



Journées Techniques d'information et de retour d'expérience de la gestion des sols pollués

La démarche du Plan de Gestion & la gestion en absence de valeurs VDSS et VCI

Daniel HUBE (BRGM)/Laurent ROUGIEUX (ANTEA)

MEEDDAT, 10 juin 2008

ANTEA

Ingénierie et Conseil

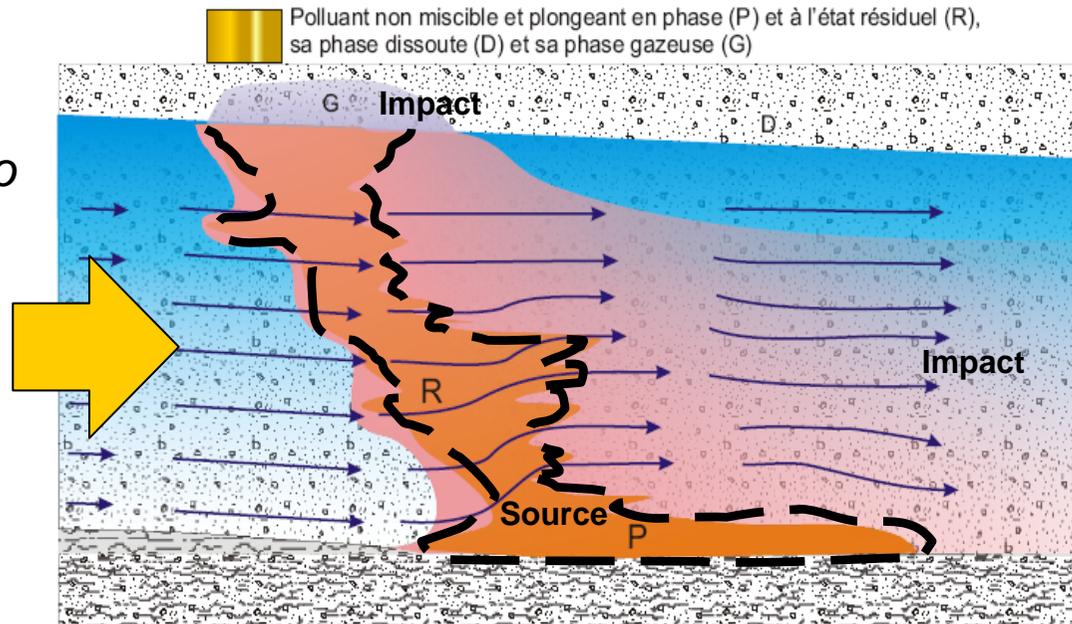


BRGM

vendredi 30 mai 2008

• **Source en zone saturée** : phase

plongeante continue ou micro dispersée dans la porosité d'un réservoir aquifère. Source difficile à délimiter et localiser. Fort potentiel d'émission sur de longues périodes de temps (> 100 ans). Solvants chlorés, créosote, etc.



Exemple d'une zone source en zone saturée
(en nappe)

> CONTEXTE

- **2002. ICPE soumise à autorisation (traitement de surface), en procédure de cessation d'activité (Article 34-1 du décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 modifié)**
- **Installation ancienne qui s'est progressivement développée. Fabrication d'appareillage électroménager.**
- **Le site est implanté dans une vallée alluviale en pieds de coteaux, dans un environnement mixte dense: résidence, activité industrielle, activité agricole (maraichage, élevage)**
- **La DRIRE X demande à l'exploitant en 1999 la réalisation d'une ESR qui conclue au classement 2 « à surveiller » du fait de la présence de Nickel dans les sols. Les eaux souterraines sont surveillées pour les métaux et cyanures.**
- **L'historique très succinct montre l'existence de cuves de FOD enterrées et d'une unité de traitement de surface avec dégraissage à froid. Les analyses ponctuelles des sols n'ont pas détectés de COHV. Traces d'HCT.**

> LES PREMIERS CONSTATS ET DEMANDES!

- En 2003, la DDASS signale la présence de PCE au champ captant de la commune (40 000 hab.) mais PCE+TCE < 10 µg/l (OK, potable).

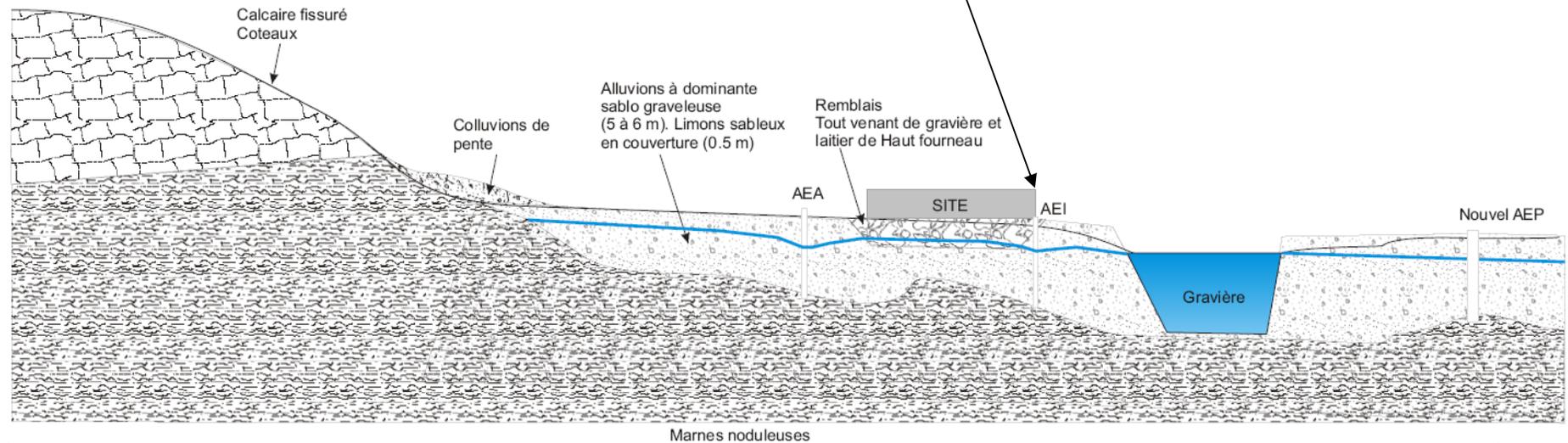


- Mesure des COHV, BTEX et HAP au droit du site: des concentrations en nappe en PCE, TCE, Cis DCE et chlorure de vinyle excèdent 50 000 µg/l!!!
- La DRIRE est informée de la situation via l'exploitant du site. Le préfet prend un arrêté demandant à l'entreprise: « de stopper la progression des solvants, d'en mesurer les effets, de faire des études complémentaires afin de déterminer leur source ainsi que leur impact sur la santé »

L'Etat des Milieux est il compatible avec la libre jouissance des éventuels usages de ces derniers? Démarche d'IEM



Pompage AEI de 15 m³/h au droit
du site par deux anciens puits en
mauvais état,



Un contexte constaté : étude de vulnérabilité

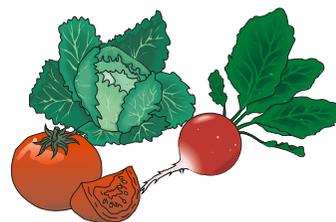


Un bref historique du site

Les constats hors site: l'état des milieux (1)

IEM

- Les COHV ont échappés aux puits AEI du site du fait des nombreux pompages AEP et AEA de l'environnement.
- La zone d'impact est étendue du fait de la faible puissance de l'aquifère et de la dispersion des et par les pompages.
- Des concentrations jusqu'à 1500 µg/l (PCE, TCE, CIS, CV) sont mesurées aux puits AEA à 300 m du site.
- La visite de terrain montre que les maraîchers arrosent leurs serres par sprinklage. Les mesures effectuées montrent que 70% des solvants présents dans l'eau pompées se volatilisent avant d'atteindre le sol et les végétaux. Les serres sont ventilées.

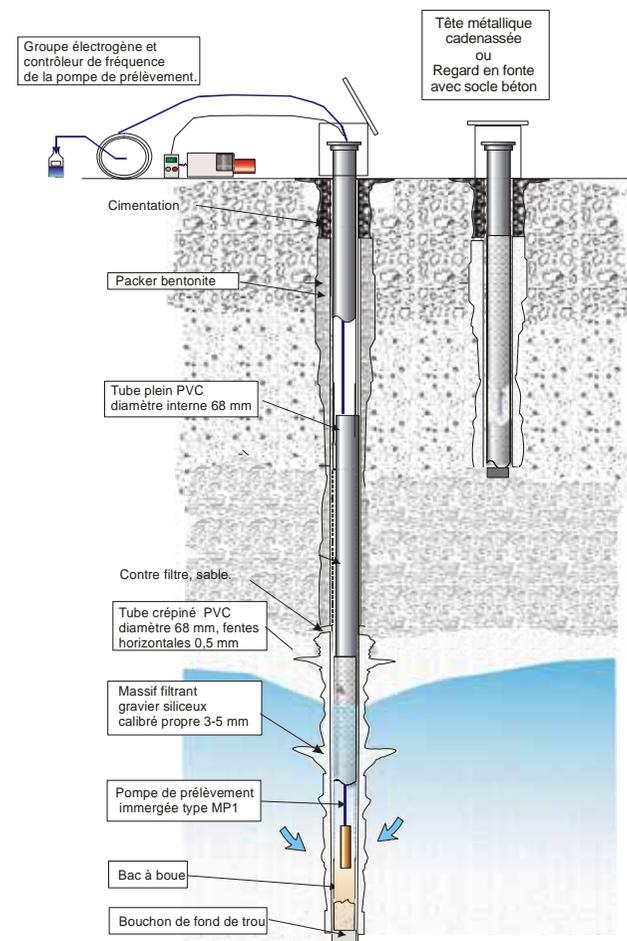


- Les COHV n'ont jamais été détectés dans les foies et légumes. L'activité peut se poursuivre avec contrôle (# ce que démontre l'EQRS avec modèle de transfert !)

■ Et en parallèle: réalisation d'un diagnostic complémentaire hors site

■ **Délimitation** plus précise du panache/impact par la pose de nouveau piézomètres et modélisation hydrodynamique et hydrodispersive en régime permanent calés sur les mesures de terrain et l'isoconcentration 10 µg/l (critère Eau potable PCE + TCE) et 0.5 µg/l (critère Eau potable CV).

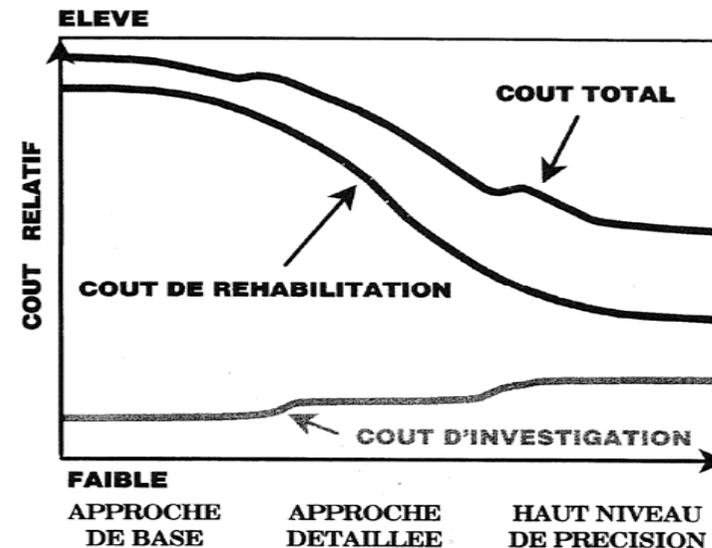
■ **Poursuite du contrôle** de la qualité des végétaux des exploitations maraichères et des foies de génisse

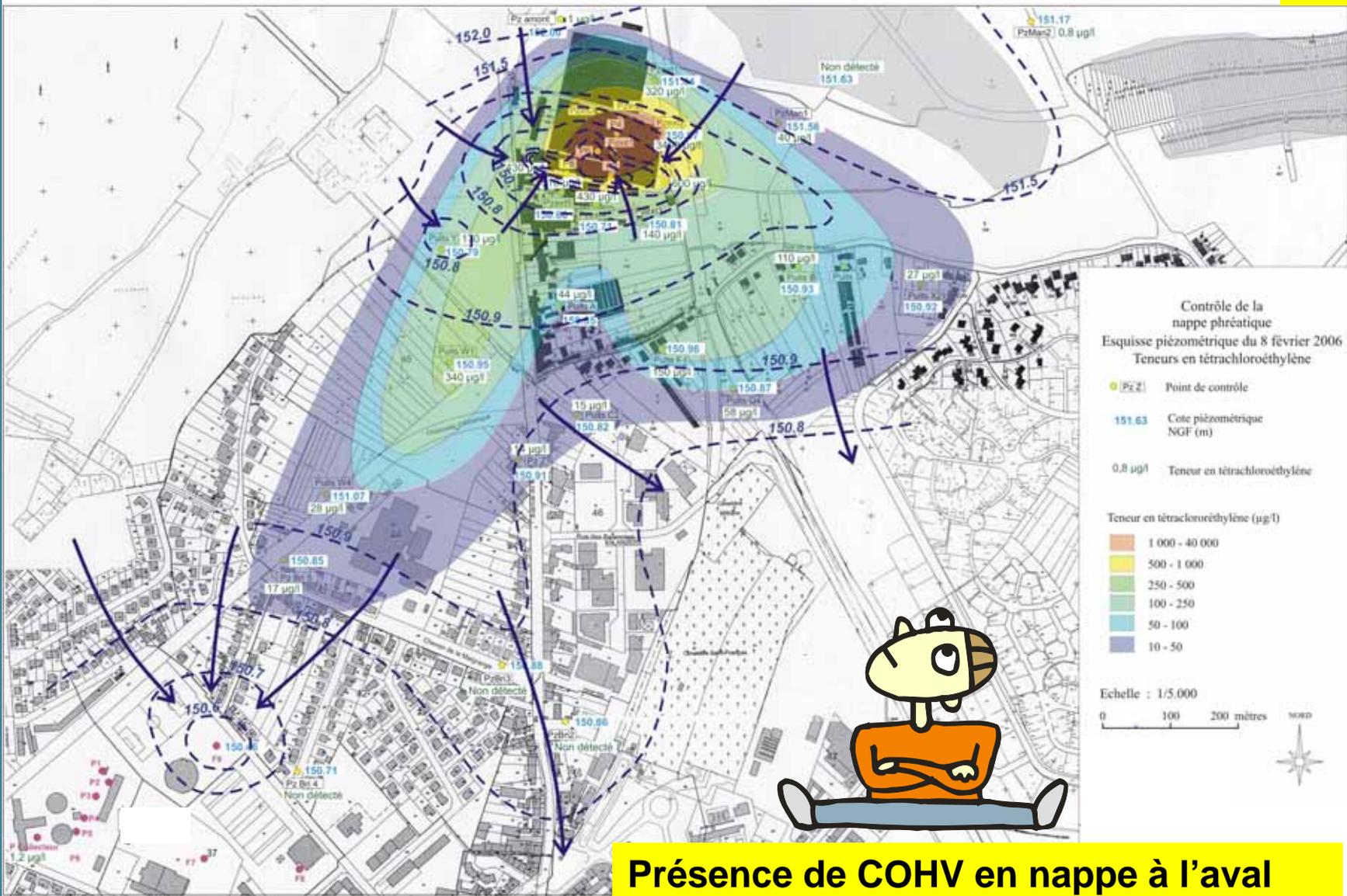


- Absence de COHV vapeur. Présence d'une puissante couche d'argile sur le réservoir aquifère.
- Les concentrations en COHV des eaux du ruisseau sont faibles du fait de la volatilisation dans le rejet gravitaire en sortie de puits.
- Les sédiments du ruisseau ont accumulé des métaux lourds (Ni, Cu, Cr, etc.) et des hydrocarbures (huiles) correspondant aux anciens rejets industriels, sur plus de 2.5 km.

- Et en parallèle: réalisation d'un diagnostic sur site
 - La question posée est la suivante: où se situe la source? Quelle sont ses caractéristiques et son potentiel d'émission vers les eaux souterraines, les gaz du sol ? -> *pour maîtriser la source, il faut la connaître.*
 - Le diagnostic s'intègre dans la **procédure de cessation.**
 - Le diagnostic fournit des **données dimensionnantes** pour le choix (technico économique) d'éventuelles **actions** à la source visant à réduire/supprimer les impacts sur les usages à l'extérieur du site, voire au droit du site (l'industriel souhaite revendre les superstructures pour des usages industriels).

La phase diagnostic:
intégrée au bilan
coûts/avantages d'une
mesure de gestion des
risques





Présence de COHV en nappe à l'aval du site et au niveau d'usages constatés

N

S

Plan de Gestion

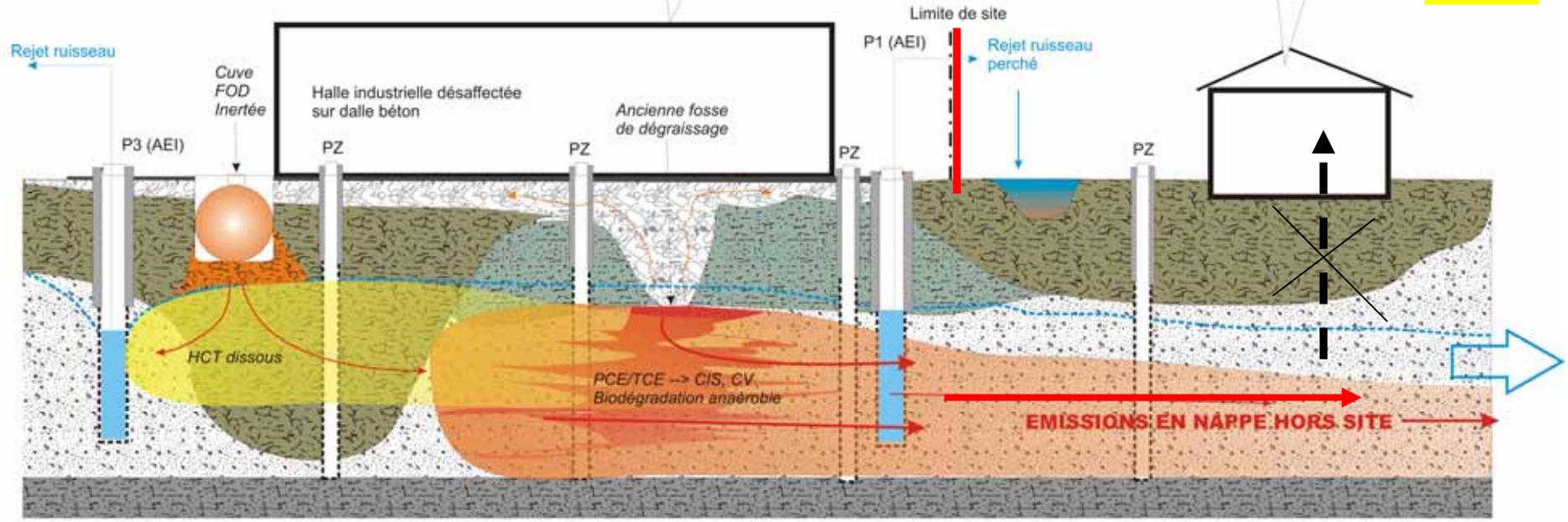
IEM

Dégazage de COHV ponctuel sous dalle du fait d'une épaisse couverture argileuse et d'une fenêtre = ancienne fosse

Transferts réduits vers l'air ambiant intérieur (faible flux) de grand volume sans usages sensibles (halle de stockage)
Exposition par inhalation non pertinente

Absence de dégazage de COHV depuis la nappe vers les habitations du fait d'une épaisse couverture argileuse.

Pas de transfert: exposition par inhalation non pertinente



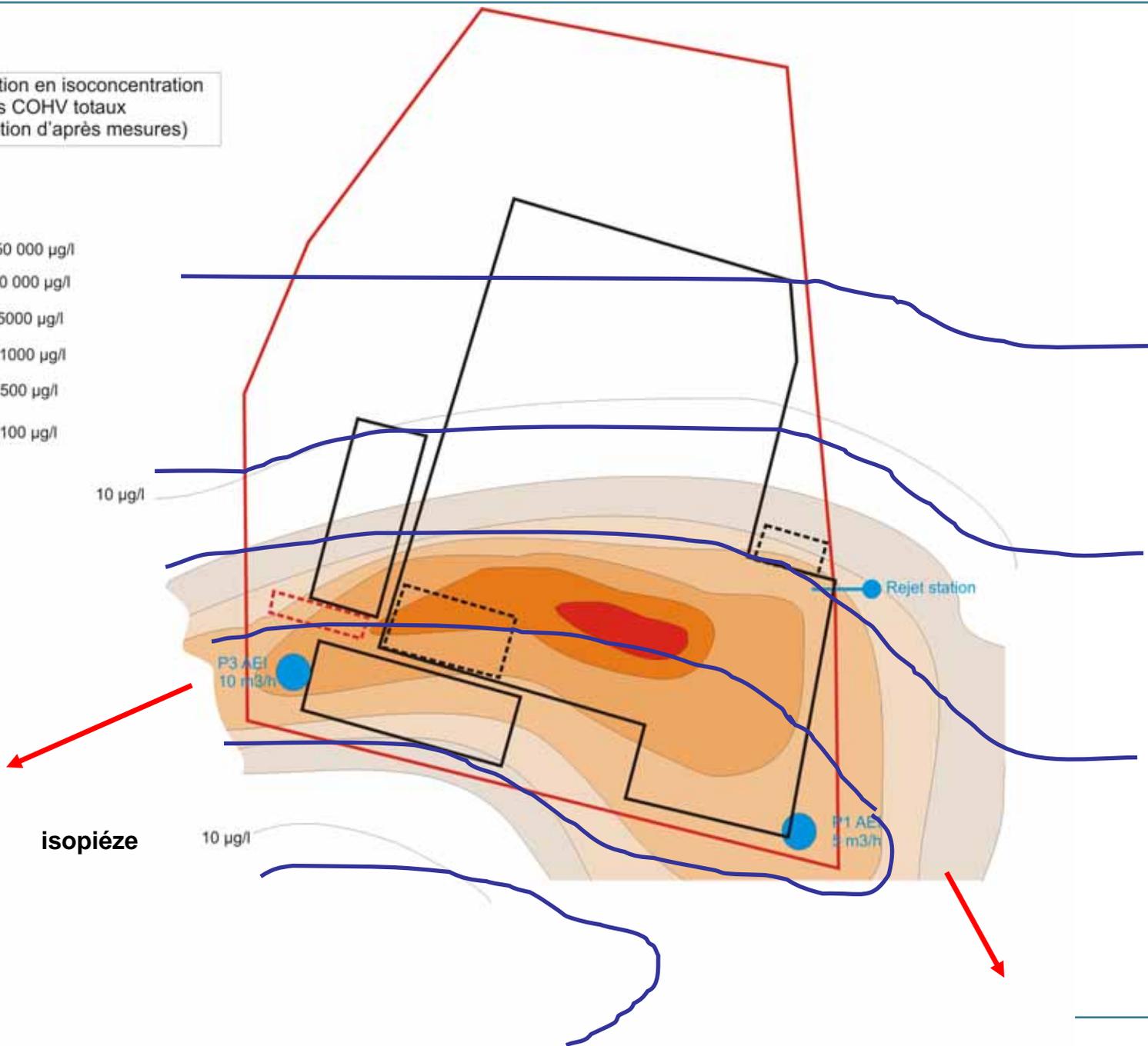
- Marnes noires noduleuses du substratum
- Graviers sableux brun orangé
- Argiles vertes compactes, localement noduleuses
- Limons argileux brun à vert olive
- Remblais grossiers (laitier et graviers tout venant)

SCHEMA CONCEPTUEL DE TRANSFERT ET D'EXPOSITION.
Coupe hydrogéologique interprétative

Et alors ?

Représentation en isoconcentration
des COHV totaux
(extrapolation d'après mesures)

-  > 50 000 µg/l
-  > 10 000 µg/l
-  > 5000 µg/l
-  > 1000 µg/l
-  > 500 µg/l
-  > 100 µg/l



■ Analyse des enjeux à l'extérieur du site.

- Enjeux 1: forte pression sur la ressource en eau car population dense et peu de ressources (en diminution),
- Enjeux 2: la cible affectée est la ressource en eau et les puits privés non déclarés dont **on ne maîtrise pas les usages**. Les nombreux pompages et la mise en route du nouvel AEP rendent le panache difficilement maîtrisable et prévisible!
- Enjeux 3: le loup est dans la bergerie, les médias s'emparent de l'affaire, pointent l'industriel (un des grands employeurs du secteur déjà sinistré) et le préfet monte au créneau.
- Les usages AEP (captage) et AEA sont maintenus sous réserve de contrôle.

■ Analyse des enjeux au sein de l'emprise du site.

- Enjeux 1: présence d'un source active non maîtrisée dans la zone non saturée qui alimente un panache affectant la ressource en eau et les usages (**impacts non maîtrisés**),
- Enjeux 2: dégradation de la valeur foncière et immobilière, processus de cession/vente.

■ **A l'extérieur du site: incompatibilité de l'Etat des Milieux avec les usages et enjeux IEM → mesures de gestion, Plan de Gestion**

- 1. Mesures mensuelles des concentrations en COHV dans les eaux, végétaux arrosés et foies des génisses abreuvées (services vétérinaires),**
- 2. Information aux populations, par le préfet et la commune, de l'interdiction de la consommation directe de l'eau au sein du périmètre 10 µg/l PCE+TCE , 0.5 µg/l CV (restrictions).**

■ Mesures de gestion des risques à l'extérieur du site

- **Reconquérir la qualité eau potable de la nappe au niveau des usages et protéger les AEP et in fine lever les restrictions d'usage-> action sur le panache (maîtrise des impacts),**
 - **Réalisation d'une analyse technico économique de faisabilité:**
 - Comparaison de 5 scénarios mettant en jeu un nombre variable de puits de pompage de fixation dans le panache couplés à d'éventuelles unités de traitement et différentes durées de traitement (2, 3 et 5 ans).
 - Contraintes de temps, contraintes de rejet air/eau, contraintes d'accès et foncière.
 - Modélisation prédictive → **Choix de la configuration optimale.**
 - **Parallèlement, un mémoire est émis par le BE proposant sur un argumentaire technique un programme de surveillance (évolution de la qualité des eaux, efficacité de la fixation et de la résorption):**
 - Position et nombre de puits/piézomètres surveillés,
 - Positions, typologie et nombre d'usages surveillés (végétaux, foies, eaux AEP),
 - Programme analytique appliqué,
 - Fréquences.
- le réseau de points d'accès à la nappe est renforcé par de nouveaux piézomètres



Traitement des eaux pompées par hydroéjecteur (60-70% d'efficacité) avant rejet des eaux au milieu naturel.

Les rejets de COHV vers l'air sont conformes à l'Arrêté du 08 février 1998.

Contraintes de rejets pris en compte dans l'analyse technico économique de faisabilité

- **Mesures de gestion au droit du site**

L'objectif recherché est **la maîtrise de la source et des transferts**

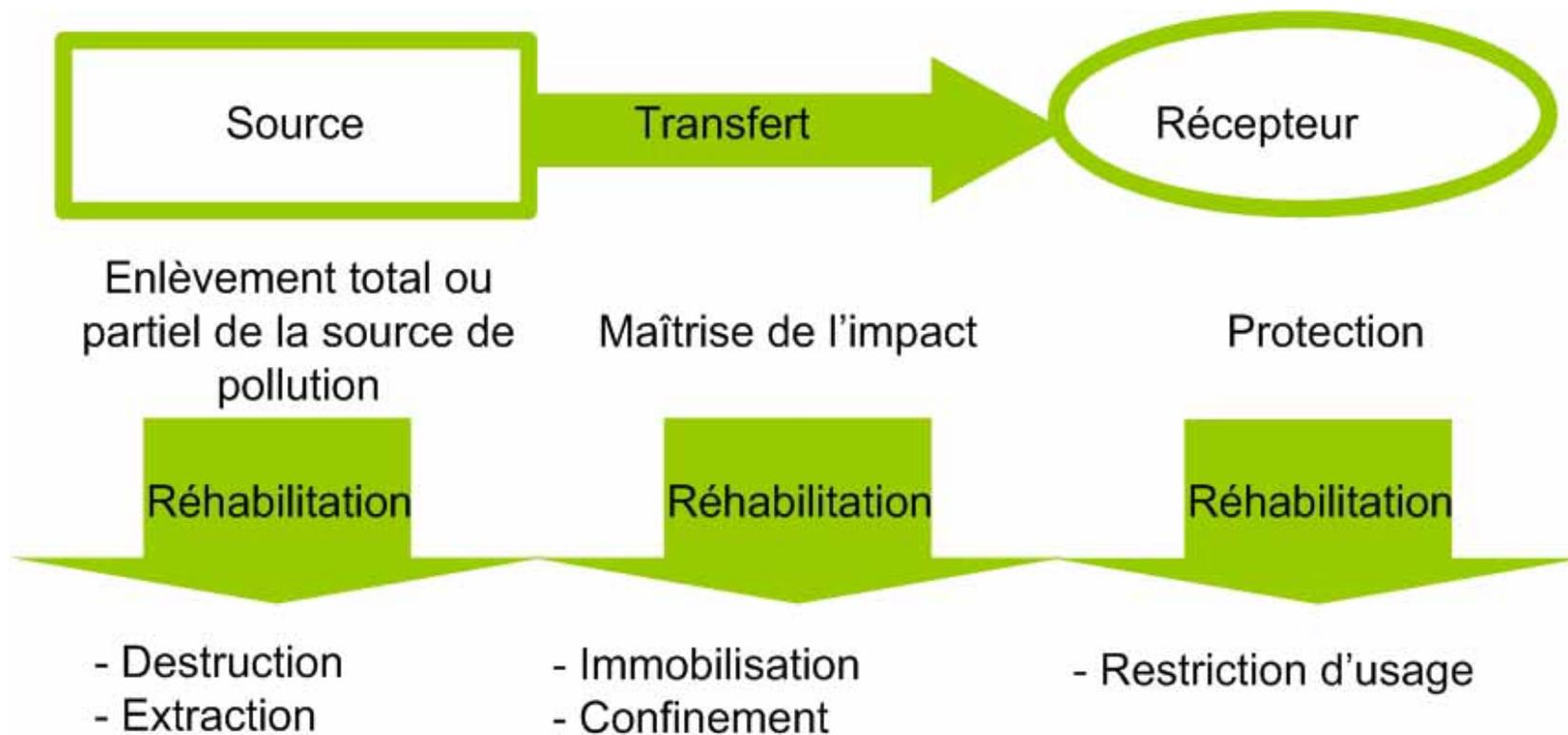
Priorité 1: couper le panache à sa racine par une action sur la source.

Le moyen de répondre aux objectifs: **bilan coûts avantage**

Les contraintes sont:

1. Techniques: géologie, hydrogéologie, position en zone saturée des polluants,
2. Environnementales et réglementaires : volatilité et potentiel danger élevés des polluants (chlorure de vinyle, TCE, PCE),
3. Socio politique: temps et délais liées à la pression/ l'impact médiatique, temps et délais liées aux négociations de cession.
4. Economiques: dépréciation de la valeur foncière. Préservation des fonctionnalités des superstructures industrielles (destinées à être vendues),

Les mesures de gestion



Deux variantes possibles pour la maîtrise des transferts:

- **Confinement physique par une paroi moulée passive:**
 - *Avantages: coûts de fonctionnement très réduits (surface imperméable),*
 - *Inconvénients: coûts d'investissement élevés, impacts forts sur le bâti existant, délais d'exécution importants, « mise au tombeau » mal perçue par les populations, les médias et les racheteurs,*
- **Confinement hydraulique par une barrière de pompage.**
 - *Avantages: coûts d'installation très réduits (les puits existent), rapidité de mise en œuvre, action de dépollution avec un impact positif sur média et populations, insertion aisée dans le bâti,*
 - *Inconvénients: coûts de fonctionnement et de surveillance élevés, nécessité d'une unité de traitement des eaux et éventuellement des gaz (si stripping),*
 - **Atténuation naturelle:** *non → panache influencé, concentrations élevées à la source, absence de confinement, mauvaise perception (« do nothing »).*

Critères	Maîtrise de la source et des transferts (eaux souterraines ; mesures curatives)			
	Pompage/stripping	Paroi moulée passive	Atténuation naturelle	Barrière perméable réactive ^(hors 1)
Techniques et organisationnels	8	3	2	3
Economiques	6	5	9	5
Environnementaux	5	5	7	7
Socio-politiques	9	2	2	6
Bilan	28	15	20	21

Analyse technico économique des variantes (l'actuel **bilan couts/avantages**) conduit à un confinement hydraulique en équipant les puits existants (nouveaux et anciens AEI) et en adaptant une unité de traitement des eaux (stripping).

La fosse de l'ancienne station de traitement est exploitée comme bassin collecteur.

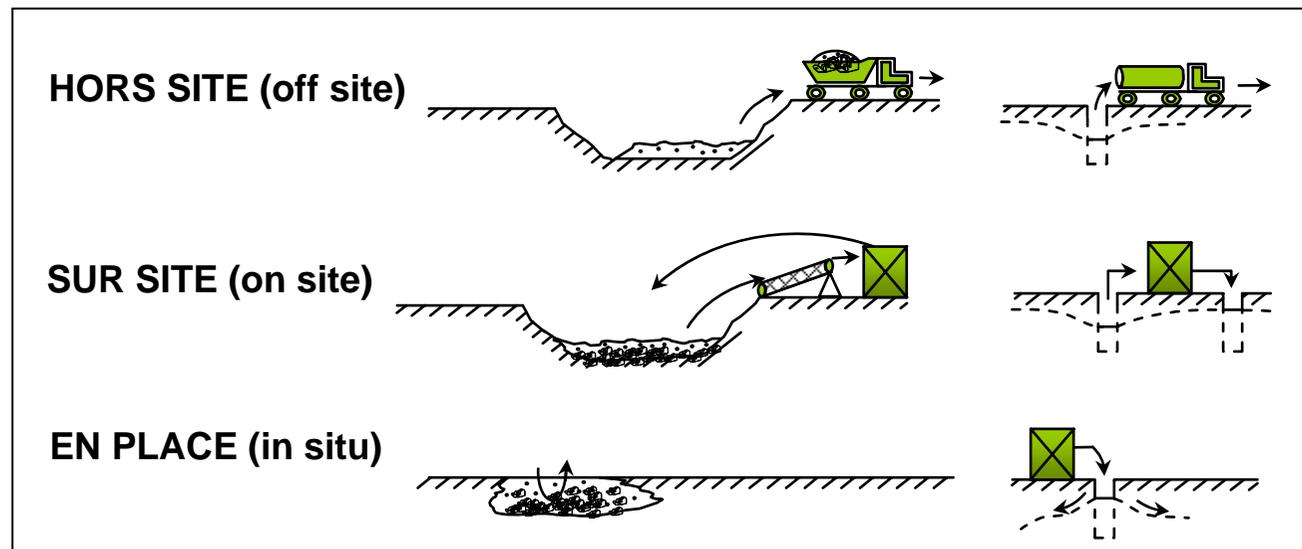
220 K€ d'investissement.

Un optimum est trouvé qui garantit la qualité du confinement et le respect des normes de rejet (air: Arrêté du 08/02/98 20 mg/m³ TCE, PCE et 2 mg/m³ CV, eau suite à une étude d'impact = ruisseau).

Une **action sur la source (stock relargable)** est elle possible? On limite les émissions au droit du site et donc le temps (coûts) de pompage sur la barrière hydraulique

Variantes possibles:

- *Venting « Soil Vapour Extraction » (on site),*
- *Traitement in situ par oxydation chimique (injection d'oxydants),*
- *Traitement in situ par biodégradation (déchloration réductive par injection de fermentescibles et bactéries spécialisées),*
- *Excavation et traitement on site ou off site (par ventilation en tas, désorption etc.).*



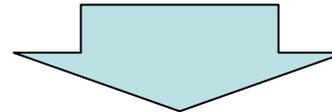
Un constat: à l'ouverture des têtes de puits, importantes bouffées de PCE gazeux:
→ dégazage ?

Des essais d'extraction des gaz du sol démontrent qu'un important stock de COHV peut être extrait de façon efficace (techniquement et économiquement) par **venting**. C'est une conséquence du dénoyage de la nappe par le confinement hydraulique. Les puits existants sont dimensionnés pour cette technique et adaptables.

Traitement in situ ?: non retenu → nécessite de nombreux nouveaux puits, phénomènes de « *biofouling* » et « *clogging* » qui risquent de perturber la barrière et le traitement des eaux. Technologie non mature au moment de l'étude.

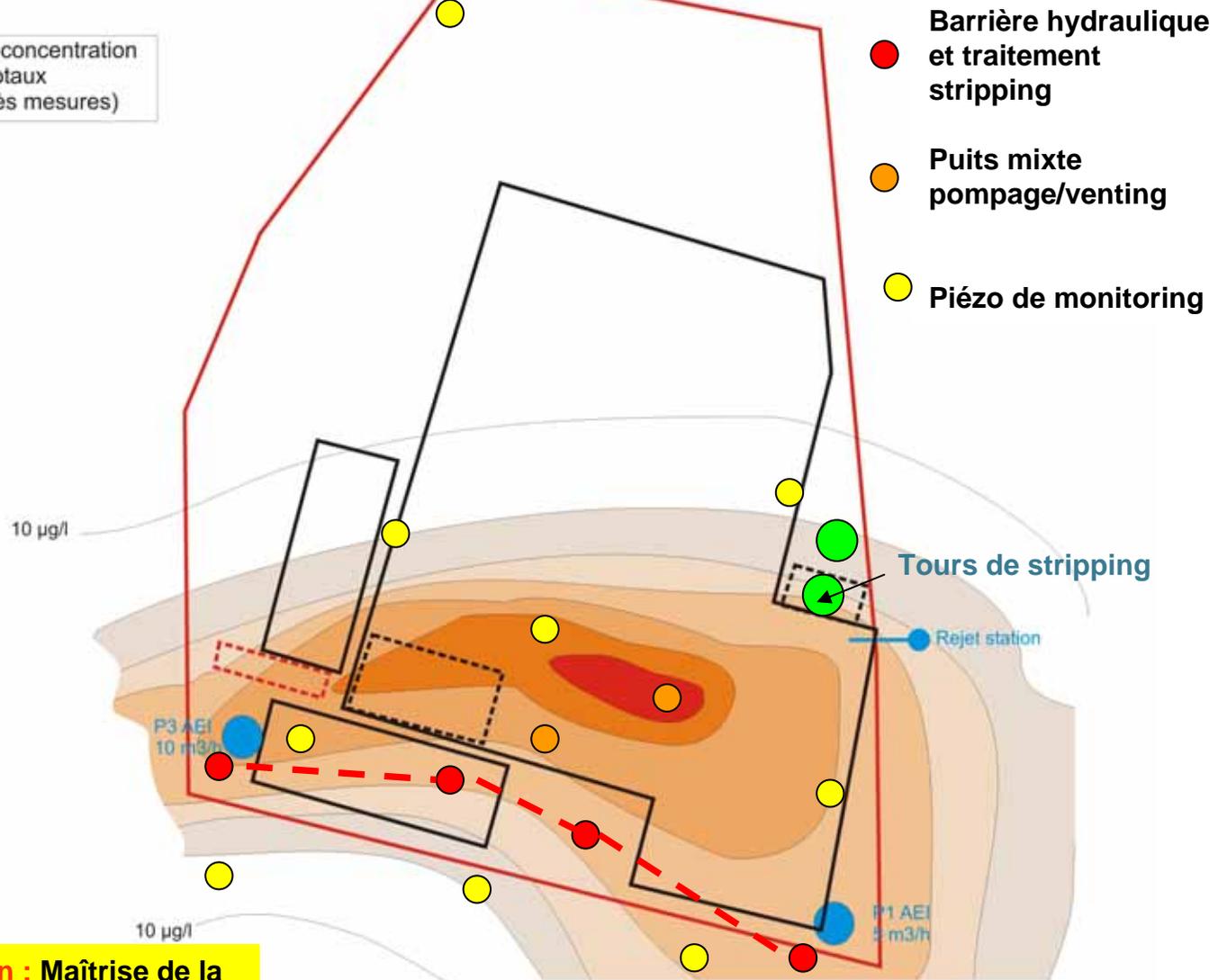
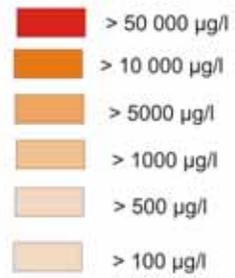
Excavation ?: non retenue → présence d'un bâti à préserver et contraintes de sécurité (volatils).

Choix final du venting modulable (50 k€).



Critères	Maîtrise de la source et des transferts (eaux souterraines ; mesures curatives)			
	Venting	Excavation et traitement on/off site	Oxydation in situ	Enhanced biodegradation
Techniques et organisationnels	8	3	4	3
Economiques	6	6	9	9
Environnementaux	6	5	4	6
Socio-politiques	8	9	7	8
Bilan	28	23	24	26

Représentation en isoconcentration
des COHV totaux
(extrapolation d'après mesures)



Plan de gestion : Maîtrise de la source = confinement hydraulique + dépollution

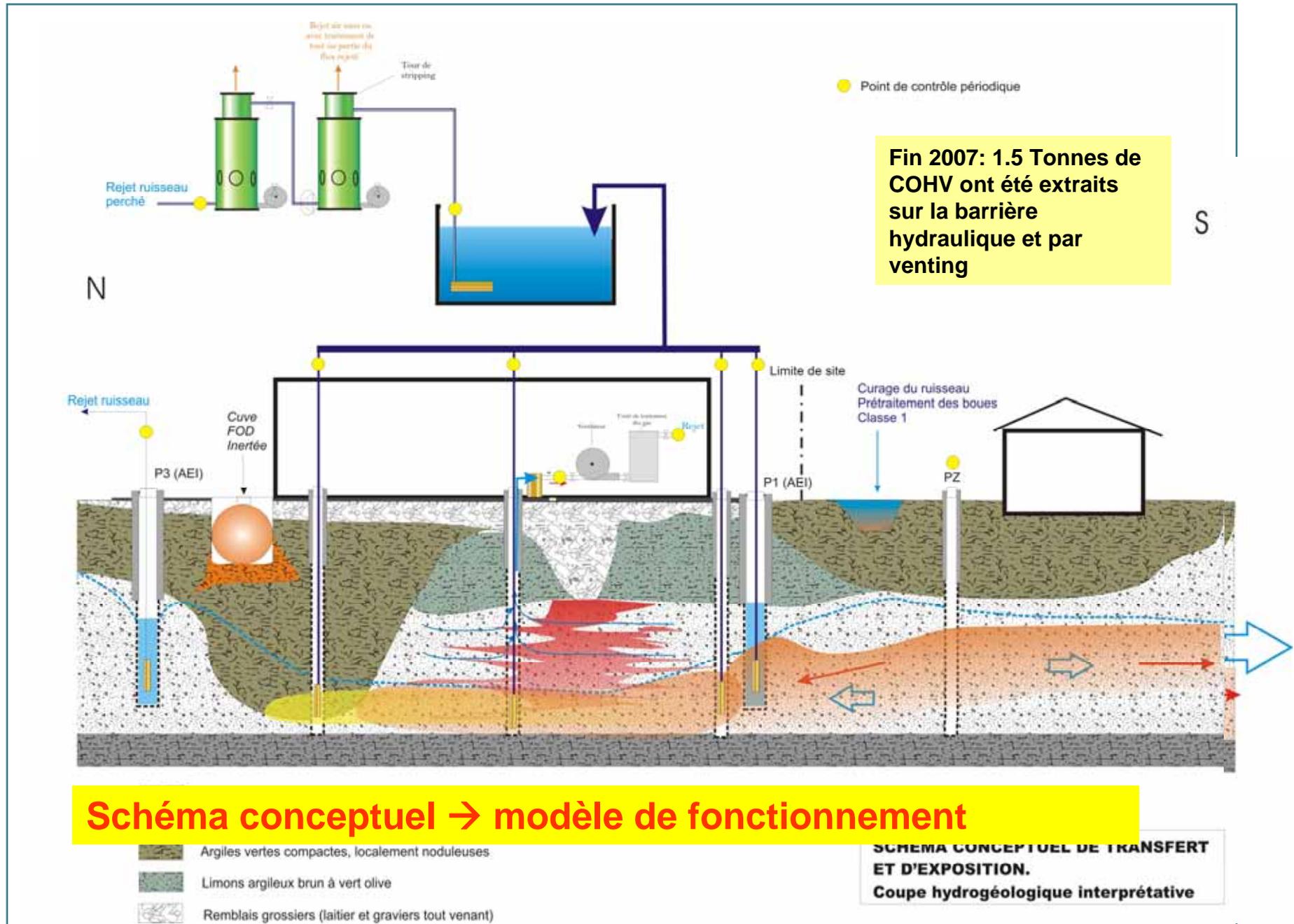


Schéma conceptuel → modèle de fonctionnement



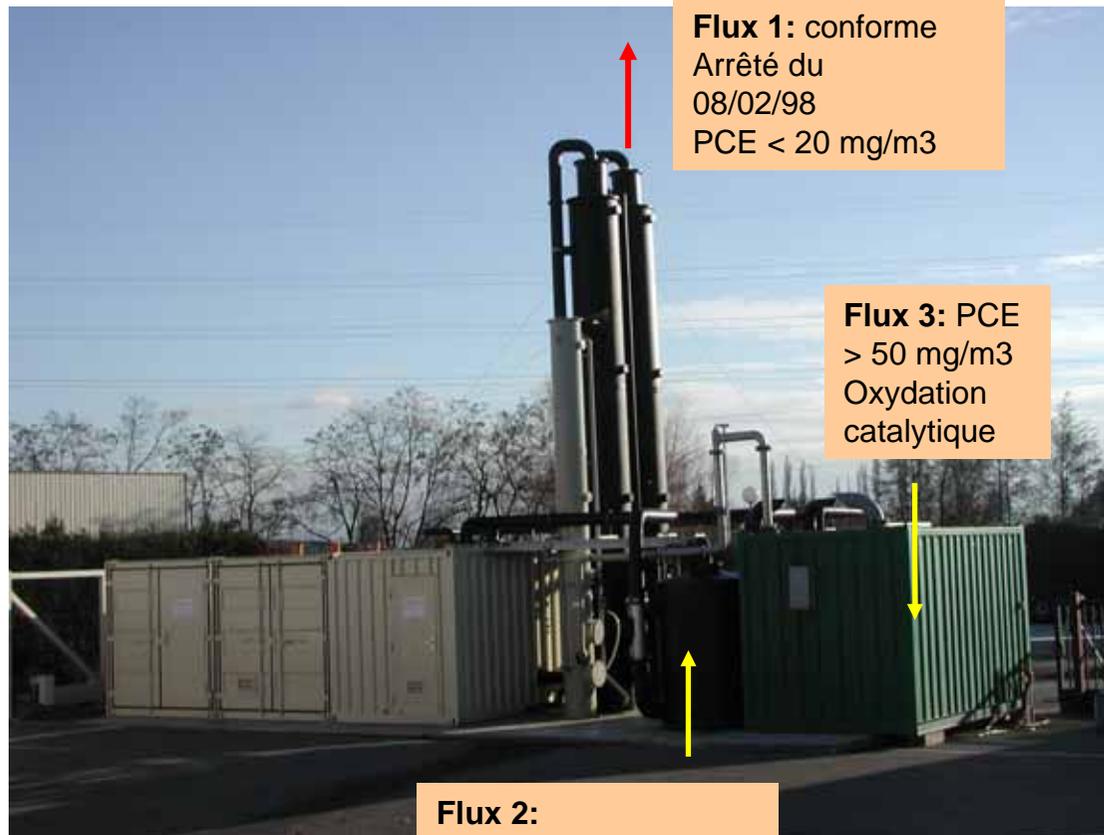
Si je comprends bien, vous transférez les solvants du sous sol, des eaux souterraines, vers l'atmosphère ?

■ Oui mais...

- Respect des critères de rejet de l'Arrêté intégré du 02 février 1998 pour l'air et les COHV. ERS → impact sanitaire
- Dans certains cas, la gestion des rejets doit être intégrée au bilan/coûts **avantages:** réalisation d'une analyse technico économique de faisabilité du traitement des effluents gazeux

Installation de dépollution:

- Venting à deux niveaux,
- Traitement des eaux pompées dans deux aquifères par stripping
- Bilan coût/avantage sur le traitement et optimisation du couple extraction/rejets**



Flux 1: conforme
Arrêté du
08/02/98
PCE < 20 mg/m³

Flux 3: PCE
> 50 mg/m³
Oxydation
catalytique

Flux 2:
20 > PCE > 50 mg/m³
Charbon actif

- **Et le ruisseau ?**

- **L'industriel prend l'initiative de curer le ruisseau sur 2.5 km.**

Bilan coûts avantages → CSDU classe 1 après prétraitement sur site par dessiccation et concentration des phases polluantes.

1400 m3 de sédiments et 590 t de produits en sortie de filtre presse évacuées en décharge autorisée (Allemagne).

Coût global 485 k€

BILAN DES COUTS (1)

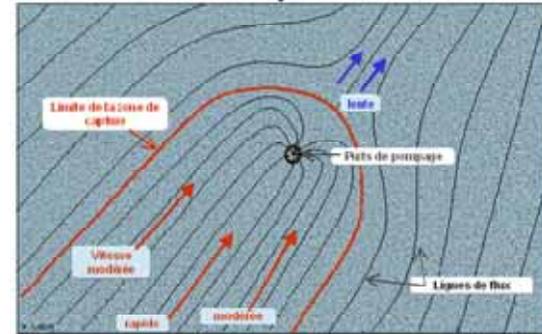


BARRIERE HYDRAULIQUE DE MAITRISE DES TRANSFERTS + UNITE DE TRAITEMENT DES EAUX PAR STRIPPING :

- Installations initiales (1ère barrière hydraulique, puits, canalisations, câblages et mise en place des tours de stripping),
- Création et raccordement de deux nouveaux puits au cœur zone polluée en 2007
- Location/ entretien / suivi / maintenance/ contrôle du dispositif de traitement des eaux sur 3 années pleines.

Coût = **640 k€H.T.** pour 500 000 m³ d'eau extraite et traitée (soit env . 1,3 €HT par m³ extrait) et **320 €HT par kg de COHV extrait** (un peu plus de 2 tonnes à ce jour).

BILAN DES COUTS (2)



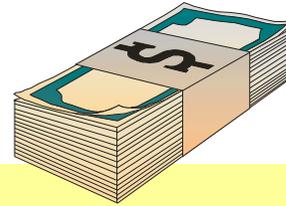
PUITS DE FIXATION AVAL, RESORPTION DU PANACHE ET MAITRISE DES IMPACTS HORS SITE:

- Création de 3 puits de fixation de la nappe,
- Installations de pilotage et de traitement des eaux associées (stripping par hydro-éjecteurs), y.c. raccordements électriques et frais de location/ entretien / suivi / maintenance / contrôle du dispositif de traitement des eaux sur 2 années pleines.

Coût = **300 k€H.T.** pour 173 000 m³ d'eau extraite et traitée (soit env . 1,7 €HT par m³ extrait) et 10 kg de COHV extraits !!!

→ ce coût n'est pas représentatif de la réalité car le coût d'installation est de 250 k€ sur les 300. Le prix de revient au m³ va rapidement chuter dans les années à venir.

BILAN DES COUTS (3)



MAITRISE DE LA SOURCE, VENTING :

- location du matériel, achat et le traitement du charbon actif usagé,
- surveillance /suivi /etc ...

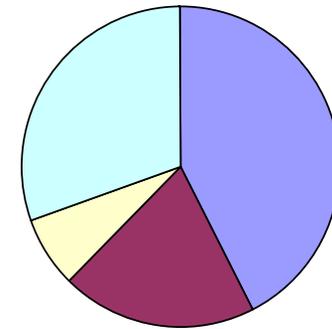
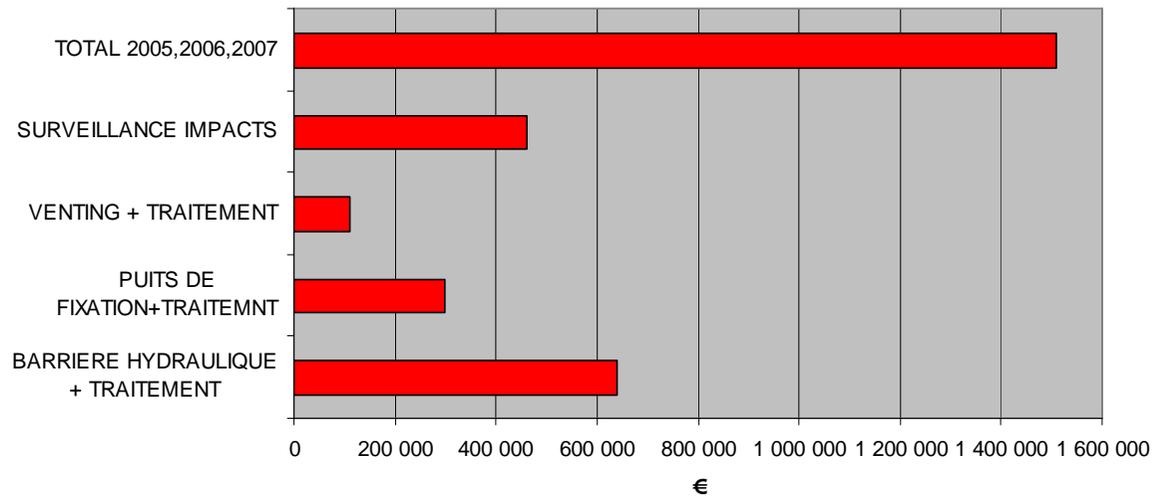
110 K€HT pour 2 années pleines de fonctionnement et environ 150 kg de COHV extraits (NB d'autres composés organiques sont également présents dans les gaz et traités sur CAG).

SURVEILLANCE , MAITRISE DES IMPACTS (eaux et légumes,) :

- Légumes : 30 k€ sur 3 ans
- Eaux : 430 k€ht sur 3 ans pour 45 points de contrôles hebdomadaires, bimensuels ou mensuels.

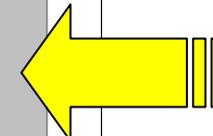
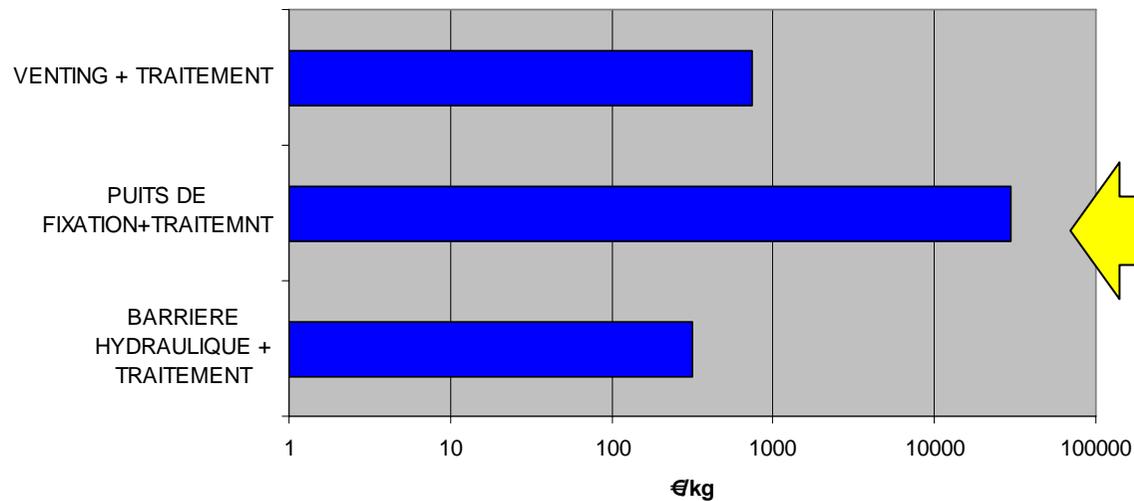
Analyses imposées dans un laboratoire agréé Santé Publique par la DDASS. Soit un prix de revient par échantillon de 90 € environ incluant le pompage/prélèvement/ conditionnement / transport / CR et commentaires (y.c. cartes associées).

Coûts d'installation + fonctionnement 2005,2006, 2007



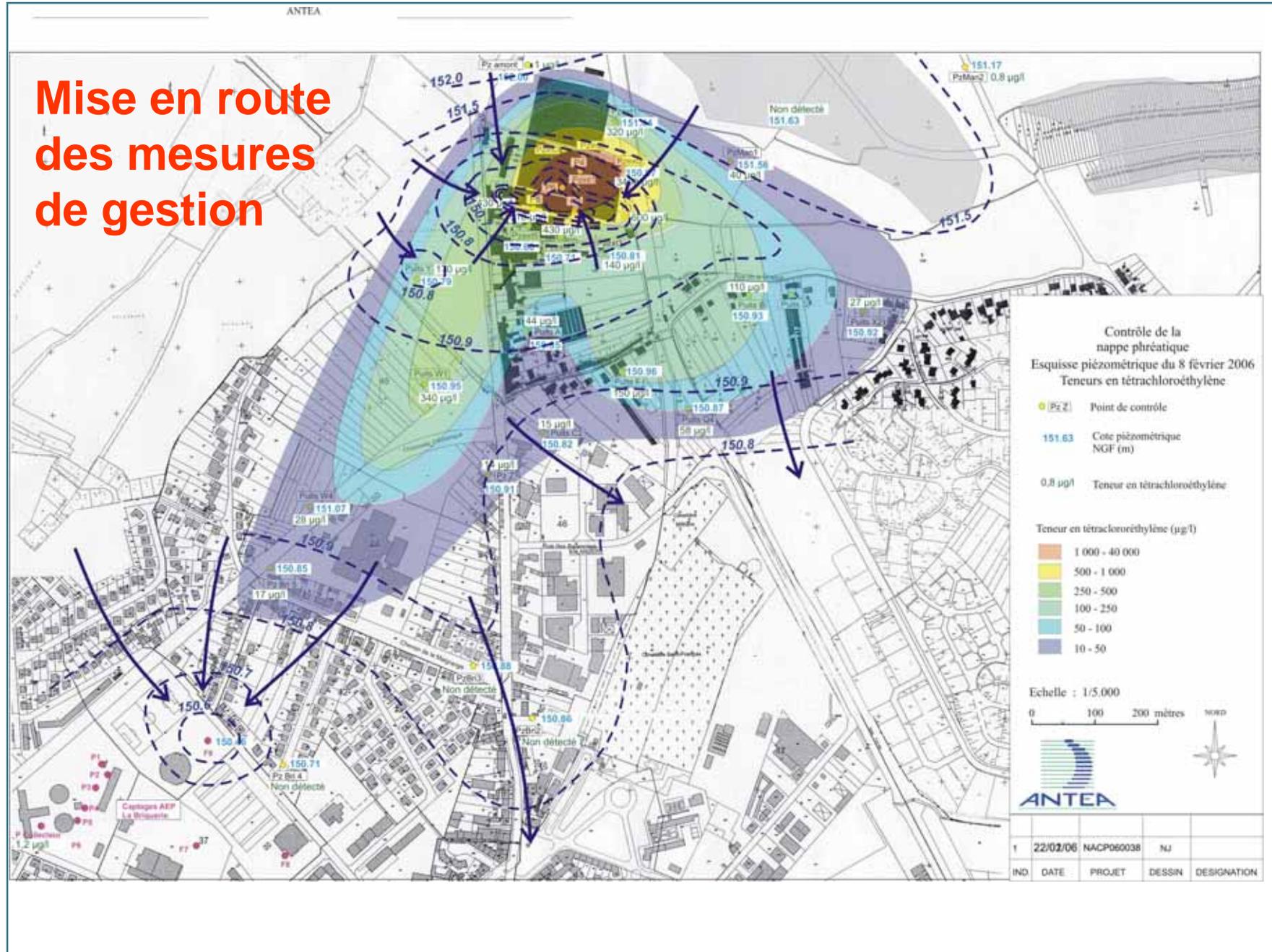
- BARRIERE HYDRAULIQUE + TRAITEMENT
- PUIITS DE FIXATION+TRAITEMNT
- VENTING + TRAITEMENT
- SURVEILLANCE IMPACTS

coût du kg de COHV extrait

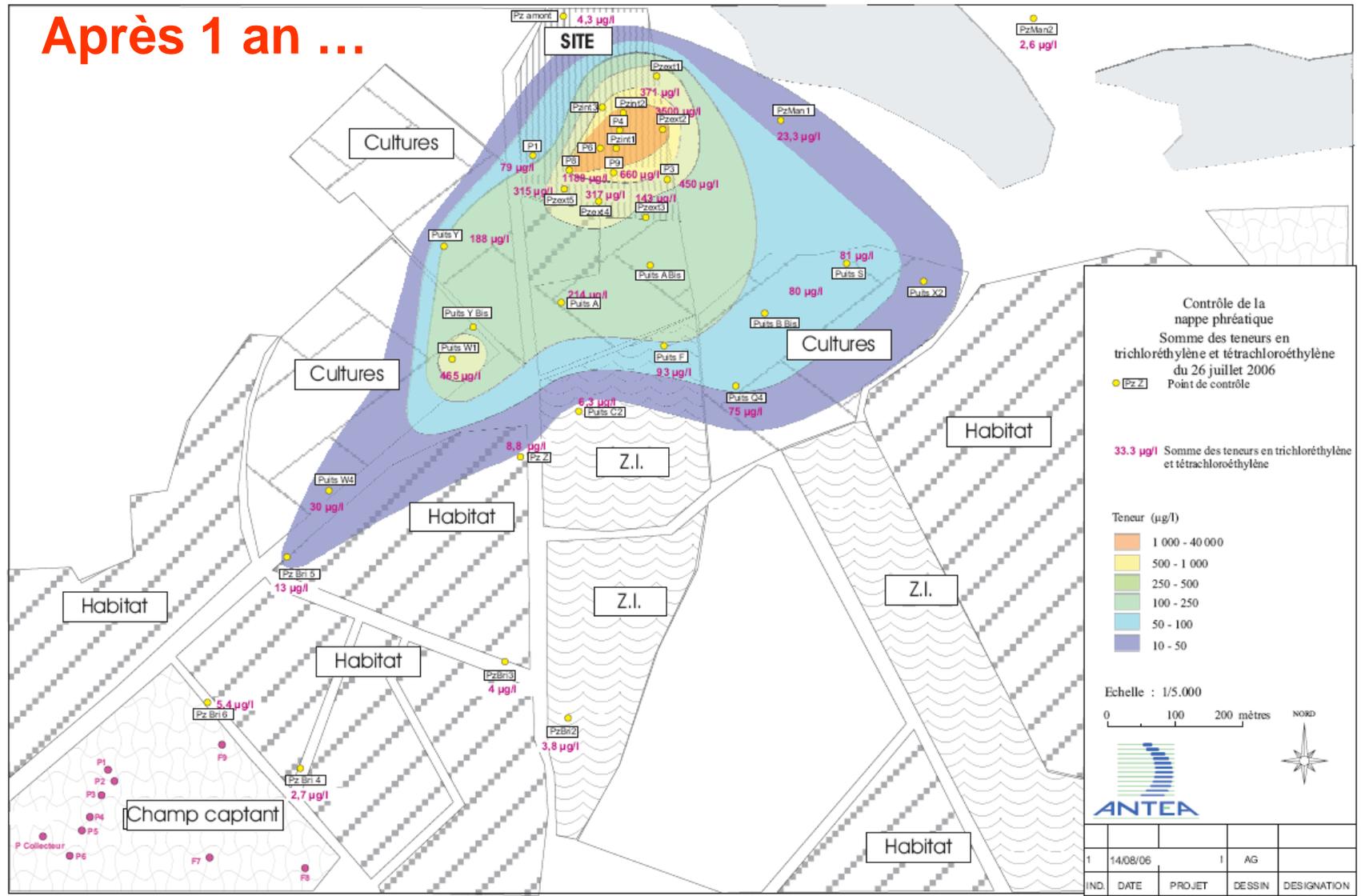


PREVENTION DES IMPACTS A L'EXTERIEUR DU SITE!!

Mise en route des mesures de gestion

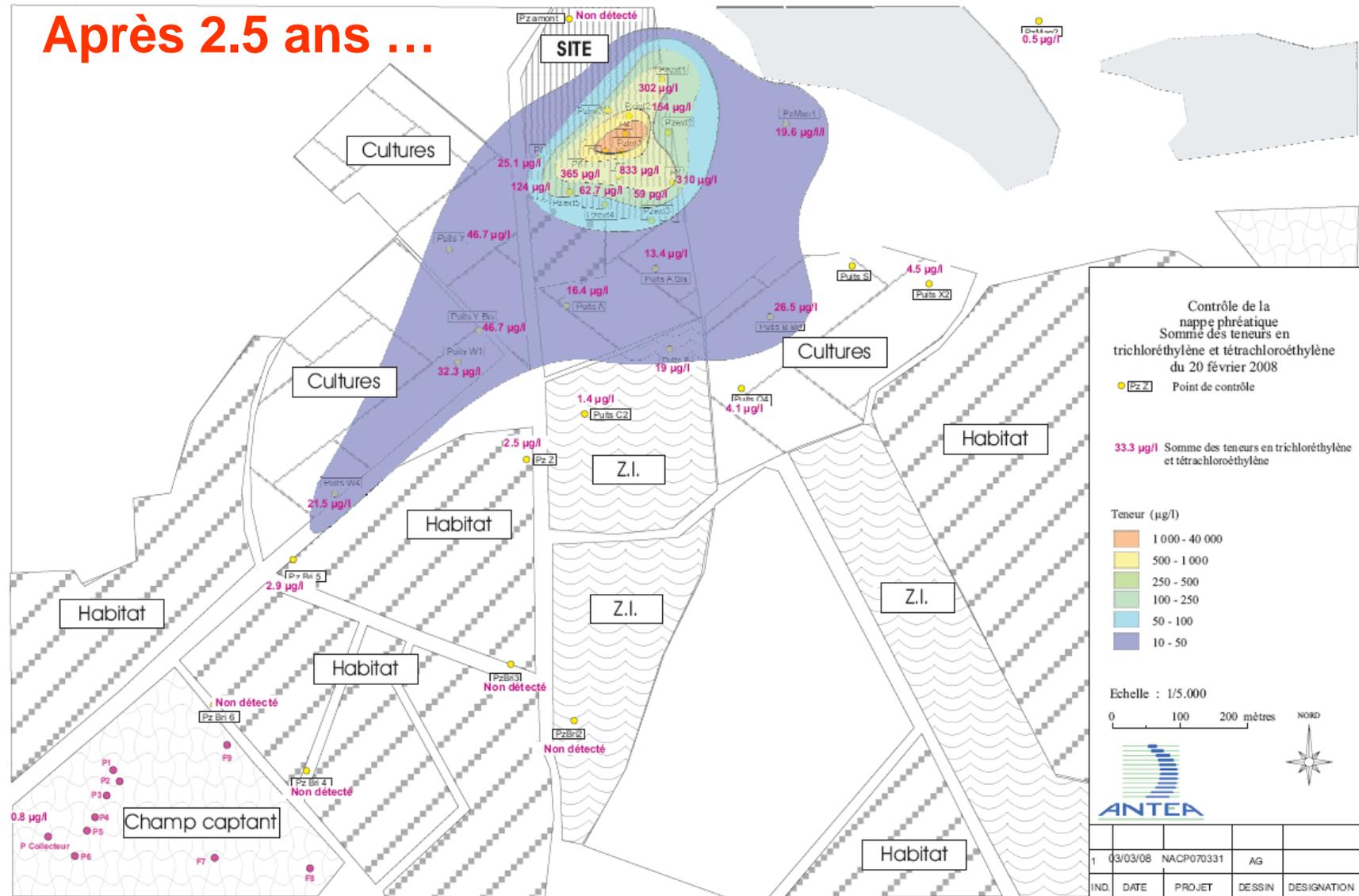


Après 1 an ...



PCE + TCE

Après 2.5 ans ...



PCE + TCE

L'AVENIR

1. **Le bilan coût avantage** évolue avec l'évolution des opérations et de l'état des milieux: d'autres technologies pourront être envisagées en soutien, complément ou substitution pour la dépollution du site et de son environnement (atténuation naturelle, oxydation in situ, etc.). Dans le cas présent, la priorité est la maîtrise de la source et des impacts. Une mesure s'inscrit toujours dans une stratégie globale de dépollution.
2. **Poursuite de la surveillance des milieux et points d'exposition** en adaptant le programme aux enjeux et à l'évolution de la situation (« bilan quadriennal »)

Principales difficultés:

Estimation des concentrations résiduelles acceptables (et donc des risques résiduels acceptables → ARR) au sein d'une source historique en zone saturée et difficile à quantifier → incertitudes sur les durées de dépollution.

ARR de validation du PG: à l'arrêt de la barrière hydraulique, estimation du stock résiduel de COHV au droit du site sans impacts sur les usages des eaux à l'aval et compatible avec l'usage actuel du site. Modélisation sur la base des constats des mesures.

Constat d'atteinte des objectifs de dépollution dans un milieu dynamique et très sollicité comme la nappe phréatique AEP/AEA (effets de rebonds ?).

Merci pour votre attention !

