



# LES SOLVANTS CHLORÉS: PROBLÈMES ET SOLUTIONS

26 October 2016

Présentation SUEZ

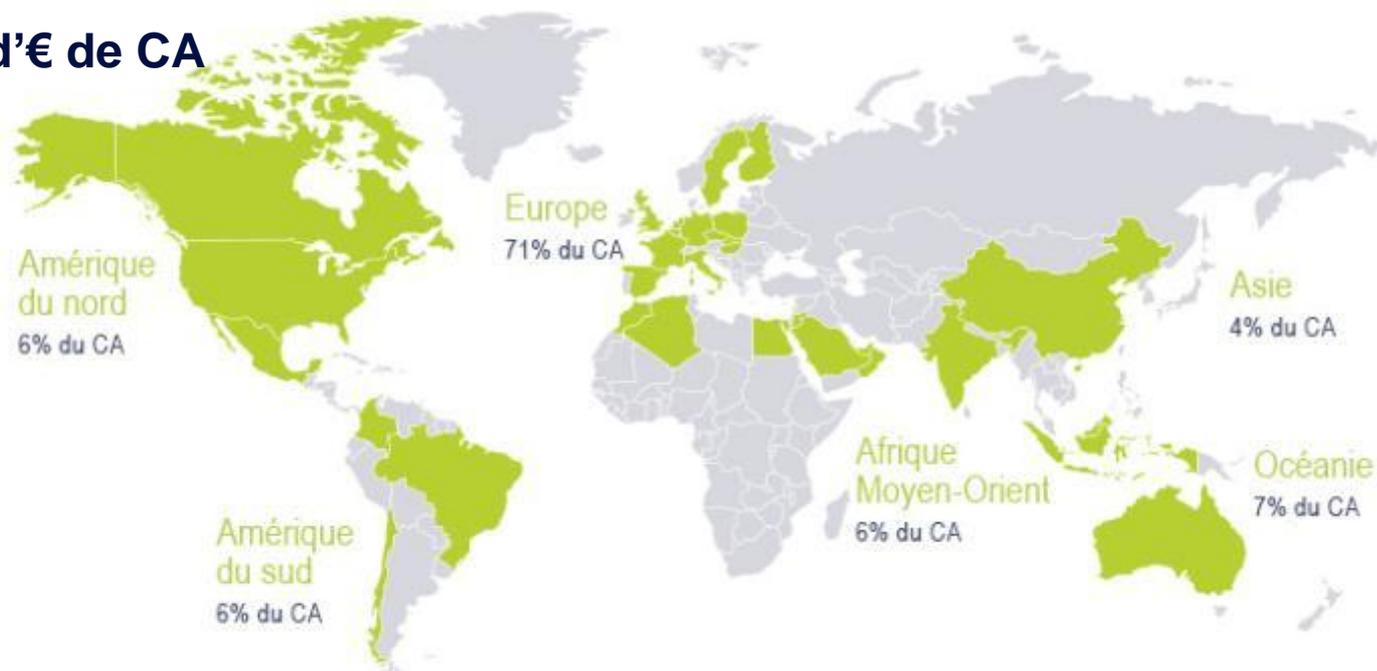
# SUEZ WORLDWIDE

SITA Remediation devient SUEZ



**80.000 employés**

**14,3 milliards d'€ de CA**



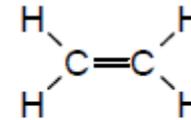
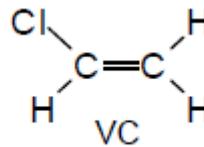
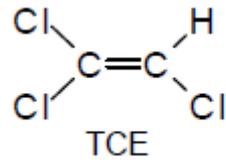
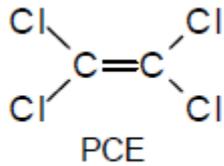
# LES SOLVANTS CHLORÉS: PROBLÈMES ET SOLUTIONS

- Caractéristiques
- Comportements dans le sous-sol
- Secteurs impliqués
- Investigation
- Méthode d'assainissement
  - Dans la zone non-saturée
  - Dans la zone saturée
- Etude de cas

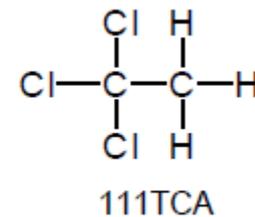
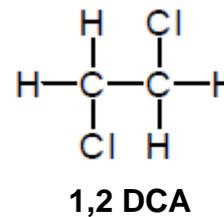
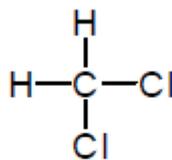
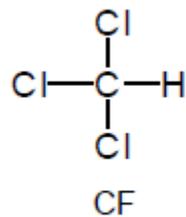
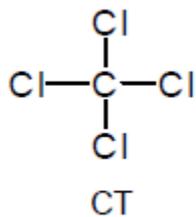
# Caractéristique, Comportement, ....

# LES SOLVANTS CHLORÉS: Caractéristiques

## Les éthylènes chlorés



## Les éthanes et les méthane chlorées



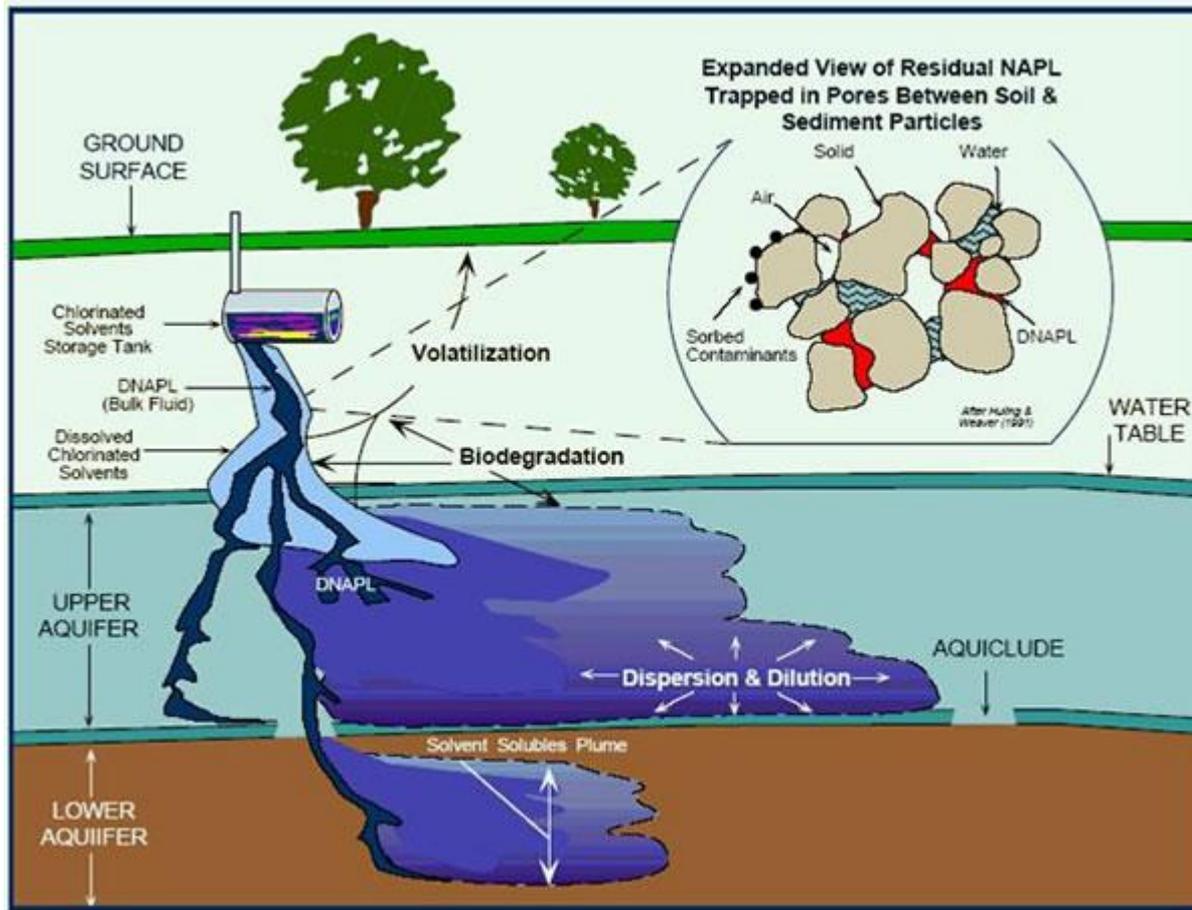
# LES SOLVANTS CHLORÉS:

## Caractéristiques

	Densité (gr/cm <sup>3</sup> )	Solubilité (mg/l) – 25°	Koc	Tension vapeur (mmHg)	Const . D'Henry
PCE	1,6	150	240	18	0,3
TCE	1,5	1.100	110	60	0,2
Cis-1,2-DCE	1,28	3.500	72	200	0,07
VC	0,91	1.100	33	2500	0,6
1,1,1 TCA	1,34	1.300	66	100	0,3
1,2 DCA	1,24	8.700	18	65	0,1

- Plus lourd que l'eau (DNAPL)
- Très solubles (plus de 1g/L)
- Mobile à très mobile (grande plume)
- Passe facilement en phase gazeuse (stripping)
- Dégradable biologiquement
- Très toxiques >> seuils de réhabilitation bas
- Peut diffuser à travers les PVC et le PE

# LES SOLVANTS CHLORÉS: Comportement



# LES SOLVANTS CHLORÉS:

## Secteur impliqué

- Nettoyage à sec
- Dégraissant
  - Industrie mécanique, automobile
  - Electronique
- Solvants
  - Chimie
  - Peinture, colle, imprimerie
- Alimentaire
  - Produit décaféiné (café par ex.)
  - Extrait d'épice
- Industrie
  - PVC (avec Chlorure de Vinyle)

# Investigation

# LES SOLVANTS CHLORÉS: Investigation

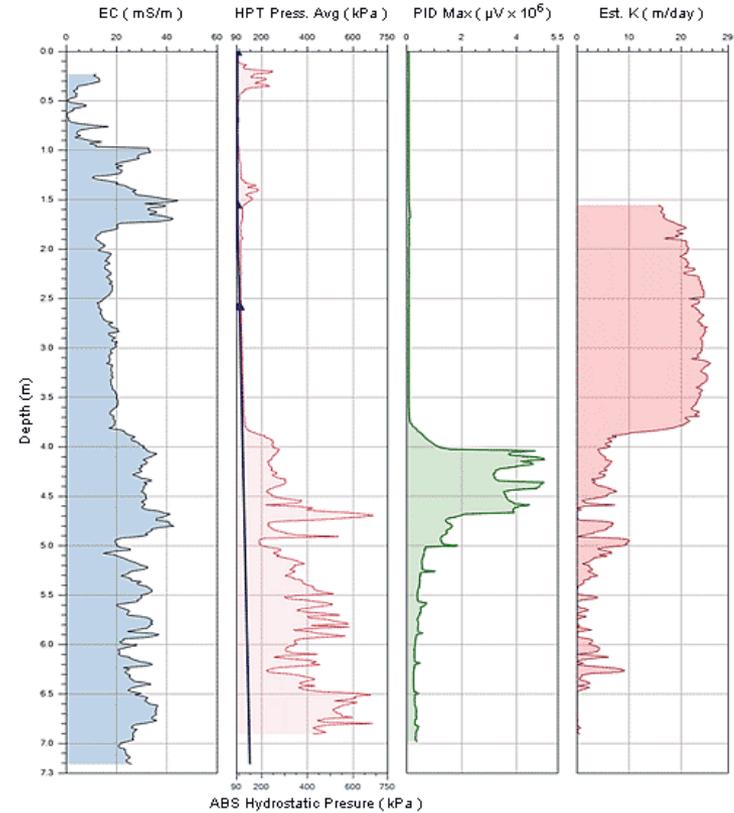
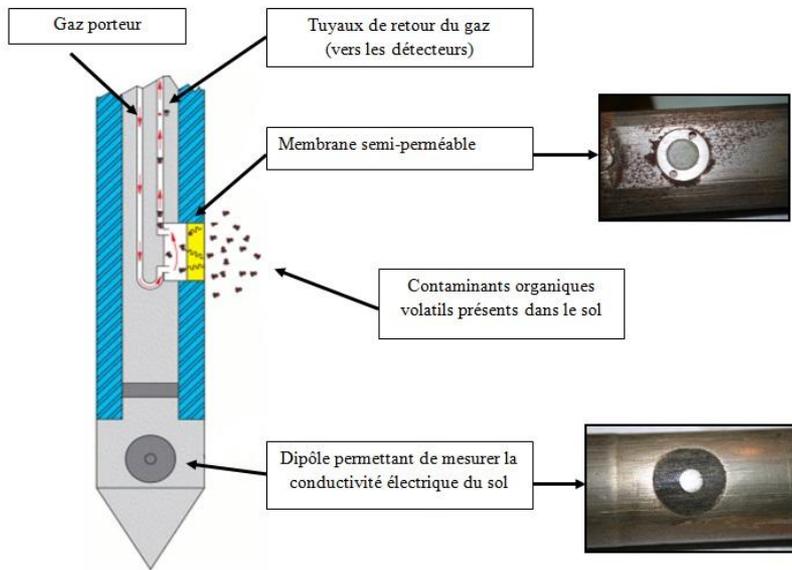
## ○ Moyen

- Etude (visite de site, archive)
- Forage
- Piézomètre
- MIP (membrane interface Probe)

## ○ Question

- Présence de produit pur ?
- Étendue de la pollution et du produit pur
- Présence d'activité biologique (dégradation naturel)
- Pollution accessible
- Bilan de masse

# LES SOLVANTS CHLORÉS: Investigation



# Solution technique

# LES SOLVANTS CHLORÉS:

## Les solutions

- Dans la zone insaturée :
  - Excavation + hors site / traitement des terres « on site »
  - Extraction d'air / venting
  
- Dans la zone saturée :
  - Pump & Treat
  - Airsparging + extraction d'air
  - Barrière réactive
  - Injections de produits afin d'améliorer la dégradation biologique
  - Injection d'oxydant
  
- Autres techniques complexes : électro-réclamation, injection de vapeur, phytoremediation, traitement thermique in situ

# LES SOLVANTS CHLORÉS: Choix de la technique

- Les traitements IN SITU sont incontournables quand :
  - La nappe doit être traitée
  - Le sol ne peut pas être excavé (bâtiments, infrastructures enterrées, grande profondeur...)
  - Les volumes de sol à traiter sont très importants
  
- Les traitements HORS SITE sont incontournables quand :
  - La dépollution doit être la plus rapide possible
  - Les volumes de terres sont très faibles et difficiles à traiter
  
- Les traitements ON SITE sont incontournables pour :
  - L'optimisation d'un traitement HORS SITE

# Excavation

## Applications:

- Suppression de la source
- en combinaison avec d'autres techniques d'assainissement
- Utilisation comme technique unique

## Paramètres:

- niveau piézométrique (rabattement)
- présence de couche coulante (DNAPL)
- étendue de la pollution à retirer (surface et profondeur)
- stabilité (présence de bâtiment et autres)
- accessibilité



# Traitement après excavation

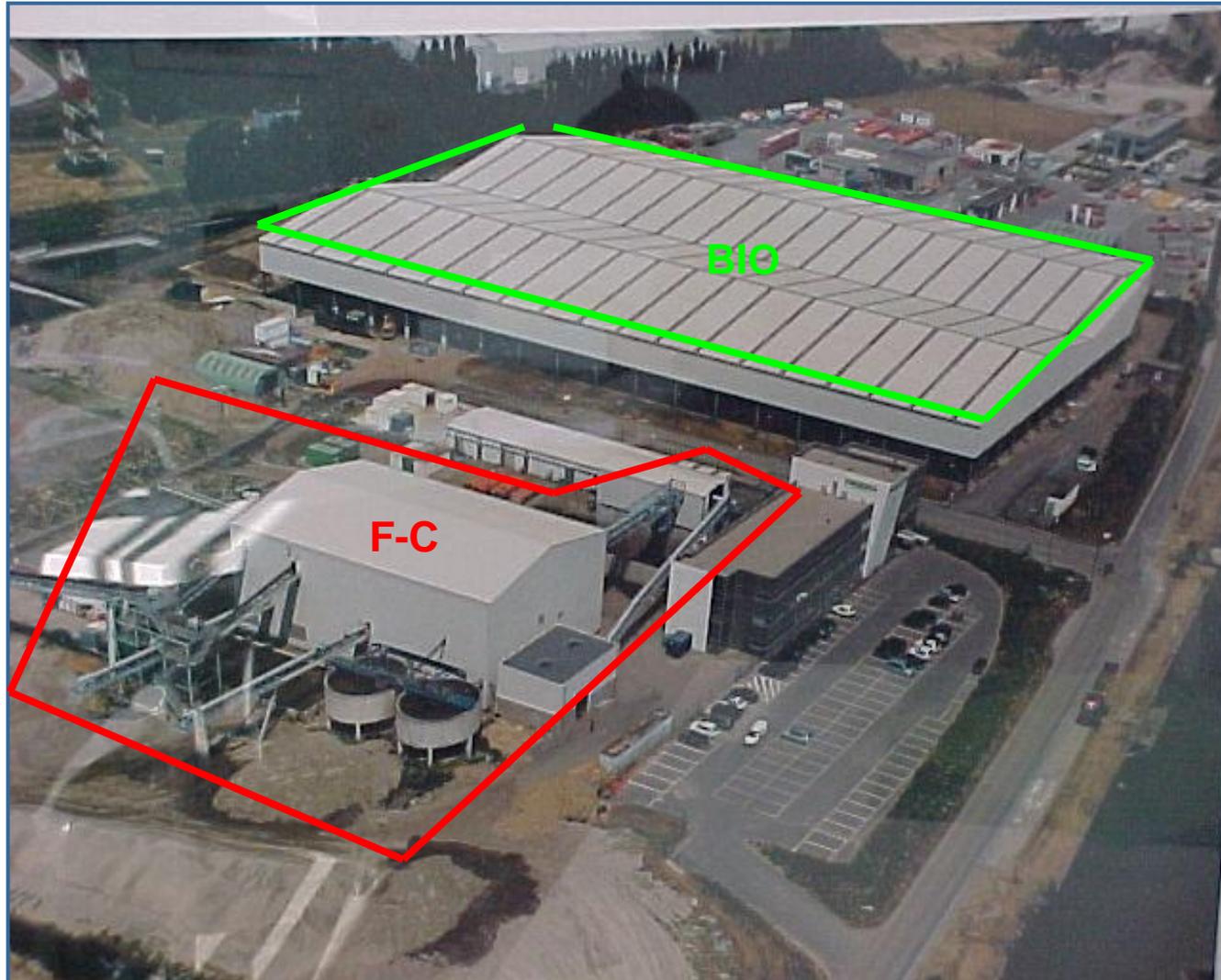
## Hors site (off-site):

- Transport par camion ou bateau
- Traitement Physico-chimique (fct de la granulo)
- Traitement Thermique
- Traitement biologique ??? (traitement anaérobic en phase test)
- En fonction des autres polluants en présence

## Sur site (on-site):

- Si il y a la place
- Si les quantités sont importantes
- Si on a un peu plus de temps
- En fonction des normes de réutilisation et d'émission

# Centre de traitement de terres polluées



# Installations mobiles



**Mobile PC**



**Combinaison thermique + PC**



**Bio-piles (venting)**

# Extraction d'air/venting

## Principe :

Les polluants volatils sont éliminés du sol par l'extraction d'air. Suite à la diminution de la concentration dans l'air du sol, un nouvel équilibre entre la pollution dans sol et celle de la phase gazeuse va s'installer. La pollution va ainsi diminuer progressivement.

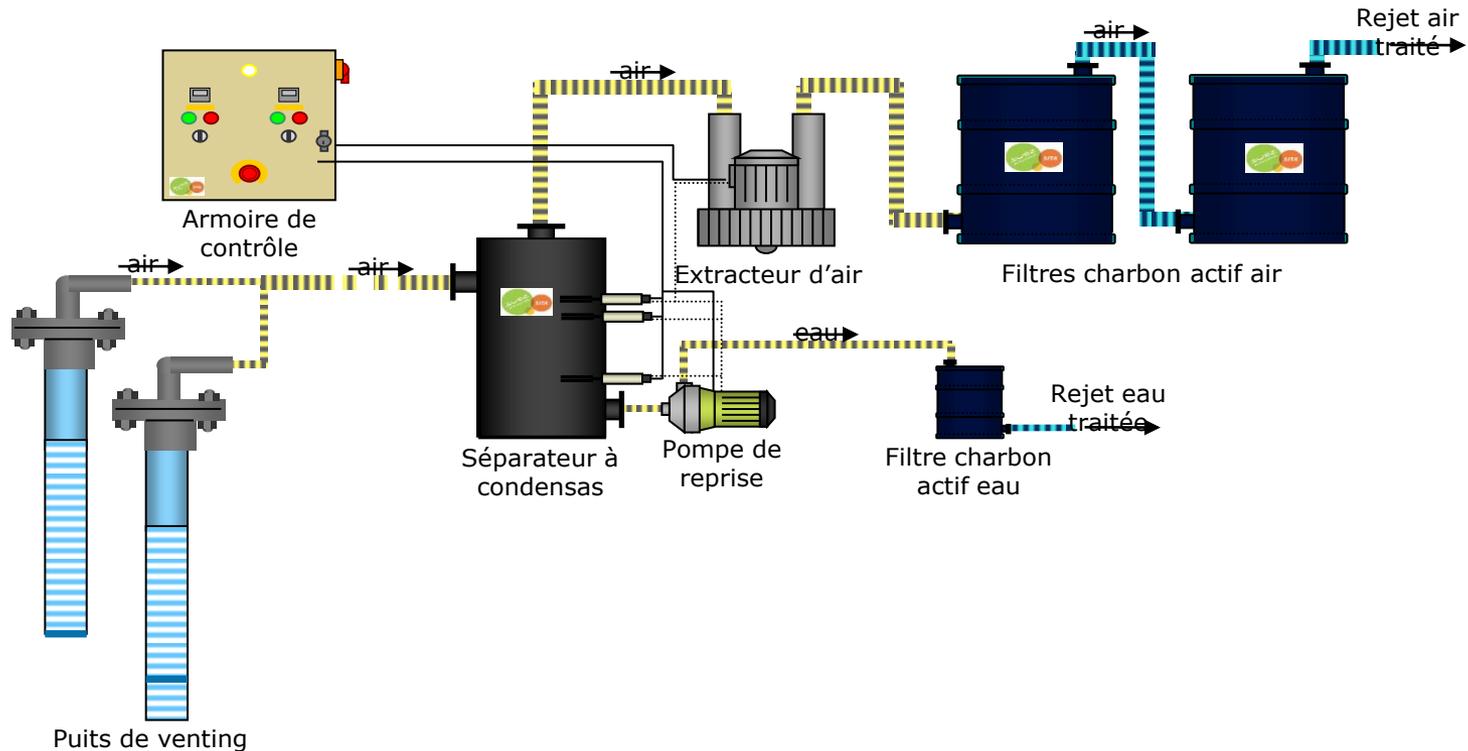
## Conditions :

- pollution volatile
- (tension vapeur > 100N/m<sup>2</sup>, coefficient Henry > 100 J/mol)
- bonne perméabilité du sol (>10<sup>-5</sup> m/s)
- de préférence un sol homogène
- faible teneur en matière organique
- zone insaturée d'épaisseur suffisante
- bonne teneur en humidité

# Extraction d'air

## Applications :

- Utilisé comme solution unique
- En combinaison avec un pump & treat
- En combinaison avec un sparging



# Extraction d'air: traitement de l'air

## Techniques les plus courantes:

- filtre à charbon actif

**Avantage: technique connue, faible coût de mobilisation et de location**

**Inconvénient :consommation importante ou pas assez de rendement pour de très fortes concentrations**

**Technique alternative dans le cas de très fortes concentrations dans l'air**

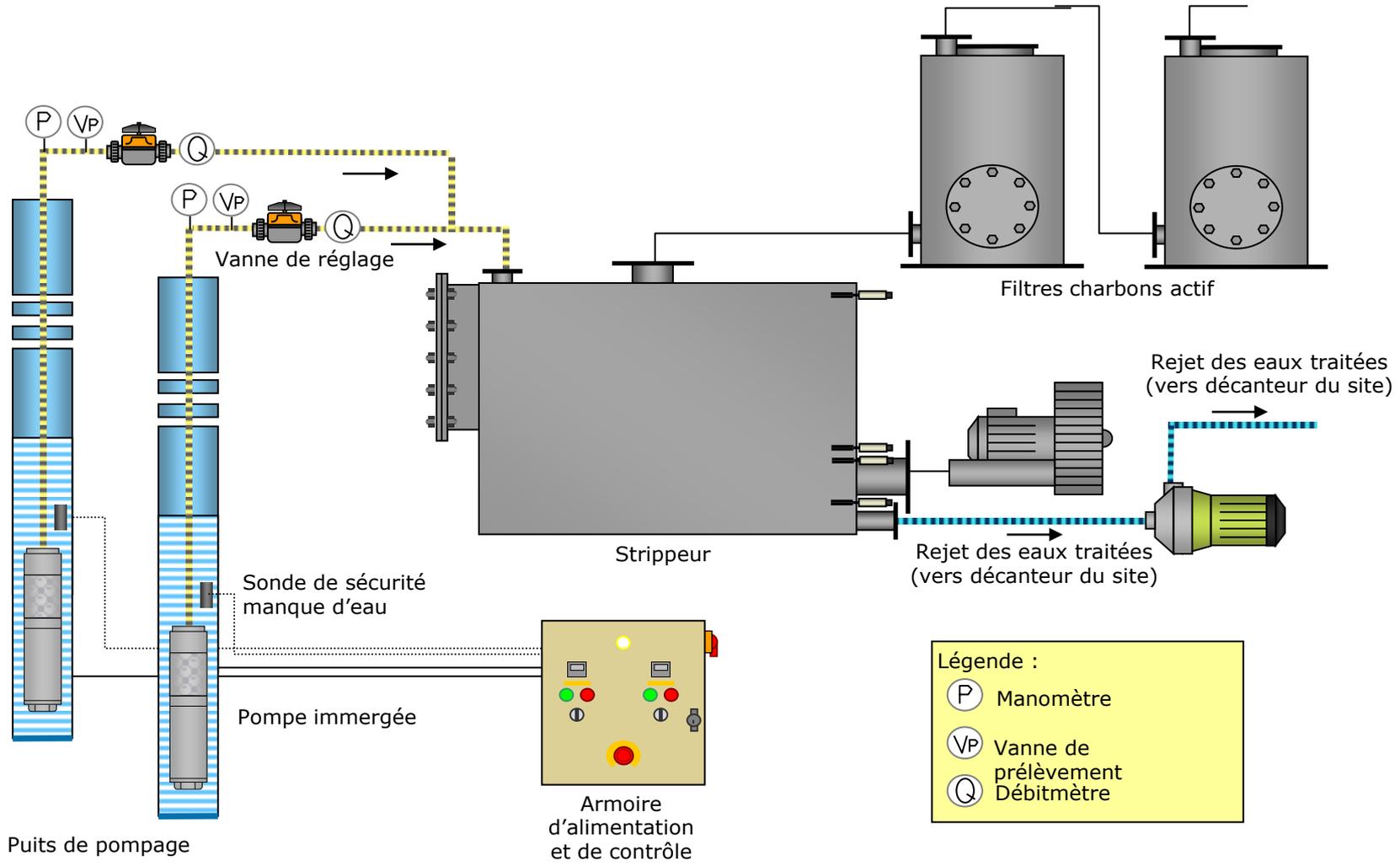
- Régénération du charbon actif

# LES SOLVANTS CHLORÉS:

## Les solutions

- Dans la zone saturée :
  - Pump & Treat
  - Airsparging + extraction d'air
  - Barrière réactive
  - Injection d'oxydant
  - Injections de produits afin d'améliorer la dégradation biologique
  
- Autres techniques complexes : électro-réclamation, injection de vapeur, phytoremediation, traitement thermique in situ

# Pump & Treat



Légende :

- Manomètre
- Vanne de prélèvement
- Débitmètre

# Pump & Treat

## Applications:

- en combinaison avec une excavation
- utilisé comme solution unique
- en combinaison avec d'autres techniques in-situ (extraction d'air, injection de produit, ...)

## Paramètres:

- nature du sol (granulométrie,...)
- structure du sol (homogénéité, présence de lentille d'argile, ...)
- hydrogéologie (perméabilité, direction et vitesse d'écoulement, ...)
- distribution de la pollution, présence de DNAPL
- caractéristiques de la pollution
- caractéristiques chimiques de l'eau (Fe, Ca, SS, ...)
- Risque de tassement
- Normes de rejet

# Pump & Treat

## Techniques d'extraction :

- filtres (verticaux, obliques, horizontaux)
- drains (en excavation par forage dirigé, ...)

## Techniques de pompage :

- Pompe de surface
- Pompe immergée
- Pompe multi-phase

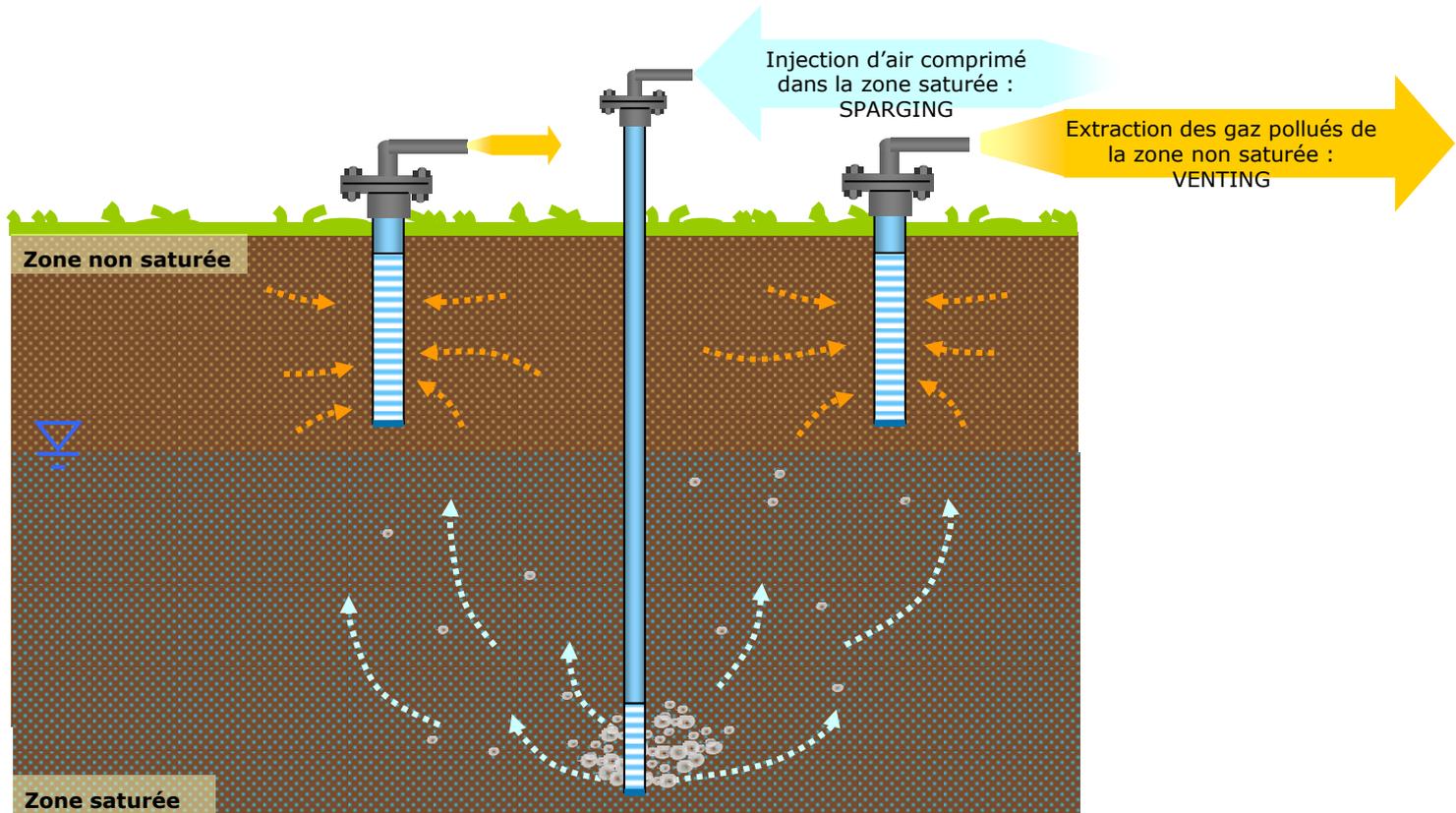
## Traitements des eaux souterraines:

- unité de Stripping (tour ou à plateau)
- unité de filtration (filtre à sable, filtre à charbon actif)
- UV, oxydation

# Pump & Treat



# Air Sparging



Les composants volatils sont extraits de la nappe phréatique par l'injection d'air. Par cette injection dans la nappe, les polluants volatils présents en solution sont transportés par l'air. L'air, ainsi chargé de polluants, migre à travers les pores vers la zone insaturée où elle est extraite pour être traitée. (= sparging)

# Air Sparging

## Conditions :

- pollution volatile
- (tension vapeur > 100N/m<sup>2</sup>, coefficient Henry- > 100 J/mol)
- bonne perméabilité du sol (>10<sup>-5</sup> m/s)
- de préférence un sol homogène
- faible teneur en matière organique
- faible teneur en fer dans l'eau



- Rapidement modulable et adaptable à la gestion de l'entreprise.
- Finition souterraine envisageable via des tranchées et des chambres de visite.
- Contrôle de la dissipation des volatils et des risques qui y sont liés.

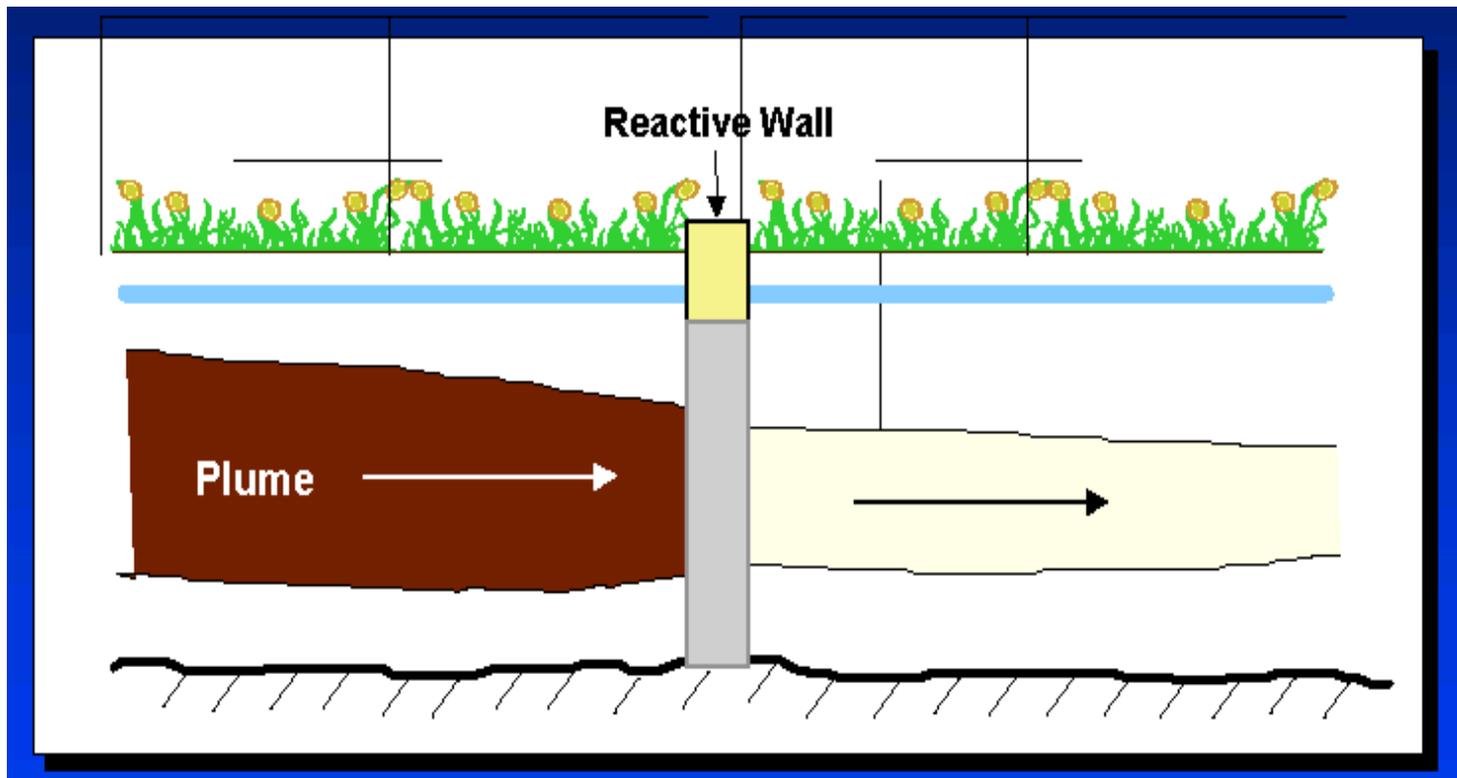


- Consommation d'électricité (compresseur, ventilateur, ...)
- Coût de remplacement (charbon actif,...)
- Entretien de l'installation

# Barrière réactive (PRB)

Par la mise en place d'une barrière réactive, on opte pour un contrôle passif de l'eau

à l'intérieur du confinement en utilisant l'écoulement naturel de la nappe.



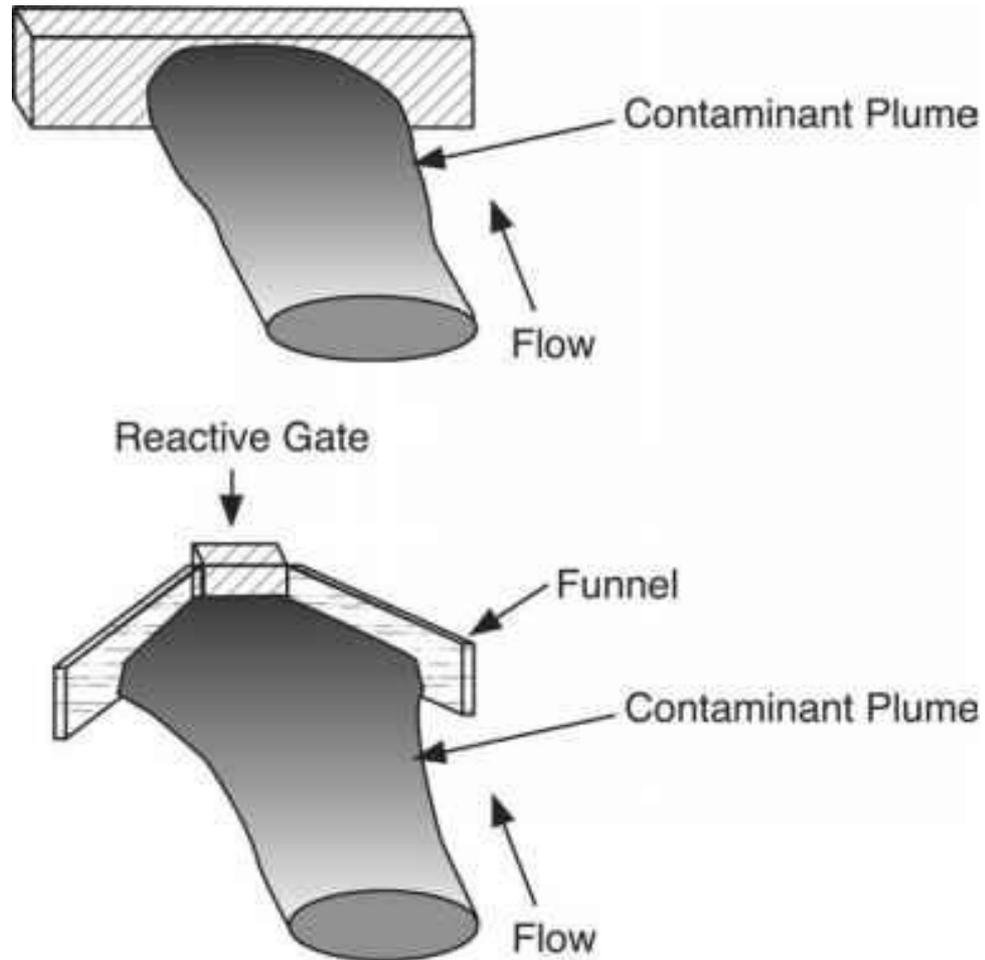
## Avantages des PRB

- Procédé simple et passif (pas de coût d'exploitation après installation, par de coût de rejet)
- Pas d'influence sur l'aquifère
- Applicable à de nombreux polluants
- Pas de nuisance pour l'activité industrielle après la mise en place
- (complètement fini en souterrain)

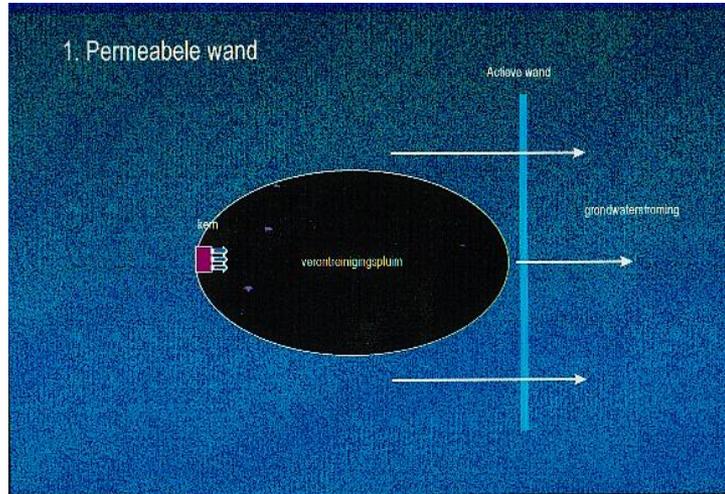
## Avantages et limites des PRB

- Etude préliminaire importante
- Installation conséquente (en fonction du site)
- Profondeur limitée
- Pas de produit pur (LNAPL ou DNAPL)
- Pas efficace pour des nappes à écoulement rapide

# PRB >< Funnel & gate



# PRB >< Funnel & gate

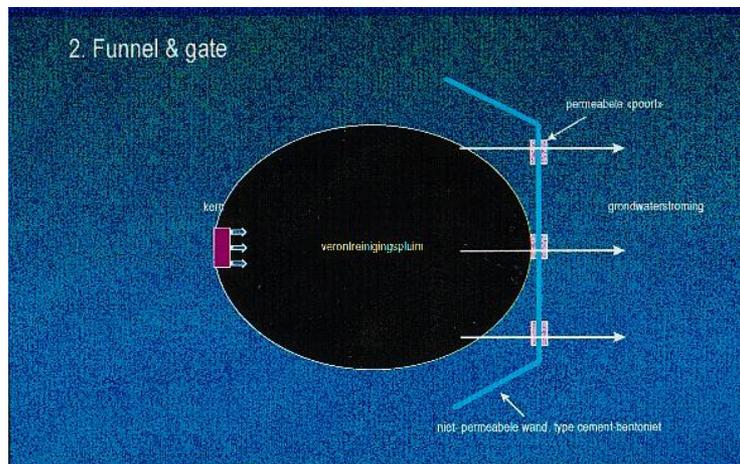


+

- Peu d'influence sur l'écoulement de la nappe
- Pas de paroi imperméable à placer

-

- Grande zone de contrôle
- Beaucoup de réactif et difficile à changer



+

- Petite zone de contrôle (uniquement au niveau des portes)
- Changement de réactif plus aisé

-

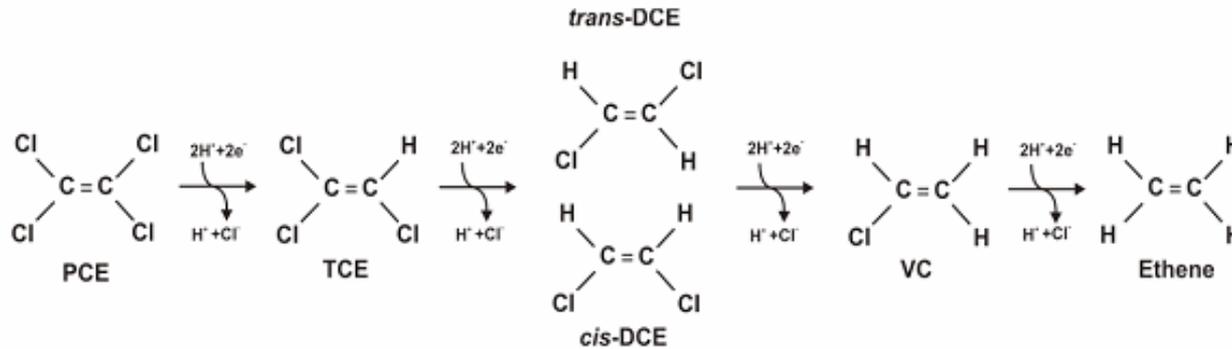
- ancrage la barrière (couche imperméable)
- Influence importante sur l'écoulement de la nappe

## Réactif (Dégradation, précipitation, adsorption,.... des polluants)

### Exemples

○ Réactif breveté par SUEZ	→	VOCl, Cr VI
○ Fe(0)	→	VOCl, Cr VI
○ Charbon actif	→	Polluant organique
○ morceaux de chaux	→	métaux lourds, pH
○ matériaux adsorbants en granules	→	métaux lourds
○ Mélange organique	→	polluant biodégradable
○ ORC / HRC	→	polluant biodégradable
○ ...		

# Réduction Biologique in-situ



- Comment « désoxygéner » une nappe et nourrir les bactéries (anaérobie)
- Dimensionnement :
  - Nombre de puits, débits → fonction de K,
  - Validation efficacité, choix réactifs : essais laboratoire (surtout pour les traitement biologiques) anaérobies
- S'assurer d'une dégradation complète
- Risque de nuisance olfactive, obstruction aux points d'injection, ....

# Réduction Biologique in-situ

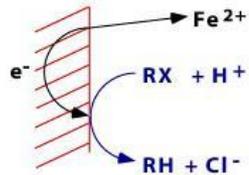
	AVANTAGES	INCONVENIENTS
<b>Mélasse</b>	Prix	Très soluble Source de carbone non spécifique Préparation pour injection
<b>Lactate</b>	Source de C spécifique Anaérobie	Très soluble Prix
<b>Huiles végétales</b>	Source de C spécifique Anaérobie Effet « retard »	Nécessite une fermentation Injection plus délicate (loi de filtre)
<b>Emulsion d'huile</b>	Injectable Effet « retard »	Nécessite une fermentation
<b>Source solide (chitine, ...)</b>	Effet « retard »	Injection plus délicate (loi de filtre)

# Réduction Biologique in-situ

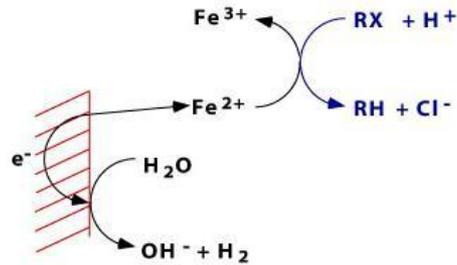
	Diffusion	Injection
Principe	Mise en place dans des piézomètres de système à diffusion lente	Injection sous pression dans des ouvrages spécifiques des réactifs
Types de réactifs	Diffuseurs O2, Peroxyde solides	Peroxyde liquide, suspension, lactate, mélasse, huile
Divers	<p>Mise en œuvre simple</p> <p>Le rayon d'influence dépend de vitesse de nappe. Il est plus faible qu'en injection</p>	<p>Mise en œuvre simple.</p> <p>Peut nécessiter un nombre d'ouvrages importants</p> <p>Permet une injection sous pression pour des sols peu perméables</p> <p>Injection ponctuelle, sur puits fixes et/ou IRS (manchettes)</p>

# Réduction Chimique in-situ

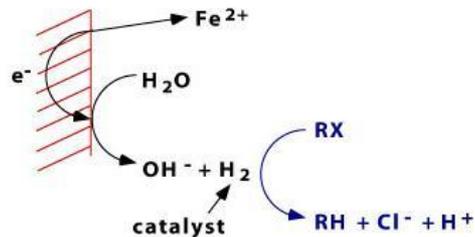
(A) Direct Reduction at the Metal Surface



(B) Reduction by Ferrous Iron



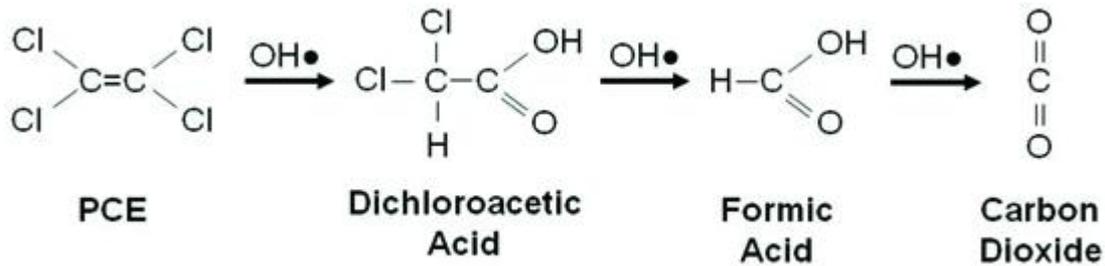
(C) Reduction by Hydrogen with Catalysis



○ Utilisation métal zéro valent

- En général de Fer
- En barrière (mélangé ou pas avec du sable)
- En injection direct (fer nano ou micro particulaire en solution)

# ISCO: Oxydation Chimique in-situ



Oxydants	Potentiel (V)	Forme
Réactif de Fenton (OH°)	2,8	Liquide
Ozone (O <sub>3</sub> )	2,07	Gaz
Persulfate (S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup> )	2,01	Sel ou liquide
Peroxyde d'hydrogène (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	1,78	Liquide
Permanganate (MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	1,68	Sel ou liquide

# ISCO: Oxydation Chimique in-situ

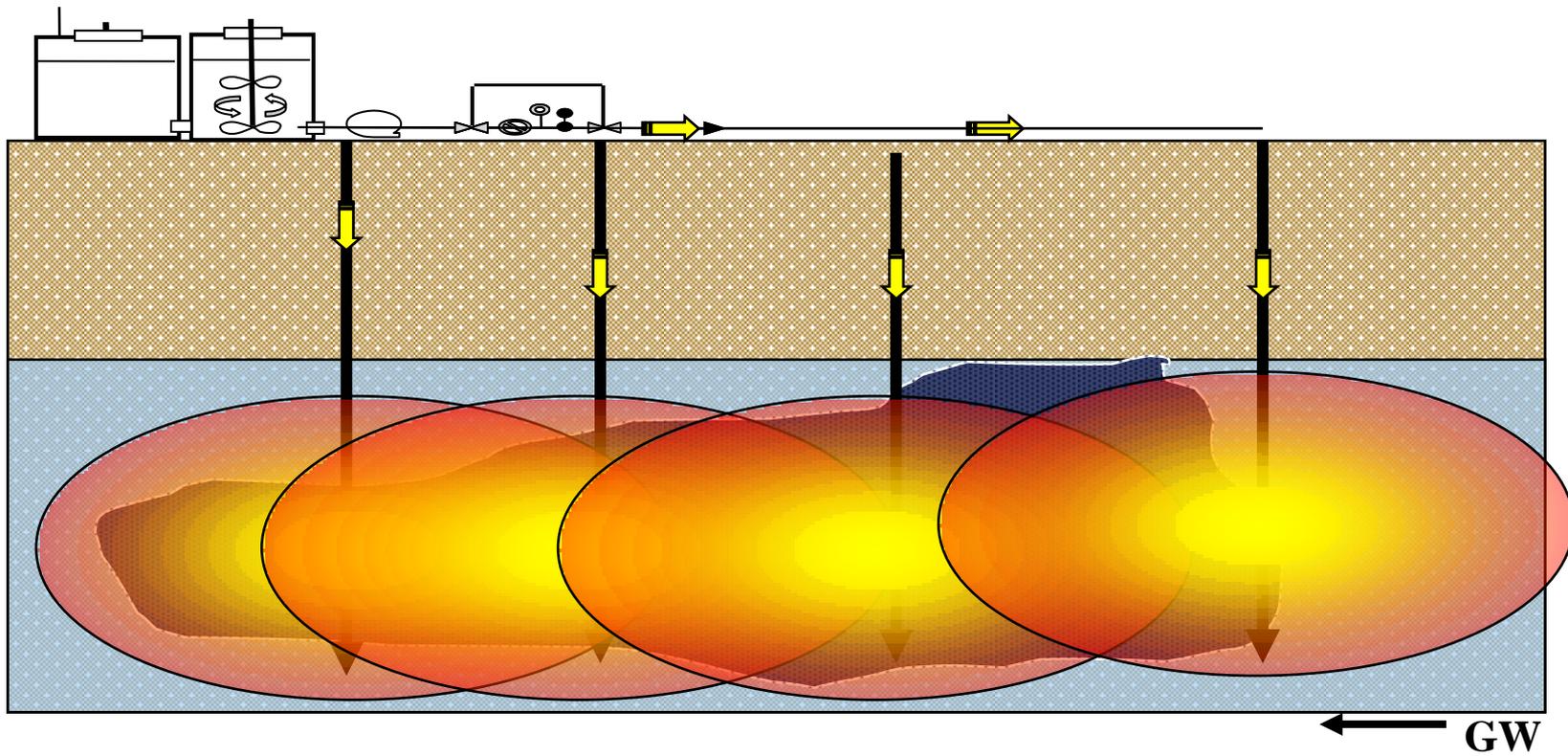
## Applications:

- Utilisé comme solution unique
- En combinaison avec d'autres technique in-situ (extraction d'air, ...)
- Injection de produits stimulant la biodégradation, ...)

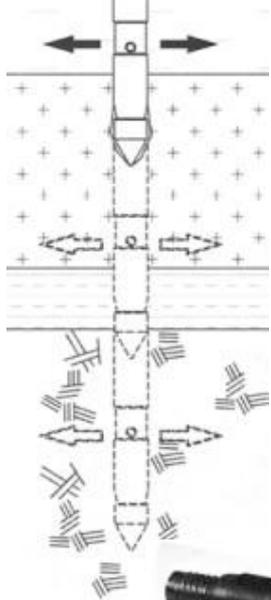
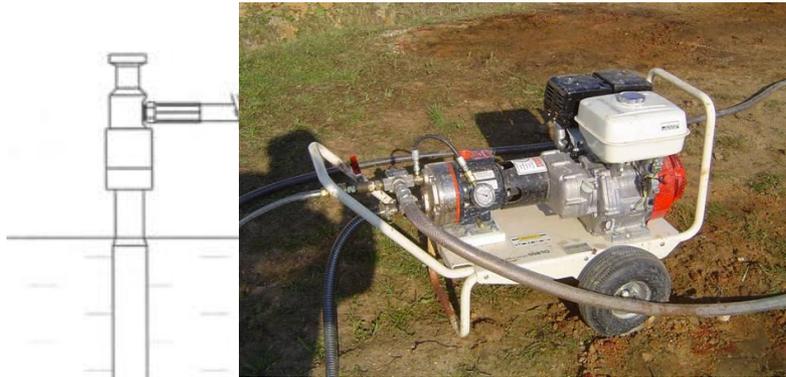
## Paramètres:

- Nature du sol (granulométrie,...)
- Structure du sol (homogénéité, présence de lentille d'argile, ...)
- Hydrologie (perméabilité, direction et vitesse d'écoulement, ...)
- Distribution de la pollution, présence de LNAPL / DNAPL
- Caractéristiques de la pollution
- Cc en matière organique
- Demande naturelle en oxygène
- PH du sol et/ou des eaux

# ISCO: injection ponctuel



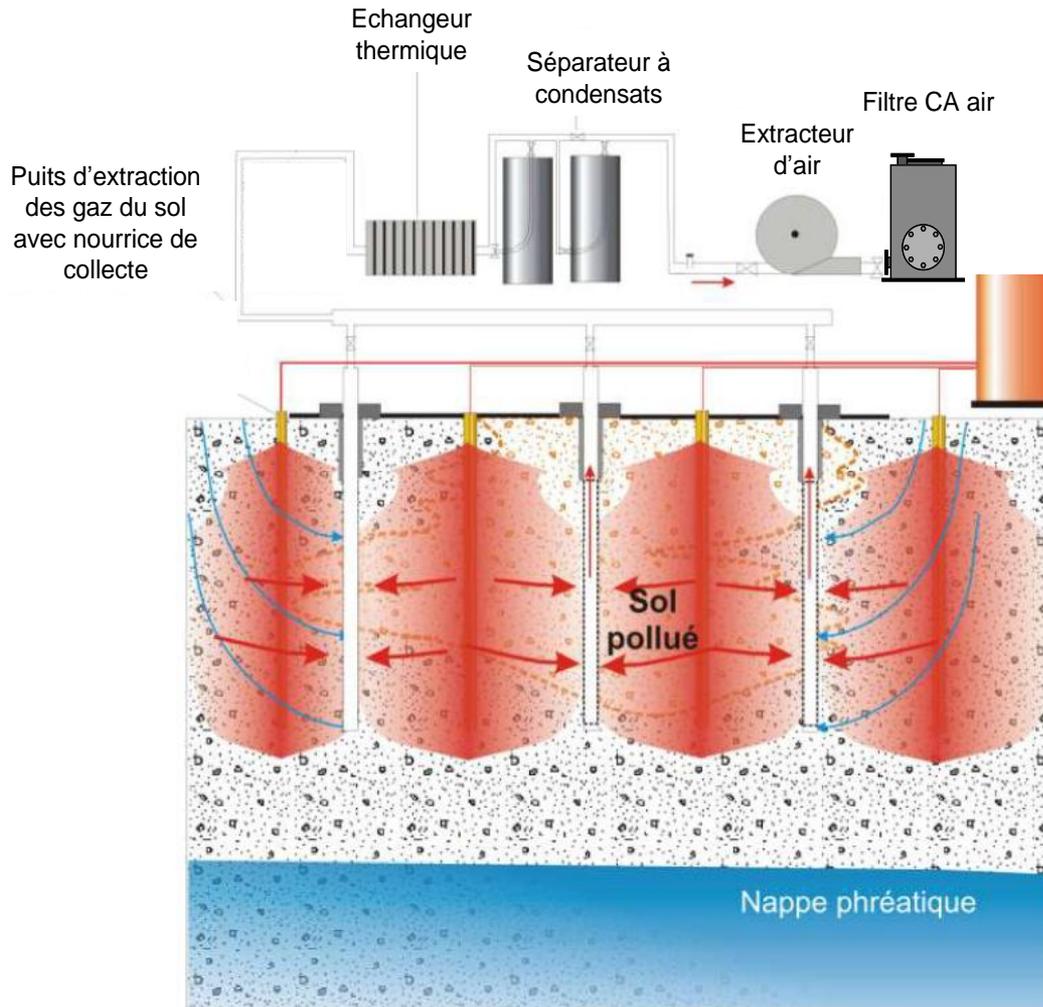
# ISCO: Oxydation Chimique in-situ



# Autre technique : Traitement thermique

- Base : Chauffage du sol + Extraction sous vide / Venting
- Polluants traités : Volatils à peu volatils
- Compartiment ciblés : Zone non saturée ou non (selon technique)
- Principe: Le chauffage ( $t^{\circ}\text{C}$  entre 50 et  $200^{\circ}\text{C}$ ) du sol entraîne :
  - Augmentation de la solubilisation de la pollution
  - Assèchement du sol et augmentation de la perméabilité
  - Augmentation de la volatilisation de la pollution
  - Parfois, dégradation de la pollution
  - Les fluides extraits sont alors récupérés par un système multiphase, intégrant des étapes de refroidissement et condensation, puis des étapes de traitement (venting, pompage traitement).

# Autre technique : Traitement thermique



# Autre technique : Traitement thermique

## ○ Technique de chauffage :

Plusieurs techniques pour chauffer les sols :

- INJECTION : Injection d'air / vapeur chaude : SEE / Desotherm® : température visée du sol entre 50 et 100°C
- CHAUFFAGE CONDUCTIF : Mise en oeuvre de cannes chaudes dans le sol (chauffées électriquement ou au gaz) : température du sol montant jusqu'à 200°C
- CHAUFFAGE RESISTIF : circulation d'un courant électrique dans le sol via un réseau d'électrodes. La circulation du courant engendre un échauffement des terrains. Température limitée à 100°C

## ○ Éléments de dimensionnement :

- Maillage d'aiguille de chauffage très dense (distance entre deux aiguilles 1 – 2 m (pour conductif))
- Durée de traitement dépendant du maillage, des caractéristiques du sol, et de la teneur en eau
- Température visée : à adapter selon polluants à traiter.

# Autre technique : Traitement thermique



# Etude de cas (PCE/TCE/...)

# Case study 1: Zwevegem

Case : reactive barriers

## Contamination

- PCE/TCE/DCE groundwater contamination
- Depth : 2 - 10 m below ground level
- Technology : variant of the “funnel & gate” technology : KEOPS
- Start in 2002, for 30 years



# Case study 1: Zwevegem

The KEOPS process : a combination of 3 technologies

## Concept of active barrier

- no active pumping
- low maintenance
- not visible after installation

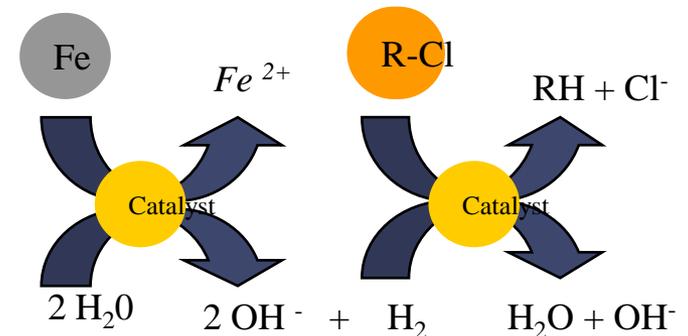
## Panel-Drain®

- simple installation / maintenance
- flexible

## Reactive for catalytical dechlorination

- fast
- not selective
- destruction of CVOC
- effective for VC

Catalytical reduction with hydrogen

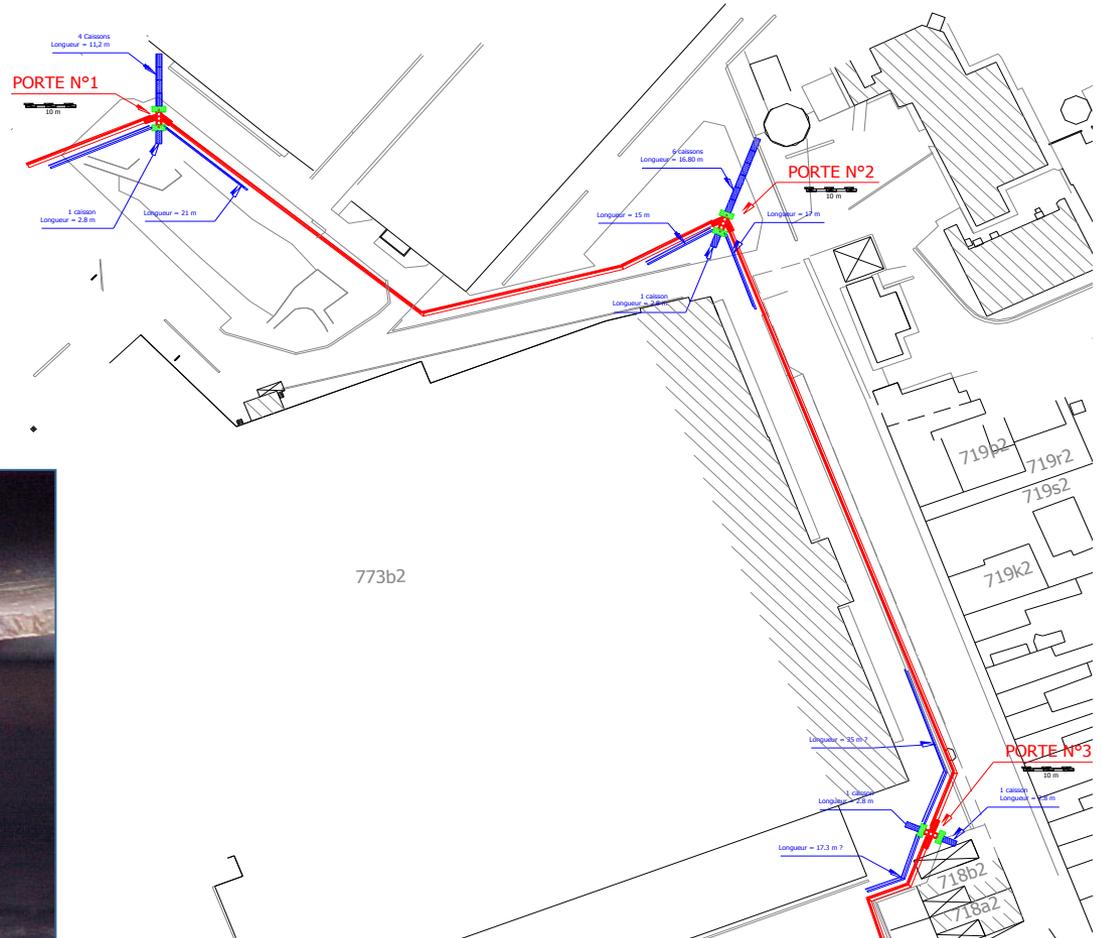


# Case study 1: Zwevegem

Case : reactive barriers

## Concept of reactive barrier

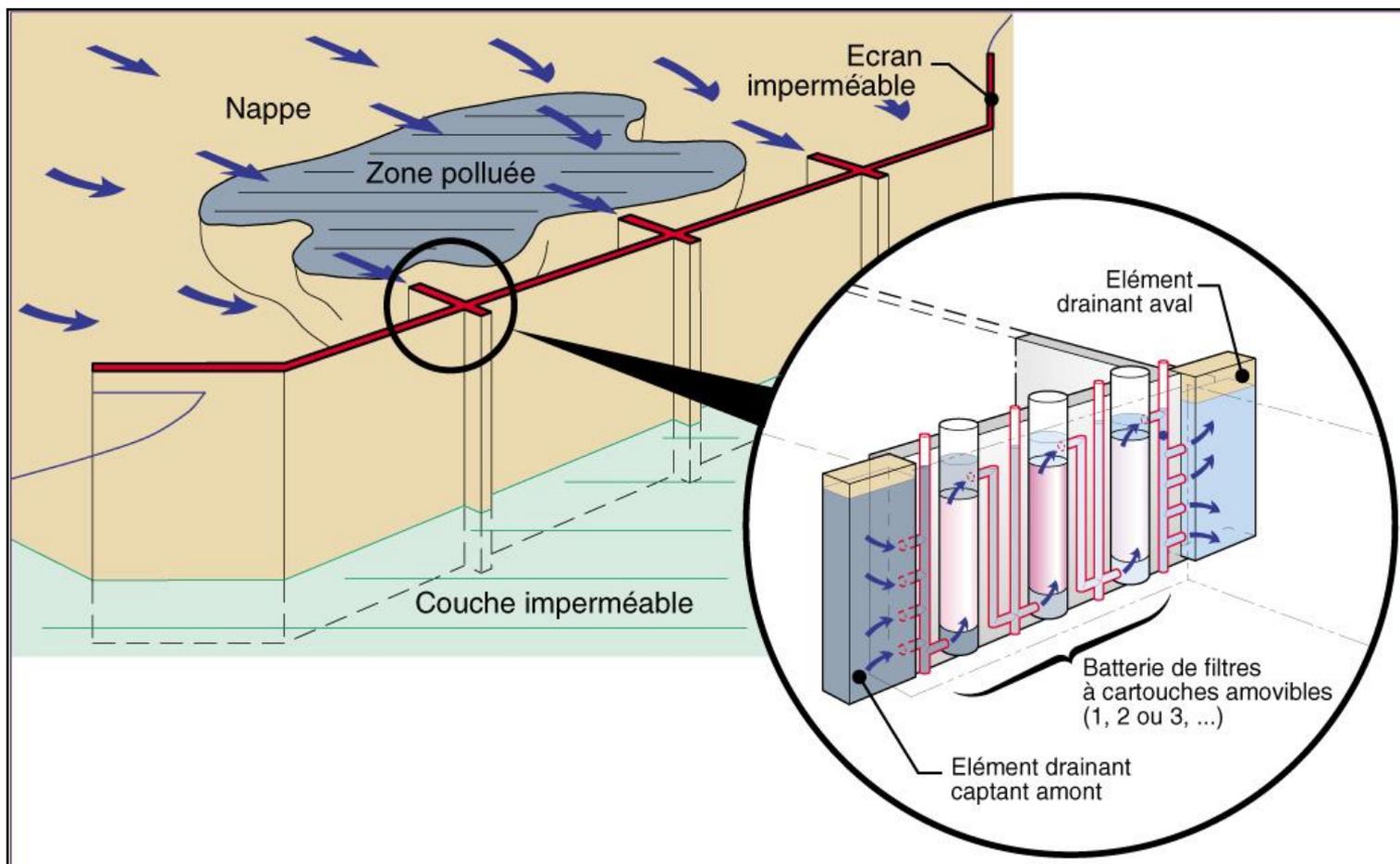
- 350 m sheet piling
- 3 gates



# Case study 1: Zwevegem

Case : reactive barriers

## KEOPS Process : principe



# Case study 1: Zwevegem

Case : reactive barriers

## Installation of the system

- Installation of sheet pile wall
- Installation of the drainage networks



# Case study 1: Zwevegem

Case : reactive barriers

## Installation of the gate

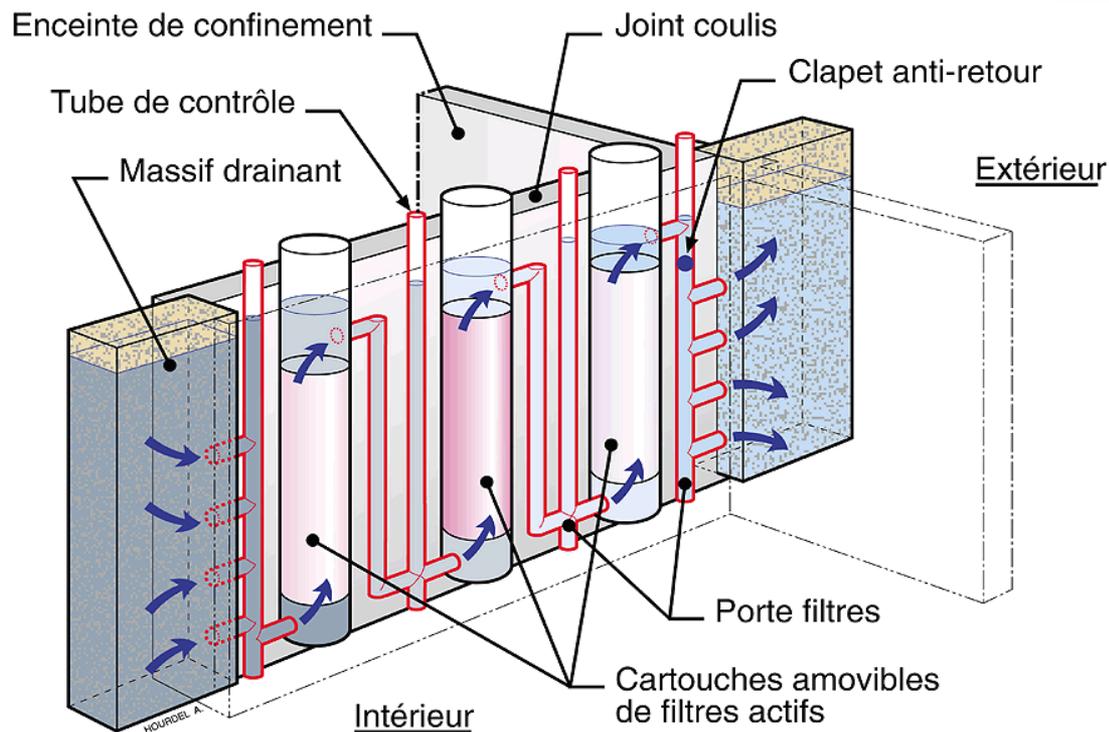
- Bentonite pit
- Installation of the gate
- Underground completion of the gate



# Case study 1: Zwevegem

Case : reactive barriers

## Opening of the filtering gate

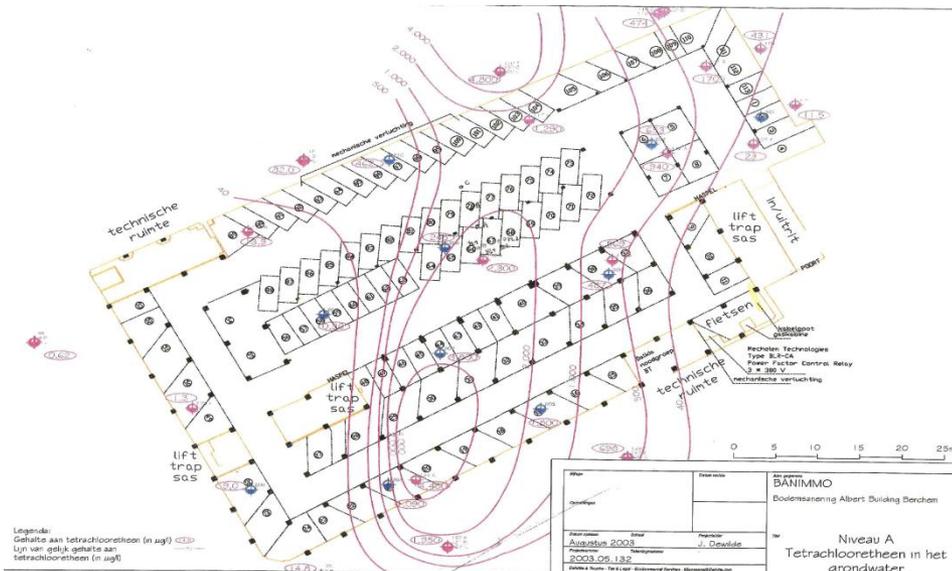


# Case study 2: Berchem (Anvers)

Case : Sparging / SVE

## Contamination

- PCE/TCE/DCE soil and groundwater contamination
- Depth : 0 - 10 m below parking level
- Technology : Sparging / SVE
- Start in 2004, for 5 years
- Underground active parking area

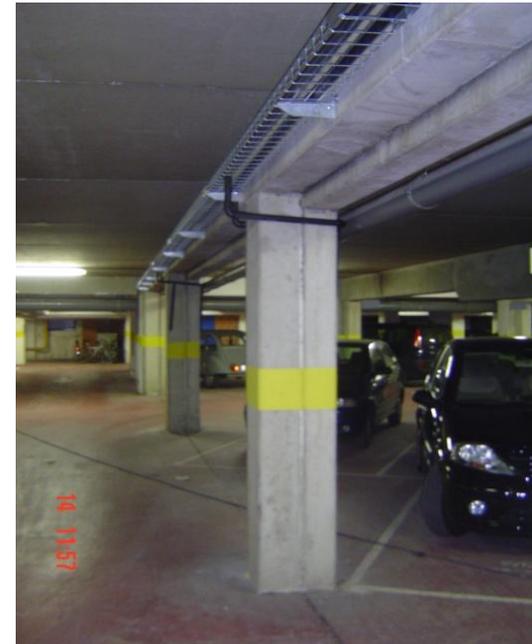


# Case study 2: Berchem (Anvers)

Case : Sparging / SVE

## Remediation project

- Working in 5 steps (area) to keep the parking available
- 28 sparging wells till 10m-gl
- 34 SVE wells till 2,5m-gl
- Underground and hanging piping

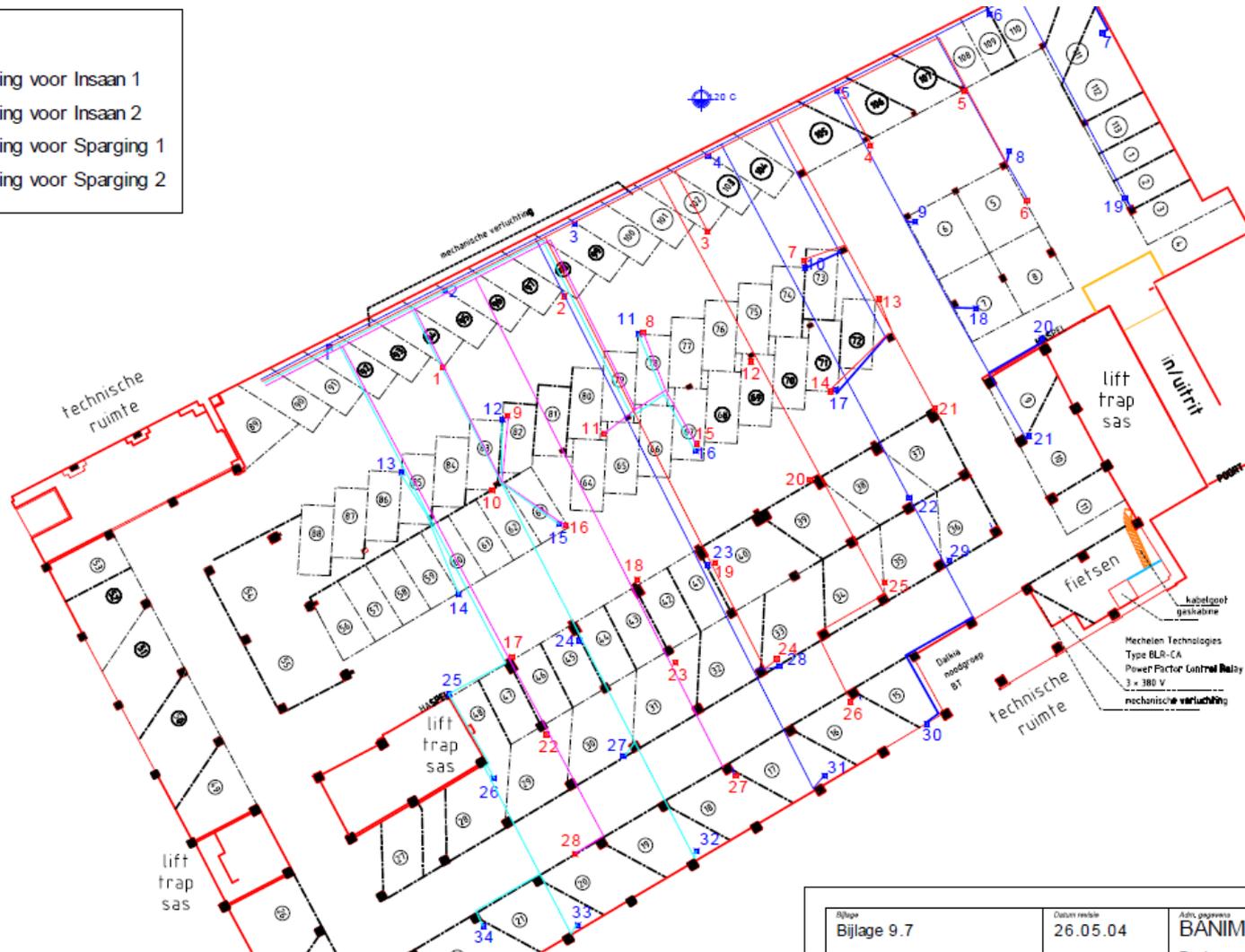


# Case study 2: Berchem (Anvers)

## Case : Sparging / SVE

### Legende:

- Leiding voor Insaan 1
- Leiding voor Insaan 2
- Leiding voor Sparging 1
- Leiding voor Sparging 2



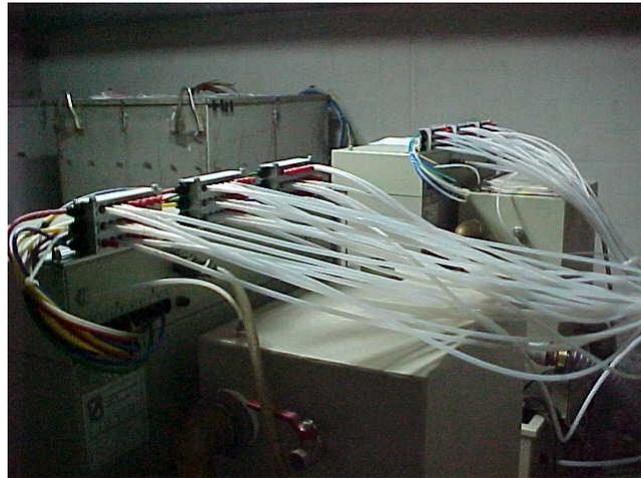
Bijlage Bijlage 9.7	Datum revisie 26.05.04	Adres gegevens BANIMMO
------------------------	---------------------------	---------------------------

# Case study 2: Berchem (Anvers)

Case : Sparging / SVE

## Remediation project

- 2 sparging units
- 2 SVE units
- Activated carbon for air treatment
- Automatic valve to extract / inject by batch
- Manual valve to regulate the flow on each well
- Full automatic

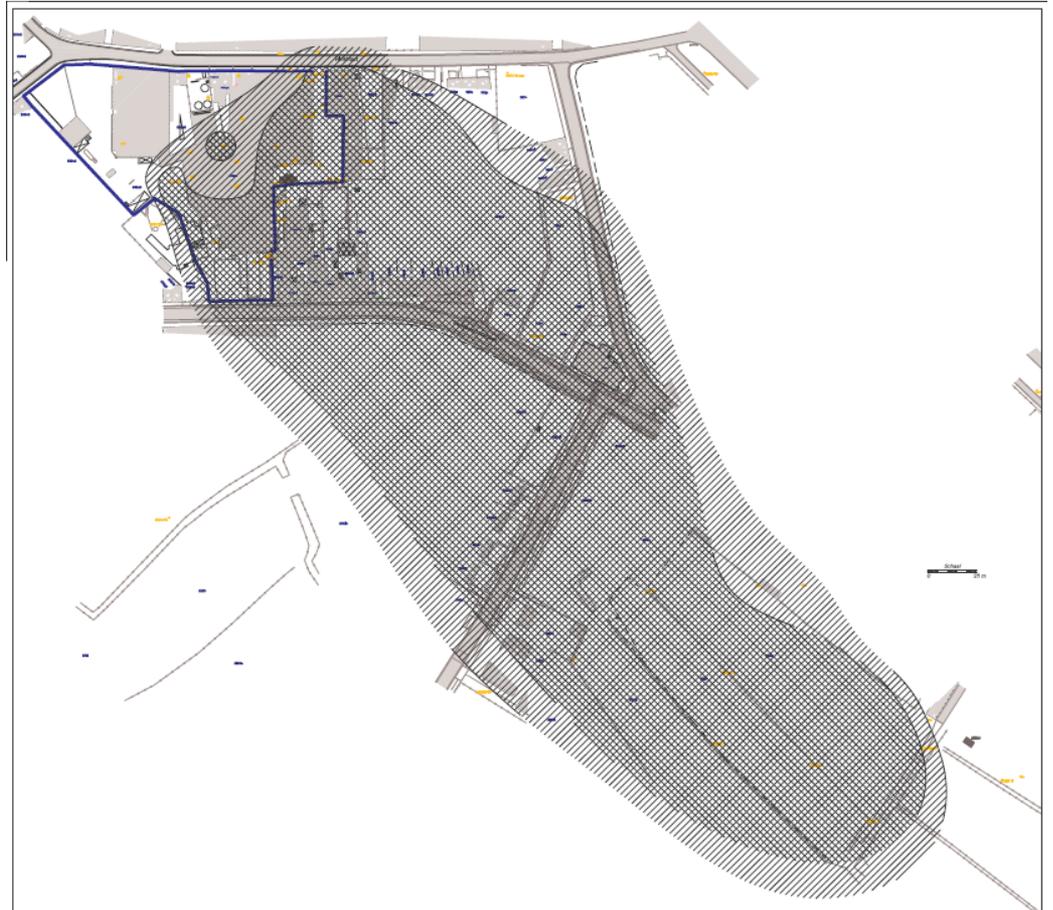


# Case study 3: IT Zele

Case : ISCO and ISBR

## Contamination

- PCE/TCE/DCE groundwater contamination
- 2 different aquifer (tot 3 and 13 m-gl)
- Dispersion up to 350 m downstream



# Case study 3: IT Zele

Case : ISCO and ISBR

## 2003-2007

- Activity on site (limited action area)
- Preventive measures:
  - Excavation of part of polluted soil
  - Isolation or insulation of the source zone to limit the dispersion
  - P&T in the source zones and downstream  
(5 deep well off-site; 4 deep well and 5 shallow well on-site )



# Case study 3: IT Zele

Case : ISCO and ISBR

## 2007-2010

- End of activity on site
- Additional study below building
- ISCO pilot test
- New remedial action plan
- Brownfield project

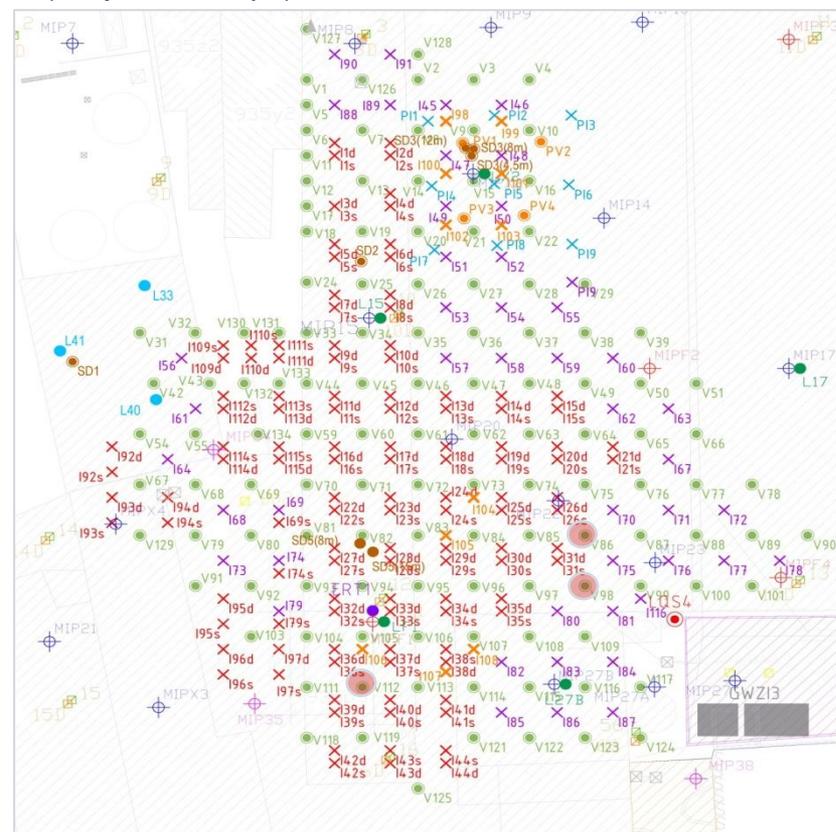
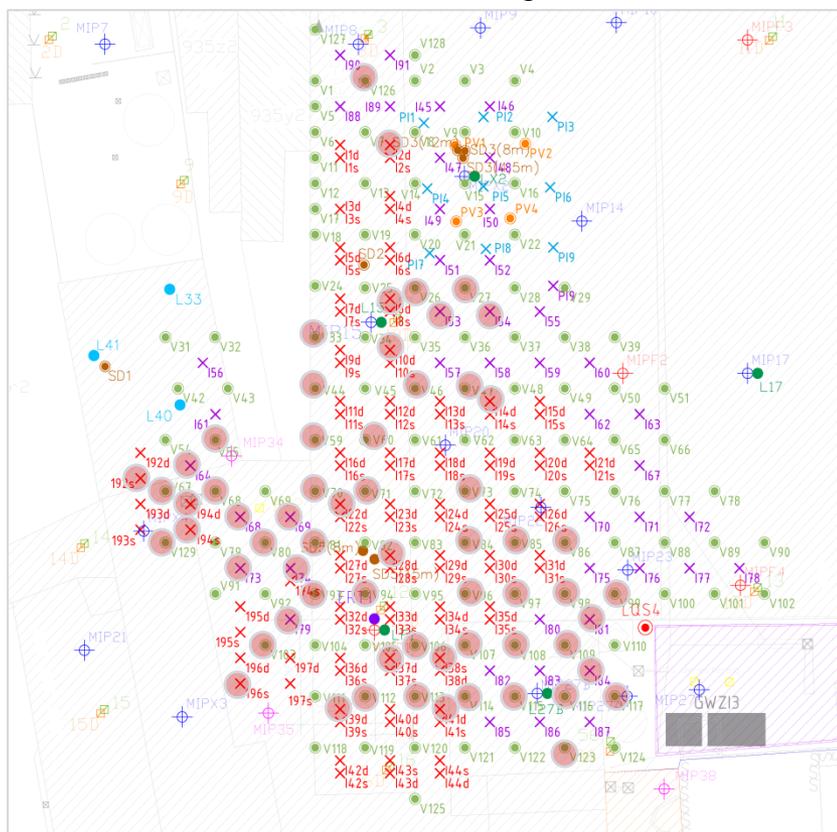


# Case study 3: IT Zele

Case : ISCO and ISBR

## 2011-2013

- ISCO: Fenton's reagent injection in the source
- Oxidation of DNAPL between August 2011 => October 2013 (3 injection steps)



# Case study 3: IT Zele

Case : ISCO and ISBR

**2011-2016**

- ISBR: CAP18 injection in the plume
- CAP18 = modified soybean oil



# Case study 3: IT Zele

Case : ISCO and ISBR

## 2013-2016

- ISBR: CAP18 injection in the source area
- Demolition of the last building and concrete pavement on site
- Excavation of the last soil pollution spot (sewer, underground storage tank, ...)
- Site sold to a property developer



**Merci pour votre attention.**

**SITA Remediation**

**Rue des Glaces Nationales, 242**

**5060 AUVELAIS**

**Tél. 071 800 100**

**Fax. 071 870 659**