TECHNIQUES INNOVANTES D'INJECTION

Ir. Hans Baillieul

20/09/2018

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

QUIZ
VRAI OU FAUX

La sélection des produits d'injection
est plus importante que la méthode d'injection

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

RÉSUMÉ PRÉSENTATION

INTRODUCTION SODECON

HYDROLOGIE D'INJECTION

MÉTHODES D'INJECTION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS:

- Stimulation biologique de la dégradation des solvants chlorés
- Précipitation des métaux de manière chimique et biologique
- Oxydation chimique des contaminations organiques
- Stimulation biologique de la dégradation des BTEX et HM (aérobique et anaérobique)

CONCLUSION

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

INTRODUCTION SODECON

AquaConSoil
Antwerp 2019

ENTREPRENEUR EN ASSAINISSEMENT DU SOL

- Réaliser des travaux d'assainissement
- Elaborer des concepts d'assainissement
- Tests de faisabilité (test de laboratoire et test pilote)
- Développement des technologies

ASSAINISSEMENT DURABLE

- Bonnes relations avec clients/ bureau d'étude et sous-traitants
- Délivrer une haute qualité
- Beaucoup de connaissance sur des techniques in situ
- Investigation et développement des techniques d'assainissement plus durables

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

INTRODUCTION SODECON

TECHNIQUES

- Excavation
- Injection d'air comprimé et extraction des gaz de sol
- Pump & treat
- Oxydation chimique
- Réduction chimique
- Dégradation biologique
- Techniques thermiques
- Techniques innovantes (Injection Spin®, injection de sulfate,...)
- Mesures de gestion des risques

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

QUIZ

VRAI OU FAUX

En Wallonie l'utilisation des techniques d'injection est limitée à cause de la présence de la roche

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

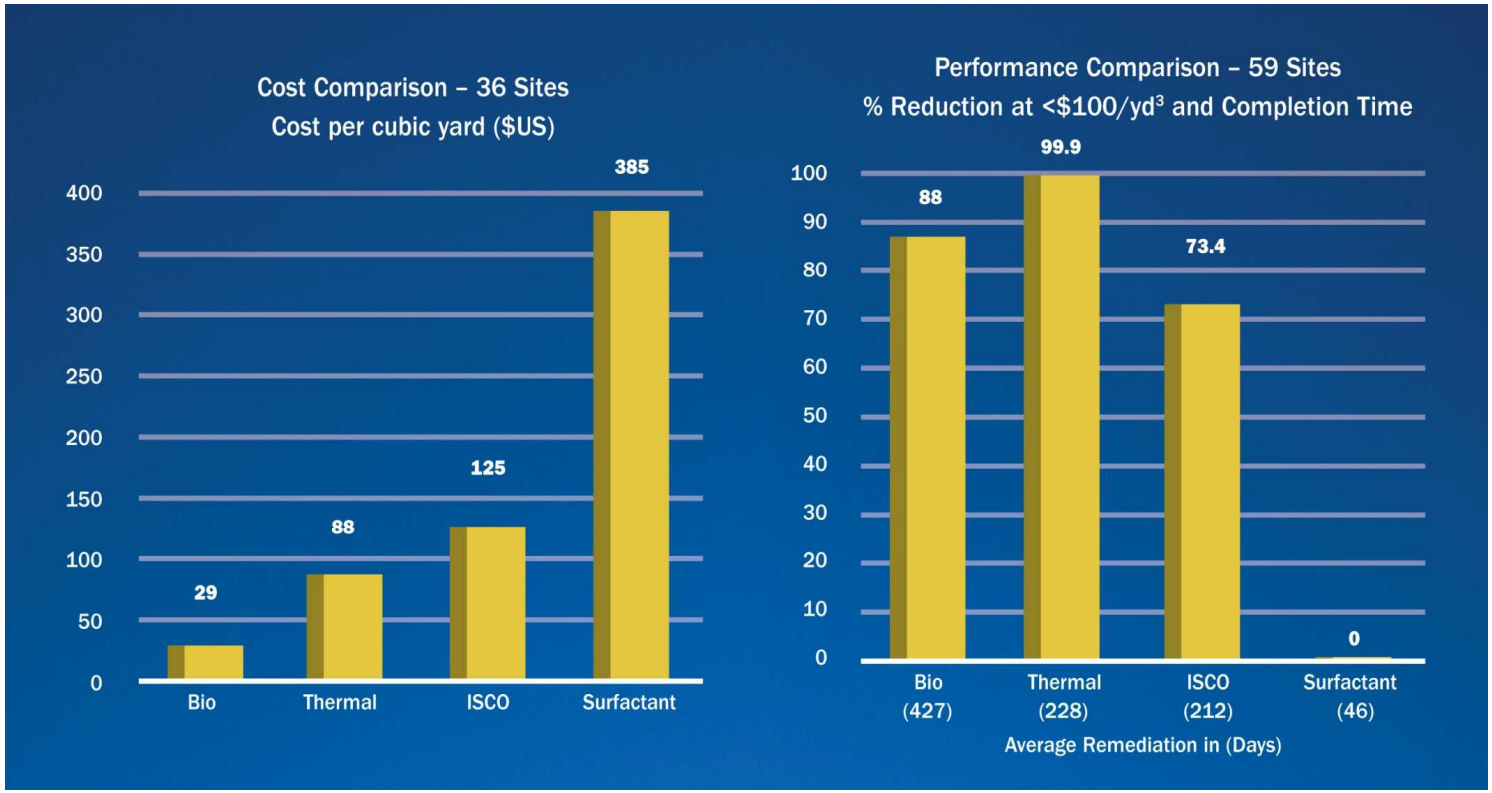
QUIZ

VRAI OU FAUX

Parmi les techniques innovantes, les techniques d'injection sont utilisées le plus souvent

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

INTRODUCTION SODECON



Results from an EPA-sponsored study comparing technologies for cost and performance on DNAPL sites across the United States.

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

INTRODUCTION SODECON

▶ HYDROLOGIE D'INJECTION

MÉTHODES D'INJECTION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

CONCLUSION

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

HYDROLOGIE D'INJECTION

RÉSOUDRE L'HYDROGÉOLOGIE DÉTERMINE LE SUCCÈS

CONCEPTS IMPORTANTS:

- Hétérogénéité
- Diffusion
- Dispersion latérale
- Pression d'injection

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

HYDROLOGIE D'INJECTION

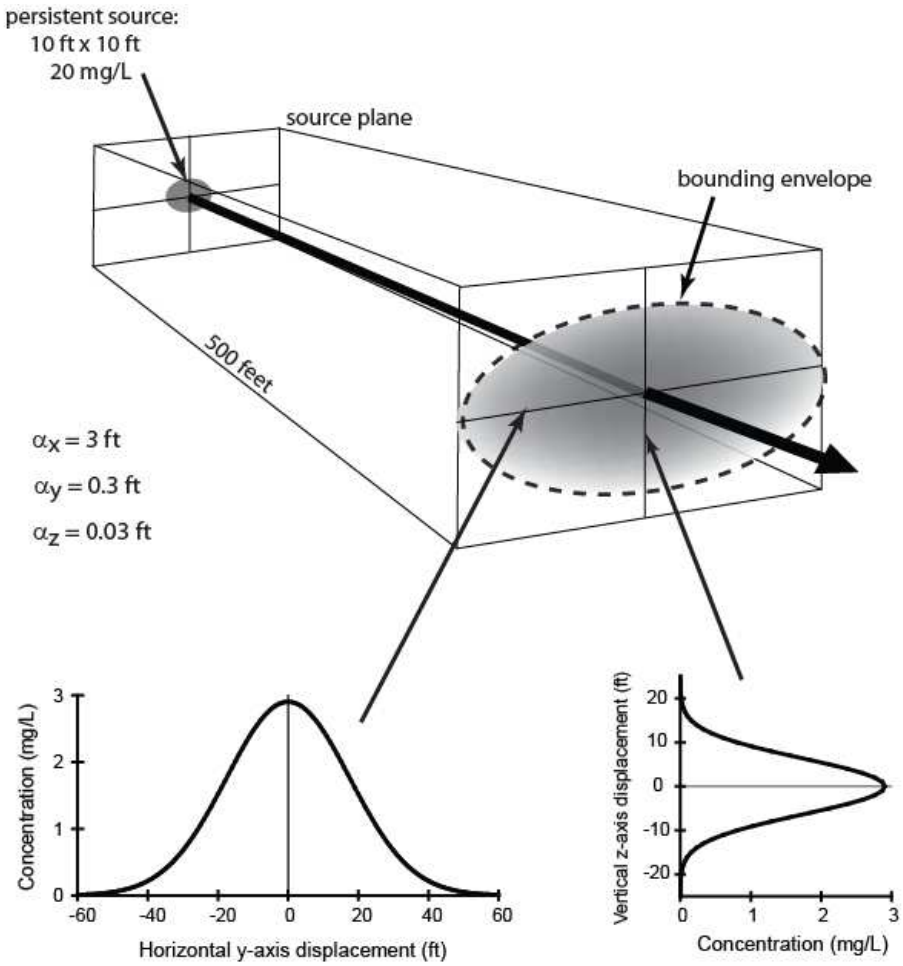
EXEMPLE D'HÉTÉROGÉNÉNITÉ :
forage dans un sol sableux 'homogène'

- Différentes couches d'argile de quelques cm
- Ces couches jouent un rôle important dans le stockage de contamination

PRESQUE TOUS LES SOLS SONT HÉTÉROGÈNES PAR DÉFINITION!

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

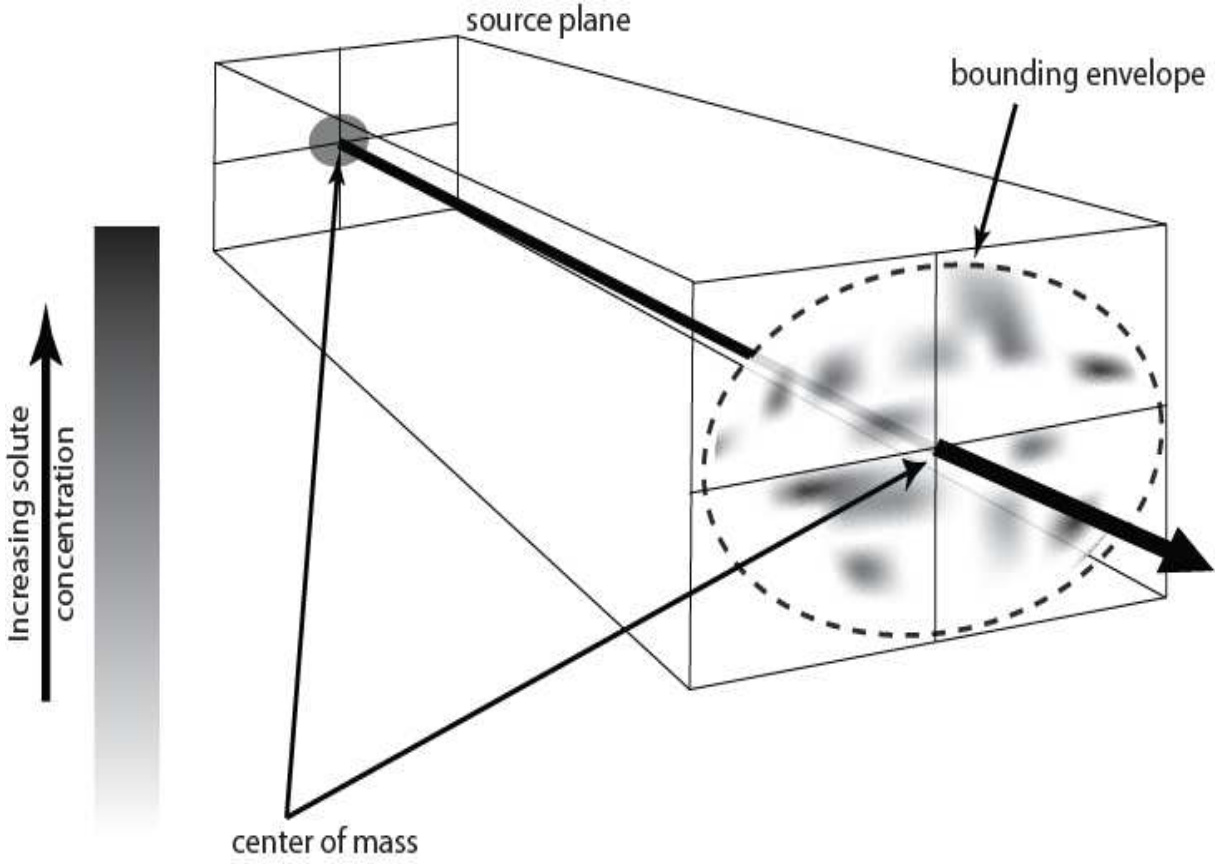
HYDROLOGIE D'INJECTION



REPRÉSENTATION GÉNÉRALE D'UN PANACHE DE POLLUTION

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

HYDROLOGIE D'INJECTION



REPRÉSENTATION PLUS RÉALISTE D'UN PANACHE DE POLLUTION

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

HYDROLOGIE D'INJECTION

DIFFUSION

- Diffusion de la contamination dans des couches moins perméables déterminent la durée de l'assainissement:
- Back Diffusion Video - 2x.wmv

QUIZ

DANS LE CAS DE LA VIDÉO,
QUELLE TECHNIQUE ENLÈVERA LE PLUS VITE LA CONTAMINATION?

A. pump & treat
B. injection d'un produit avec une action de longue durée
C. pas de différence

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

HYDROLOGIE D'INJECTION

CONTAMINATION JEUNE OU EXTRÉMITÉ D'UN PANACHE

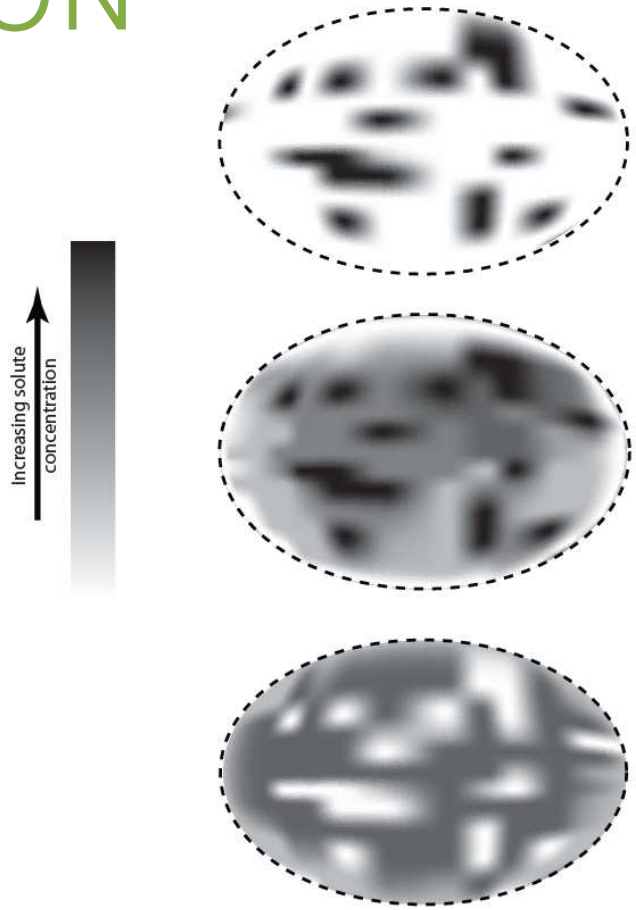
- Peu de diffusion dans des couches de perméabilité limitée
- Haute efficacité des techniques de pompage

VIEUX PANACHE

- Forte diffusion dans des couches de perméabilité limitée

VIEUX PANACHE APRÈS ASSAINISSEMENT DES COUCHES PERMÉABLES

- Lixiviation des couches de perméabilité limitée ('back diffusion')
- Efficacité limitée des techniques de pompage



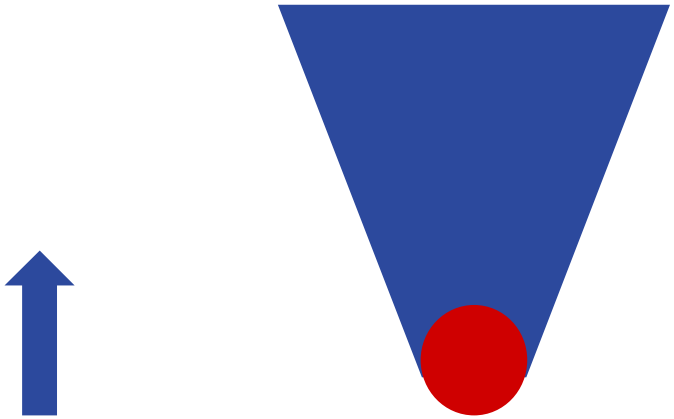
Source 'Remediation Hydraulics', Payne, Potter, Quinnan, 2008

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

QUIZ

COMMENT LES POLLUANTS ET LES PRODUITS D'INJECTION SE DISPERSENT-ILS DANS LES EAUX SOUTERRAINES?

A



Dispersion latérale de 25-45°

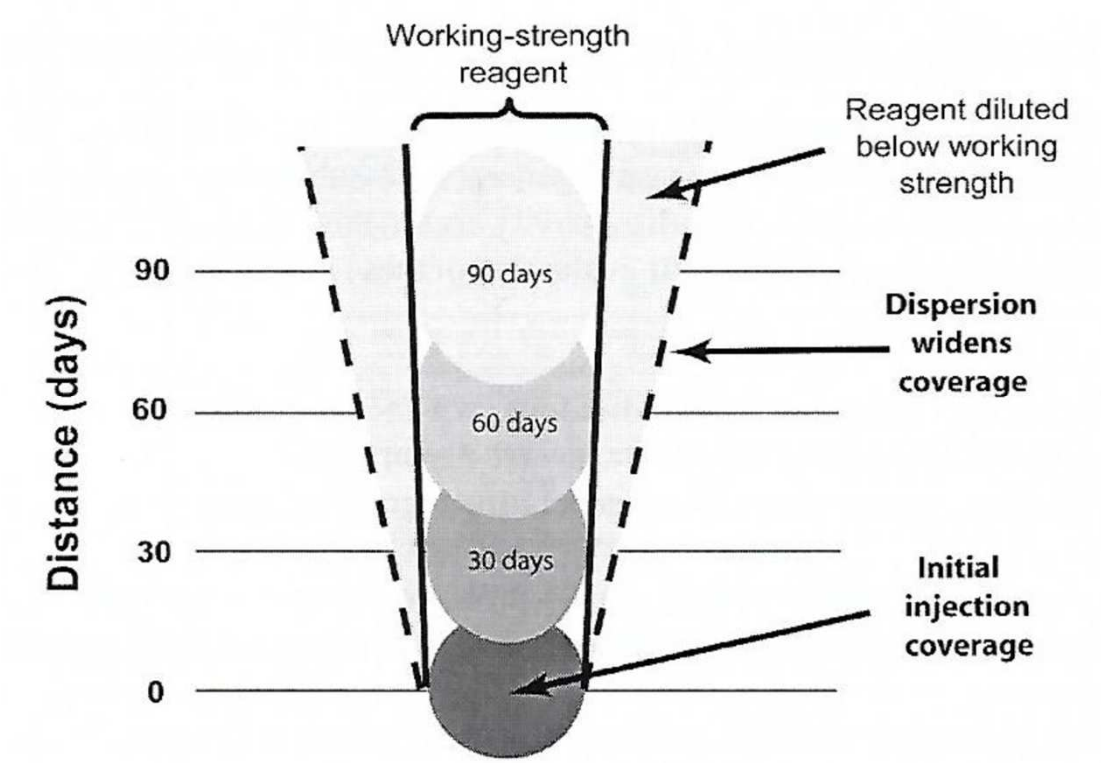
B

Dispersion latérale de 1-3°

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

HYDROLOGIE D'INJECTION

DISPERSION LATÉRALE



Source: 'Remediation Hydraulics', Payne, Potter, Quinnan, 2008

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

HYDROLOGIE D'INJECTION

PRESSION D'INJECTION

Evite des pressions élevées pour éviter des voies préférées

Terzaghi et peck: stress effectif: $\sigma_e = \sigma_t - \sigma_w$

Voies préférentielles peuvent commencer à 0,6 x σ_e

UN EXEMPLE:

- Injection sur un filtre de 3 à 6 m-ns
- Niveau de la nappe: 2 m-ns

- Voies préférentielles dès -0,6 m H2O!
- Note: forces de cohésion pas incluses

Calculation du stress effectif		
niveau de la nappe	2	m
top filtre sous la niveau du sol	3	m
g	9,81	m/s2
stress total		
ρ non-sat	1500	kg/m³
ρ sat	2000	kg/m³
σt = g x h x ρ (non-sat) + g x h x ρ (sat)	49050	pa
pression interstitielle		
ρ eau	1000	kg/m³
σw = g x h x ρ (eau)	9810	Pa
stress effectif		
σe	39240	Pa
voies préférentielles		
0,6 x σe	23544	Pa
0,6 x σe	2,4	m H2O
0,6 x σe (mésuré à la surface)	-0,6	m H2O

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

INTRODUCTION SODECON

HYDROLOGIE D'INJECTION

▶ MÉTHODES D'INJECTION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

CONCLUSION

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

MÉTHODES D'INJECTION

- PRODUITS LIQUIDES SONT DOSÉS PAR:

Technique	Fréquence (%)[1]
Infiltration sur des puits permanents	61
Recirculation	7
Soil mixing	2
Injection directe	30

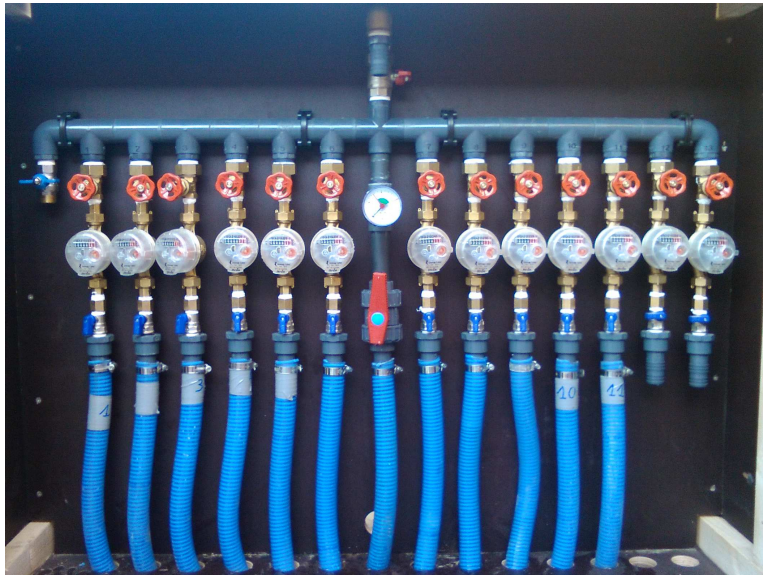
- REMARQUE: LES PRODUITS GAZEUX SONT DISTRIBUÉS PAR SPARGING

(1) Source: Technical Report TR-NAVFAC-EXWC-EV-1303, "Best practices for injection and distribution of amendments", Battelle Memorial Institute and NAVFAC Alternative Restoration Technology Team, March 2013

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

MÉTHODES D'INJECTION

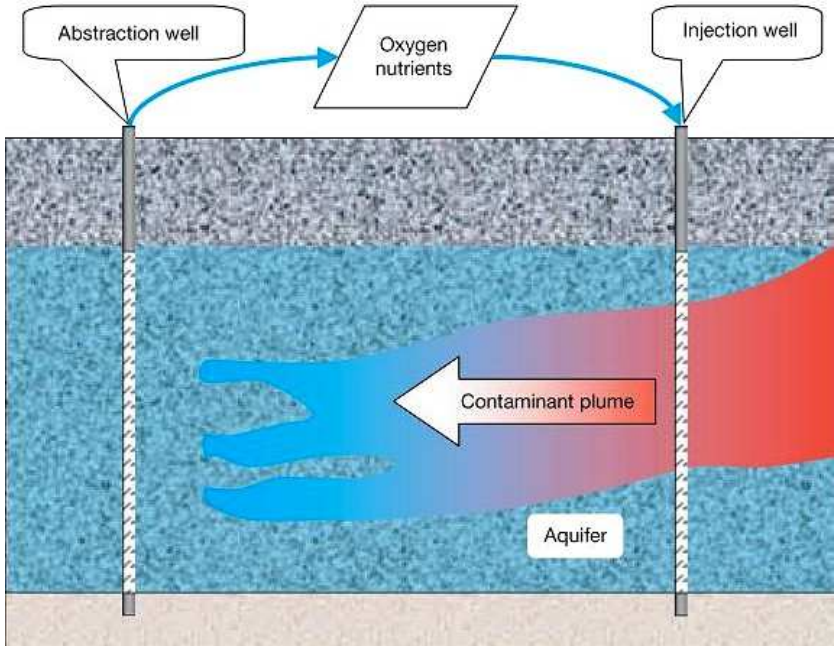
▶ INFILTRATION

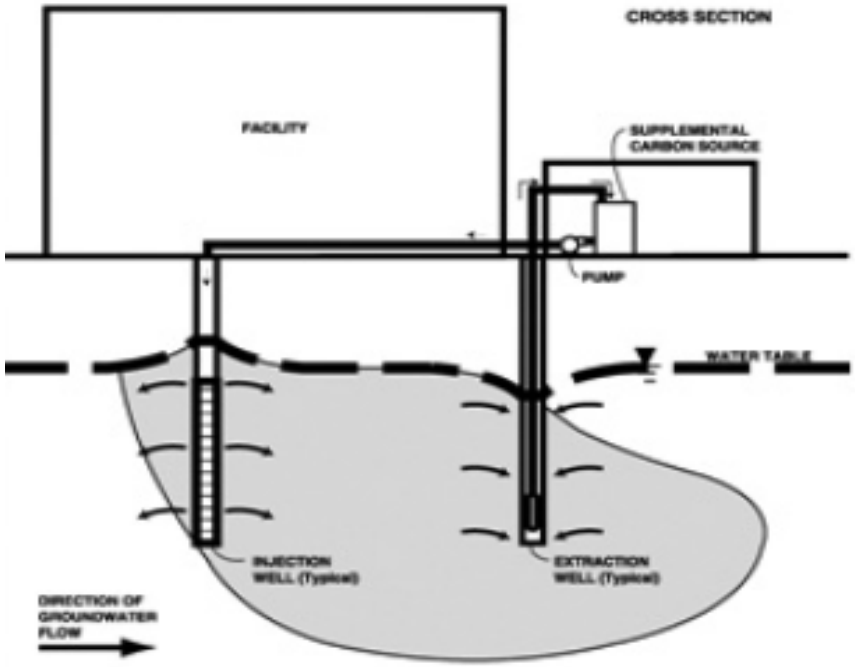


SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

MÉTHODES D'INJECTION

- INFILTRATION
- RECIRCULATION

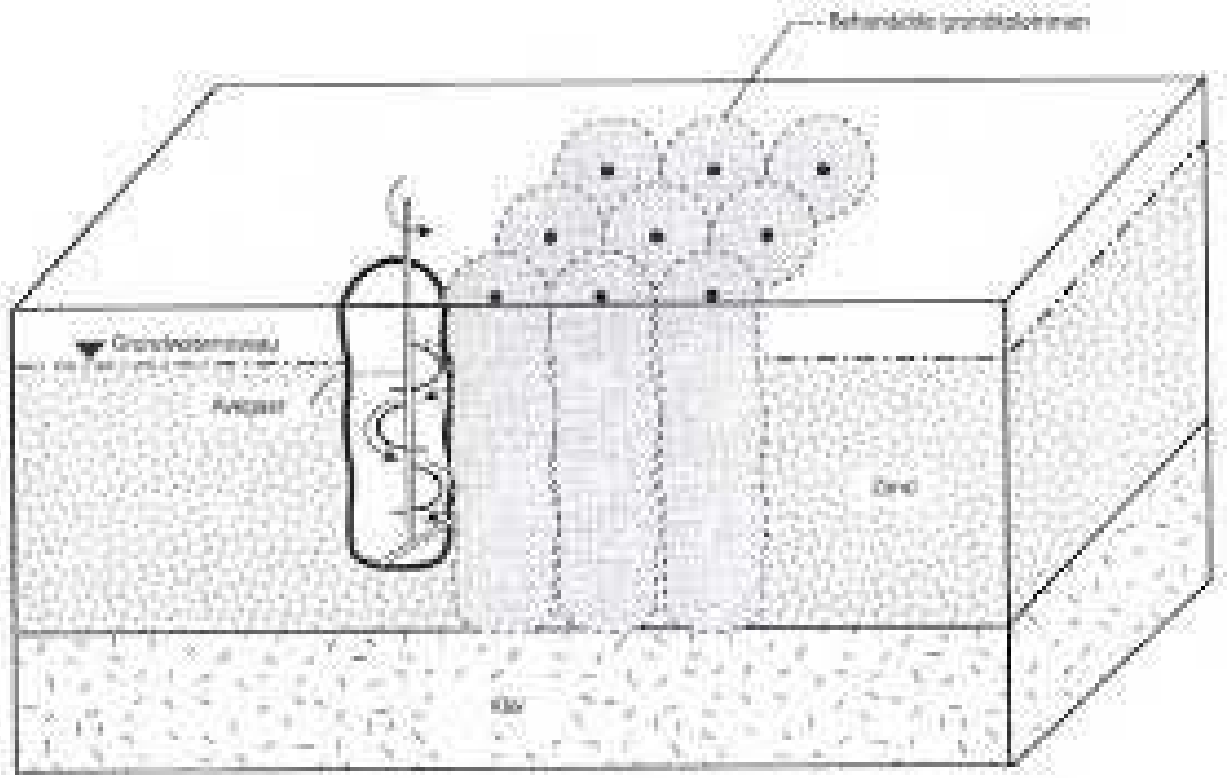




SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

MÉTHODES D'INJECTION

- INFILTRATION
- RECIRCULATION
- SOIL MIXING



SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

MÉTHODES D'INJECTION

- INFILTRATION
- RECIRCULATION
- SOIL MIXING
- INJECTION DIRECTE

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

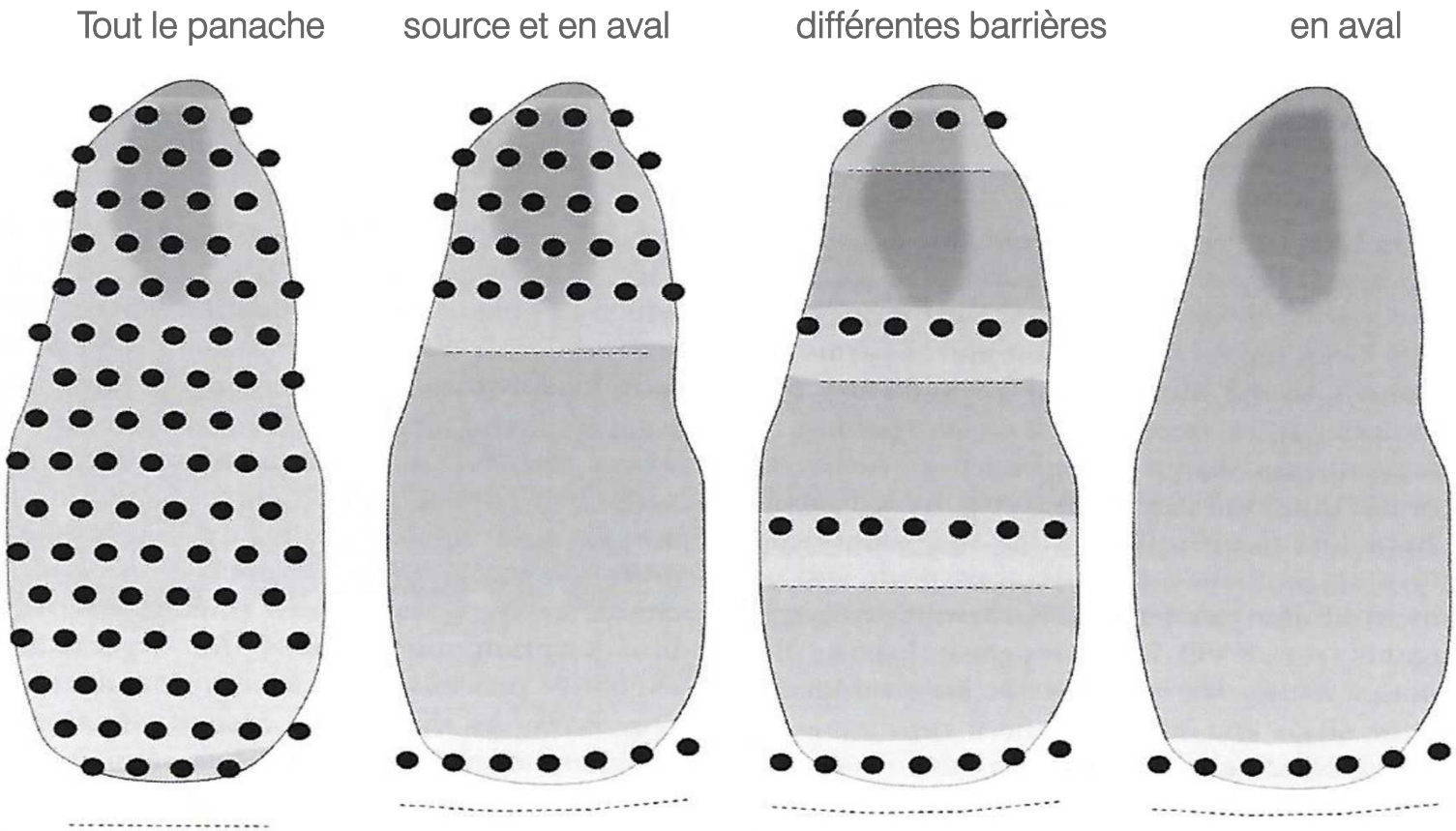
MÉTHODES D'INJECTION

	INFILTRATION	RECIRCULATION	INJECTION DIRECTE
INTERVALLE D'INJECTION	1 à 5 m	3 à 10 m	0,1-0,5 m
DISTANCE ENTRE POINTS D'INJECTION	5 à 20 m	10 à 100 m	2 à 5 m
INFRASTRUCTURE PERMANENTE	oui	oui	non
SYSTÈME D'INJECTION	simple	compliqué	simple
CAMPAGNE D'INJECTION	Périodique (chaque 2 -12 mois)	continue	limité: 1, 2, max 3 fois
FLEXIBILITÉ	adaptation possible chaque campagne d'injection	adaptation continue	points additionnels entre différentes campagnes
PERMÉABILITÉ	moyenne-grande	bonne-très grande	très faible-grande
HÉTÉROGÉNÉITÉ	limitée	limitée	limitée-grande

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

MÉTHODES D'INJECTION

▶ CONFIGURATIONS



Source: 'Remediation Engineering', Suthersan et al., 2017

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

TECHNOLOGIE D'INJECTION *SPIN*®

Une solution pour des injections précises de réactifs dans des sols hétérogènes

Technologie dévelloppé par Sodecon

INJECTIS

CONTENU

- COMMENT L'IDEE S'EST DEVELOPPEE...
- LA NAISSANCE DE LA TECHNOLOGIE D'INJECTION SPIN®
- EQUIPEMENT ACTUEL SPIN® INJECTION

INJECTIS

COMMENT L'IDEE S'EST DEVELOPPEE...

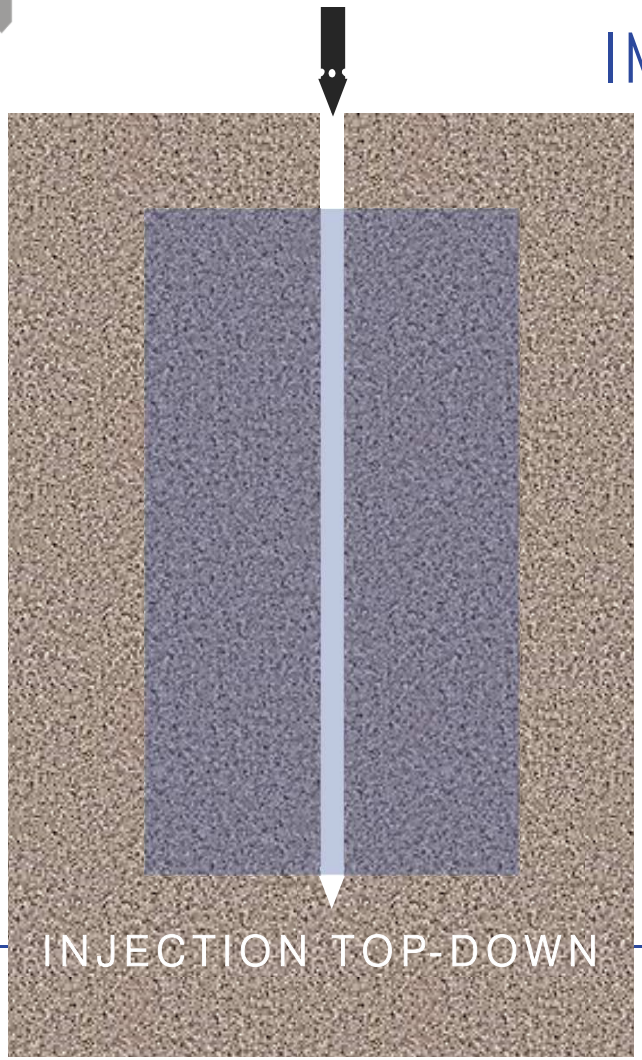
COMMENT L'IDEE S'EST DEVELOPPEE…

Injection direct push: principe

INJECTIS

COMMENT L'IDEE S'EST DEVELOPPEE...

INJECTION DIRECT PUSH :

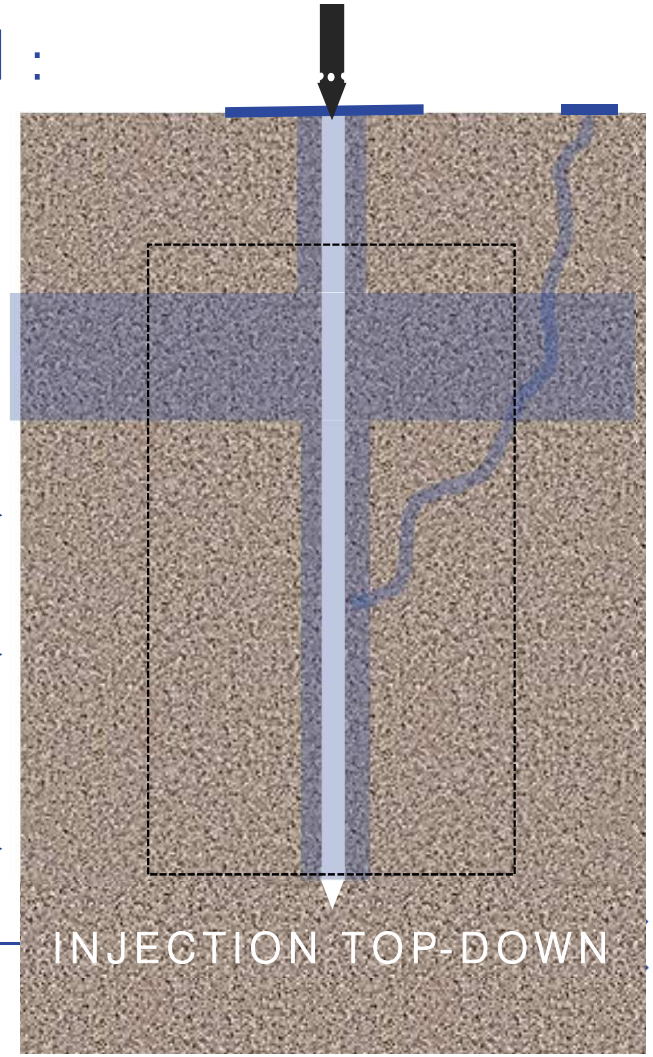


THEORIE
VS
REALITE

'Blow-out' auprès de la barre

Fractures hydrauliques non-désirées produits montent à la surface

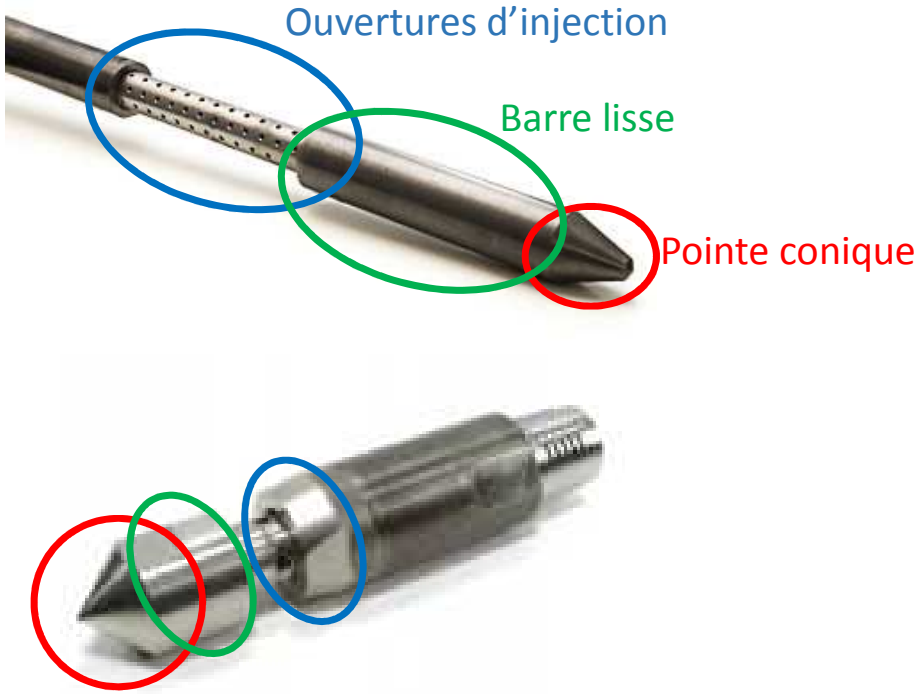
Injection préférentielle dans des couches de sol avec perméabilité plus élevée



TIS

COMMENT L'IDEE S'EST DEVELOPPEE…

DIRECT PUSH INJECTION: POINTS D'INJECTION



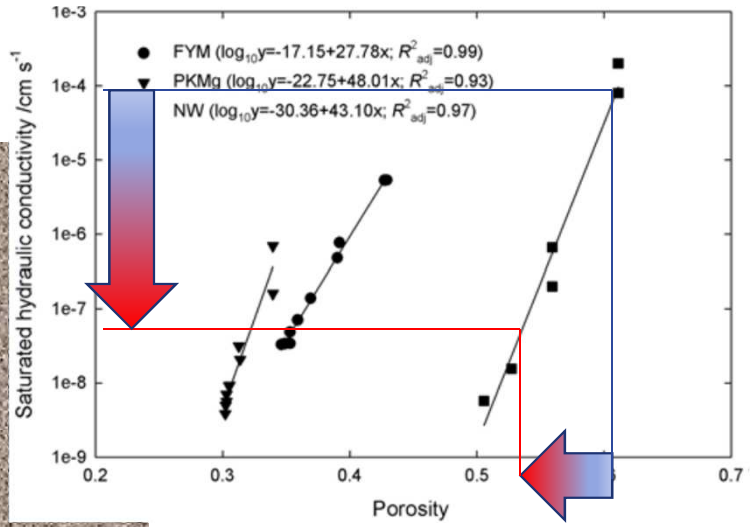
INJECTIS

COMMENT L'IDEE S'EST DEVELOPPEE…

DIRECT PUSH INJECTION: FRACTURES

BOUCHAGE DU SOL

COMPACTION DU SOL



➔ Porosit2 ↘ à point d'injection

➔ Conductivité& hydraulique (K_{sat}) ↘↘ (facteur 10-10.00

$Q_{injection} \approx K_{sat} \times P_{injection}$

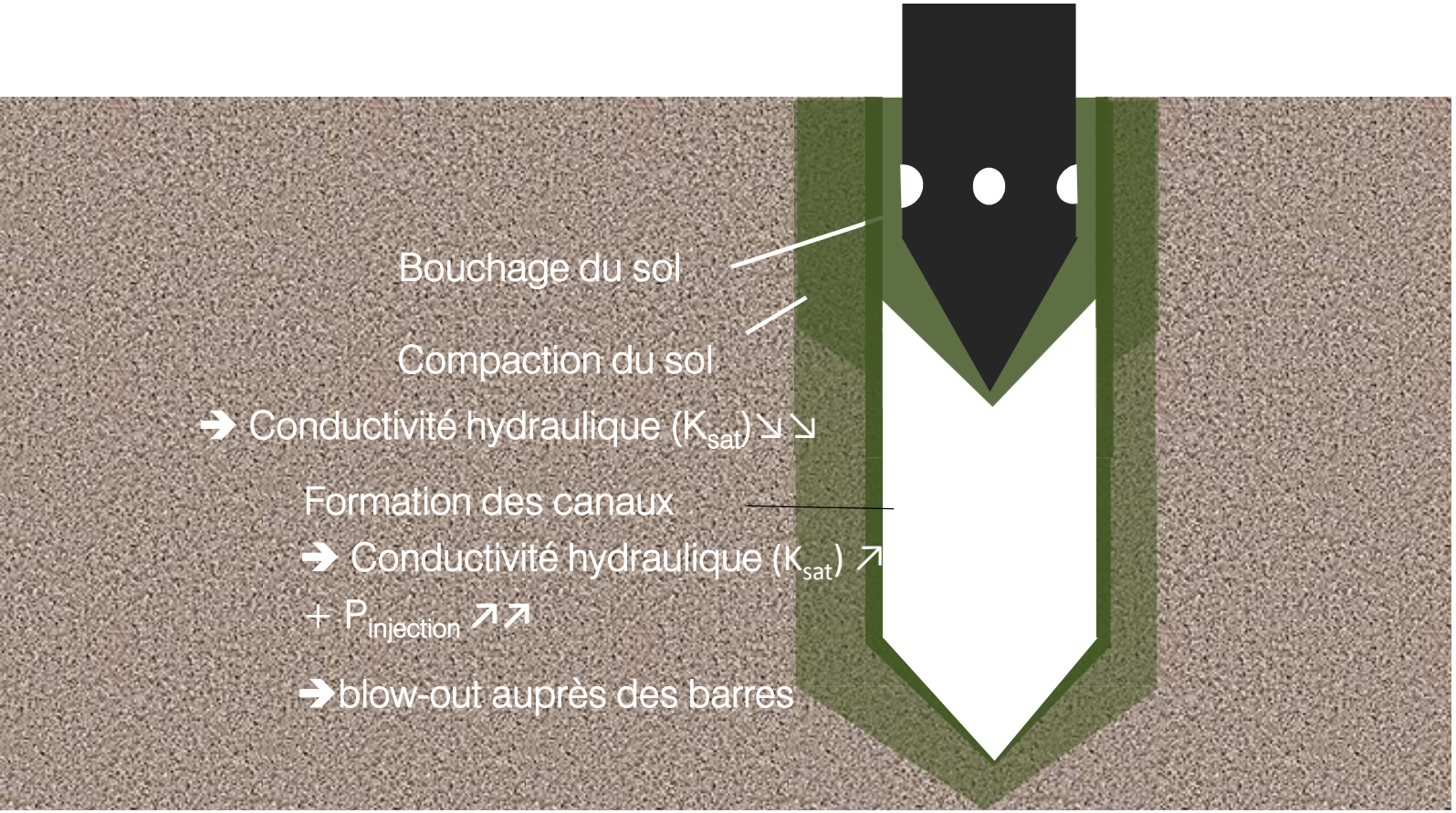
➔ $P_{injection}$ ↗↗ pour maintenir des débits d'injection raisonnable

➔ $P_{injection} > P_{fractures}$

INJECTIS

COMMENT L'IDEE S'EST DEVELOPPEE...

INJECTION DIRECT PUSH: BLOW-OUT



INJECTIS

LA NAISSANCE DE LA TECHNOLOGIE D'INJECTION SPIN®

INJECTIS

LA NAISSANCE DE LA TECHNOLOGIE D'INJECTION SPIN®

2014

PREMIERE IDEE ET DESSINS

2015

CONSTRUCTION DES PREMIERS PROTOTYPES + TESTS EXTENTIFS

2016

PREMIER PROJET A GRANDE ECHELLE HARELBEKE (BELGIUM)

DEVELOPPEMENT ULTERIEUR ET TESTS DAS DIFFERENTS TYPES DE SOL

2017

2018

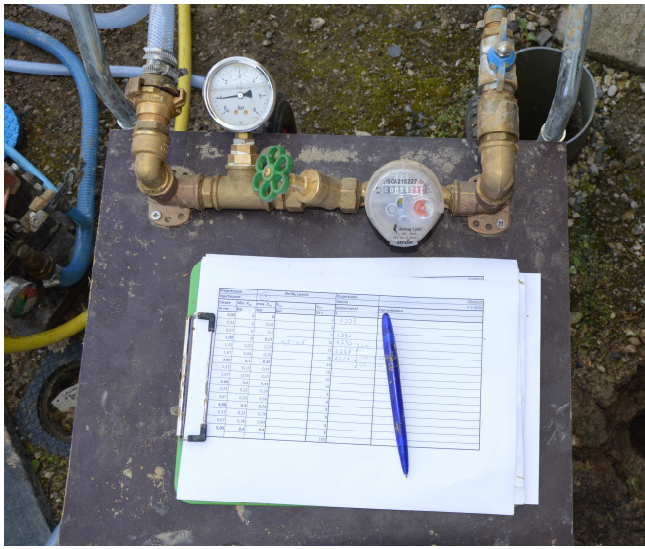
- ➔ Pression basse, non blow-out, injection continue
- ➔ Idée pour système de collecte des données Spin®

INJECTIS

LA NAISSANCE DE LA TECHNOLOGIE D'INJECTION SPIN®

COLLECTE DE DONNEES DE *DIRECT PUSH* ACTUELLE

- DONNEES COLLECTEES PENDANT INJECTIONS: LIMITEES
  - Volume total d'injection
  - Parfois, volume total aux profondeurs discrètes (chaque 30 cm)
  - Pression maximum utilisée



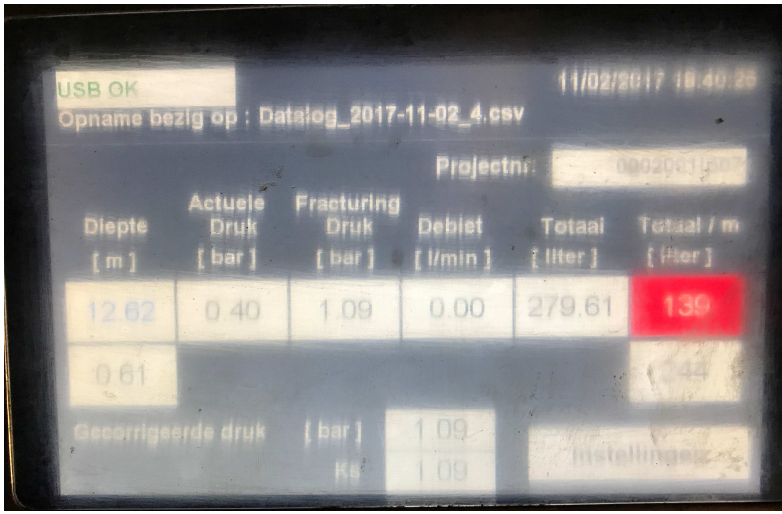
- DONNEES MANQUANTES SUR:
  - Débits d'injection
  - Evolution de pression et débit à différentes profondeurs

- PROCESSUS D'INJECTION = BLACK BOX

INJECTIS

LA NAISSANCE DE LA TECHNOLOGIE D'INJECTION SPIN®

COLLECTE DE DONNEES *SPIN®*



MESURAGE CONTINU ET ENREGISTREMENT:

- Du volume total d'injection (V_{total})
- Du débit ($Q_{injection}$)
- De la pression ($P_{injection}$)
- De la conductivité hydraulique sur un profil de profondeur verticale (K_{sat})

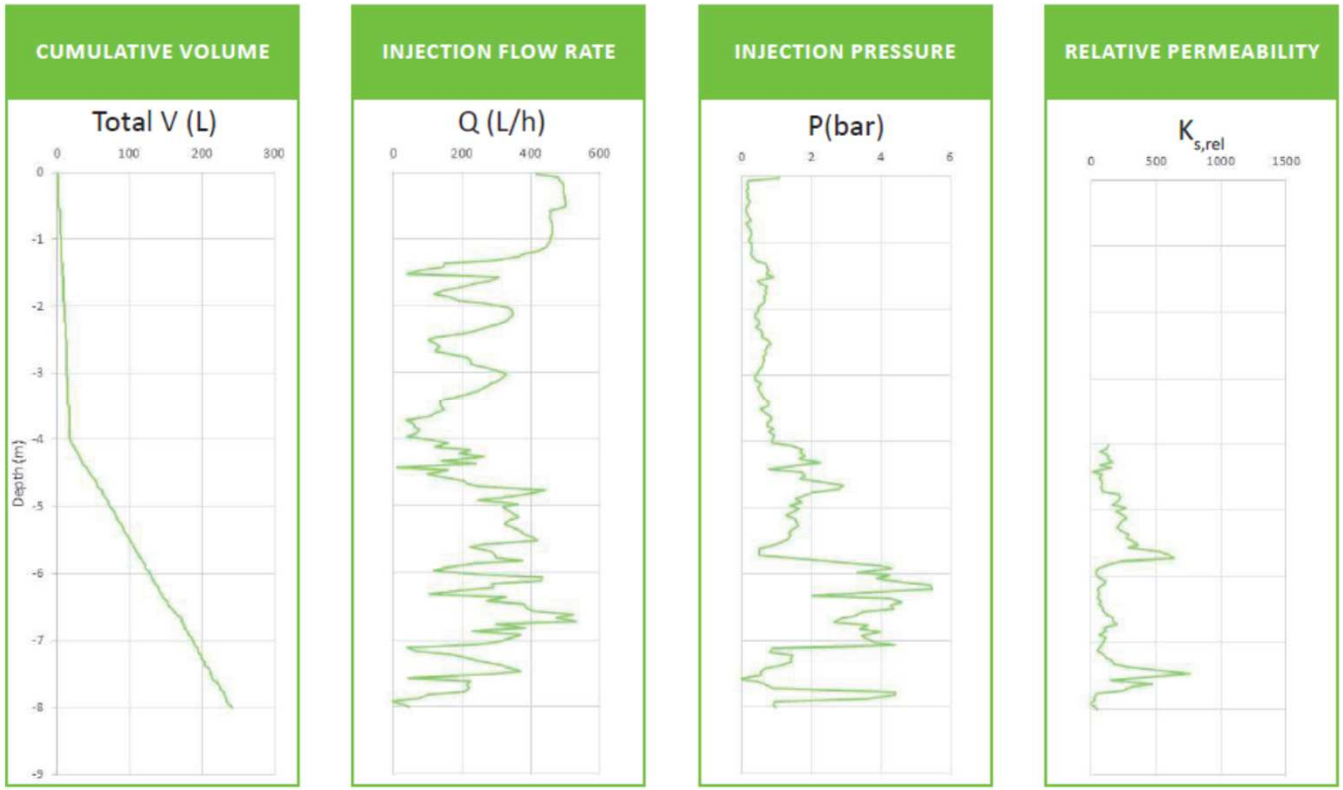
K_{SAT}-MESURAGES EN TEMPS REEL: OPPORTUNITES POUS DES INJECTIONS PRECISES

- dans des couches de perméabilité faible près des zones sources
- dans des couches de perméabilité forte dans des zones de panache

INJECTIS

LA NAISSANCE DE LA TECHNOLOGIE D'INJECTION SPIN®

COLLECTE DE DONNEES *SPIN®*



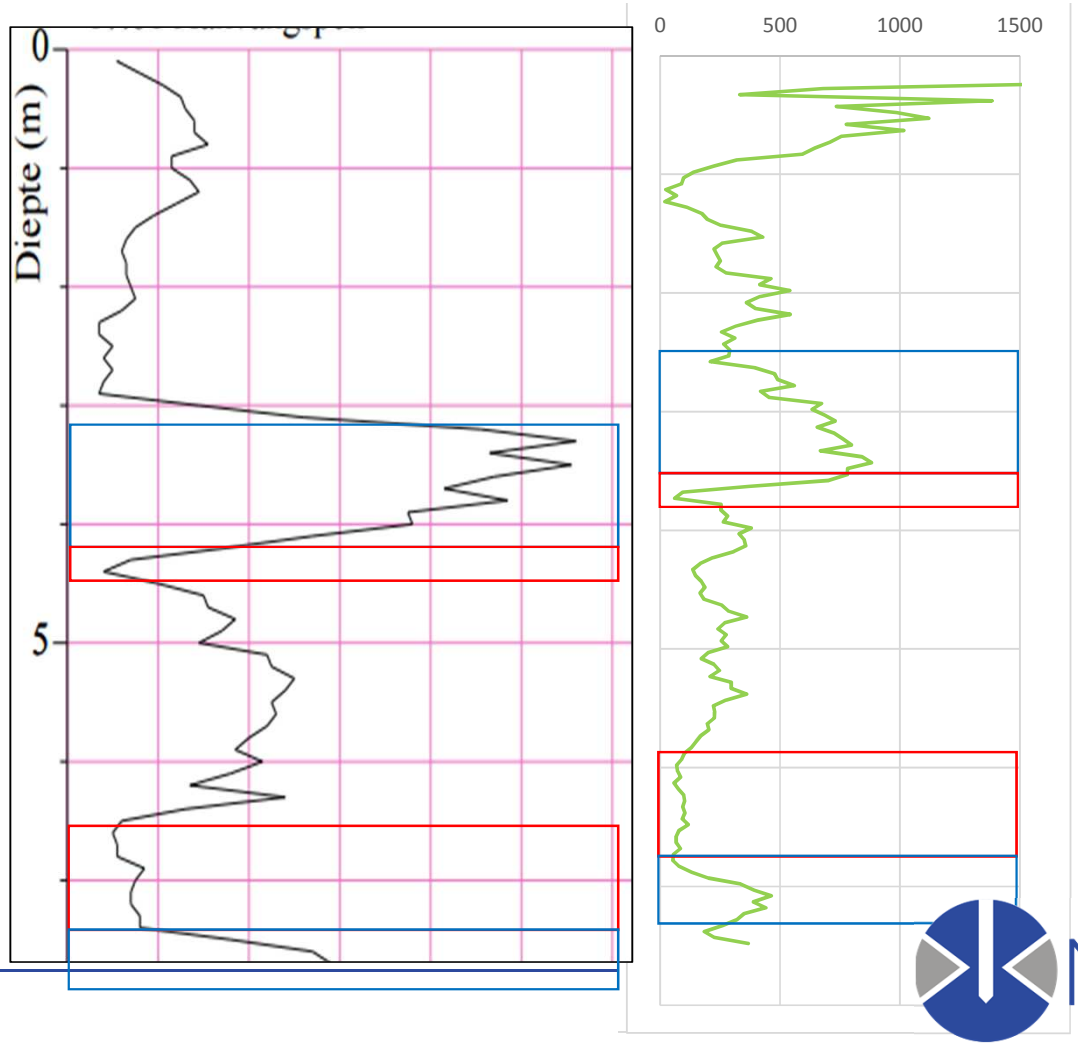
INJECTIS

LA NAISSANCE DE LA TECHNOLOGIE D'INJECTION SPIN®

SPIN® CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE

VERSUS

CONE PENETRATION TESTING (CPT)



INJECTIS

LA NAISSANCE DE LA TECHNOLOGIE D'INJECTION SPIN®

2014 — 2015 — 2016 — 2017 — FINAL DESIGN — 2018

DEVELOPPEMENT FINAL ET ELIMINATION DES LIMITATIONS LES PLUS IMPORTANTES DU DIRECT PUSH:

- Compaction et étalage de sol limités à point d'injection
- Injection à pression réduite
- 'Blow-out' auprès des canaux de la barre d'injection est prévenu
- Machine petite et légère pour accèder à des espaces étroites
- Injection continue dans l'intervalle du sol à traiter
- Collecte des données détaillées du processus d'injection
- Détection de perméabilité hydraulique des couches de sol injecté

➔ Technologie est en attente de brévet

INJECTIS

EQUIPEMENT ACTUEL SPIN® INJECTION

INJECTIS

EQUIPEMENT ACTUEL SPIN® INJECTION

MICRO-SPIN®:

DIMENSION ROULANTE:

Largeur: 0,70 m

Longueur: 2,10 m

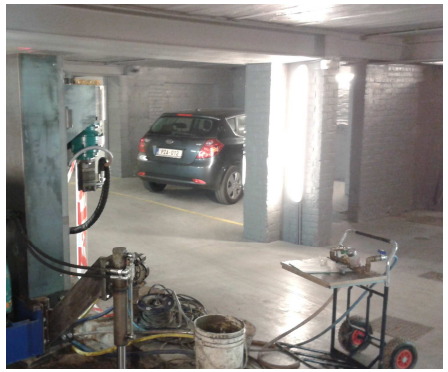
Hauteur: 1,95 m

DIMENSIONS TRAVAILLANTE:

Largeur: 1,70 m

Longueur: 3,60 m

Hauteur: 2,00 m



NJECTIS

EQUIPEMENT ACTUEL SPIN® INJECTION

MACRO-SPIN®:

DIMENSION ROULANTE:

Largeur: 1,50 m

Longeur: 3,60 m

Hauteur: 2,00 m

DIMENSIONS TRAVAILLANTE:

Largeur: 2,50 m

Longueur: 5,10 m

Hauteur: 3,20 m

NJECTIS

EQUIPEMENT ACTUEL SPIN® INJECTION

MESO-SPIN®:

DIMENSION ROULANTE:

Largeur: 0,80 m

Longueur: 3,13 m

Hauteur: 2,25 m

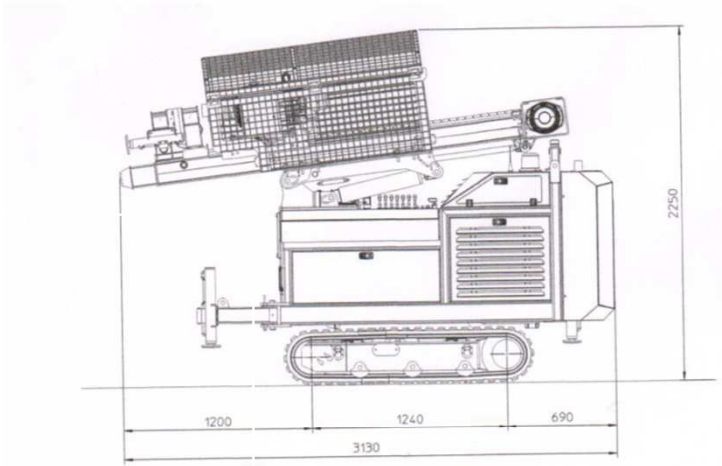
DIMENSIONS TRAVAILLANTE:

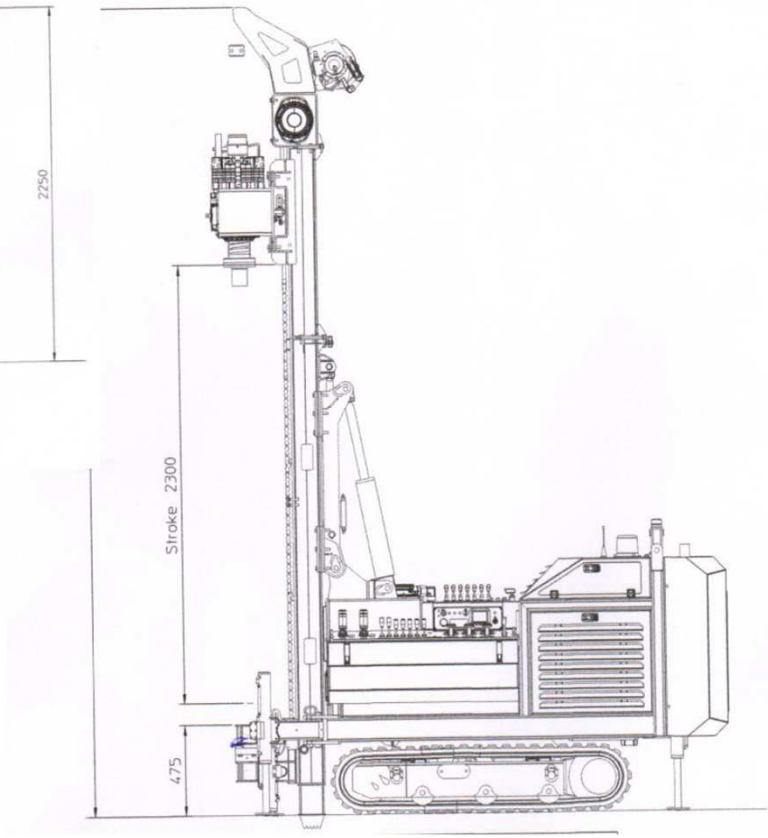
Largeur: 1,20 m

Longueur: 5,00 m

Hauteur: 4,25 m

Max. angle: 15°





INJECTIS

EQUIPEMENT ACTUEL SPIN® INJECTION

SYSTEME D'EXTRACTION COMPLETE POUR TRAVAILLER A L'INTERIEUR

CAMION EQUIPE D'UNE ZONE POUR LE MIXING DES PRODUITS

NJECTIS

SPIN® INJECTION DEMO DAY

29 NOVEMBRE 2018 A COURTRAI EXPO

- 2 SESSIONS:
  - 14 à 17 h
  - 18 à 21 h

- INSCRIRE PAR EMAIL A JEROEN@INJECTIS.COM

INJECTIS

INTRODUCTION SODECON

HYDROLOGIE D'INJECTION

MÉTHODES D'INJECTION

▶ DIFFÉRENTES APPLICATIONS

CONCLUSION

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

INTRODUCTION SODECON

HYDROLOGIE D'INJECTION

MÉTHODES D'INJECTION

▶ DIFFÉRENTES APPLICATIONS

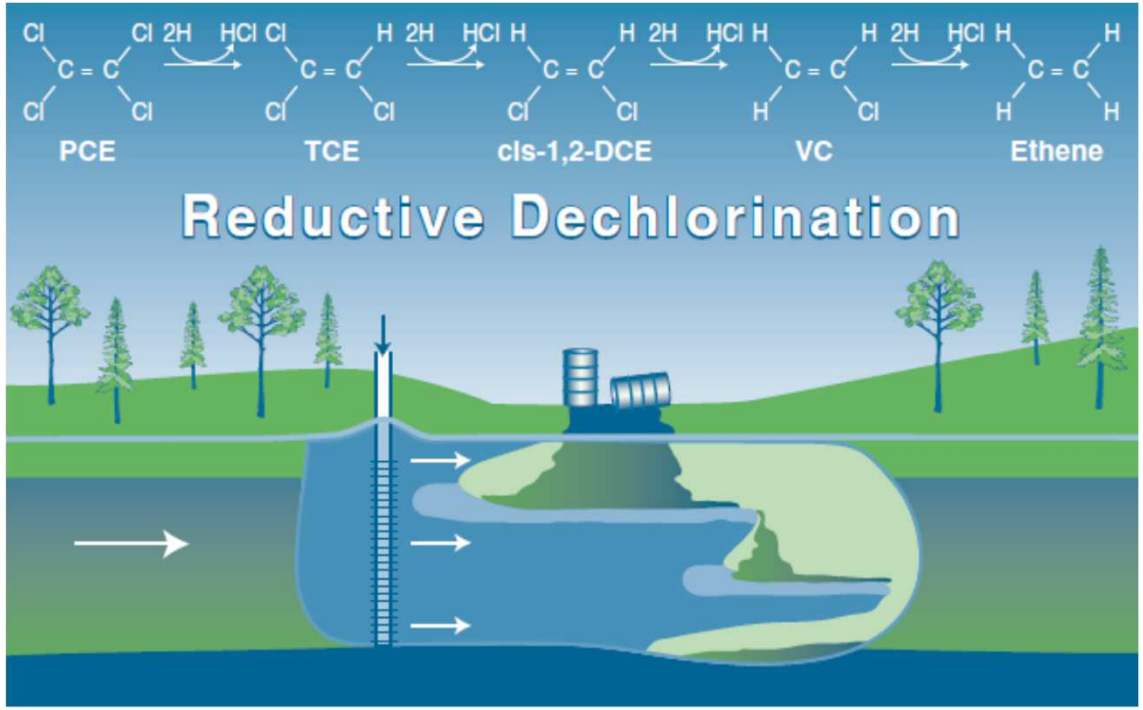
- ▶ Stimulation biologique de la dégradation des solvants chlorés
- Précipitation des métaux de manière chimique et biologique
- Oxydation chimique des contaminations organiques
- Stimulation biologique de la dégradation des BTEX et HM (aérobique et anaérobique)

CONCLUSION

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

STIMULATION BIOLOGIQUE SOLVANTS CHLORÉS - PRINCIPE



Source: 'In Situ Bioremediation of chlorinated ethenes' ITRC, 2008

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

QUIZ

VRAI OU FAUX

Un test pilote est préférable à un test de laboratoire

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

STIMULATION BIOLOGIQUE SOLVANTS CHLORÉS - EXEMPLE SITE BRUXELLES

CONTAMINATION

- Solvants chlorés dissouts dans un sol de perméabilité faible (argile) dans un garage

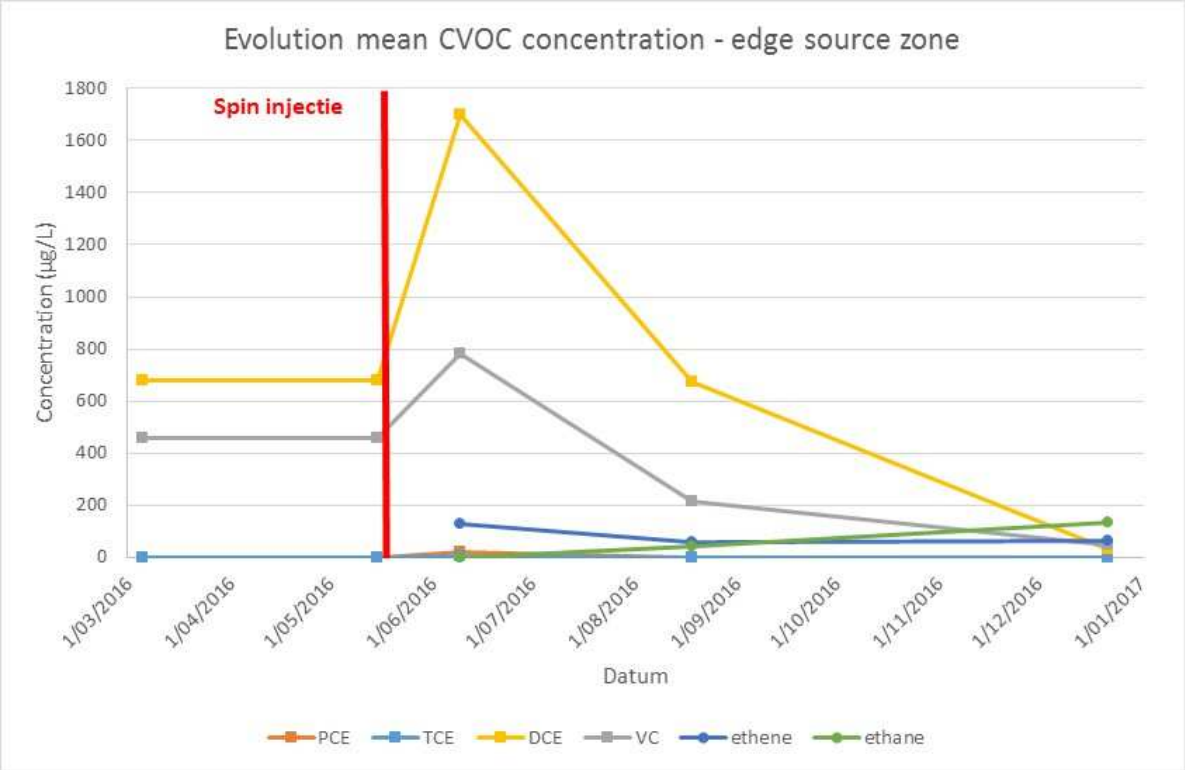
ASSAINISSEMENT

- Injection entre 1 et 7 m avec Spin®
- "Micro-Spin" développé pour entrer dans des espaces étroits (78 x 200 cm)
- Test pilote: 15 points d'injection sur une surface de 10 m x 10 m

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

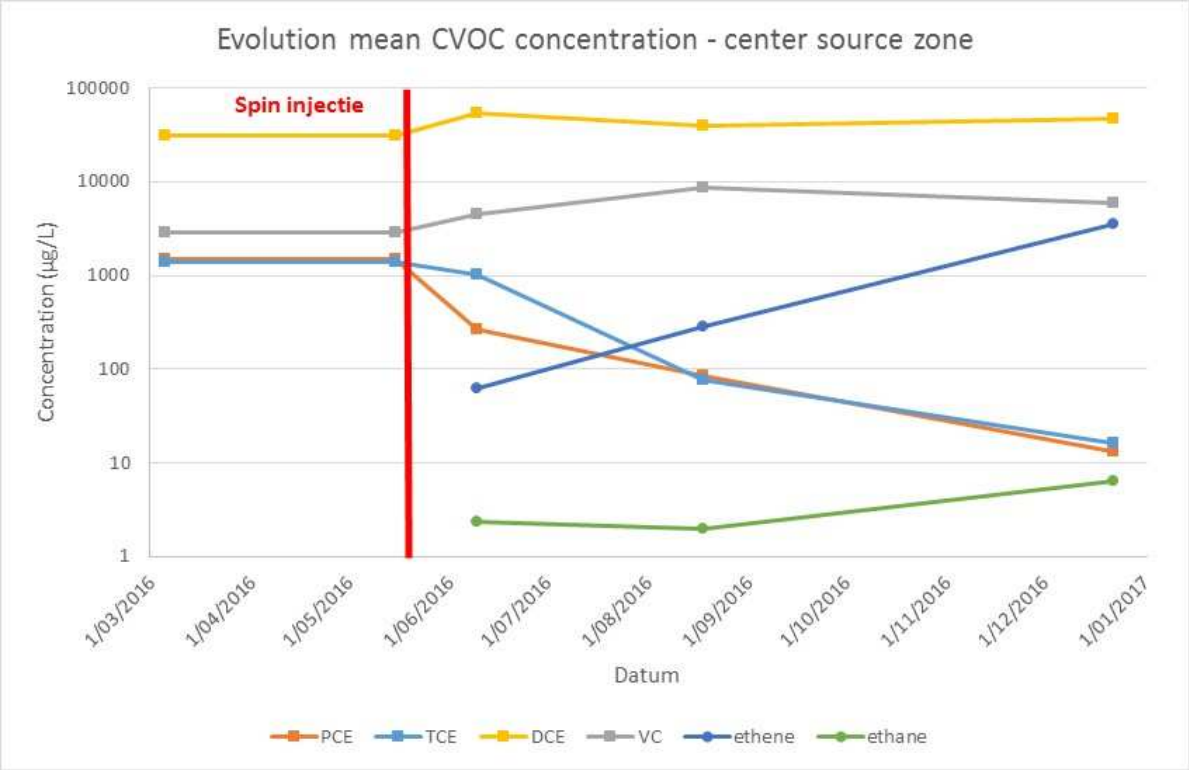
▶ STIMULATION BIOLOGIQUE SOLVANTS CHLORÉS - EXEMPLE SITE BRUXELLES



SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

▶ STIMULATION BIOLOGIQUE SOLVANTS CHLORÉS - EXEMPLE SITE BRUXELLES



SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

STIMULATION BIOLOGIQUE SOLVANTS CHLORÉS - EXEMPLE SITE BRUXELLES

RÉSULTATS

INJECTION SPIN®

- Zone d'influence: TOC élevé dans tous les 7 piézomètres dans la zone à traiter
- Pas de 'blow-out' à la surface
- Pas de court-circuits entre les points d'injection (distance de 1,5 – 2 m)

DÉGRADATION

- Déchlorination en cours; 75% de réduction après 9 mois et une seule injection

A GRANDE ÉCHELLE

- Injection dans la source
- Excavation de la zone non-saturée

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

INTRODUCTION SODECON

HYDROLOGIE D'INJECTION

MÉTHODES D'INJECTION

▶ DIFFÉRENTES APPLICATIONS

- Stimulation biologique de la dégradation des solvants chlorés
- ▶ Précipitation des métaux de manière chimique et biologique
- Oxydation chimique des contaminations organiques
- Stimulation biologique de la dégradation des BTEX et HM (aérobique et anaérobique)

CONCLUSION

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

- PRÉCIPITATION DES MÉTAUX DE MANIÈRE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE

  PRINCIPE: PRÉCIPITATION DES MÉTAUX SUR LA MATRICE DE SOL

  MANIÈRES:

  - Biologique: injection d'une source de carbone
    - Réduction de Cr(VI) à Cr(III)
    - Réduction des SO_4^{2-} à S^{2-}, suivie par précipitation des métaux comme S^{2-}
  - Chimique:
    - Augmentation de pH: injection d'une base
    - Injection de carbonates
    - Injection de sulfides

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

- PRÉCIPITATION DES MÉTAUX DE MANIÈRE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE

QUIZ

QUELLE MÉTHODE DE PRÉCIPITATION EST PRÉFÉRABLE?

A. Augmentation de pH
B. Injection de carbonates
C. Injection de sulfides

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

▶ PRÉCIPITATION DES MÉTAUX DE MANIÈRE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE

EXEMPLE 1

Contamination

- Métaux lourds: Pb et Zn
- pH = 1-2
- Perméabilité très faible

Assainissement

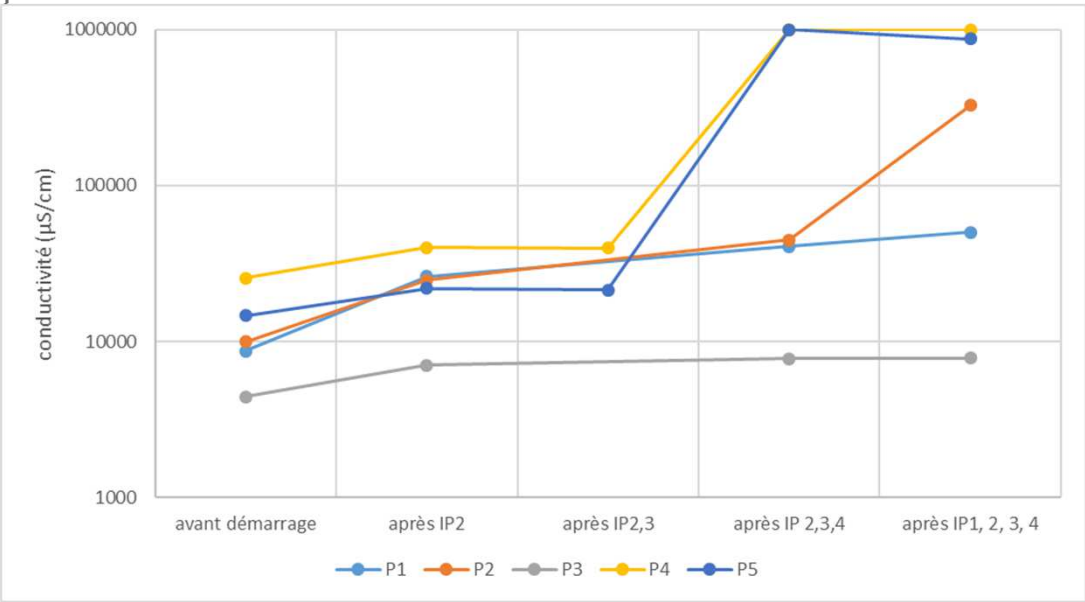
- Augmentation de pH
- Test de laboratoire pour déterminer le dosage de NaOH
- Test pilote: injection de NaOH sur 4 points d'injection avec Spin®
- Suivi sur 5 piézomètres

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

▶ PRÉCIPITATION DES MÉTAUX DE MANIÈRE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE

EXEMPLE 1

Evaluation de la zone d'influence pendant les injections par des mesures de conductivité dans des piézomètres



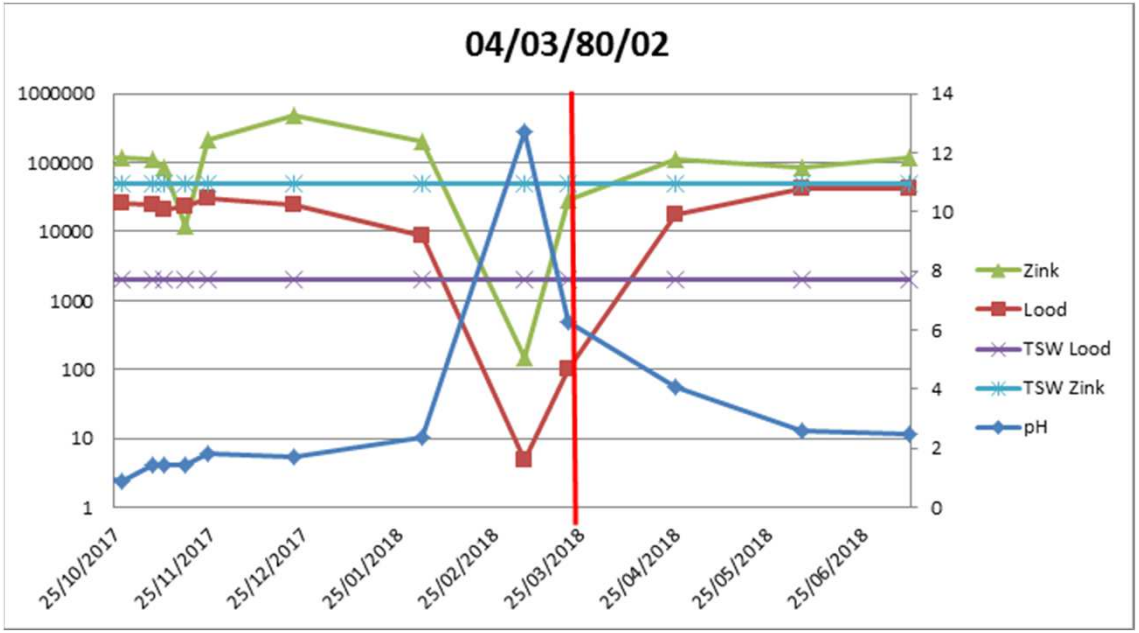
SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

- PRÉCIPITATION DES MÉTAUX DE MANIÈRE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE

EXEMPLE 1

Evolution de la contamination dans P4



SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

▶ PRÉCIPITATION DES MÉTAUX DE MANIÈRE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE

EXEMPLE 1

Resultats

- Injection
  - Zone d'influence: conductivité et pH élevés dans tous les piézomètres dans la zone à traiter
- Précipitation
  - Précipitation rapide mais redissolution causée par une réduction de pH à cause des effets de tampon de la matrice de sol
- Adaptation
  - Nouveau test de titration incluant les effets de tampon de la matrice de sol
  - Évaluer l'addition de sulfide avec un test de laboratoire
  - Deuxième test d'injection

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

▶ PRÉCIPITATION DES MÉTAUX DE MANIÈRE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE

EXEMPLE 2

Contamination

- Cr(VI) à des concentrations de 1 g/L!
- pH max = 12
- Perméabilité forte

Assainissement

- Test pilote: injection de lactate sur un puits d'infiltration
- Suivi sur 5 piézomètres

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

▶ PRÉCIPITATION DES MÉTAUX DE MANIÈRE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE

EXEMPLE 2

Resultats

Injection

- Zone d'influence: TOC élevé dans tous les 5 piézomètres dans la zone à traiter

Réduction et précipitation

- Pas d'influence dans les 2 piézomètres avec les concentrations les plus élevées après 2 injections

Adaptation

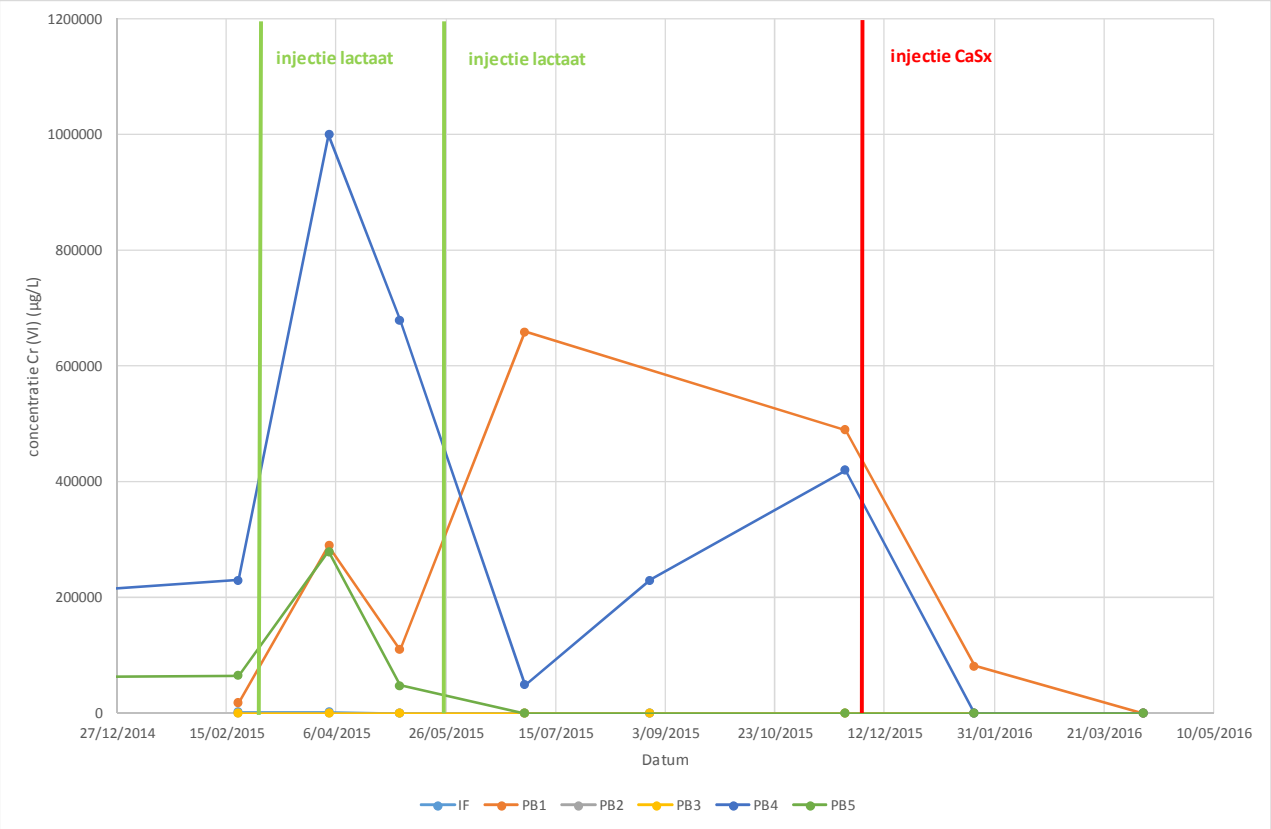
- Injection d'une solution de sulfides pour réduction et précipitation de manière chimique

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

▶ PRÉCIPITATION DES MÉTAUX DE MANIÈRE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE

EXEMPLE 2

- Réduction très rapide de Cr(VI)
- 99,9% de réduction en 3 mois

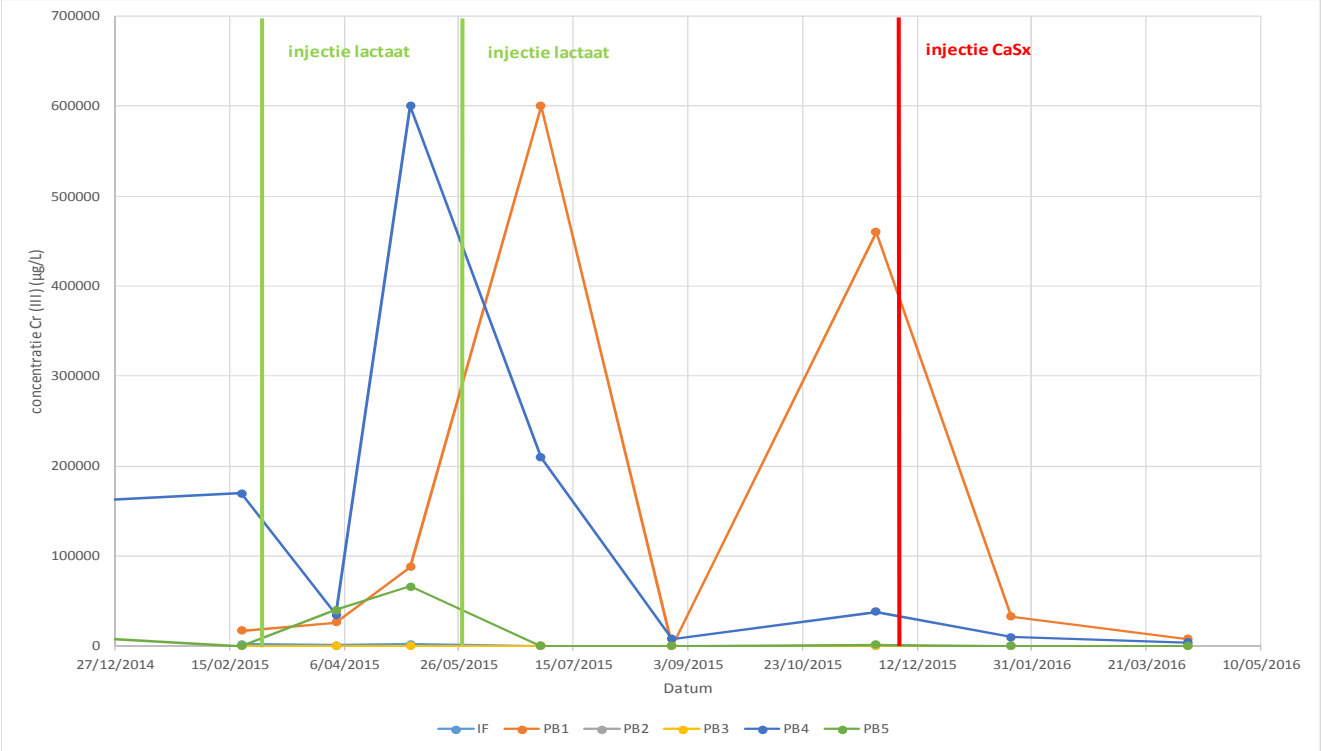


DIFFÉRENTES APPLICATIONS

▶ PRÉCIPITATION DES MÉTAUX DE MANIÈRE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE

EXEMPLE 2

- Précipitation de Cr(III)



SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

▶ PRÉCIPITATION DES MÉTAUX DE MANIÈRE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE

EXEMPLE 2

- Injection de sulfide est effective pour réduction de Cr(VI) à court terme
- Injection à grande échelle de sulfides exécutée
- Stabilité à long terme?
  - Monitoring nécessaire mais réduction de Cr(VI) stable
  - Lixiviation de la zone non-saturée possible: couverture nécessaire

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

INTRODUCTION SODECON

HYDROLOGIE D'INJECTION

MÉTHODES D'INJECTION

▶ DIFFÉRENTES APPLICATIONS

- Stimulation biologique de la dégradation des solvants chlorés
- Précipitation des métaux de manière chimique et biologique
- ▶ Oxydation chimique des contaminations organiques
- Stimulation biologique de la dégradation des BTEX et HM (aérobique et anaérobique)

CONCLUSION

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

▶ OXYDATION CHIMIQUE DES CONTAMINATIONS ORGANIQUES

REACTIONS

Oxidant and Reactions	Electrode Potential (E_h)[2]	
Permanganate		
$MnO_4^- + 4\,H^+ + 3\,e^- \longrightarrow MnO_2 + 2\,H_2O$	1.7 V (permanganate ion)	(1)
Fenton's (H_2O_2 Derived Reactants)		
$H_2O_2 + 2\,H^+ + 2\,e^- \longrightarrow 2\,H_2O$	1.8 V (hydrogen peroxide)	(2)
$2\,\cdot OH + 2\,H^+ + 2\,e^- \longrightarrow 2\,H_2O$	2.8 V (hydroxyl radical)	(3)
$\cdot HO_2 + 2\,H^+ + 2\,e^- \longrightarrow 2\,H_2O$	1.7 V (perhydroxyl radical)	(4)
$\cdot O_2^- + 4\,H^+ + 3\,e^- \longrightarrow 2\,H_2O$	-2.4 V (superoxide radical)	(5)
$HO_2^- + H_2O + 2\,e^- \longrightarrow 3\,OH^-$	-0.88 V (hydroperoxide anion)	(6)
Ozone		
$O_3 + 2\,H^+ + 2\,e^- \longrightarrow O_2 + H_2O$	2.1 V (ozone)	(7)
$2\,O_3 + 3\,H_2O_2 \longrightarrow 4\,O_2 + 2\,\cdot OH + 2\,H_2O$	2.8 V (hydroxyl radical, see rxn 3)	(8)
Persulfate		
$S_2O_8^{2-} + 2\,e^- \longrightarrow 2\,SO_4^{2-}$	2.1 V (persulfate)	(9)
$\cdot SO_4^- + e^- \longrightarrow SO_4^{2-}$	2.6 V (sulfate radical)	(10)

Source: 'EPA Engineering Issue 'In-situ chemical oxidation', août 2006

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

Contaminant	Oxidant																			
	MnO_4^-				Fenton's (H_2O_2/Fe)					$S_2O_8^{2-}$ (1)	$\cdot SO_4^-$ (Activated persulfate)[1]			Ozone				Ozone/ H_2O_2 (Peroxone)(2)		
	Rating sources																			
	a	b	c	d	a	b	c	d	e	a	a	b	c[3]	a	b	c	d	a	b	e
Petroleum hydrocarbons	G[4]				E[4]					G/E[4]	E[4]			E[4]						
BTEX		E[4]	E[4]	E		E	E[4]	E	E			E	E[4]		E	G[4]	E		E	E
Benzene	P[4]	G[4]	P[4]		E[4]		E[4]		E	G[4]	G/E[4]		E[4]	E[4]		G[4]				E
Phenols	G	E	E		E	E	E	E	E	P/G	G/E	E	E		E	E	E	E	E	E
PAHs	G	E	E	E	E	G	G	E	E	G	E	G	G/E	E	G	E	E		G	E
MTBE	G				G	E			E	P/G	E	E		G	E				E	E
tert-butyl alcohol						E			G			E			E				E	G
Chlorinated ethenes	E	E	E	E	E	E	E	E	E	G	E	E	E	E	E		E		E	E
Carbon tetrachloride	P	P	P		P/G	G	P		P	P	P/G		P/E	P/G	P				G	P
Chloroform		P	P			P	P		P				G/E		P				P	P
Methylene chloride			P			G	G		P				G/E		G				G	P
Chlorinated ethanes[5]	P			P	G/E			P	P	P	G/E			G			P			P
Trichloroethane[5]		P	P			E	P		P				P/E		P				E	P
Dichloroethane[5]			P			G	G		P				G/E		G				G	P
Chlorobenzene			P			E	E		E			E	E		E				E	E
PCBs	P	P	P	P	P	G	P	P	E	P	P	P	P/E		P	E	P	G	G	E
Energetics (RDX, HMX)	E				E					G	E			E						
Explosives		E	E			E	G					G	G/E		E	E			E	
Pesticides		G	G			P	P		G/E[6]			G	G/E		P	E			P	G/E[6]
1,4-dioxane[7]						E			E			E							E	E

Key: P = poor, G = good, E = excellent. While the different sources used slightly different terminology for rating the amenability, in general, they each used a three-tiered ranking represented here by the P, G, and E terminology.

Sources a, e: P = poor, G = good, E = excellent
Source b: P = recalcitrant, G = reluctant, E = amenable
Source c: P = recalcitrant, no/low reactivity; G = reluctant, medium reactivity; E = amenable, high reactivity
Source d: P = difficult to treat, E = susceptible

Source: 'EPA Engineering Issue 'In-situ chemical oxidation', août 2006

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

▶ OXYDATION CHIMIQUE DES CONTAMINATIONS ORGANIQUES

EXEMPLE

Contamination

- Station service avec contamination de BTEX et MTBE entre 1 et 5 m de profondeur
- Perméabilité faible (limon sableux)

Assainissement

- Excavation et techniques d'extraction pas possibles à cause d'un bâtiment
- Test pilote: injection de persulfate activé avec Spin® sur 5 points d'injection

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

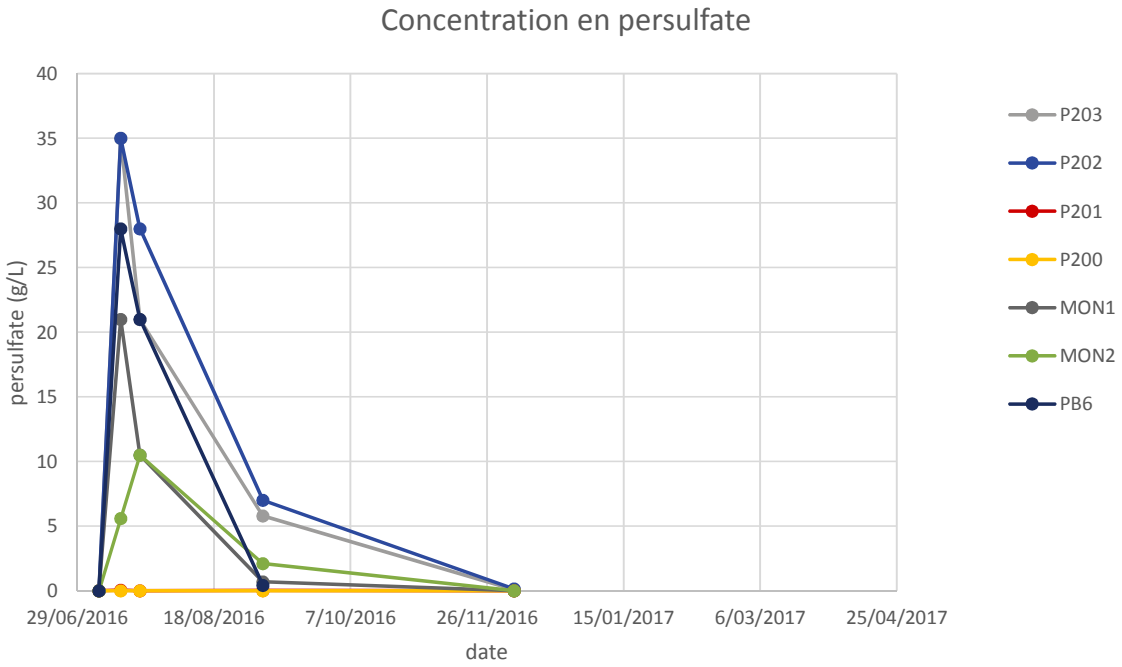
▶ OXYDATION CHIMIQUE DES CONTAMINATIONS ORGANIQUES

EXEMPLE

Bonne distribution de persulfate

Persulfate reste actif pendant 4 mois

- Activation limitée



SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

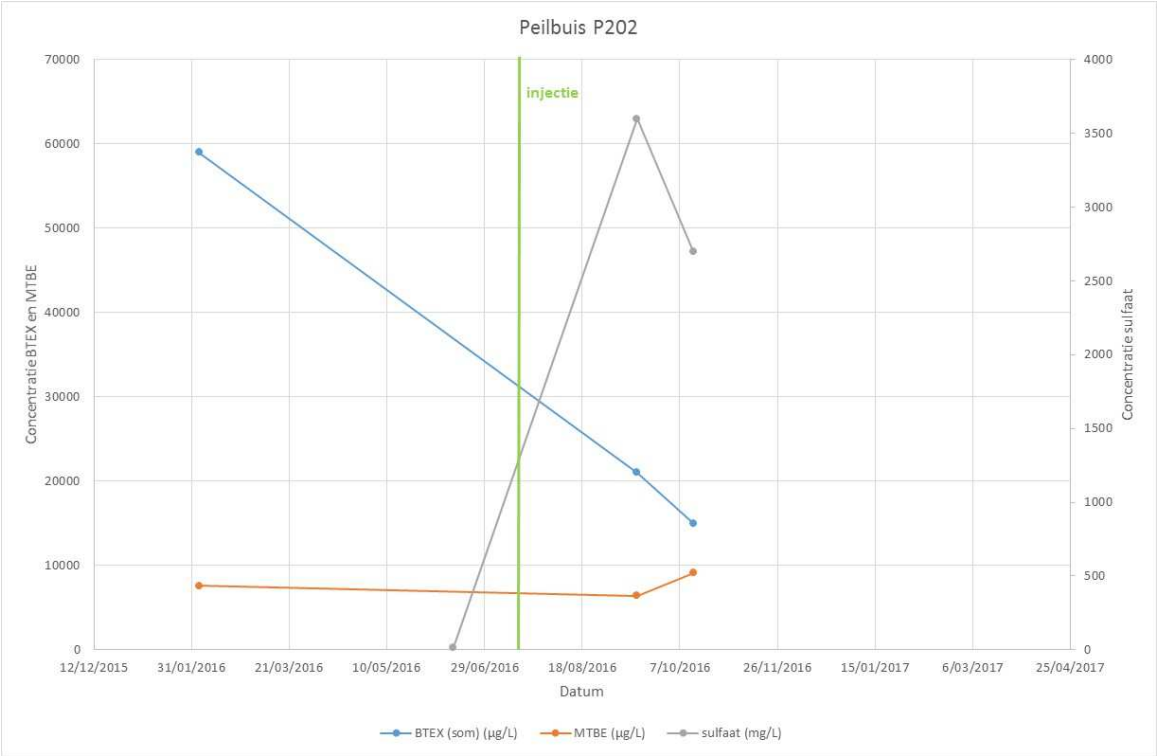
DIFFÉRENTES APPLICATIONS

- OXYDATION CHIMIQUE DES CONTAMINATIONS ORGANIQUES

EXEMPLE

Contamination

- BTEX: réduction de 70%
- MTBE: pas d'effet à cause d'activation limitée



SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

OXYDATION CHIMIQUE DES CONTAMINATIONS ORGANIQUES

EXEMPLE

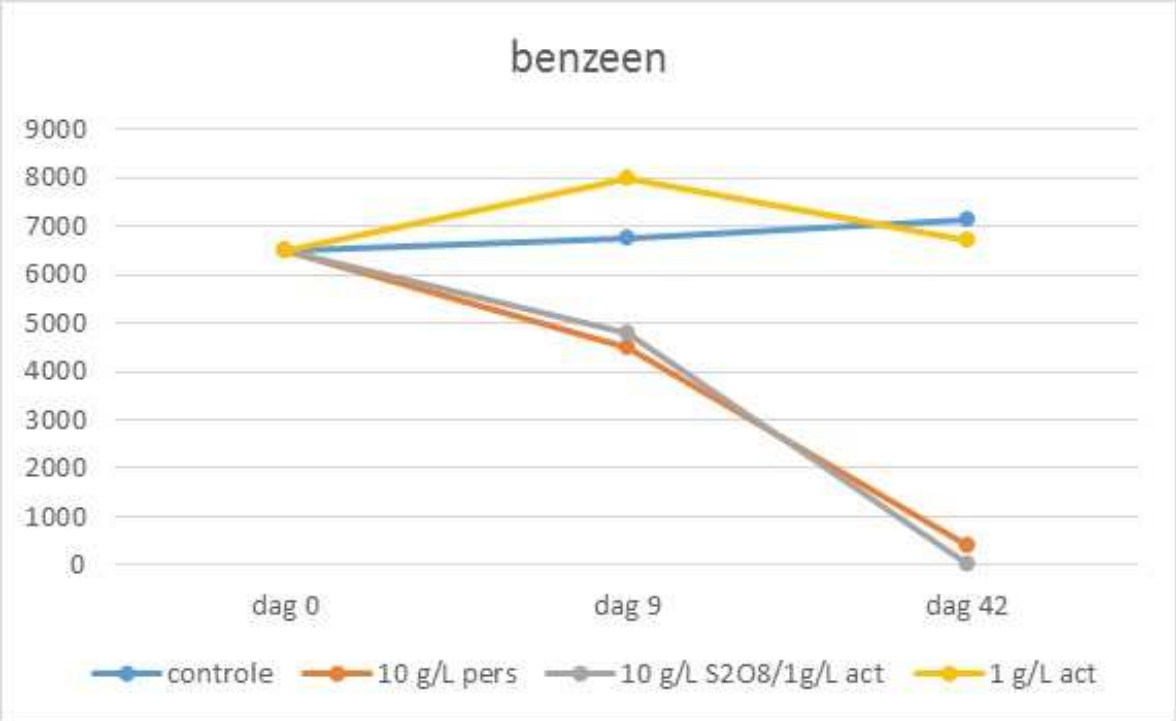
Résultats

- Injection
  - Zone d'influence: persulfate élevé dans 6 des 7 piézomètres dans la zone à traiter
- Dégradation
  - Seulement BTEX, pas MTBE
- Adaptation
  - Test de laboratoire avec un nouveau type d'activation, développé par Sodecon, facile à répandre dans le sol

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

- OXYDATION CHIMIQUE DES CONTAMINATIONS ORGANIQUES

EXEMPLE

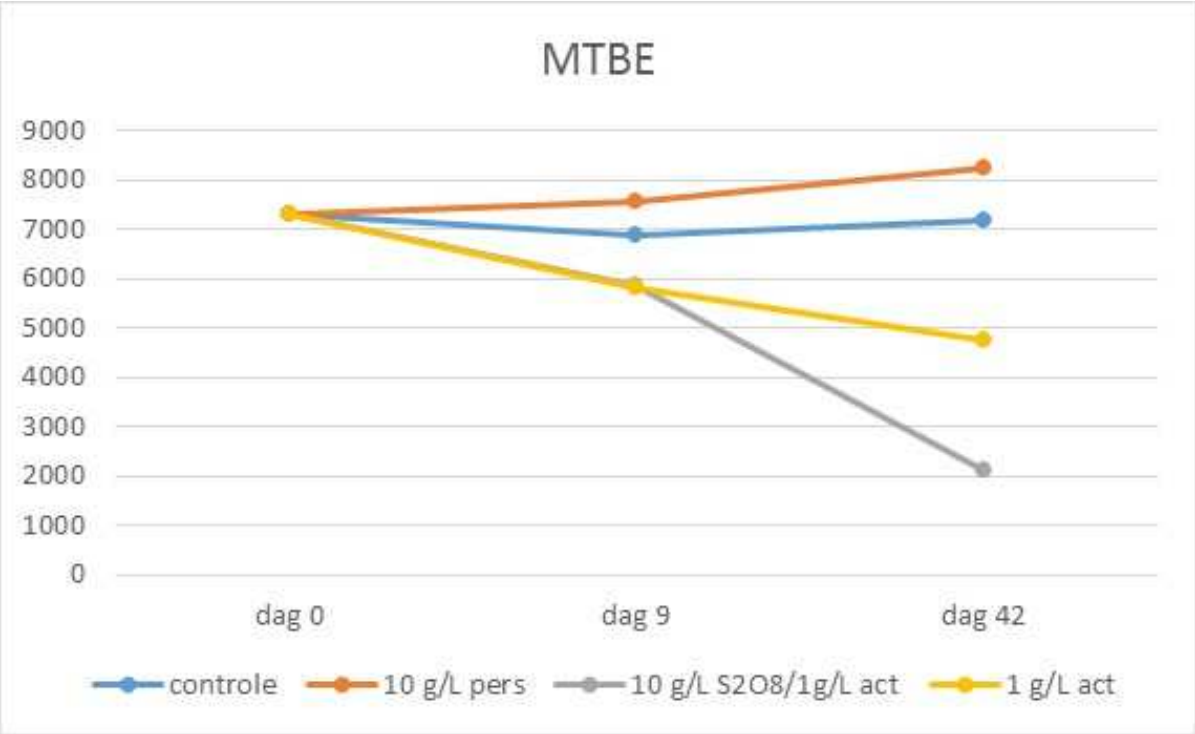


SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

- OXYDATION CHIMIQUE DES CONTAMINATIONS ORGANIQUES

EXEMPLE



SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

- OXYDATION CHIMIQUE DES CONTAMINATIONS ORGANIQUES

EXEMPLE

Contamination:

- Augmentation de BTEX
- Couche flottante (1 cm) dans un piézomètre

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

- OXYDATION CHIMIQUE DES CONTAMINATIONS ORGANIQUES

EXEMPLE

Résultats:

- Oxydation chimique peut dégrader la contamination
- Produit pur présent:
  - Beaucoup de réactifs nécessaires
  - Difficile à prédire

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

INTRODUCTION SODECON

HYDROLOGIE D'INJECTION

MÉTHODES D'INJECTION

▶ DIFFÉRENTES APPLICATIONS

- Stimulation biologique de la dégradation des solvants chlorés
- Précipitation des métaux de manière chimique et biologique
- Oxydation chimique des contaminations organiques
- ▶ Stimulation biologique de la dégradation des BTEX et HM (aérobique et anaérobique)

CONCLUSION

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

QUIZ

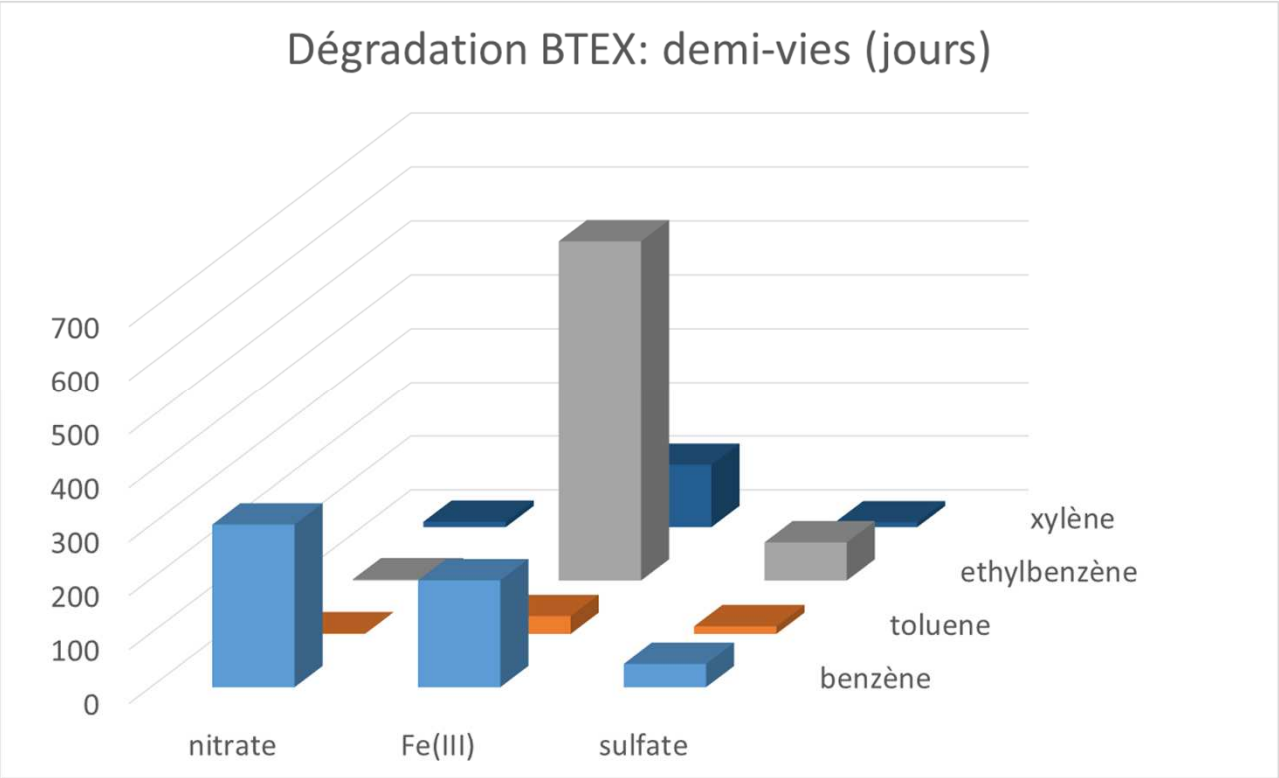
VRAI OU FAUX

LA BIORÉMÉDIATION AÉROBIQUE EST PLUS RAPIDE QUE LA BIORÉMÉDIATION ANAÉROBIQUE POUR LES BTEX

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

- STIMULATION BIOLOGIQUE DE LA DÉGRADATION DES BTEX ET HM



Source: Aranson and Howard, 1997

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

STIMULATION BIOLOGIQUE DE LA DÉGRADATION DES BTEX ET HM

Comparaison sulfate et oxygène:

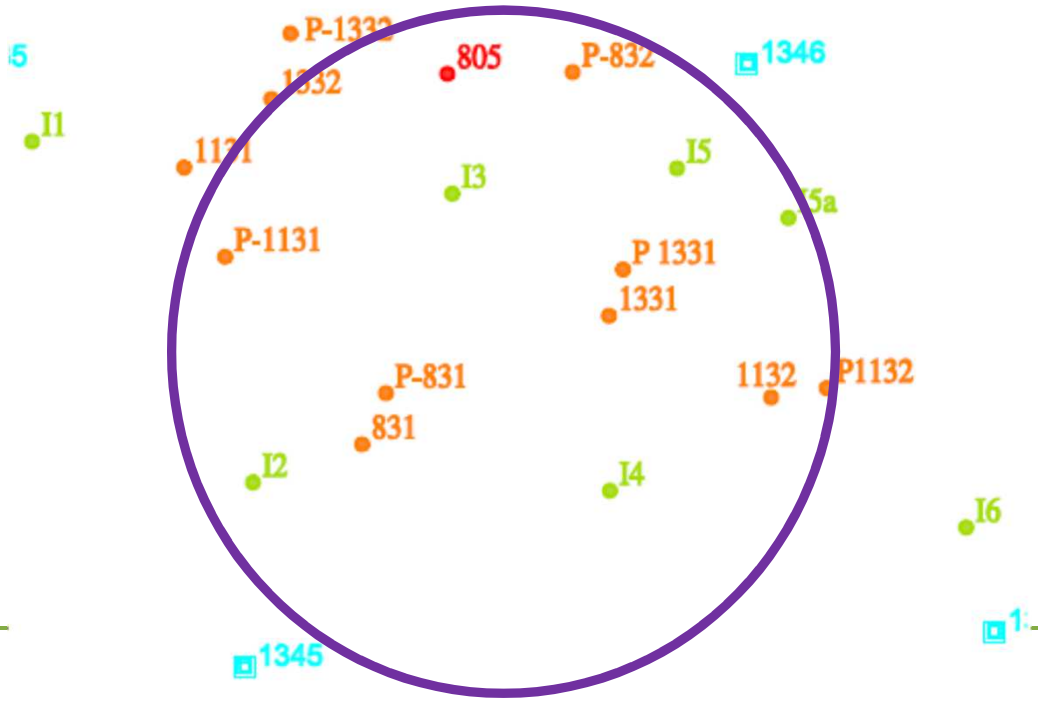
	Sulfate	Oxygène
Solubilité (g/L)	300	0,01
Dégradation 1 g BTEX	5 g	3,3 g
Réactions secondaires	0	Métaux réduits, M.O.
Infrastructure	Installation temporaire	Installation permanente
Energie	-	++

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

- STIMULATION BIOLOGIQUE DE LA DÉGRADATION DES BTEX ET HM

EXEMPLE

Plan de la zone d'injection



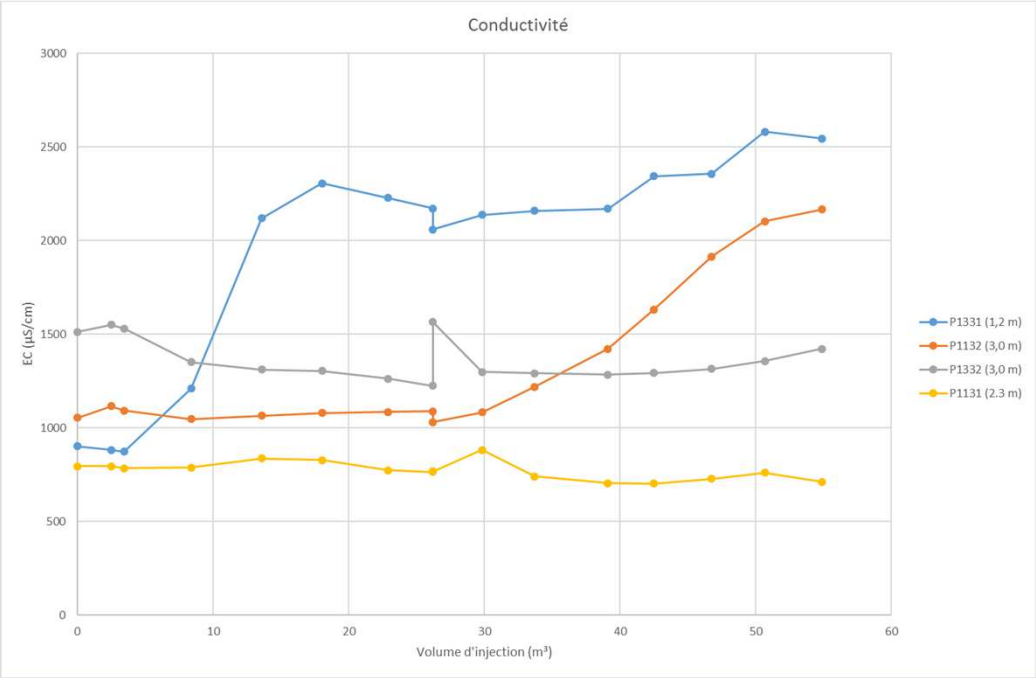
SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

- STIMULATION BIOLOGIQUE DE LA DÉGRADATION DES BTEX ET HM

EXEMPLE

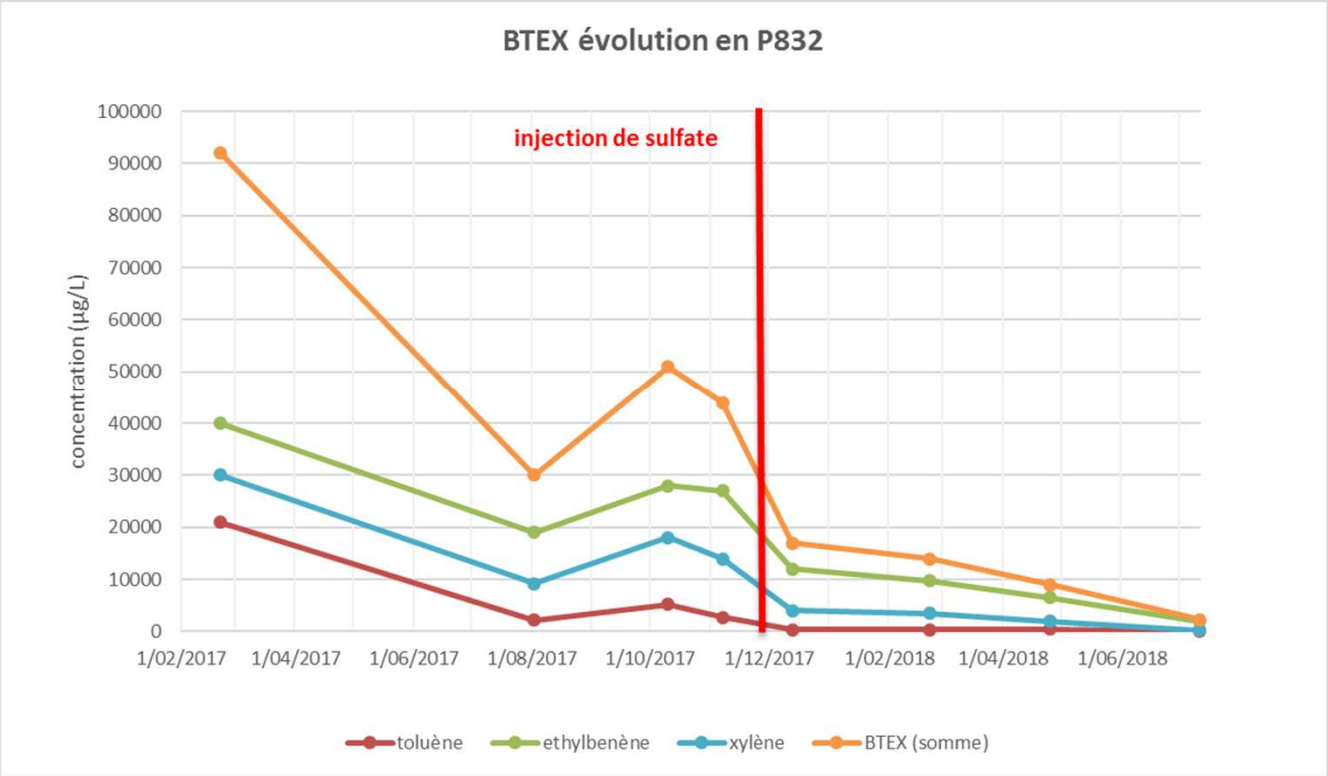
Evaluation de la zone d'influence par des mesurages de conductivité:



SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

- STIMULATION BIOLOGIQUE DE LA DÉGRADATION DES BTEX ET HM



SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

STIMULATION BIOLOGIQUE DE LA DÉGRADATION DES BTEX ET HM

EXEMPLE

Résultats:

Injection

Meilleure distribution avec injection sur puits d'injection

Zone d'influence: sulfate élevé dans tous les 7 piézomètres dans la zone à traiter

Injection de volumes larges: 50 m³ par puits

Dégradation après 8 mois

Paramètre	% réduction
Toluène	99
Xylène	80
Ethylbenzène	59
Totale	**71**

Injection à grande échelle

200 puits d'injection

Injection de 10.000 m³ de solution de sulfate

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

INTRODUCTION SODECON

HYDROLOGIE D'INJECTION

MÉTHODES D'INJECTION

DIFFÉRENTES APPLICATIONS

▶ CONCLUSION

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

CONCLUSION

QUIZ

EST-CE QU'ON PRÉFÈRE DES RÉACTIFS ?

A. D'ACTIVITÉ LENTE MAIS À LONG TERME

OU

B. DE FORTE ACTIVITÉ MAIS À COURT TERME?

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

CONCLUSION PÉRIODE ACTIVE DE PRODUITS

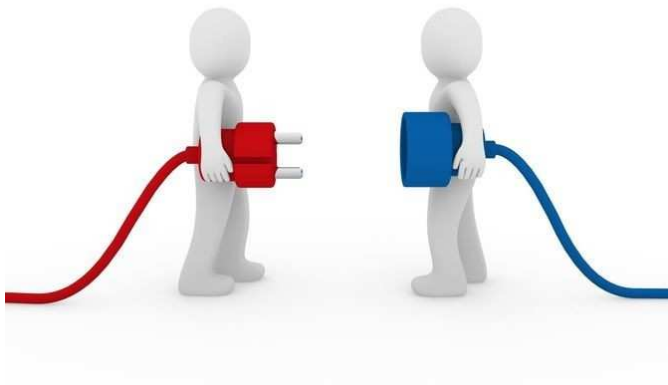
Réduction biologique			ethanol	lactate sucres	huile émulsifiée / 3DMe
Oxydation biologique		oxygène		nitrate/sulfate	
Oxidation chimique	fenton / ozone		permanganate /persulfate		
Réduction chimique	dithionite	sulfides		ZVI	

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

CONCLUSION

- SUCCÈS D'INJECTION = CONTACT CONTAMINATION ET RÉACTIF
- COMMENT?
  1. SÉLECTIONNER UNE TECHNIQUE D'INJECTION APPROPRIÉE AU SITE
  2. RÉALISATION QUALITATIVE
  3. FLEXIBILITÉ POUR ADAPTATIONS

- 2 DATES À NOTER:
  - 29 NOVEMBRE 2018: SPIN® INJECTION DEMO DAY À COURTRAI
  - 20-24 MAI 2019: AQUACONSOIL À ANVERS



SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

MERCI POUR VOTRE ATTENTION!

SODECON
SUSTAINABLE SOIL REMEDIATION

DEPOTSTRAAT 33
B-2620 HEMIKSEM, BELGIUM

e-mail: info@sodecon.be

e-mail: hans@sodecon.be

http://www.sodecon.be

T: +32 (0) 56 32 08 75

F: +32 (0) 56 90 34 11