

## Analyse isotopique et datation de l'eau souterraine pour évaluer les sites contaminés avec des HCC

*Eawag:* Christoph Aeppli, Helena Amaral, Michael Berg, Rolf Kipfer  
*EPF Zurich:* Thomas B. Hofstetter, René P. Schwarzenbach  
*OFEV:* Christoph Wenger, Christiane Wermeille, Daniel Rickli

*Première journée technique ChloroNet – Allresto, Berne, le 14 mai 2008*



Division Ressources en eau  
et eau potable

**IBPETH**

Institut de biogéochimie  
et de dynamique des polluants



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV



## Table des matières

**Analyse isotopique spécifique à chaque composé (CSIA)**

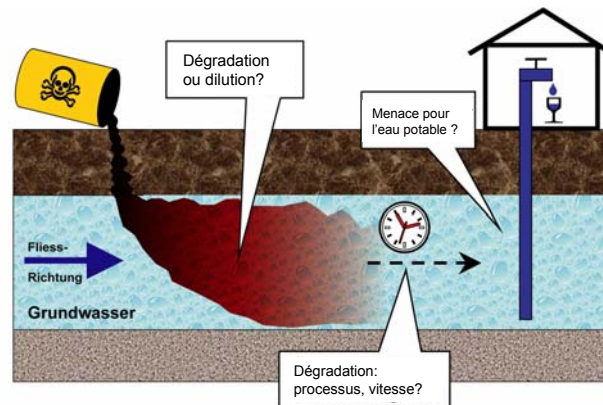
**Evaluation des sites contaminés avec du PCE par la CSIA**

**Datation de l'eau souterraine**

**Etude de cas dans trois sites**

**Potentiel de la CSIA et datation**

## La CSIA pour évaluer les sites contaminés



### Stratégie

Evaluation de la dégradation → **CSIA**

Echelle temporelle → **datation de l'eau souterraine**

## La CSIA combinée avec la datation

### Pratique usuelle

- Concentrations → bilan massique
- Produits de dégradation → indicateurs de la dégradation
- Conditions redox dans l'aquifère

### Méthodes complémentaires

- CSIA → mise en évidence de transformations *in situ* (indépendantes de la concentration)
- Datation de l'eau souterraine → vitesse moyenne de l'écoulement

### Combinaison CSIA - datation

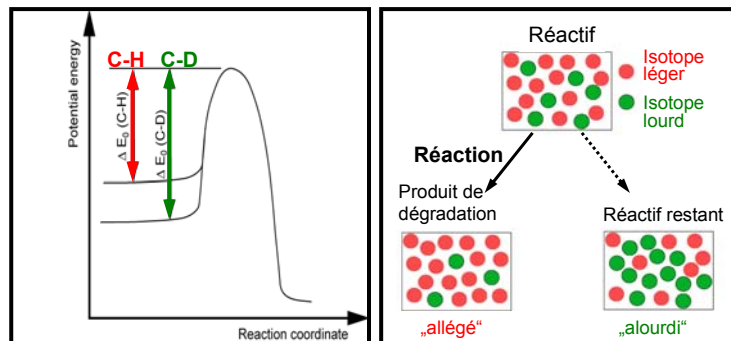
→ Taux de dégradation

## Principe du fractionnement isotopique

L'isotope léger est lié moins fortement que l'isotope lourd

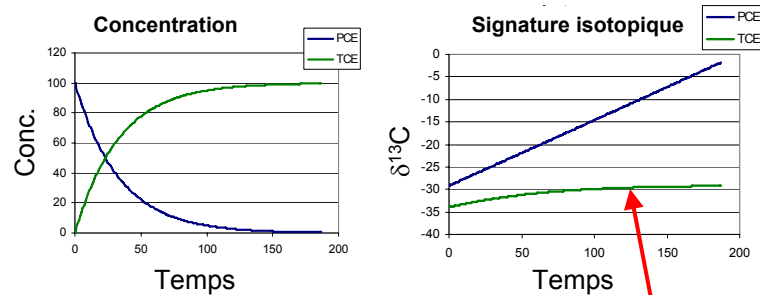
→ l'isotope léger réagit plus vite

→ l'isotope lourd est enrichi dans le réactif



## Preuve de la dégradation de PCE

Déroulement idéal de la dégradation en une étape  $\text{PCE} \rightarrow \text{TCE}$

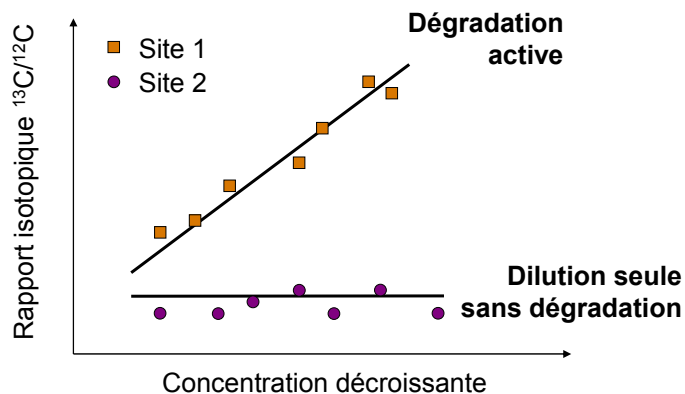


### Isotopes

- indépendants de la concentration
- différentiation dilution - dégradation
- quantification de la dégradation du polluant

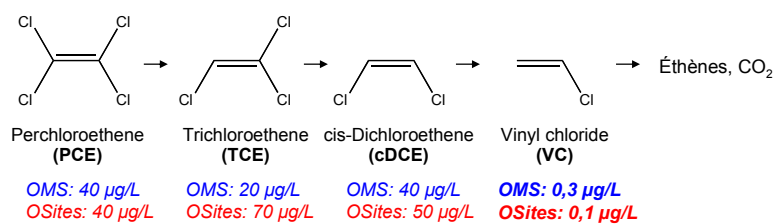
Le TCE est isotopiquement plus léger

## Preuve de la dégradation par la CSIA



## PCE et produits de transformation

### Transformation réductrice de perchloréthènes (PCE)



CV très toxique

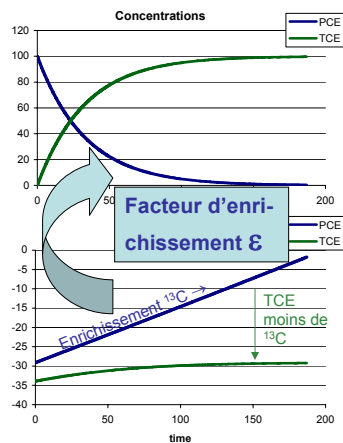
Valeurs indicatives OMS pour l'eau potable  
 Ordonnance sur les sites contaminés

## Transformation de PCE

Modélisation d'une expérience *batch*

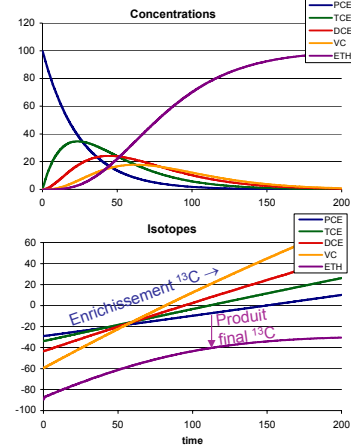
Dégradation en une étape

PCE → TCE



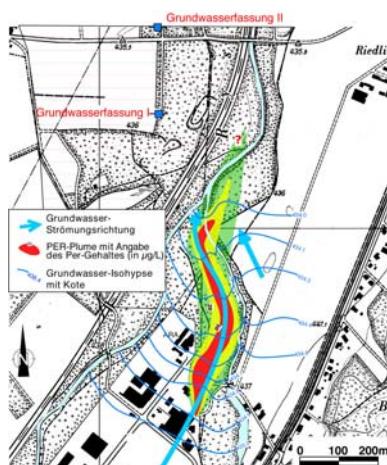
Dégradation en plusieurs étapes

PCE → TCE → cDCE → VC → Eth



ε permet de quantifier l'avancement de la dégradation

## Site 1: pas de dégradation de PCE



### Valorisation de déchets d'abattage

Dégraissage avec du PCE de 1963 à 1983

Consommation de PCE > 5000 tonnes

Fuites de PCE → contamination de l'eau de boisson

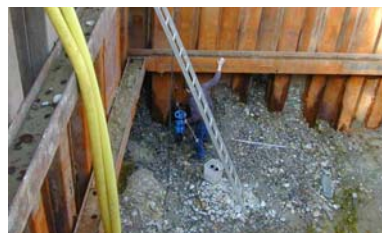
### Concentrations

- PCE: > 400 µg/L
- TCE et cDCE: jusqu'à 30 µg/L

### Aquifère sableux

### Mesures d'assainissement (2005)

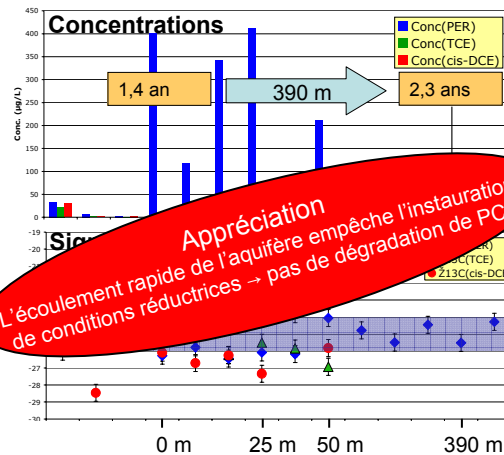
- Isolation du foyer de pollution (caisson de 10x12x6m)
- « Pump & treat »



## Pas de fractionnement isotopique

Aquifère suboxique à  
oxique (2-5 mg O<sub>2</sub>/L)

Conditions non  
réductrices



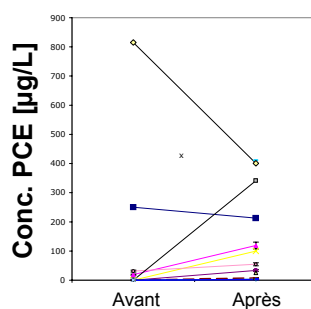
Age de l'eau  
souterraine

Vitesse d'écoulement  
du traceur  
→ 430 m/an

Pas d'enrichissement  
isotopique (600 m) →  
pas de transformation

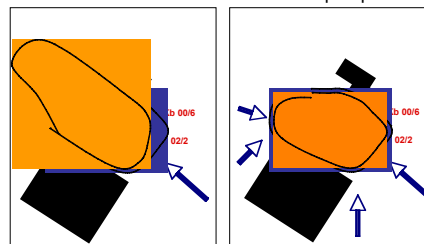
## Effets du « pump & treat »

Mobilisation de PCE



État non altéré

Pendant le « pump & treat »

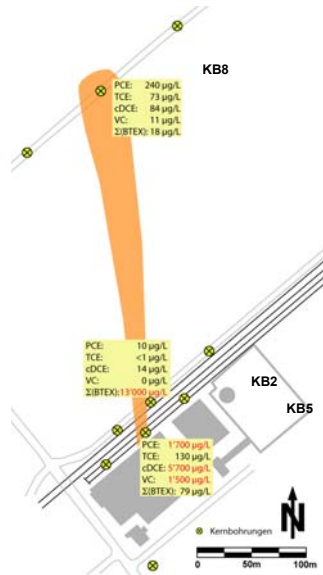


Efficacité du « pump & treat »

Débit de pompage: 50 L/min (13 000 m<sup>3</sup> pendant 6 mois)  
Concentration moyenne de PCE: 250 µg/L  
Quantité estimée de PCE dans le sous-sol: 500 - 1500 kg

→ Elimination de seulement 3,2 kg, soit 0,2 - 0,6 % du PCE

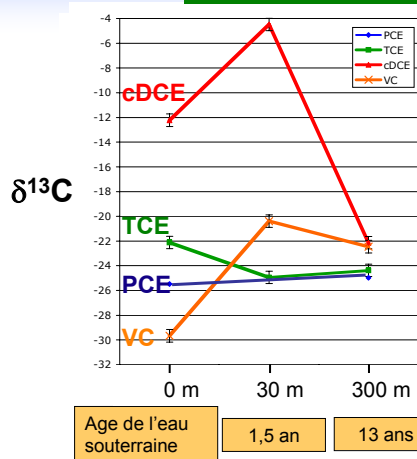
## Site 2: dégradation faible



- Commerce de solvants (transbordement de 63 000 tonnes/an)
- Panache de pollution étroit
- Conditions redox favorables seulement au foyer de la pollution
- BTEX et HCC au foyer de la pollution



## Évaluation de l'efficacité de la dégradation



- Le fractionnement du PCE n'est plus significatif au-delà de 30 m
- cDCE et VC: mélange avec des produits moins dégradés entre 30 et 300 m

Vitesse d'écoulement du traceur  
→ 25 m/an

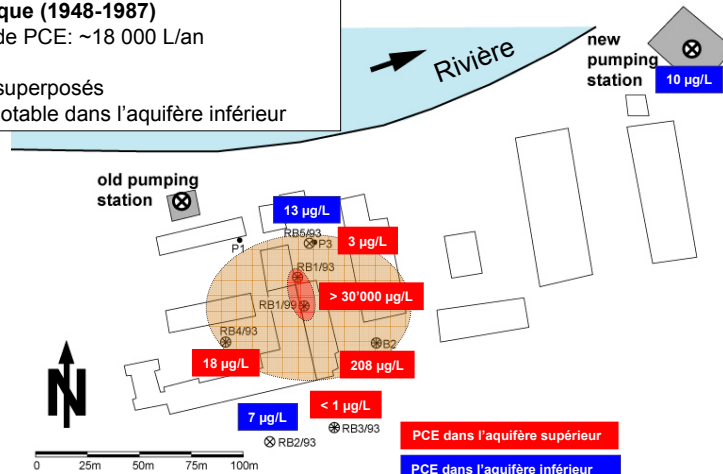
### Evaluation

- Écoulement lent → l'assainissement dure des décennies, même en cas de prévention à la source
- Dégradation existante, mais pas efficace
- Probablement plusieurs sources ponctuelles et/ou intrusions de HCC

### Site 3: dégradation marquée

#### Nettoyage chimique (1948-1987)

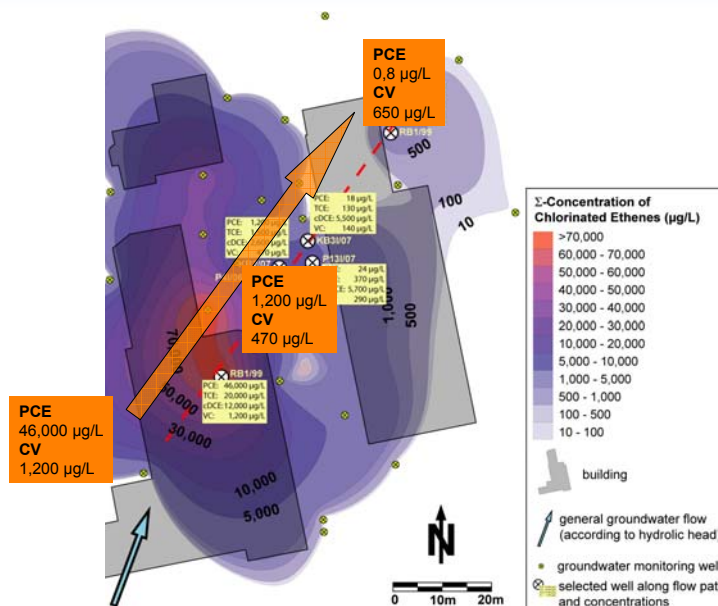
- Consommation de PCE: ~18 000 L/an
- Deux aquifères superposés
- Captage d'eau potable dans l'aquifère inférieur

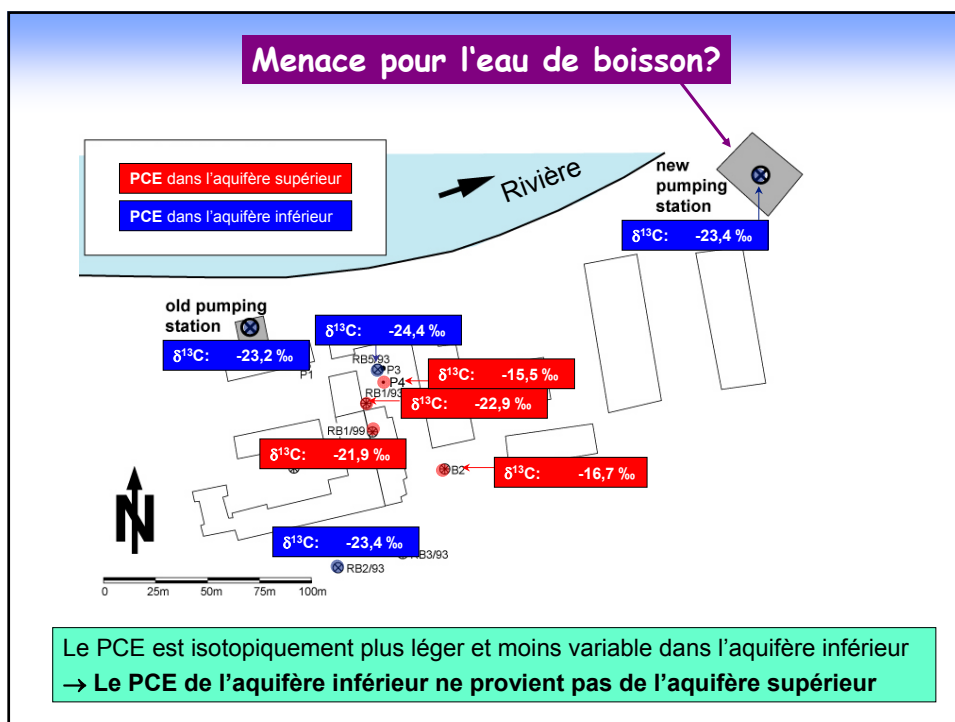
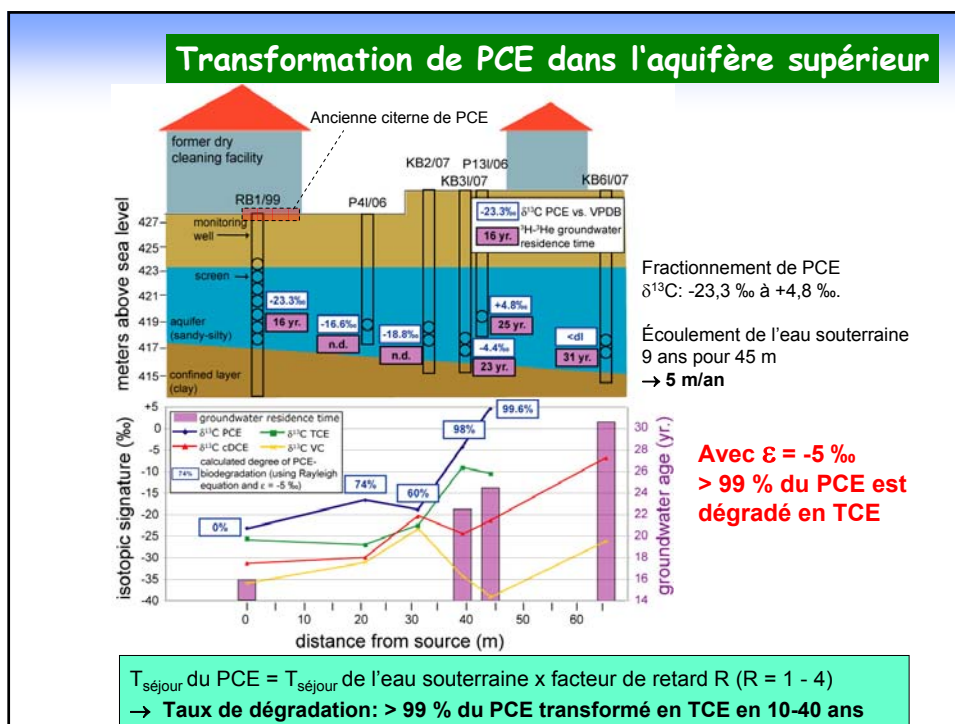


#### Questions posées



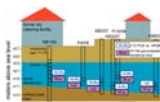
- Fuites de PCE dans l'aquifère inférieur → eau potable menacée?
- Vitesse de dégradation du PCE?

### Polluants dans l'aquifère supérieur (Σ conc. EC)



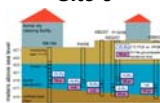




### Résumé des sites 1-3

	Site 1 	Site 2 	Site 3 
Conc. max. de PCE	410 µg/L	1700 µg/L	50 000 µg/L
Produits de dégradation (conc. max.)	TCE (22µg/L) cDCE (30µg/L) <b>(+)</b>	TCE (130 µg/L) cDCE(5700 µg/L) CV (1500 µg/L) <b>++</b>	TCE (20 000 µg/L) cDCE(17 000 µg/L) CV (3300 µg/L) <b>+++</b>
Conditions réductrices dans le panache de pollution	Non <b>-</b>	Sur quelques mètres <b>+</b>	Dans tout l'aquifère supérieur <b>+++</b>
Vitesse du traceur dans l'eau souterraine	430 m/an <b>+++</b>	25 m/an <b>+</b>	5 m/an <b>(+)</b>

### Résumé des sites 1-3

	Site 1 	Site 2 	Site 3 
Dégradation de PCE	Pas de dégradation <b>-</b>	Très faible (localisée) <b>+</b>	Marquée (jusqu'à > 99 % en 10-40 ans) <b>+++</b>
Utilité <b>CSIA</b>	Aucun supplément d'information grâce à la CSIA <b>-</b>	Meilleure évaluation <b>+</b>	Quantification possible seulement par CSIA <b>+++</b>
<b>Datation de l'eau souterraine</b>	Vitesse du traceur	Echelle temporelle pour la prévention à la source	Taux de dégradation déterminable seulement par CSIA et datation

## Conclusions concernant les sites contaminés avec des HCC

### Potentiel

La **CSIA** est très utile dans les sites avec

- une source ponctuelle
- un aquifère réducteur
- une eau souterraine s'écoulant lentement

### Datation de l'eau souterraine

- très utile dans tous les sites
- permet d'estimer les taux de dégradation
- permet de bien comprendre l'hydrogéologie

### Limitations de la CSIA

- plusieurs sources ponctuelles
- facteur d'enrichissement inconnu ( $\epsilon$ )



### Remerciements

**OFEV:** Financement

**Eawag:**  
Eduard Hoehn, Caroline Stengel

**IBP ETH:** Jakov Bolotin

**EPFL:**  
Christof Holliger, Pierre Rossi