

Green Remediation & Atténuation naturelle des solvants chlorés : Identification de la biodégradation anaérobie et aérobie

**Kathrin Rachel Schmidt ⁽¹⁾, Andreas Tiehm ⁽¹⁾,
Michael Heidinger ⁽²⁾, Siegmund Ertl ⁽²⁾**

⁽¹⁾ Water Technology Center (TZW), Department of Environmental
Biotechnology, Karlsruhe, Allemagne; www.tzw.de

⁽²⁾ Hydroisotop GmbH, Schweitenkirchen, Allemagne; www.hydroisotop.de

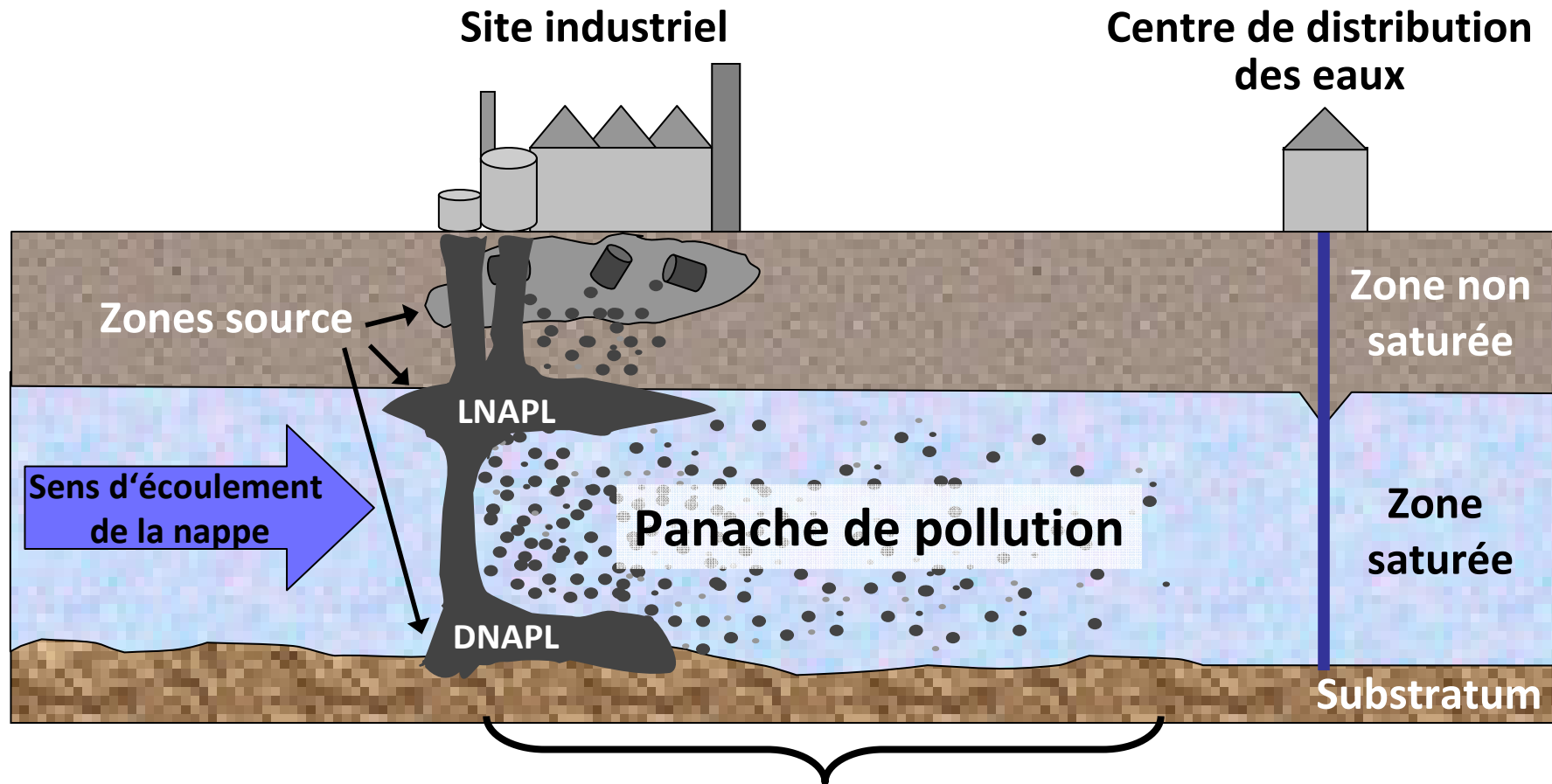
Atténuation naturelle – Définition

L'**Atténuation Naturelle** englobe une variété de **mécanismes physiques, chimiques ou biologiques** qui, sous des conditions favorables, réduisent **sans intervention humaine** la masse, la toxicité, la mobilité, le volume ou la concentration des **polluants dans les sols ou les eaux souterraines**.

Ces mécanismes in situ comprennent la biodégradation, la dispersion, la dilution, la sorption, la volatilisation, ainsi que la stabilisation, la transformation ou la destruction des polluants par voie chimique ou biologique.

ADEME, 2007: Organo-chlorés aliphatiques – Atténuation naturelle dans les aquifères

Atténuation naturelle – Schéma



parmi les mécanismes d'atténuation naturelle,
la biodégradation est le seul processus
permettant une perte nette en polluants

Atténuation naturelle – Application

Atténuation Naturelle sous Surveillance, ANS (Monitored Natural Attenuation, MNA)

fait usage des capacités des mécanismes d'AN

les processus sont attentivement contrôlée et suivie

Atténuation Naturelle Stimulée (Enhanced Natural Attenuation, ENA)

fait usage des capacités des mécanismes d'AN

la biodégradation est stimulée par p.ex. oxygène, substrat...

➔ les processus de biodégradation sur un site spécifique doivent être caractérisés de manière détaillée

Biodégradation – Méthodes d'évaluation

Détermination de

Répartition des **polluants**

Conditions **redox** dans les eaux souterraines

Bactéries spécialisées par

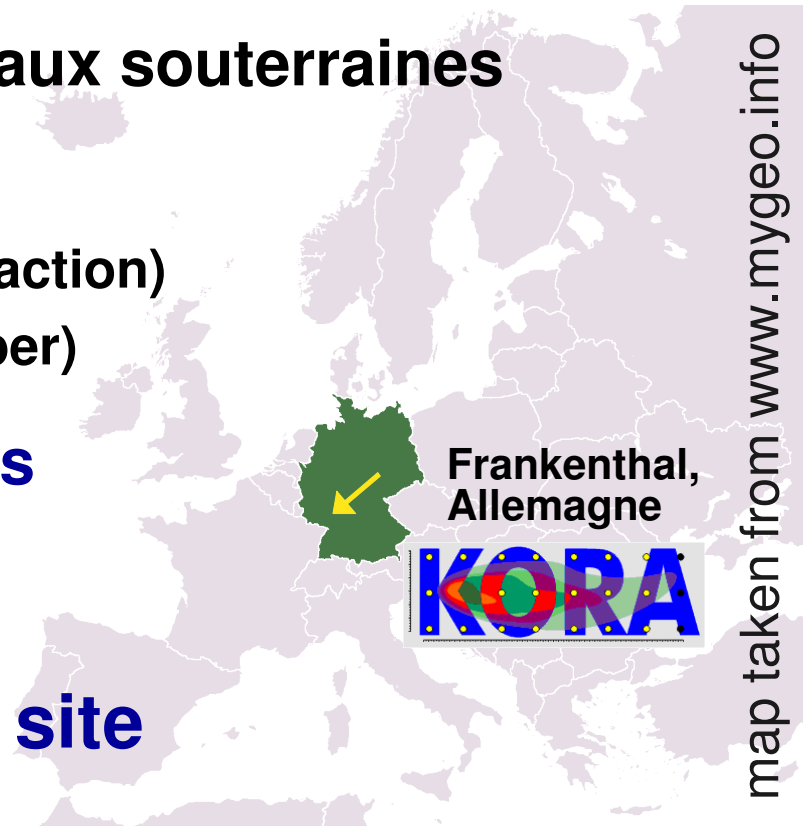
PCR (polymerase chain reaction)

MPN (most probable number)

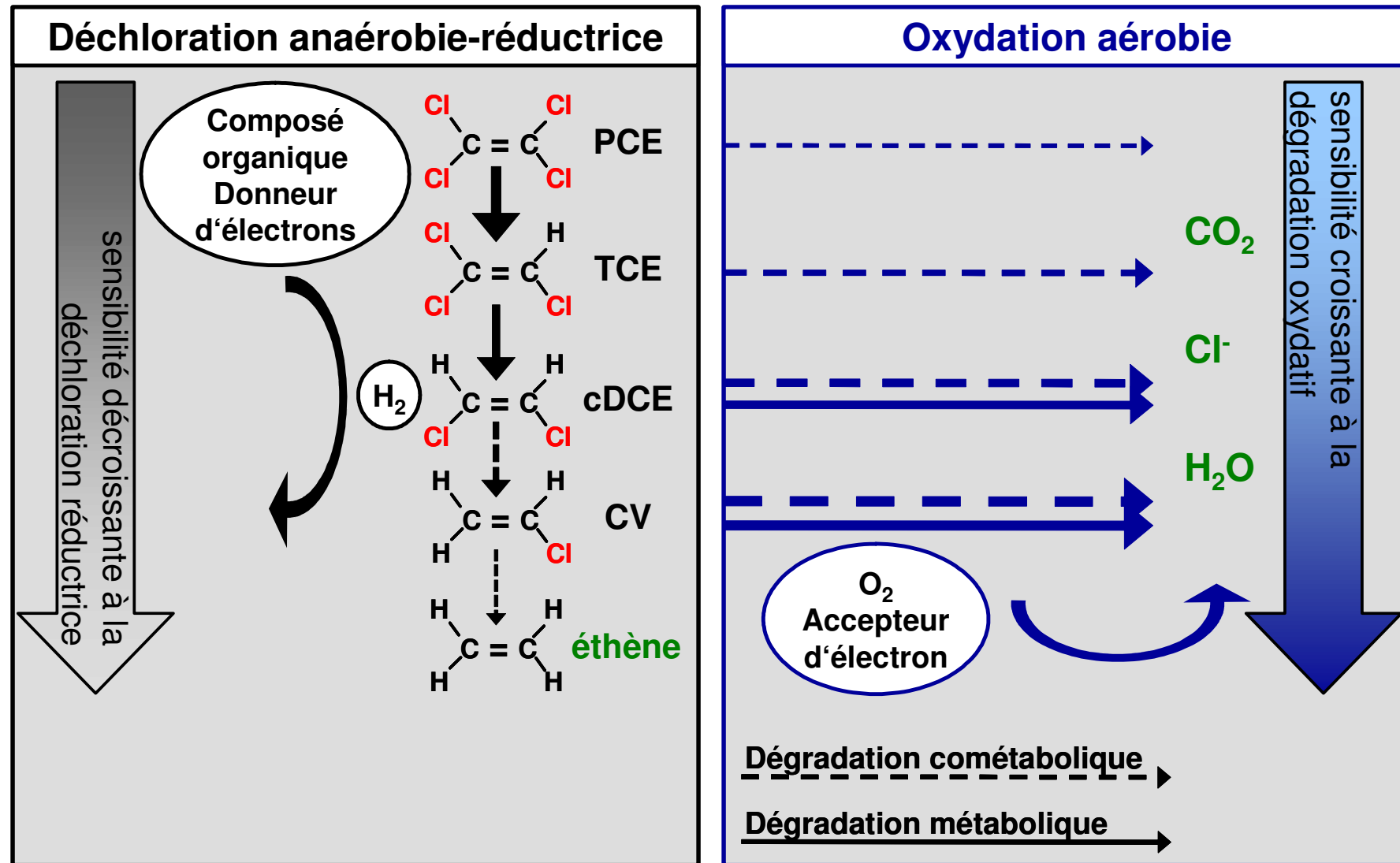
Dégradation en **microcosmes**

Rapports **isotopiques**

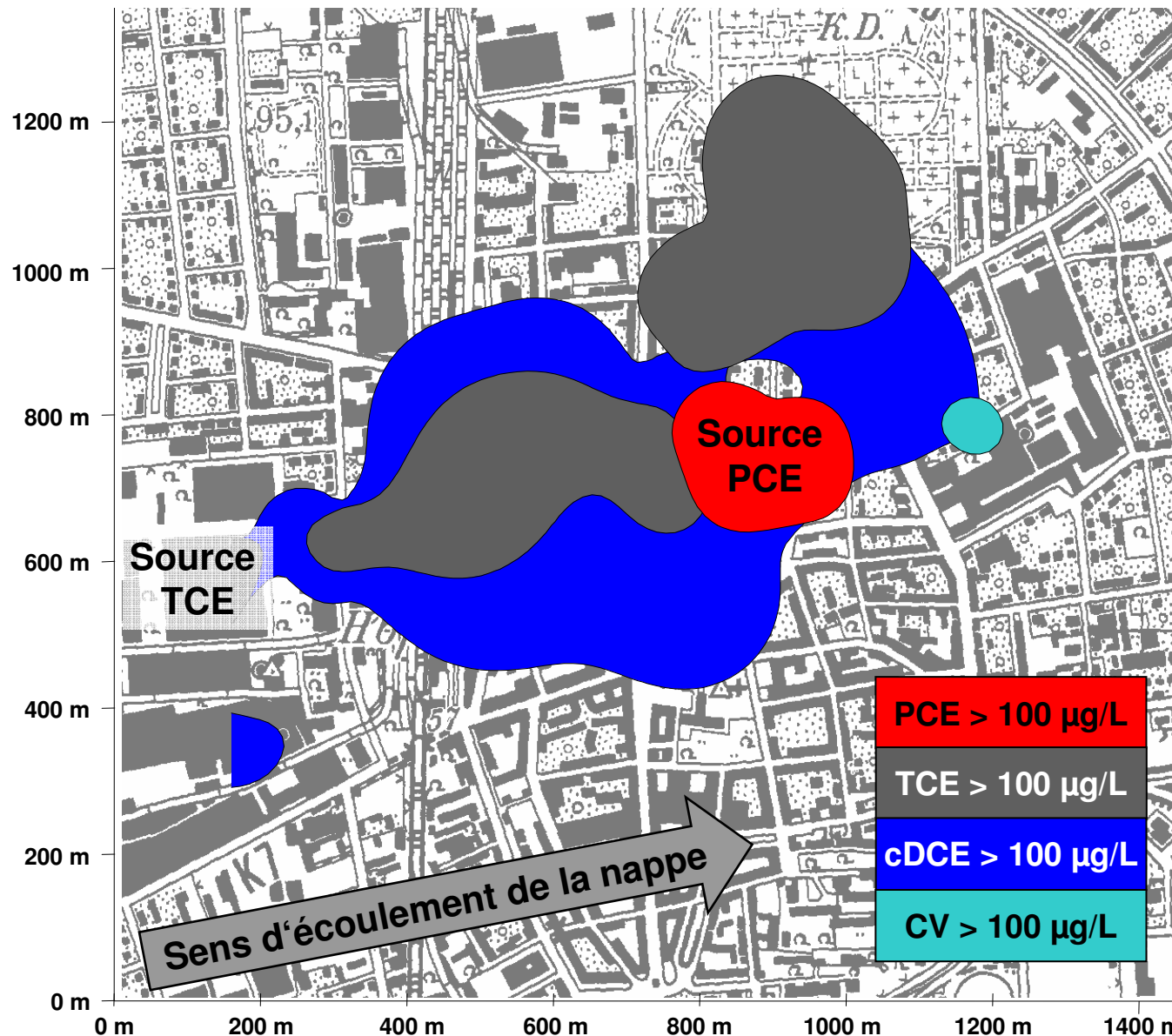
→ schéma réactionnel sur un site



Biodégradation des chloroéthèneses



Répartition horizontale des chloroéthènes



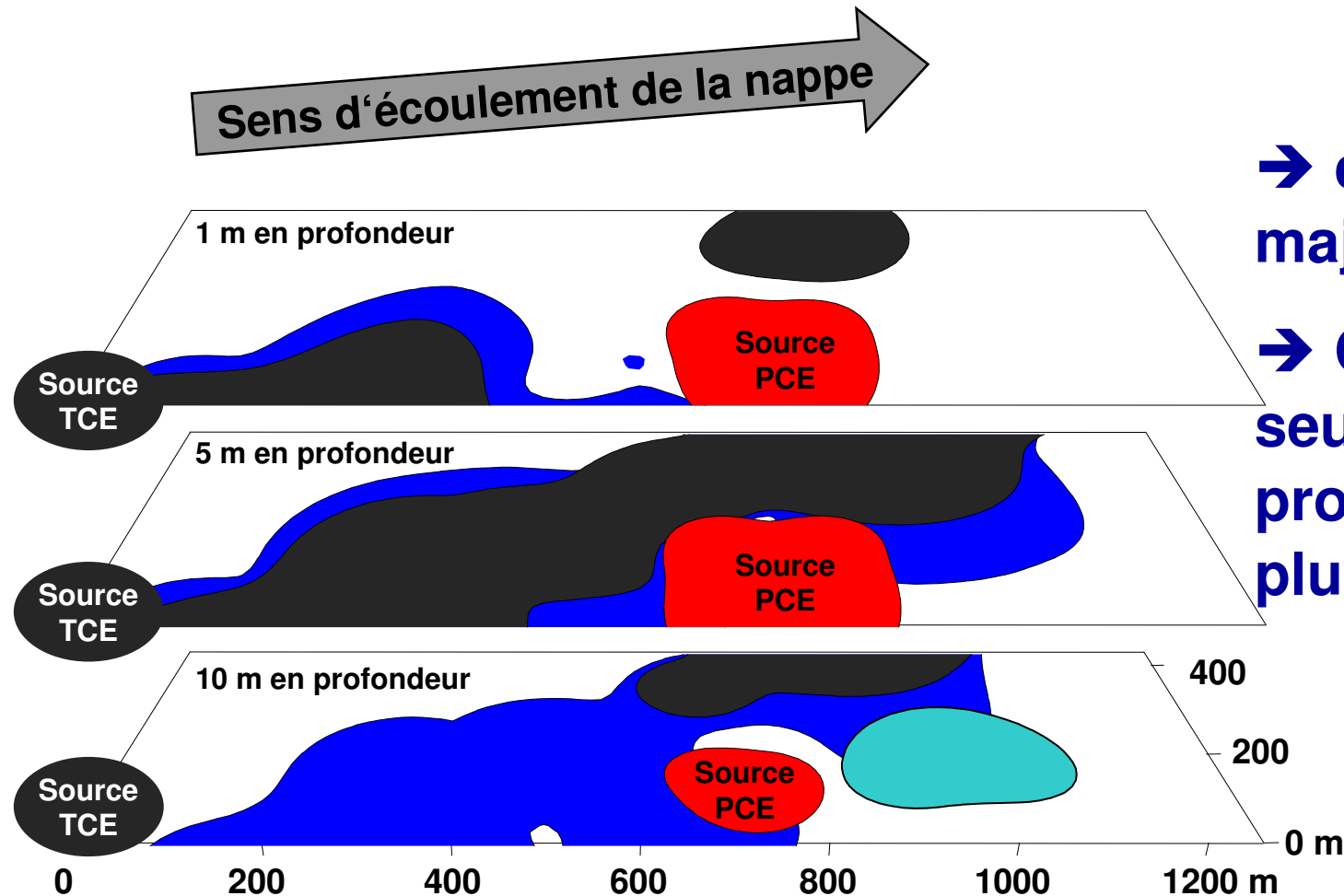
→ deux sources
(TCE et PCE)

→ détection de
métabolites
(cDCE, CV,
sans éthène)

→ court panache

Surfer-interpolation:
default kriging

Répartition verticale des chloroéthènes



→ contamination majeur au milieu

→ CV détecté seulement en profondeur la plus bas

PCE > 100 µg/L

TCE > 100 µg/L

cDCE > 100 µg/L

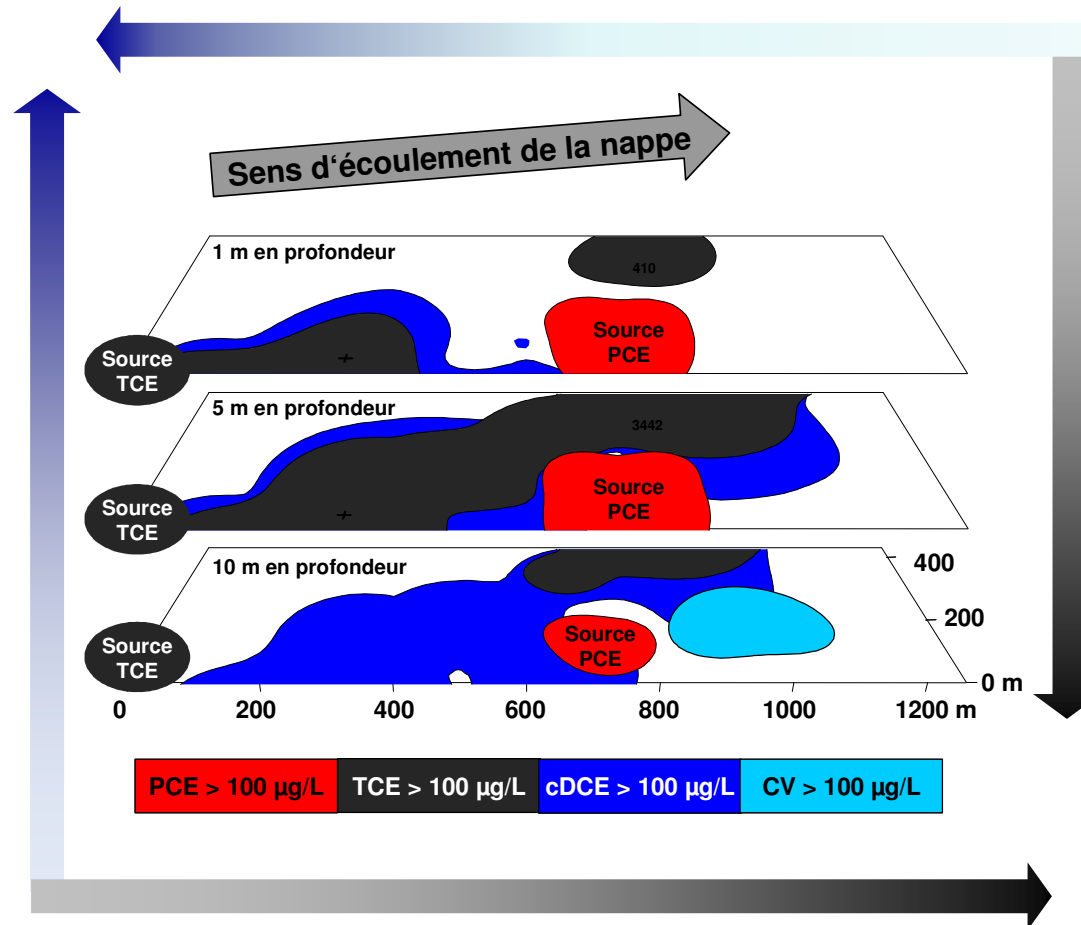
CV > 100 µg/L

Surfer-interpolation:
default kriging

Conditions redox dans les eaux souterraines

→ Conditions plus aérobies

plus O₂
plus NO₃
ORP haut
moins Mn²⁺
moins Fe²⁺



moins O₂
moins NO₃
ORP bas
plus Mn²⁺
plus Fe²⁺

→ Conditions plus anaérobies

Investigation par PCR et MPN – Principe

PCR: détection de l'ADN des bactéries

→ + test très rapide

→ - pas de preuve de l'activité

MPN: quantification de la croissance

→ + preuve de l'activité au laboratoire

→ - test plus long

Déchloration anaérobie-réductrice

Desulfomonile

Desulfuromonas

Dehalobacter

Dehalococcoides

PCE



TCE



cDCE



CV



éthène

Germes totaux en milieu nutritif
en milieu peu nutritif

Bactéries nitrifiantes et dénitrifiantes

Bactéries ferro-réductrices

Bactéries sulfato-réductrices

Oxydation aérobie

CO₂

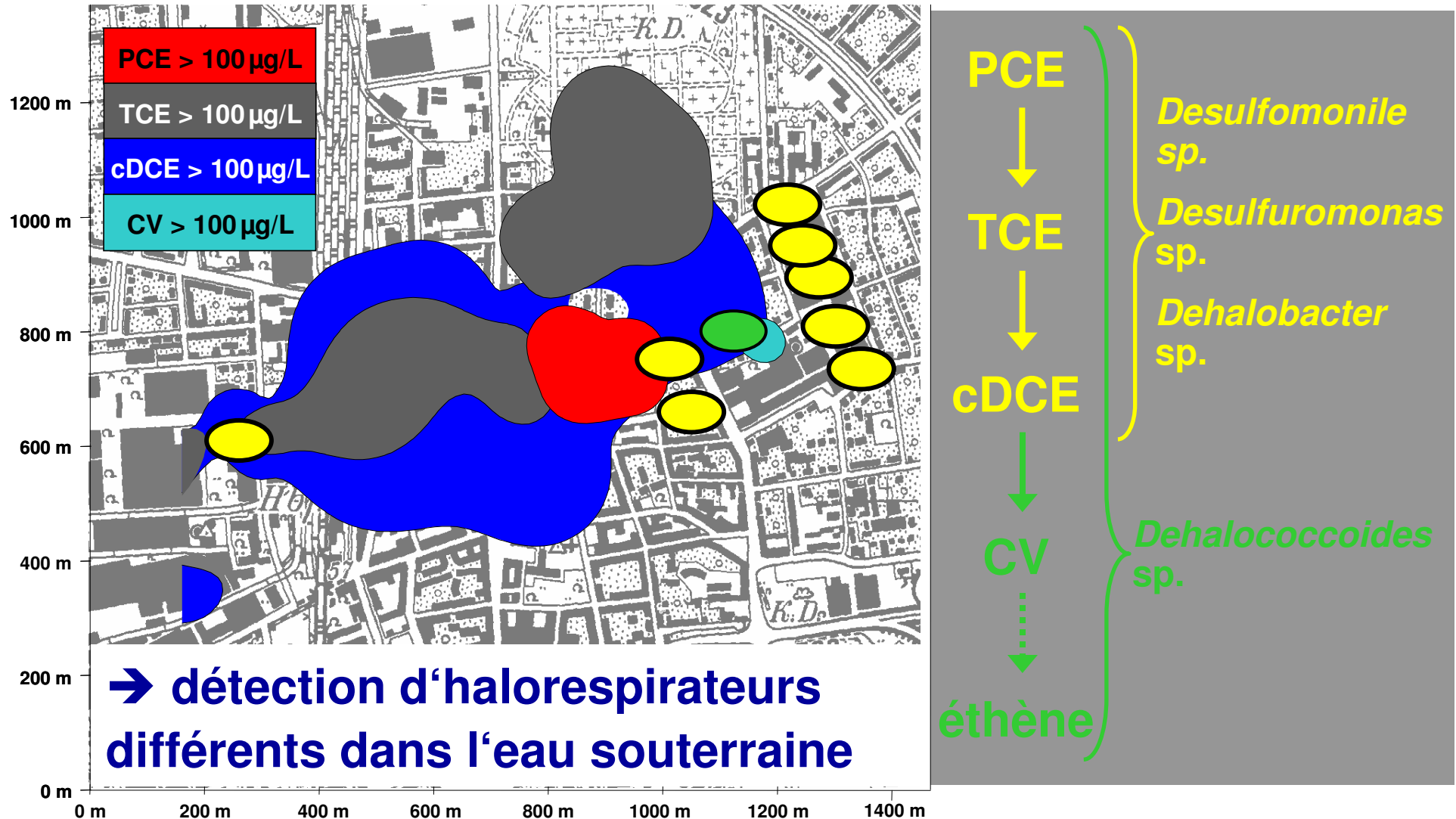
Cl⁻

H₂O

Bactéries étant capable
de croissance avec CV

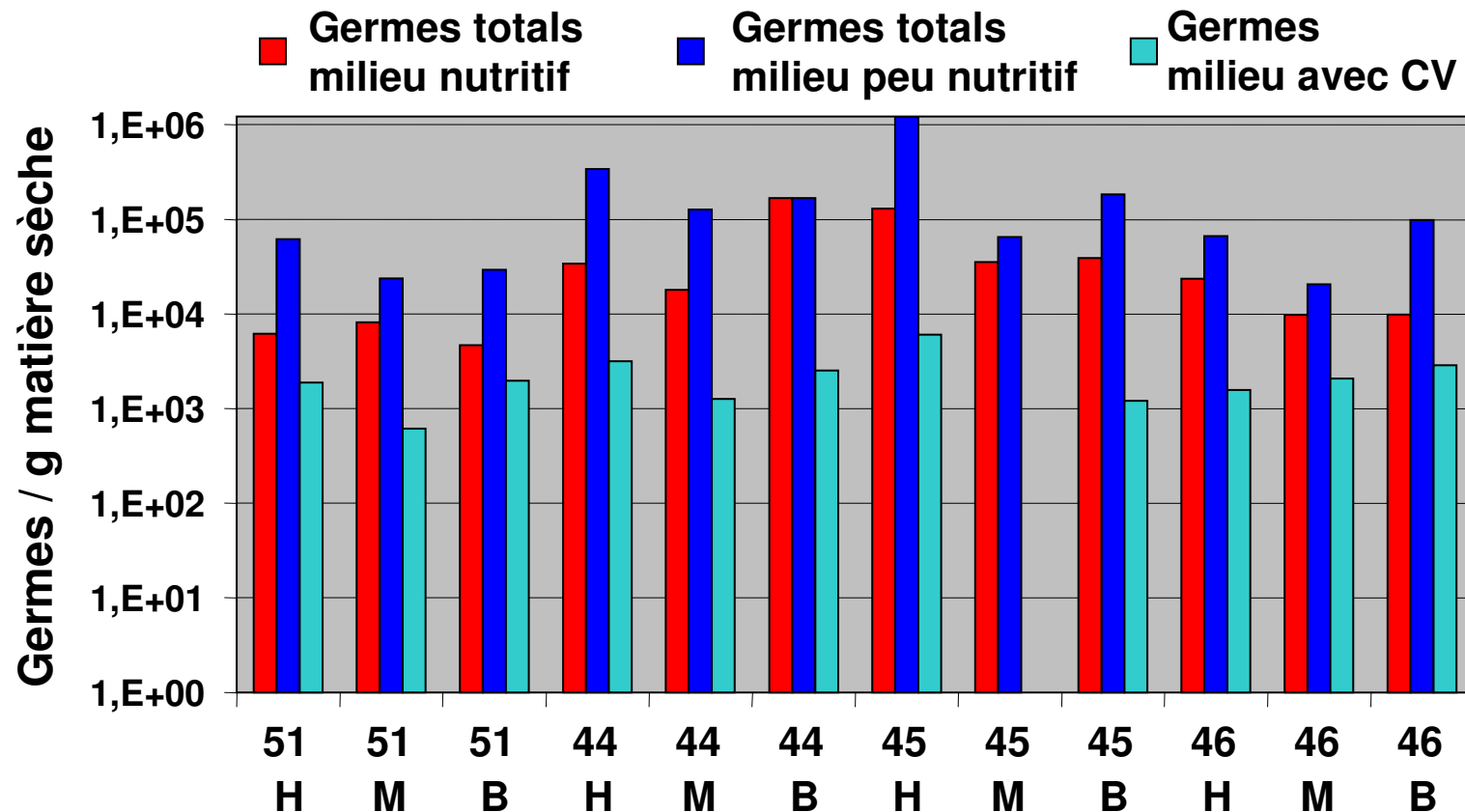
Investigation par PCR – Résultats

PCR = Polymerase Chain Reaction, réaction de polymérisation en chaîne



Investigation par MPN – Résultats

MPN = Most Probable Number, dénombrement microbiologique des bactéries



No des piézomètres et profondeur (H=haut, M=milieu, B=bas)

→ L'apparition répandue des bactéries étant capable de dégrader le CV montre le potentiel du site pour ce processus

Test de dégradation en microcosmes – Principe

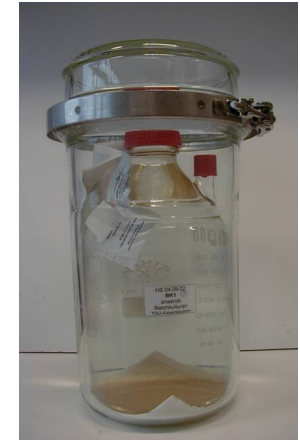
Avec le matériel du site (eau souterraine, sédiment)

Incubation sous conditions du site

aérobie ou anaérobie avec des différents accepteurs d'électron; concentrations en polluants, en sources de carbone et en nutriments

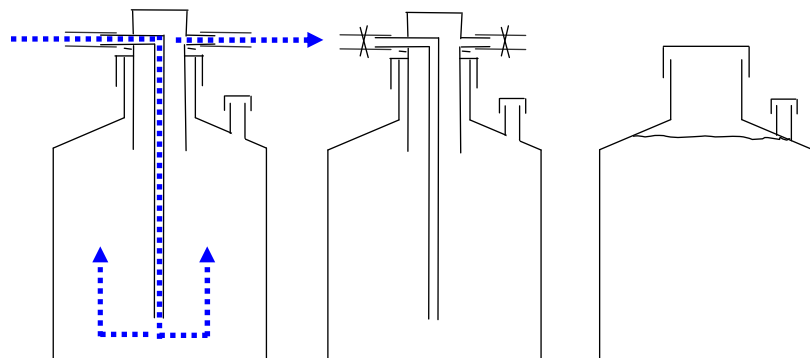
Incubation sous conditions artificiellement modifiées

autres concentrations en polluants, en sources de carbone et en nutriments
→ considération de la situation minimale et maximale (stimulation)



Test de dégradation en microcosmes – Echantillonnage sur le site

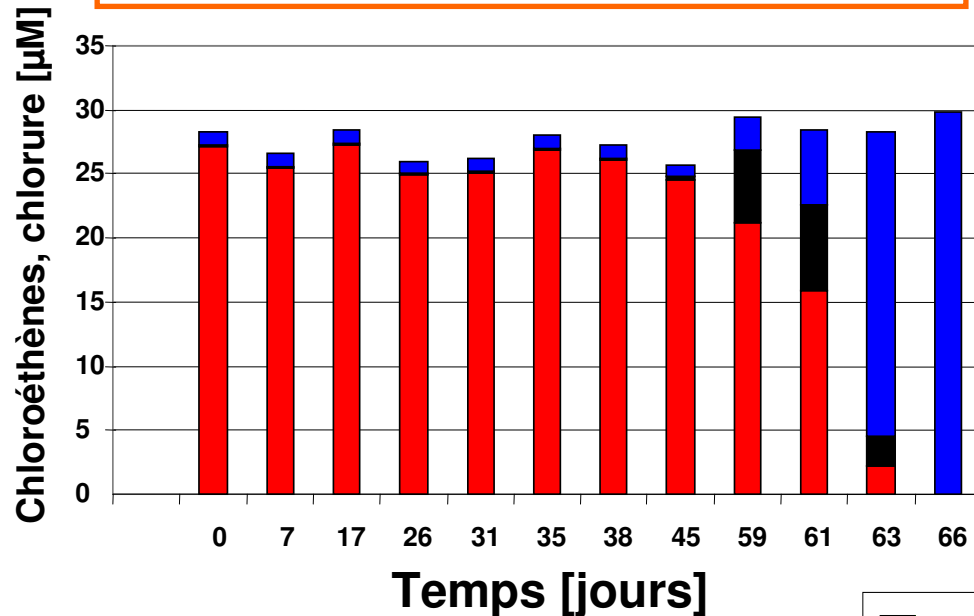
Incubation au laboratoire



Voie de dégradation	Anaérobie – reductrice	Oxydation aérobie
Chloro- éthènes	PCE / TCE	cDCE / CV
Donneur d'électrons	Acetate + Hydrogène	Chloroéthènes
Accepteur d'électrons	Chloroéthènes	Oxygène

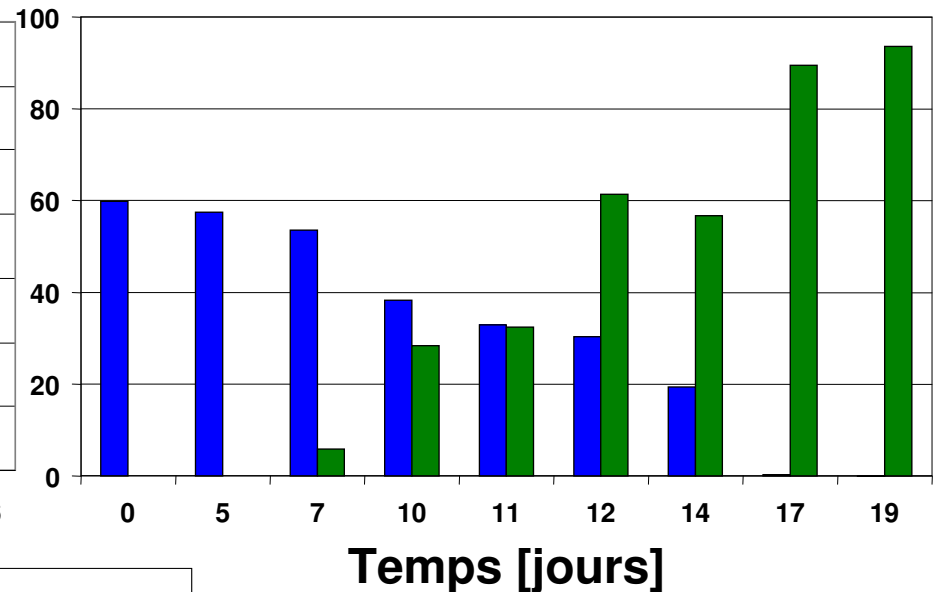
Test de dégradation en microcosmes – Résultats

Déchloration anaérobie-réductrice



→ Réduction de PCE/TCE
jusqu'à cDCE a été
souvent observée
jusqu'à CV a été
rarement observée

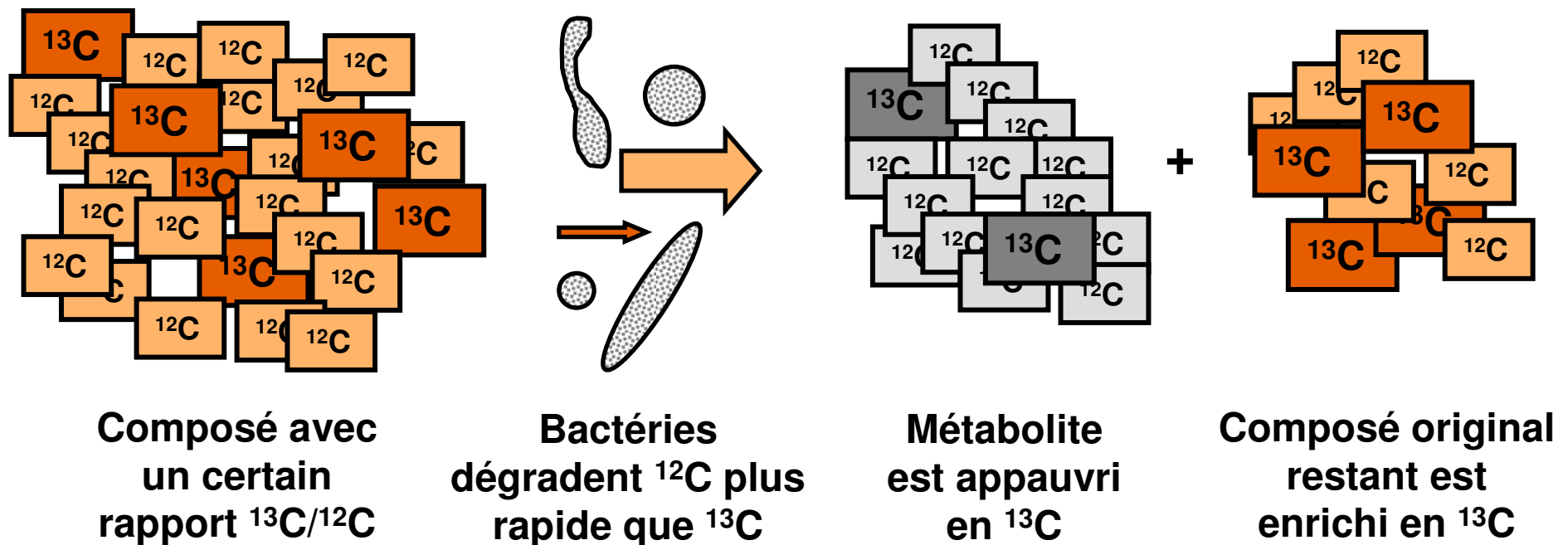
Oxydation aérobie



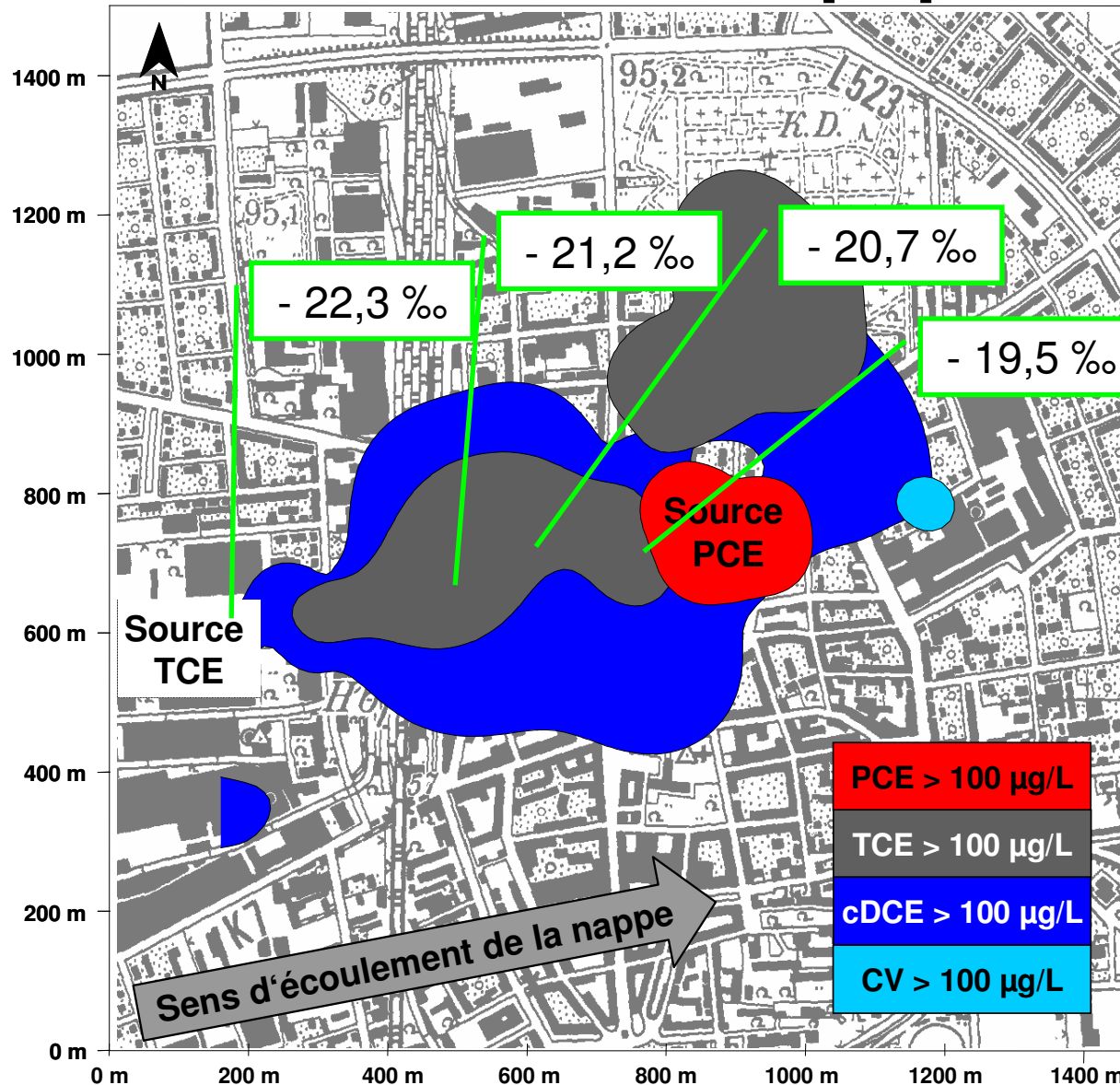
→ Minéralisation de
cDCE et de CV sous
des conditions
aérobies a été
souvent observée

Fractionnement isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ – Principe

Fractionnement isotopique = modifications des rapports isotopiques pour les composés originaux et pour les métabolites pendant la biodégradation



Fractionnement isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ – Résultats



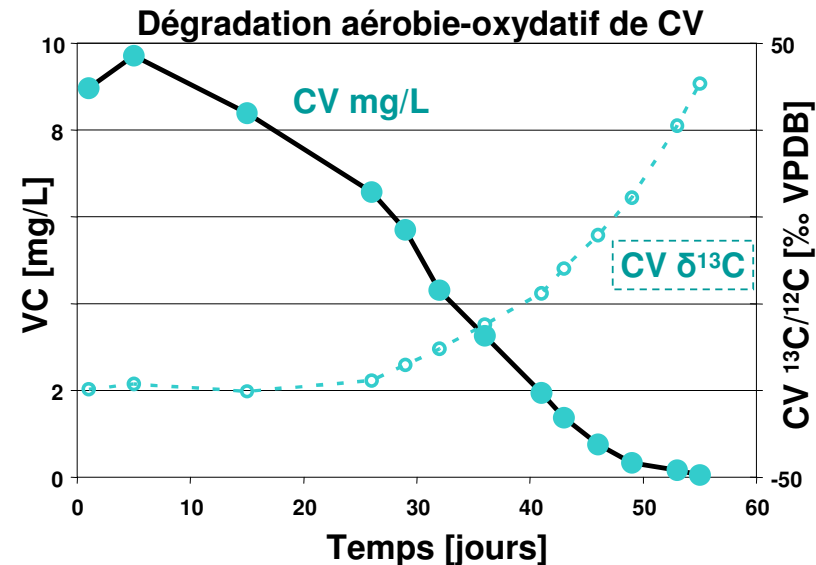
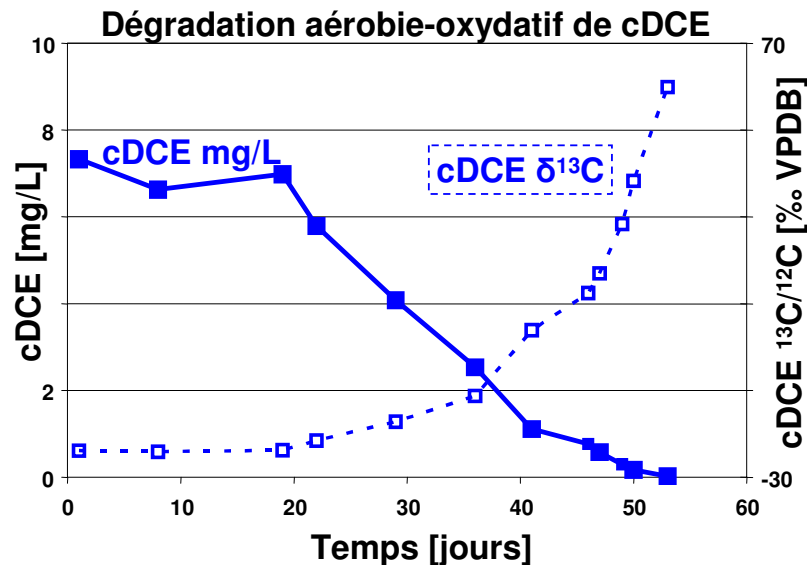
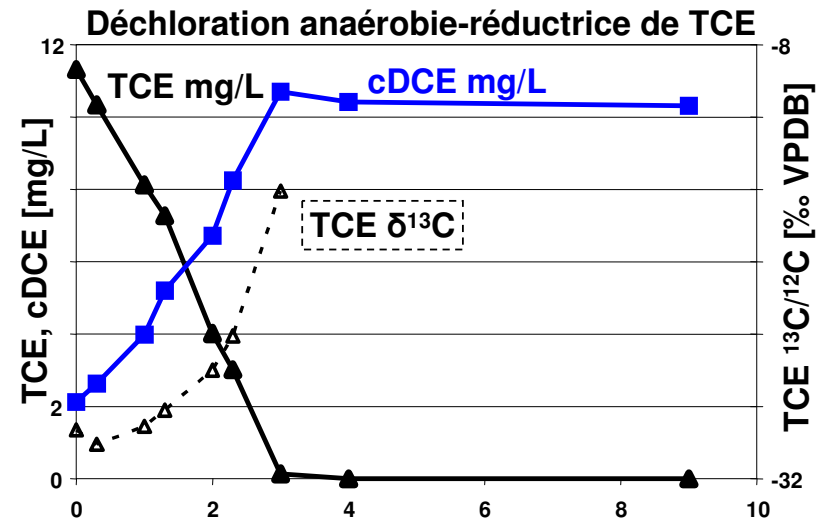
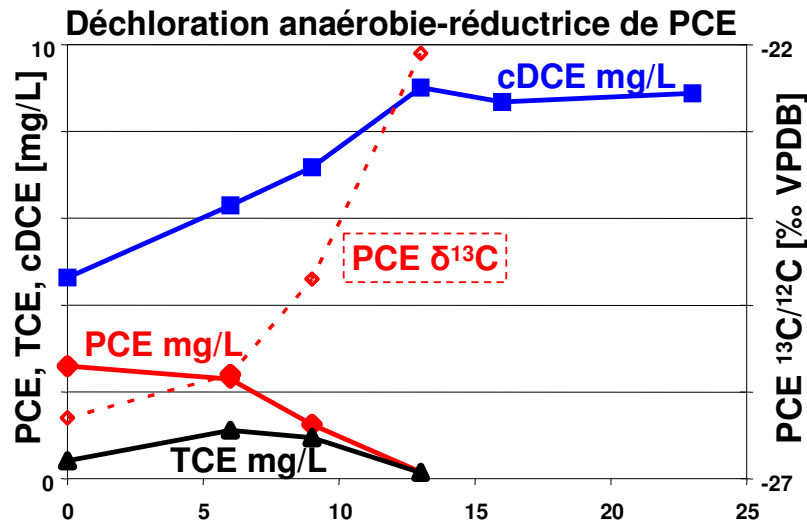
→ Enrichissement isotopique dans le panache de pollution en aval de la source de pollution

→ Indication qualitative de biodégradation

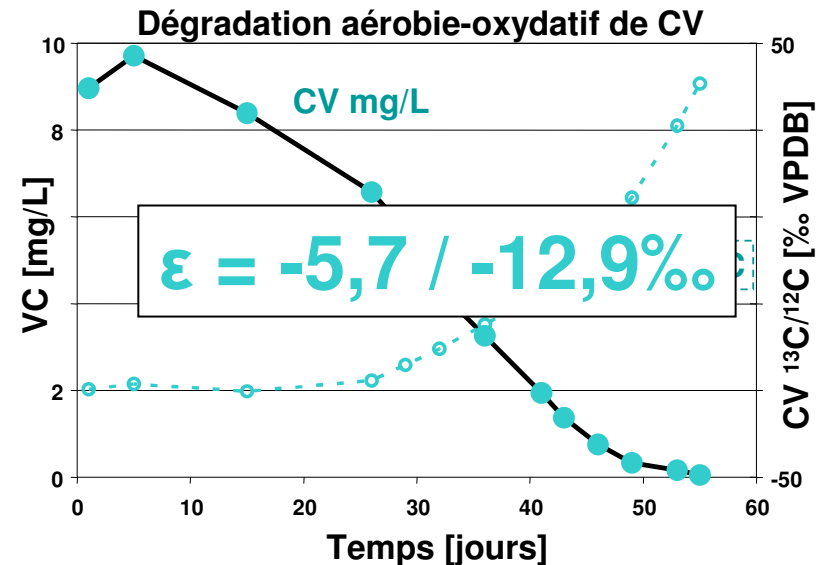
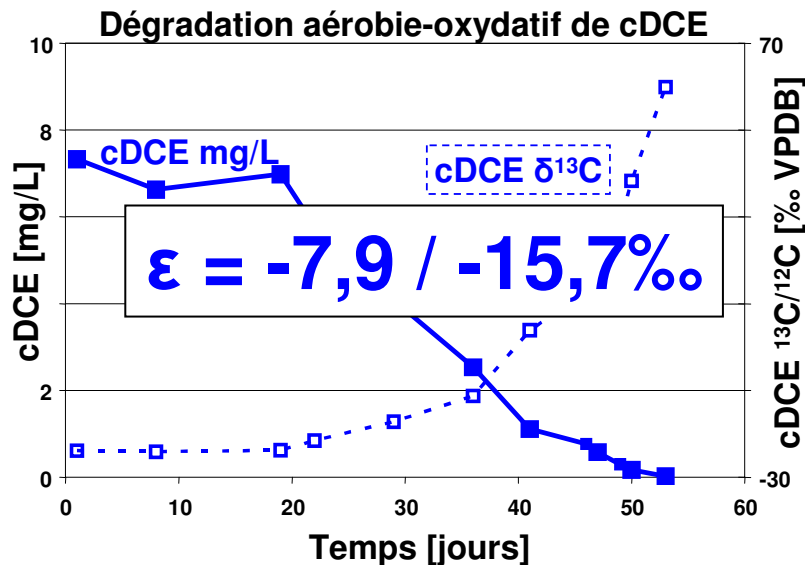
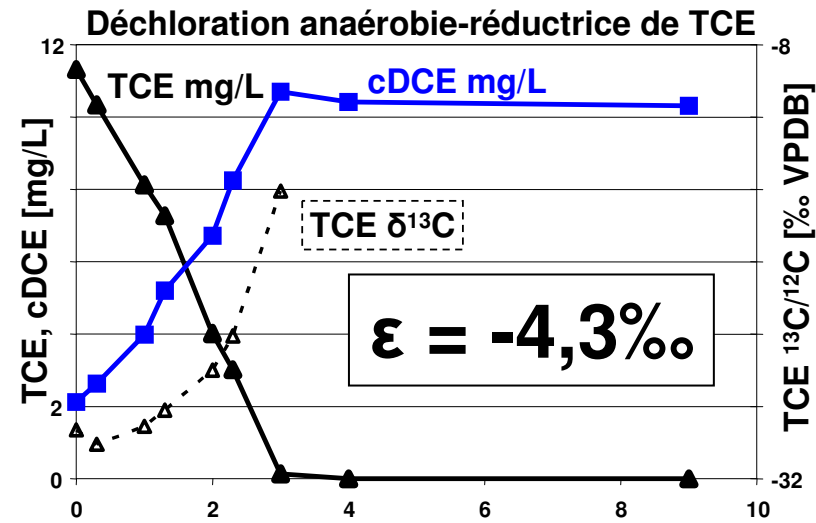
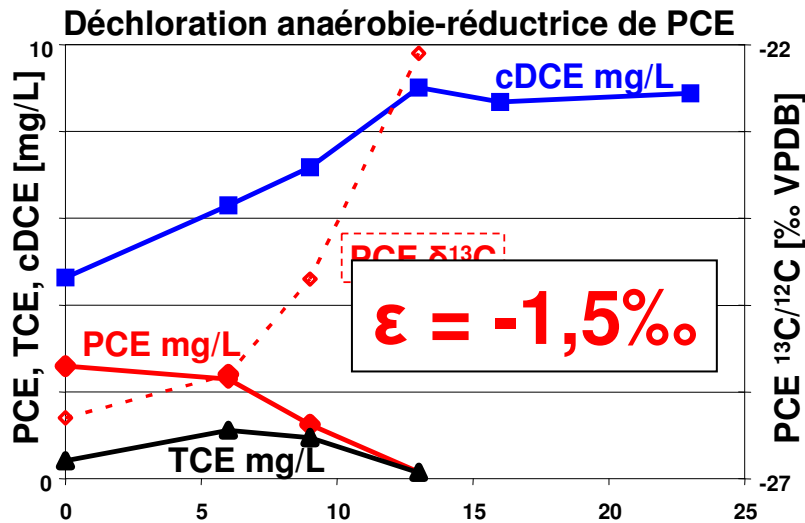
après Martin et al.,
TerraTech 3-4/2006: 14-17

Fractionnement isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ – Résultats

➔ Enrichissement isotopique pendant la biodégradation par des voies différentes

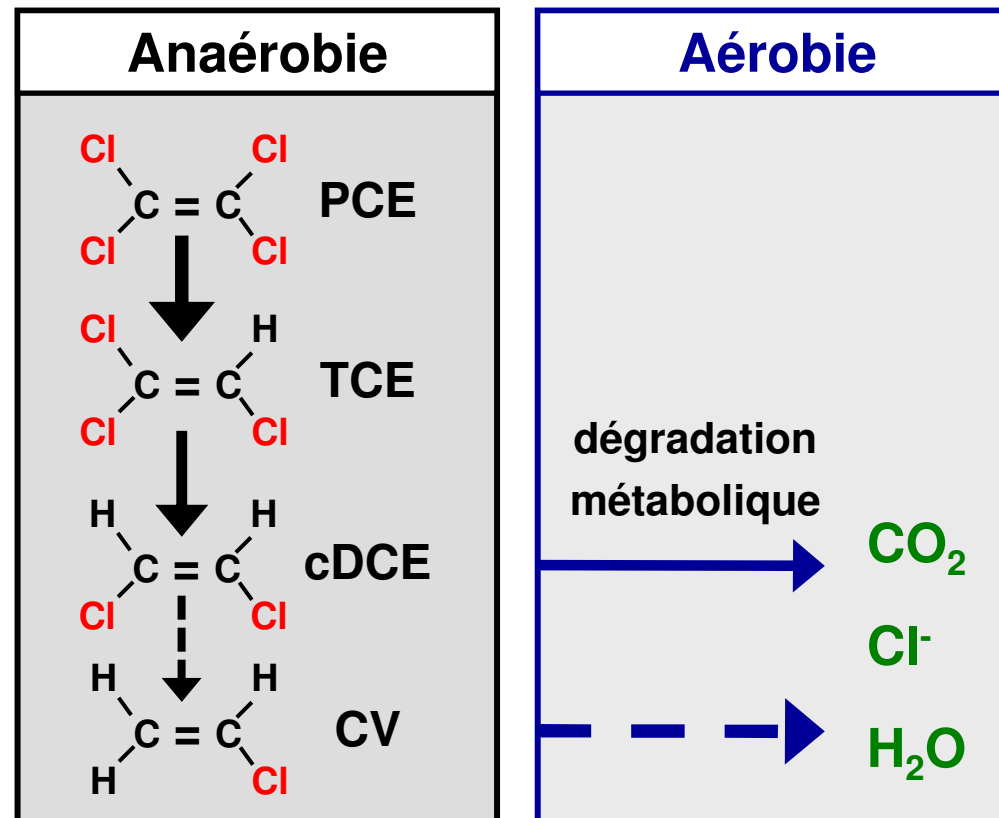


Fractionnement isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ – Résultats



→ La détermination des facteurs d'enrichissement isotopique permet la quantification de la biodégradation sur le site

Schéma réactionnel sur le site de Frankenthal



➔ 1) Déchloration anaérobie-réductrice de PCE / TCE jusqu'à cDCE (CV)

➔ 2) Oxydation aérobie / minéralisation de cDCE (CV)

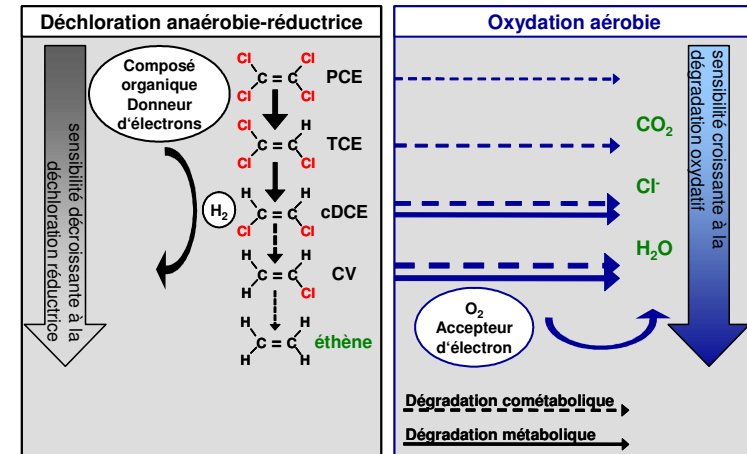
Conclusions

L'identification des processus de biodégradation

par des méthodes différentes

- qui ont donné des résultats correspondantes -

a permis la définition du schéma réactionnel spécifique pour ce site.



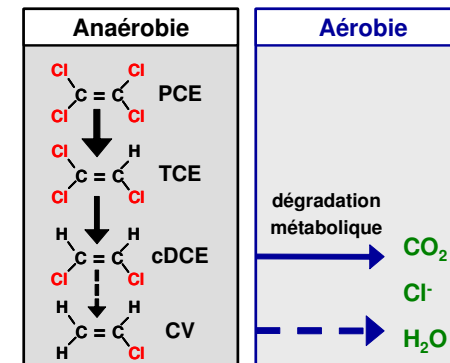
Répartition des polluants

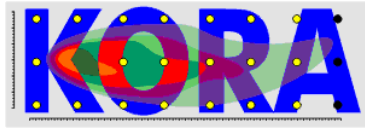
Conditions **redox** de l'aquifère

Bactéries spécialisées par **PCR** et **MPN**

Dégradation en **microcosmes**

Analyse **isotopique**





Remerciements

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

**Ministère Fédéral de l'Education et de la Recherche (BMBF)
et Land de Rhénanie-Palatinat pour le soutien financier**

**nos partenaires de project – les Universités de Göttingen,
Karlsruhe et Kiel, et la municipalité de Frankenthal**

nos collègues du TZW –

**Tobias Augenstein, Carmen Kraffert,
Silke Kraßnitzer, Axel Müller, Sarah
Mungenast, Heico Schell, Claudia
Stoll et Claudia Zawadsky**

et vous pour votre attention!!



Références

Schmidt K. R., Augenstein T., Heidinger M., Ertl S., Tiehm A. (2010) Aerobic biodegradation of *cis*-1,2-dichloroethene as sole carbon source: Stable carbon isotope fractionation and growth characteristics. *Chemosphere* 78(5): 527-532.

Zhao H.-P., Schmidt K. R., Tiehm A. (2010) Inhibition of aerobic metabolic *cis*-1,2-dichloroethene biodegradation by other chloroethenes. *Water Res.*: 44(7): 2276-2282.

Lohner S. T., Tiehm A. (2009) Application of electrolysis to stimulate microbial reductive PCE dechlorination and oxidative VC biodegradation. *Environ. Sci. Technol.* 43(18): 7098-7104.

Tiehm A., Schmidt K. R., Pfeifer B., Heidinger M., Ertl S. (2008) Growth kinetics and carbon isotope fractionation during aerobic degradation of *cis*-1,2-dichloroethene and vinyl chloride. *Water Res.* 42: 2431-2438.

Schmidt K. R., Tiehm A. (2008) Natural attenuation of chloroethenes: Identification of sequential reductive/oxidative biodegradation by microcosm studies. *Water Sci. Technol.* 58(5): 1137-1145.

Tiehm A., Schmidt K. R. (2007) Methods to evaluate biodegradation at contaminated sites. In: Knödel K., Lange G., Voigt H.-J. (Eds.): *Environmental geology – Handbook of field methods and case studies*. Springer, Berlin, Heidelberg: 876-911.

Schmidt K. R., Stoll C., Tiehm A. (2006) Evaluation of 16S-PCR detection of *Dehalococcoides* at two chloroethene-contaminated sites. *Water Sci. Technol.: Water Supply* 6(3): 129-136.