eG
enGlobe

Une division d'EnGlobe Corp

Régénérons vos sols

Des experts spécialisés dans la réhabilitation des sites pollués

Des solutions adaptées à tous types de pollution et tous secteurs d'activité

Une dépollution des sols effectuée sur site ou dans des centres spécialisés

L'innovation pour leitmotiv et la sécurité pour priorité

POLLUTEC 2014

Mercredi 03/12/2014 - **J. LEPLAT – C. KING**

Réhabilitation d'un site industriel chimique par l'usage de plusieurs technologies : extraction multi-phase, injection d'eau sursaturée en CO2 et oxydation chimique

J. LEPLAT – Responsable Technique France

C. KING – Directeur Technique Europe - UK

Biogénie

POLUTEC 2014

SOMMAIRE

1. Contexte d'intervention
2. Essais pilotes de terrain pour design pleine grandeur
3. Travaux pleine grandeur
   - Extraction multiphase
   - Essais d'optimisation des rendements de récupération par injection d'eau sursaturée en CO_2
   - Oxydation chimique in-situ
4. Synthèse de réalisation du projet
5. Conclusions et perspectives sur IES CO_2

CONTEXTE D'INTERVENTION

CONTEXTE D'INTERVENTION

Ancienne usine d'expérimentation chimiques

- Usine chimique exploitée entre 1800-1990
- Production uranium pendant 2nde Guerre Mondiale
- Expérimentations chimiques (1940-1990)

- Usage historique COHV :

➔ contamination sols et eaux souterraines

- Travaux de dépollution importants nécessaires
- Intérêts économiques majeurs d'utilisation du site pour réalisation du pont « Mersey Gateway Bridge»

➔ Gravement

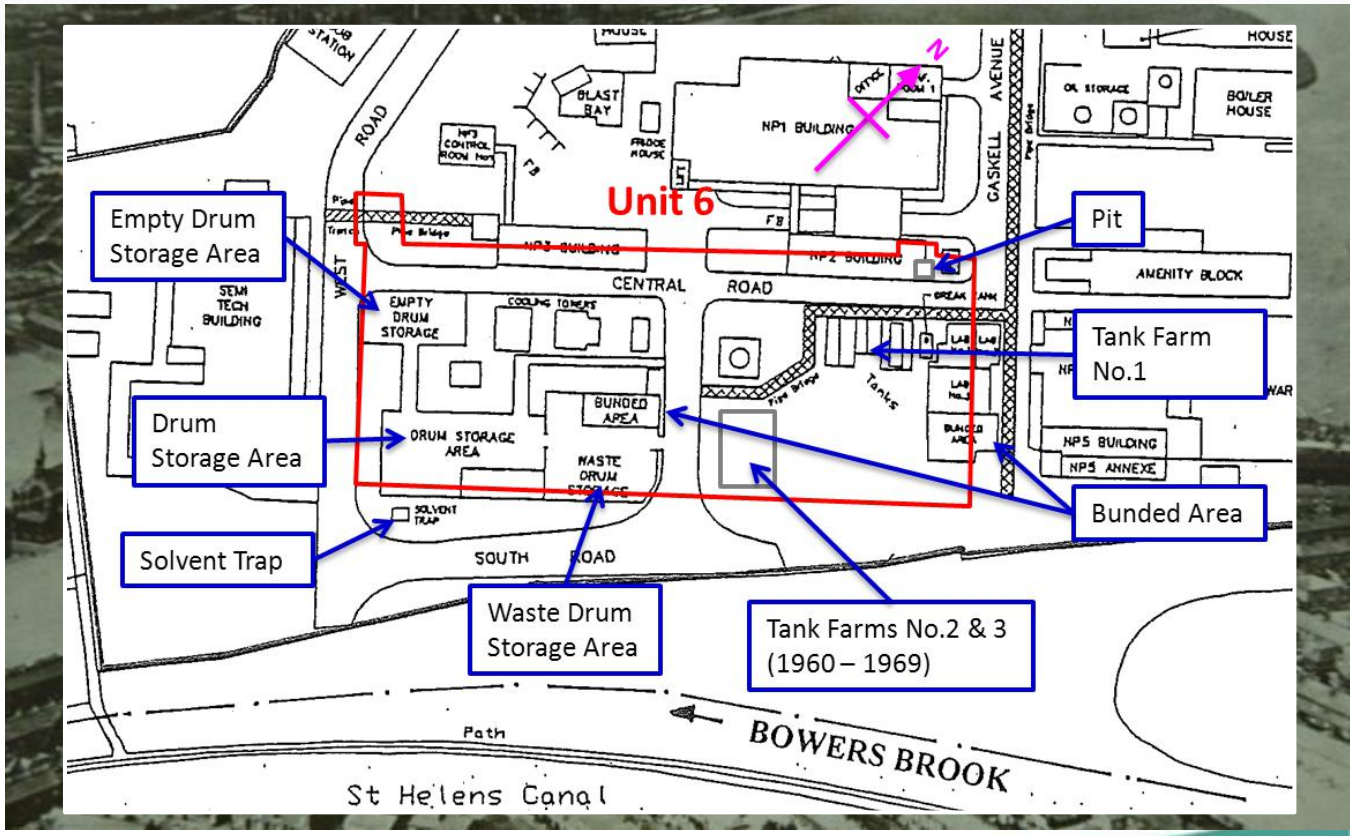
CONTEXTE D'INTERVENTION

Ancienne usine d'expérimentations chimiques -

- Utilisation de solvants chlorés dans le cadre des procédés chimiques de l'usine et essais d'expérimentation :

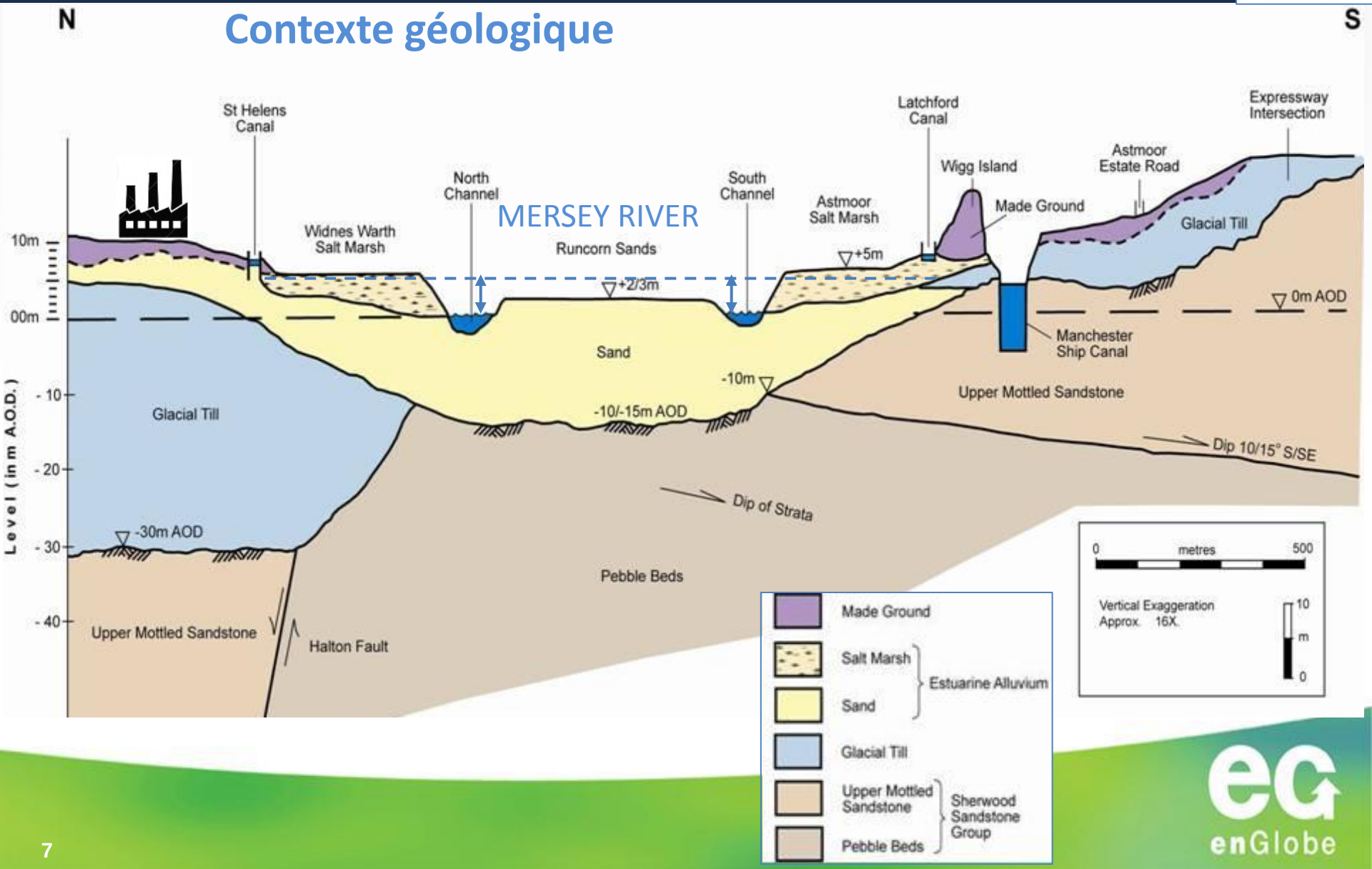
  Ex : 1951 : création « Halothane » pour remplacement chloroforme

- Zones de stockage diverses – lieux de contamination principales



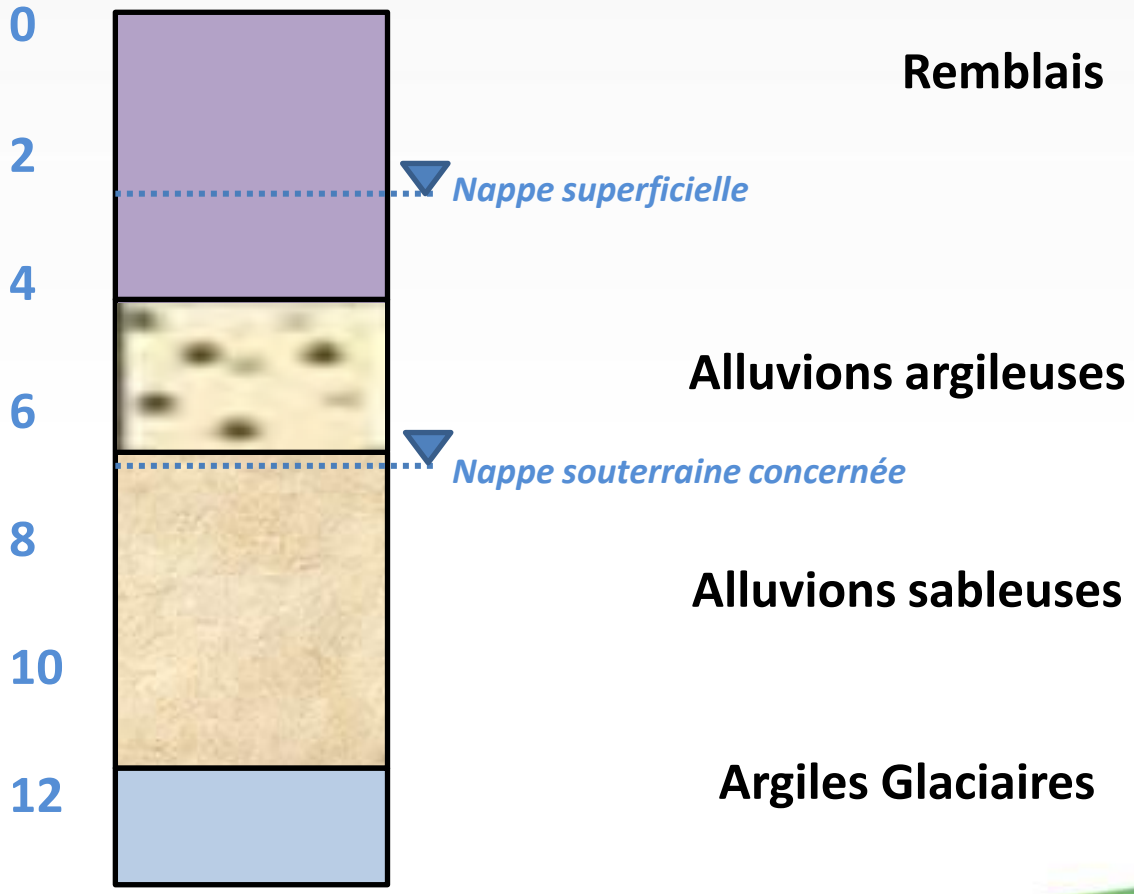
CONTEXTE D'INTERVENTION

Contexte géologique



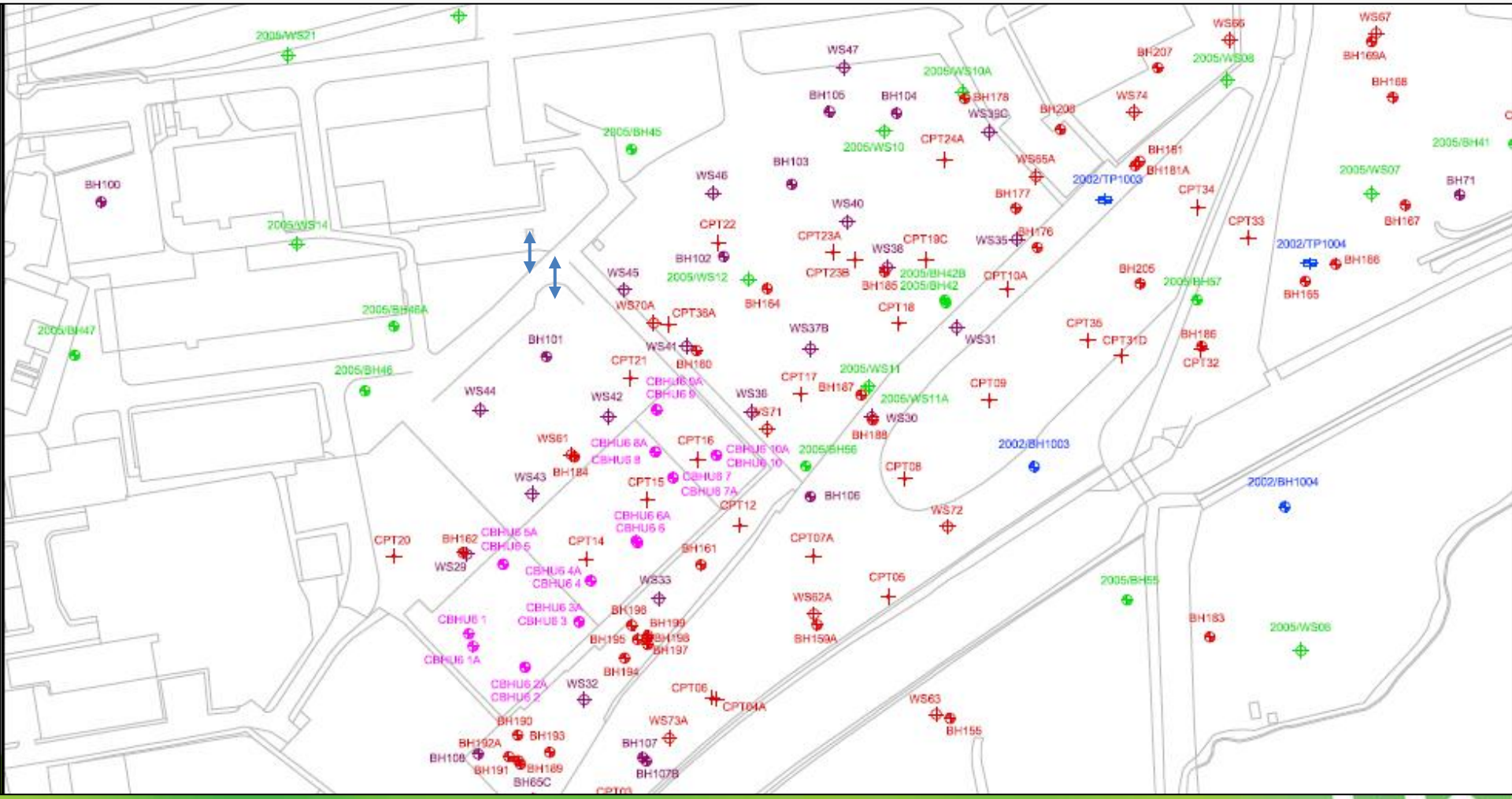
CONTEXTE D'INTERVENTION

Contexte géologique local



CONTEXTE D'INTERVENTION

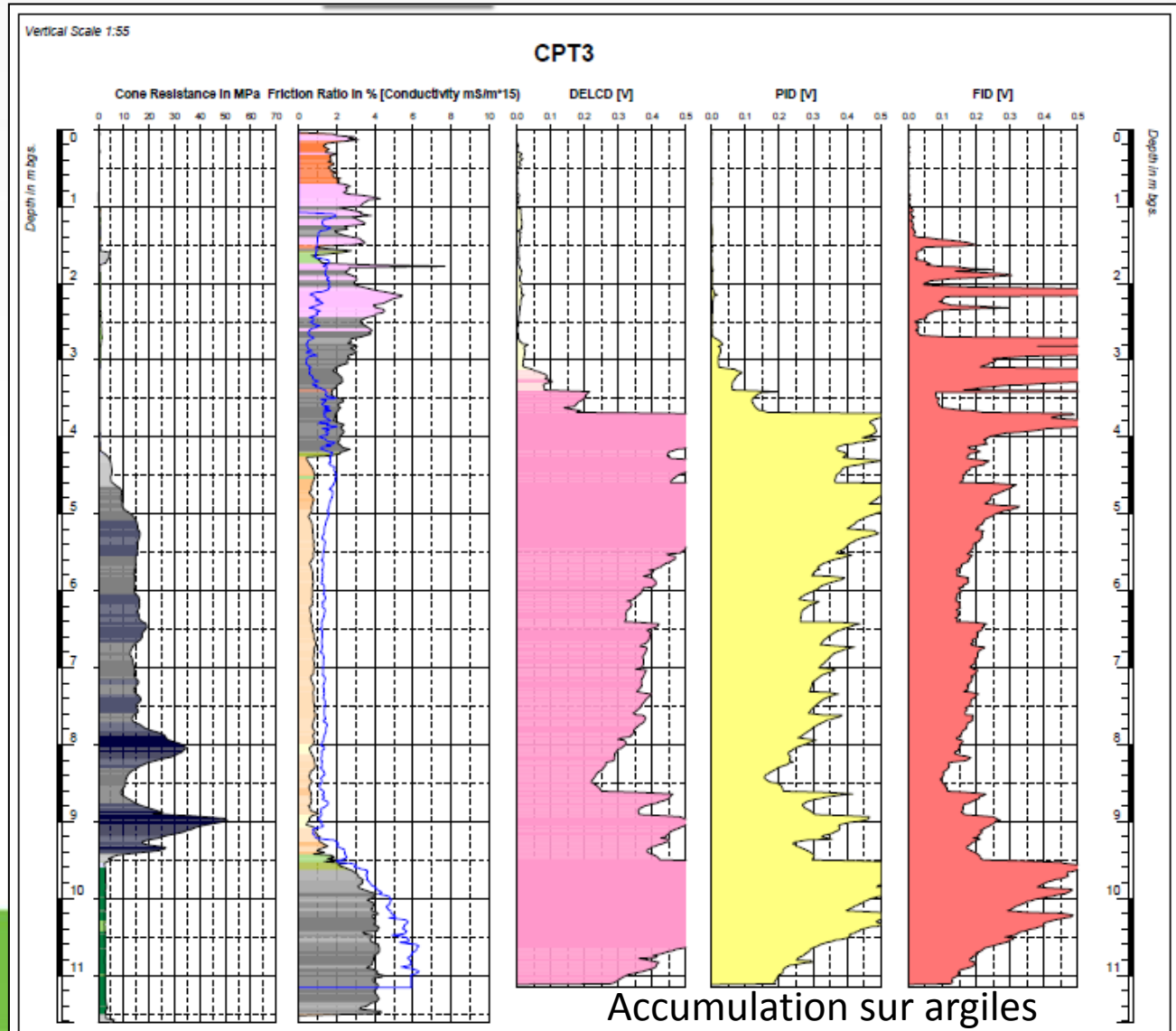
Investigations réalisées sur le site



CONTEXTE D'INTERVENTION

Caractérisations détaillées sur profil vertical de contamination

- Sondages MIP
- Mesures en temps réels des teneurs en COHV / 5 cm
- Mise en évidence :
  base remblais
- alluvions argileuses / sableuses
- Toit des argiles



Accumulation sur argiles

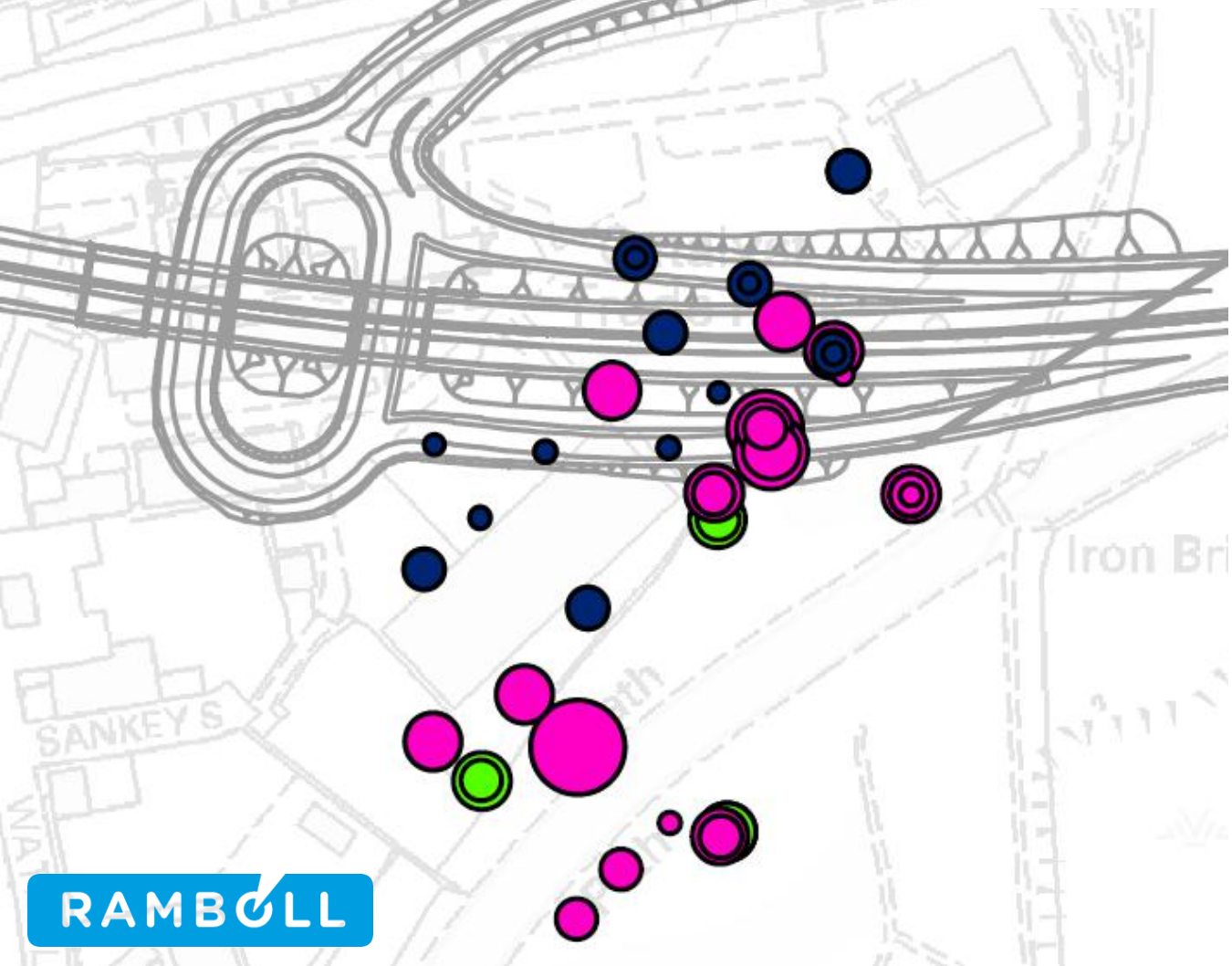
CONTEXTE D'INTERVENTION

Mise en évidence de produit en phase libre

CONTEXTE D'INTERVENTION

TCE –COHV Contamination

➔ Concentrations les plus élevées dans les alluvions : jusque 1 g/l TCE



Trichloroethene ug/l

Made Ground

- 10.00 - 100.00
- 100.01 - 1000.00

Alluvium

- 10.00 - 100.00
- 110.00 - 1000.00
- 1000.00 - 10000.00
- 10000.01-25000.01
- 25000.01 - 110000.00

Glacial

- 10.00 - 100.00
- 100.01 - 1000.00
- 1000.01 - 10000.00

CONTEXTE D'INTERVENTION

Détails de contamination du site

8 zones polluées :
Impact Solvants Chlorés:

-Tetrachlorethene (PCE)
-Trichloroethylène (TCE)

-Tetrachlorethanes(PCA)
-Trichlorethanes (TCA)

-Chloroforme
-Tétrachlorure de carbone

DNAPL supposé présent où la somme des concentrations COHV >10% de leur solubilité
5 zones de dépollution concernées → FOCUS des travaux

CONTEXTE D'INTERVENTION

Objectifs et stratégie globale

Objectifs :

Réduction maximale de la masse de COHV par l'utilisation des meilleures techniques dans le sol et les alluvions

Stratégie :

Phase 1 : Essais pilotes de dimensionnement des travaux

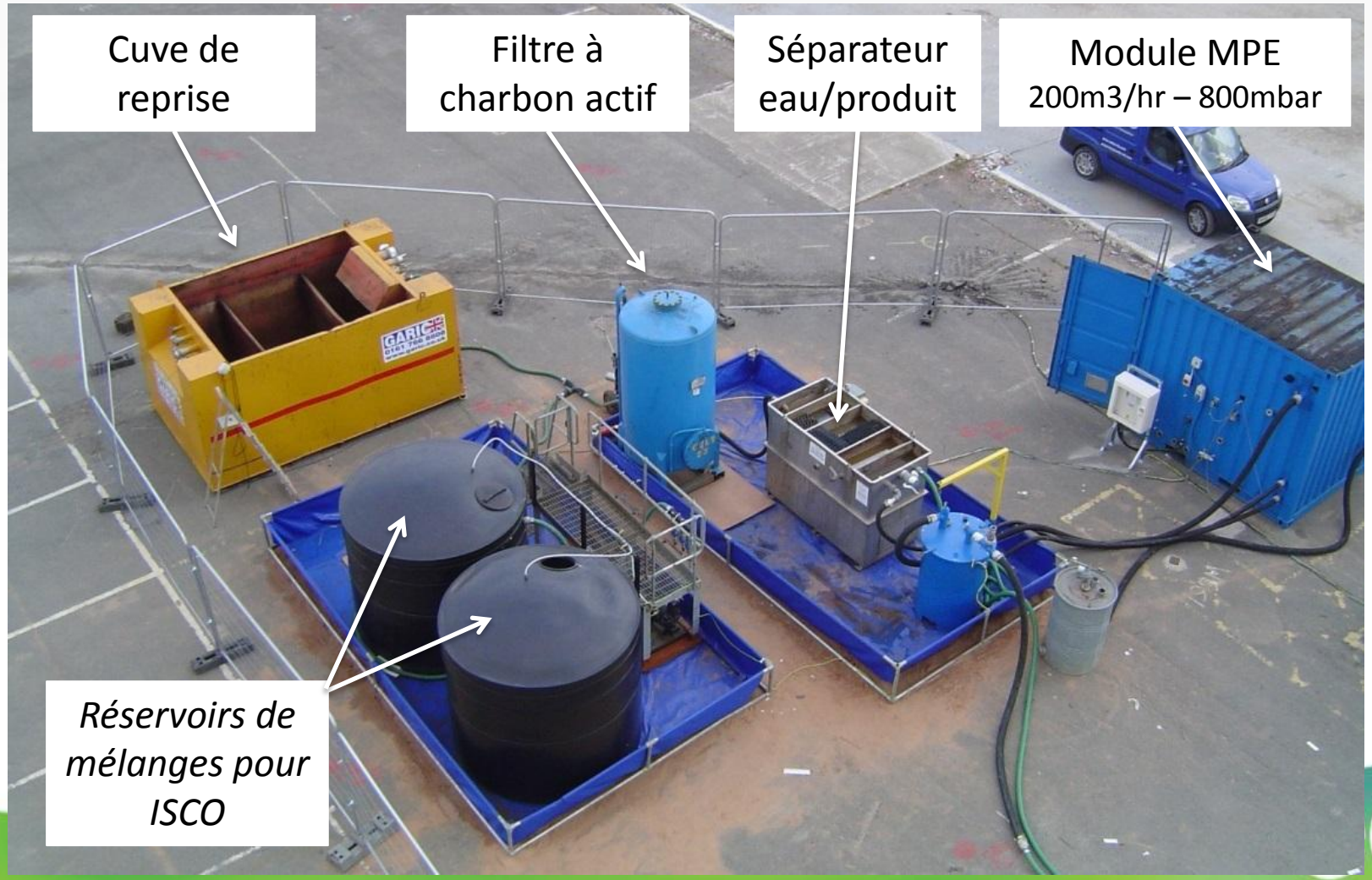
Phase 2 : Travaux de dépollution Pleine grandeur

- **Etape 1 : Multiphase extraction (MPE) pour récupération de la partie mobile (*120 puits - 4 unités*) + Essai pilote IES CO2**
- **Etape 2 : ISCO (*H2O2 activé*) pour pollution résiduelle**

ESSAIS PILOTES
Dimensionnement pleine grandeur

Essais pilotes - MPE

Unité MPE utilisée pour les essais pilotes



Essais pilotes - MPE

Objectifs des essais pilotes MPE

- Evaluation des rayons d'influence et dépression appliquées ;
  - Confirmation des espacements des ouvrages ;
  - Evaluation des taux d'extraction des volumes de pores ;
  - Evaluation du rabattement de nappe envisageable - pompage associé.

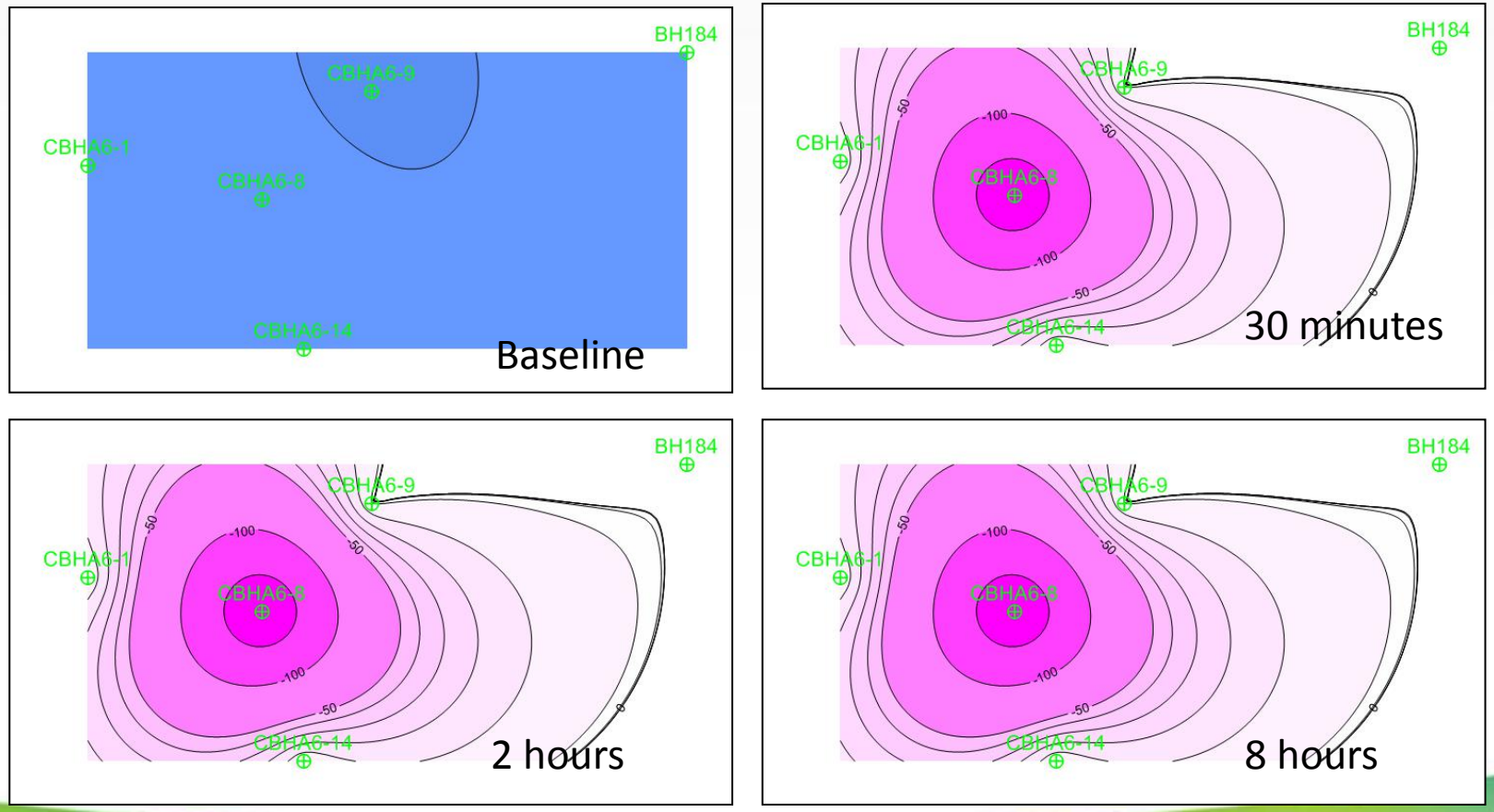
- Monitoring pendant les essais:
  - Nature, concentrations et évolution des polluants dans les eaux souterraines et dans les gaz du sol ;
  - Taux d'extraction des contaminants ;

- Caractérisation du produit en phase libre:

Essais pilotes - MPE

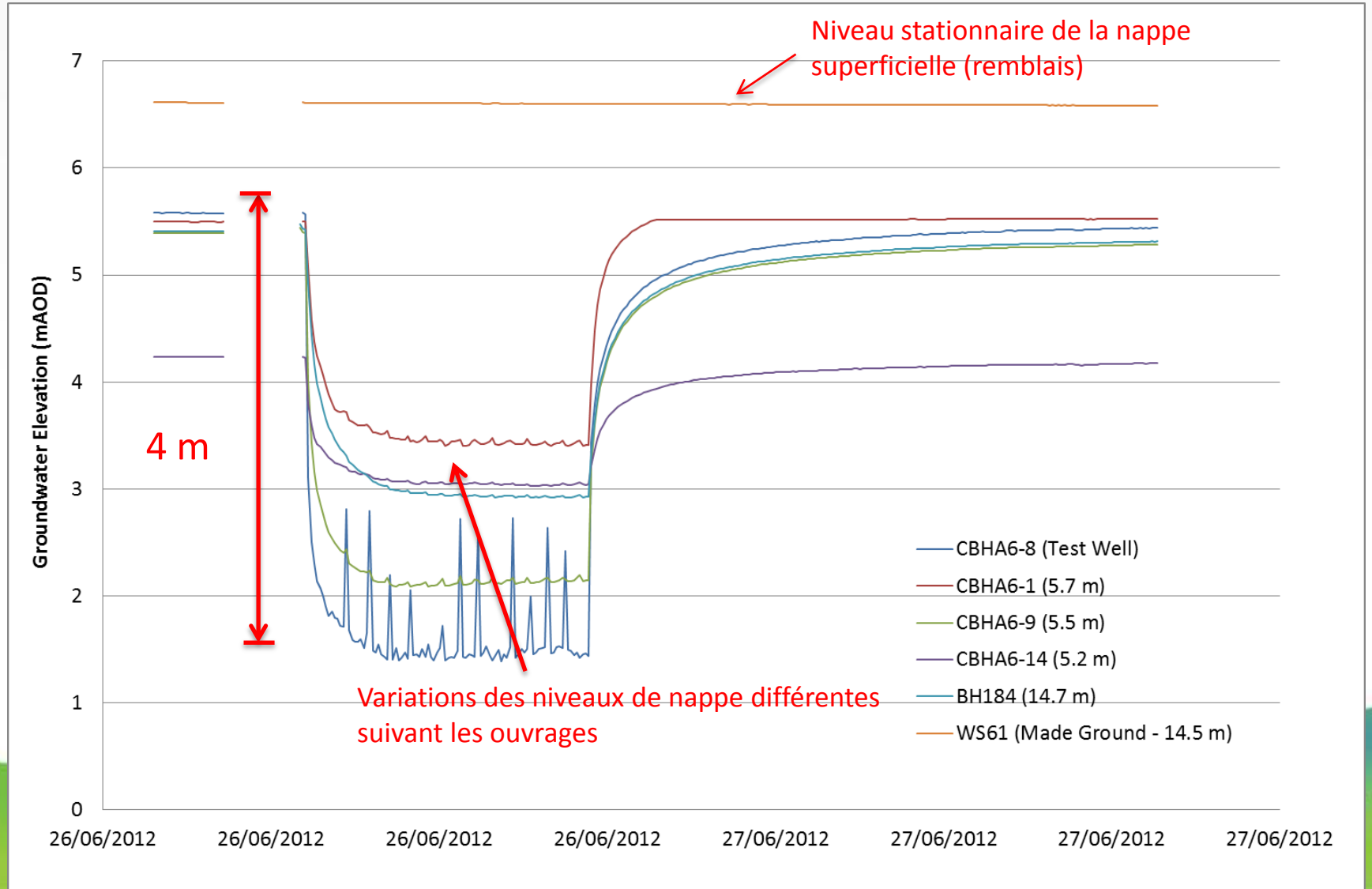
Essais d'influence de la dépression appliquée

Exemple d'un essai de suivi de mise en dépression d'un ouvrage



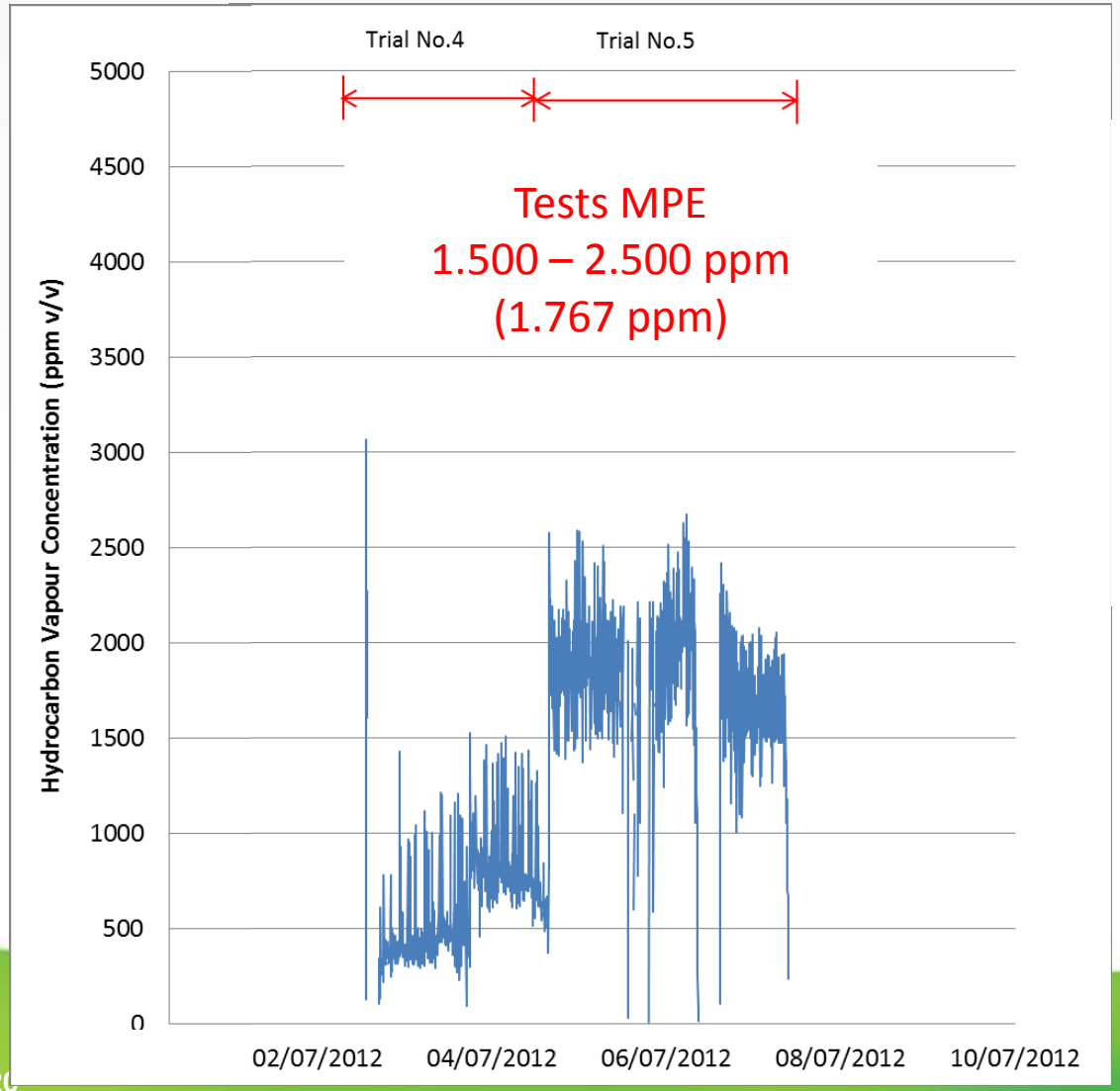
Essais pilotes - MPE

Essais de rabattement sur les ouvrages existants



Essais pilotes - MPE

Taux de récupération des COHV – phase vapeur



- Essais sur puits de courtes durée : quantification des concentrations en polluants collectés

- MPE Analyses en laboratoire sur échantillons :
  96.5 % - 97.5% de COHV

Essais pilotes - MPE

Conclusion des essais – évaluation des rendements

- Débit d'aspiration possible entre 81 et 191 m^3/h par puits
- Renouvellement de 17 à 22 volumes de pores par jour.

- **Rendements de récupération** en phase vapeur jusqu'à : **0,65 kg/h**

➔ Estimation d'un taux de récupération compris entre **10 et 200 kg/j** pour projet **pleine grandeur**

Essais pilotes – DNAPL

Caractérisation du produit en phase libre récupéré par MPE

- Récupération de produit DNAPL en phase libre

- Composition DNAPL de > 81 % COHV
  → principalement du TCE

Essais pilotes – Injection ISCO

Tests en laboratoire sur plusieurs oxydant

- plusieurs oxydants / persulfate, permanganate et peroxyde
- essais à différentes concentrations

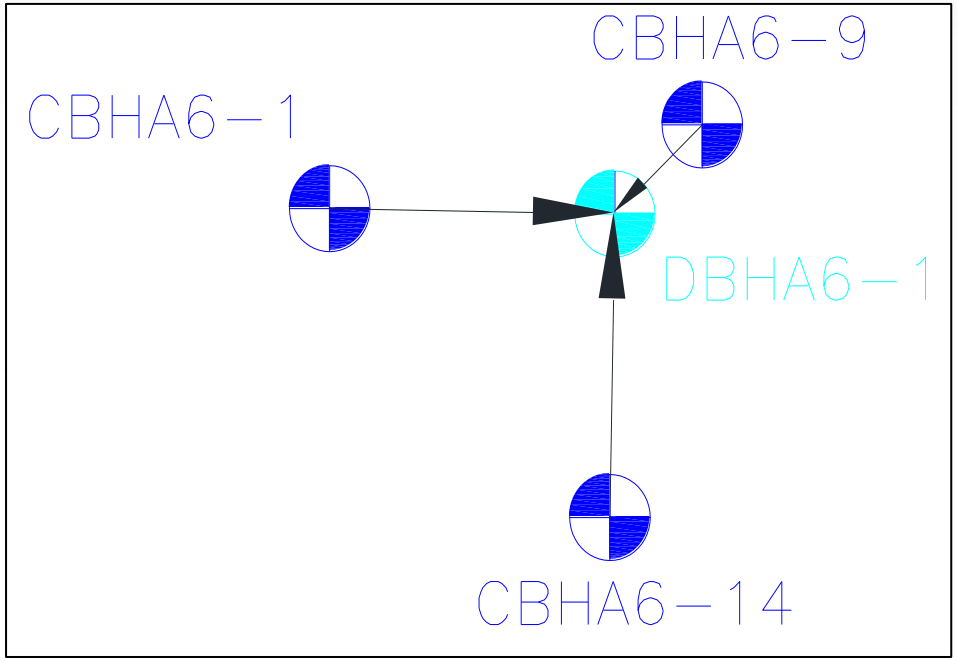
Essais pilotes sur site pour tests de l'oxydant choisi :
→ peroxyde activé par sulfate de fer

- Objectifs = Evaluation des rayons d'influence pour confirmation des espacements des ouvrages et diffusion de l'oxydant.

- Suivi des paramètres :
  - Potentiel RedOx ;
  - Variation des concentrations en polluants dissouts ;
  - Oxygène dissout ;
  - Température ;
  - pH.

Essais pilotes – Injection ISCO

Design de l'essai pilote d'Injection d'oxydant



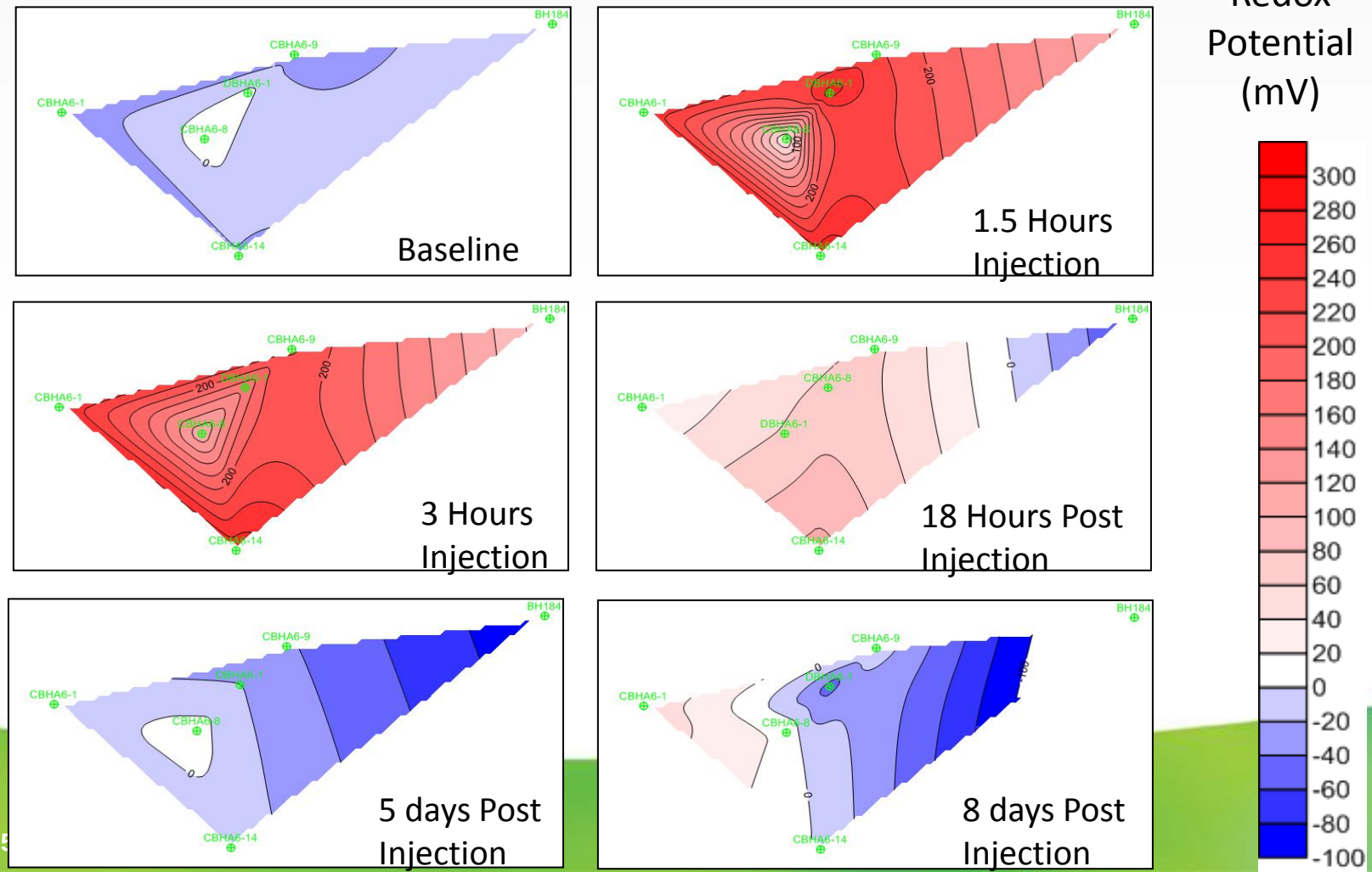
3 puits d'injection / contrôle
1 puits de pompage

→Injection assurant maîtrise de l'oxydant associé à pompage permettant contrôle des écoulements

Essais pilotes – Injection ISCO

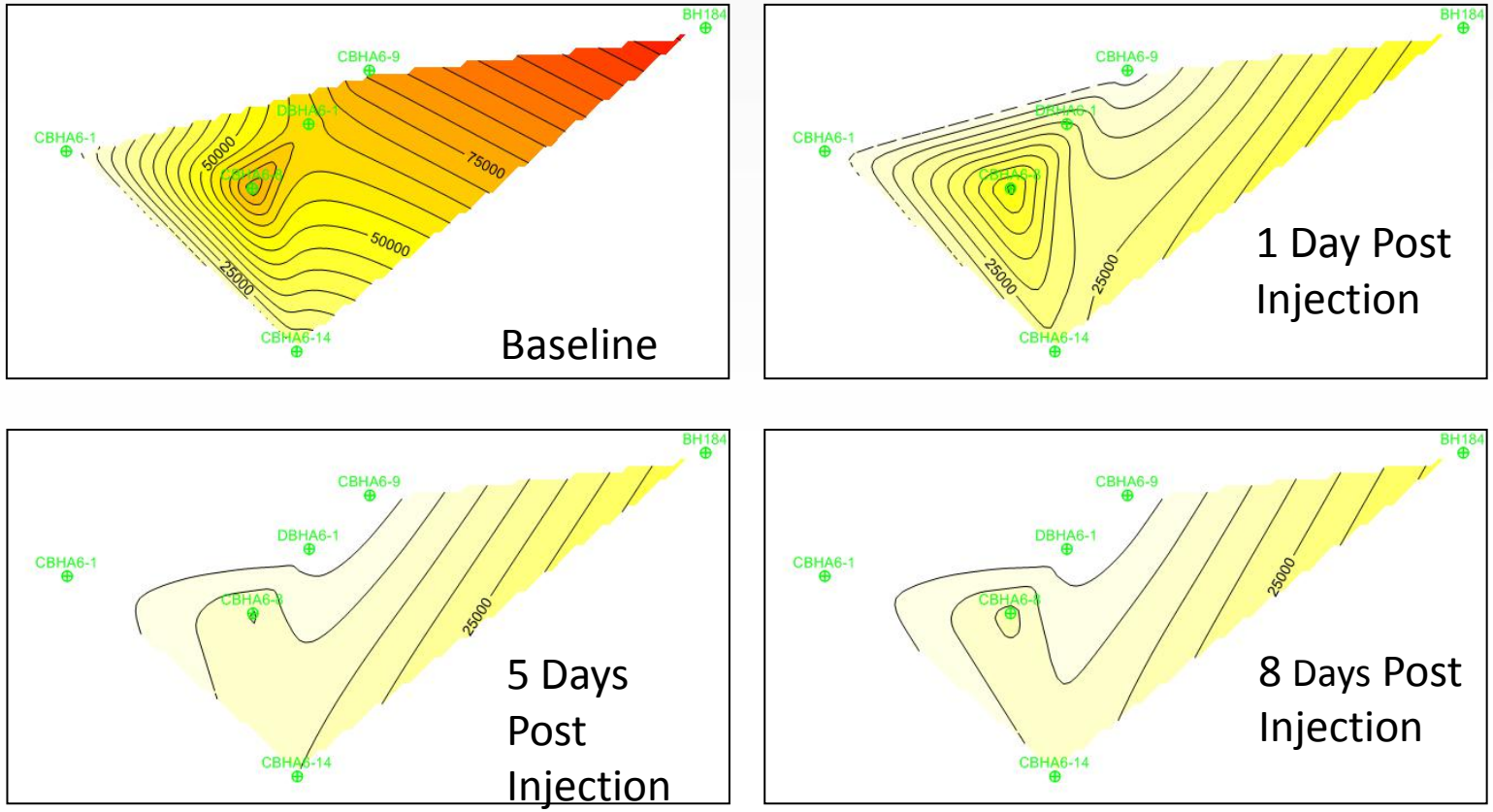
Injection : évolution du Redox – évaluation des zones d'influence

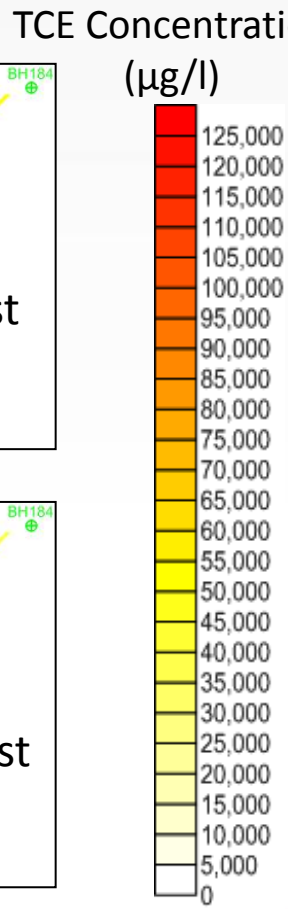
Exemple d'un essai de suivi d'injection – suivi potentiel RedOx



Essais pilotes – Injection ISCO

Injection : Suivi de la concentration en phase dissoute





➔ **Réduction immédiate des concentrations entre 55 et 95 %**

Travaux de dépollution en phase pleine grandeur

Traitement pleine grandeur

Dispositif de traitement pleine grandeur

- 121 puits MPE
- 4 unités d'extraction MPE
- 2 unités d'injection

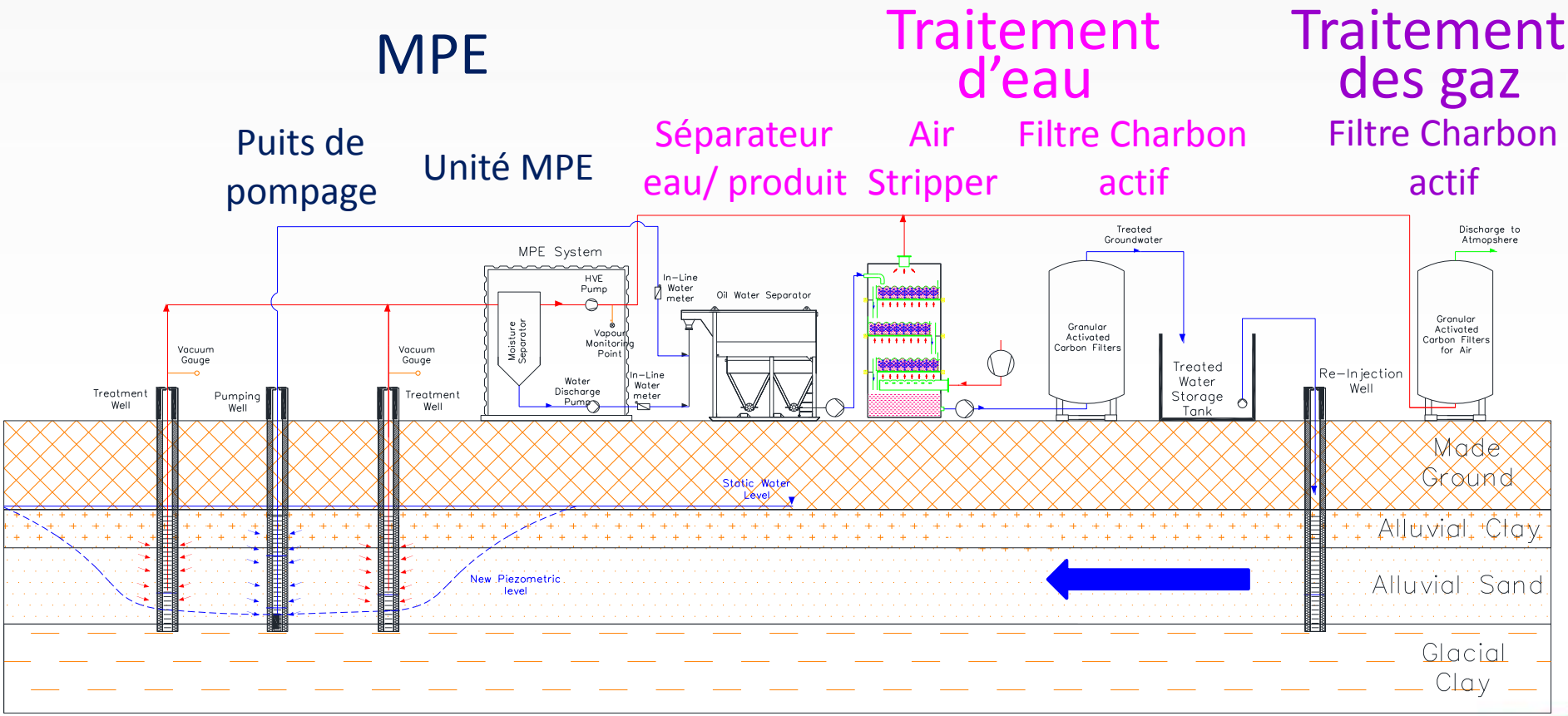
Traitement pleine grandeur - MPE

Dispositif MPE pleine grandeur

- Mise en place de 4 unités MPE pour assurer :
  - récupération des composés organiques volatiles dans remblais et les alluvions
  - récupération des contaminants sous forme vapeur/dissoute dans les eaux souterraine ainsi que le DNAPL
- Monitoring continu avec FID des polluants extraits
- Optimisation régulière du système avec focus sur zones plus productives.

Traitement pleine grandeur - MPE

Dispositif MPE pleine grandeur - Design



Traitement pleine grandeur - MPE

Dispositif MPE pleine grandeur

Points clés :

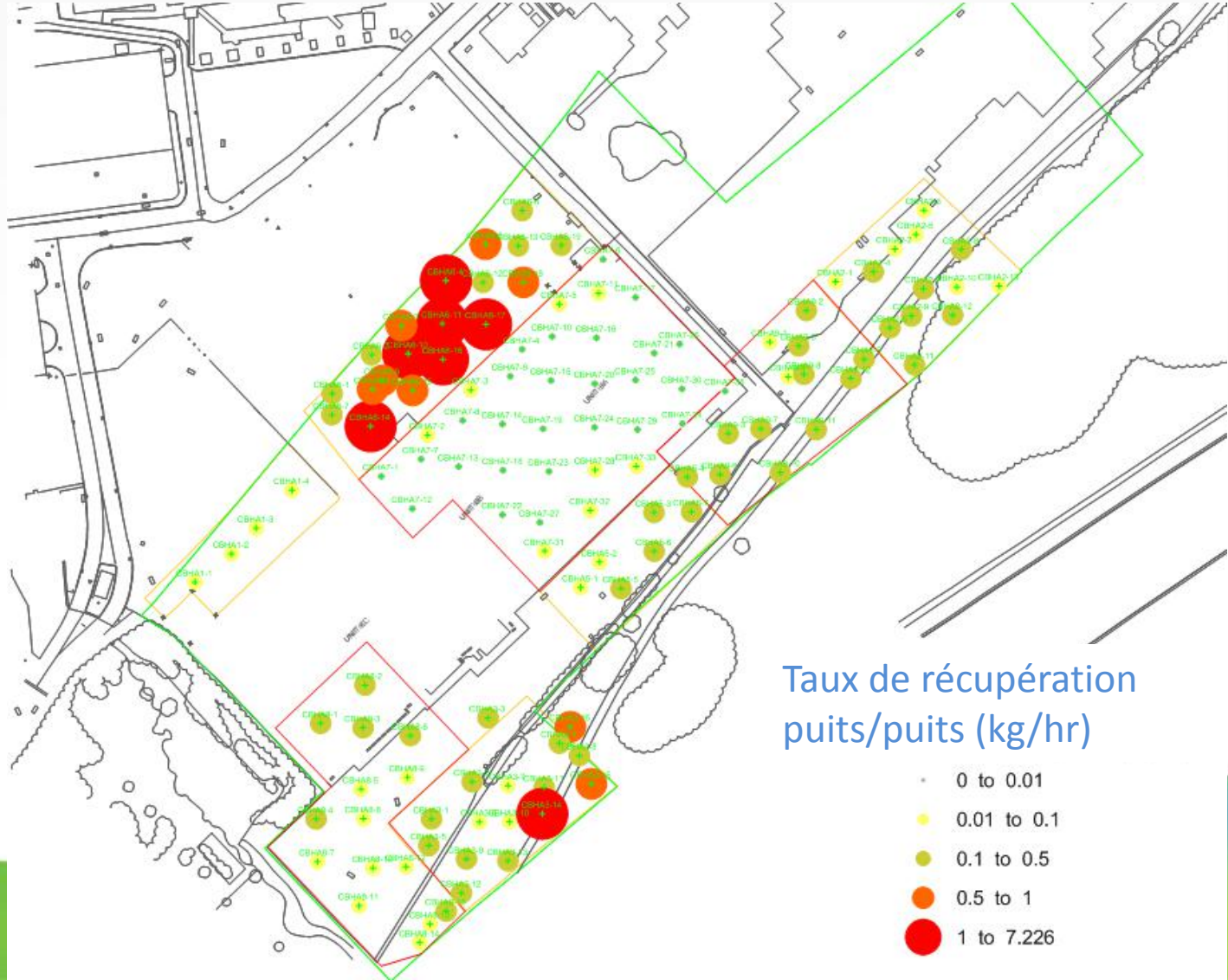
- Performance du système
- Réutilisation de 100 % de l'eau pompée
- Monitoring en continu
- Fonctionnement 24h/24 et 7j/7
- Taux de fonctionnement > 90 %

- Maintenance quotidiennes et optimisation régulières du système
- Equipe projet en permanence sur site
- Travaux réalisés avec rigueur QHSE

Traitement pleine grandeur - MPE

Taux de récupération - Suivi pour optimisation du process :

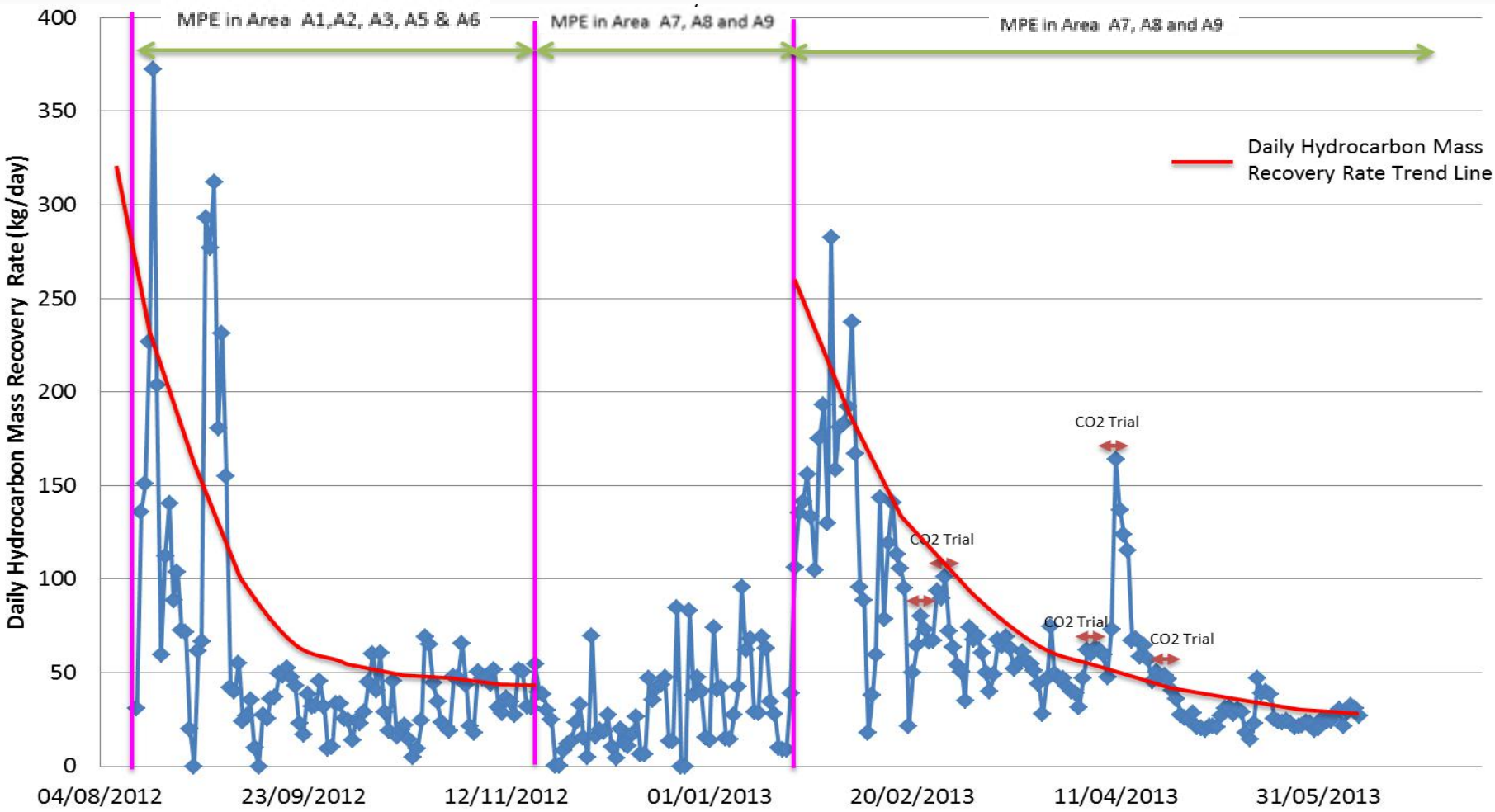
- mesures puits / puits de la concentration
- Ouvertures/ fermetures ciblées



Traitement pleine grandeur - MPE

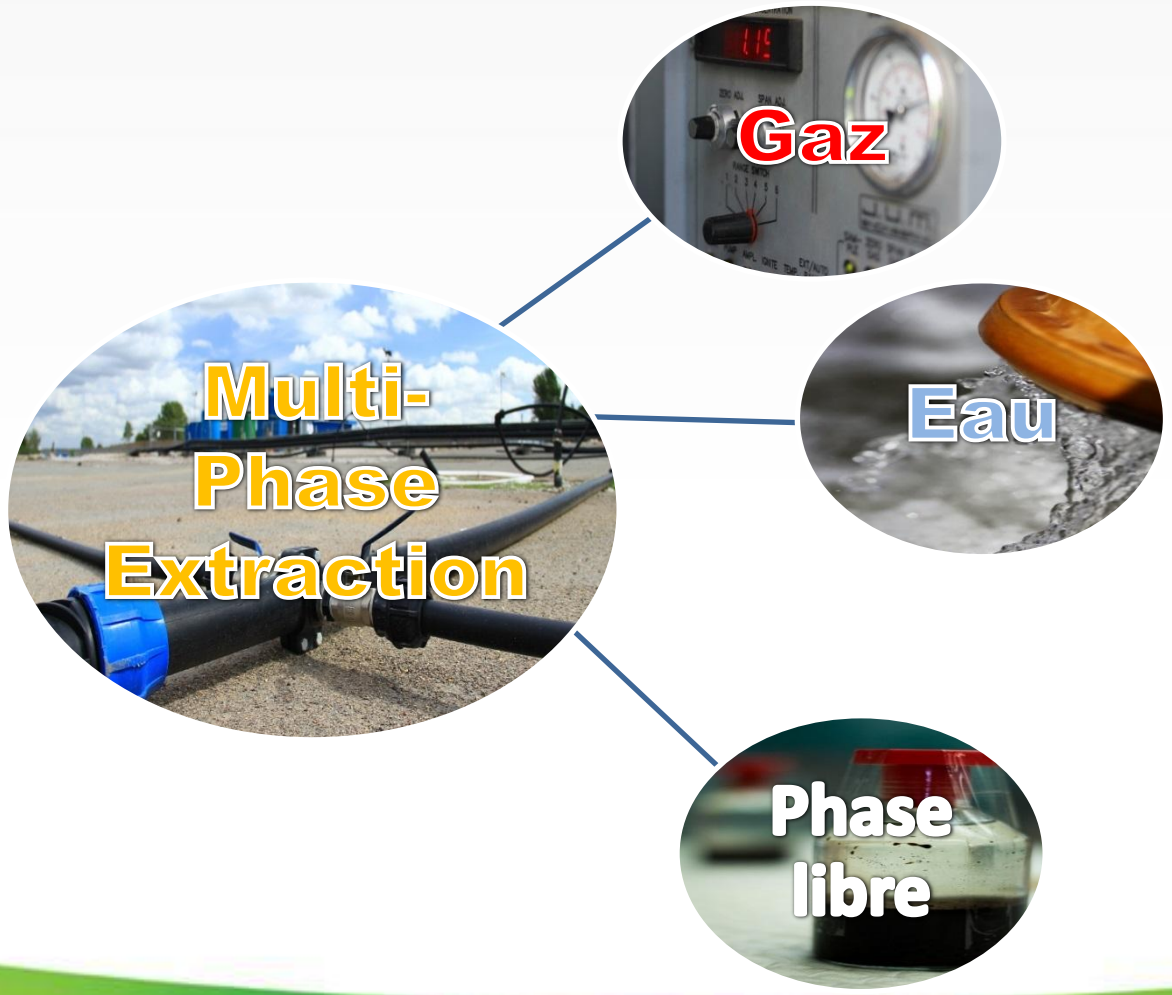
Rendements de récupération journaliers des COHV – phase vapeur

→ Evolution progressive / secteur avec optimisations ciblées



Traitement pleine grandeur - MPE

Des résultats !



- Plus de 5,4 M m^3 d'air traité et 7,5 t de COHV récupérés

- Plus de 46 M litres pompés, traités et réinjectés
- Et environ 7 tonnes de COHV récupérés

- Récupération d'environ 2,7 tonnes de DNAPL

Essai pilote d'injection sursaturée en CO_2

Traitement pleine grandeur – ESSAI IES CO2

Essais pilotes d'injection d'eau sursaturé en CO2 :

→ Objectif : optimisation des rendements de récupération

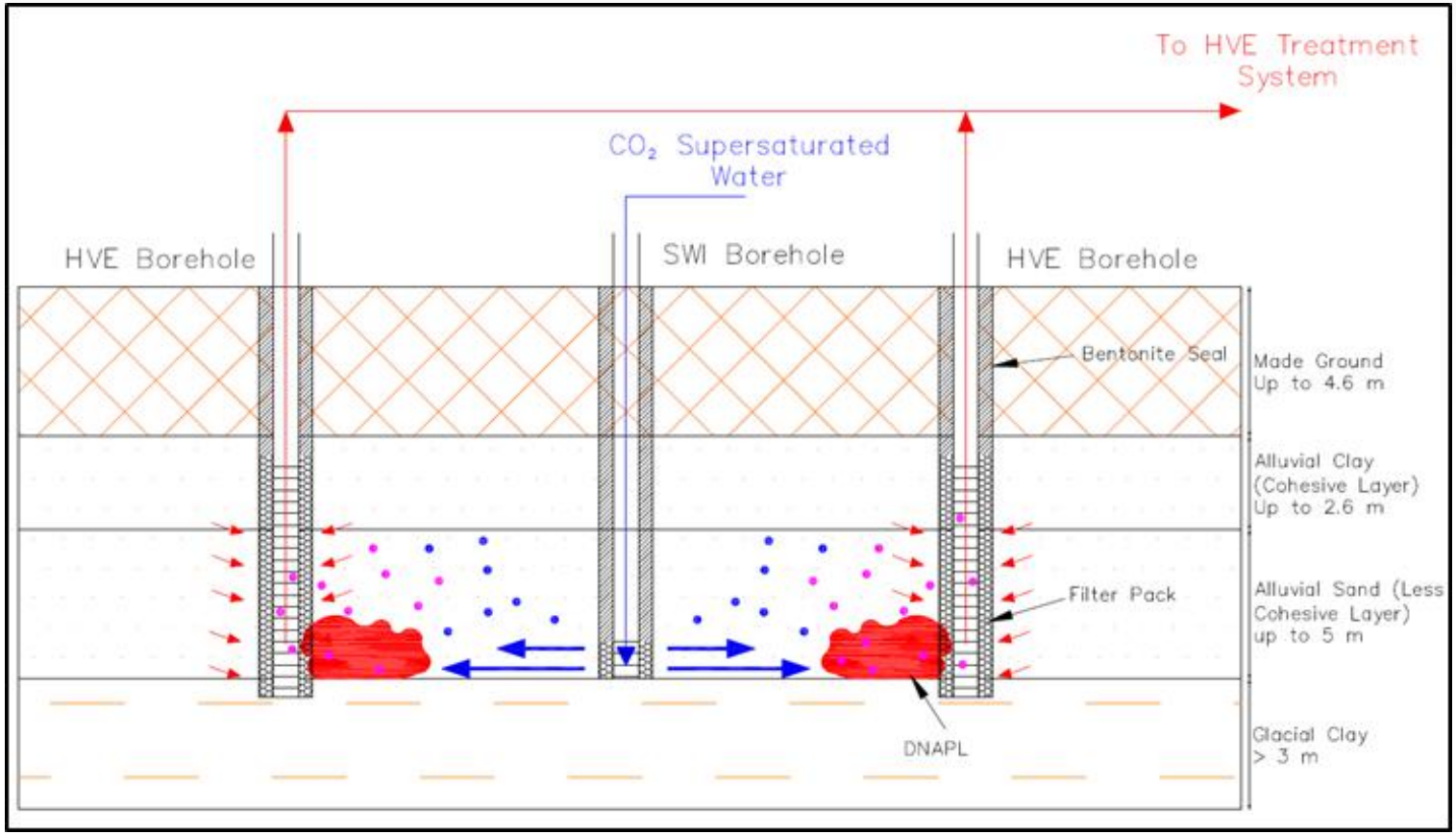
Utilisation des propriétés connues du CO2 :

- **Volatilisation et mobilisation de produit en phase libre mobile ou non mobile**
- **Capacité à libérer des bulles fines progressivement**

→ Premier essai pilote d'IES CO2 de terrain en Europe

Traitement pleine grandeur – ESSAI IES CO2

Principe de la méthodologie



Traitement pleine grandeur – ESSAI IES CO2

Dimensionnement de l'essai

MPE :

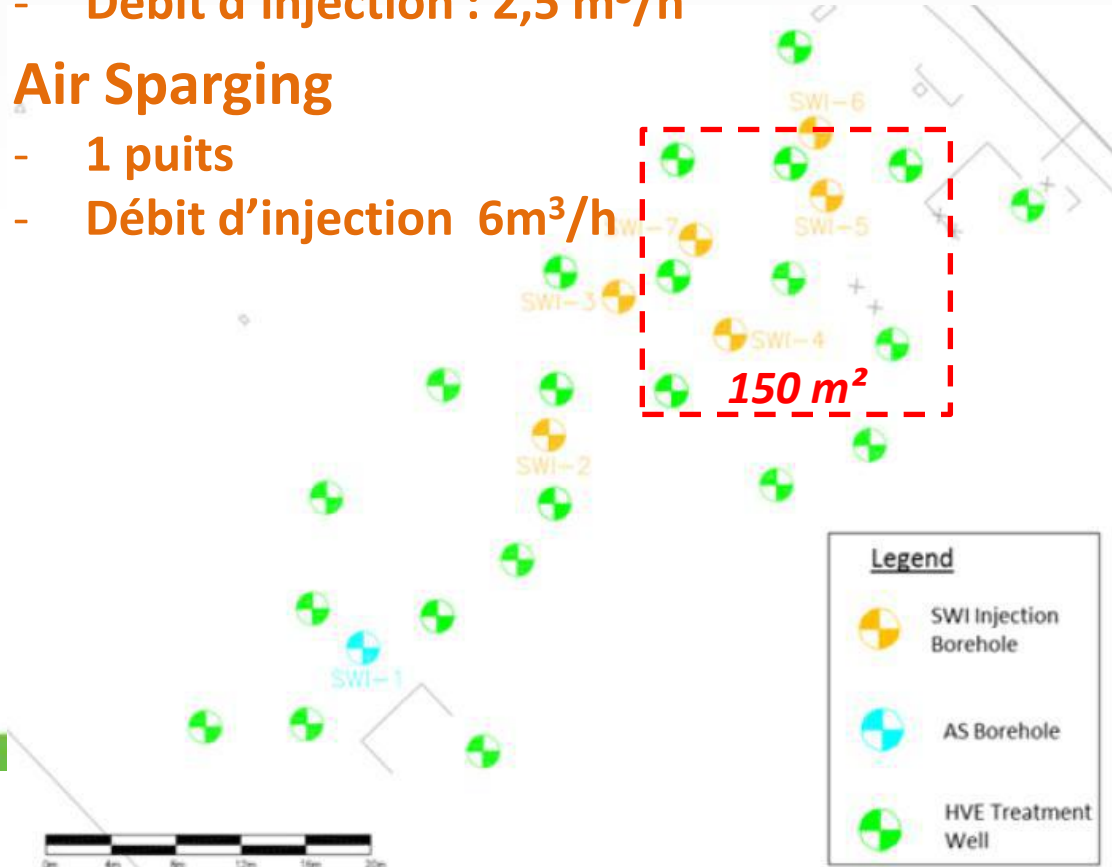
- 7 puits
- Débit d'extraction 500 m³/h

IES CO2

- Injection dans 1 puits
- [ ]° d'injection de 1,5 g/l puis 2,8 g/l
- 2-3 campagnes sur 2-3 jours
- Durée injection : pulses 2 à 6 h
- Débit d'injection : 2,5 m³/h

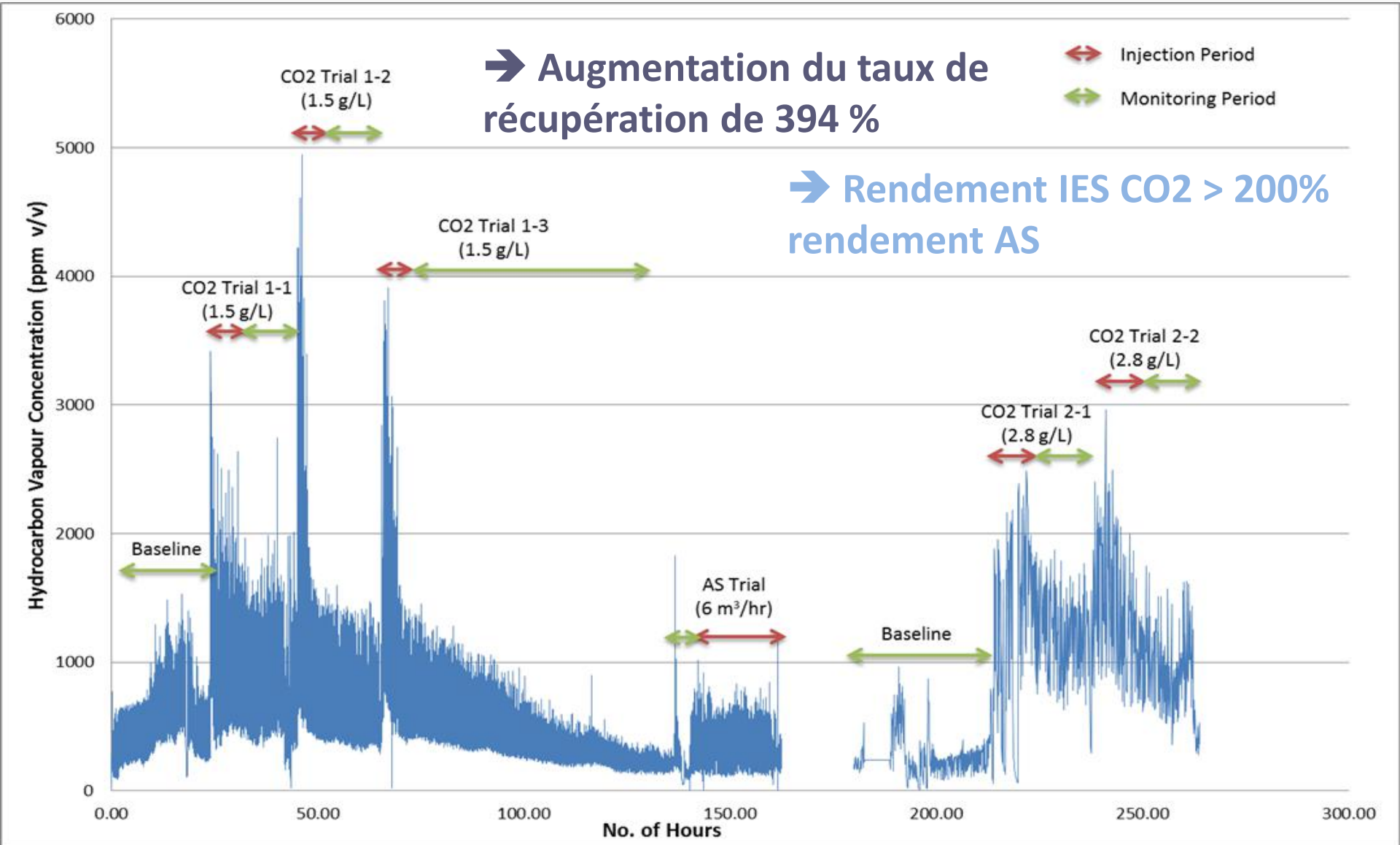
Air Sparging

- 1 puits
- Débit d'injection 6m³/h



Traitement pleine grandeur – ESSAI IES CO2

Taux de récupération des polluants



Traitement pleine grandeur – ESSAI IES CO2

Bilan massique des quantités de polluants volatils récupérées par MPE

Essai	Puits	Baseline (kg/J)	Test A (kg/J)	Test B (kg/J)	Test 3 (kg/J)
1er essai d'injection de CO_2 (1.5 g/ L)	SWI 4	6.94	18.27	19.78	15.98
2ème essai d'injection de CO_2 (2.8 g/ L)	SWI 4	4.19	13.68	20.69	N/A
Air Sparging (6 m^3/h)	SWI 1	8.17	11.02	N/A	N/A

➔ **Augmentation significative du taux de récupération des polluants par MPE**

➔ **Amélioration >> Air sparging combiné à MPE**

Oxydation chimique in-situ

Traitement pleine grandeur – ISCO

Efficacité du traitement par ISCO – H_2O_2 + $FeSO_4$

- **Traitement radical et efficace** par oxydation à l'aide de peroxyde d'hydrogène activé
- **Injection ciblée** suivant distribution des concentrations résiduelles en COHV existantes
- **Monitoring en continu** pour suivi de la distribution adaptée de l'oxydant dans l'aquifère
- **Modélisation des résultats obtenus**

Traitement pleine grandeur – ISCO

Dispositif de traitement pleine grandeur et ISCO

System MPE

Traitement d'eau

Traitement des gaz

Dispositif ISCO

Dispositif pompage

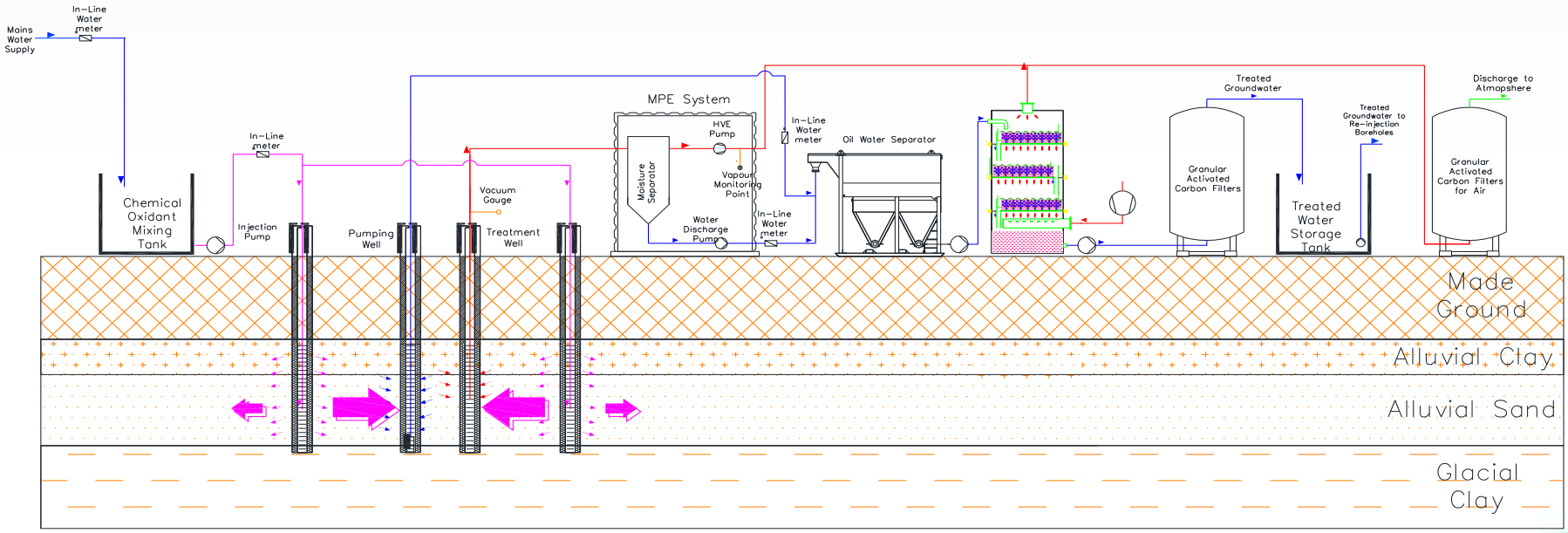
Unité MPE

Séparateur eau / produit

Air Stripper

Filtre Charbon actif

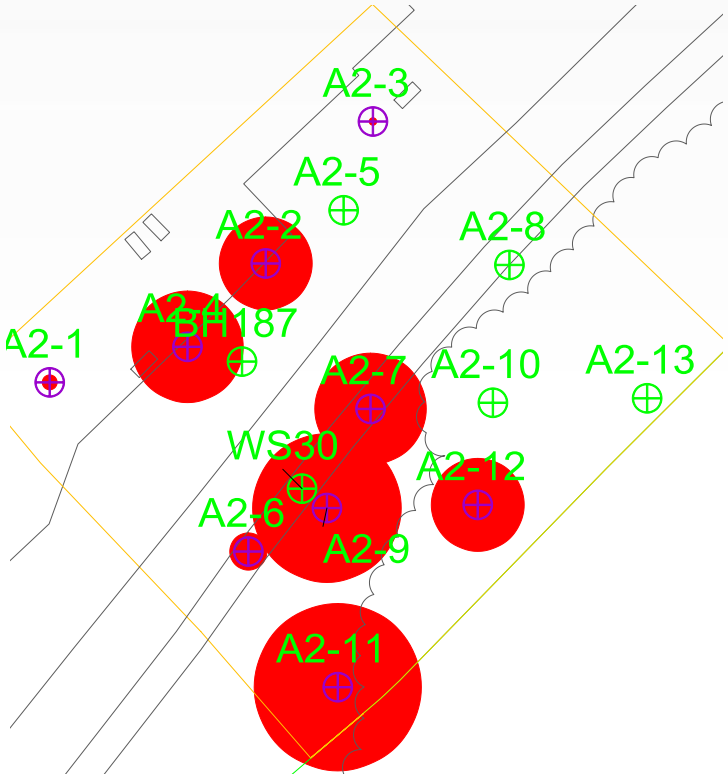
Filtre Charbon actif



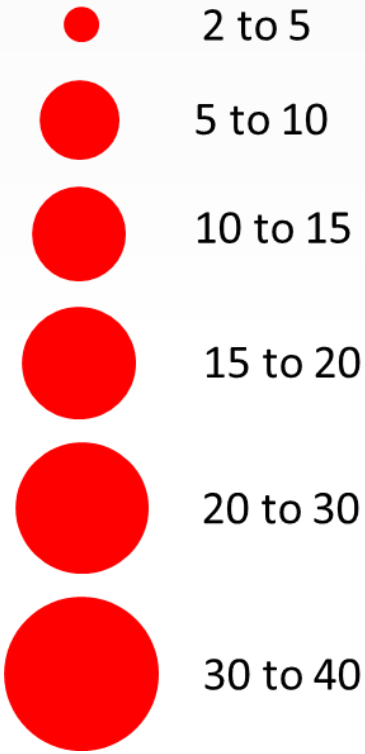
Traitement pleine grandeur – ISCO

Distribution et volumes de Peroxyde d'Hydrogène et Sulfate de Fer injectés

→ Environ 600 m3 d'oxydant injecté



Volume H2O2 injecté

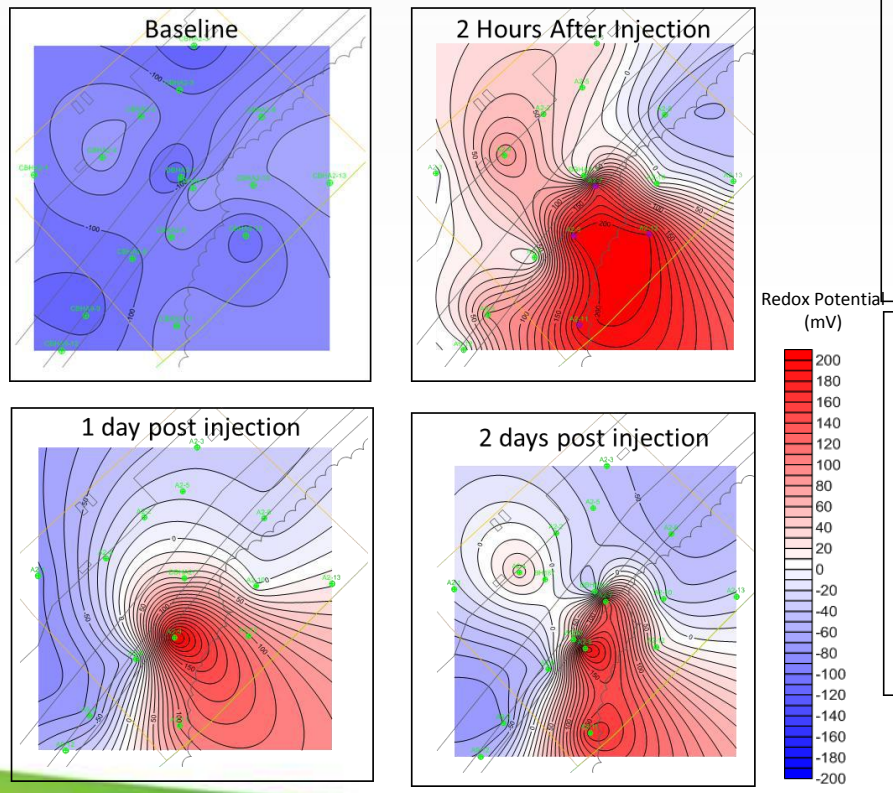


Traitement pleine grandeur – ISCO

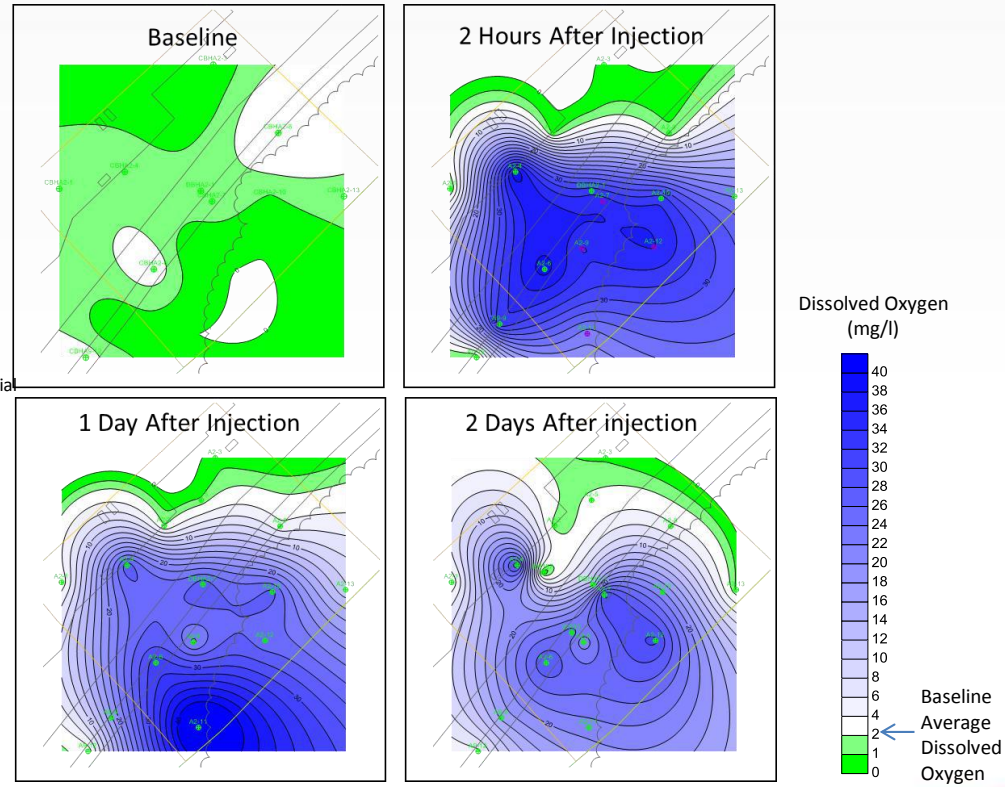
Injection optimisée d'oxydant :

➔ Monitoring pour validation de la distribution de l'oxydant injecté en vue d'adapter si besoin les injections

Groundwater Redox Potential Prior to and After Chemical Oxidant Injection Works in Treatment Zone A2



Groundwater Dissolved Oxygen Before and After Chemical Oxidant Injection Works

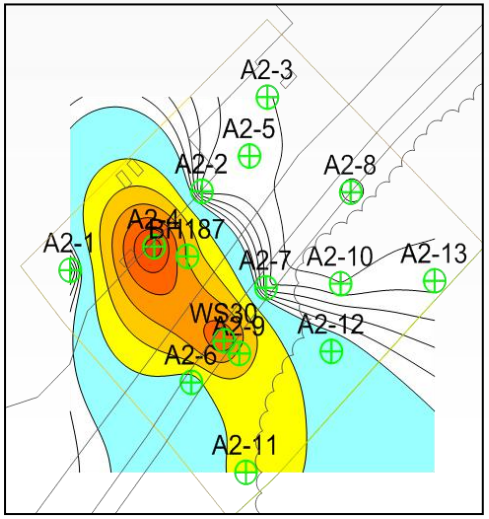


⊕ - Injection Borehole ⊕ - Monitoring Borehole

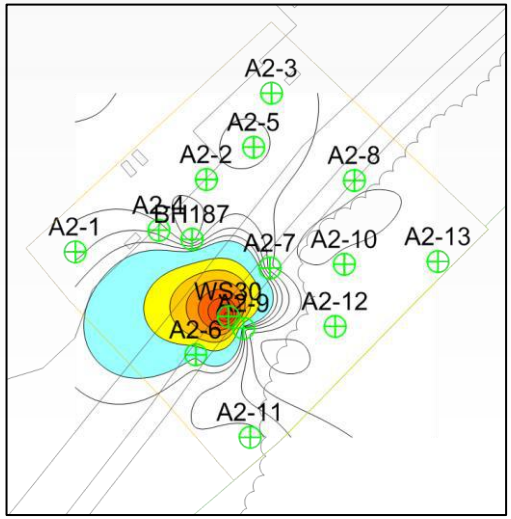
Traitement pleine grandeur – ISCO

Evolution de la concentration en COHV dissous dans la nappe

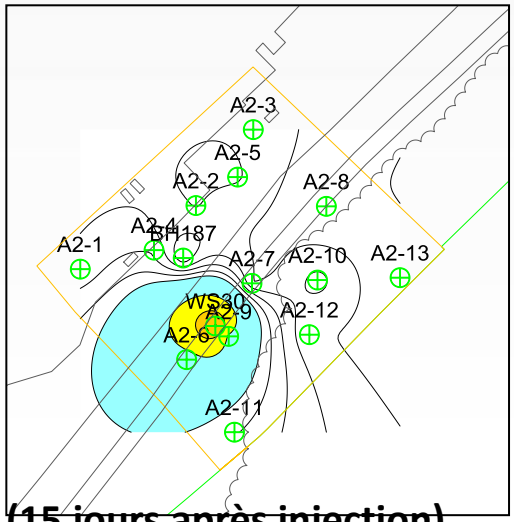
Exemple de suivi sur une zone du site



(Baseline)



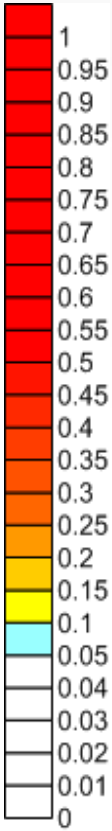
(4 jours après injection)



(15 jours après injection)

Solubilité effective

(*Fraction*)



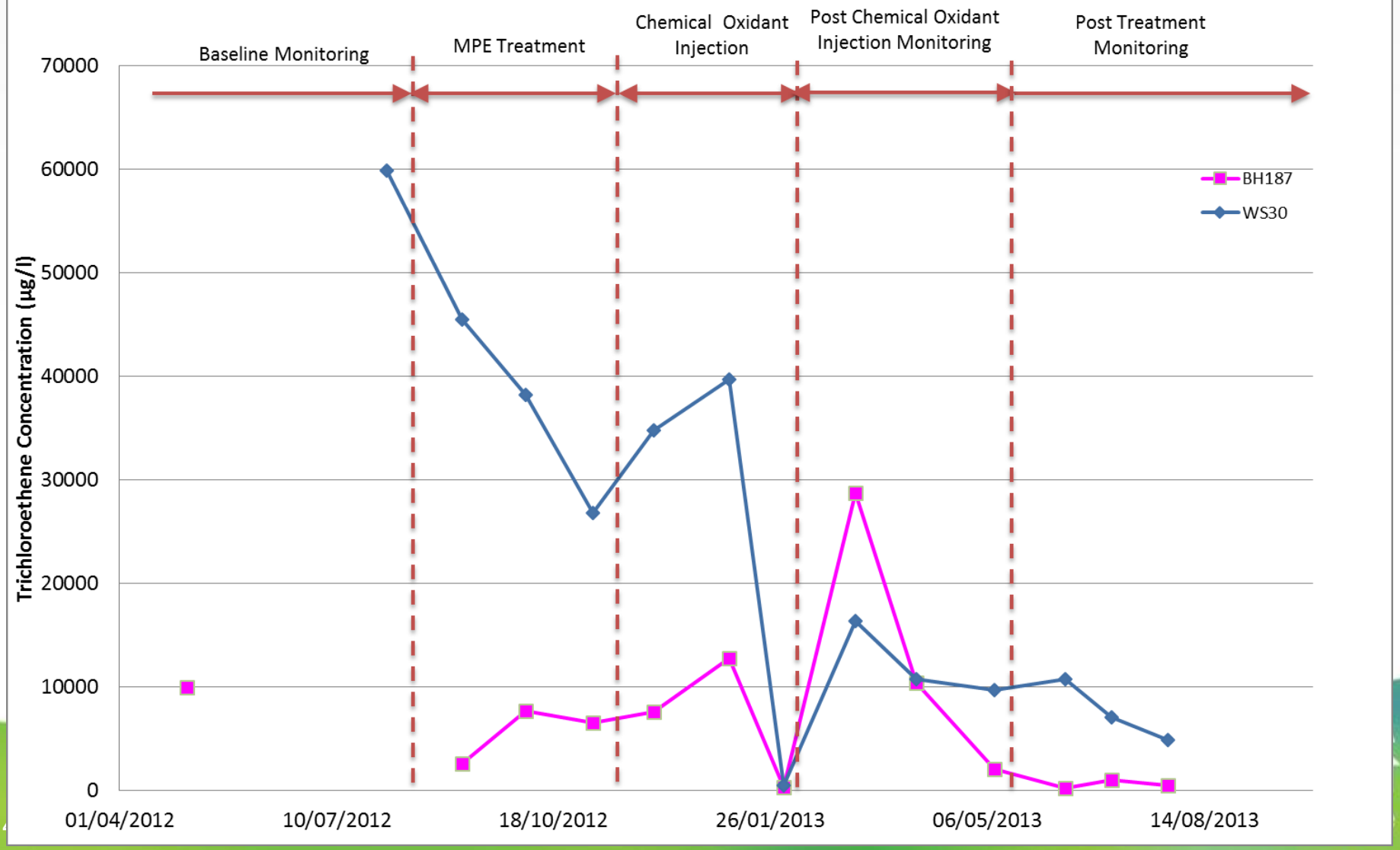
⊕ Puits d'injection et/ou de Monitoring

➔ **Abattement de 98 % des concentrations en COHV**

➔ **Nouvelles injection requises sur certaines zones**

Traitement pleine grandeur – ISCO

Evolution des concentrations en TCE sous phase dissoute dans la nappe



BILAN ET CONCLUSIONS
Projet de réhabilitation

BILAN ET SYNTHESE DU PROJET

- Atteinte des objectifs dans les délais impartis avec respect du budget

- Engagement, réactivité et support technique pour validation de l'administration

- Performance du système mis en oeuvre

- Récupération au total d'environ 17 tonnes de polluants

IES CO_2 – BILAN ET PERSPECTIVES

ESSAI IES CO2 – BILAN ET PERSPECTIVES

➔ **Succès de l'essai pilote terrain réalisé**

➔ **Augmentation considérable du taux de polluants récupérés sous forme vapeur (jusqu'à 394 %) et bien supérieure que l'air sparging (> 200 %)**

➔ **<u>Perspectives</u> :**

- **Augmentation des taux de récupération**
- **Diminution des délais de réhabilitation donc des coûts**

- **Poursuite des recherches : augmentation du taux de récupération de produit en phase libre DNAPL ou LNAPL : validation de rendements par essais pilotes (labo ou terrain)**

Merci de votre attention, des questions ?

www.biogenie-env.fr

Biogénie Europe SAS

Biocentre de Vert le Grand
Chemin de Braseux
91540 Echarcon - Bp 69
Tél. : +33 1 64 56 78 00

Biocentre de Château-Gaillard
355 En Belle Lièvre - RD 77
01500 Château-Gaillard
Tél. : +33 4 74 46 35 80

Sécurité sans compromis

afaq ISO 14001 Environnement AFNOR CERTIFICATION

SERVICE CERTIFIÉ LNE SITES ET SOLS POLLUÉS NF X 31-620-4 EXÉCUTION DES TRAVAUX DE RÉHABILITATION

NORMANDIE MASE

POLLUTEC 2014

jleplat@biogenie-env.com

eG enGlobe

Une division d'EnGlobe Corp

Biogénie