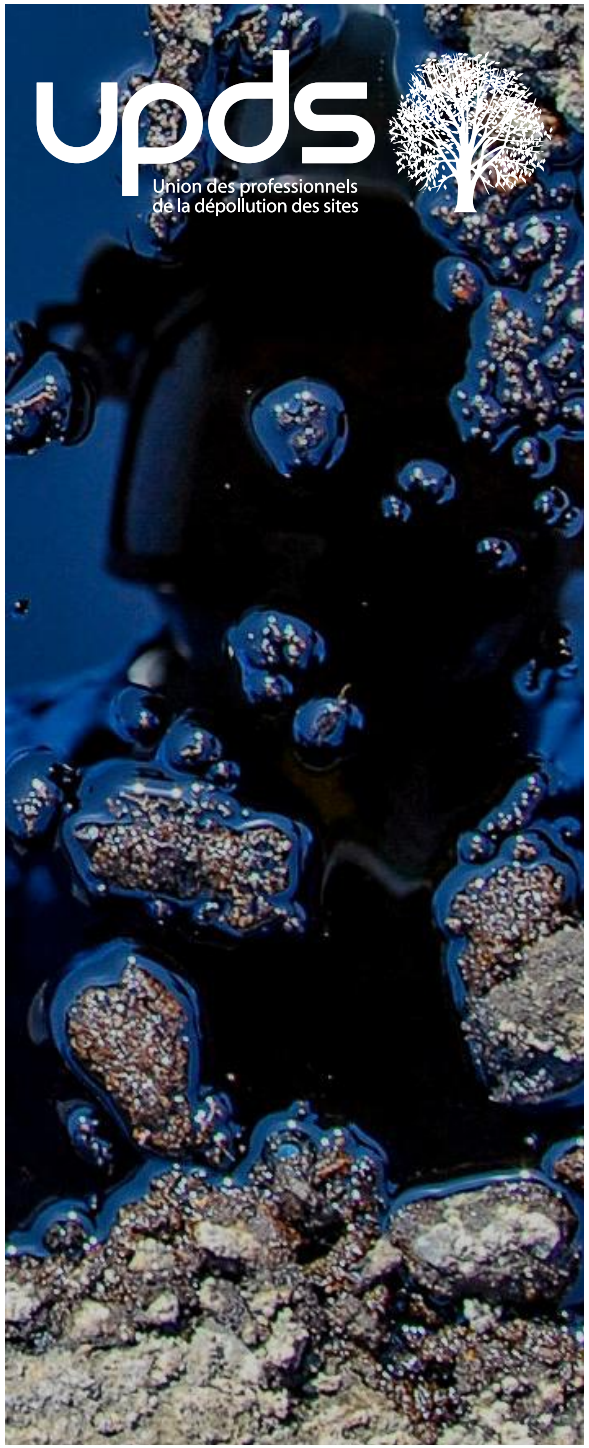
DÉPOLLUTION DURABLE DES SITES : DES TRAVAUX SÉCURISÉS POUR DES RISQUES MAÎTRISÉS

Les essais de traitabilité et de faisabilité comme aide à la décision sur la stratégie de réhabilitation : exemple de la ZAC de l'Union (essais microbiologiques en laboratoire)

Olivier SIBOURG
Gérant – ENOVEO

Sébastien PECQUEUX
Chef de projets - BURGEAP

24 mai 2016 – Auditorium du MEDEF

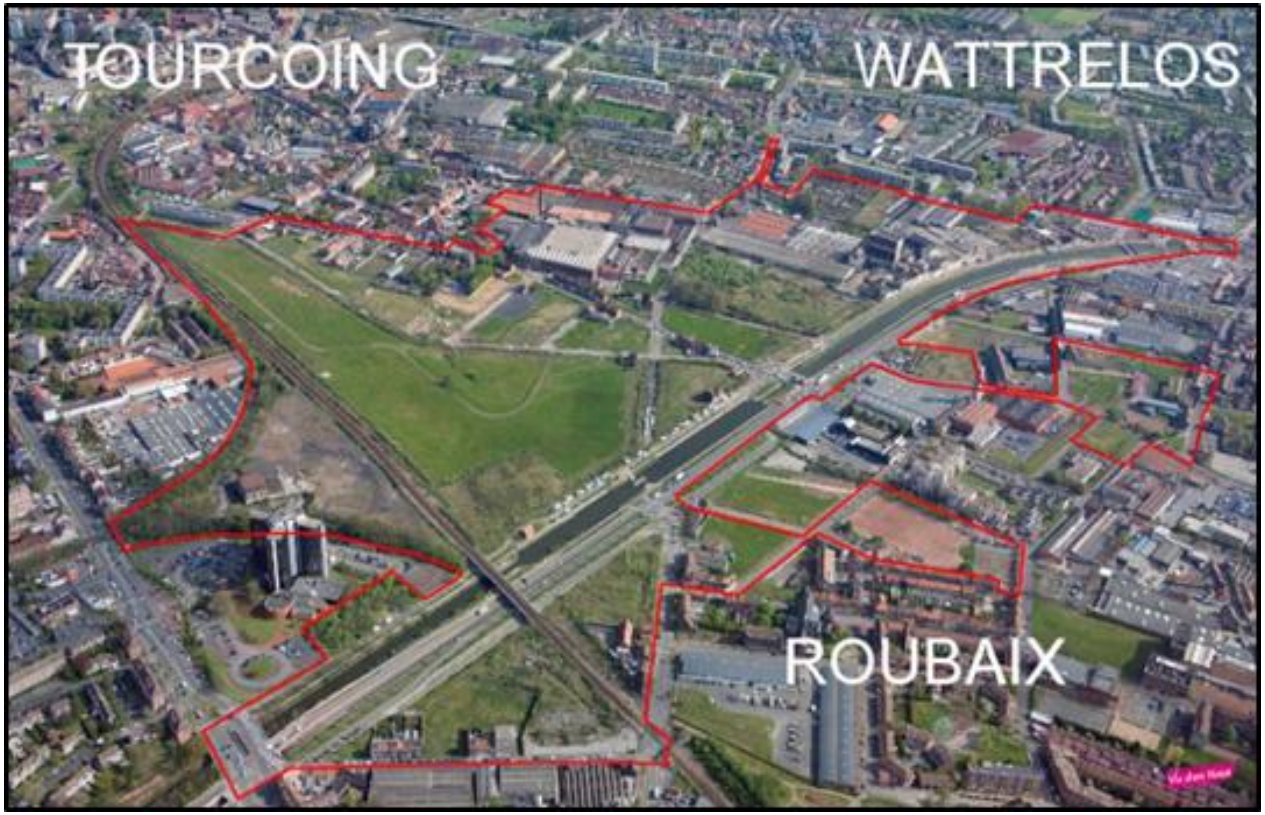


1. Contexte

A. Présentation de la ZAC de l'Union

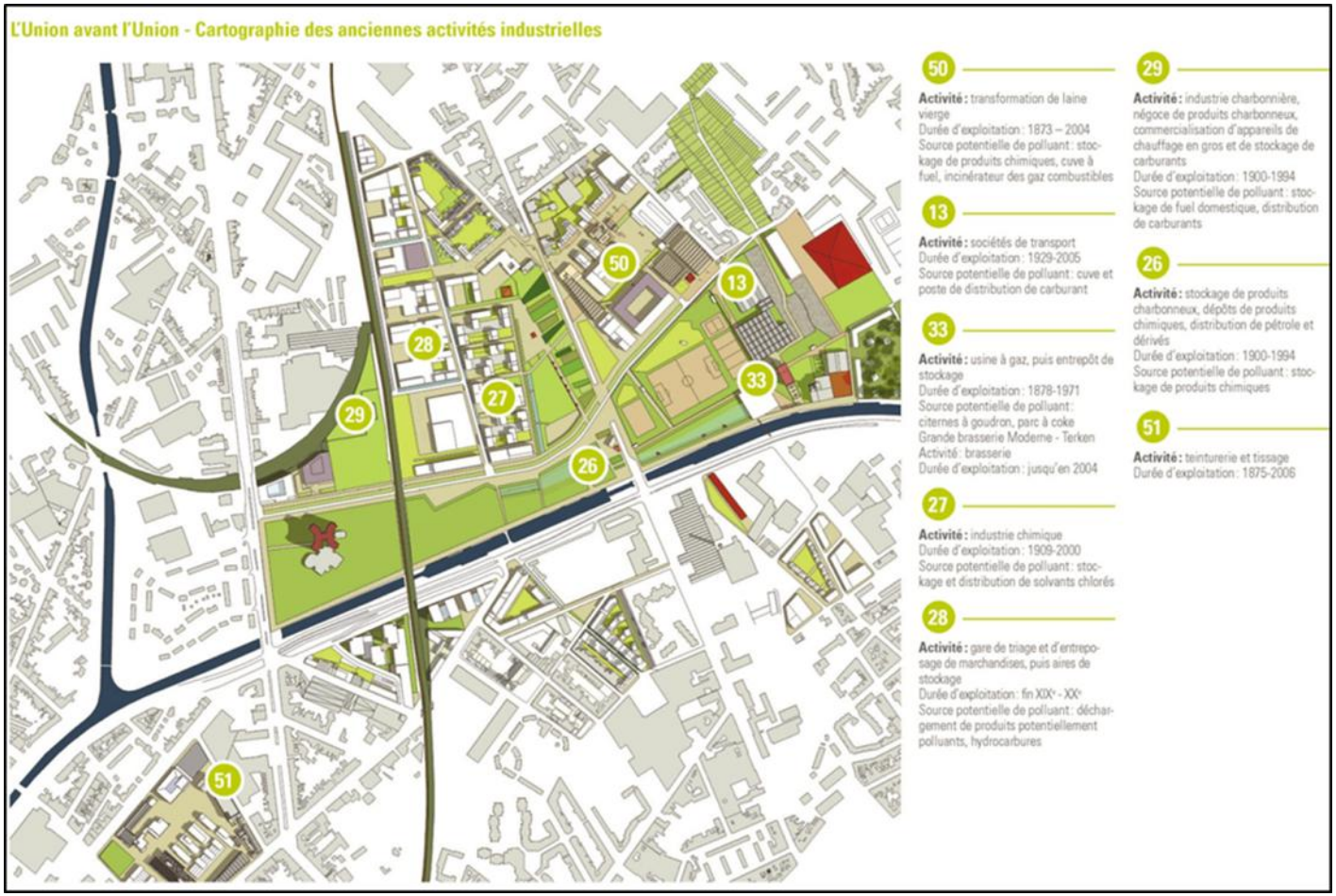
Maîtrise d'ouvrage : SEM VILLE RENOUVELEE

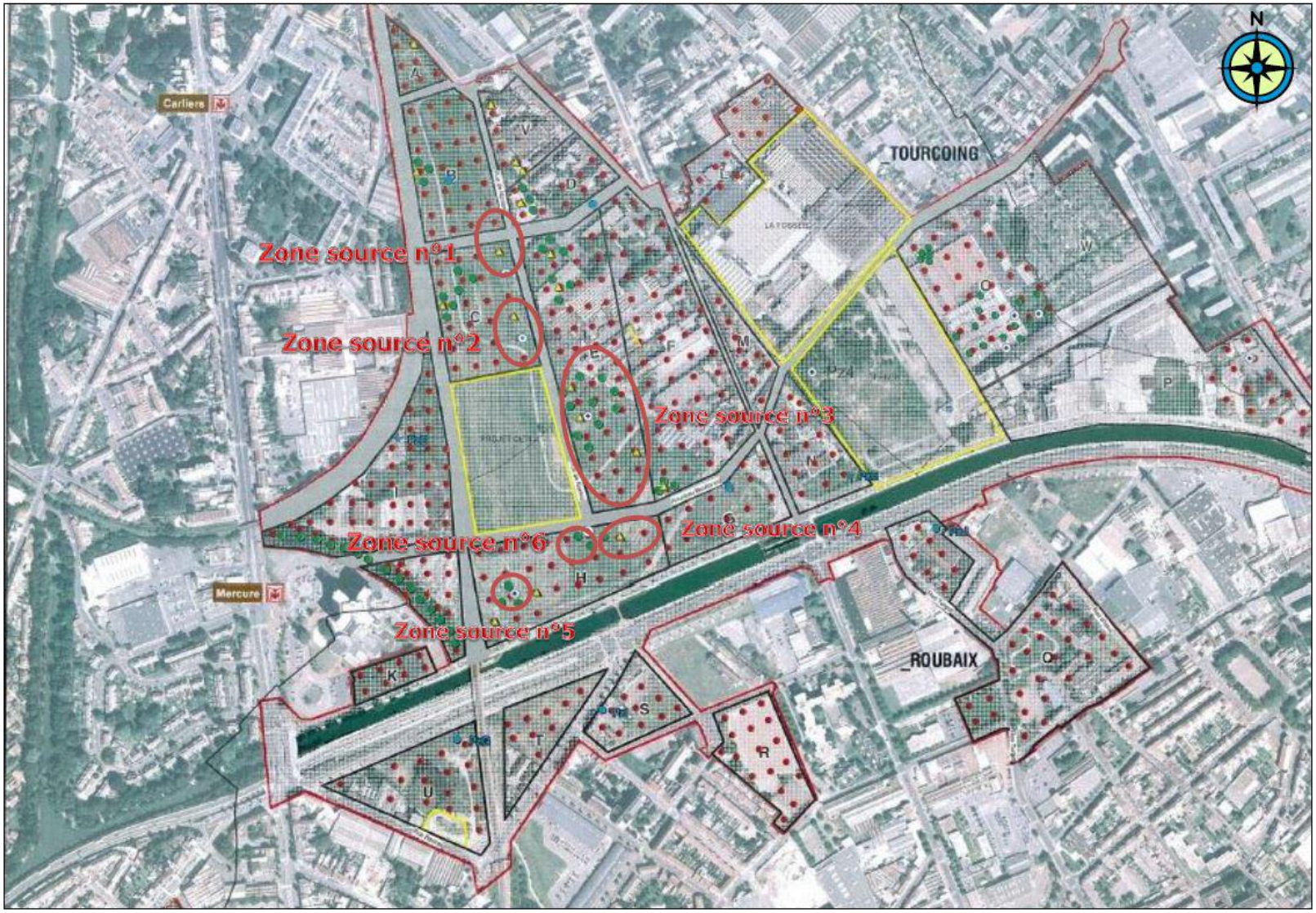
Projet d'éco-quartier



B. Données relatives à la pollution du site

Historique : + de 50 anciens sites industriels (gare, usine à gaz, industries chimiques, industries textiles…)




N
Carliers
TOURCOING
Zone source n°1
Zone source n°2
Zone source n°3
Zone source n°4
Zone source n°6
Zone source n°5
Mercure
ROUBAIX

C. Enjeux des essais pilotes

Essais pilotes : SOL ENVIRONMENT

MOE des essais : BURGEAP

Essais en laboratoire : ENOVEO

Objectifs des essais :

- Evaluer les correspondances entre chimie et biologie dans les sols en fonction de la profondeur
- Vérifier, évaluer la préexistence de phénomènes de biodégradation en place, les appréhender par des analyses de biologie moléculaire
- Vérifier que la biodégradation dynamisée est applicable dans les panaches concentrés
- Évaluer la cinétique de traitement a minima sur la première partie (dégradation des molécules mères

2. Déroulement des essais

A. Méthodologie

2 phases d'essais :

- Phase 1 : investigations complémentaires sur site
- Phase 2 : caractérisation des ressources microbiennes en laboratoire

Intervenants :

Phase 1 : SOL ENVIRONMENT + SOLDATA

Phase 2 : ENOVEO

Phase 1 :

- Réalisation de sondages MIP/DELCD et investigations géophysiques pour cerner l'extension des zones sources
- Réalisation de sondages par carottages sous gaine (protocole MACAOH)
- Prélèvements de sols au cœur de chacune des zones sources :
  profils verticaux, du toit de la nappe (-2 m) jusqu'au substratum (-10 m), par tranche de 2 m environ, soit 4 tranches
- Prélèvements d'eaux souterraines et caractérisation de la physico-chimie de l'aquifère

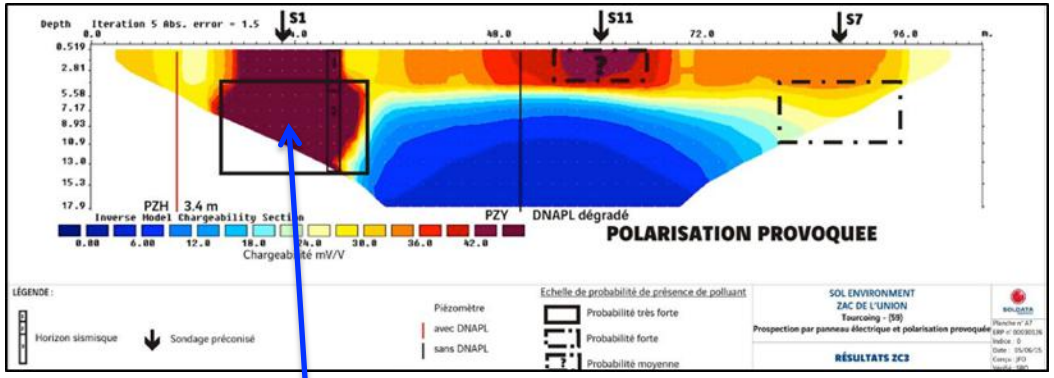
Phase 2 :

Essais en laboratoire (ENOVEO) :

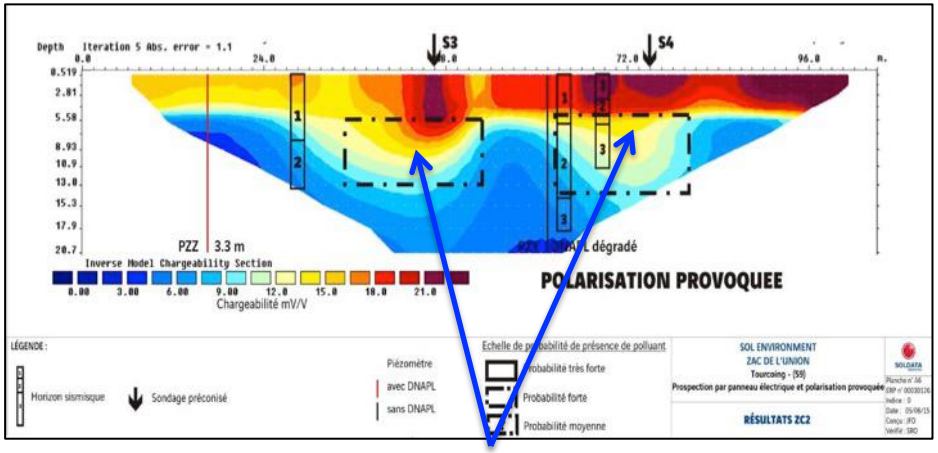
- Caractérisation des ressources microbiennes
- Réalisation du pilote de biodégradation

B. Résultats - Phase 1

Délimitation des zones sources, localisation des cuvettes (mesures géophysiques)

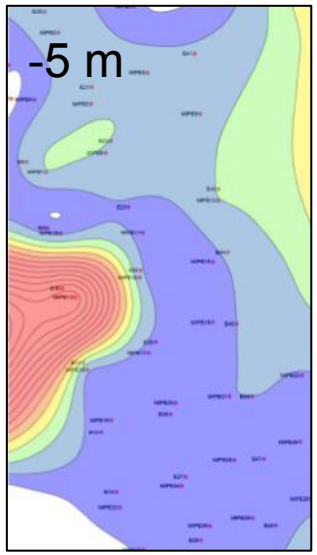


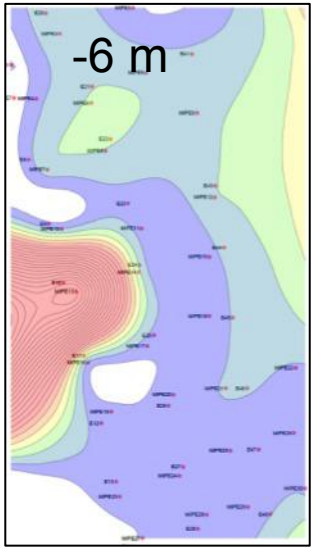
anomalie indiquant la présence de phase peu ou non dégradée

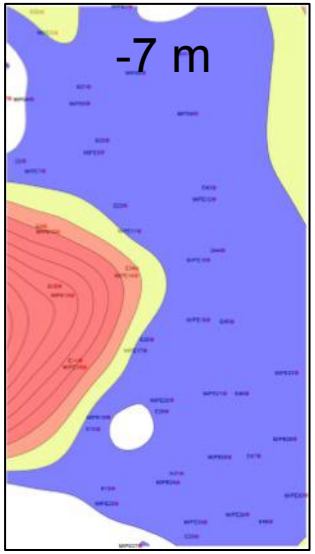


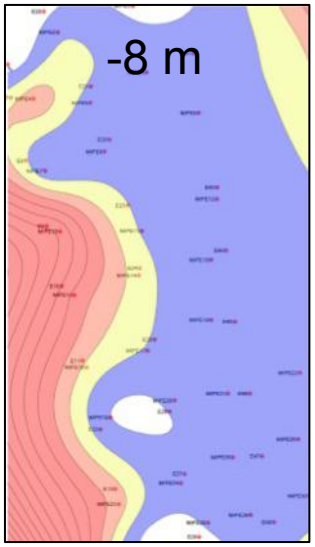
détection de cuvette de plus forte chargeabilité (et associée le plus souvent à des sols plus conducteurs (plus faibles résistivité)

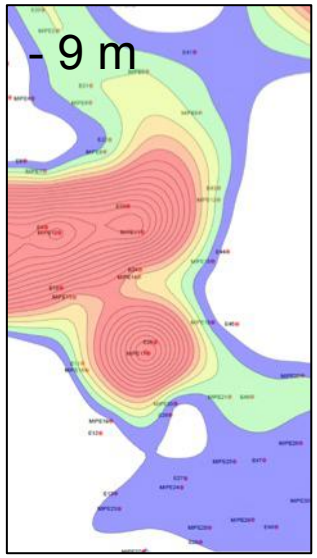
Délimitation des zones sources (MIP/DELCD) :

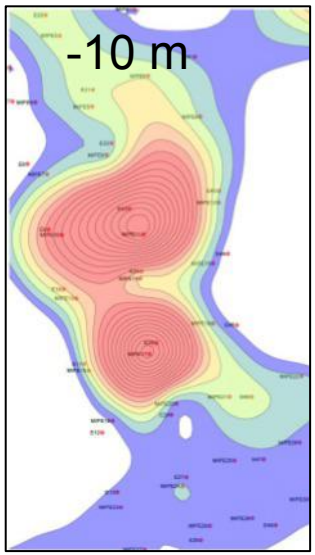


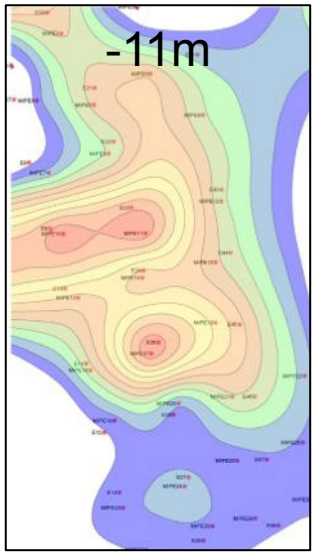




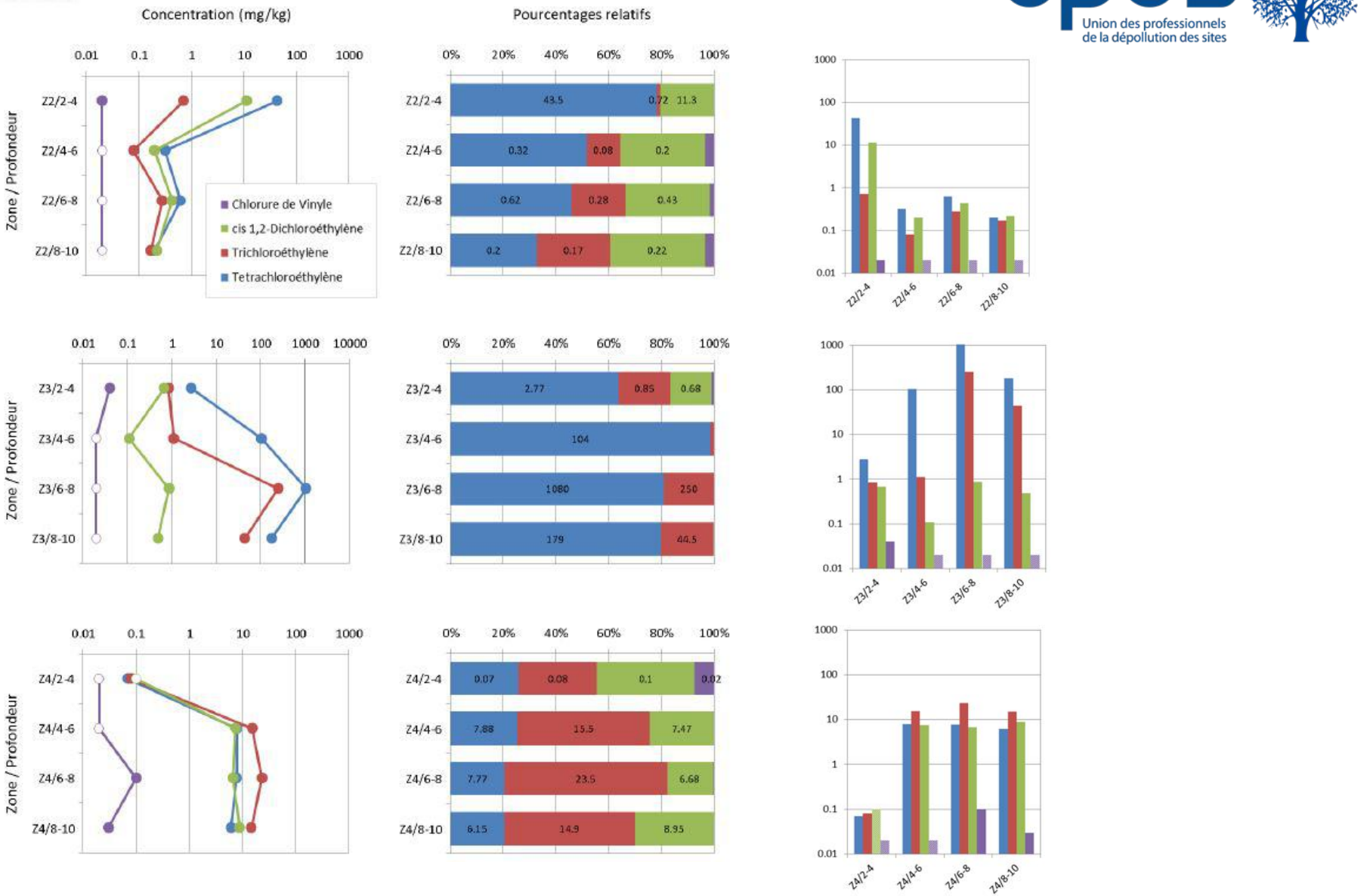








Résultats des analyses chimiques dans les sols (zones sources)



Eaux souterraines :

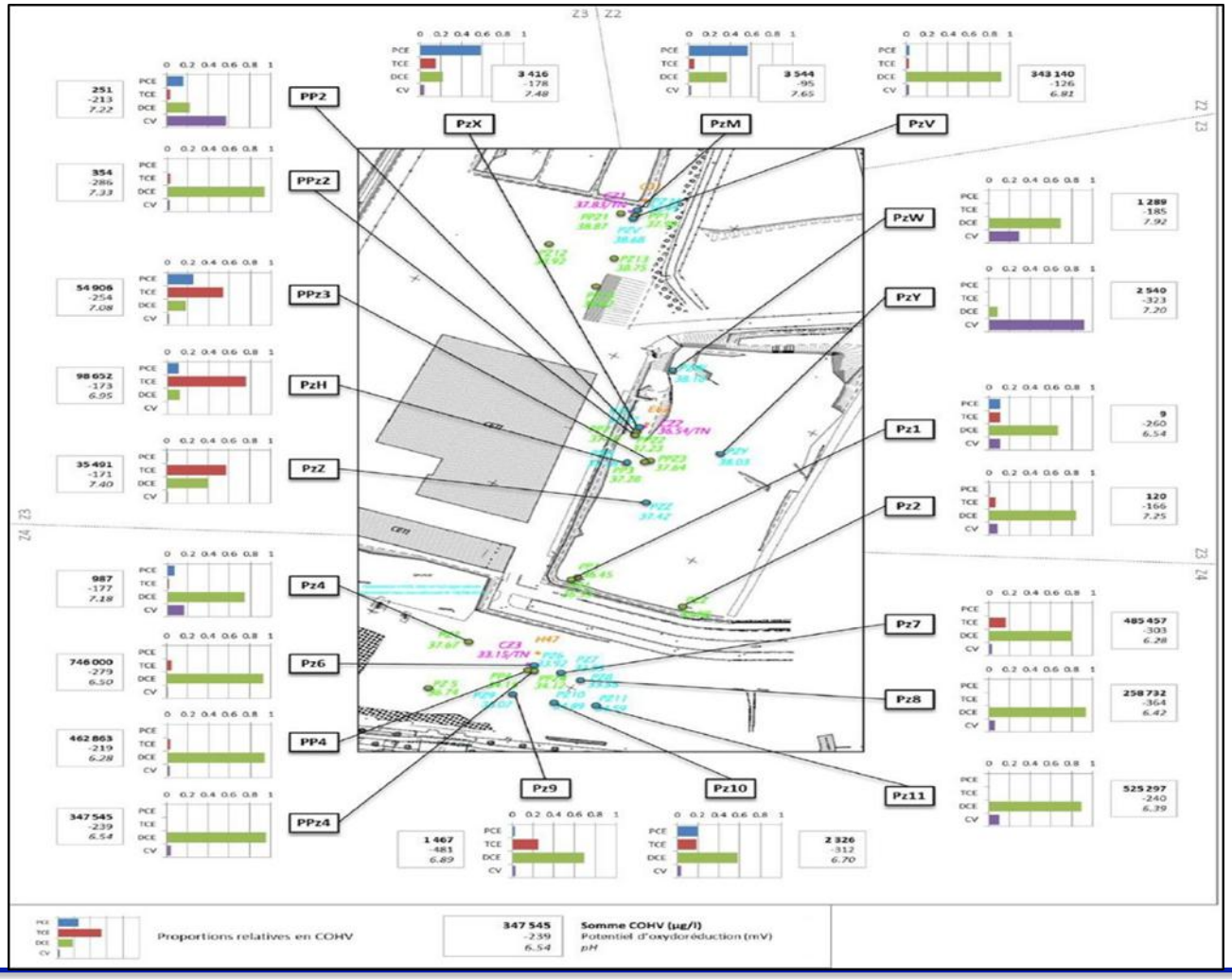
Température = 12 à 14°C

Conductivité = 1100 à 6500 µS/cm

Potentiel REDOX = -95 à -480 mV

Oxygène Dissous = 1,3 à 1,9 % / ou / 0,13 à 0,20 mg/l

pH = 6,8 à 7,9



B. Phase 2

Objectifs :

- Identifier et quantifier la présence du potentiel microbien impliqué dans la biodégradation des éthylènes chlorés en conditions réductrices.

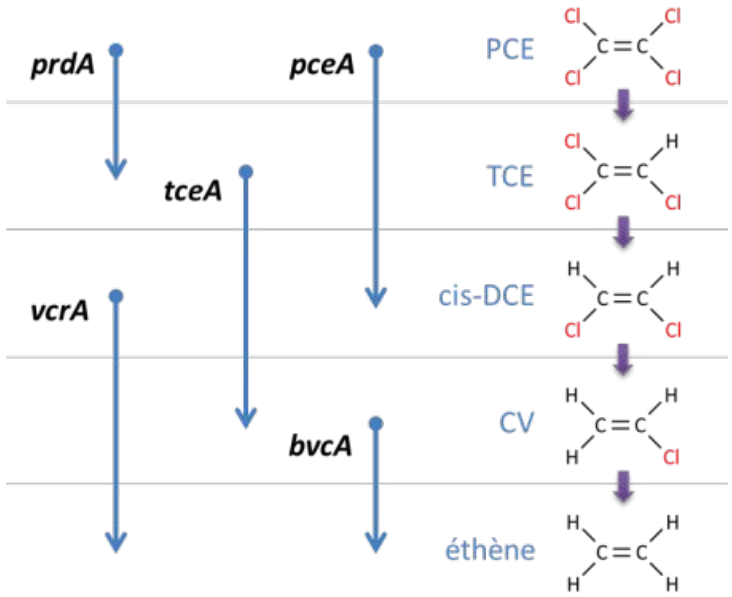
  Est-ce que les gènes de biodégradation responsable de la biodégradation des COHV en condition anaérobie sont présents et actifs ?

- Evaluer la faisabilité d'un traitement par biodégradation des solvants chlorés présents dans la zone saturée par ajout de substrat carboné.

  Est-il possible de stimuler les mécanismes de biodégradation par ajout de substrat carboné ? Définition d'une stratégie de traitement ?

Quantification des biomarqueurs

Voie de biodégradation, en condition anaérobie, des éthylènes chlorés. Sont représentés les 5 gènes impliqués dans la dégradation du PCE (perchloroéthylène), TCE (trichloroéthylène), cis-DCE (cis-dichloroéthylène) et CV (chlorure de vinyle). Parallèlement, le genre bactérien *Dehalococcoides* (Dhc) est également recherché dans les échantillons.



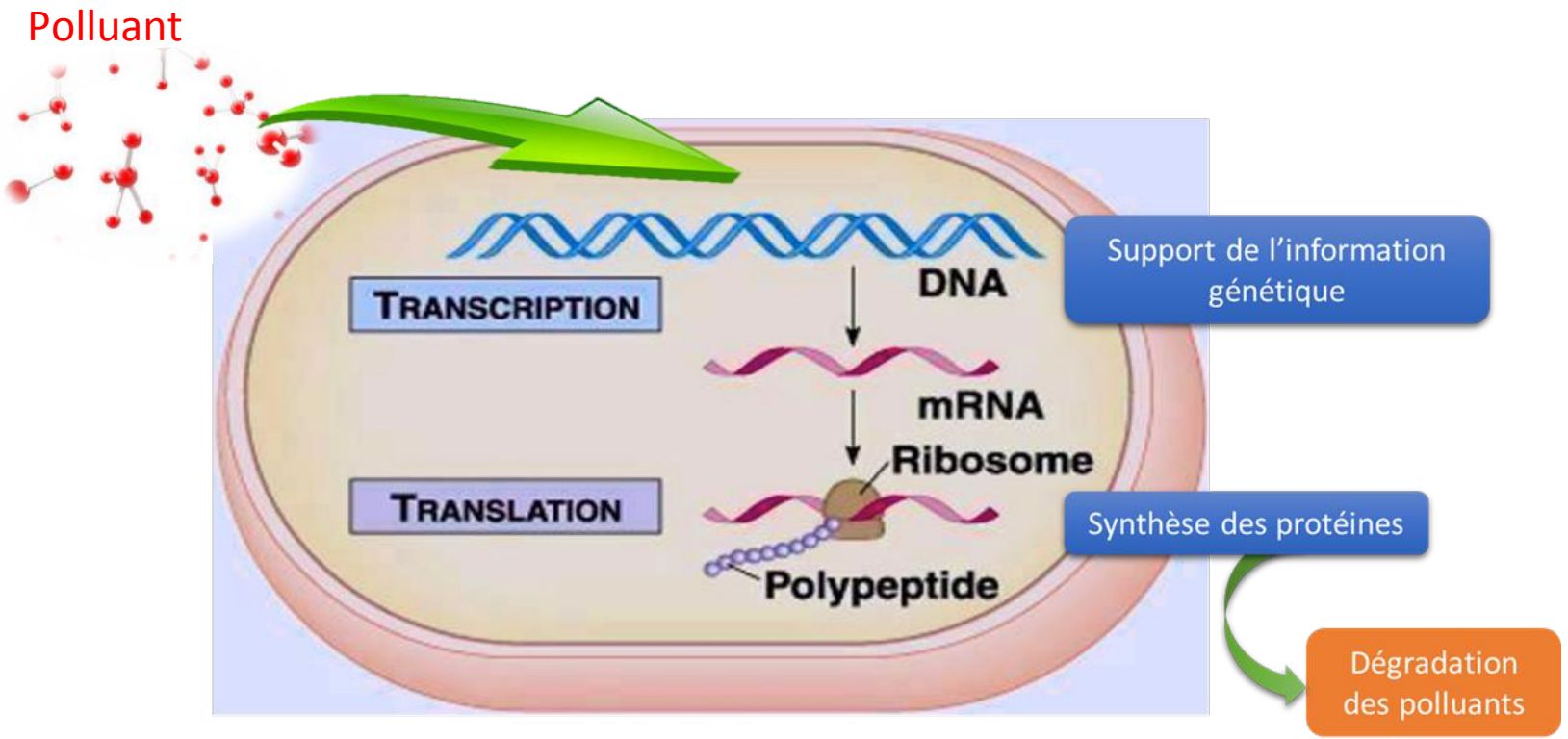
Biomarqueurs fonctionnels recherchés

- ***prdA*** : dégradation du PCE en TCE
- ***pceA*** : dégradation du PCE en cis1,2-DCE avec comme intermédiaire le TCE
- ***tceA*** : dégradation du TCE en CV avec comme intermédiaire le cis1,2-DCE
- ***vcrA*** : dégradation du Cis1,2-DCE en éthylène avec comme intermédiaire le CV
- ***bvcA*** : dégradation du CV en éthylène

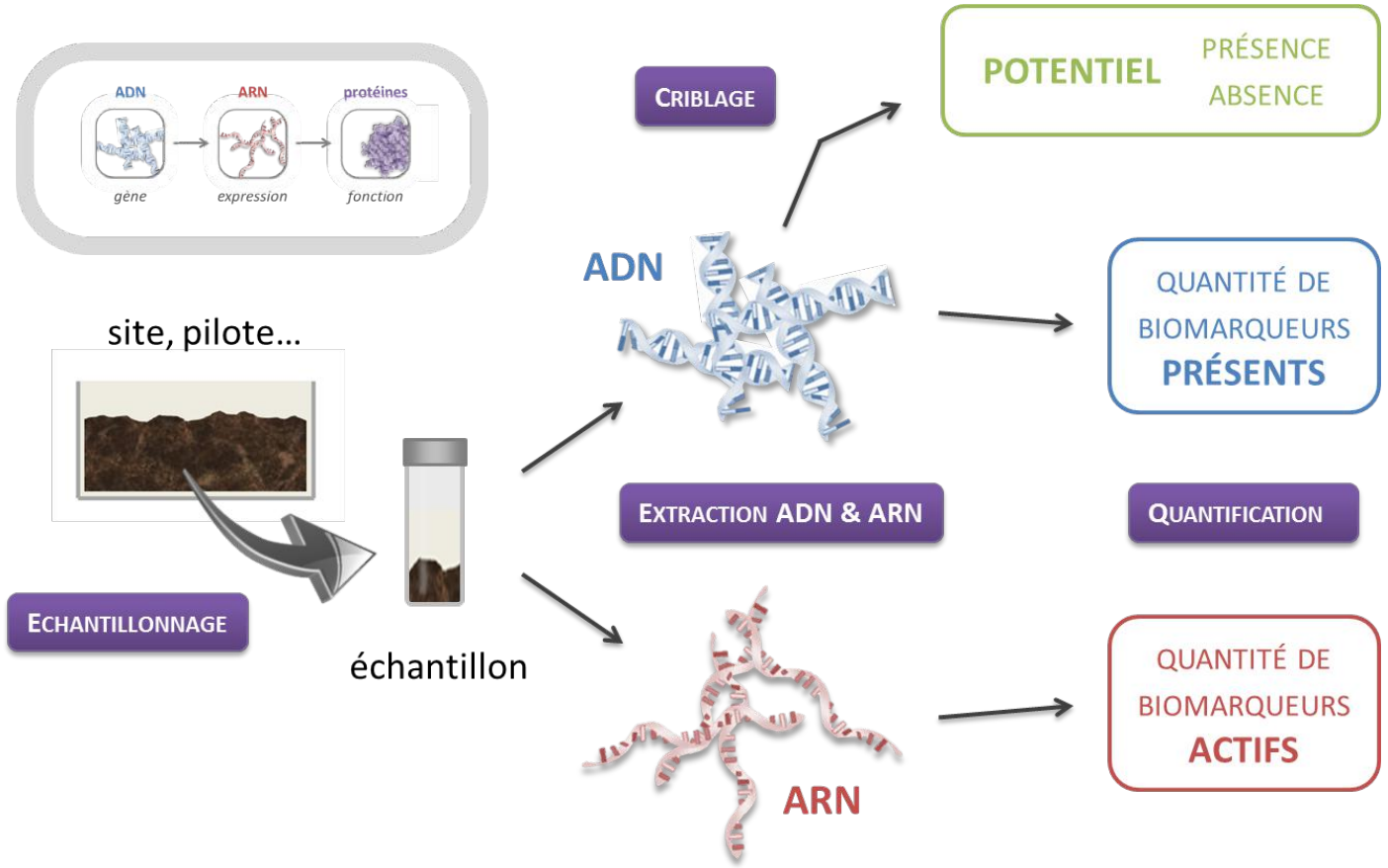
Biomarqueur taxinomique recherché

- ***Dhc*** : 16S *Dehalococcoides*

Les biomarqueurs de la dégradation des polluants



Criblage et quantification des gènes de biodégradation



Caractérisation initiale : analyses microbiologiques

	Dhc	ADN	ARN
Z2	Z2 (2-4)	1.08E+07	-
	Z2 (4-6)	-	-
	Z2 (6-8)	1.96E+04	-
	Z2 (8-10)	5.67E+03	-
Z3	Z3 (2-4)	-	-
	Z3 (4-6)	-	-
	Z3 (6-8)	2.20E+05	-
	Z3 (8-10)	-	-
Z4	Z4 (2-4)	-	-
	Z4 (4-6)	-	-
	Z4 (6-8)	-	-
	Z4 (8-10)	-	-

	pceA	ADN	ARN
Z2	Z2 (2-4)	3.58E+04	3.97E+03
	Z2 (4-6)	-	-
	Z2 (6-8)	1.01E+02	-
	Z2 (8-10)	-	-
Z3	Z3 (2-4)	-	-
	Z3 (4-6)	-	-
	Z3 (6-8)	-	-
	Z3 (8-10)	-	-
Z4	Z4 (2-4)	-	-
	Z4 (4-6)	-	-
	Z4 (6-8)	-	-
	Z4 (8-10)	9.28E+03	-

	tceA	ADN	ARN
Z2	Z2 (2-4)	5.19E+03	-
	Z2 (4-6)	-	-
	Z2 (6-8)	-	8.93E+02
	Z2 (8-10)	-	-
Z3	Z3 (2-4)	3.51E+03	-
	Z3 (4-6)	-	-
	Z3 (6-8)	4.41E+02	6.39E+02
	Z3 (8-10)	-	-
Z4	Z4 (2-4)	-	-
	Z4 (4-6)	-	-
	Z4 (6-8)	-	-
	Z4 (8-10)	-	-

	vcrA	ADN	ARN
Z2	Z2 (2-4)	1.94E+05	-
	Z2 (4-6)	-	-
	Z2 (6-8)	-	-
	Z2 (8-10)	1.57E+02	-
Z3	Z3 (2-4)	-	-
	Z3 (4-6)	-	-
	Z3 (6-8)	1.30E+03	-
	Z3 (8-10)	-	-
Z4	Z4 (2-4)	1.56E+03	-
	Z4 (4-6)	-	-
	Z4 (6-8)	2.36E+02	1.33E+03
	Z4 (8-10)	-	-

	bvcA	ADN	ARN
Z2	Z2 (2-4)	-	-
	Z2 (4-6)	-	-
	Z2 (6-8)	-	-
	Z2 (8-10)	-	-
Z3	Z3 (2-4)	-	-
	Z3 (4-6)	-	-
	Z3 (6-8)	-	-
	Z3 (8-10)	-	-
Z4	Z4 (2-4)	-	-
	Z4 (4-6)	-	-
	Z4 (6-8)	-	-
	Z4 (8-10)	-	-

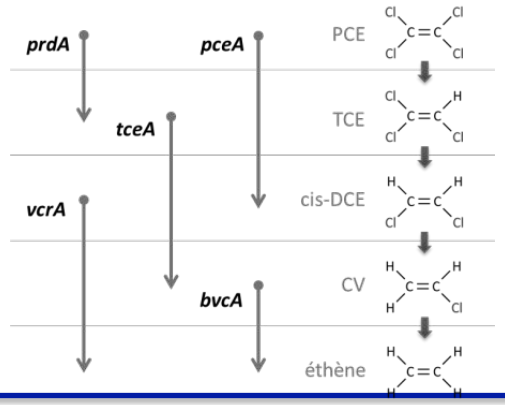
	prdA	ADN	ARN
Z2	Z2 (2-4)	-	-
	Z2 (4-6)	-	-
	Z2 (6-8)	-	-
	Z2 (8-10)	-	-
Z3	Z3 (2-4)	-	-
	Z3 (4-6)	-	-
	Z3 (6-8)	-	-
	Z3 (8-10)	-	-
Z4	Z4 (2-4)	-	-
	Z4 (4-6)	-	-
	Z4 (6-8)	-	-
	Z4 (8-10)	-	-

Dehalococcoides

- Présents dans certains échantillons
- Proche de LQ
- Faibles densités (*Dhc* et Totales)
- Faible activité (*Dhc*)

Gènes fonctionnels

- Présents dans certains échantillons
- Faibles densités, proches de LQ
- *bvcA* et *prdA* non détectés
- Faible activité (ARN)

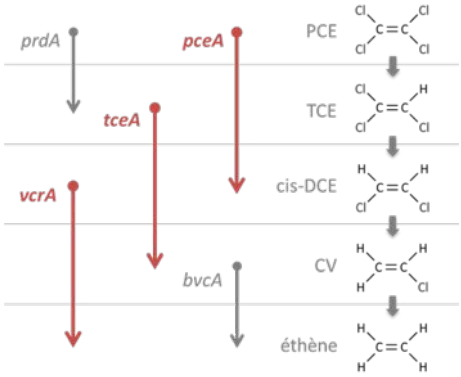


Caractérisation initiale : conclusion

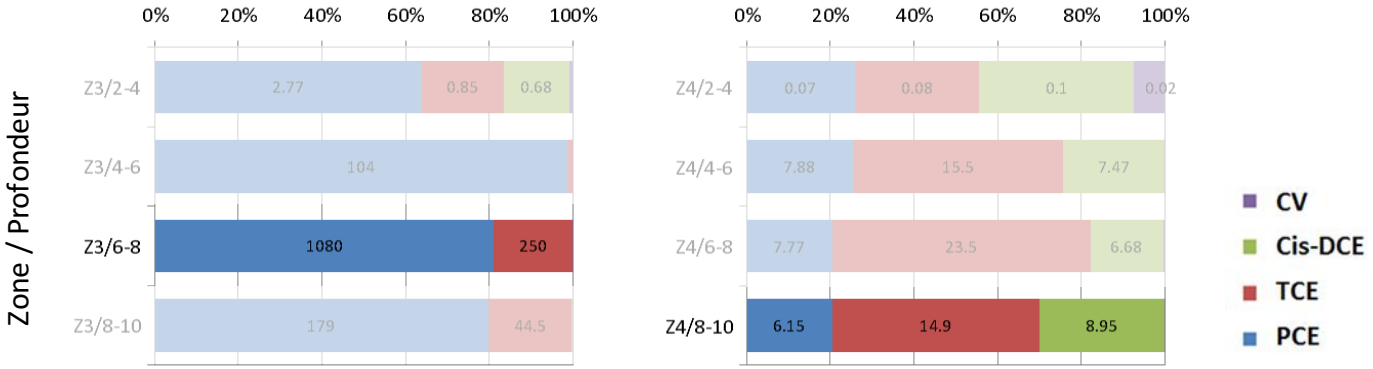
- Les échantillons **Z3/6-8 m** et **Z4/8-10 m** ont été retenus pour la réalisation du pilote.
- Présence des biomarqueurs de dégradation.
- Chimie représentative des zones du site .

Biomarqueurs détectés

	Dhc	*prdA*	*pceA*	*tceA*	*vcrA*	*bvcA*
Z3 / 6-8 m	+	-	-	+	+	-
Z4 / 8-10 m	-	-	+	-	-	-
Composite	+	-	+	+	+	-



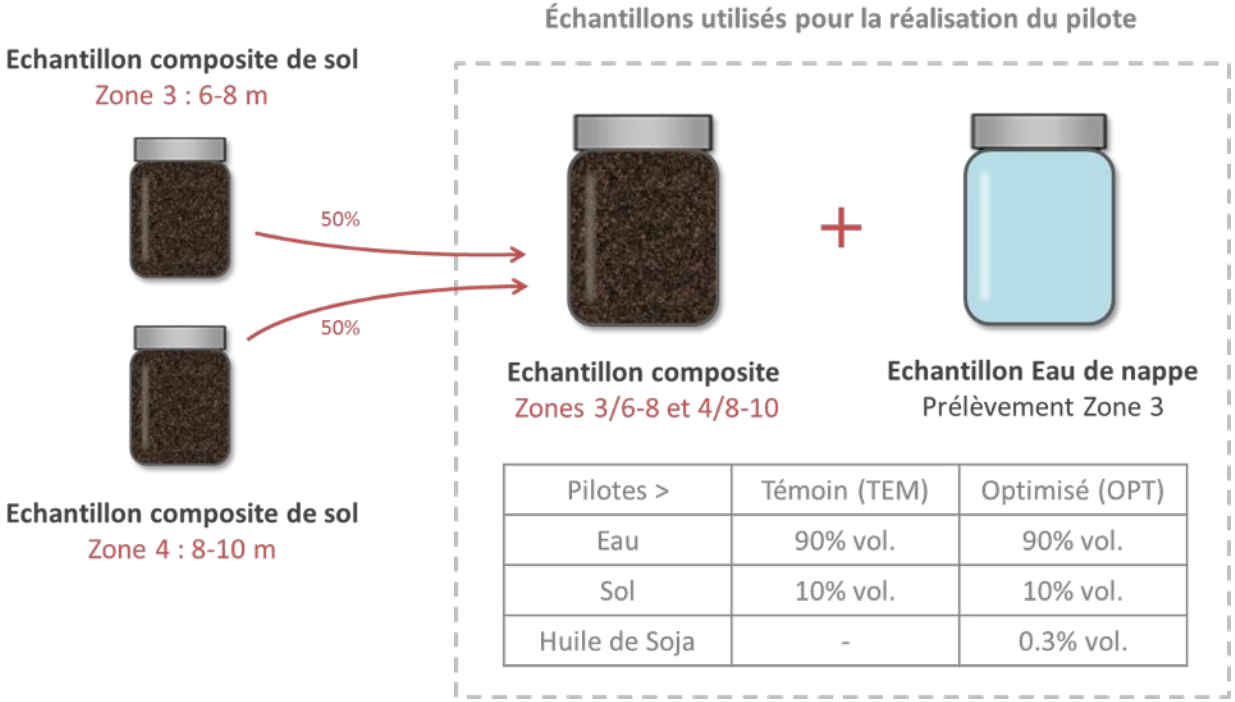
Pourcentages relatifs [Concentration (mg/kg)]



Pilote de biodégradation : mise en place et suivi analytique

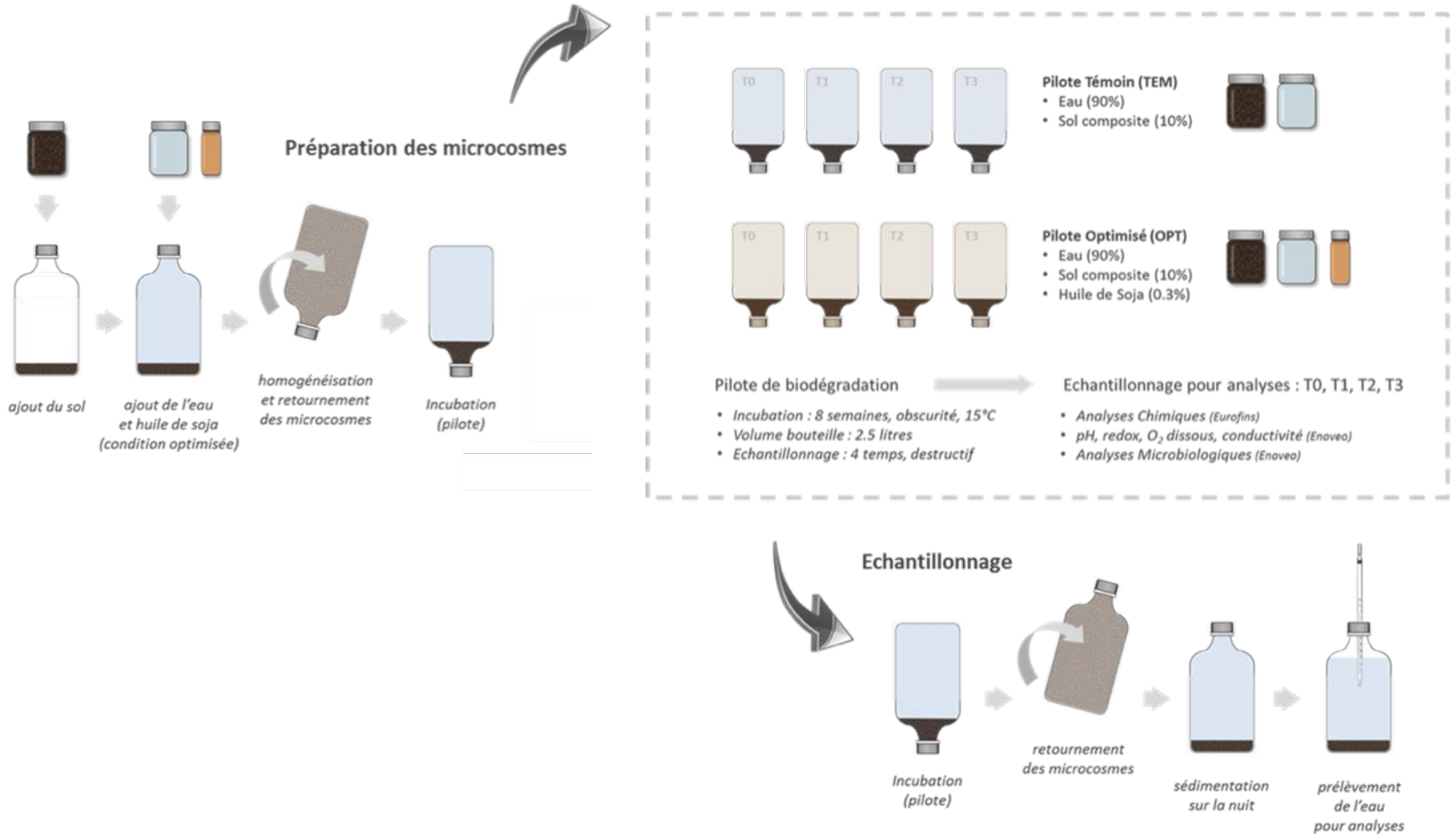
- Sur la base des résultats de la caractérisation initiale des sols, en accord avec Sol Environment, les échantillons des zones **Z3/6-8 m** et **Z4/8-10 m** ont été mélangés afin d'obtenir un nouveau sol composite utilisé dans le pilote.

- L'eau utilisée pour le pilote est l'**eau de la nappe** prélevée au niveau de la **Zone 3**

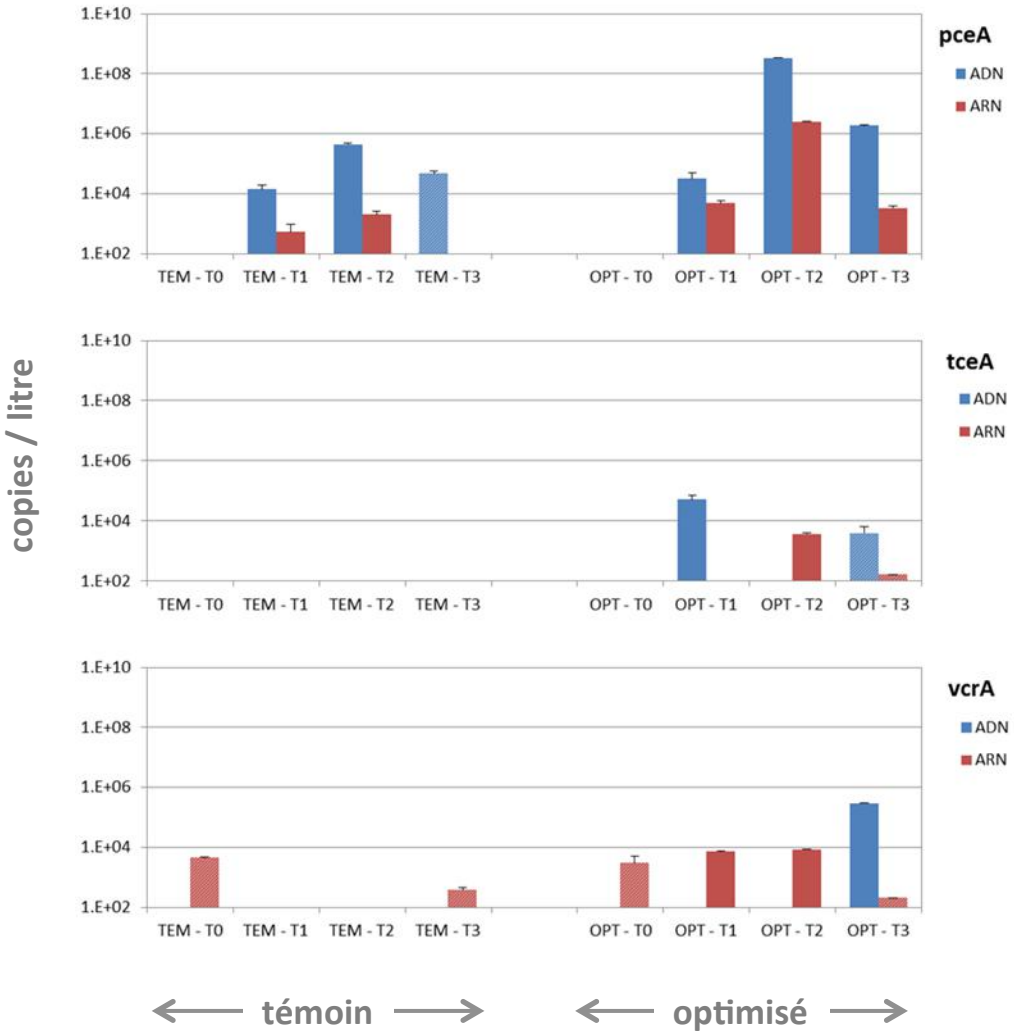


Pilotes >	Témoin (TEM)	Optimisé (OPT)
Eau	90% vol.	90% vol.
Sol	10% vol.	10% vol.
Huile de Soja	-	0.3% vol.

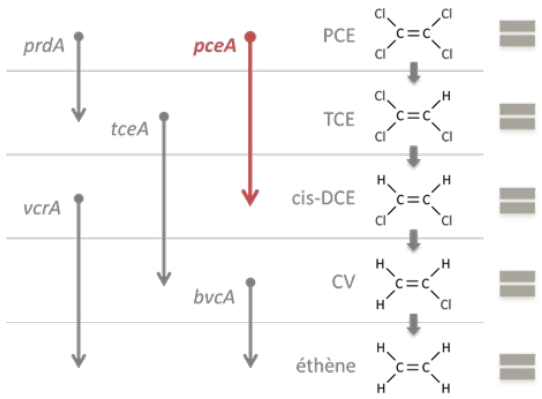
Pilote de biodégradation : mise en place et suivi analytique



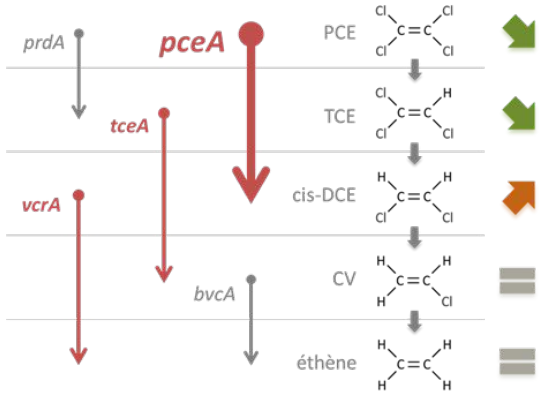
Pilote de biodégradation : analyses microbiologiques



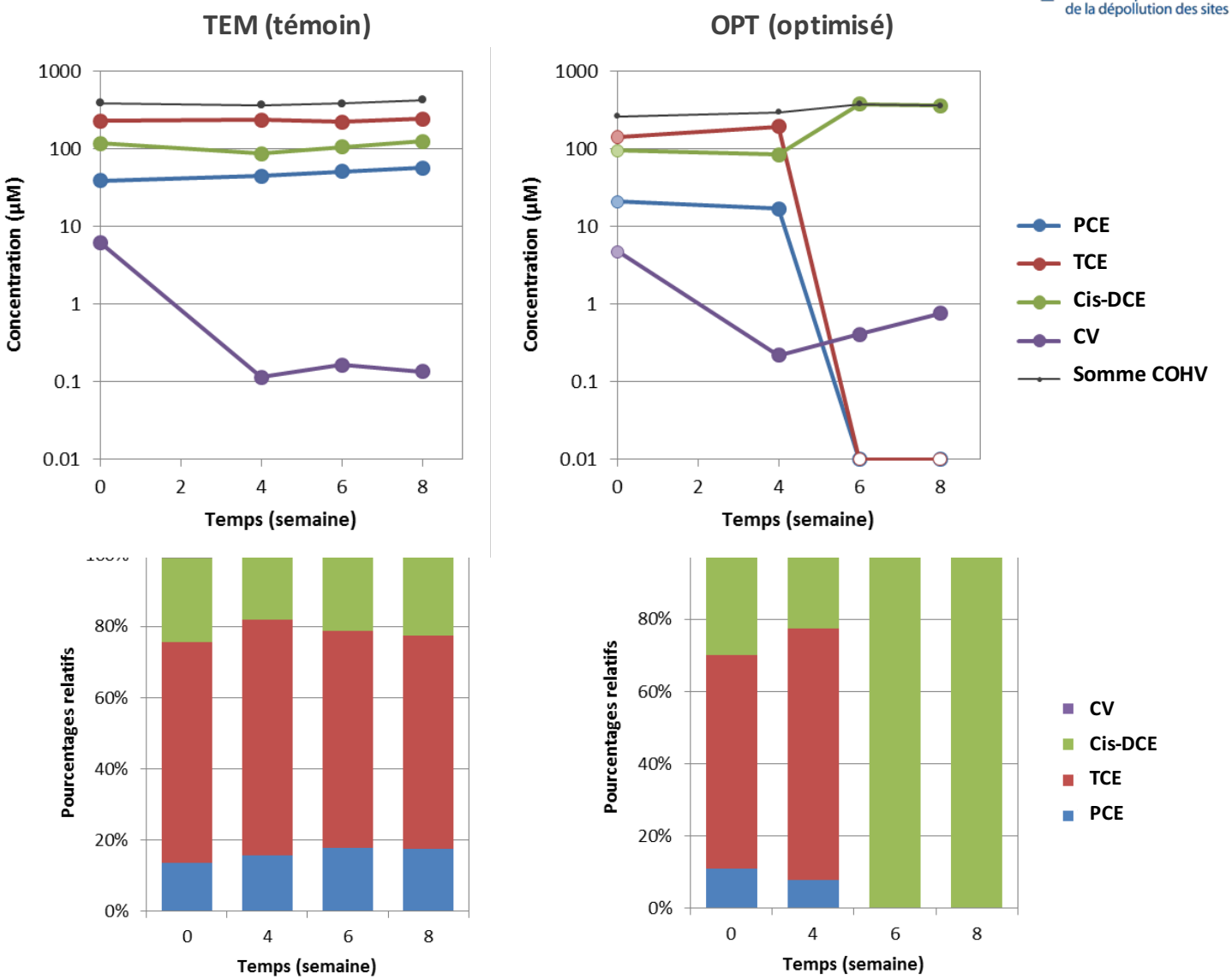
témoin



optimisé

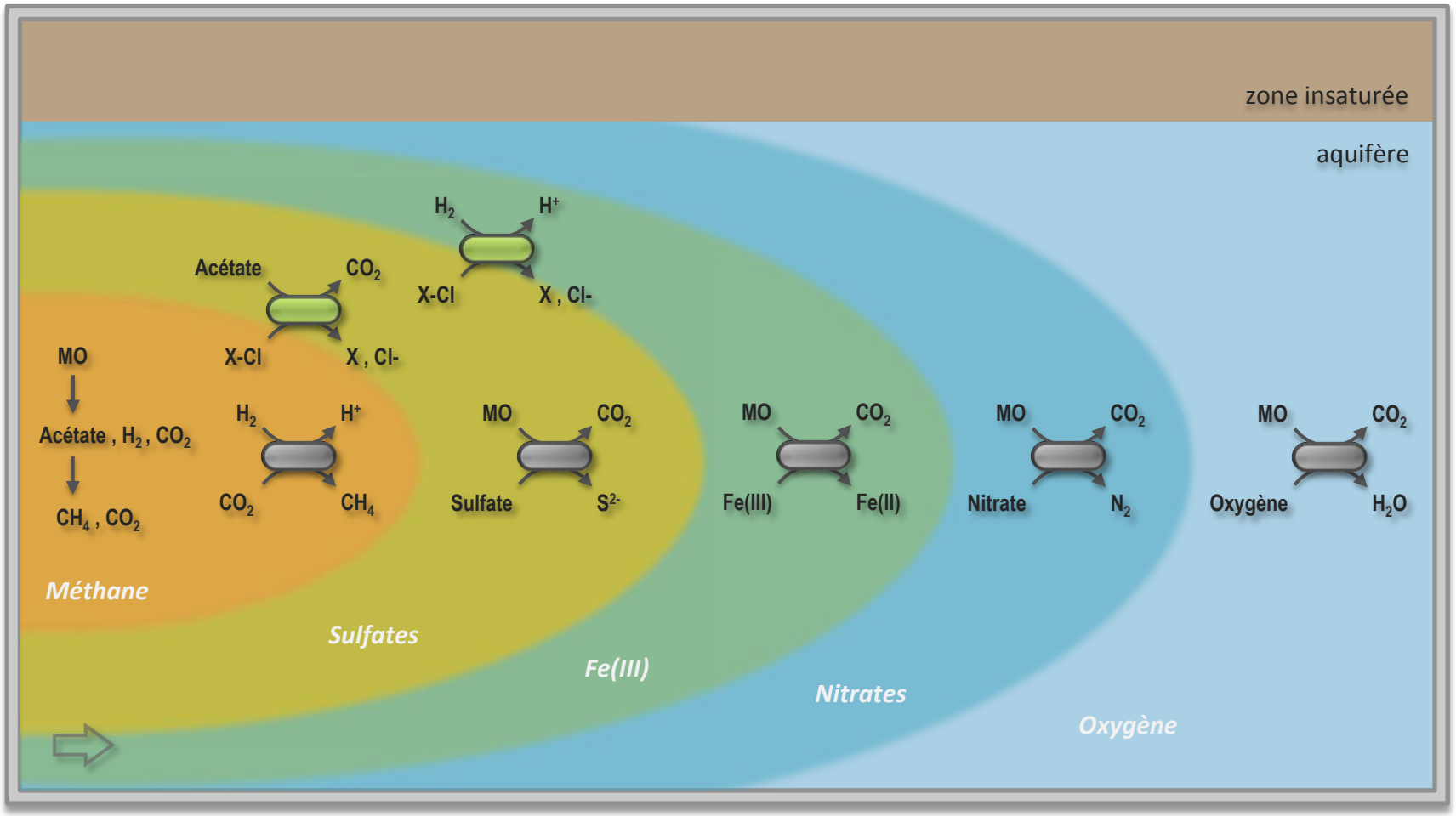


Pilote de biodégradation : analyses chimiques



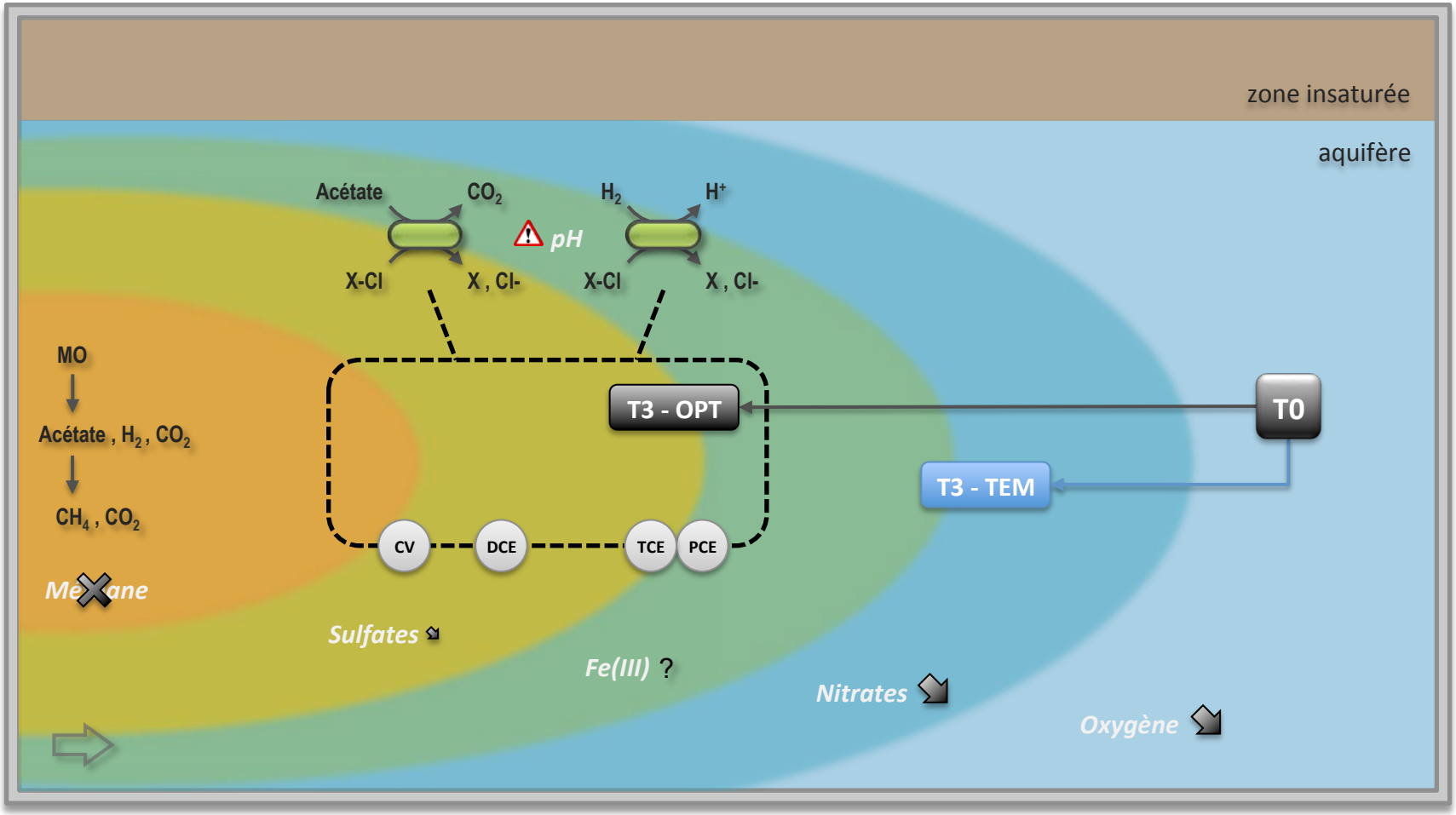
Réactions typiques de bioremédiation dans un aquifère:

Molécules organiques oxydables et composés chlorés



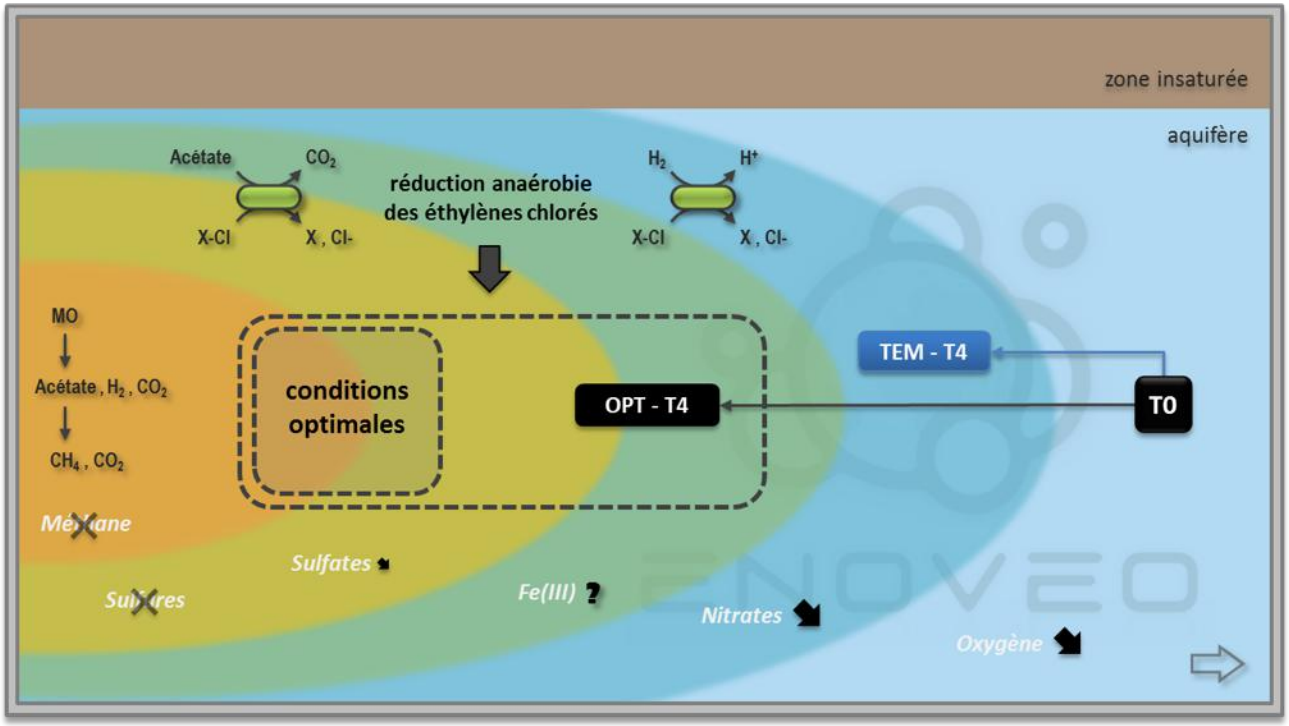
Réactions typiques de bioremédiation dans un aquifère:

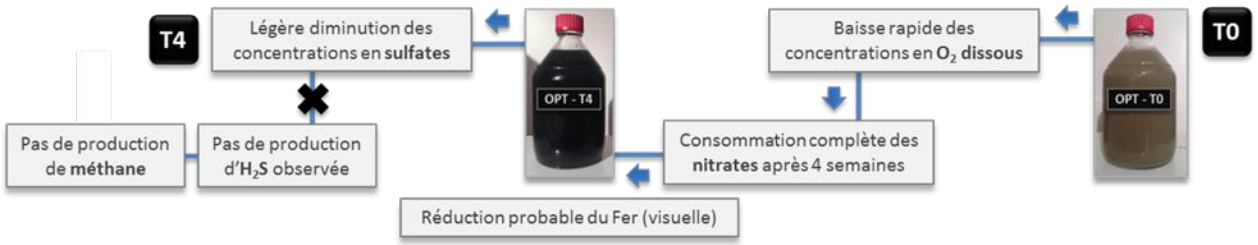
Conditions de pilote Optimisé (OPT) et Témoin (TEM)



Réactions typiques de bioremédiation dans un aquifère

Représentation schématique des conditions d'oxydoréduction générées durant la durée du pilote optimisé.





Conclusions

- La caractérisation microbiologique préalable permet de mettre en évidence une chaine incomplète des mécanismes de biodégradation (Atténuation naturelle limitée).

- Le pilote de biodégradation a permis de mettre en évidence la possibilité de biostimuler les communautés microbiennes en conditions anaérobies. Toutefois, la durée du pilote en laboratoire n'est pas assez longue pour avoir une vision assez précise des dynamiques de population.

- Anticiper les problèmes : Mise en évidence du risque d'accumulation des métabolites implique l'adaptation de la stratégie de traitement sur site.

- Etablissement de différents scénarios pour retenir le plus pertinent au regard du projet.

3. Amendement du plan de gestion

- Applicabilité du traitement bioréducteur
- Cinétique de réduction rapide pour PCE/TCE
- Apparition des gènes fonctionnels pour la réduction de cis-DCE
  → cinétique plus lente pour cis-DCE (nécessite POR plus bas)
- Prise en compte des résultats de l'essai pilote pour le chiffrage de l'atténuation naturelle réelle des COHV et renforcement du traitement sur zones où PCE non dégradé (temps de traitement plus long, renforcement des injections, éventuellement couplage avec réduction chimique)

DÉPOLLUTION DURABLE DES SITES : DES TRAVAUX SÉCURISÉS POUR DES RISQUES MAÎTRISÉS

en partenariat avec

Environnement & TECHNIQUE

ACTU-ENVIRONNEMENT.com

Organisé avec le soutien de

COLAS Environnement

SOL ENVIRONMENT

ARCADIS Design & Consultancy for natural and built assets

Séché éco-services
Séché global solutions

24 mai 2016 – Auditorium du MEDEF