



# FORUM **2018**

## GÉOENVIRONNEMENT

**Tendances · Problématiques · Solutions**



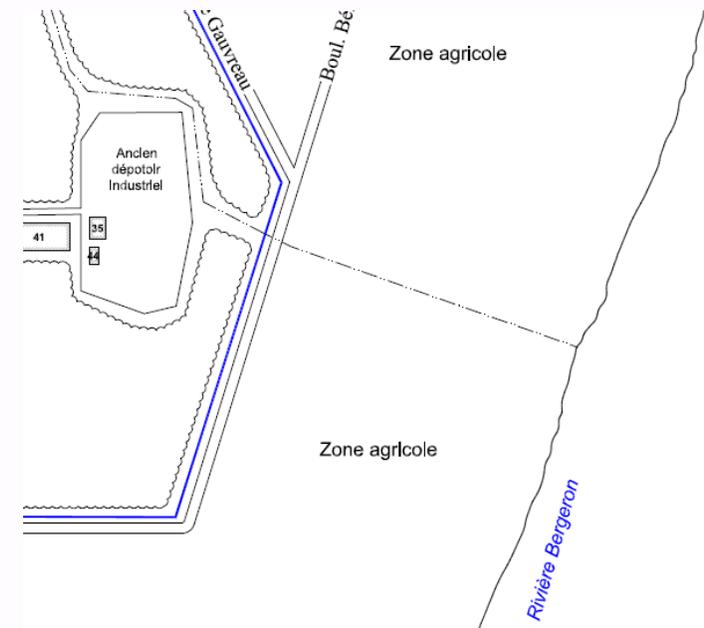
ASSOCIATION  
DES FIRMES DE  
GÉNIE-CONSEIL  
**QUÉBEC**

## Atelier 2 : traitement *in situ* des sols et de l'eau

- Mot de bienvenue
- Présentation sommaire de l'étude de cas (15 min)
- Définition et développement du modèle conceptuel (45 min)
  - Premier exercice
- Sélection des technologies (30 min)
  - Présentation des options
- Pause (15 min)
  - Deuxième exercice (60 min)
- Conclusion et mot de la fin

## Étude de cas

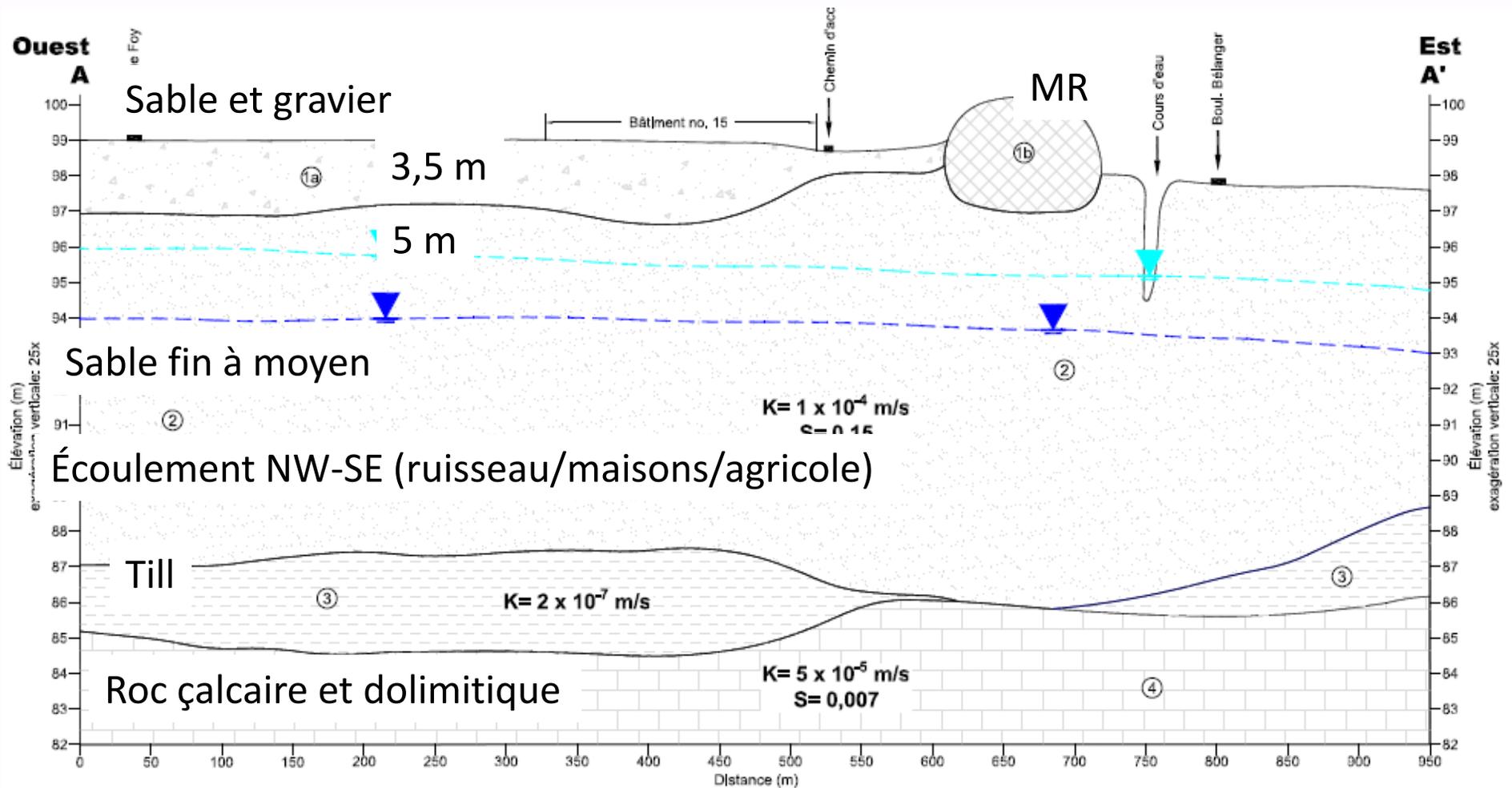
- Usine de fabrication de produits chimiques et textile
- Fermeture en 2015 après 70 ans d'opération
- Zonage mixte (résidentiel, commercial, agricole)
- ≈ 50 bâtiments
- Superficie du terrain ≈ 1,5 km<sup>2</sup>
- 30% boisé
- Ancien dépotoir (50 000 m<sup>3</sup>)
- Cours d'eau ceinture le dépotoir
- Lagune de traitement des eaux usées
- Eau souterraine utilisée comme source d'eau potable



## Résumé des études environnementales

- Phases I, II et III
- Produits utilisés: PCE, TCE, BTEX, acétone ...
- Réservoirs ( $\approx 20$ ): 4500 – 500 000 l
- Déversement de diésel : 20 000 l (bâtiment 8)
- Fuite de benzène (bâtiment 15)

# Vues en coupes



## Bâtiment 8

- Panache de phase flottante (diésel) :
  - 2 500 m<sup>2</sup>
  - 1-40 cm
  - 30 000 – 45 000 litres
  - 12% sous le bâtiment
  
- 7 000 m<sup>3</sup> de sols contaminés (annexe >II du RPRT)



## Bâtiment 15

- Sols et eaux contaminés en benzène
- Sols >critères (zone non saturée ou vadose)
- Moyenne : 300 mg/kg (max : 2000 mg/kg)
- Horizon contaminé : 0-3 m sous dalle du plancher
- Superficie : 1 200 m<sup>2</sup>
- Volume : 2 500 m<sup>3</sup>
- Concentration de benzène au-dessus de GW2 (intrusion de vapeur)
- Eaux affectées : 500 m<sup>2</sup>
- Eau du roc non contaminée (till)

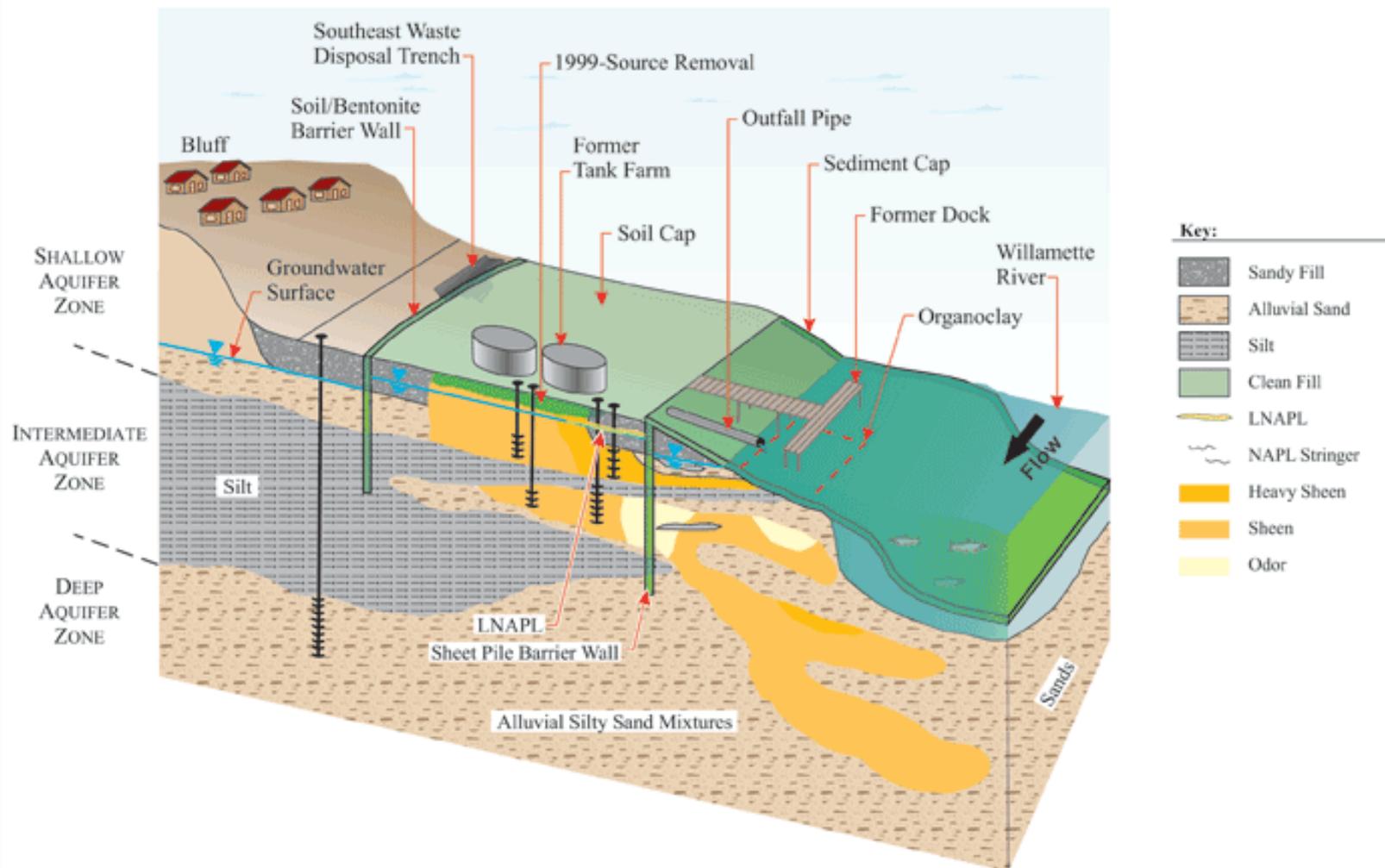


## Ancien dépotoir

- ≈ 10 réservoirs enfouis
- Enclave (200 x 500 m) de TCE, DCE, CV dans le roc
- Absence de till sous le dépotoir (migration verticale)
- 3 puits d'eau potable du roc affectés (producteurs maraichers)
- Concentrations : 100 – 2000 ug/l
- Source du TCE inconnue
  
- Présence de Cr<sup>VI</sup> dans l'aquifère de sable
- Le panache atteint le cours d'eau : au-delà des critères
- Concentrations : 50 – 400 ug/l



# Exemple de modèle conceptuel



## Définition d'un modèle conceptuel

- Une représentation des caractéristiques d'un système physique
- S'oriente en fonction de l'objectif souhaité :
  - Mesurer l'effet d'un pompage (AEP/industriel) sur le milieu
  - Prédire la migration d'un contaminant (zone source → récepteurs)
  - Mesure l'efficacité d'un système de traitement in situ
  - Évaluer des critères de concentration en un point (analyse de risque)
- Complexité adaptée – bien représenter les phénomènes pertinents
- Développement du modèle ↔ processus itératif

## Norme ASTM

- Identifier les contaminants confirmés/potentiels vs historique du site
- Identifier et caractériser les zones sources des contaminants
- Caractériser le milieu (d'écoulement)
- Délimiter les voies de migration (confirmées/potentielles) dans l'environnement
- Identifier et caractériser les récepteurs potentiels (humain, écologique, etc.)
- Fixer les limites du site d'étude ou les frontières du système

## Premier exercice (40 min)

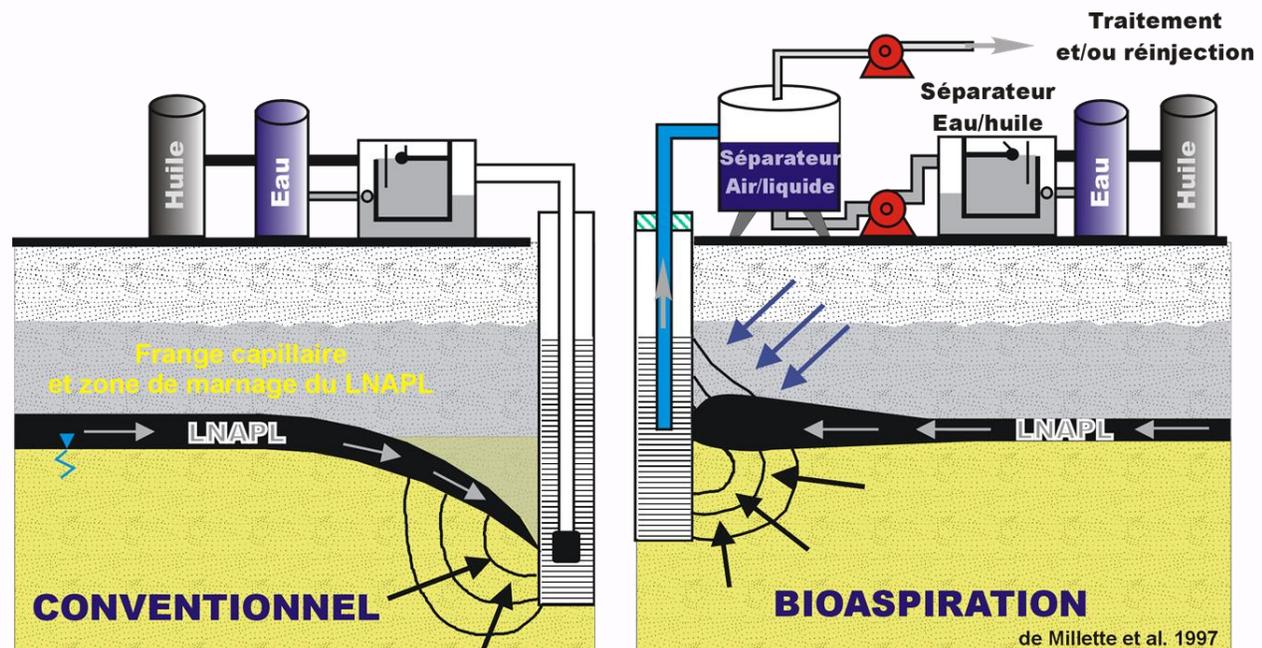
- Lire la documentation disponible sur votre table
- Élaborer un modèle conceptuel selon le cas
- Utiliser les outils disponibles pour dessiner/écrire
- Les membres du comité seront disponibles pour répondre à vos questions
- Présenter votre modèle à la fin de l'exercice

## Technologies traitement *in situ* des sols et de l'eau souterraine

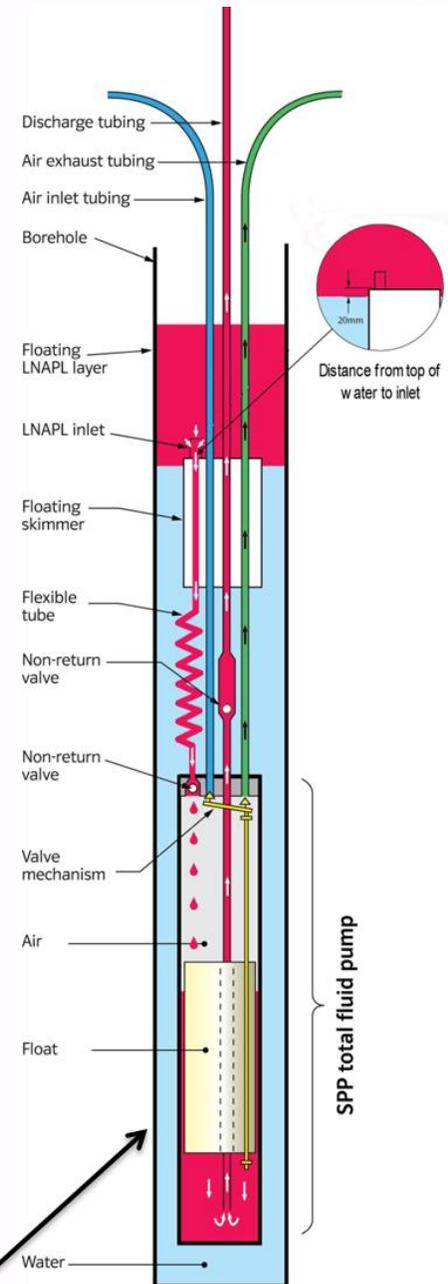
- Récupération des hydrocarbures en phase libre
- Pompage et traitement
- Oxydation chimique et réduction chimique
- Biorémédiation
- Chauffage des sols
- Barbotage / Biobarbotage / Bioventilation
- Extraction de vapeur / Bioventilation
- Lavage des sols
- Stabilisation
- Vitrification
- Électrocinétique
- Barrière réactive

# Techniques de mobilisation et récupération de phases immiscibles

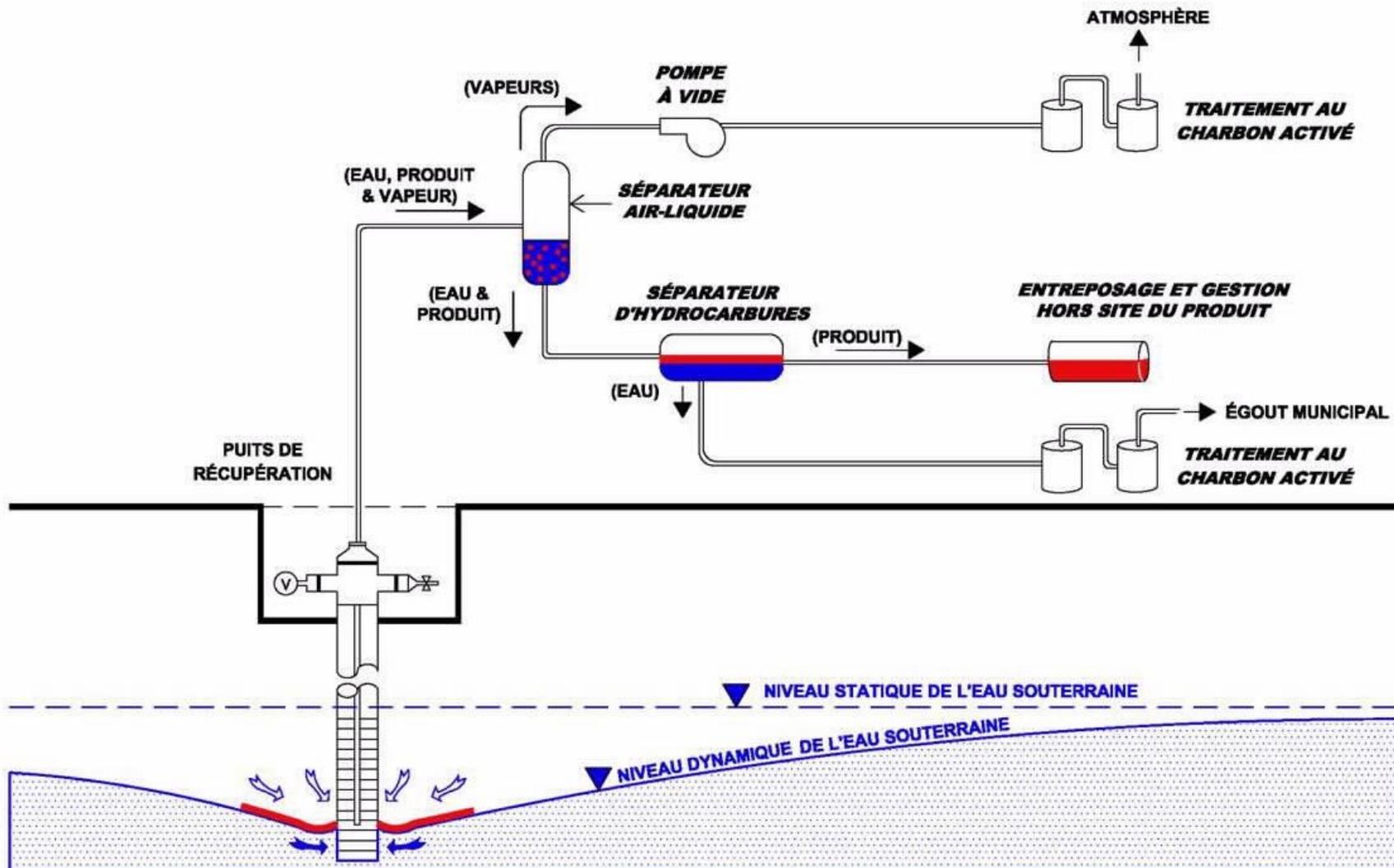
- Passive (écrémage)
- Active conventionnelle
- Active non conventionnelle
- Rehaussée sous vacuum
- Solutions tensio-actives



# Techniques passives (écrémage)



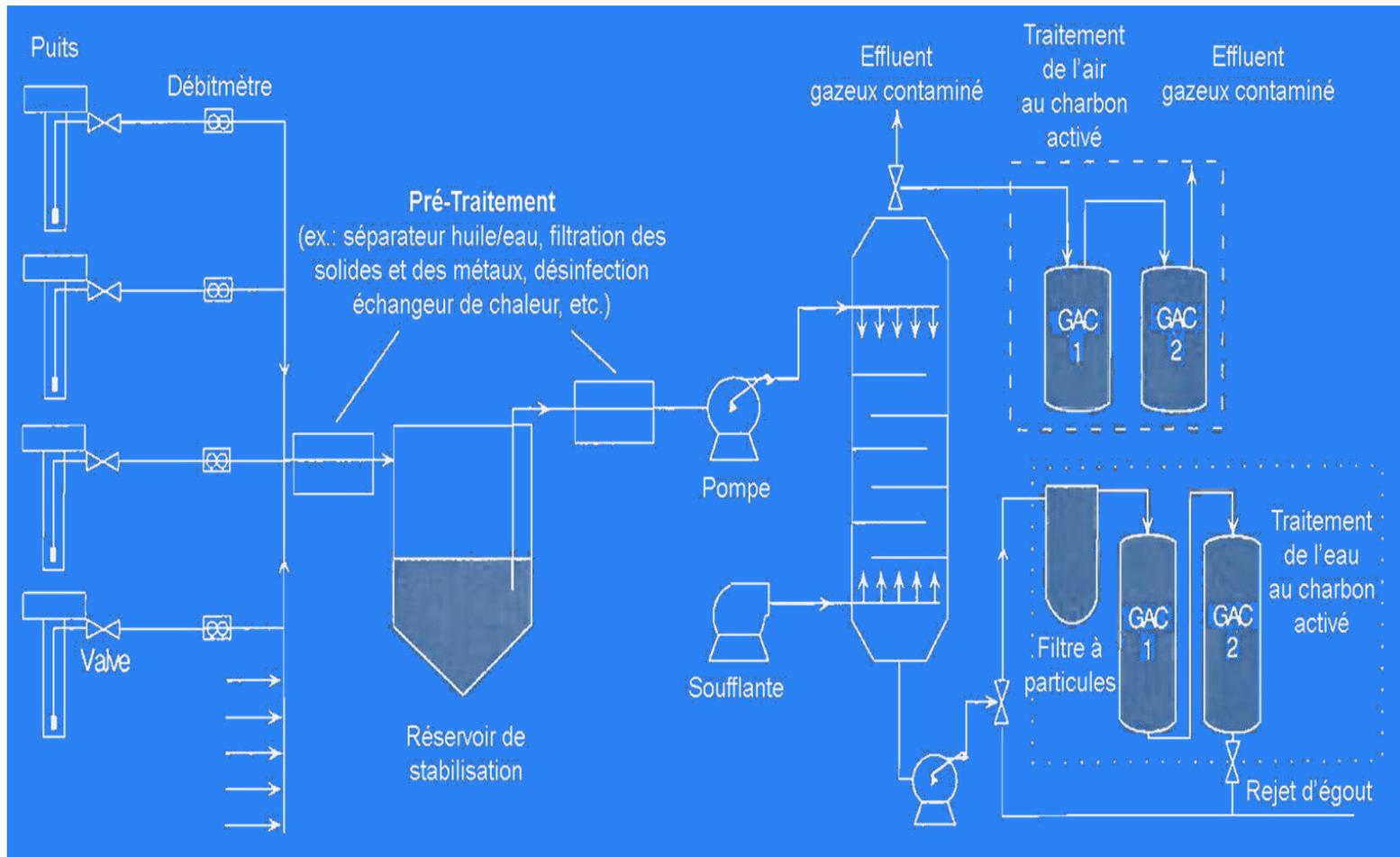
# Rehaussée sous vacuum (bioslurping)



## Exemples de bioslurping



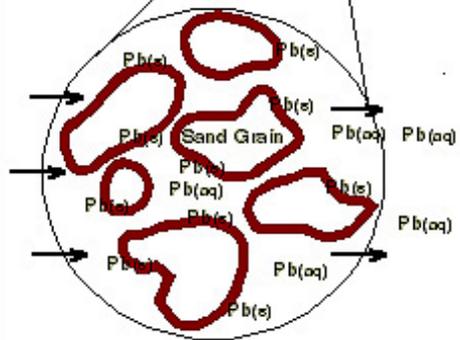
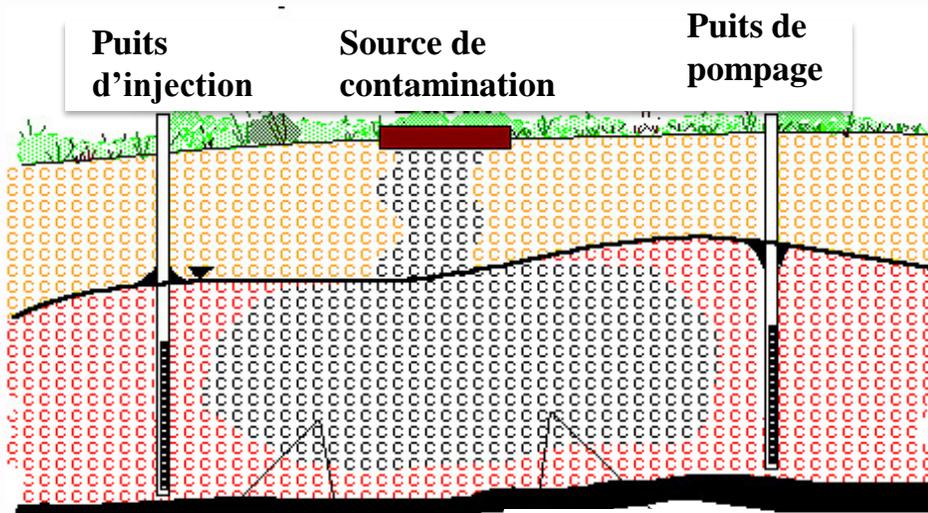
# Pompage et traitement : composantes et schéma d'écoulement



# Stratégies de pompage et de traitement

Aujourd'hui	Futur
<p><b>Confinement hydraulique</b></p> <p>Contaminant dissous Source Puits de pompage</p>	<p>Contaminant dissous Source Puits de pompage</p>
<p><b>Sectionnement du panache</b></p>	<p><b>Atténuation naturelle</b></p>
<p><b>Restauration en aval hydraulique</b></p> <p>Puits de pompage pour restauration Puits pour confinement</p>	<p>Aquifère restauré Puits pour confinement</p>
<p><b>Restauration en aval hydraulique</b></p> <p>Confinement hydraulique et barrière physique</p>	<p>Aquifère restauré Confinement hydraulique et barrière physique</p>
<p><b>Restauration de l'aquifère</b></p> <p>Puits de pompage pour restauration Enlèvement de la source</p>	<p>Aquifère restauré</p>

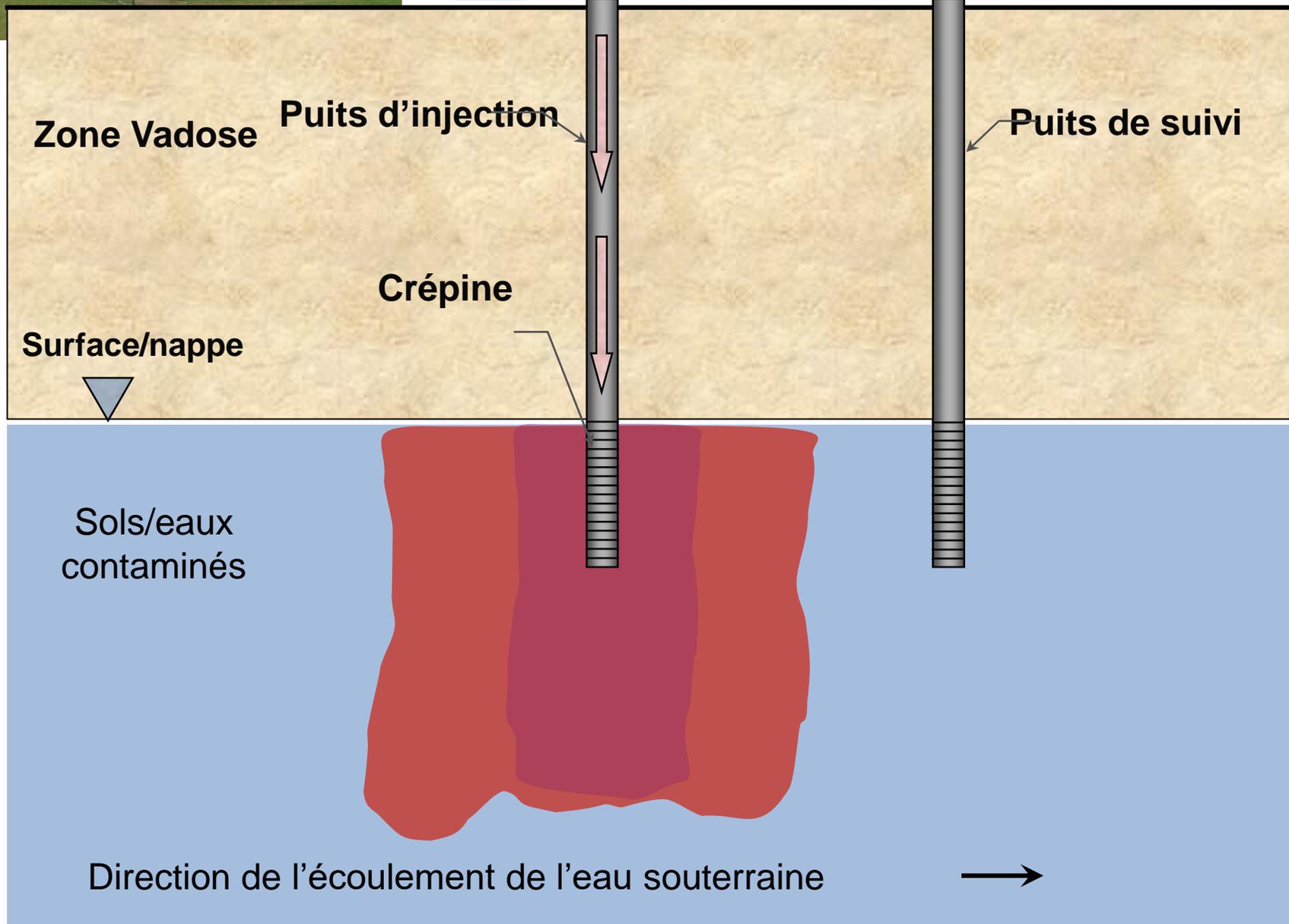
# Exemples de pompage et traitement



Écoulement de l'eau souterraine



# Oxydation chimique (ISCO)



## Oxydation chimique (ISCO)

- Radical hydroxyle ( $\text{OH}\cdot$ ) 2,8
- Radical sulfate ( $\text{SO}_4\cdot^-$ ) 2,5
- Ozone ( $\text{O}_3$ ) 2,1
- Persulfate ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) 2,0
- Peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 1,8
- Permanganate ( $\text{KMnO}_4$ ) 1,7
- Chlore (Cl) 1,4
- Oxygène ( $\text{O}_2$ ) 1,2



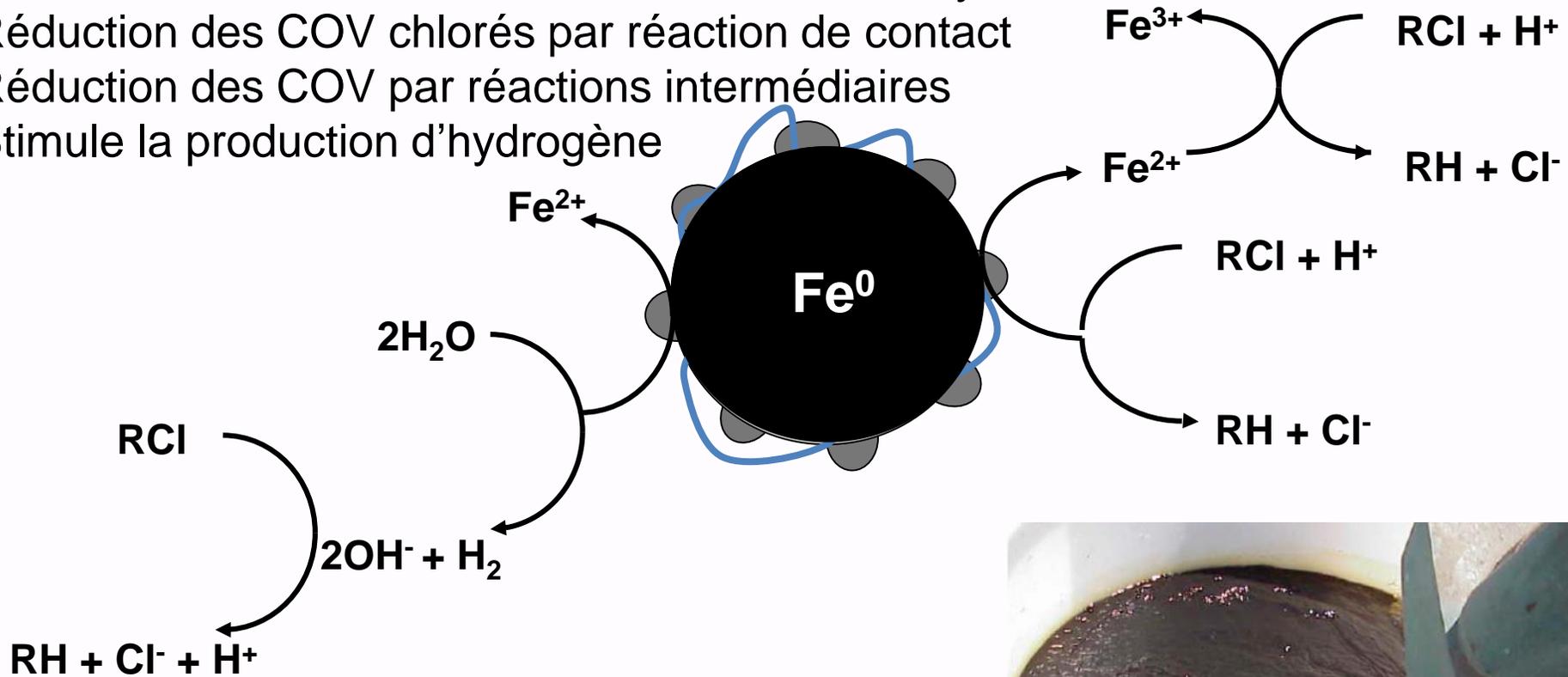
## Réduction chimique

Réaction de surface - corrosion – formation d'oxydes de fer

Réduction des COV chlorés par réaction de contact

Réduction des COV par réactions intermédiaires

Stimule la production d'hydrogène



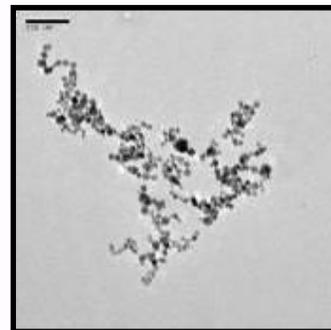
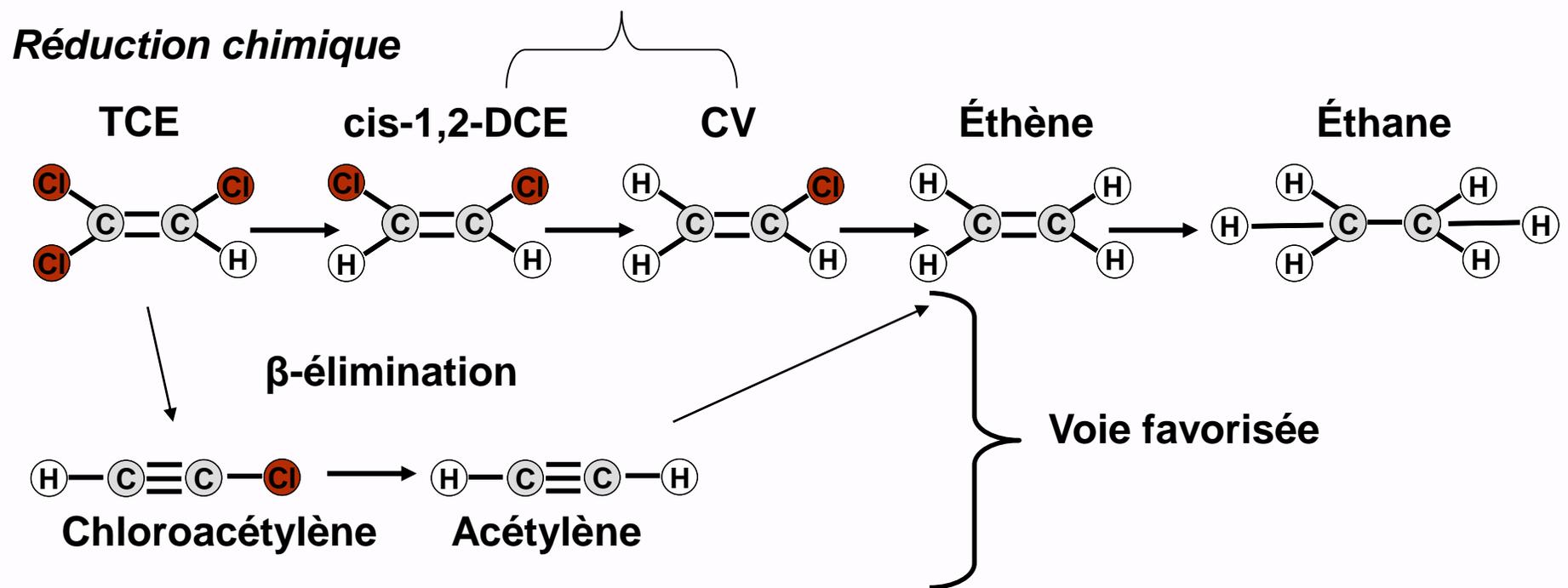
Ajout d'un agent stabilisant : limite les processus d'agglomération

Ajout d'un catalyseur : augmente les vitesses de réaction.



# Réactions impliquées dans la réduction du TCE

Réduction chimique (*hydrogenolysis*) et/ou  
Réduction biologique (*reductive dechlorination*)



# Bioremédiation aérobique des hydrocarbures

Diffuseurs passifs :

Waterloo™ emitters

*In situ* Submerged Oxygen Curtain (ISOC)

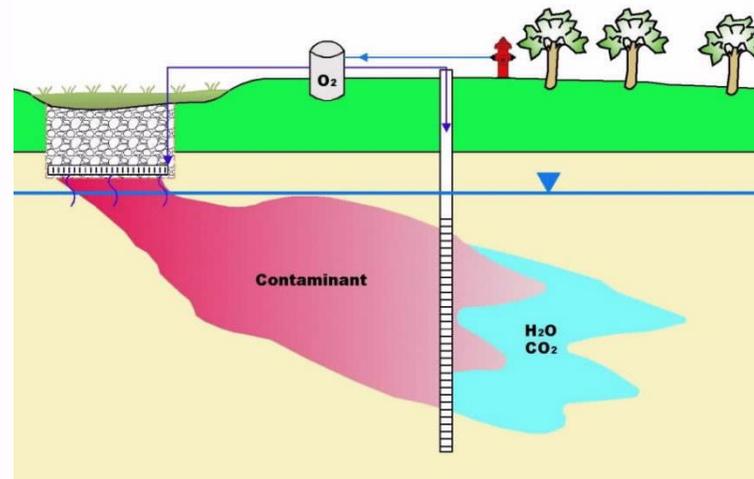


Peroxydes :

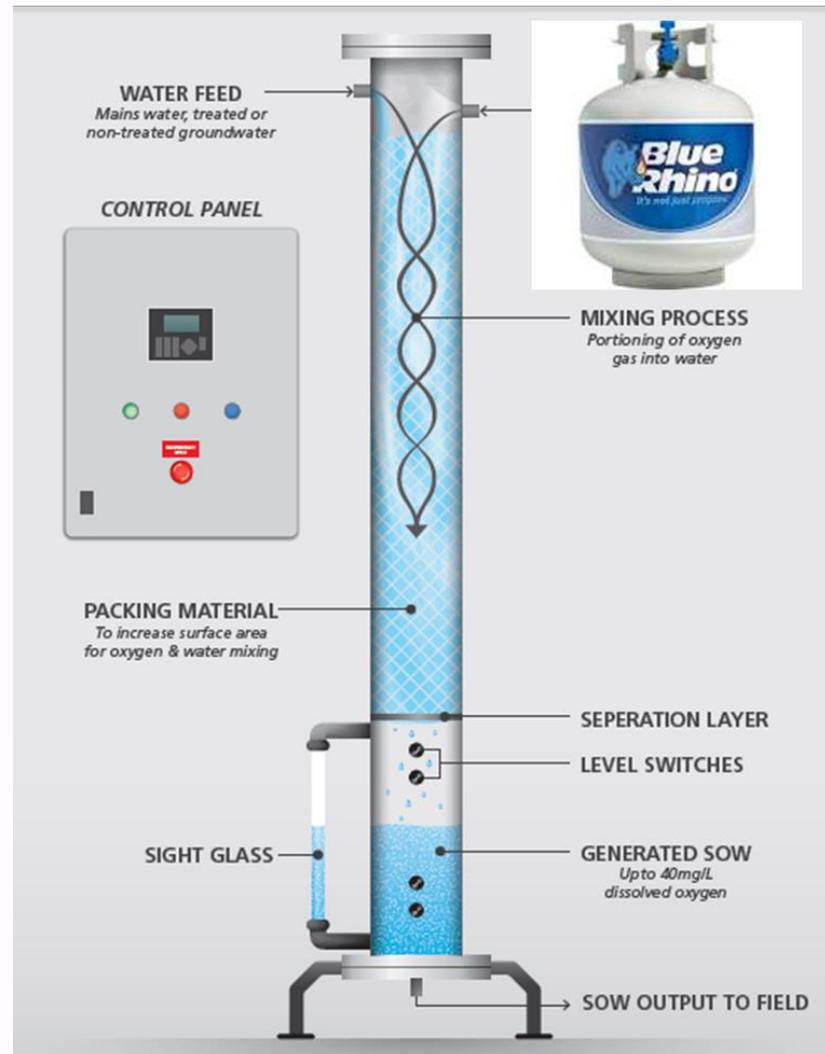
ORC™ de REGENESIS ( $MgO_2$ )

PermeOx™ ( $CaO_2$ )

Biobarbotage:



# Co-métabolisme des contaminants récalcitrants



## Chauffage des sols

Basse température (25-30 °C) → biodégradation

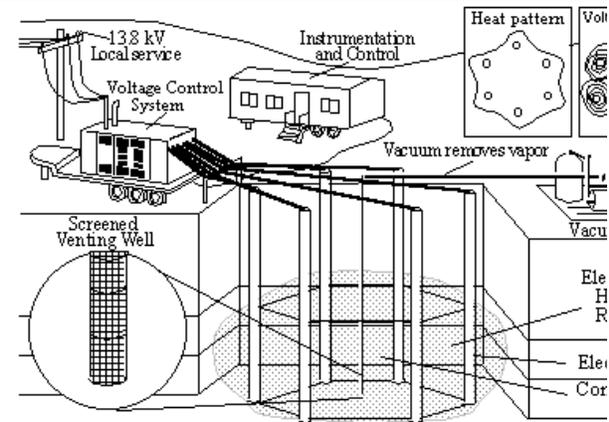
Moyenne température (60-100 °C) → diminution viscosité → pompage

Haute température (100-400 °C) → volatilisation, steam stripping

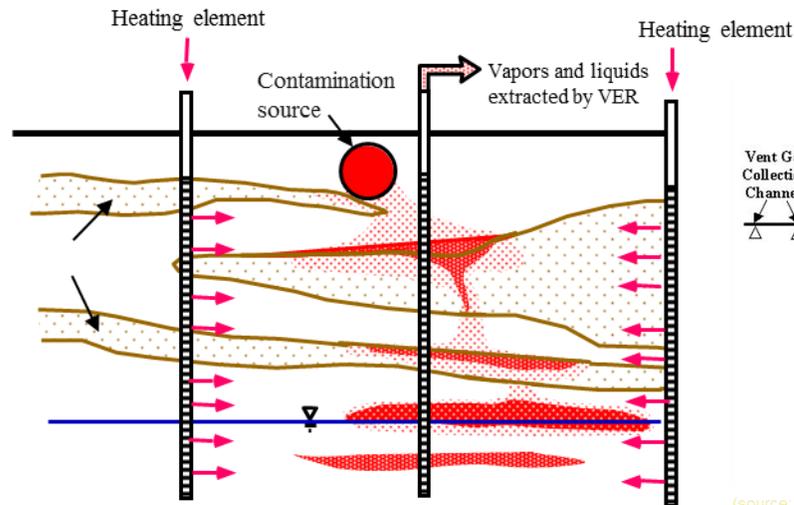


# Chauffage des sols

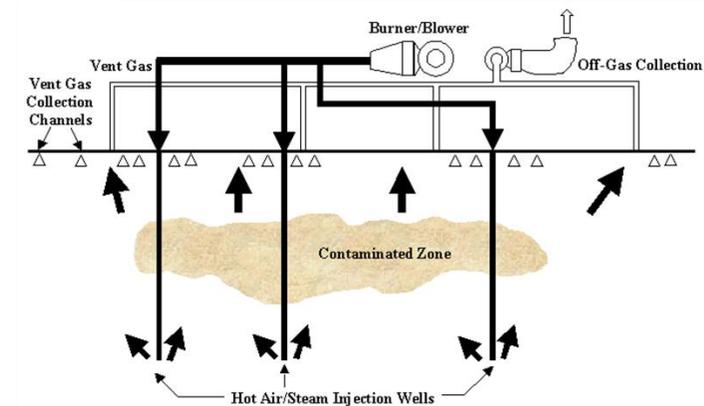
## Résistif



## Conductif

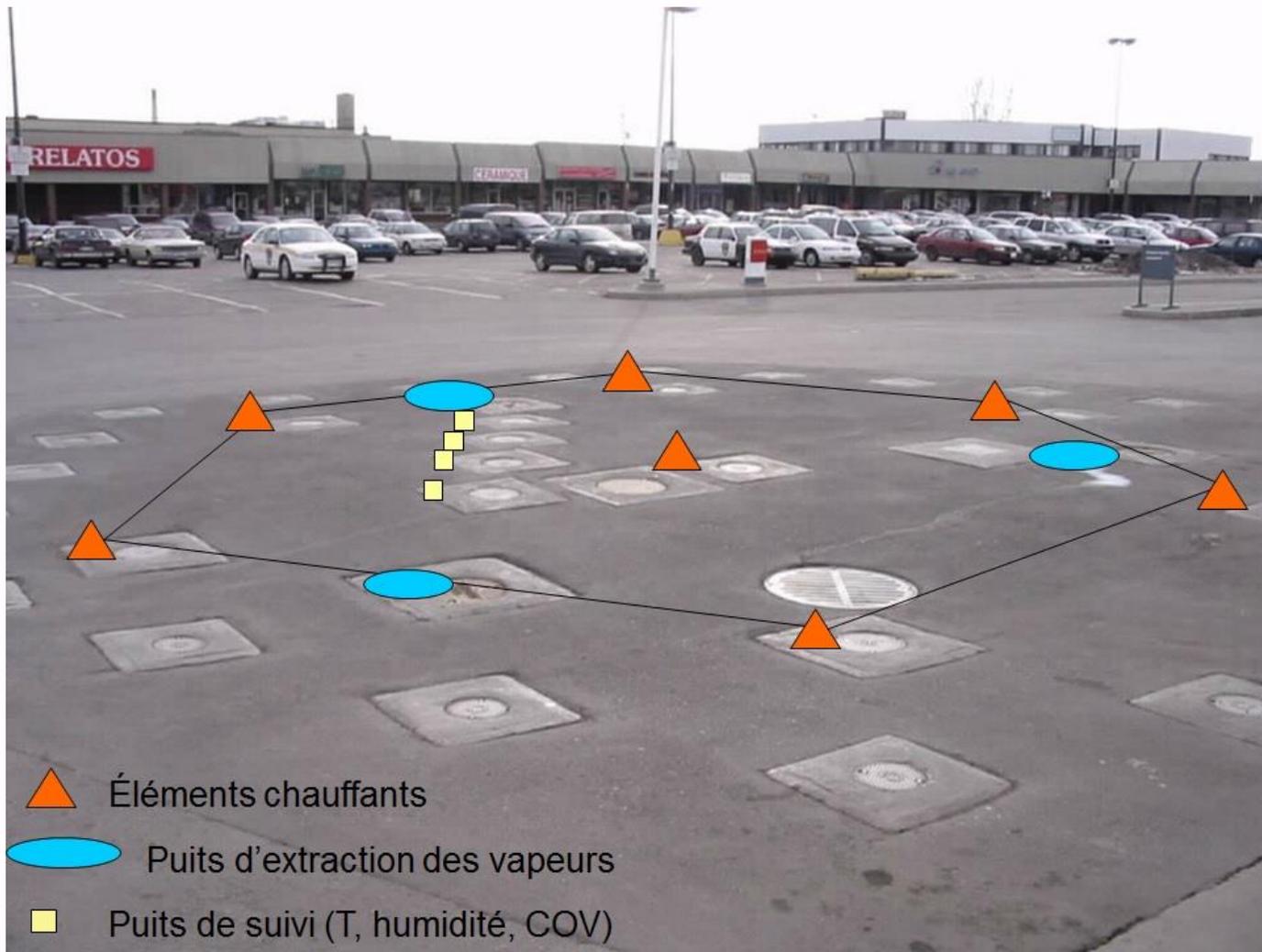


## Gaz/vapeur



(source: <http://www.ftr.gov/matrix2/section4/4-9.html>)

## Exemple de chauffage conductif



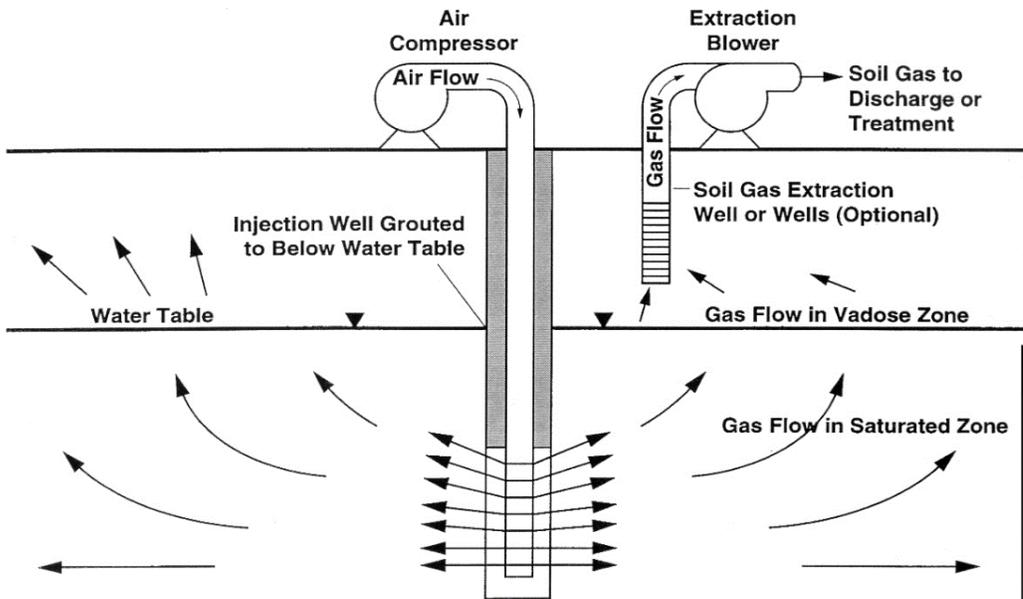
## Exemple de chauffage



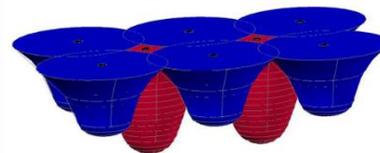
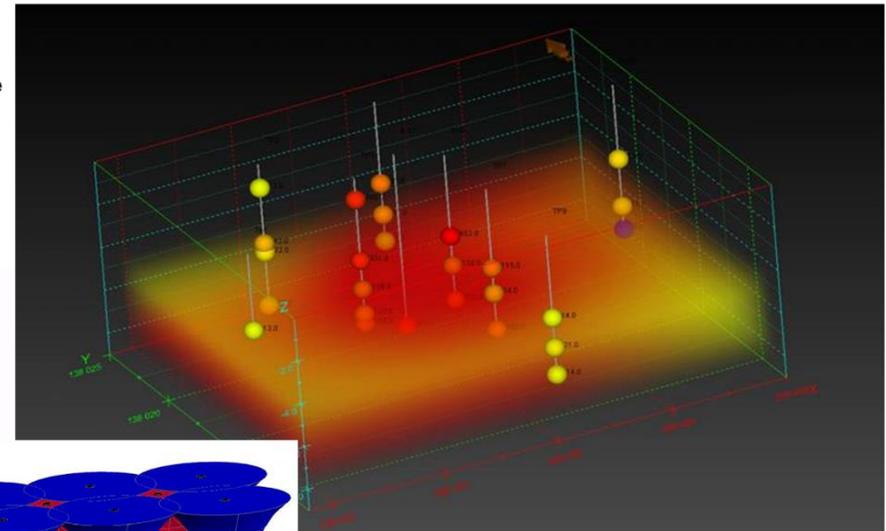
## Ventilation/bioventilation vs barbotage/biobarbotage

<b>Traitement par Injection/ extraction d'air</b>	<b>Processus physiques: Désorption Volatilisation</b>	<b>Processus biologique: Biodégradation</b>
<b>Zone vadose</b>	<b>Ventilation</b> (récupération des vapeurs)	<b>Bioventilation</b>
<b>Zone saturée</b>	<b>Barbotage</b> (récupération des vapeurs)	<b>Biobarbotage</b>

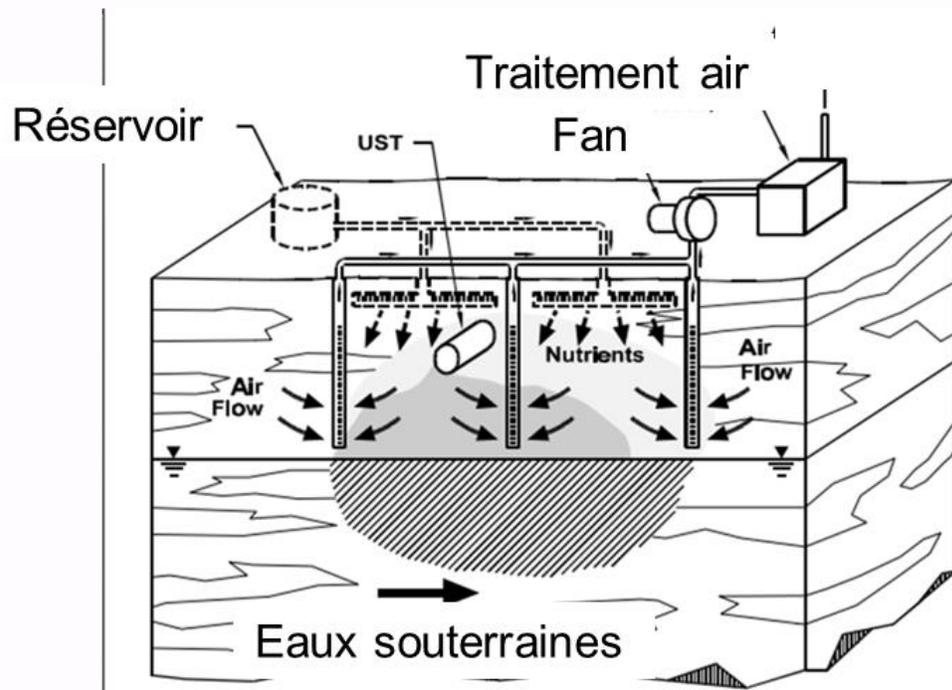
# Barbotage / Biobarbotage



COV : BTEX, TCE, ...  
Formation perméable  
AS: 3-10 scfm par puits  
BS: < 1 scfm par puits



# Bioventilation



## Lavage des sols

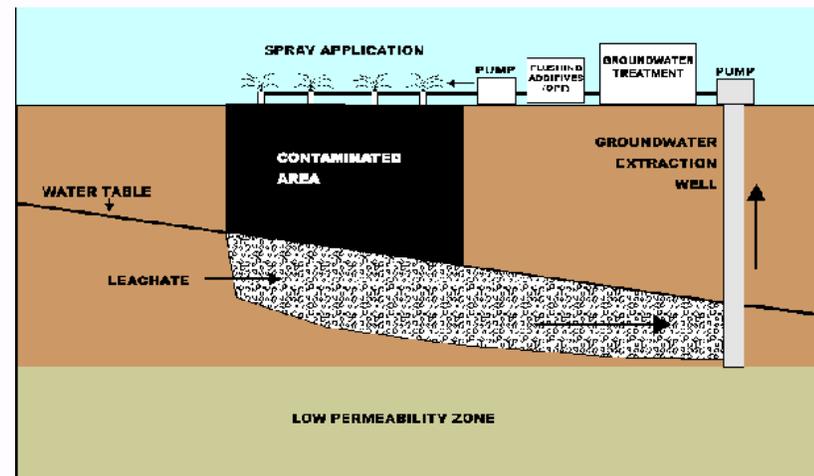
### *Ex situ*

- Séparation des particules fines
- Extraction des métaux
  - acide
  - chélateur
  - flottation
  - coagulant
  - surfactant
- Disposition/traitement



### *In situ (flushing)*

- Injection
- Récupération



### Défis:

- Traitement de l'eau
- Récupération des solvants
- Gestion des fines
- Nombre capillaire

## Stabilisation

Ajout de réactifs chimiques dans le but de transformer les métaux sous une forme moins soluble, mobile ou toxique.

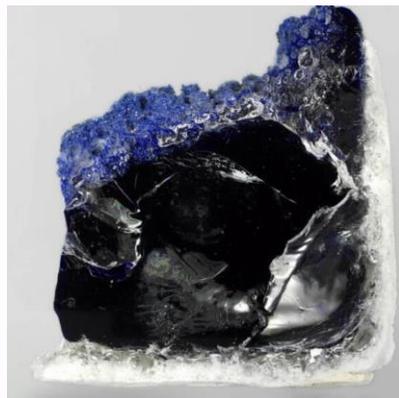
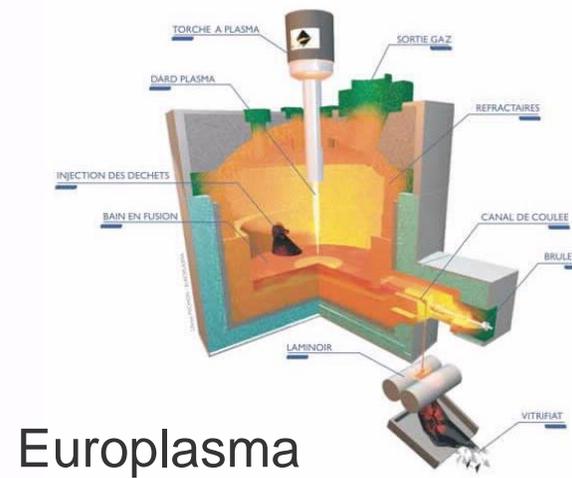
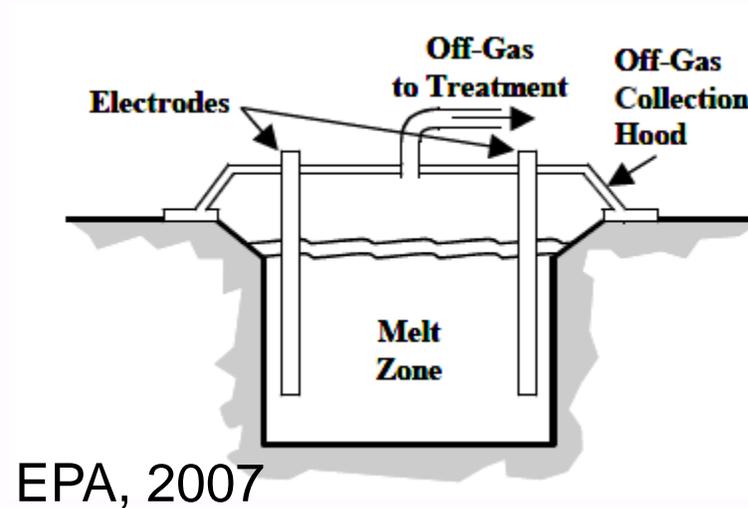
Essais de traitabilité en laboratoire

- Choix des réactifs
- Échantillonnage de sols représentatifs
- Mélange sols-réactifs
- Tests de lixiviation (TCLP et/ou SPLP)



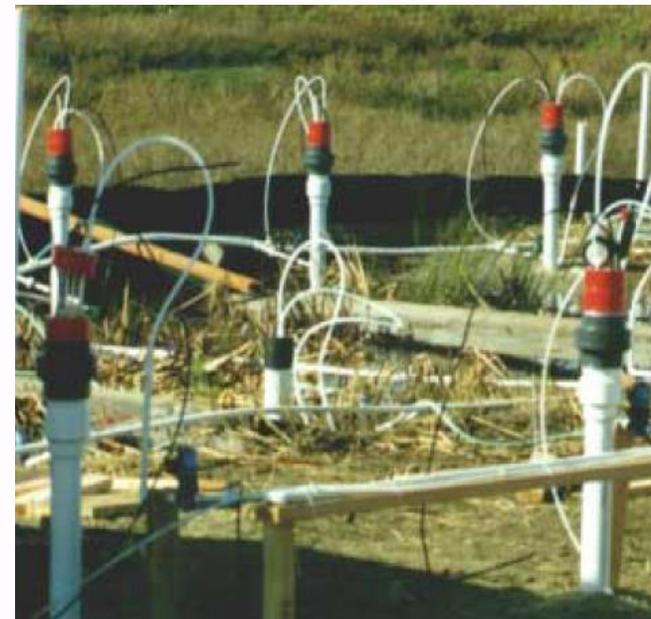
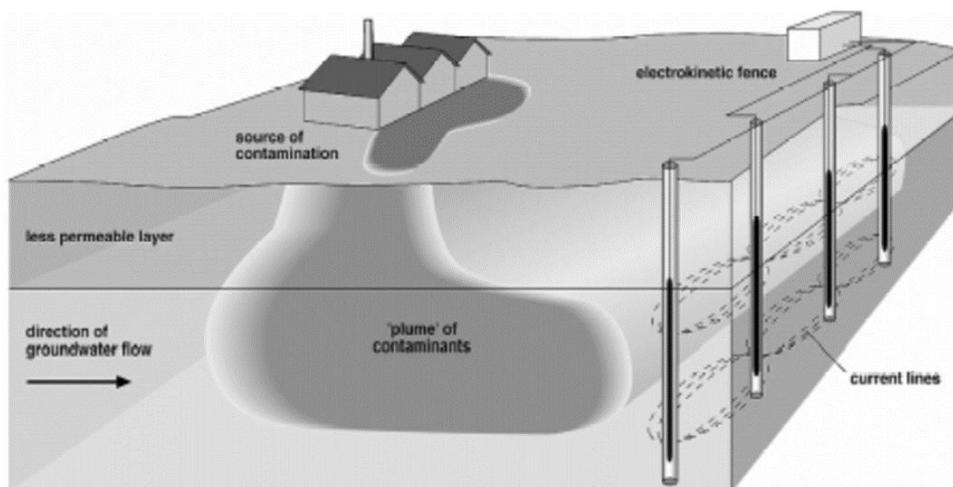
# Vitrification

Transformation des sols en une matrice vitreuse non-lixiviable



## Électrocinétique

- Migration des contaminants dans un milieu poreux sous un gradient électrique
- Consommation énergétique  $\cong 500 \text{ kWh/m}^3$
- Espacement des électrodes  $\cong 1\text{-}3 \text{ m}$
- Gradient électrique  $\cong 1\text{-}5 \text{ V/cm}$



# Électro-oxydation

## Migration du $\text{KMnO}_4$ - Granite

0 V

Après 1 semaine

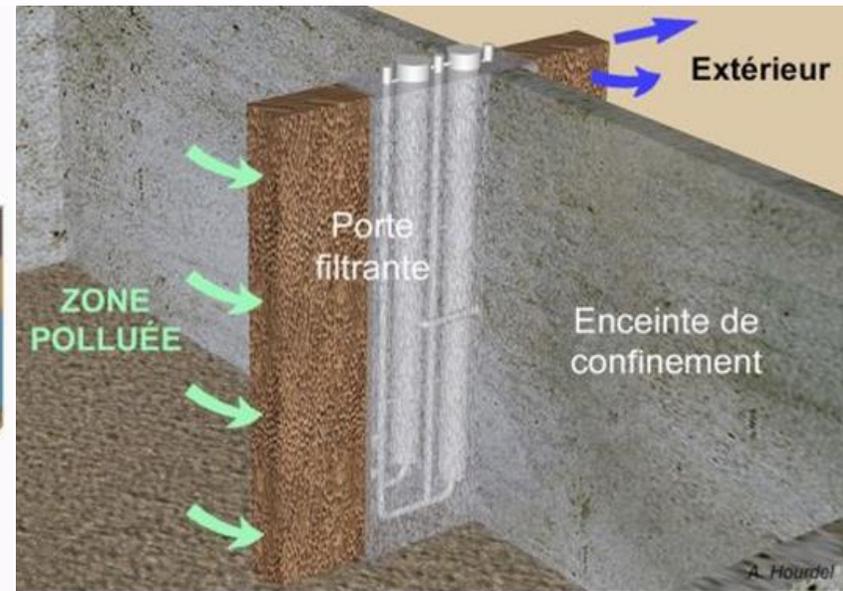
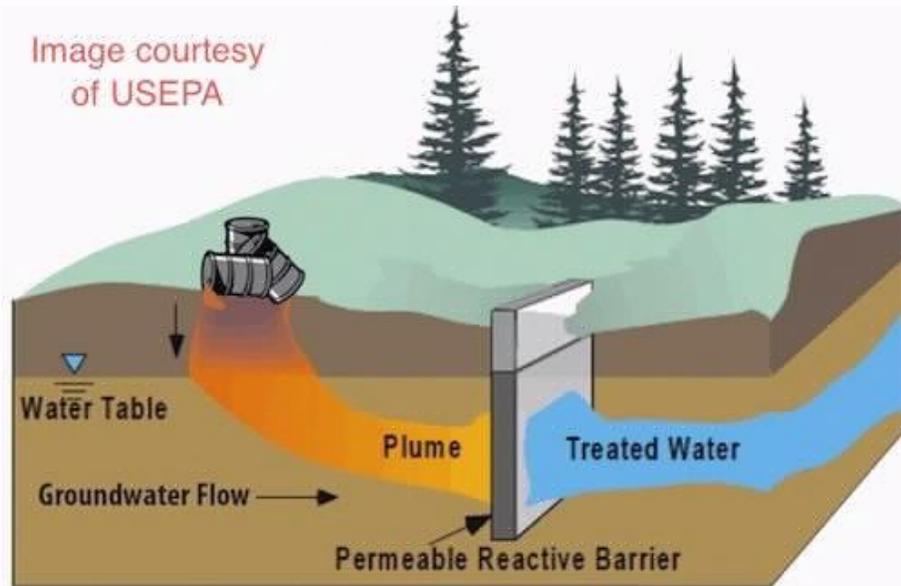


Porosité : 0,2%

5 cm



# Barrière réactive

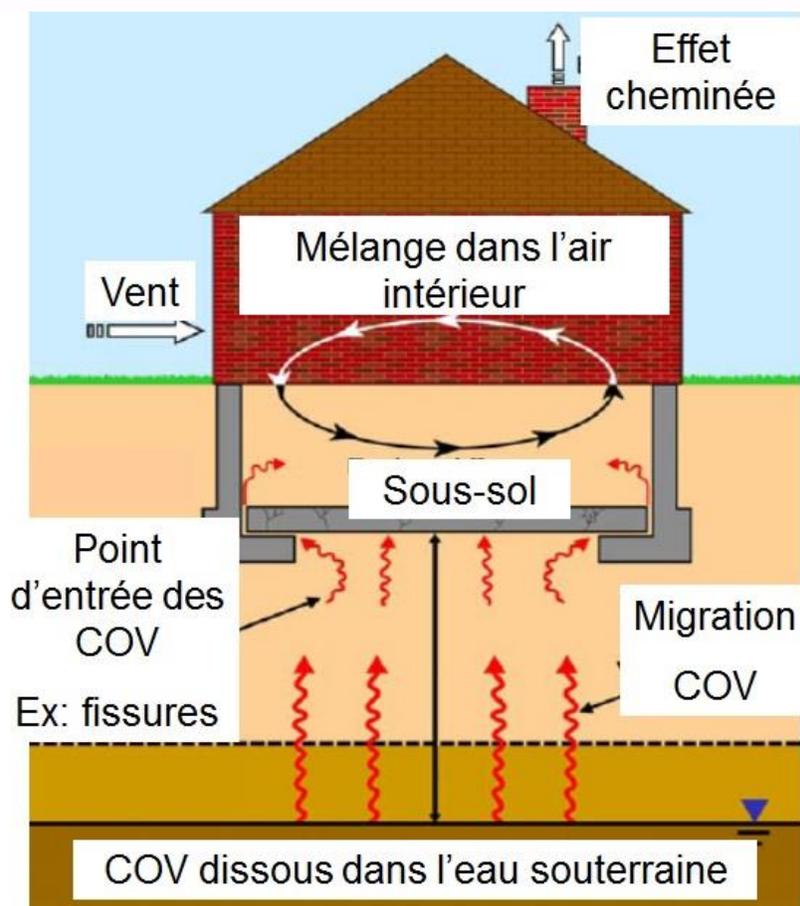


La barrière **Waterloo**™

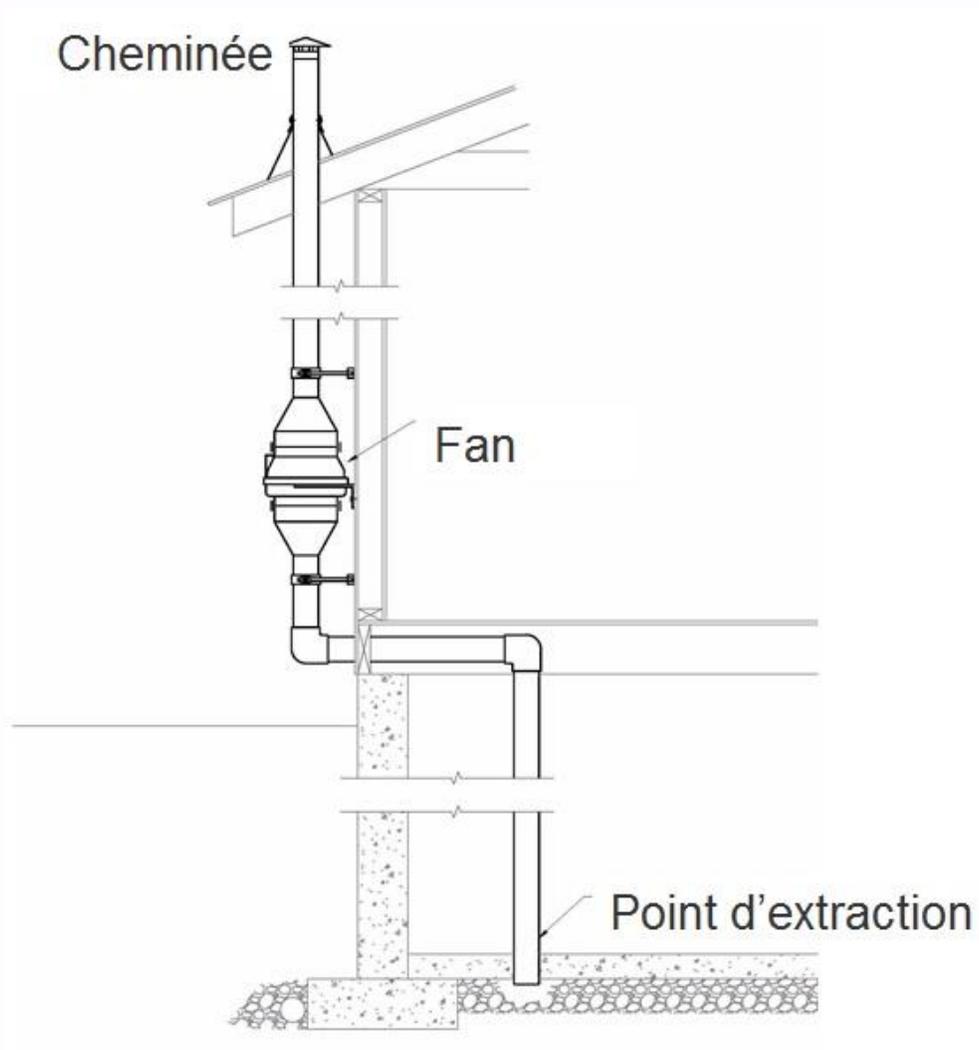
Barrière de traitement  
Palplanches

## Intrusion de vapeur

L'intrusion de vapeur est le phénomène par lequel les COV migrent des sols et/ou des eaux souterraines contaminés vers un bâtiment, y pénètrent et se mélangent à l'air intérieur.



## Mitigation des vapeurs



De retour dans 15 minutes pour le 2e exercice !



## Deuxième exercice (60 min)

- À partir du modèle conceptuel, vous sélectionnez la(les) technologie(es)
- Utiliser les outils disponibles pour dessiner/écrire
- Les membres du comité seront disponibles pour répondre à vos questions
- Présenter votre sélection à la fin de l'exercice

Bravo ! Bonne fin de journée ! Bons projets !



Associés



Collaborateurs



**CHEF DE FILE EN**  
**EXPERTISE ENVIRONNEMENTALE**  
**& PRODUITS SPÉCIALISÉS**



**Essais Environnementaux**



**SOLMATECH** inc.  
Géotechnique • Matériaux  
Environnement



ASSOCIATION  
DES FIRMES DE  
GÉNIE-CONSEIL  
QUÉBEC



ASSOCIATION  
DES FIRMES DE  
GÉNIE-CONSEIL  
**QUÉBEC**

1440, RUE SAINTE-CATHERINE OUEST, BUREAU 930  
MONTRÉAL (QUÉBEC) H3G 1R8

TÉL. : 514 871.2229 | [info@afg.quebec](mailto:info@afg.quebec)

[afg.quebec](http://afg.quebec)