



# GOLDER

**pollutec**  
ACTIVATEUR DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

## Réduction du Chrome VI: Essais de faisabilité en laboratoire



12 OCTOBRE 2021 - CHRISTOPHE BARNIER & DAVID SETTE



**GOLDER**  
MEMBER OF WSP

# Présentation du site

- Ecoulement accidentel d'une tonne de dichromate
- Géologie = craie : Double porosité (matricielle et fracture)
- Aquifère à 30 m de profondeur
- Panache de chrome hexavalent (Cr VI) en profondeur

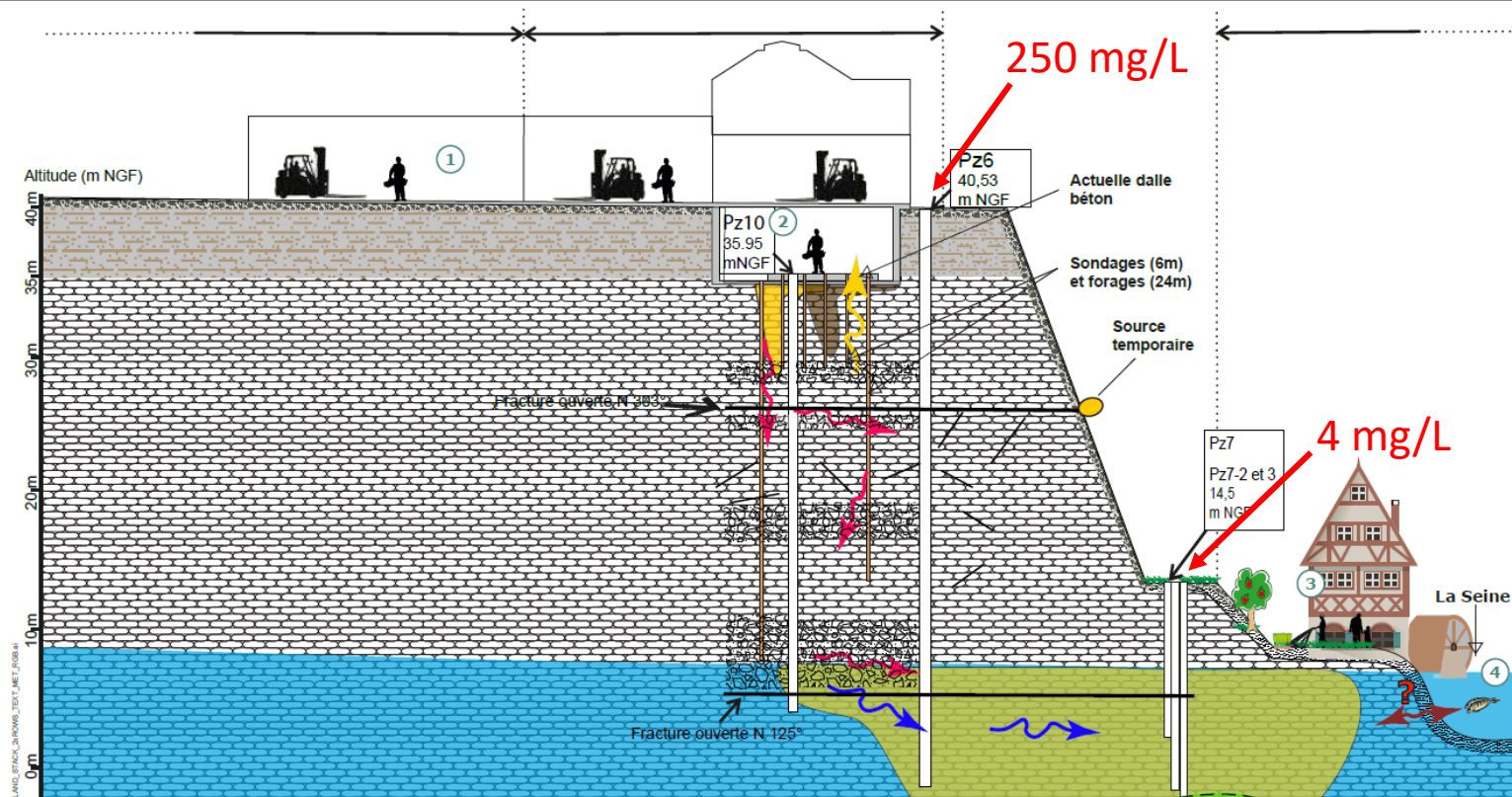
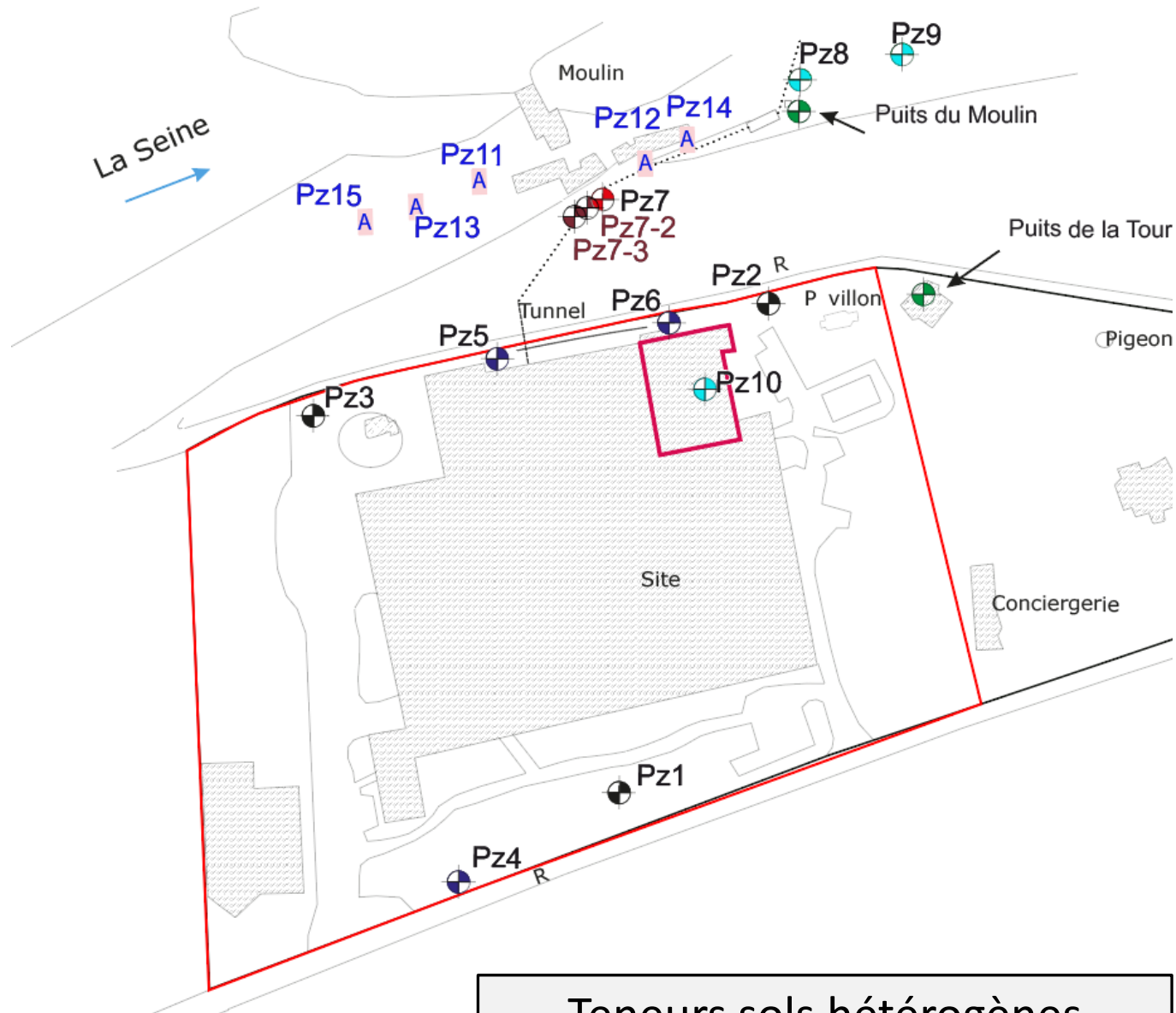


Schéma conceptuel du site – 2020

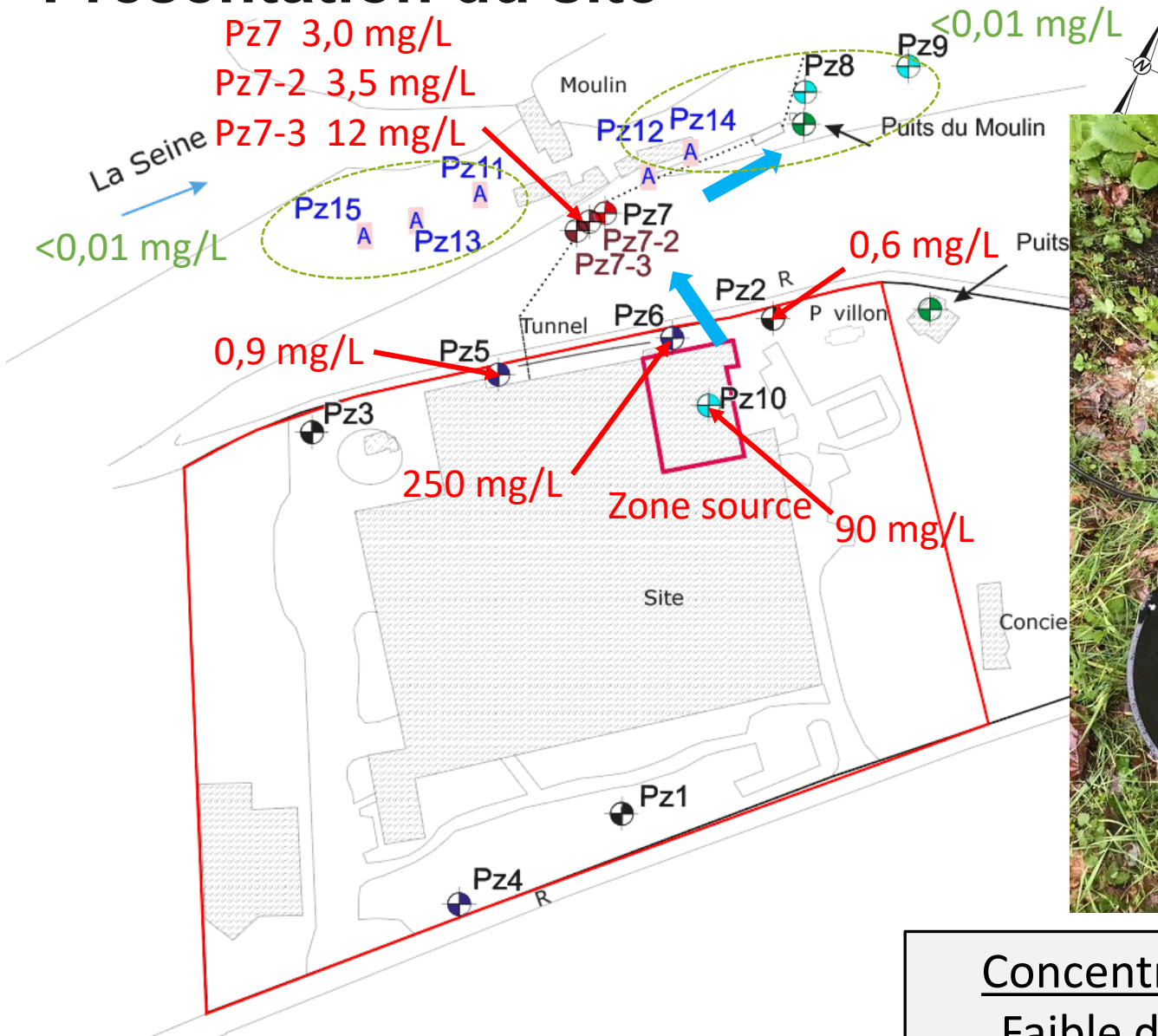
# Présentation du site



Teneurs sols hétérogènes  
0 à 11 000 mg/kg



# Présentation du site

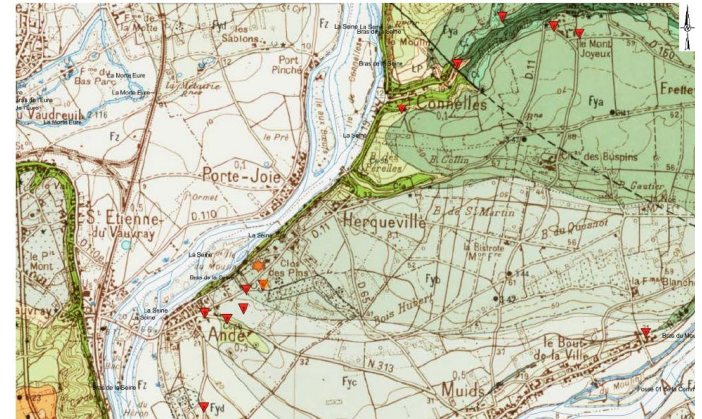
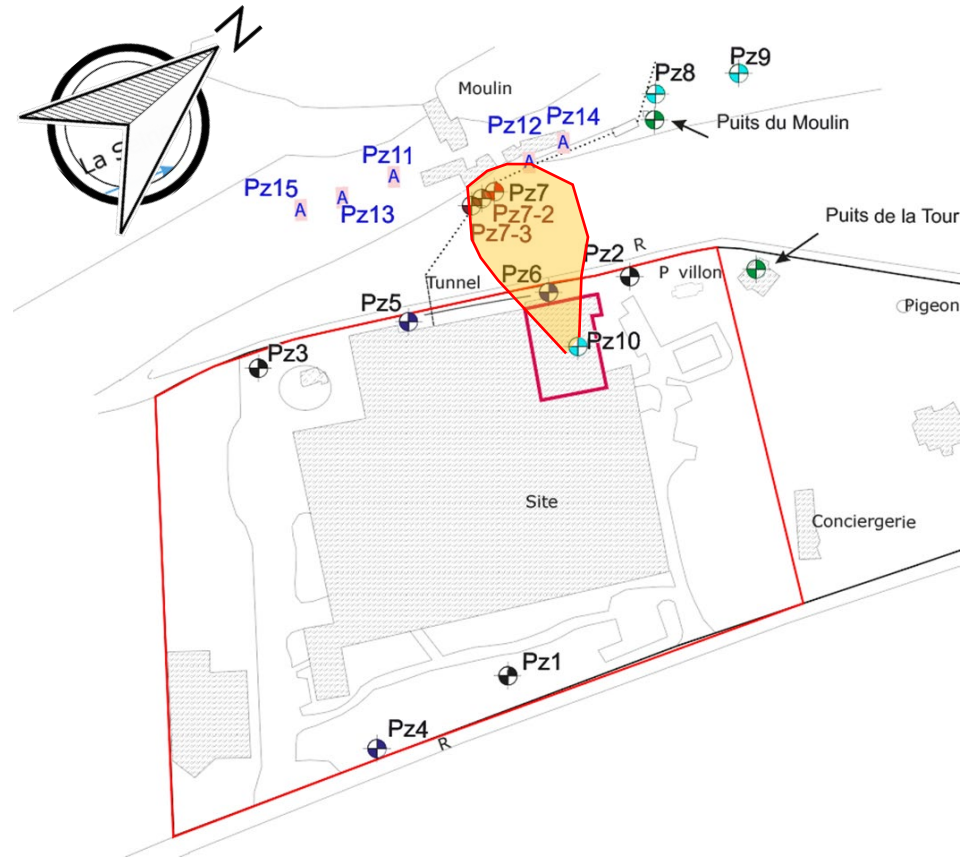


Concentrations dans les ES  
Faible dispersion latérale  
Dispersion verticale

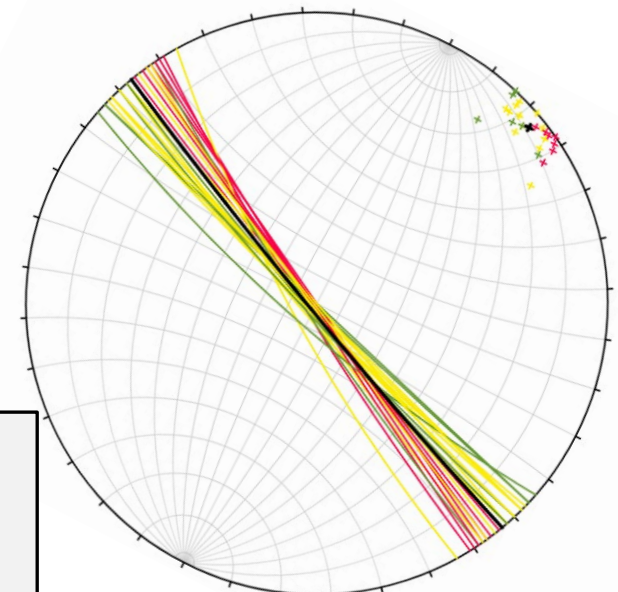
Campagne d'investigations – Janvier 2021

# Présentation du site

Réalisation d'une étude géostructurale :  
Mesure des pendages au niveau des affleurements à proximité



L'orientation des fracturation locale est  
cohérente avec la fracturation régionale et  
explique le sens d'écoulement des ES

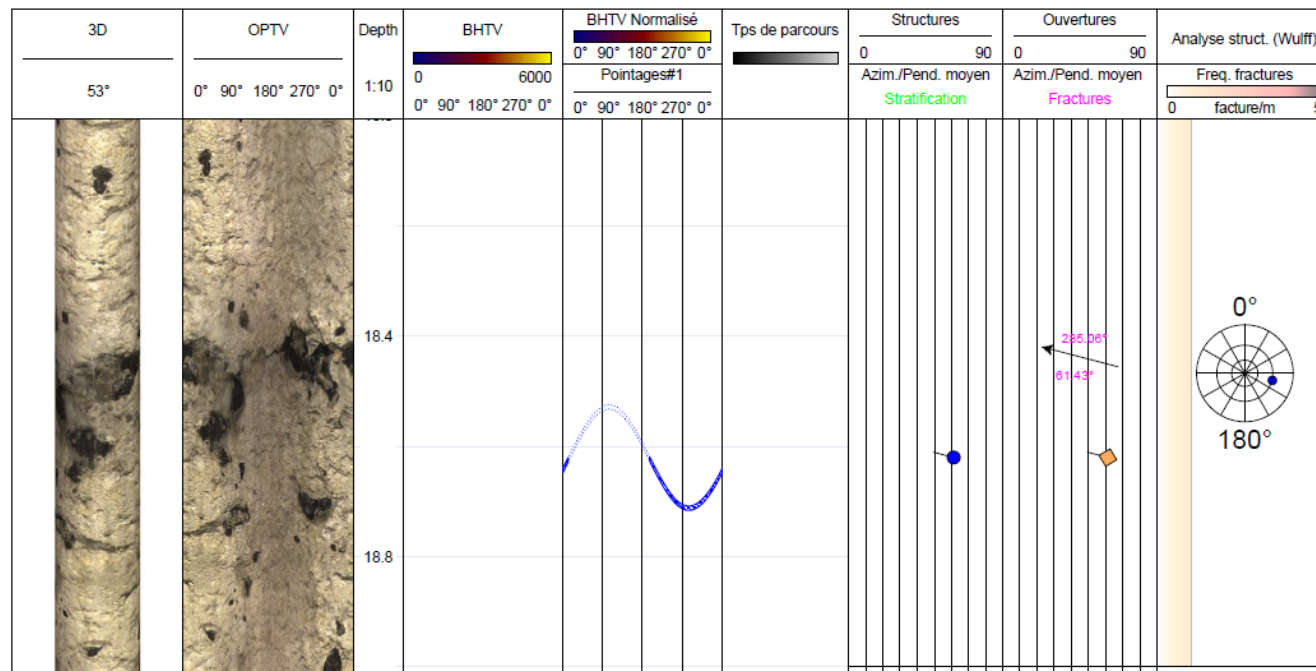


Canevas de Wulff

# Présentation du site

## Réalisation d'une diagraphie optique/acoustique dans la zone source

- Observation de fractures à plusieurs profondeurs
- Observation d'une fracture ouverte majeure orientée 113°N à 27 m de profondeur

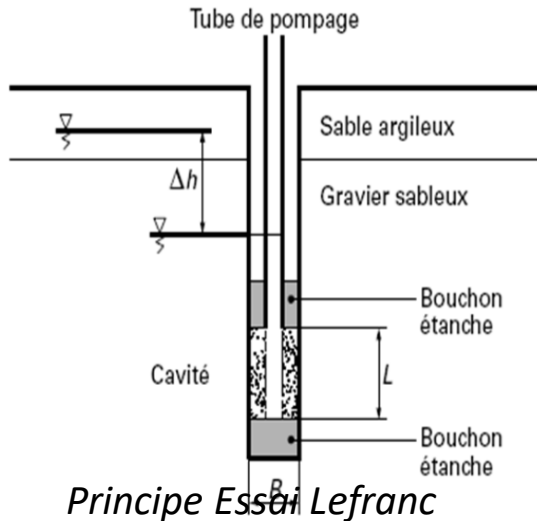


### Diagraphie du sondage Pz10

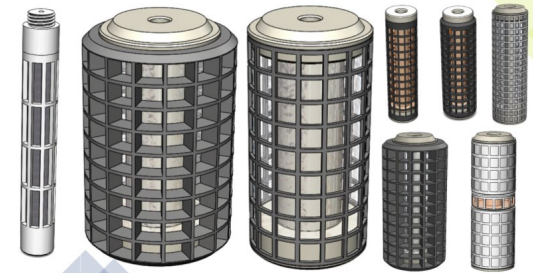
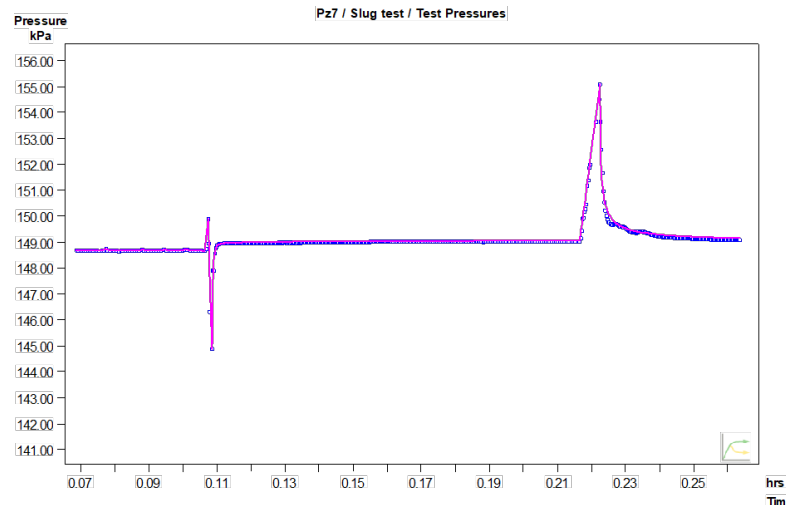
# Présentation du site

## Détermination de la conductivité hydraulique:

- Slug tests :  $K$  compris entre  $1,15 \cdot 10^{-3}$  et  $6,3 \cdot 10^{-5}$  m/s
- Essais Lefranc :  $K$  compris entre  $2,00 \cdot 10^{-5}$  et  $1,6 \cdot 10^{-7}$  m/s
- IFLUX :  $K$  estimée à  $1,85 \cdot 10^{-6}$  m/s

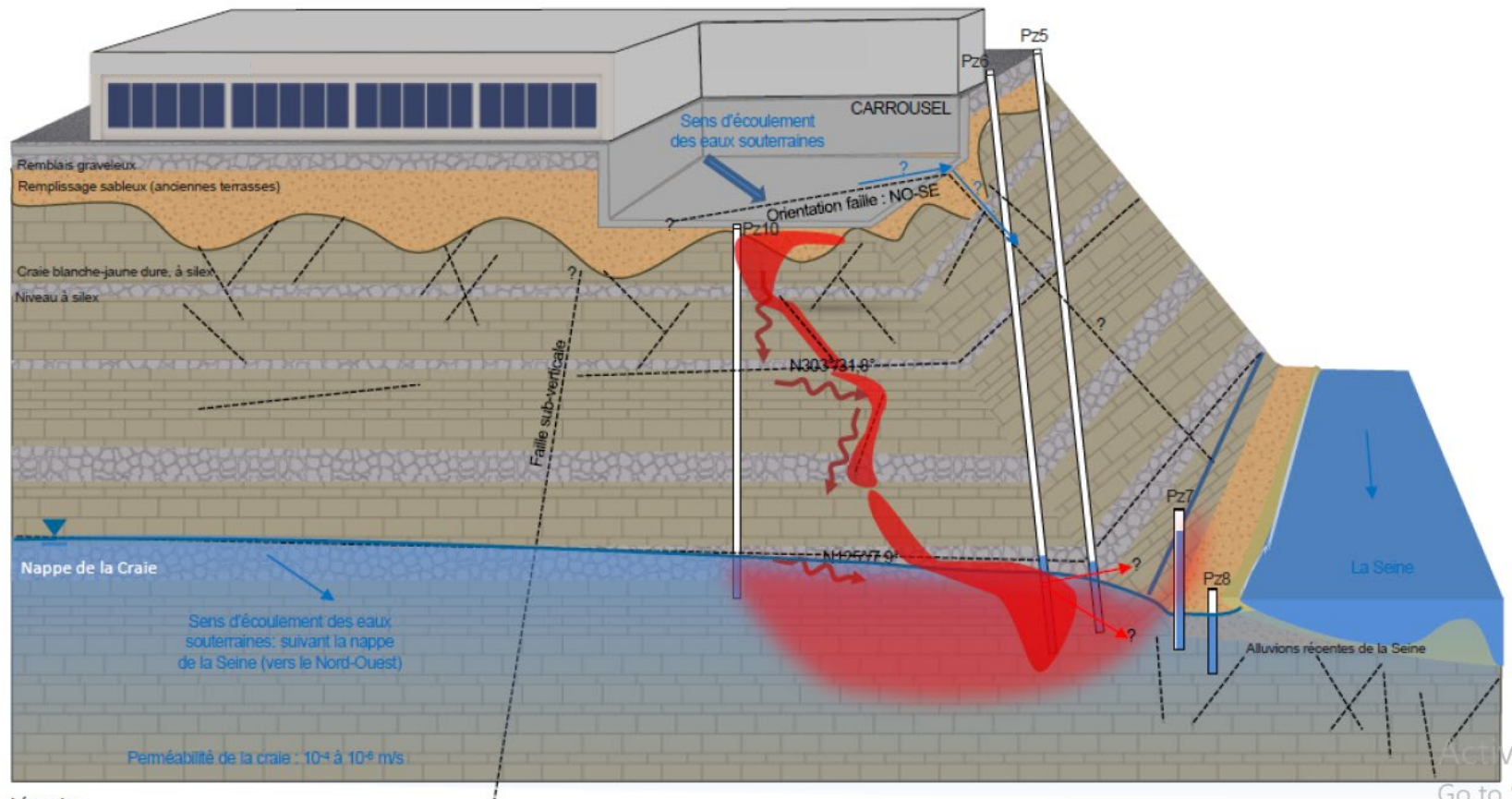


## Slug test



## IFLUX

# Présentation du site



# Présentation du site

## Surface maximale du panache :

- Horizontalement : Pz11 et Pz12 non impacté largeur 60 m
- Verticalement : au droit de Pz7 entre le toit de la nappe et le mur de l'aquifère 30 m.

Surface **maximale de 2000 m<sup>2</sup>**

## Estimation du flux

*Surface : 2000 m<sup>2</sup>*

*Concentration moyenne en Cr<sup>VI</sup> : 4 mg/L*

*Conductivité K :  $6,80 \cdot 10^{-7}$  m/s*

Flux de Chrome VI : **470 g/jour**

## IFLUX

Surface : 2000 m<sup>2</sup>

Flux : 110 mg/m<sup>2</sup>/jour

Flux de Chrome VI : **220 g/jour**

# Option de remédiation

- Traitement de la zone source Vs Barrière réactive
- Réduction chimique Vs Réduction Biologique

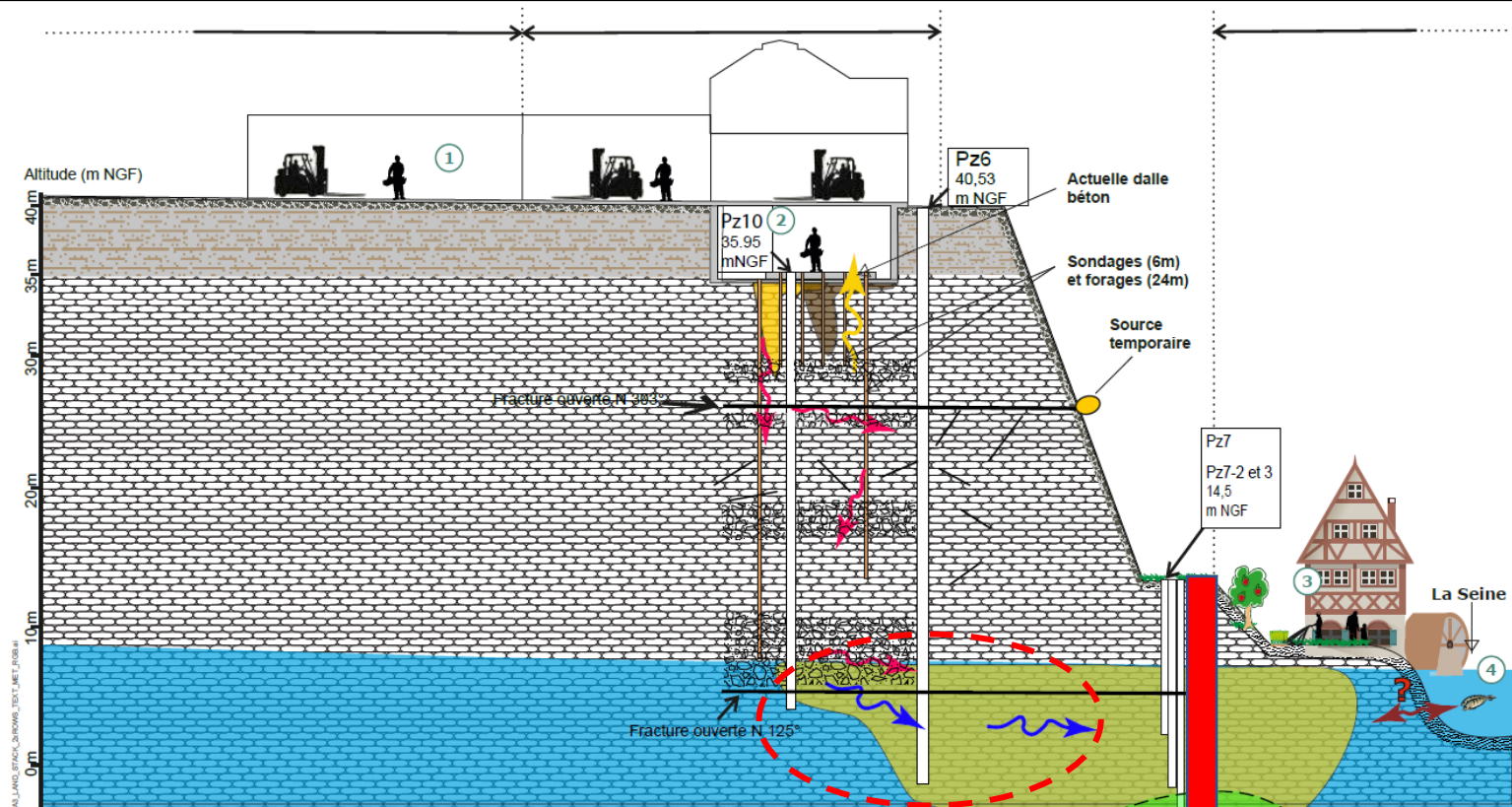


Schéma conceptuel du site – 2020

# Objectif de réhabilitation

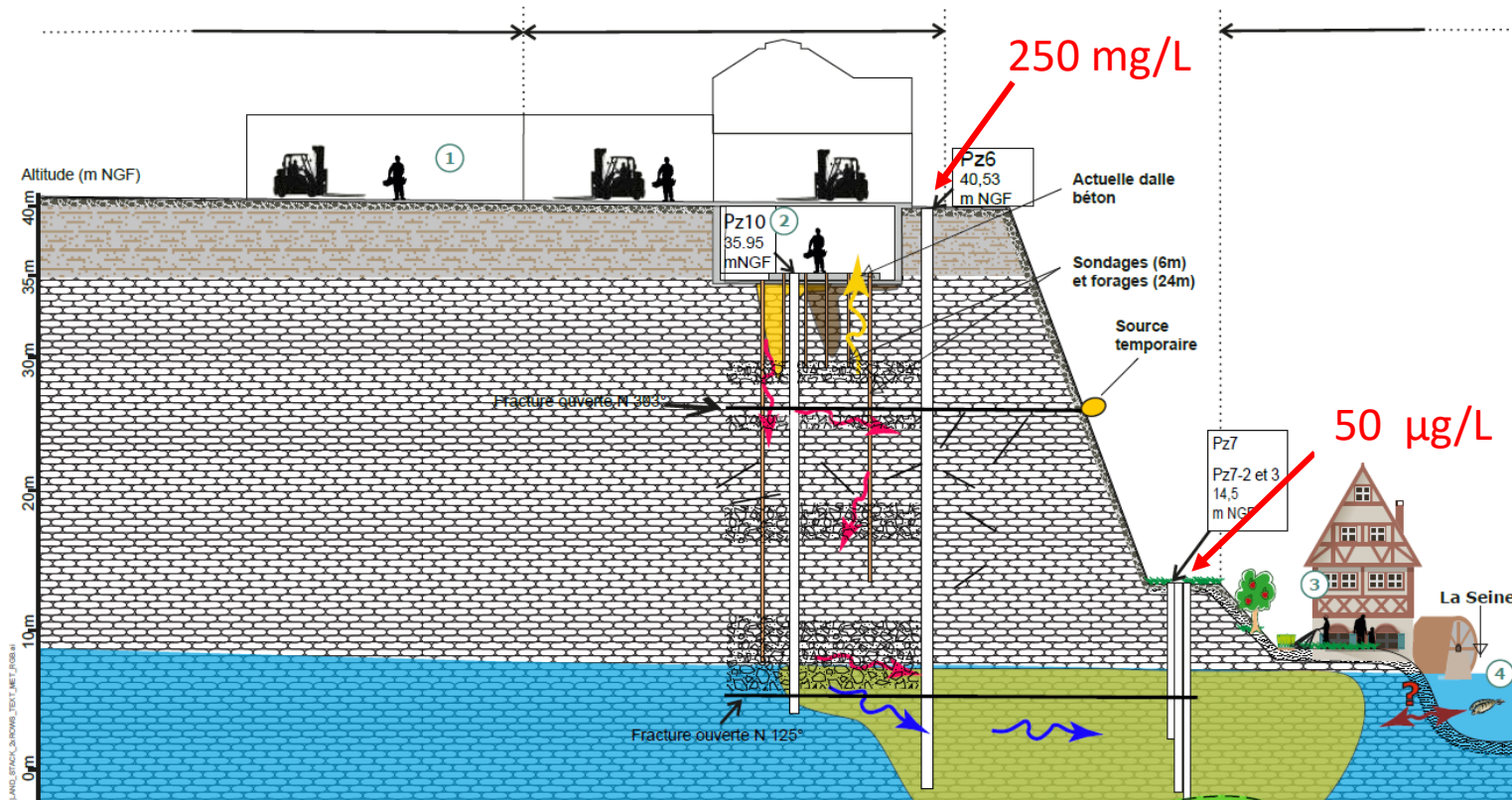


Schéma conceptuel du site – 2020

Objectif : **50 µg/L** en limite de site (Pz7)

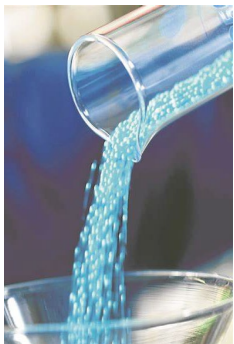
# Stratégie globale



## Comparaison des dispositifs :



## Comparaison des réactifs:



### Réduction chimique

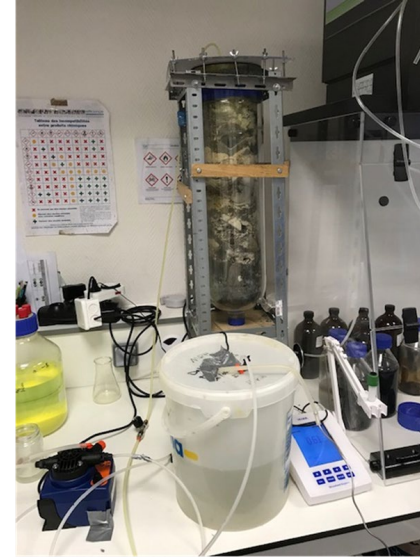
- Dithionite de Sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )
- Polysulfure de calcium ( $\text{CaS}_5$ )
- Fer zéro-valent ZVI



### Réduction biologique

- Source de carbone

# Comparaison des dispositifs



| Batch                                                                                                                              | Lysimètres                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Petit volumes (1,5 L ratio Sol/Eau 1:10)</li><li>✓ Essais multiples en parallèle</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Carotte intacte de craie → Représentatif de la double porosité</li><li>✓ Débit de réactif et d'eau (1 volume de pore par jour) représentatif du débit des ES du site</li></ul> |
| <ul style="list-style-type: none"><li>✗ Sols désagrégés → Non représentatifs de la double porosité de la craie</li></ul>           | <ul style="list-style-type: none"><li>✗ Essais unique long terme</li></ul>                                                                                                                                             |

# Protocole des essais en Batches

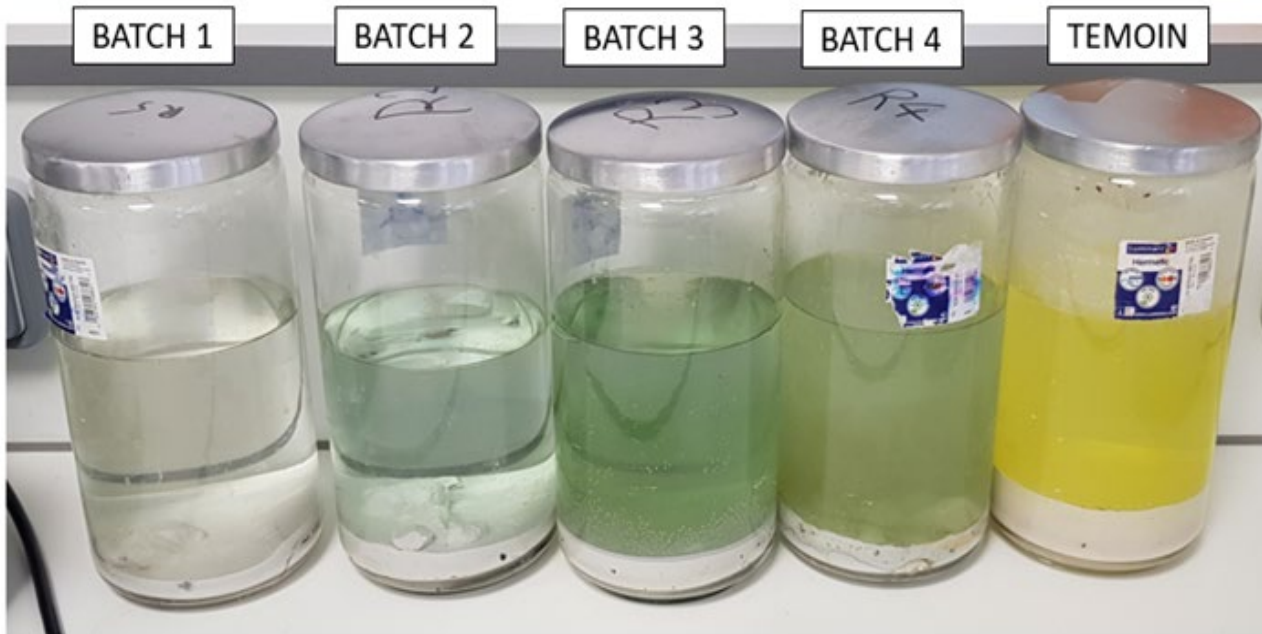
| Caractérisation des sols (initial) |          |      |
|------------------------------------|----------|------|
| Chrome total                       | mg/kg MS | 2700 |
| Chrome (VI)                        | mg/kg MS | 2400 |

**Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**  
12 mol/mol<sup>1</sup>

**CaS<sub>5</sub>**  
2 mol/mol<sup>2</sup>

**ZVI**  
3 g/L<sup>3</sup>

**Source de carbone**  
30 g/L<sup>4</sup>



**Tests sur 40 jours  
avec 6  
prélèvements  
intermédiaires**

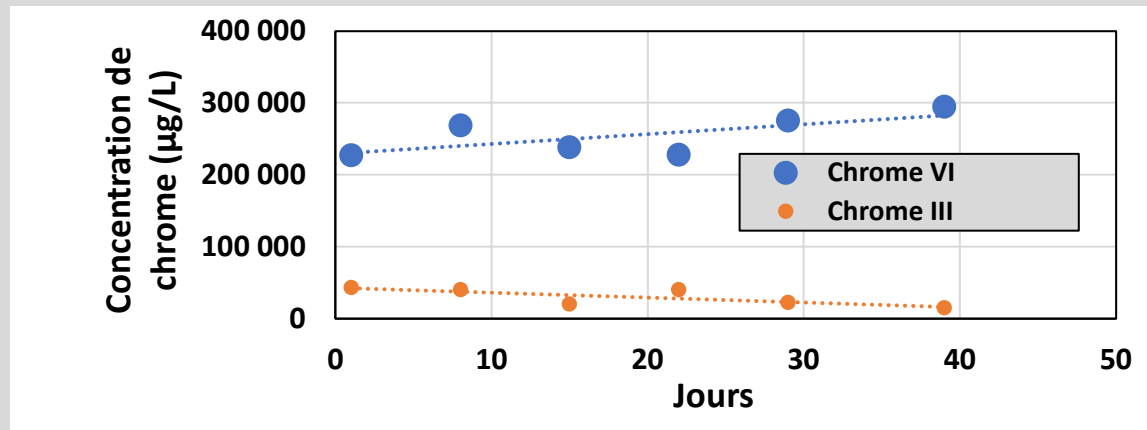
<sup>1</sup> : Yunyi Li & all - Journal of environmental Management, 2017 – Elsevier

<sup>2</sup> : MC Graham & all - Science of the Total Environment, 2006 – Elsevier

<sup>3</sup> : Données fournisseur

<sup>4</sup> : Données fournisseur et US - EPA

# Résultats des essais en Batches



**Témoin**  
 294 000 µg/L CrVI  
 52 000 µg/L Cr III

|                                 | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | CaS <sub>5</sub> | Carbon        | ZVI           |
|---------------------------------|---------------------------------|------------------|---------------|---------------|
| <b>Cr VI – 40 jours (µg/L)</b>  | <b>22</b>                       | <b>101</b>       | <b>283000</b> | <b>197000</b> |
| Abattement (%)                  | 99,99%                          | 99,97%           | 3,57%         | 34%           |
| <b>Cr III – 40 jours (µg/L)</b> | <b>397</b>                      | <b>773</b>       | <b>31000</b>  | <b>47 000</b> |
| Abattement (%)                  | 99,24%                          | 98,53%           | 40,00%        | 9,6%          |

## Conclusion des batchs

La réduction chimique est efficace (présence de Chrome III résiduel ? Stabilité dans le temps?)

La réduction biologique n'est pas efficace avec cette géologie

# Protocole des essais en lysimètre

| Caractérisation initiale des sols |          |     |
|-----------------------------------|----------|-----|
| Chrome total                      | mg/kg MS | 920 |
| Chrome (VI)                       | mg/kg MS | 915 |

$\text{Na}_2\text{SO}_4$   
12 mol/mol

$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{FeSO}_4$   
4 mol/mol



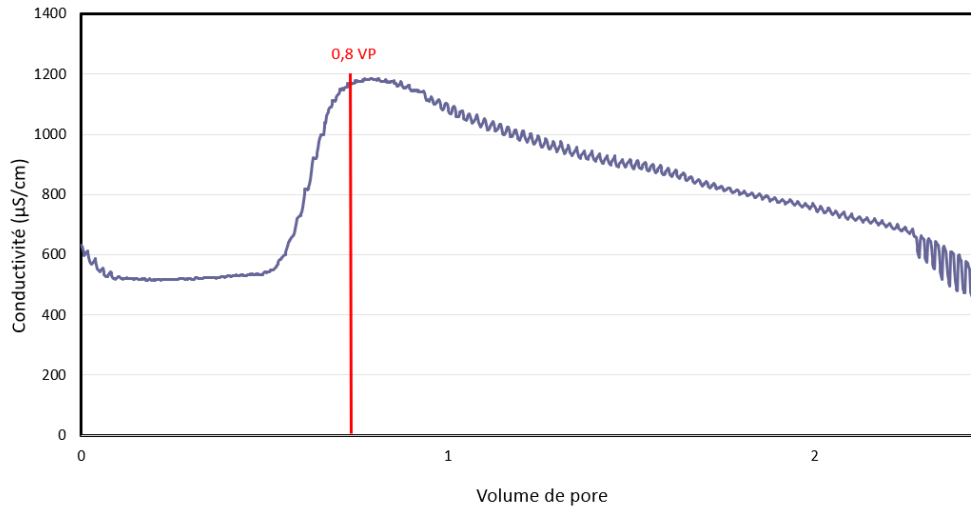
Remplissage du lysimètre avec des carottes de craie et remplissage des interstices avec du sable (16 Litres)

Injection suivi de 10 volumes de pore de lavage (1 VP/jour)

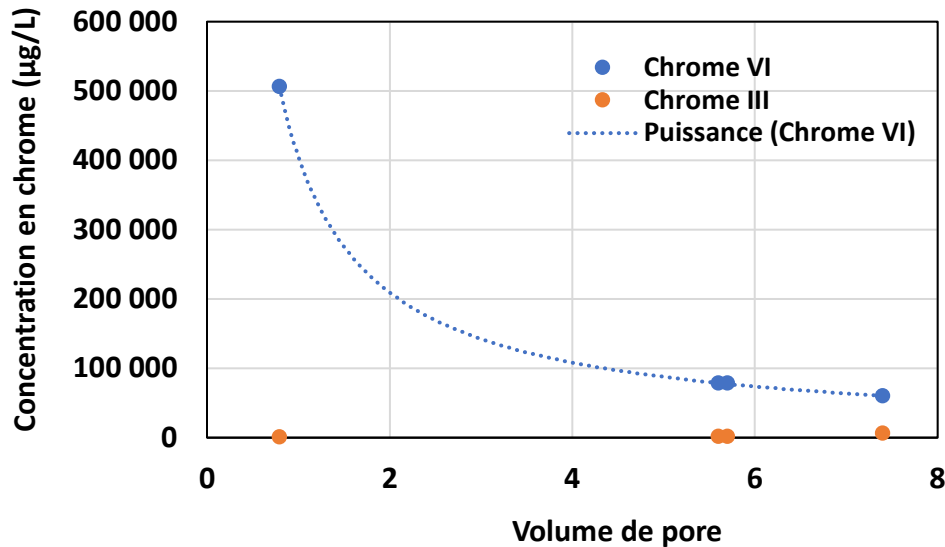
Echantillonnage des lixiviats  
Caractérisation finale des sols

# Résultats des caractérisation initiales du lysimètre

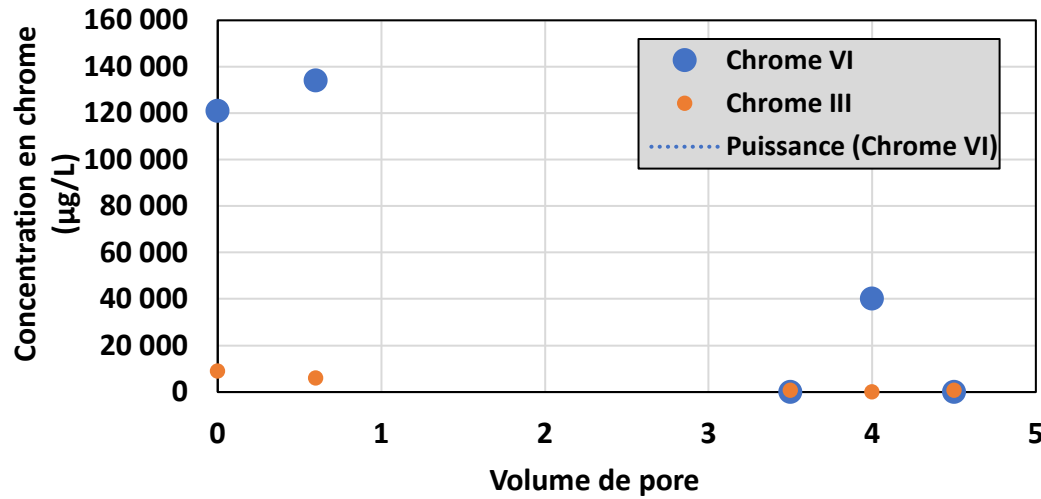
- Estimation du temps de séjour



- Résultat du lavage initial



# Résultats des essais en Lysimètre

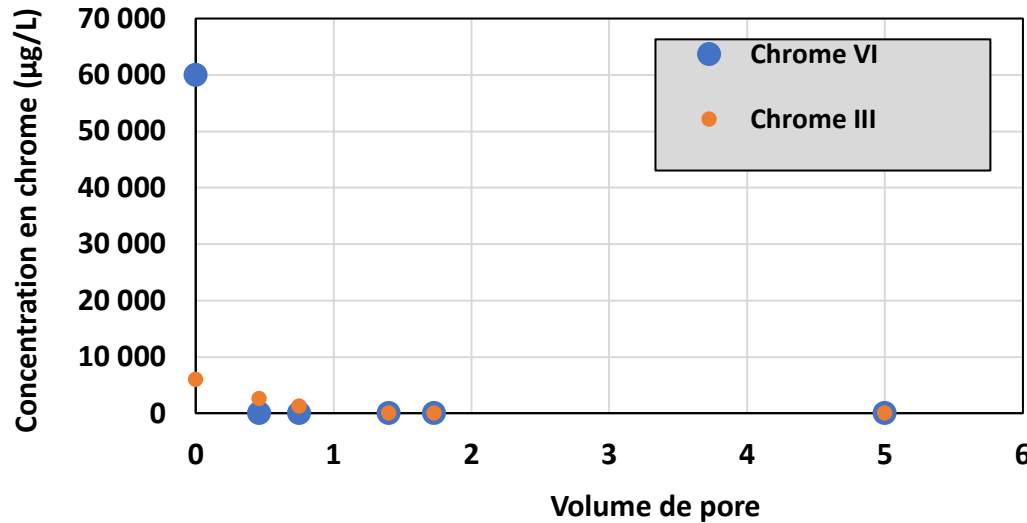


$\text{Na}_2\text{SO}_4$  Seul

Equilibre

0  $\mu\text{g/L}$  CrVI

700  $\mu\text{g/L}$  CrIII



$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Fe SO}_4$

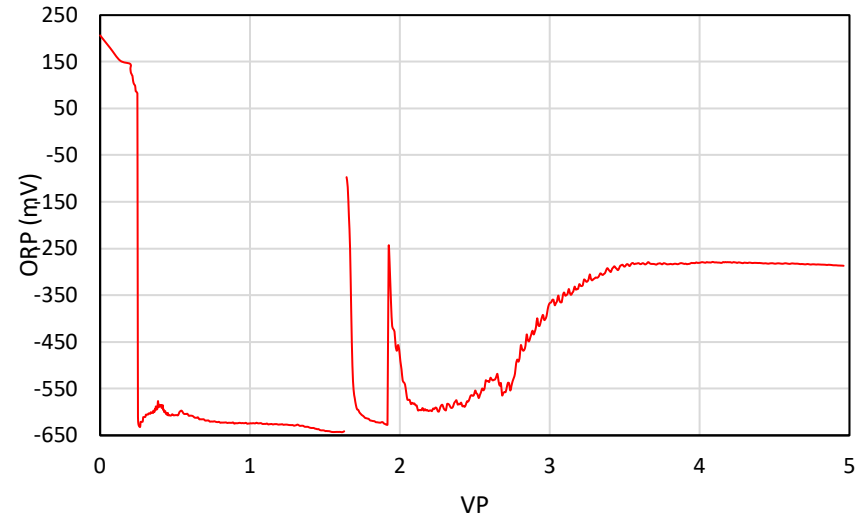
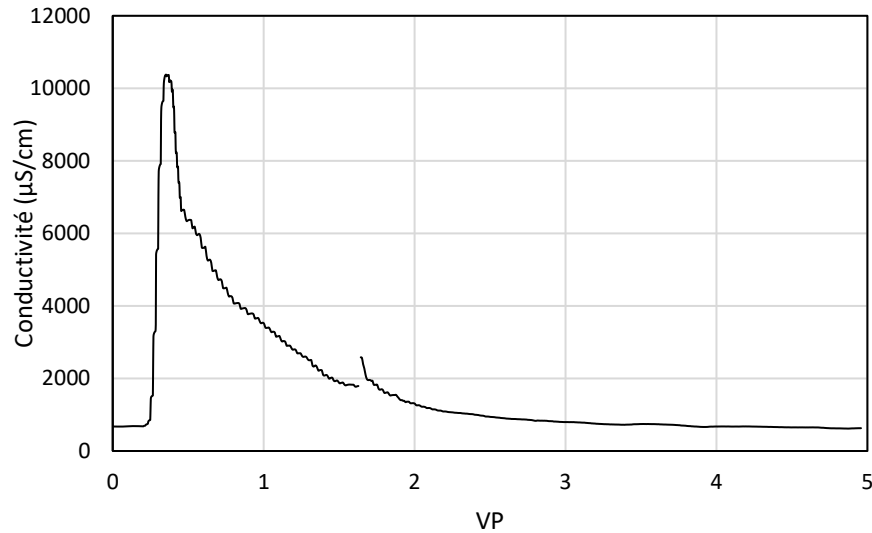
Equilibre

0  $\mu\text{g/L}$  CrVI

2  $\mu\text{g/L}$  CrIII

**Conclusion : Ajouter le  $\text{FeSO}_4$  est nécessaire pour précipiter le Chrome III**

# Résultats des essais en Lysimètre

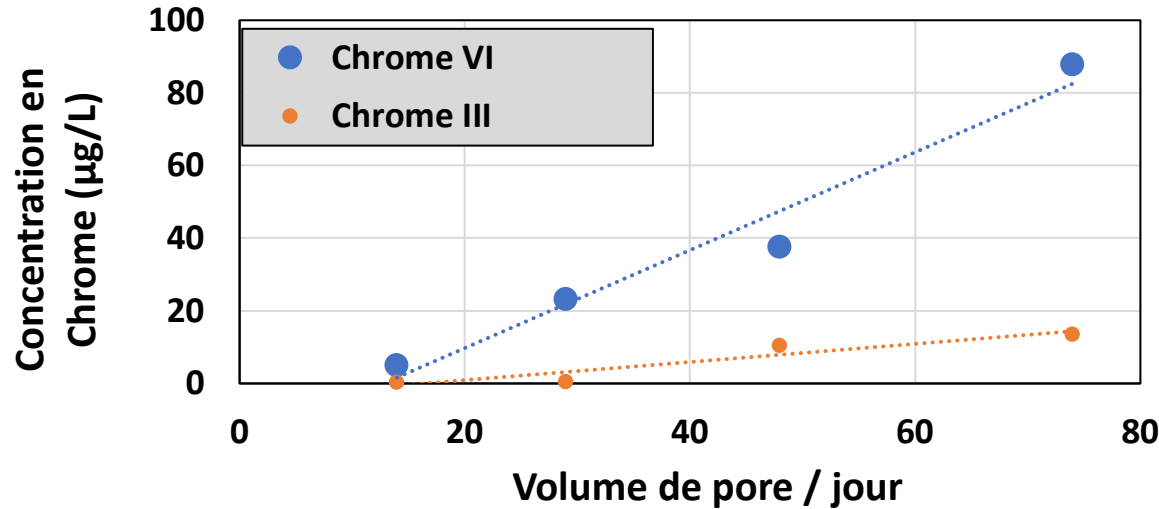


Suivi de la conductivité et du potentiel d'oxydoréduction

Plus de réactif après **3 Volume de pore**

L'ORP atteint un équilibre à **-270 mV** équilibre à partir de 3 volume de pore

# Détermination de la rétrodiffusion en Lysimètre



**Contact long terme après traitement**

La phénomène de rétrodiffusion implique un effet rebond (Limité)

| Caractérisation initiale des sols |          |     |
|-----------------------------------|----------|-----|
| Chrome total                      | mg/kg MS | 920 |
| Chrome (VI)                       | mg/kg MS | 915 |



| Caractérisation finale des sols |          |      |
|---------------------------------|----------|------|
| Chrome total                    | mg/kg MS | 78,3 |
| Chrome (VI)                     | mg/kg MS | 3,6  |

## Conclusion :

Avec l'abattement des teneurs en chrome VI dans les sols, l'objectif de concentration en zone source et en limite de site (4 mg/L et 50 µg/L) semble atteignable → **modélisation en cours**

# Résultats des tests d'injections

1

Installation de tube  
À manchette

2

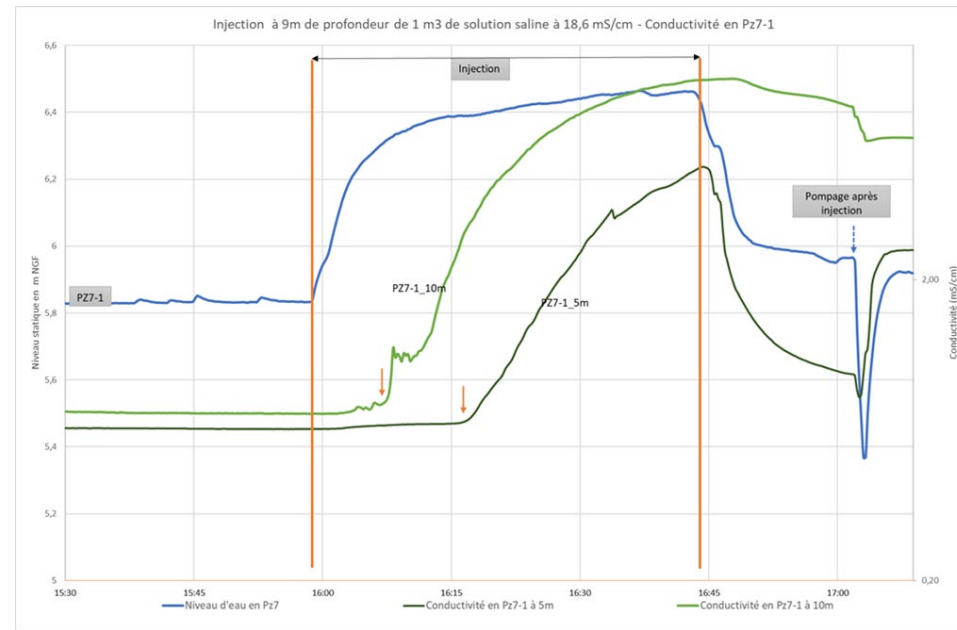
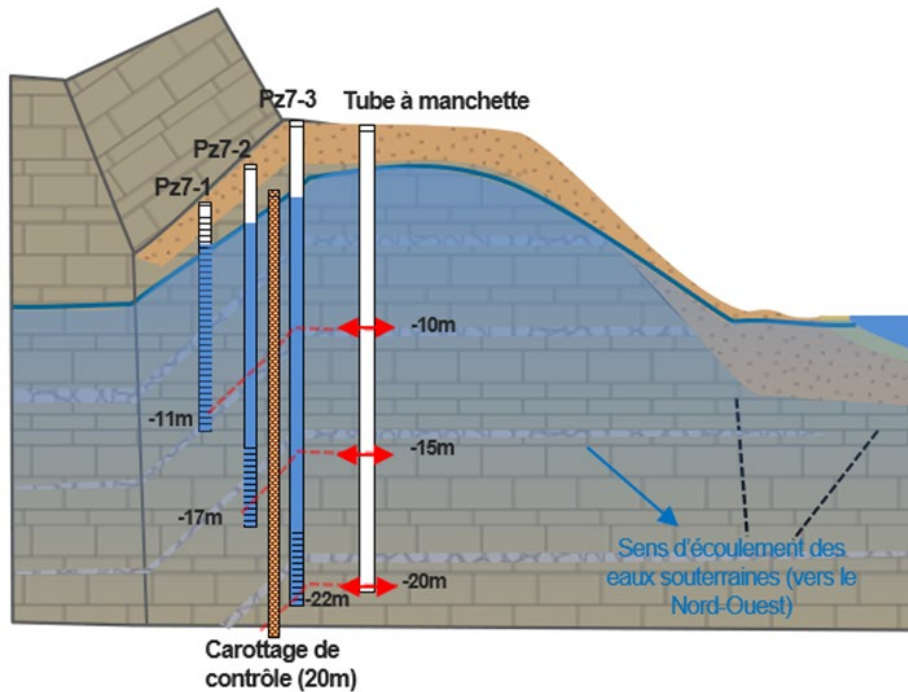
Injection du traceur

3

Suivi de la  
conductivité et de  
la pression

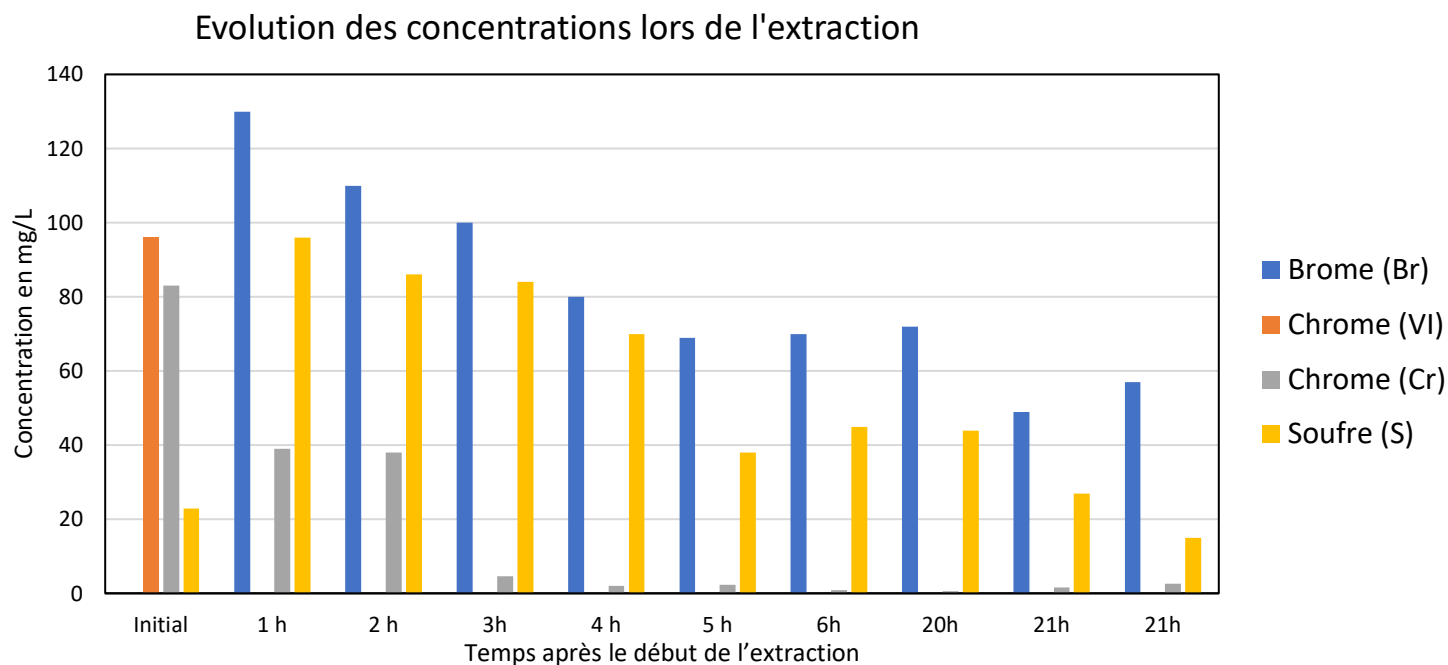
4

Détermination du  
rayon d'influence



Le rayon d'influence attendu est supérieur à **3 mètres**

# Essais de traitabilité Push-pull (Pz10)



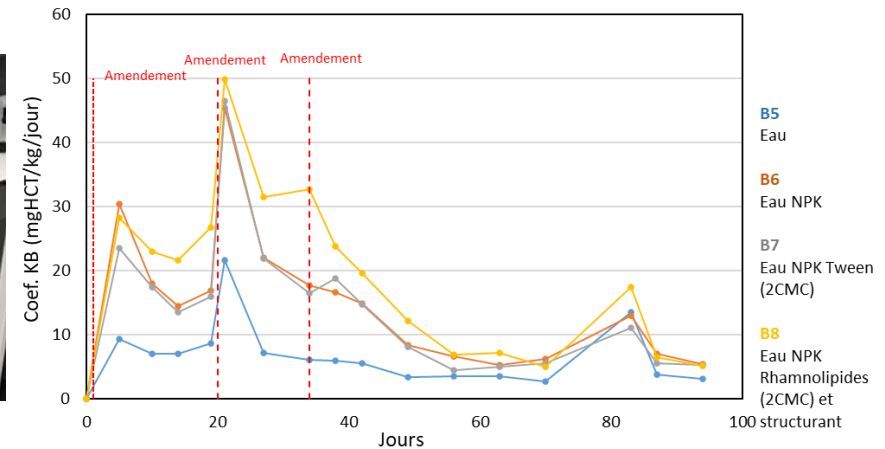
- Abattement immédiat de la concentration en chrome VI
- Pas de rebond de concentration en chrome hexavalent
- Taux de précipitation du chrome trivalent de **60%**

# Conclusion

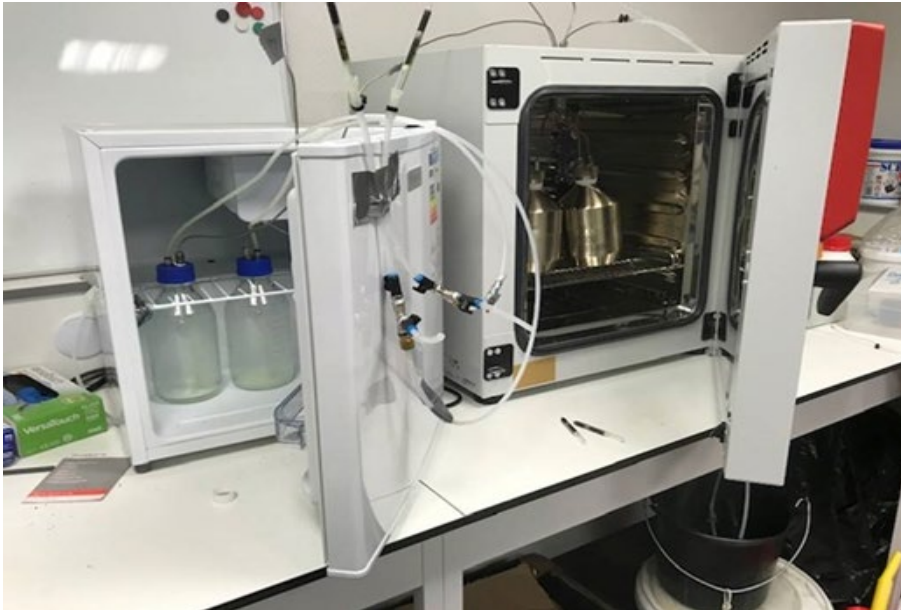
- Les essais en Batch sont utiles pour tester des réactifs et dosages différents
- Les essais en lysimètre permettent la compréhension des processus réels incluant le transport colloïdal à un débit représentatif des eaux souterraines
- Le dithionite de sodium est adapté pour ce site pour remédier à la zone source concentrée en Chrome VI
- L'ajout de sulfate de fer permet la précipitation du chrome trivalent
- Le traitement permet d'atteindre la porosité intergranulaire et limite l'effet rebond des concentrations induit par la rétrodiffusion
- Les essais de faisabilité *in situ* confirment la faisabilité d'une réduction chimique sur site au niveau de la source

# Laboratoire Golder

- Essais de biodégradation



- Essais de désorption thermique



## Essais possibles :

- Traitement biologique
- Traitement chimique
- Traitement thermique
- Traitement par Venting
- Vérification des capacités d'injection ou d'extraction dans les sols (traitement physique, biologique ou chimique) :

**Merci! Avez-vous des questions?**

