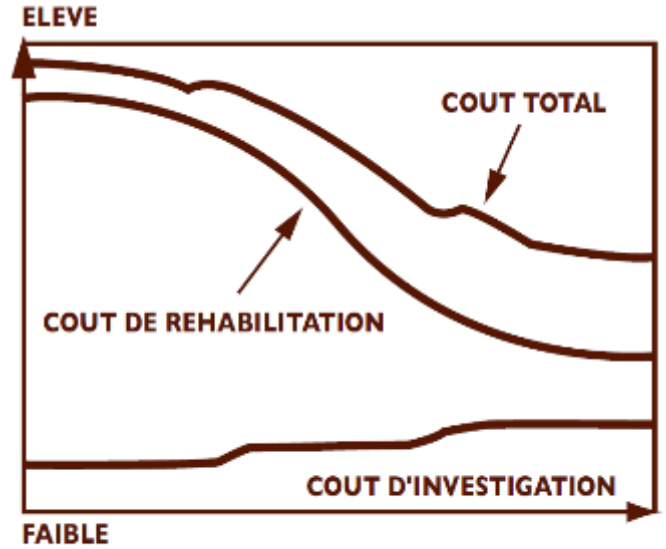
- La prestation d'essais doit présenter un objectif clair :

  Fournir à l'ingénierie de travaux suffisamment d'éléments techniques pour acter ou non la faisabilité et les conditions de traitement de la pollution

  ➡ *Le dimensionnement n'est généralement pas compris mais des éléments permettant le dimensionnement sont fournis*

- Les essais labo relèvent de conditions « idéales »
- Une attention particulière quant à la représentativité des essais (labo)

  Depuis la préparation de l'échantillonnage sur site jusqu'à la mise en œuvre des essais en laboratoire



(P. LECOMTE (1998)

- **Stratégie à adopter vis-à-vis de l'hétérogénéité**
- **Vérification de la représentativité avant essais**
- **Multiplication des prises d'essai**
- **Application d'un protocole répétable et adapté**

Un métier en devenir : progrès

- Ce métier présente des axes de progrès importants avec :
  - ✓ L'adoption d'outils innovants : bio-ingénierie, analyses isotopiques, spéciation, monitoring sur site, …
  - ✓ Le développement de nouveaux types d'essais : polluants émergents, simulation d'une mise en œuvre sur site (pilote de labo)…
  - ✓ L'adaptation et l'optimisation des essais selon les contraintes de réaménagement: géotechnique, végétalisation, infiltration.
  - ✓ L'adoption de règles communes dans un esprit de concertation pour harmoniser la qualité / pertinence des prestations (actualisation du guide ESTRAPOL)

Stabilisation sous couvert végétal

Paramètres	Objectifs de dépollution (mg/kg MS)
Zinc sur brut	10 000
Zinc sur éluat	**10**

- Objectifs : produire un matériau **granulaire** compatible avec une végétalisation

- Démarche méthodologique ESTRAPOL
  - ✓ Identification de mécanismes de stabilisation appropriés : substitution cationique, sorption dans la structure des CSH, précipitation ZnO
  - ✓ Identification des réactifs aptes à mettre en œuvre ces mécanismes (Zn potentiel inhibiteur de prise) : Essai préliminaire pâte pure avec éluat comme eau de gâchage

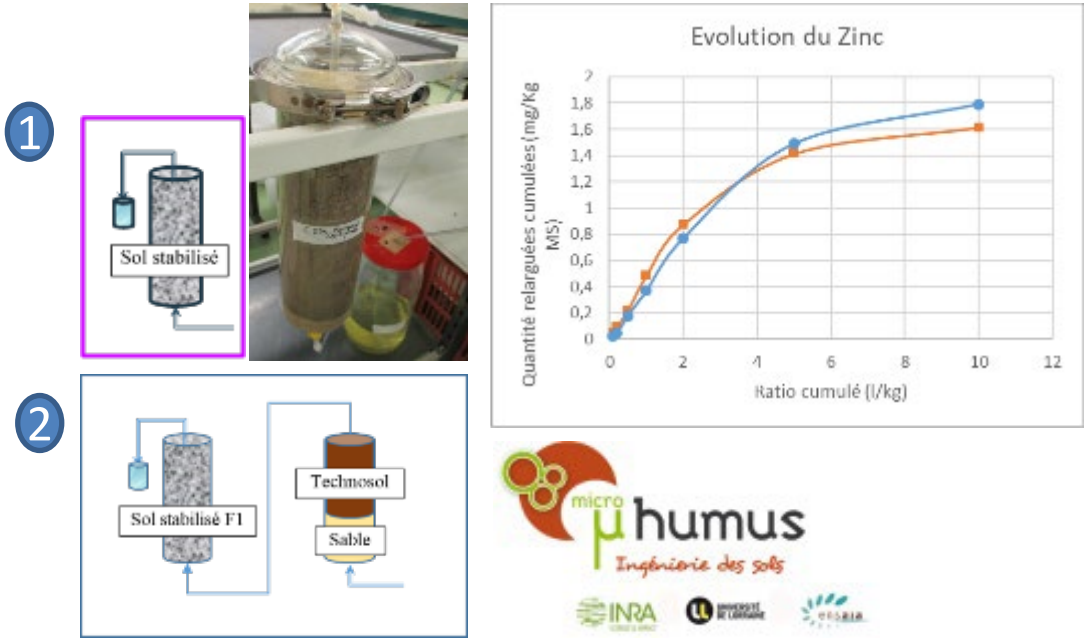


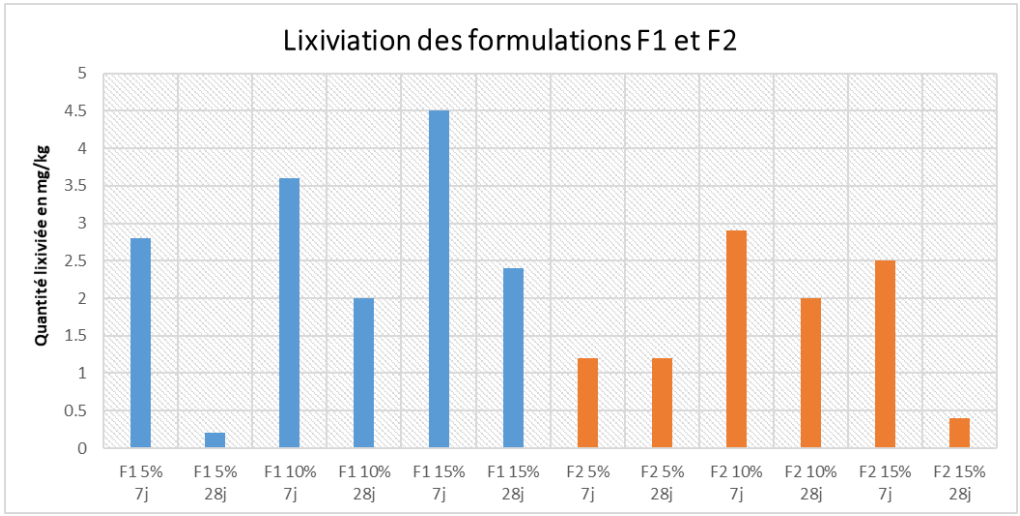
- Evaluation de la durabilité de la stabilisation
  - ✓ Caractérisation de l'influence du pH sur le relargage
  - ✓ Suivi de la dynamique de relargage par percolation

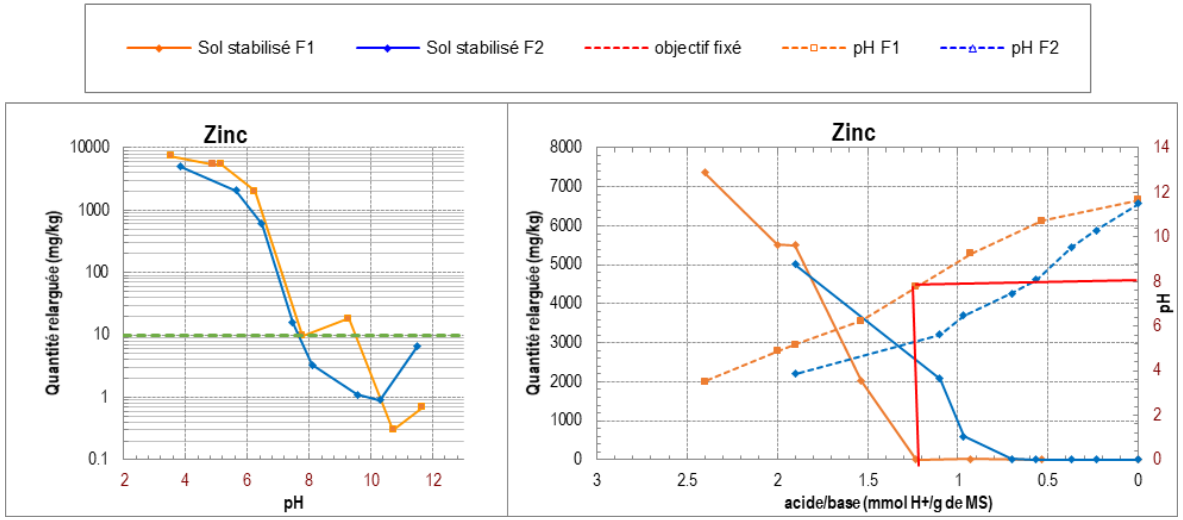
- Compatibilité avec une végétalisation
  - ✓ Suivi dynamique du relargage des eaux de percolation ayant été préalablement au contact d'un sol reconstitué

Stabilisation sous couvert végétal

- Sélection de la formulation de stabilisation :
  - ✓ Faisabilité opérationnelle sur site (1 seul silo liant)
  - ✓ Respect des objectifs de fraction lixiviable
  - ✓ Moindre sensibilité à l'évolution du pH
  - ✓ Compatibilité de la dynamique de relargage avec un sol supérieur végétalisé







Stabilisation sous couvert végétal

- Mise en œuvre de la stabilisation des terres impactées en Zinc
  - ✓ Terres supérieures aux seuils de dépollution à stabiliser mises en place sur la zone dédiée ;
  - ✓ Arrosage des terres pour obtenir le taux d'humidité adéquat ;
  - ✓ Épandage du ciment selon le dosage calculé sur la base des résultats de Provademse
  - ✓ Malaxage des terres avec le ciment ;
  - ✓ Volume de matériaux stabilisés : 1630 m^3

EIFFAGE FORÉZIENNE

EIFFAGE GAUTHEY











Les essais : Un métier

- De multiples techniques
- Des essais à adapter à chaque problématique
- Contactez-nous pour qu'on élabore ensemble le meilleur projet d'essais



Merci pour votre attention …
Et maintenant, on échange ?