



Désorption thermique in situ / on site

Résumé

- Présentation Deep Green
- Désorption thermique – Principes fondamentaux
- Pourquoi choisir la désorption thermique ?
- Données de base d'un projet ?
- Systèmes mis en oeuvre
- Exemples
- Questions

Présentation Deep Green

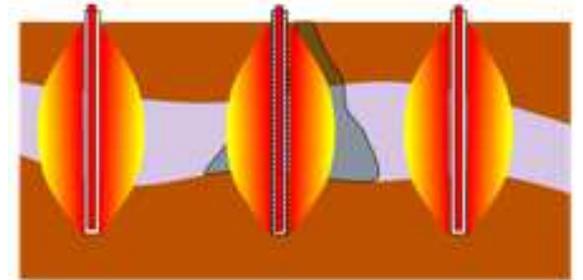
- Fondée en 1999
 - Opérateur d'installations de traitement thermique (four rotatifs)
 - Installations fixes (France – Pays-Bas)
 - Installations mobiles
- 2003: Développement d'une nouvelle technologie: Thermopile©
- 2008: Rachat de l'activité Thermopile© par Duferco Diversification
- 2008 -> 2017 : Développement activités
 - Gestion de projet
 - Maitrise d'œuvre

1. La désorption thermique

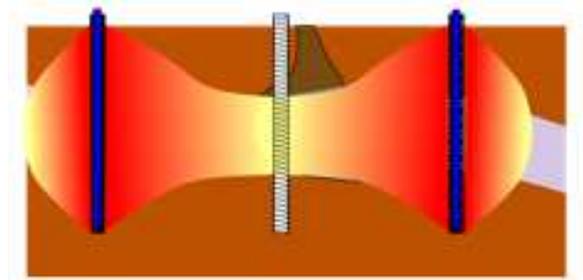
- Désorption thermique
 - Consiste à apporter de la chaleur au milieu à traiter de manière à faciliter la désorption des polluants:
 - Injection/extraction de vapeur
 - Chauffage utilisant les propriétés résistives du milieu (Electric Resistance Heating)
 - **Chauffage par conduction thermique (Thermal Conductive Heating)**
 - Vitrification in situ
- Polluants traités:
 - Hydrocarbures
 - Solvants chlorés
 - PCB

1. La désorption thermique

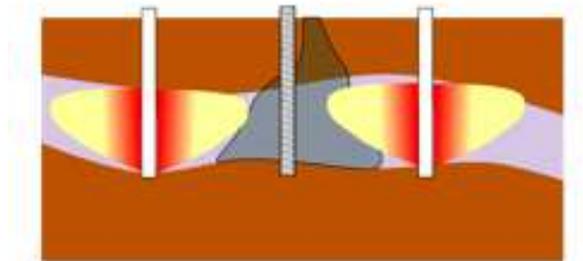
Chauffage par conduction thermique (In Situ Thermal Desorption)



**Chauffage utilisant les propriétés résistives du milieu
(Electric Resistance Heating)**

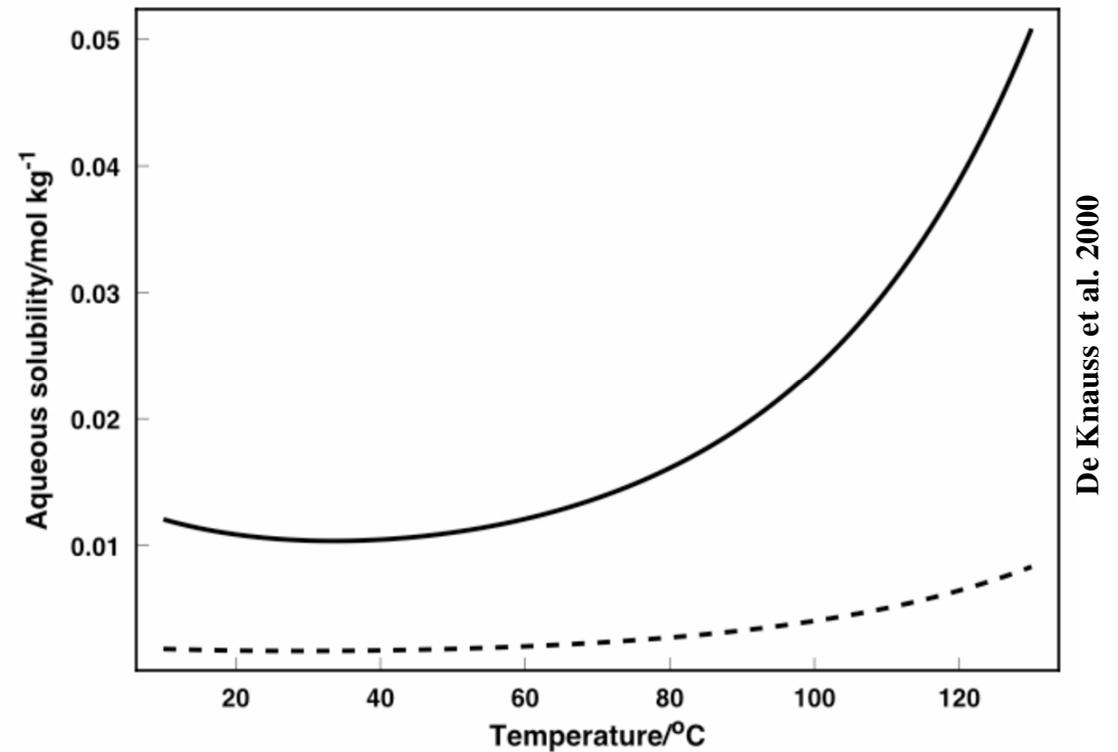


Injection/extraction de vapeur



2. Principes fondamentaux

- 2.1 Solubilité dans l'eau

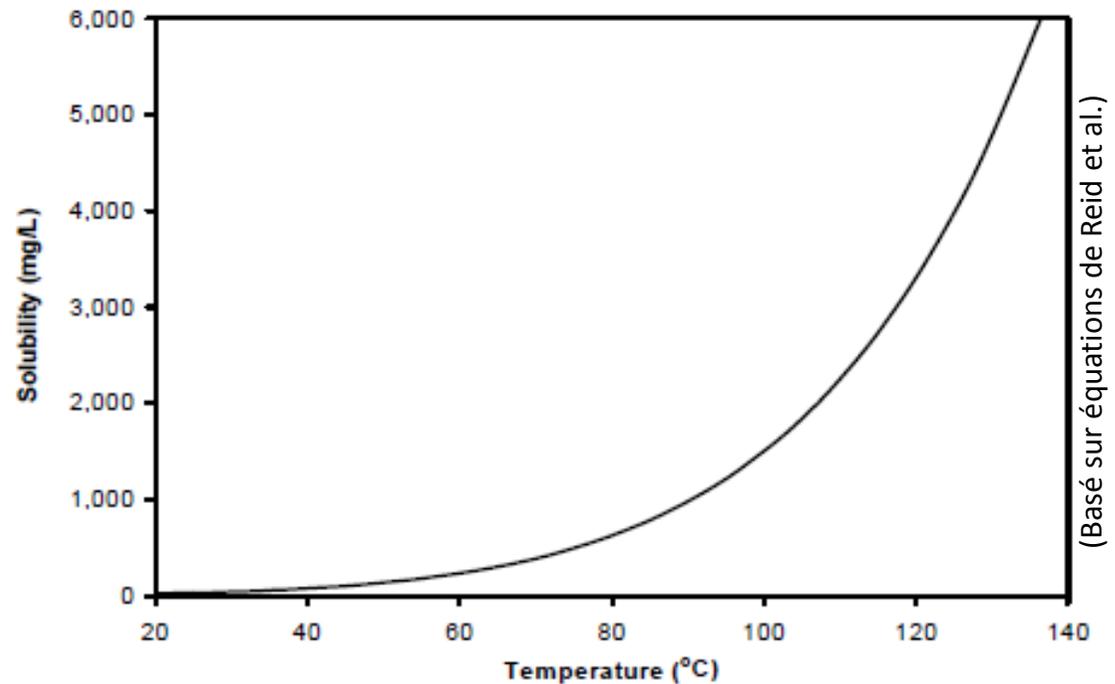


De Knauss et al. 2000

Solubilité dans l'eau du TCE (ligne pleine) et du Tetrachloroethylene (ligne pointillée) en fonction de la température.

2. Principes fondamentaux

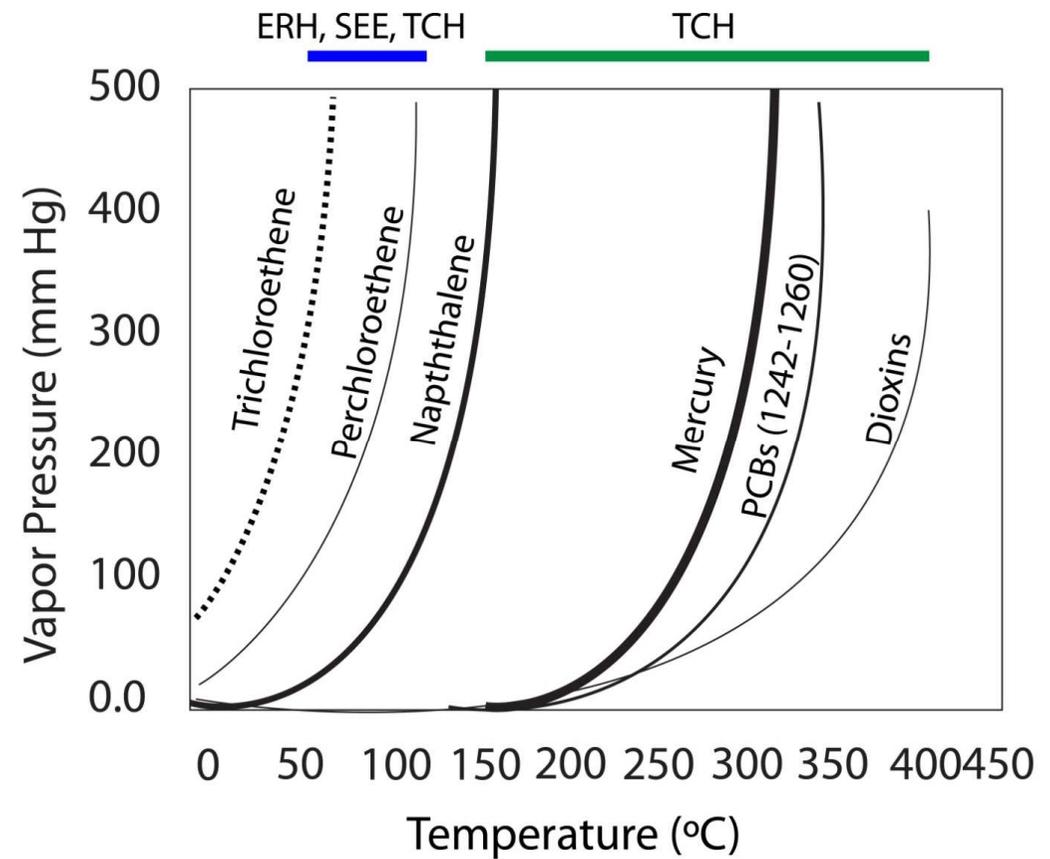
- 2.1 Solubilité dans l'eau



Solubilité dans l'eau du Naphthalene en fonction de la température.

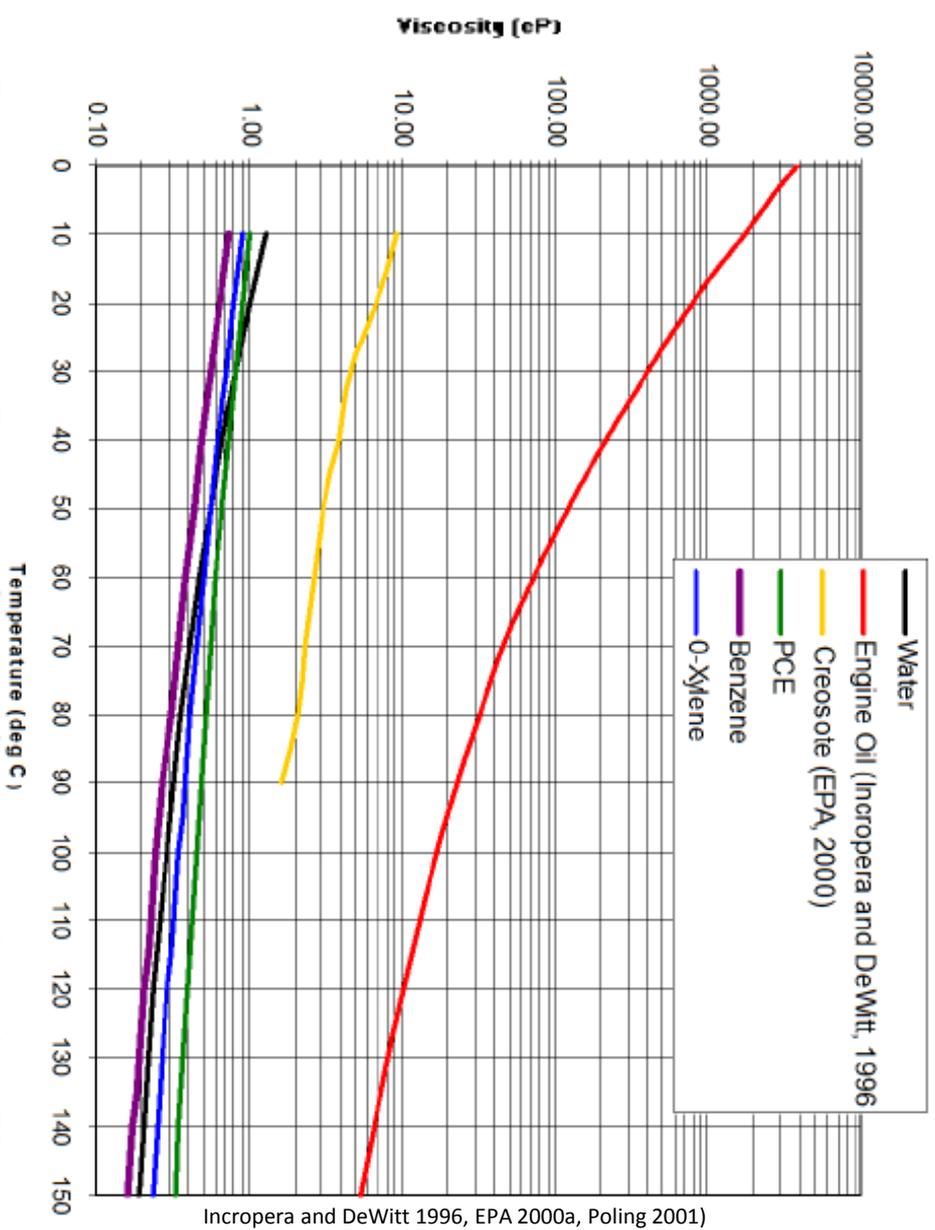
2. Principes fondamentaux

- 2.2 Pression de vapeur



2. Principes fondamentaux

- 2.2 Viscosité



2. Principes fondamentaux

- 2.3 Hydrolyse, pyrolyse et oxydation
 - Capacité hydrolyse et oxydation augmente avec la température
 - Pyrolyse nécessite températures > 300 °C

2. Principes fondamentaux

- 2.4 Transfert de chaleur

- Conductivité thermique et diffusivité thermique

Conductivité thermique mesure l'aptitude d'un matériau à transférer la chaleur
(A quelle vitesse la chaleur se propage à travers le matériau).

Diffusivité thermique mesure l'aptitude d'un matériau à transférer la chaleur par rapport à son aptitude à stocker la chaleur

(A quelle vitesse la température du matériau va augmenter).

$$q''_x = -k(dT/dx)$$

Where:

q''_x = heat energy flux in the x direction ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)

k = thermal conductivity ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)

dT/dx = temperature gradient in the x direction ($\text{K}\cdot\text{m}^{-1}$).

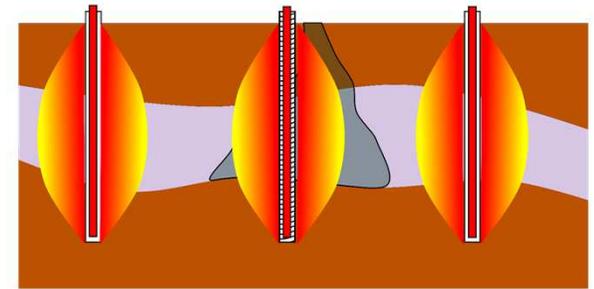
2. Principes fondamentaux

Sol	Conductivité thermique (k) [W/mK]	Perméabilité [m ²]
Argile (sèche)	0,15 – 1,8	10 ⁻¹⁶ – 10 ⁻²⁰
Argile (saturée)	0,6 – 2,5	
Sable sec	0,15 – 0,8	10 ⁻¹⁰ – 10 ⁻¹²
Sable (saturé)	2,4	
Gravier sec	0,7	10 ⁻⁷ – 10 ⁻⁹
Gravier (saturé)	1,7 – 4	

2. Principes fondamentaux

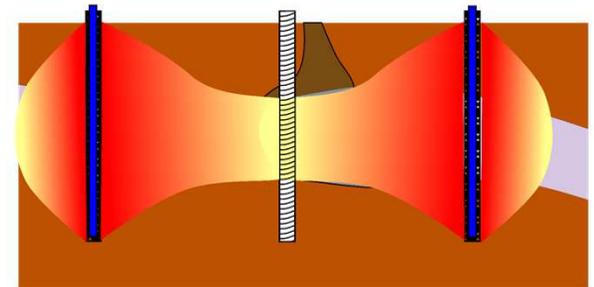
ISTD

Chauffage essentiellement guidé par la conductivité thermique - $f 3$;



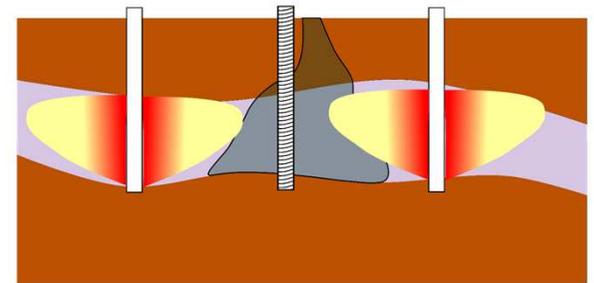
ERH

Chauffage essentiellement guidé par la conductivité électrique - $f 200$;



Injection/extraction de vapeur

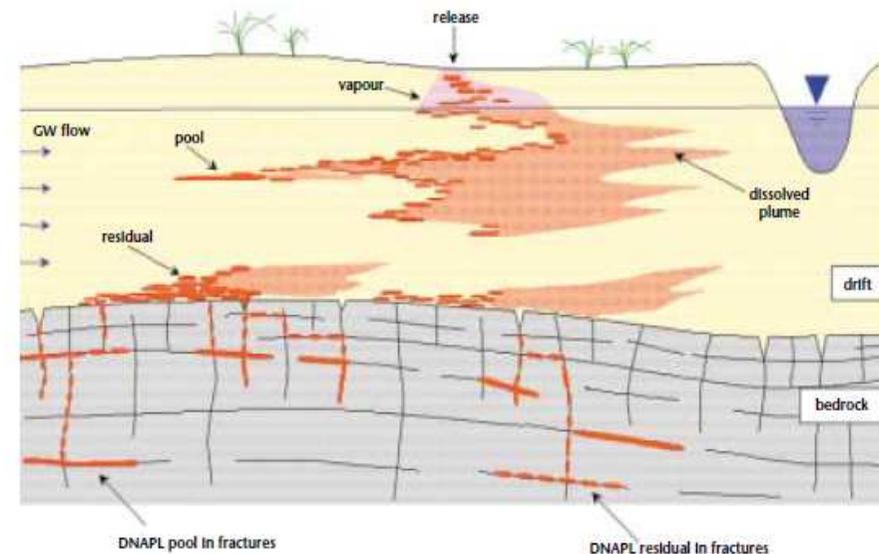
Chauffage guidé par conductivité hydraulique - ($f 10^6$);



3. Pourquoi choisir la désorption thermique in situ ?

Solution pour certains problèmes soulevés lors des traitements in situ

- Noyau de pollution
- Faible perméabilité
- Sols hétérogènes
- DNAPL dans la zone saturée
- LNAPL en zone de battement
- Limites des autres type de traitement
- Excavations non souhaitées
- Normes de traitement très basses
- Délais stricts



4. Données de bases

4.1 Modèle conceptuel

- Distribution des contaminants
- Nature et extension de la pollution
- Source
- Position et/ou présence des NAPL
- Nappe et flux
- Fondations
- Impétrants

4. Données de bases

4.2 Propriétés du site

- Description du site + Plan
- Accessibilité du site
- Contraintes du site (constructions, impétrants, hauteur de travail...)
- Stratigraphie
- Hydrogéologie + paramètres hydrauliques
- Position et/ou présence des NAPL + mobilité
- Nappe et flux
- Analyses chimiques (+COT)
- Caractéristiques des NAPL

4. Données de bases

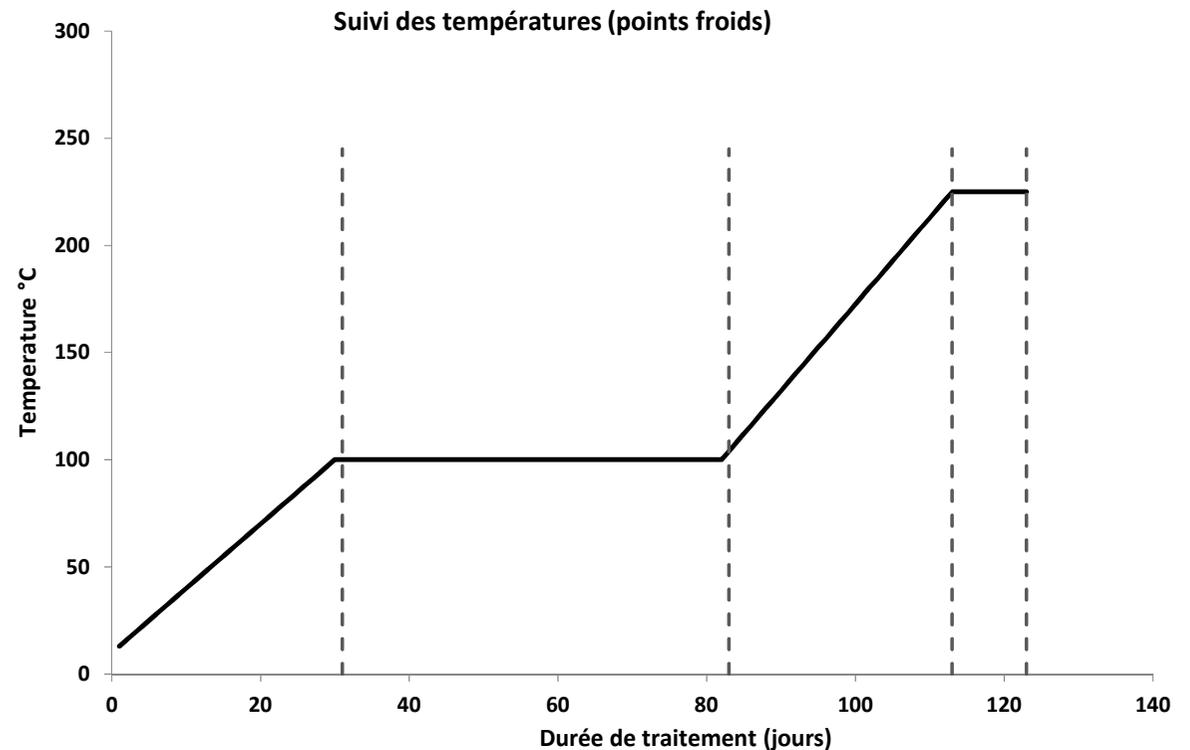
4.3 paramètres spécifiques

- Conductivité thermique
- Géométrie de la zone à traiter
- Electricité
- Présence de composants pouvant produire gaz de combustion (bois, charbons, plastiques...)
- Acidité du milieu (zone saturée essentiellement)
- Zone saturée ou pas / Type de polluant (SVOC/VOC)
- Taux de recharge de la nappe
- Attention particulière au système de traitement d'air

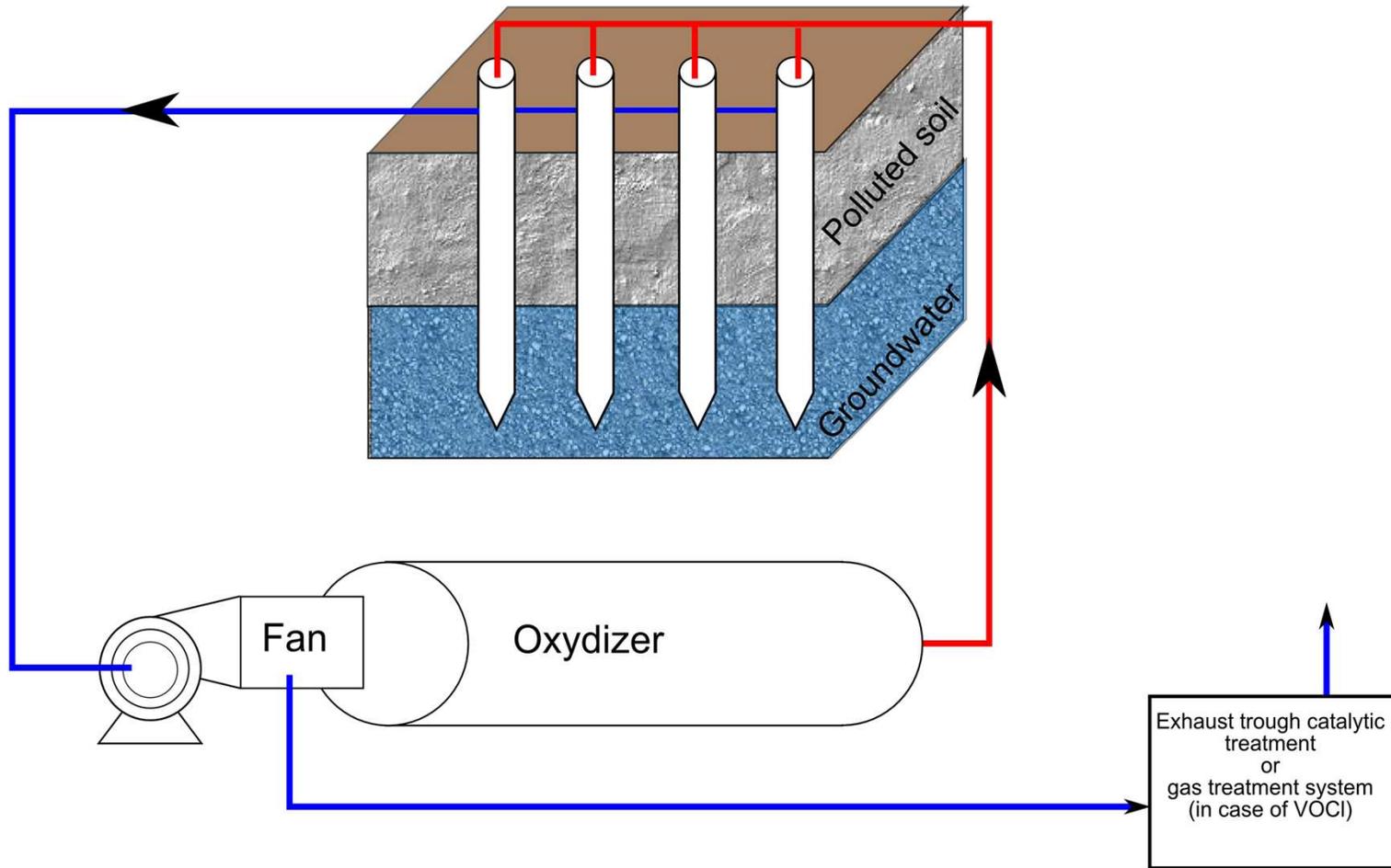
4. Données de bases

4.4 Validation de résultats

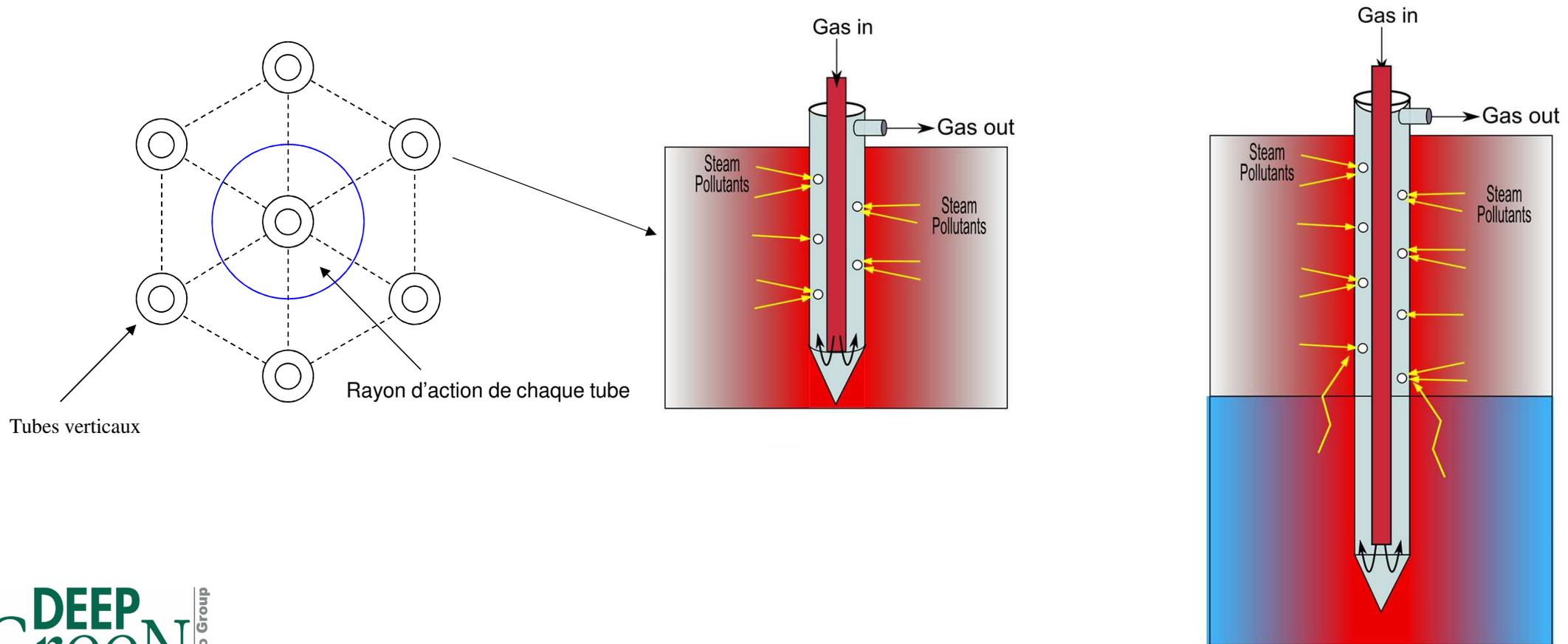
- Températures
- Quantité de produit récolté
- Analyse des gaz en sortie d'installation (avant traitement)
- Echantillonnage
 - Importance de la définition précise de zone à traiter



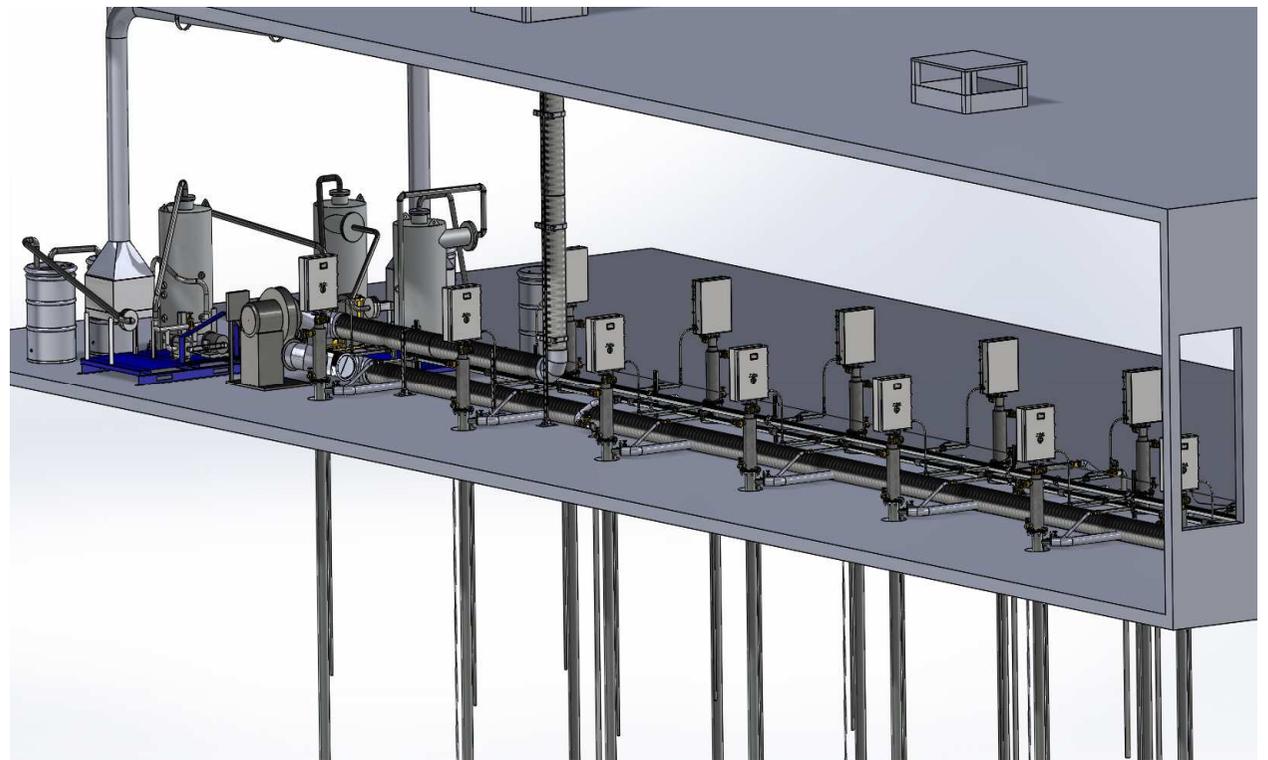
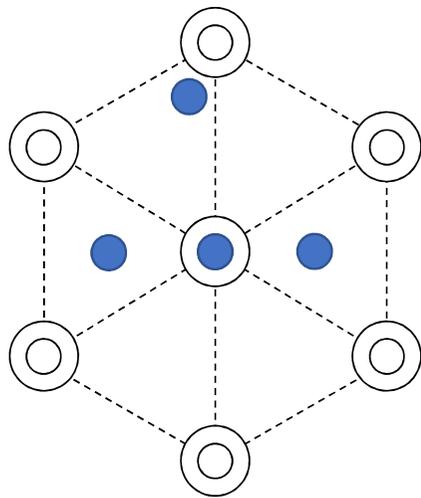
5. Systèmes



5. Systèmes

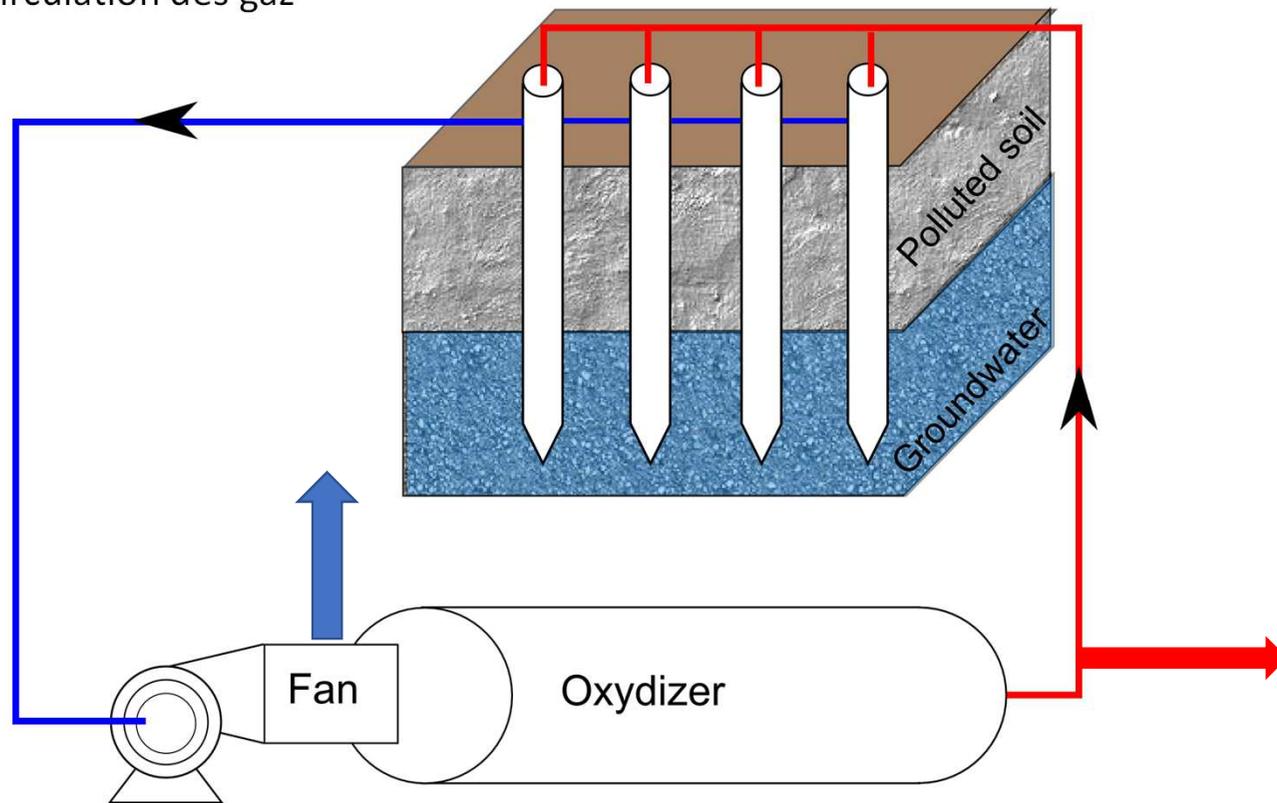


5. Systèmes



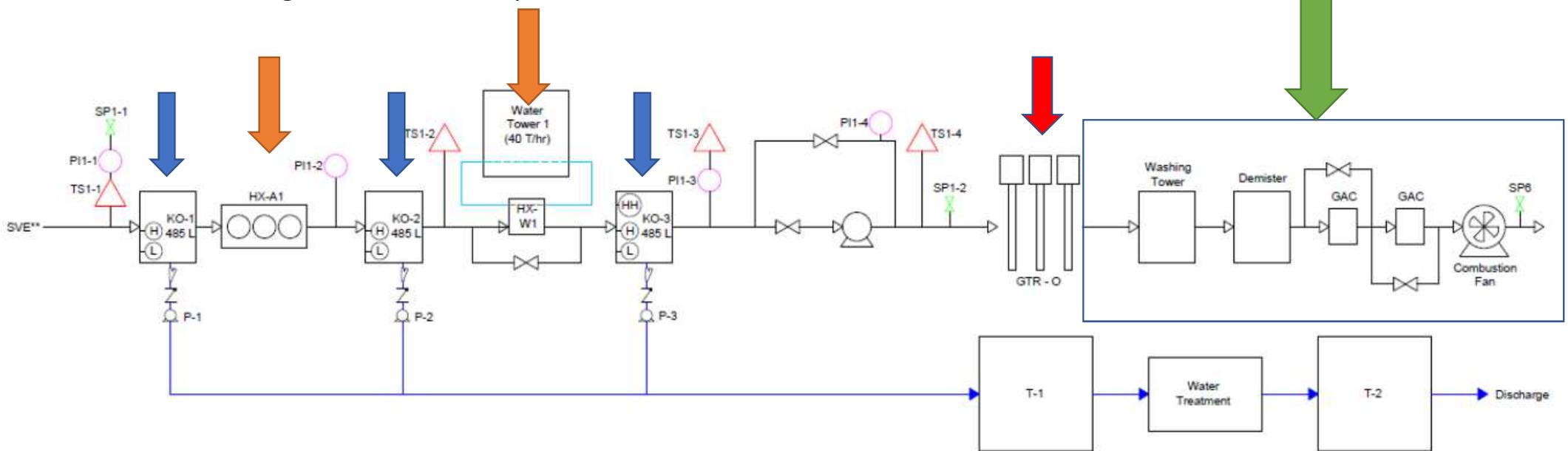
5. Systèmes

Traitement des gaz – Recirculation des gaz



5. Systèmes

Traitement des gaz – Extraction séparée

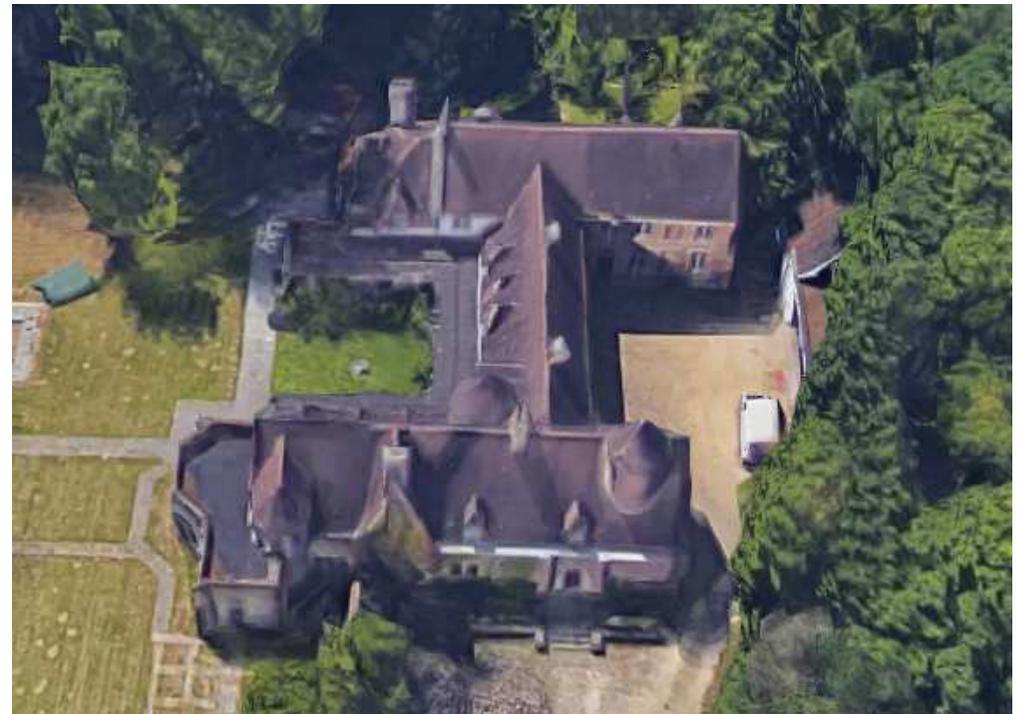


6. Exemples

6.1 HCT – Bruxelles

Problèmes :

- HCT : 16,000 mg/kg
- Naphatlène : 5 mg/kg
- Profondeur -> 4 m
- Surface 130 m²
- Stabilité excavations
- Délais



6. Exemples

6.1 HCT – Bruxelles

Systeme utilisé

- Chaudière décentralisée
- Injection chaleur / extraction via même tube
- Recirculation gaz post combustion
- Purge en sortie post combustion



6. Exemples

6.1 HCT – Bruxelles



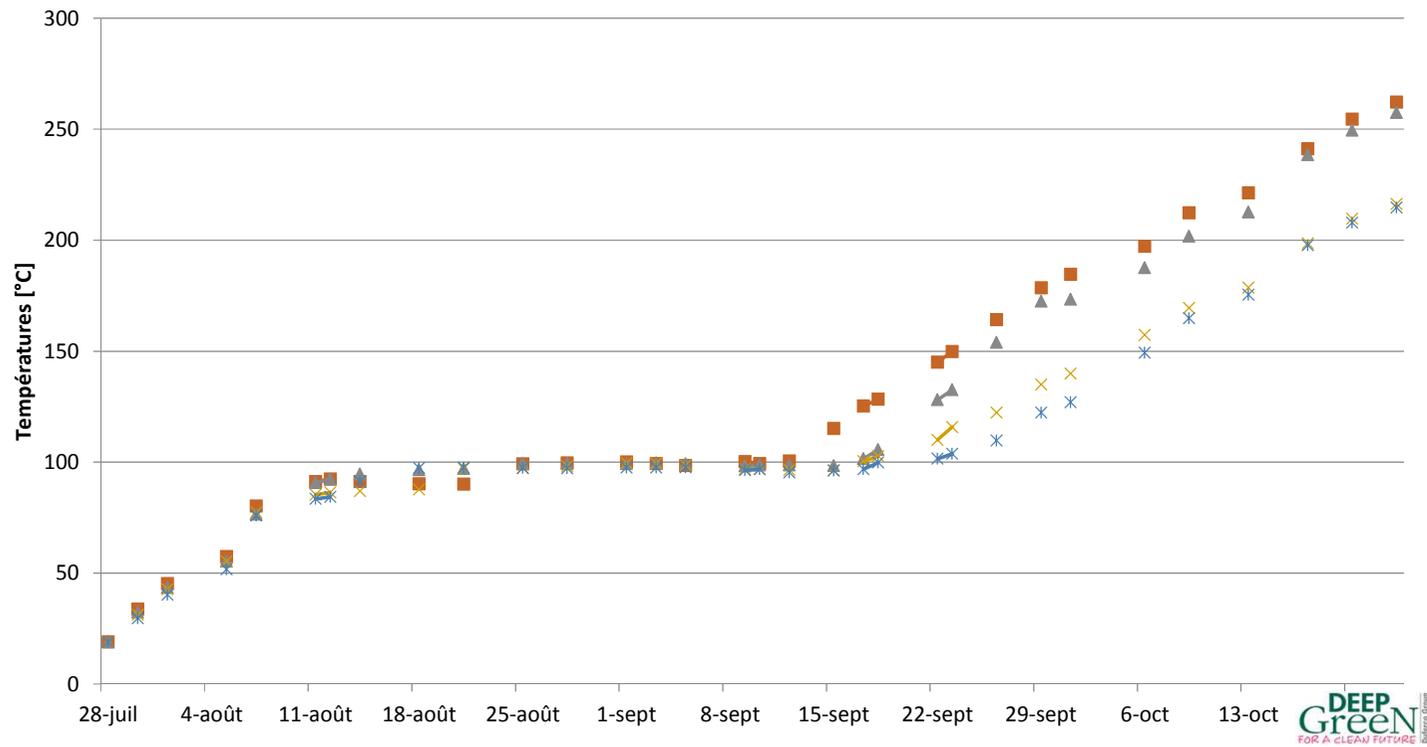
Forages pour cannes de chauffe et thermocouples



Installation chaudière

6. Exemples

6.1 HCT – Bruxelles



6. Exemples

6.1 HCT – Bruxelles

Résultats :

- Montage : 4 semaines
- Traitement : 3 mois
- Naphtalène < 0,05 – Abattement 99%
- HCT < 300 mg/kg – Abattement 99 %
- 2 forages problématiques : -> Excavation localisée sur 16 m² / 3m profondeur

6. Exemples

6.2 Couche flottante - Bruxelles

Problèmes :

- Couche flottante > 20 cm
- Accès
- Délais
- Stabilité excavations
- Autres traitement inefficaces
- Petite surface (< 20 m²)



6. Exemples

6.2 Couche flottante - Bruxelles

Système utilisé

- Bruleur en tête de tube
- Injection chaleur / extraction via même tube
- Recirculation gaz vers brûleurs
- Purge via catalyseur



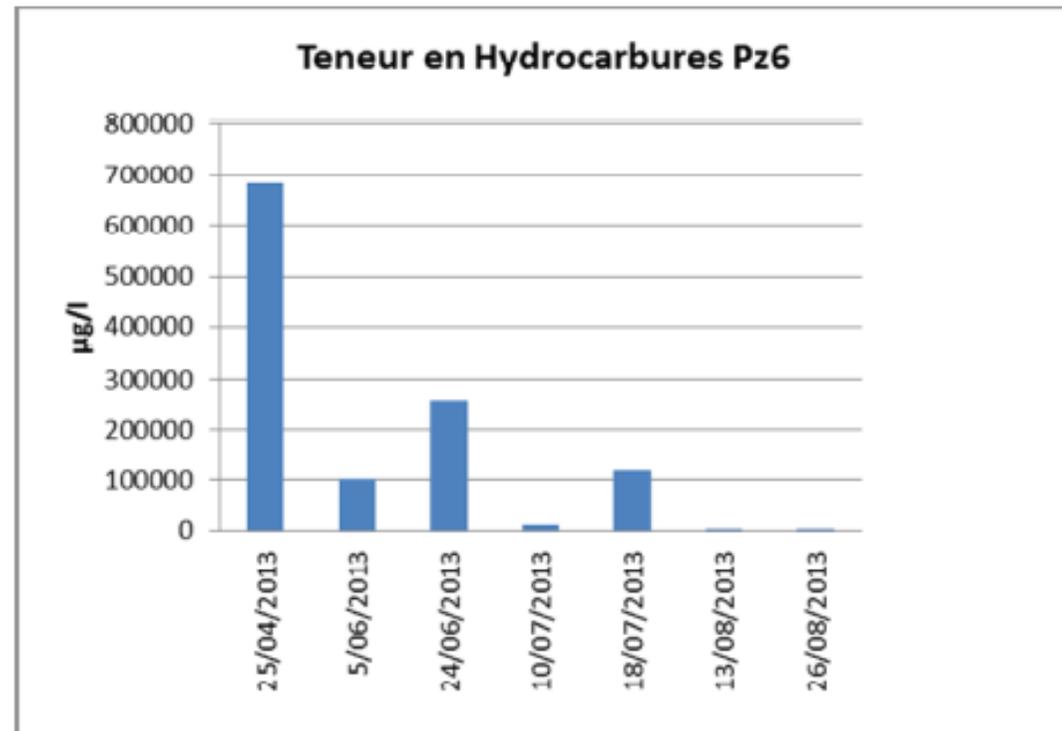
Tubes de chauffe et connexion au réseau gaz de l'hôtel

6. Exemples

6.2 Couche flottante - Bruxelles

Résultats :

- 3 mois de traitement
- Validation 45 jours après arrêt du traitement
- Vérification 4 mois après fin du traitement



6. Exemples

6.3 Traitement in situ – Partenariat GEO REMCO (USA)



6. Exemples

6.3 Traitement in situ – Partenariat GEO REMCO (USA)

Problèmes :

- COV et COV chlorés
- 450 m²
- Profondeur : 10 m
- Moyenne : 2,000 mg/m³
- LNAPL
- Présence possible de DNAPL
- Milieu hétérogène / argileux
- Pilotes réalisés avec injection réactifs sans succès

6. Exemples

6.3 Traitement in situ – Partenariat GEO REMCO (USA)

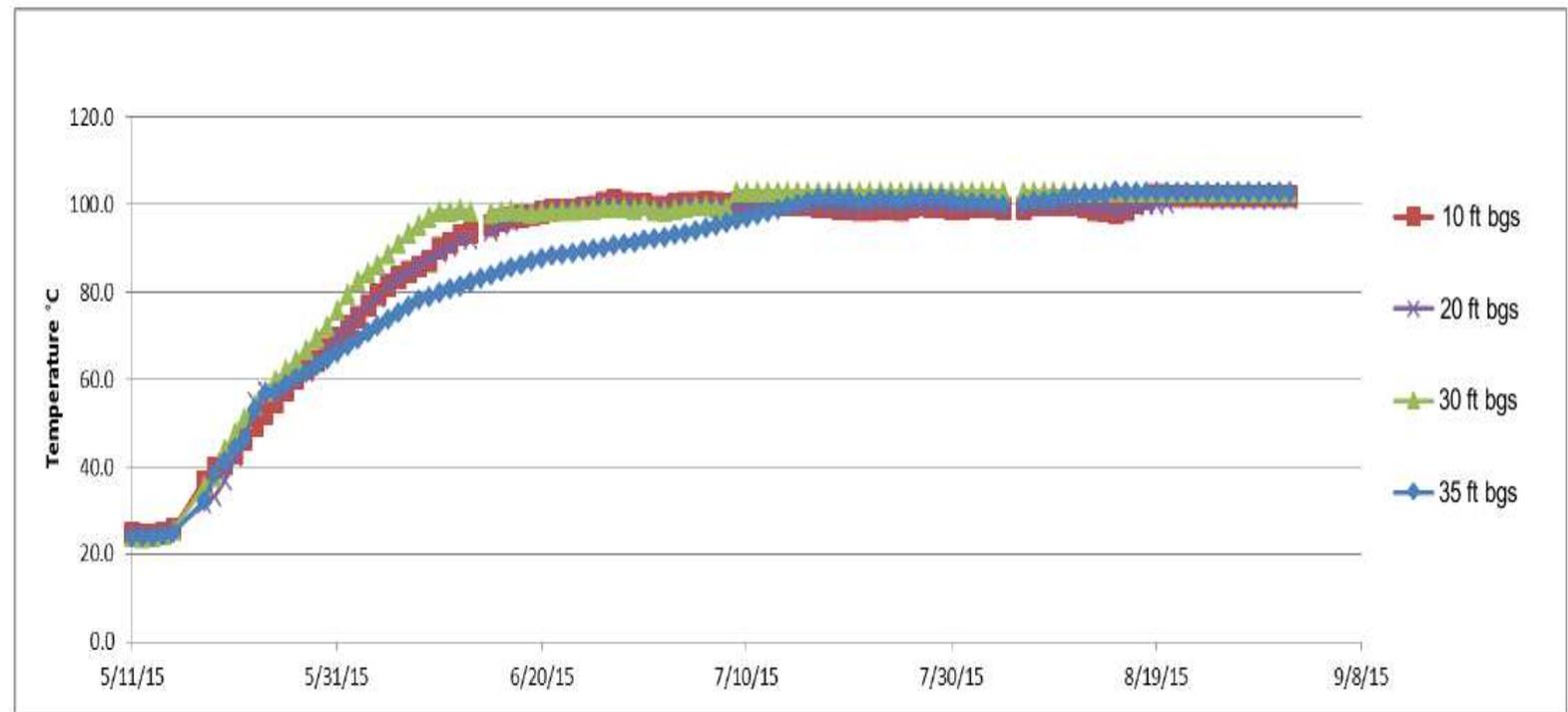
Système utilisé

- Bruleur en tête de tube
- Extraction séparée
- Pas de recirculation
- Traitement des gaz via condensation et charbon actif



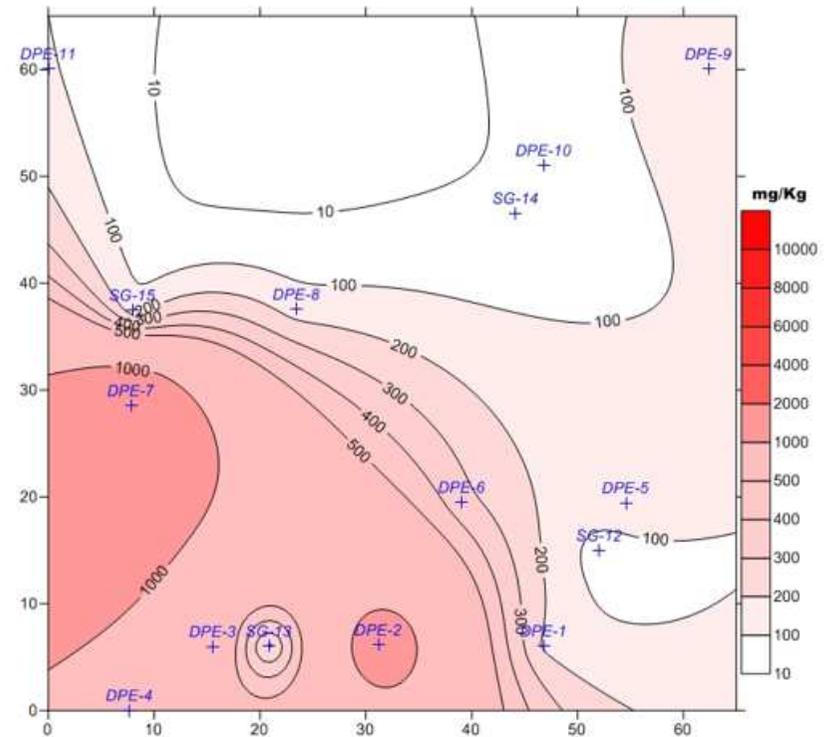
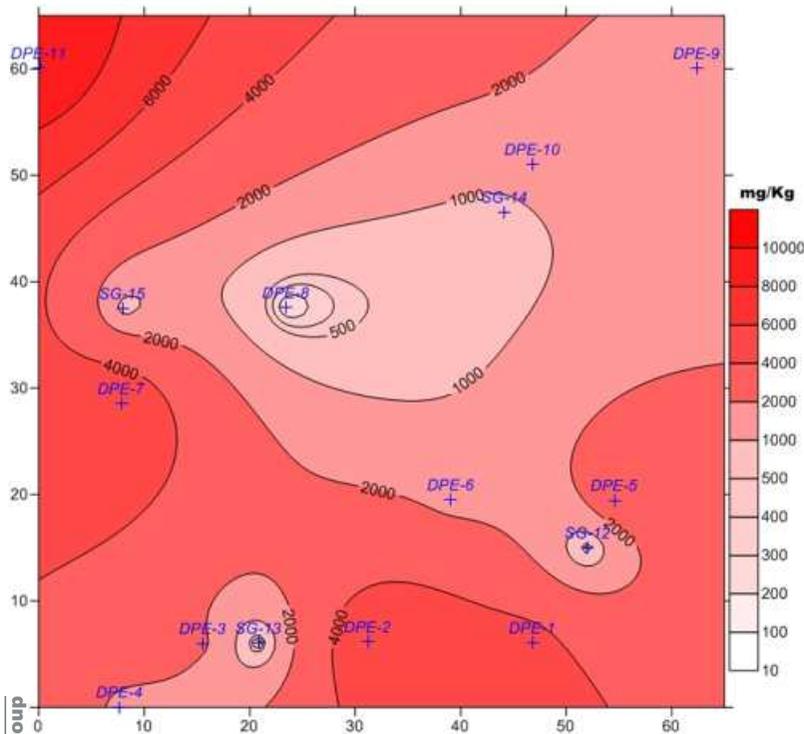
6. Examples

6.3 Traitement in situ – Partenariat GEO REMCO (USA)



6. Exemples

6.3 Traitement in situ – Partenariat GEO REMCO (USA)

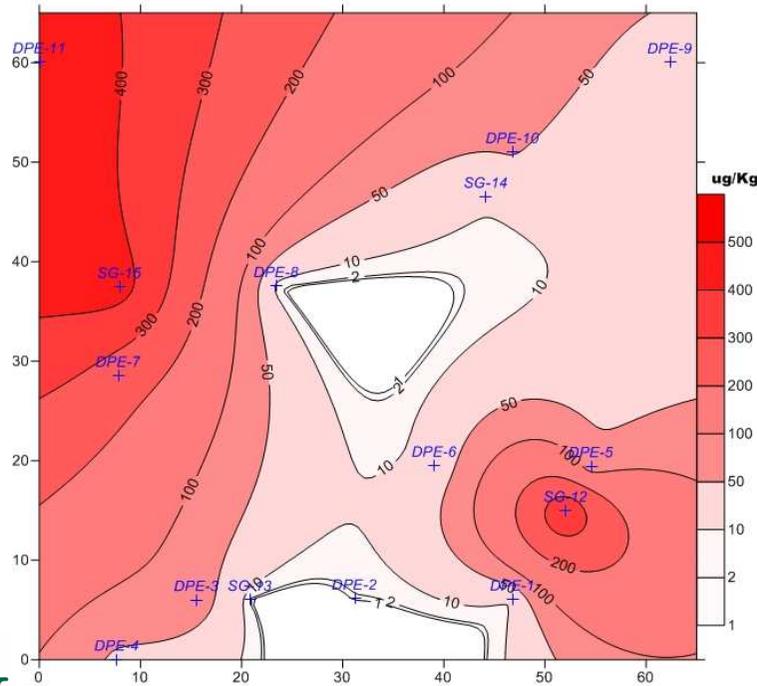


Comparaison HCT dans sol avant et après traitement

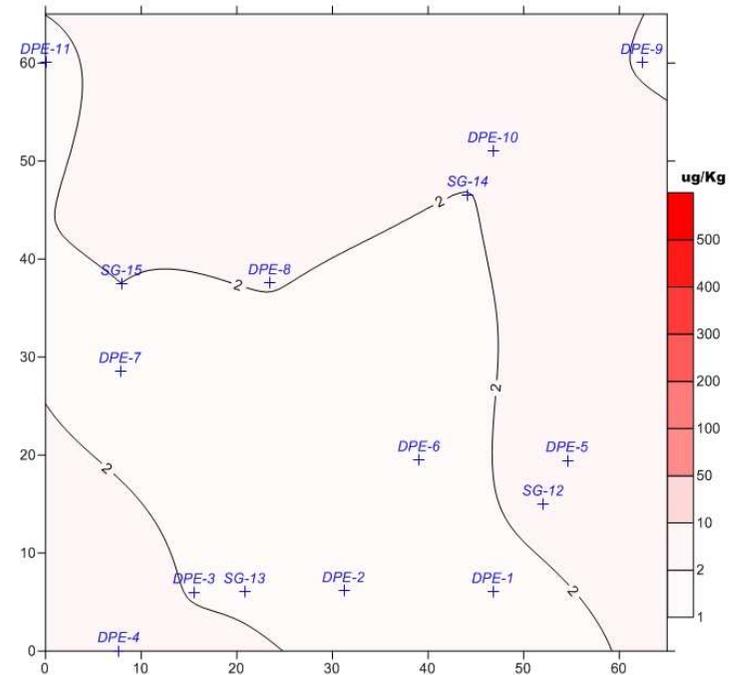
6. Exemples

6.3 Traitement in situ – Partenariat GEO REMCO (USA)

Pre-Treatment of Benzene Concentration



Post-Treatment of Benzene Concentration

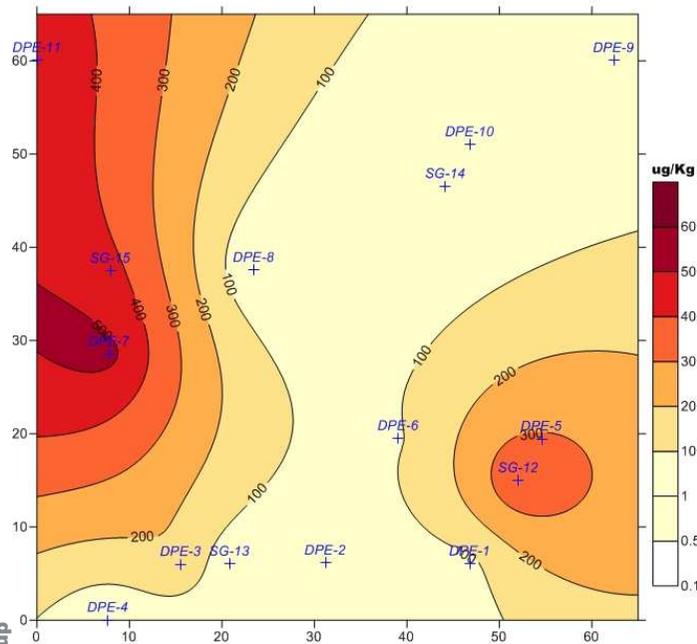


Comparaison benzène dans sol avant et après traitement

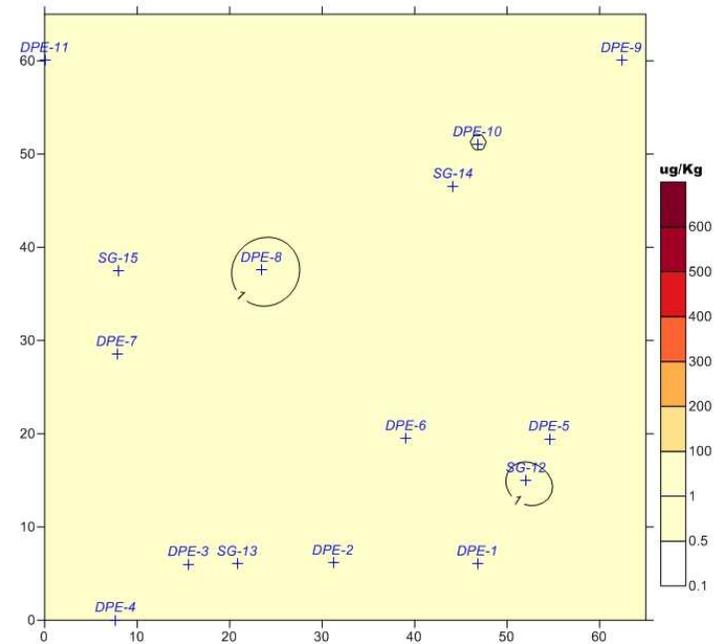
6. Exemples

6.3 Traitement in situ – Partenariat GEO REMCO (USA)

Pre-Treatment of TCE Concentration



Post-Treatment of TCE Concentration

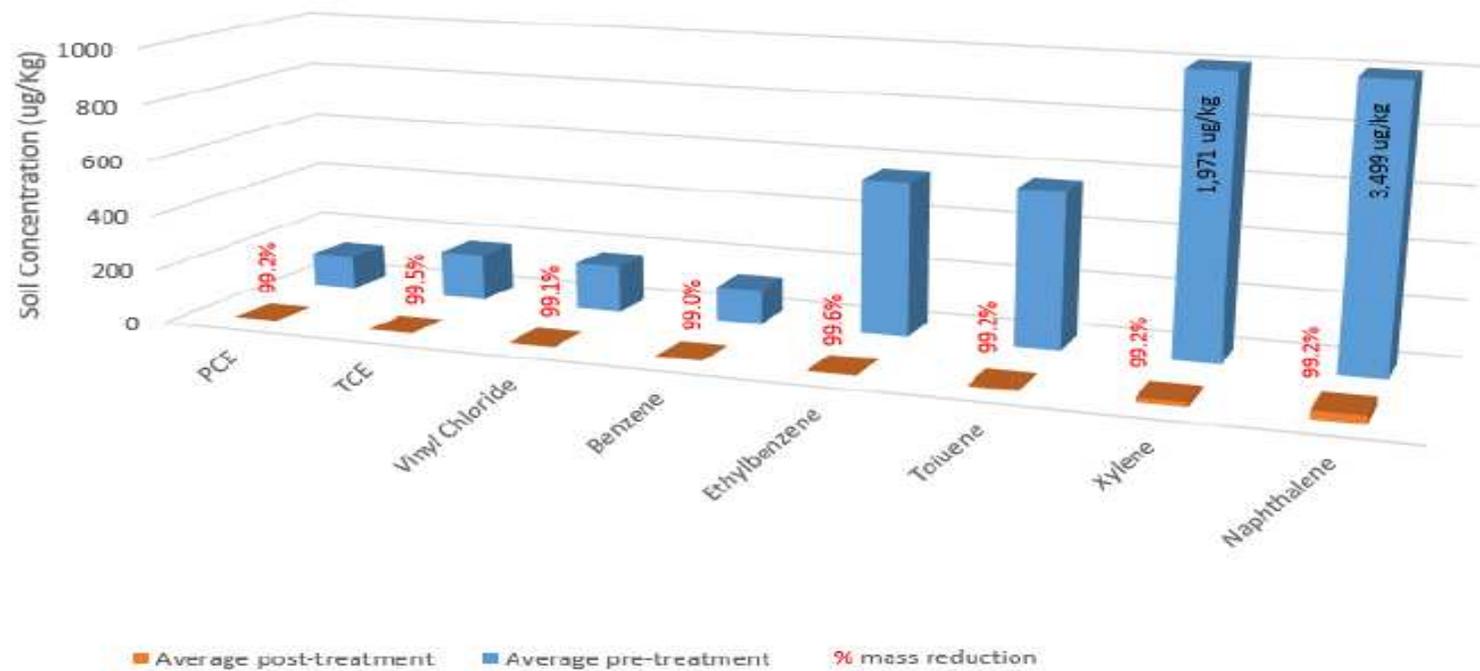


Comparaison TCE dans sol avant et après traitement

6. Exemples

6.3 Traitement in situ – Partenariat GEO REMCO (USA)

Pre-Treatment Versus Post-Treatment Soil Concentrations



6. Exemples

6.3 Traitement in situ – Partenariat GEO REMCO (USA)

Résultats :

- 4 mois de traitement
- Objectifs atteints:
 - 90 % abattement
 - Disparition LNAPL
 - Disparition DNAPL

6. Exemples

6.4 Terres excavées - France

Problèmes :

- Pollution lourde
 - Lot 1 : HCT : 75,000 mg/kg
 - Lot 2 : Mix HAP / HCT
- Projet pilote
- 100 m³ / lot
- Terres excavées mise en andains



6. Exemples

6.4 Terres excavées - France

Système utilisé :

- Brûleurs sur tubes de chauffe
- Extraction séparée
- Récupération des contaminants par condensation
- Traitement eaux par séparateur et CA
- Post-Combustion en fin de process traitement d'air

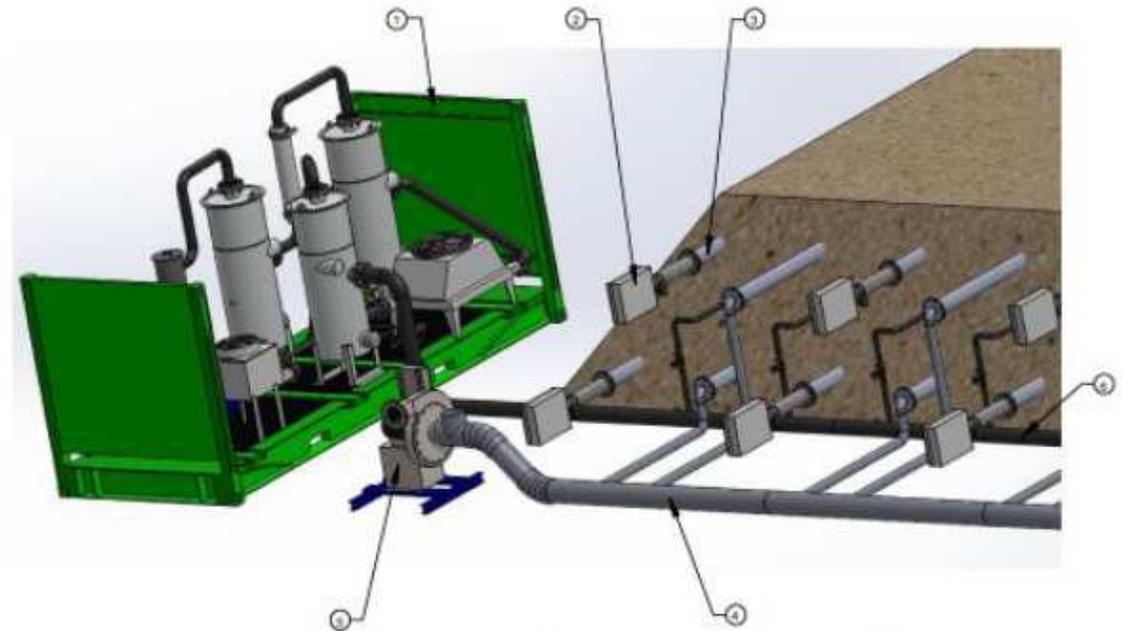


Figure 3 : Main components of the system

6. Exemples

6.4 Terres excavées - France

Résultats :

- Lot 1:

- Température traitement max: 650 °C
- Température moyenne: 350 °C
- 60 jours de traitement
- Concentration HCT : 500 mg/kg
- Abattement > 99 %

- Lot 2:

- Température traitement max: 360 °C
- Température moyenne: 270 °C
- 90 jours de traitement
- Concentration HCT : 70 mg/kg (> 99 %)
- Concentration HAP : < 1 mg/kg (100 %)

7. Questions

