

**Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH**  
 Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

---

**Première journée technique ChloroNet**

**Assainissement des sites contaminés avec des solvants chlorés**


**Berne, le 14 mai 2008**

**Critères de choix de la variante d'assainissement optimale**

**Prof. Dipl.-Ing. Harald Burmeier**  
 Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
 Hanovre

[www.burmeier-ingenieure.de](http://www.burmeier-ingenieure.de)

Transparent n° 1
Prof. Dipl.-Ing. Harald



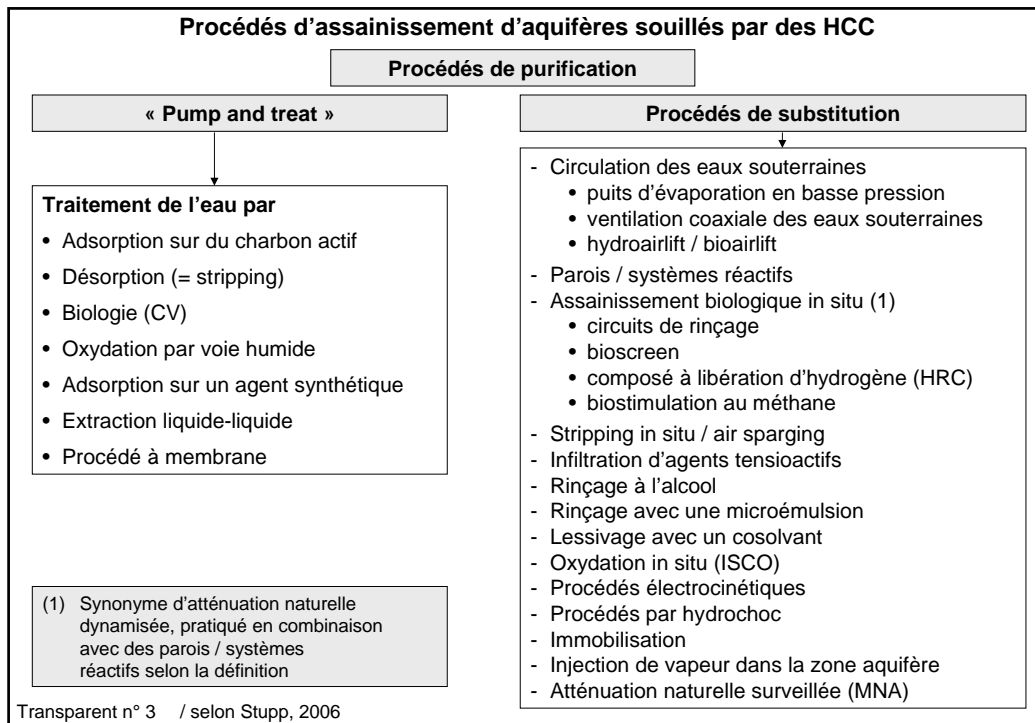
**Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH**  
 Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn


---

**Qu'est-ce qu'une variante d'assainissement optimale pour des HCC?**

Un procédé d'assainissement économique,  
 atteignant les buts fixés dans un délai  
 raisonnable,  
 grâce auquel l'aquifère et la zone insaturée ne  
 renfermeraient plus aucun potentiel polluant  
 mobile ni n'en diffuseraient sur le long terme!

Transparent n° 2
Prof. Dipl.-Ing. Harald





Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

**Vue d'ensemble du nombre de  
procédés in situ mentionnés**

**Statistiques du CT ASC pour 2005/2006**


58 cas, dont 28 pollutions par des HC halogénés volatils

- 62 % d'assainissements à la source
- 24 % d'assainissements de panaches
- 14 % d'assainissements à la source + de panaches

Ajout de mesures de « pump and treat » dans près de 80 % des cas,  
soit pour assurer un confinement hydraulique à l'aval,  
soit pour renforcer l'assainissement à la source

Transparent n° 4

Prof. Dipl.-Ing. Harald



**Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH**  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn


## Investigations de Stupp dans le cadre de 97 projets

### Procédés de traitement par « pump and treat »

• Stripping	63
• Adsorption sur charbon actif	21
• Oxydation aux UV	3
• Extraction liquide-liquide (MPPE)	3
• Adsorption sur résine	2
• Biologie	1
• Déferrisation	21

Transparent n° 5
Prof. Dipl.-Ing. Harald



**Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH**  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn


  

## Qu'est-ce qui influence le choix du procédé?

- Utilisation ultérieure du terrain
- Accès au foyer de pollution (terrain bâti, etc.)
- Intensité de la source de pollution
- Mobilité de la pollution
- Autres sources de pollution dans le voisinage
- Durée de l'assainissement
- Autres procédés déjà mis en œuvre, p. ex. « pump and treat »
- Perspective d'obtention d'autorisation
- Coûts avec indication du moment de leur naissance
- Constitution du sous-sol (géologie, hydrogéologie)

Transparent n° 6
Prof. Dipl.-Ing. Harald



Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn


  

## Bases pour le choix du procédé

### 1. Données hydrochimiques sur les polluants

- Diffusion latérale et verticale de la pollution
- Phase / solution
- Mobilité / sorption
- Potentiel de pollution
- Charge / quantité disséminée
- Nature et composition des polluants

Transparent n° 7
Prof. Dipl.-Ing. Harald




Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

### 2. Données hydrochimiques générales

- Caractéristiques de l'aquifère (y c. teneur en fer et manganèse, dureté carbonatée, etc.)
- Microbiologie (potentiel redox, nitrates, microorganismes présents, nombre de germes, etc.)

Transparent n° 8
Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**

Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

### 3. Données hydrogéologiques


- Modèle hydrogéologique, renouvellement de l'aquifère, ...
- Caractéristiques de l'écoulement
- Paramètres hydrauliques (perméabilité, porosité, ...)
- Zones de prélèvement dans la nappe souterraine

### 4. Autres conditions

- Buts de l'assainissement (valeurs de concentration et/ou charge admissible)
- Scénarios d'excavation / optimisation à élaborer

Transparent n° 9

Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**


Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

### Calculs requis

- Modélisation de la source de pollution (situation, quantité)
- Concept hydraulique avec points d'implantation des puits et calcul des quantités à pomper
- Prévisions concernant l'évolution de la pollution au puits de pompage et de la pollution mixte avec l'eau non traitée
- Prévisions concernant les substances accompagnatrices importantes pour l'assainissement (teneurs mixtes de l'eau non traitée [fer, manganèse, calcaire, DOC, ...])
- Estimation concernant la possibilité de formation de boues biogènes
- Positionnement des puits d'assainissement, parcours des tuyaux, localisation des installations et acheminement / réinfiltration de l'eau propre
- Prévisions concernant l'évolution de la pollution en cas d'application de mesures d'assainissement passives
- Coûts / évolution temporelle

Transparent n° 10

Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**


Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

## Quand faut-il appliquer quel procédé?

« Grand classique » depuis 30 ans environ, le « **pump and treat** » a permis de réduire significativement des pollutions à ses débuts, mais, depuis lors, elles stagnent souvent à un niveau nettement supérieur aux objectifs d'assainissement.

Transparent n° 11

Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**

Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

## Amélioration du procédé de « pump and treat »

- Combinaison avec un assainissement à la source
- Vérification régulière de la plausibilité des mesures
- Optimisation des composantes de l'installation
- Diminution des quantités pompées dans la nappe souterraine
- Réinfiltration éventuelle de l'eau souterraine purifiée
- Diminution des frais de surveillance
- Optimisation des coûts de pilotage et de surveillance

Transparent n° 12

Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG** Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

**Procédés d'amélioration du « pump and treat »**

- Application de stripping ou remplacement par une installation de stripping sous vide (diminution de la quantité d'air)
- Adsorption sur résine ou extraction liquide-liquide au lieu d'adsorption sur charbon actif pour les CV, (cis-, trans-) dichloréthène, 1,1- dichloréthène, dichlorométhane et trichlorméthane si nouvelles installations
- Remplacement d'un catalyseur par un filtre à charbon actif pour purifier l'air issu du stripping

Transparent n° 13 Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG** Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

**Procédés complémentaires au « pump and treat »**

- Maintien du P+T pour assurer le confinement à l'aval du site
- Mise en œuvre d'agents tensioactifs pour diminuer la durée de l'assainissement; pertinente si:
  - situation bien connue
  - accès au « foyer des HCC »
  - mise en œuvre contrôlée des agents tensioactifs (ne « coulent » pas!)
  - sous-sol sensiblement homogène
  - source de faible extension

Transparent n° 14 Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG** Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

**Stripping in situ (air sparging) pertinent si**

- Sous-sol sensiblement homogène
- Situation bien connue
- Contamination avec des HCC atteignable par injection d'air (attention à l'apparition de processus oxydants!)

**Oxydation in situ (ISCO) pertinente si**

- Situation bien connue
- Accès au « foyer des HCC »
- Teneur en carbone faible dans le sous-sol
- Sous-sol sensiblement homogène
- Source de faible extension

Transparent n° 15 Prof. Dipl.-Ing. Harald


**BIG** Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

**Oxydation in situ (ISCO)**

**Oxydants utilisables**

- Peroxyde d'hydrogène et sels (c.-à-d. peroxydes, p. ex. « com-posé à libération d'oxygène » (ORC) =  $\text{MgO}_2$ , peroxyde de Ca)
- Réactif de Fenton et modifications (peroxyde d'hydrogène plus Fe(II) forme un radical hydroxyle très réactif, éventuellement autres catalyseurs/promoteurs)
- Permanganate de sodium ou de potassium, ferrate (Fe(VI))
- Sulfate peroxodique (acide de Carot)
- Ozone
- Oxygène (air)

Transparent n° 16 Prof. Dipl.-Ing. Harald



**Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH**

Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

## Oxydation in situ (ISCO)


**Avantages**

- Assainissement rapidement réalisé
- Large palette d'applications (mélanges de polluants)
- Nombreux réactifs (encore) bon marché
- Adaptée à l'assainissement des sources et des panaches

**Inconvénients**

- Puissant oxydant, consommé par des réactions indésirables avec toutes les substances oxydables du sous-sol
- Produits et mécanismes de dégradation encore souvent mal compris
- Application à quelques substances, p. ex. HCC volatils, efficacité limitée
- Propagation dans le sous-sol partiellement méconnue
- Risques lors de la manipulation (danger d'explosion avec le réactif de Fenton, les peroxydes, les superoxydes, etc.)
- « Effet de rebond » (principalement lors d'assainissement à la source)

Transparent n° 17
Prof. Dipl.-Ing. Harald



**Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH**

Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

## Nano-fer

→ Dégradation de composés chlorés (déshalogénation)

→ Réduction, p. ex.:  $\text{Cr(VI)} \rightarrow \text{Cr(III)}$

**Avantages**

- Déplacement rapide des polluants
- Traitement possible des sources et des panaches
- Voies de dégradation définies

Transparent n° 18
Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG** Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

## Nano-fer

### Inconvénients

- Comportement lors de l'injection et propagation dans le sous-sol difficiles à prévoir
- Palette d'applications étroite (HCCV, Cr(VI), As)
- Réactivité des HCC volatils éventuellement réduite (PCE transformé non pas en éthène, mais seulement en cis-DCE, etc.)
- Risques lors de la manipulation (particules fines de métal disséminées inflammables au contact de l'air)

Transparent n° 19 Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG** Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

## Parois réactives ([www.rubin-online.de](http://www.rubin-online.de))

- Procédé essentiellement passif visant à filtrer les polluants dissous transportés par l'aquifère en aval du foyer de pollution (confinement)
- Filtrage par des matériaux réactifs qui retiennent les polluants par action physique, chimique et/ou biologique ou les dégradent par action chimique ou biologique

Transparent n° 20 Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG** Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

## Parois réactives ([www.rubin-online.de](http://www.rubin-online.de))

- Construction
  - Traversées sur toute la surface
  - Barrière réactive perméable
  - Funnel and gate
  - Drain and gate
- Matériaux
  - Fer élémentaire
  - Charbon actif
  - Microbiologie

Transparent n° 21 Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG** Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

## Parois réactives ([www.rubin-online.de](http://www.rubin-online.de))


### Conditions

- Situation bien connue (hydrogéologie, hydraulique, chimisme des eaux souterraines, nature/forme du panache de polluants, etc.)
- Essais préalables (essais *batch* et en colonne)
- Place pour les parois

### Restrictions d'utilisation

- Présence d'aquiclude atteignable par des techniques spéciales de génie civil
- Mélanges complexes de polluants
- Eau « dure »
- Aquifère fissural
- Phase revêtue par les polluants

Transparent n° 22 Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**

Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

---

### **Atténuation naturelle**

= Rétention et dégradation naturelle des polluants


- Propriété du site (dégradation, sorption, etc.)
- Étude détaillée des processus nécessaire!

### Conditions d'application

- Source primaire assainie ou impossible à assainir
- Panache stagnant, voire refluant (aucun autre secteur de l'aquifère menacé)
- Prédominance de la dégradation
- Évolution prévisible

Transparent n° 23

Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**

Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

---

### **Application de l'atténuation naturelle**

Bien adaptée p. ex. à: HC pétroliers, BTEX  
Partiellement adaptée à: HCC volatils, HAP

### Atténuation naturelle dynamisée (ENA)


- Correspond sensiblement à l'assainissement microbiologique in situ

### Atténuation naturelle surveillée (MNA)

- Surveillance de l'évolution du panache (dégradation, stagnation)
- Vérification des modèles prévisionnels
- Peut durer très longtemps

Transparent n° 24

Prof. Dipl.-Ing. Harald



**Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH**


Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

---

## Conclusions / perspectives

- P+T combiné avec un assainissement au foyer /  
une mobilisation de la pollution
- Adaptation permanente / validation des processus
- Avènement de systèmes passifs
- Prise en compte des processus d'atténuation  
naturelle
- Application sur le terrain de « procédés innovants »

Transparent n° 26
Prof. Dipl.-Ing. Harald



**Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH**

Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

---

## Sources

- Stupp et al: Sanierungsoptimierung von CKW-  
Grundwasserschäden
- Möglichkeiten zur Reduzierung von Sanierungskosten -;  
Altlasten spektrum Heft 6/2005
- ITVA Fachausschuss H1: Arbeitskreis für innovative in situ  
Sanierungsverfahren
- In situ Sanierungsprojekte der Prof. Burmeier  
Ingenieurgesellschaft mbH
- Burmeier et al: Handbuch zur Anwendung von Reinigungswänden  
zur Sanierung von Altlasten; Forschungsbericht zum F+E-Verbund  
RUBIN; 2006; téléchargement: [www.rubin-online.de](http://www.rubin-online.de)
- F+E-Verbund « Natural Attenuation » KORA;  
téléchargement: [www.natural-attenuation.de](http://www.natural-attenuation.de)

Transparent n° 26
Prof. Dipl.-Ing. Harald