



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

Démarche d'Interprétation d'Etat des Milieux (IEM) & la gestion en absence de valeurs VDSS et VCI

Daniel HUBE (BRGM) & Laurent ROUGIEUX (ANTEA)

*MEDAD, 02 avril 2008*

**ANTEA**

Ingénierie et Conseil

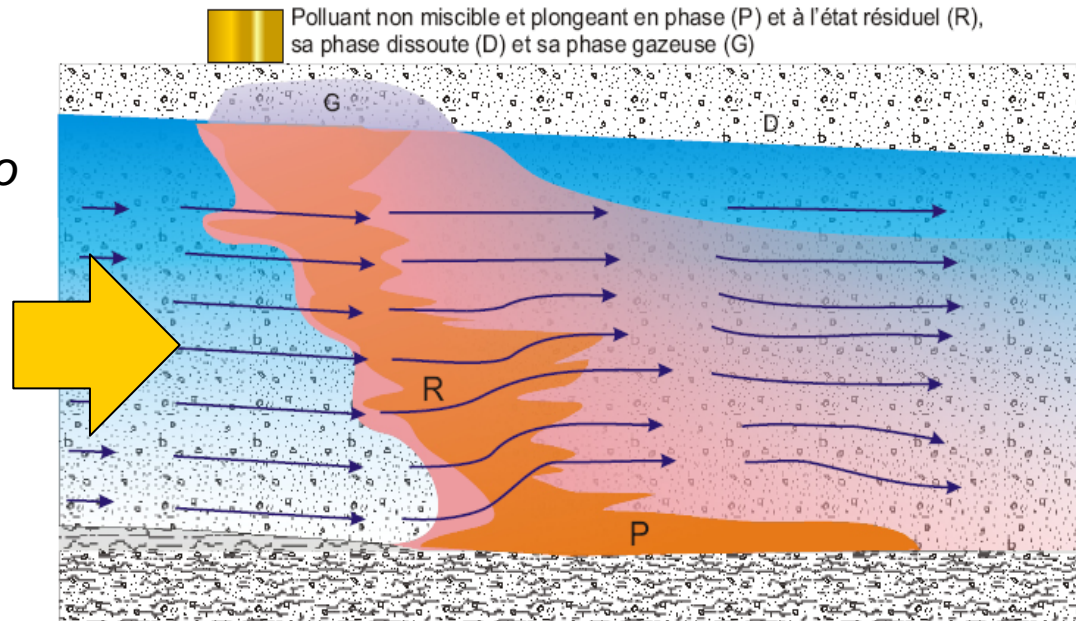


BRGM

jeudi 3 avril 2008

• **Source en zone saturée** : phase

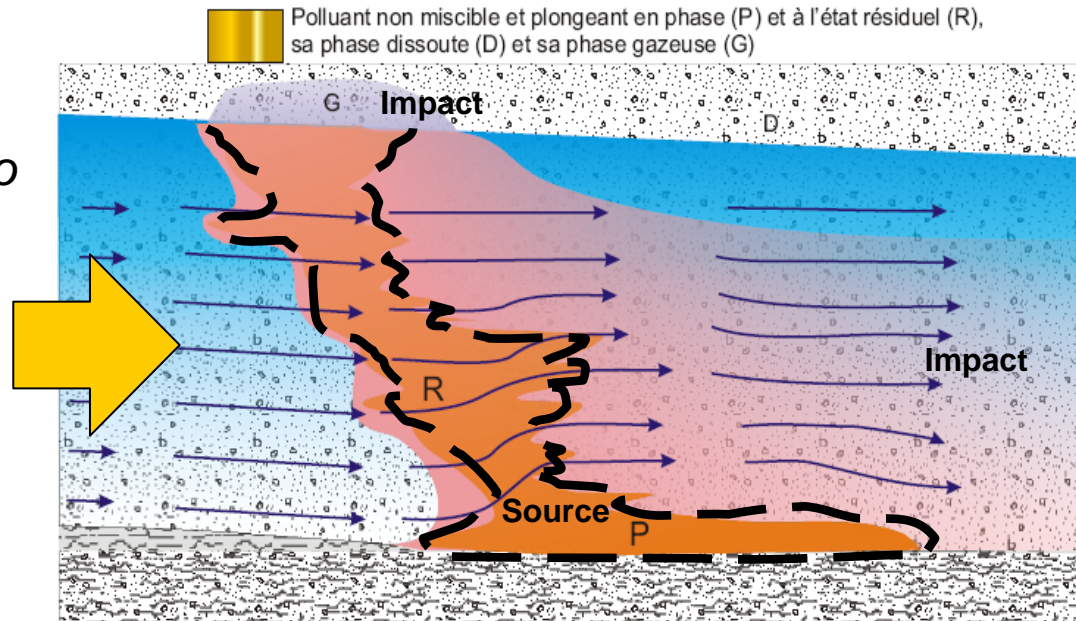
*plongeante continue ou micro dispersée dans la porosité d'un réservoir aquifère. Source difficile à délimiter et localiser. Fort potentiel d'émission sur de longues périodes de temps (> 100 ans). Solvants chlorés, créosote, etc.*



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

• **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)

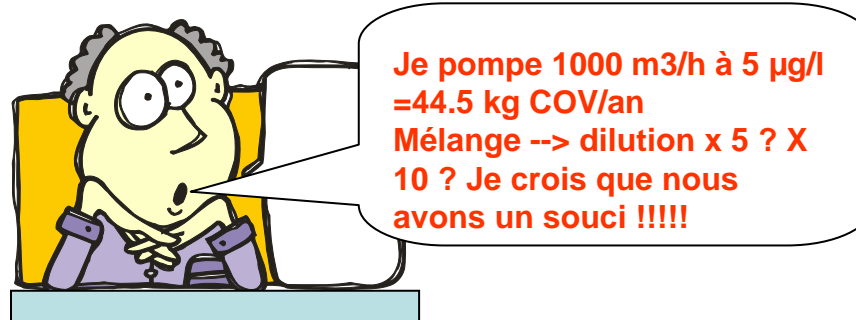
## > CONTEXTE

- **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.**

**BRGM, 4 mars 2008**

## > LES PREMIERS CONSTATS!

- 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).



- Le BE en charge du montage du dossier de cessation d'activité applique pour le contrôle de la qualité des eaux au droit du site, un pack analytique standard regroupant métaux, HCT, HAP et COHV
- Stupéfaction à la réception des résultats: 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.

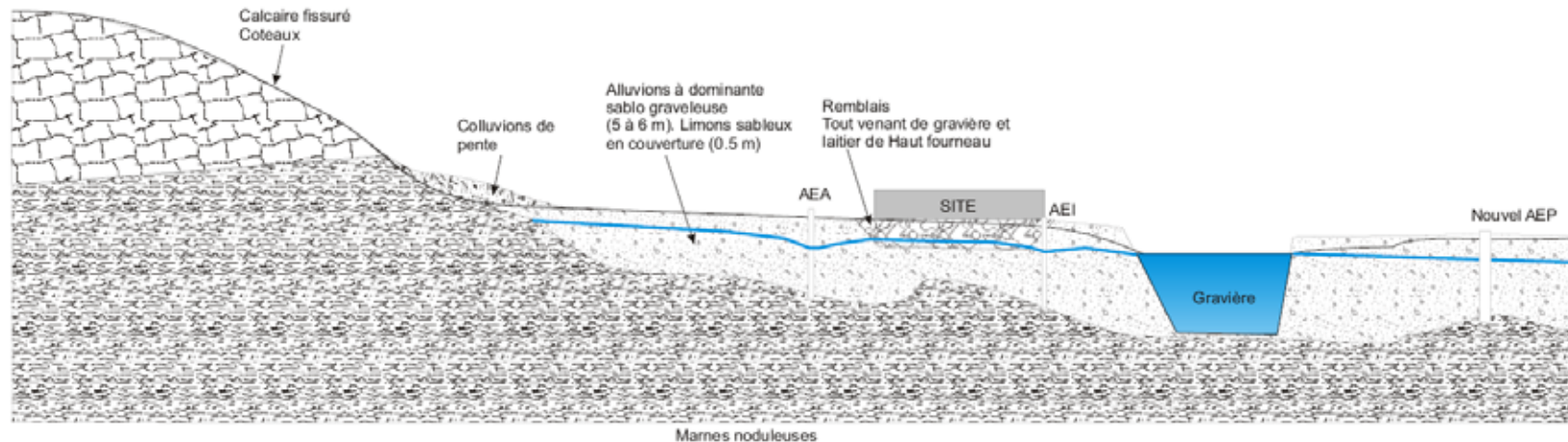
## > LES PREMIERES DEMANDES!

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 »*

- **La pollution reconnue au droit du site est elle susceptible de nuire aux usages constatés à l'extérieur du site ?**
- **Les traces de COHV détectées au captage AEP sont elles en relation avec le site ?**
- **La situation est elle susceptible d'évoluer et comment ?**

- Réalisation d'une **étude de vulnérabilité** et d'une étude historique en complément à celles réalisées dans le cadre de l'ESR:
  - Contexte hydrogéologique classique de zone alluviale. Nappe phréatique alluviale d'accompagnement de la rivière avec des écoulements localement perturbés par des chenaux graveleux et du fait de pompages AEP, AEI et AEA aux prélèvements variables durant l'année (puits déclarés en BSS). Par ailleurs, un nouvel AEP va être mis en route à l'Est du site. Ces puits captent tous la nappe des Alluvions,
  - Pompage AEI de 15 m<sup>3</sup>/h au droit du site par deux anciens puits en mauvais état,

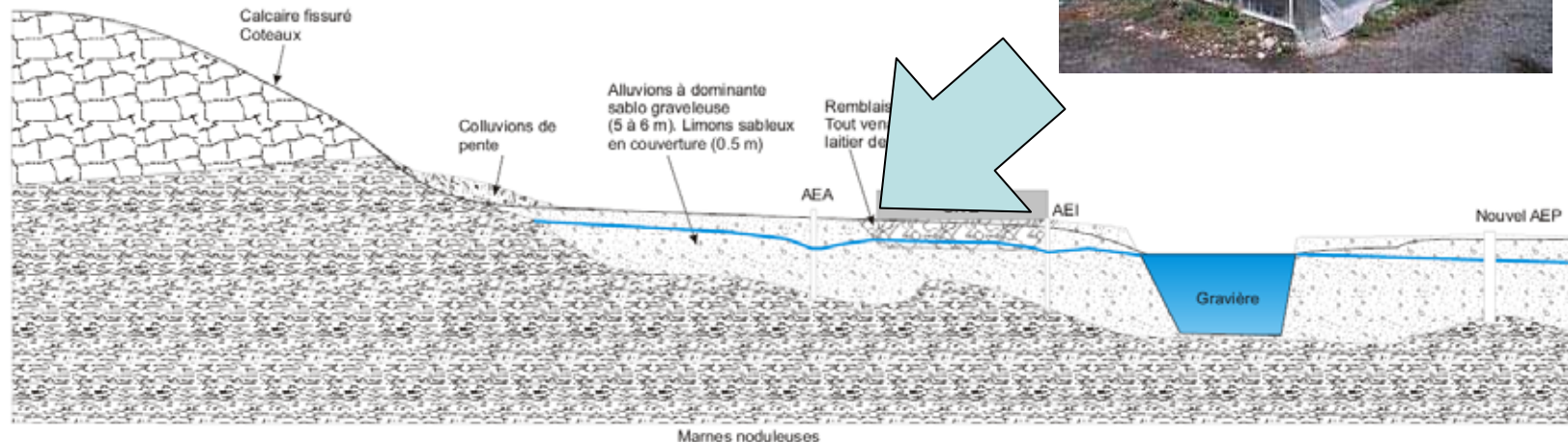


- **Visite de terrain:**

- Les puits AEA déclarés sont exploités par deux maraichers pour l'arrosage par sprinklage sous serre, et par un éleveur de vaches à viande destinées à la consommation humaine,
- On dénombre jusqu'à 120 puits privés non déclarés répartis dans la zone résidentielle et des jardins ouvriers dans le proche environnement du site.

- Réalisation d'une **étude de vulnérabilité** et d'une étude historique en complément à celles réalisées dans le cadre de l'ESR:

- Contexte hydrogéologique classique de zone alluviale. Nappe phréatique d'accompagnement de la rivière avec des écoulements localement rapides et graveleux et du fait de pompages AEP, AEI et AEA aux prélèvements (puits déclarés en BSS). Par ailleurs, un nouvel AEP va être mis en place qui captent tous la nappe des Alluvions,
- Pompage AEI de 15 m<sup>3</sup>/h au droit du site par deux anciens puits et

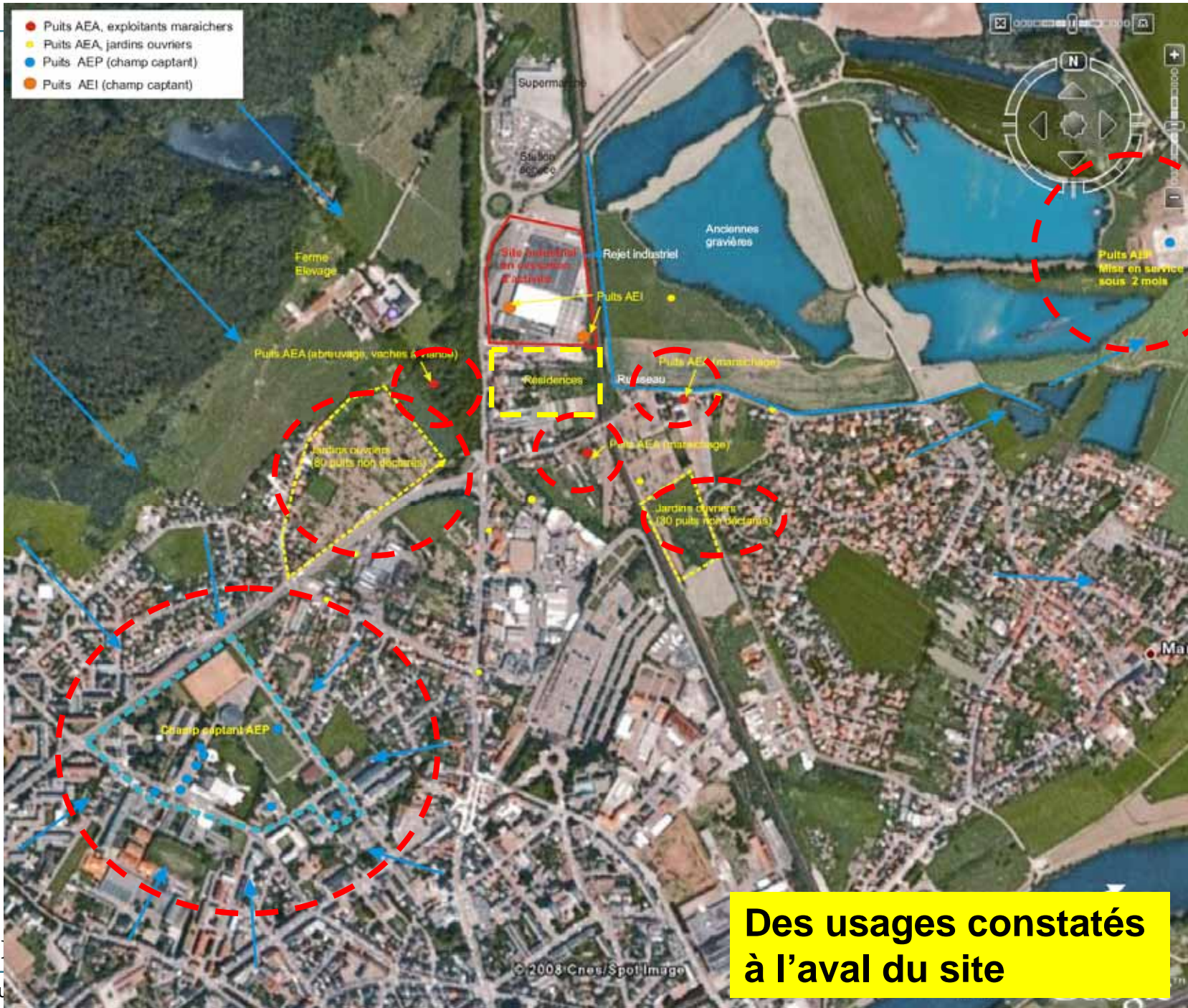


- Visite de terrain:

- Les puits AEA déclarés sont exploités par deux maraichers pour l'arrosage par sprinklage sous serre, et par un éleveur de vaches à viande destinées à la consommation humaine,
- On dénombre jusqu'à 120 puits privés non déclarés répartis dans la zone résidentielle et des jardins ouvriers dans le proche environnement du site.

BRGM, 4 mars 2008



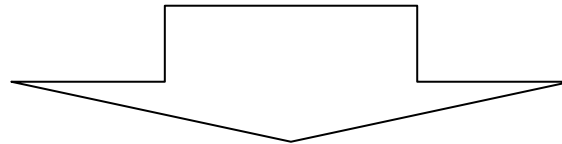


B  
jeu

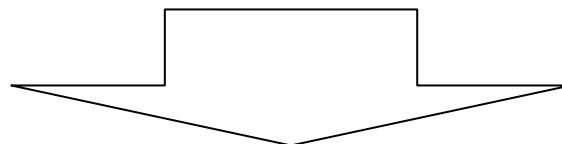




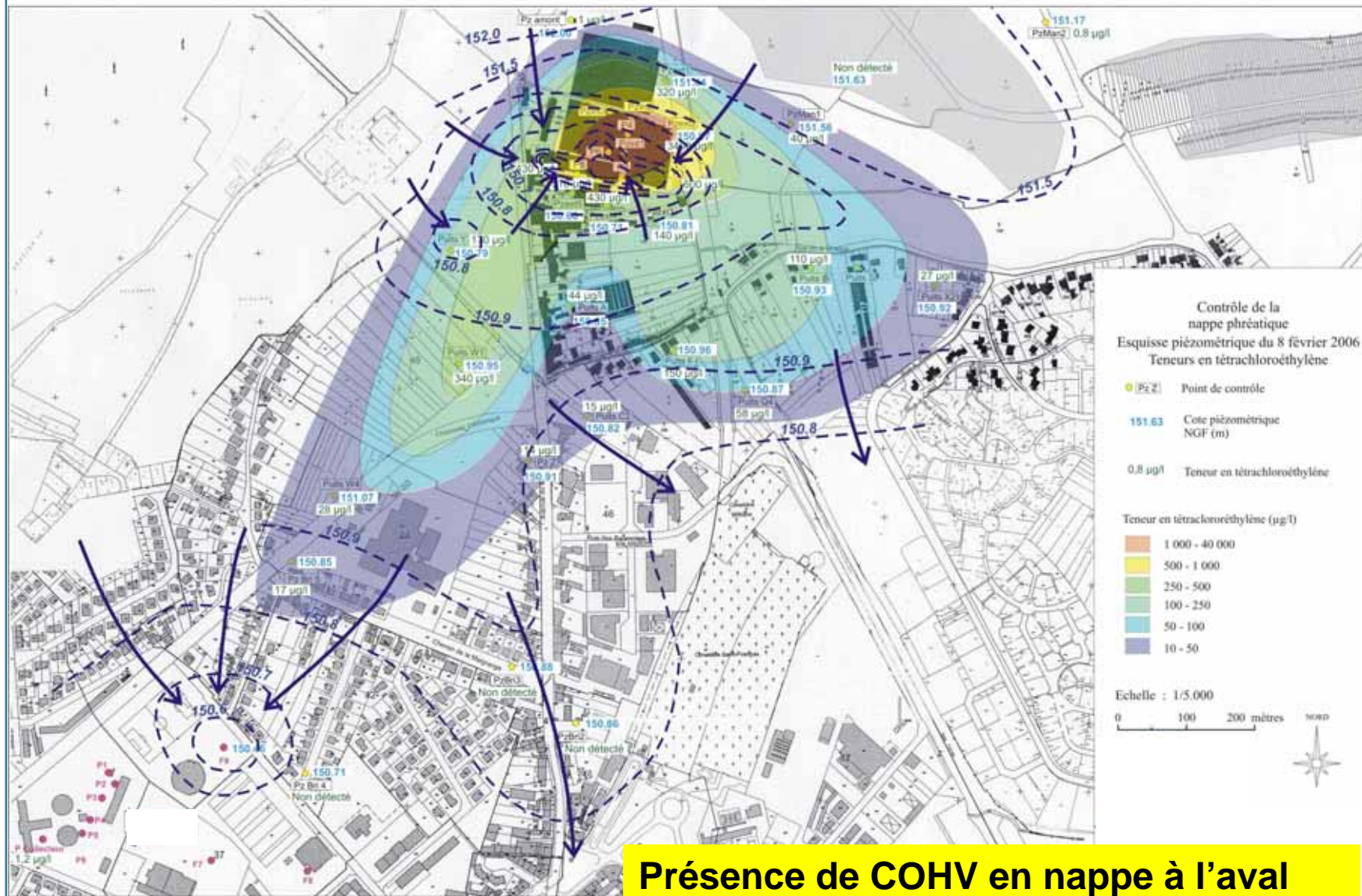
- **Priorité 1: mesure des concentrations en COHV (dont le chlorure de vinyle) au niveau des puits cibles (points d'exposition), mesure de la piézométrie au niveau des points d'accès à la nappe**
  - **La question posée : y a-t-il un impact du site à l'extérieur, au niveau des usages constatés des eaux souterraines, en quelque sorte, le stock de COHV mis en évidence en nappe au droit du site est-il capable d'échapper à la fixation des puits AEI du site?**



- **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.**



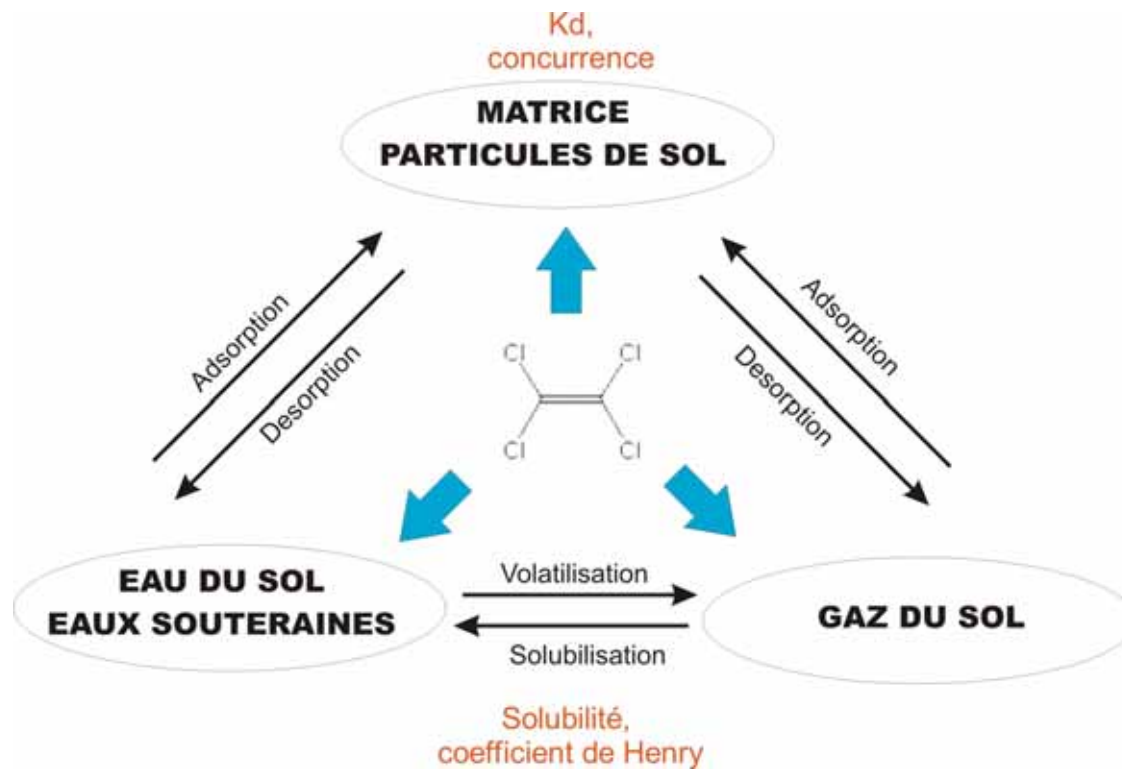
**Et alors ?**



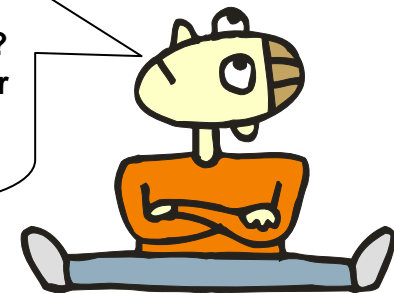
BRGM, 4 mars 2008

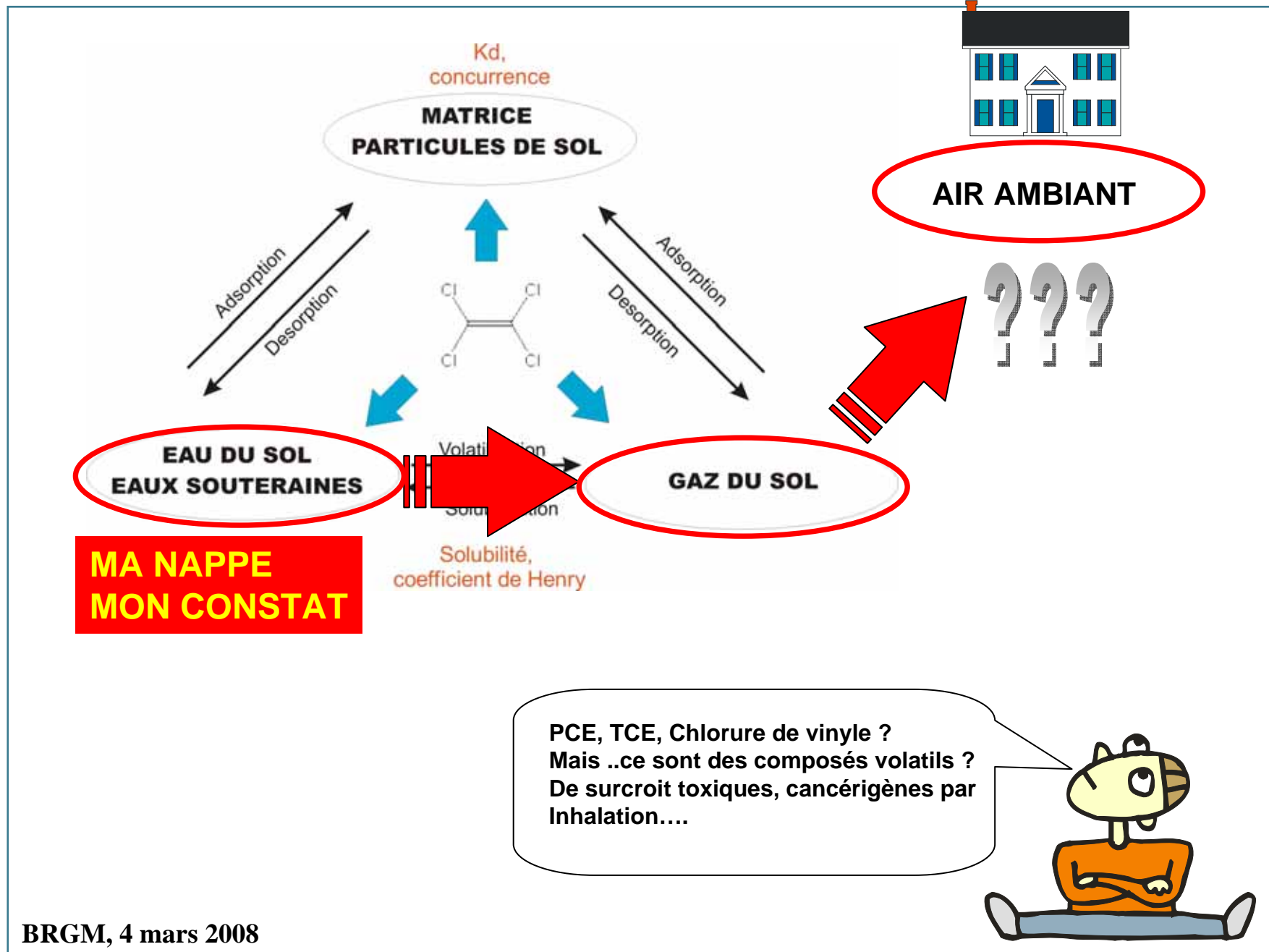
jeudi 3 avril 2008

> 13



PCE, TCE, Chlorure de vinyle ?  
 Mais ..ce sont des composés volatils ?  
 De surcroit toxiques, cancérigènes par  
 Inhalation....



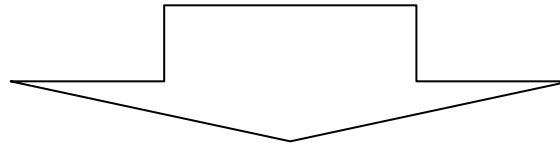


BRGM, 4 mars 2008

jeudi 3 avril 2008

- **Priorité 2: s'il existe des émissions de COHV dans les eaux souterraines, mesure des concentrations en COHV (dont le chlorure de vinyle) sous forme gazeuse au niveau des **points d'exposition** hors site (lieux de vie et caves des résidences en aval direct du site)**

- **La question posée est la suivante: les COHV contenus dans la nappe phréatique sont ils susceptibles de contaminer l'air du sol par dégazage et de pénétrer par diffusion et convection dans l'air intérieur des résidences?**



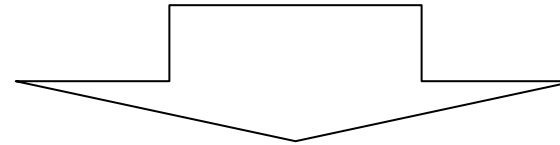
- **Mesure des gaz du sol à 1 m de profondeur en aval direct du site et à proximité immédiate des premières habitations,**
- **Prélèvements simultanés sur 24 heures d'air ambiant de 3 caves (dont une cave au sol en terre battue) et analyse au laboratoire des COHV (PCE, TCE, CIS et CV). Méthode active et directe Summa Canister. D'autres activités de l'environnement du site sont susceptibles d'émettre du TCE et du PCE (blanchisserie, garages mécaniques, etc.)→ réalisation de 2 « blancs » d'air extérieur. Les Limites Inférieures de Quantification demandées sont issus d'un calcul sécuritaire d'EQRS.**





SUMMA CANISTER. Aperçu photographique  
Méthode directe dynamique.  
Canister de 6 litres remplis en 24 heures. On analyse  
le gaz directement

- Absence de COHV dans les gaz du sol à proximité immédiate du site (puissante couche d'argile en couverture de la nappe).
- Absence de COHV à des concentrations supérieures aux LIQ dans l'air ambiant intérieur et extérieur au moment du prélèvement.



**Et alors ?**

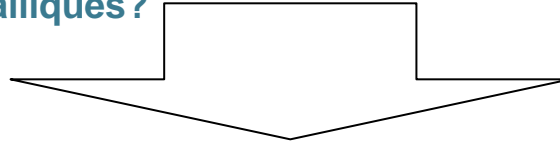
**BRGM, 4 mars 2008**

jeudi 3 avril 2008

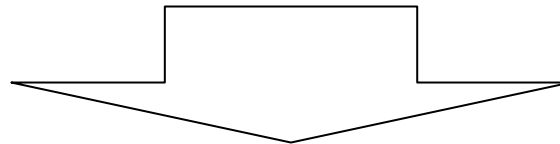
> 17

- **Priorité 3: mesure des concentrations en COHV (dont le chlorure de vinyle) des HCT et métaux au niveau du ruisseau**

- La question posée est la suivante: les AEI au droit du site ne transfèrent ils pas la pollution organique vers les eaux de surface?
- La question posée est la suivante: les sédiments du ruisseau ne sont ils pas susceptibles d'accumuler ou d'avoir accumulé de par le passé des polluants organiques et/ou métalliques?



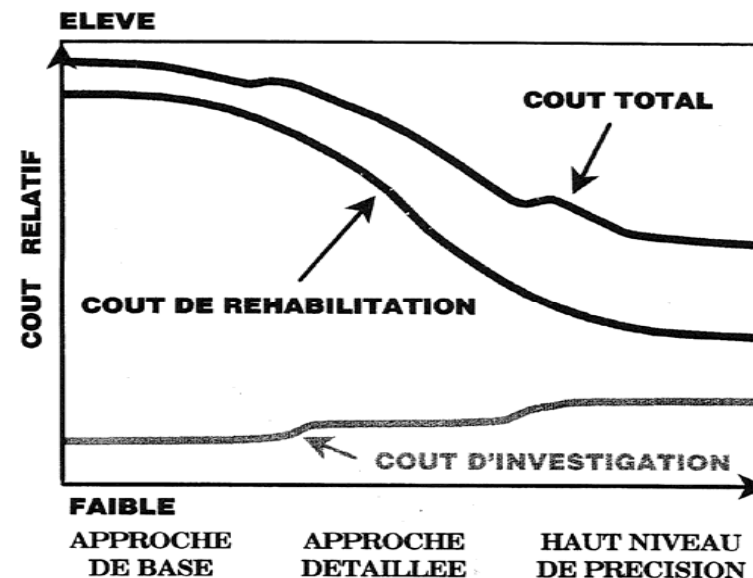
- **Les concentrations en COHV des eaux sont faibles du fait de la volatilisation dans le rejet gravitaire en sortie de puits.**
- **Les sédiments du ruisseau ont accumulé des métaux lourds (Ni, Cu, Cr, etc.) et des hydrocarbures (huiles) correspondant aux anciens rejets industriels, sur plus de 2.5 km.**

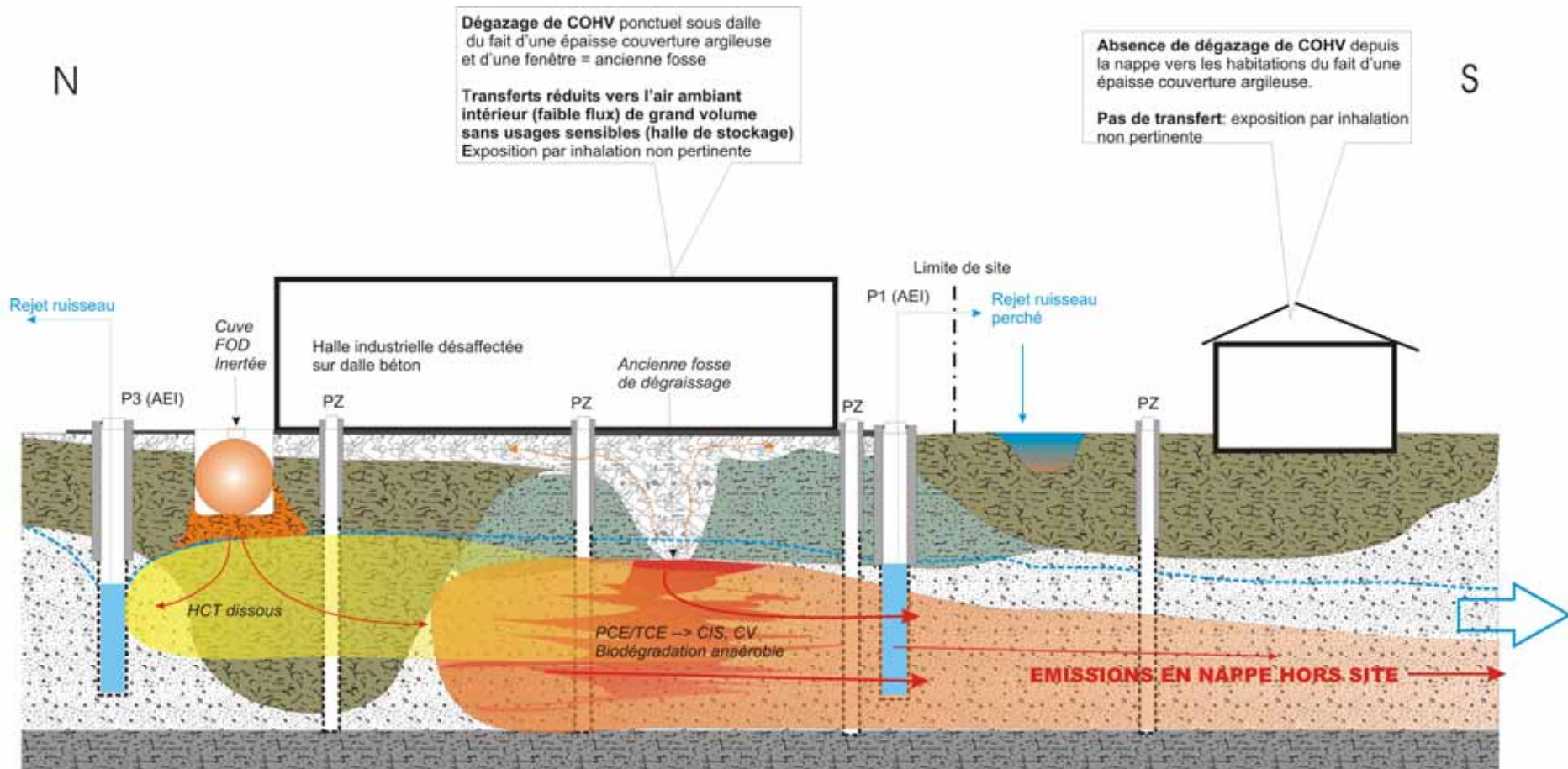


**Et alors ?**

- Et en parallèle: réalisation d'un diagnostic du 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





- 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)

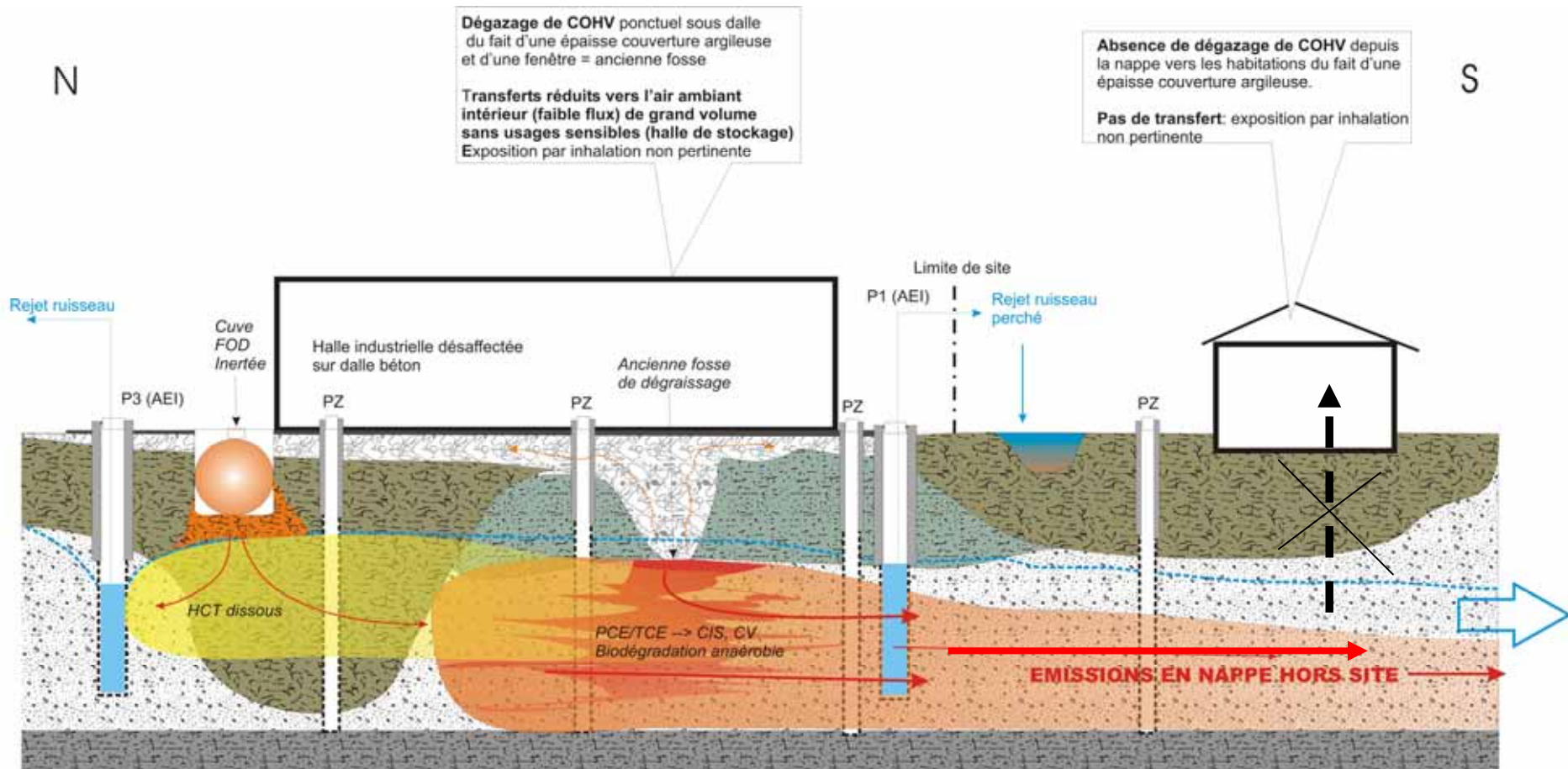
**SCHEMA CONCEPTUEL DE TRANSFERT ET D'EXPOSITION.**  
**Coupe hydrogéologique interprétative**

Et alors ?

BRGM, 4 mars 2008

jeudi 3 avril 2008

> 20



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**

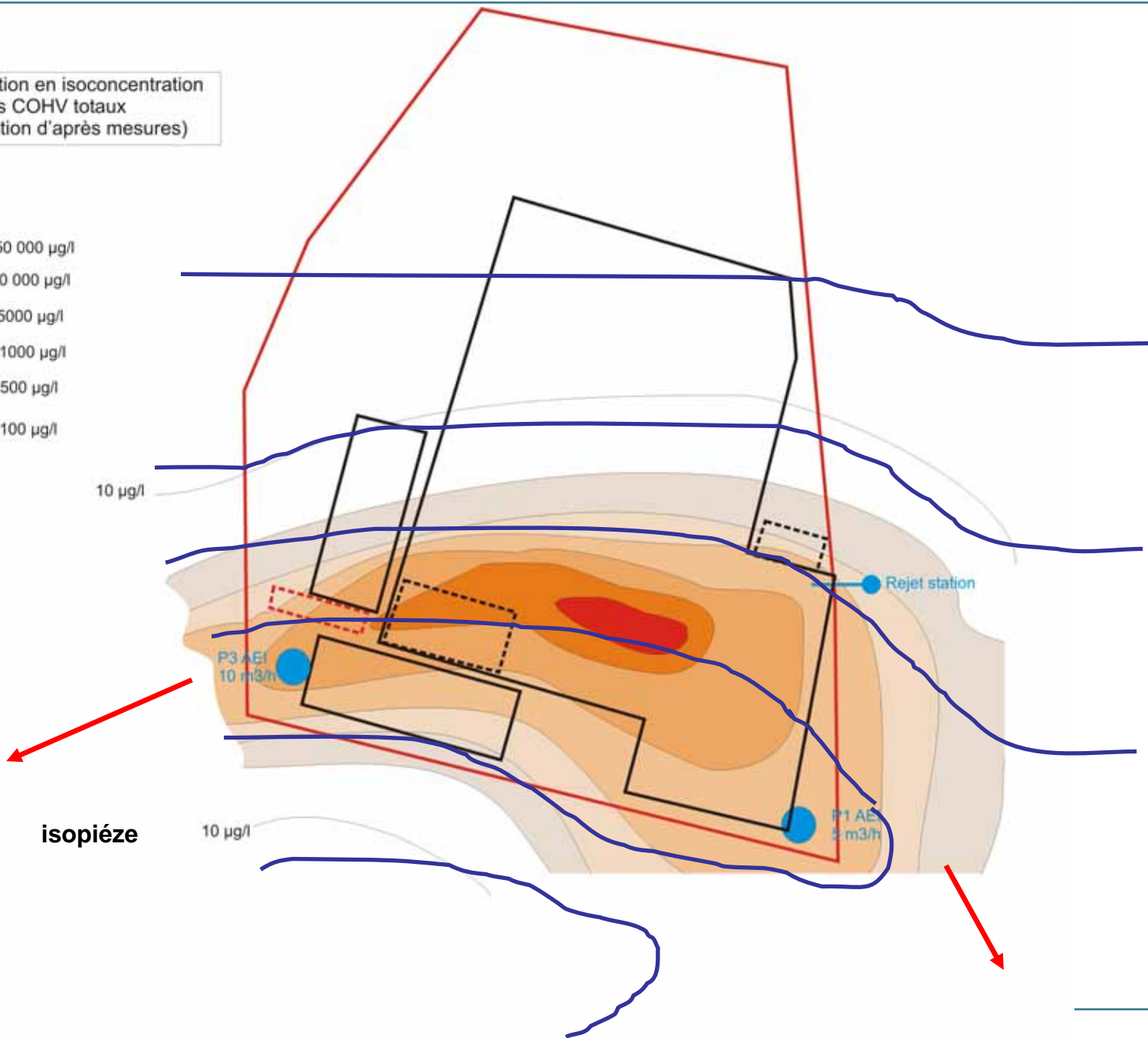
Et alors ?

BRGM, 4 mars 2008

jeudi 3 avril 2008

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



## ■ Mon constat et les enjeux

### ■ 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: usages AEA et AEP des eaux dont la qualité a été dégradée par le site: impacts,
- 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.

### ■ 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: analyse et maîtrise des impacts**
  - **Délimitation plus précise du panache/impact et modélisation hydrodynamique et hydrodispersive en régime permanent calés sur les mesures de terrain et l'isoconcentration 10 µg/l (Eau potable).**
  - **Mesures mensuelles des concentrations en COHV dans les eaux, végétaux arrosés et foies des génisses abreuvées (services vétérinaires),**
  - **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 (restrictions) .**

- ✓ 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 !)
- ✓ Les scénarios ingestion indirecte de végétaux et produits animaux, ainsi que l'inhalation ne sont pas pertinents pour l'instant (suivi).
- ✓ **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!**



## Un rappel: l'extérieur du site IEM, **Interprétation de l'Etat des Milieux et référentiels**

> Montrer que le site n'a pas dégradé le milieu qui est utilisé par autrui

→ Nécessité de définir un référentiel et de comparer l'état du milieu au référentiel,  
→ Comment interpréter l'état des milieux sans valeurs guide/référence génériques?

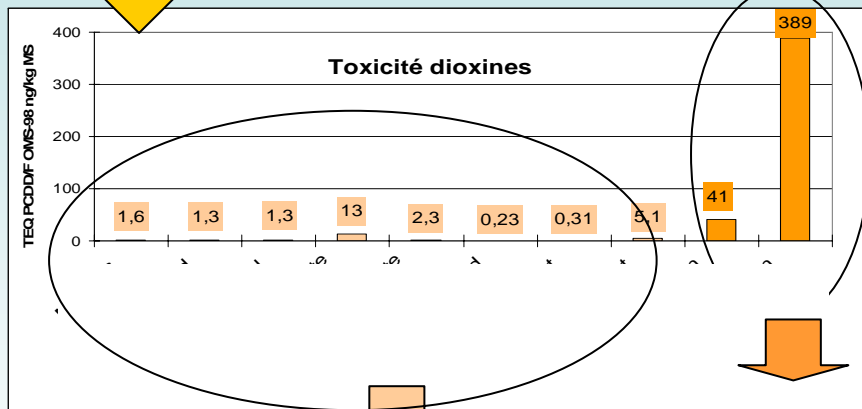
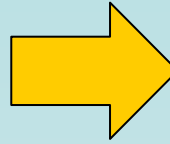
- **Comparaison à l'état initial / non perturbé / habituel de l'environnement** (Bruit de fond géochimique): études locales, bases de données (approche bibliographique), etc. Sols (milieu non réglementé)

- **Fond géochimique naturel (FGN)** : les teneurs mesurées dans un sol naturel en dehors de toutes perturbations anthropiques
- **Bruit de fond (BF)** : les teneurs tenant compte des apports diffus qui relèvent de l'activité humaine à l'exclusion des contextes de pollution caractérisés.
- **Fond anthropique diffus**: retombées à grande échelle (vallées industrielles), COHV dans les eaux souterraines, rejets industriels atmosphériques, etc.

$$\text{BF} = \text{FGN} + \text{apports anthropiques diffus}$$

Etude locale  
spécifique

Utilisation d'une  
base de données  
de l'INRA, 2004



**Teneurs de bruit de fond**  
dominés par les dioxines  
0,23 à 13 ng TEQ-OMS98/kg  
MS

2 toxicités plus  
élevées dominés  
par les furannes

Base : données études ville FSM (1999 et 2004)  
0,04 - 6,23 ng TEQ-OTAN89/kg MS

mg/kg MS <2mm	Gamme de valeurs couramment observés dans les sols "ordinaires" de toutes granulométries	Gamme de valeurs observées dans le cas d'anomalies naturelles modérées	Gamme de valeurs observées dans le cas de fortes anomalies naturelles
As	1,0 à 25,0	30 à 60 <sup>(1)</sup>	60 à 284 <sup>(1)</sup>
Cd	0,05 à 0,45	0,70 à 2,0 <sup>(1)(2)(3)(4)</sup>	2,0 à 46,3 <sup>(1)(2)(4)</sup>
Cr	10 à 90	90 à 150 <sup>(1)(2)(3)(4)(5)</sup>	150 à 3180 <sup>(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)</sup>
Co	2 à 23	23 à 90 <sup>(1)(2)(3)(4)(8)</sup>	105 à 148 <sup>(1)</sup>
Cu	2 à 20	20 à 62 <sup>(1)(4)(5)(9)</sup>	65 à 160 <sup>(8)</sup>
Hg	0,02 à 0,10	0,15 à 2,3	
Ni	2 à 60	60 à 130 <sup>(1)(3)(4)(5)</sup>	130 à 2076 <sup>(1)(4)(5)(6)(7)</sup>
Pb	9 à 50	60 à 90 <sup>(1)(2)(3)(4)</sup>	100 à 10180 <sup>(1)(3)</sup>
Se	0,10 à 0,70	0,8 à 2,0 <sup>(6)</sup>	2,0 à 4,5 <sup>(7)</sup>
Tl	0,10 à 1,7	2,5 à 4,4 <sup>(1)</sup>	7,0 à 55,0 <sup>(1)</sup>
Zn	10 à 100	100 à 250 <sup>(1)(2)</sup>	250 à 11426 <sup>(1)(3)</sup>

<sup>(1)</sup> zones de "métallotectes" à forte minéralisation (à plomb, zinc, barytine, fluor, pyrite, antimoine) au contact entre bassins sédimentaires et massifs cristallins. Notamment roches basiques et sols associés de la bordure nord et nord-est du Jôrdan (Yonne, Côte d'Or).

<sup>(2)</sup> sols argileux développés sur certains calcaires durs du Jurassique moyen et supérieur (Bourgogne, Jura).

<sup>(3)</sup> paléosols ferrallitiques du Poitou ("terres rouges").

<sup>(4)</sup> sols développés dans des "argiles à chailles" (Nièvre, Yonne, Indre).

<sup>(5)</sup> sols limone-sableux du Pays de Gex (Ain) et du Plateau Suisse.

<sup>(6)</sup> "bornais" de la région de Poitiers (horizons profonds argileux).

<sup>(7)</sup> sols tropicaux de Guadeloupe.

<sup>(8)</sup> sols d'altération d'amphibolites (région de La Châtre - Indre).

<sup>(9)</sup> matériaux d'altération d'amphibolites (région de La Châtre - Indre).

INRA, 2004

## Sur l'air que l'on respire, l'eau que l'on boit et les aliments que l'on consomme:

- Critères réglementaires, définissant l'état des milieux sans risque pour la santé publique (exemple critères de potabilité de l'eau (décret n°2001-1220)) ;
- Critères réglementaires définissant les contraintes environnementales des zones d'intérêt particulier (exemple, SDAGE/SAGE, ZNIEFF, etc.)
- Critères réglementaires sur la salubrité des habitations (exemple, qualité de l'air intérieur, taux de renouvellement de l'air)
- Critères techniques pour la réalisation d'ouvrages (exemple)

à défaut, **EQRS** en utilisant **une grille de calcul spécifique à l'IEM.**

On se base pour cela , si possible, sur des **mesures aux points d'exposition**, limitant les incertitudes liées aux modèles de transfert (sol/eau vers végétaux, air du sol vers air ambiant, etc.). Inhalation, ingestion de sol, végétaux, produits animaux.

A light blue rectangular button with rounded corners and a subtle drop shadow. Inside the button, there is a dark grey document icon with a folded top-right corner. Below the icon, the text "Grille de calcul IEM" is written in a blue, sans-serif font.

Grille de calcul IEM

## **EQRS « Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires »**

« **C'est la dose qui fait le poison** » → calcul des doses absorbées par l'organisme lors d'exposition par inhalation et/ou ingestion et estimation des relations doses/effets (par le biais de VTR issues de l'expérimentation)

### **> Scénarii d 'exposition : agricole, artisanal, industriel, résidentiel**

- Le sujet est en contact avec une substance au travers des usages des milieux « budgets espace-temps ». Choix argumenté du « worth reasonable scenario »,
- Les caractéristiques du sujet : Masse corporelle, âge (bases de données CIBLEX, INSEE, INERIS, etc.)

### **> Voies d 'exposition :**

- Inhalation de polluant, poussières, vapeur,
- Ingestion de sol, poussière, d'eau.

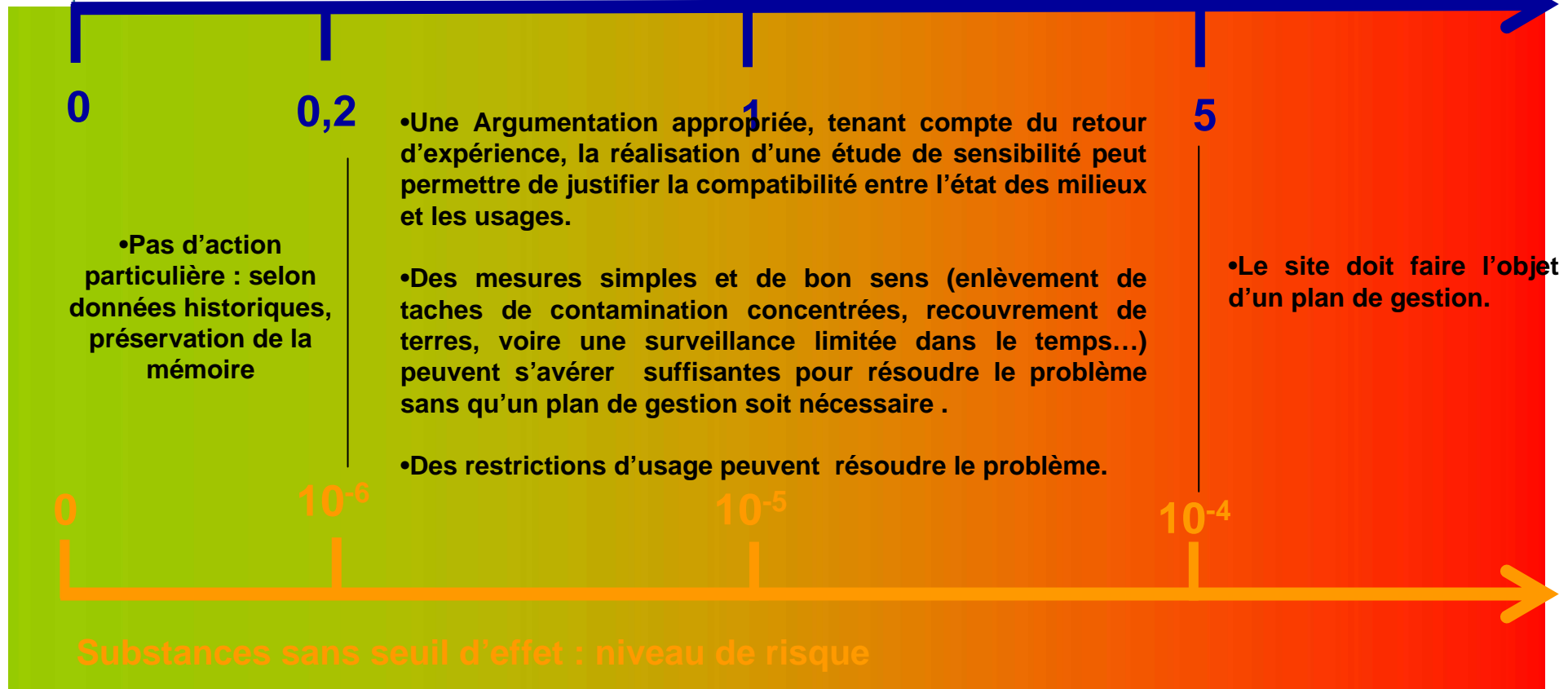
### **> Modélisation des expositions:** Modèles santé : HESP, RISC, RBCA, IEUBK, CLEA,...

### **> Modélisation des transferts:**

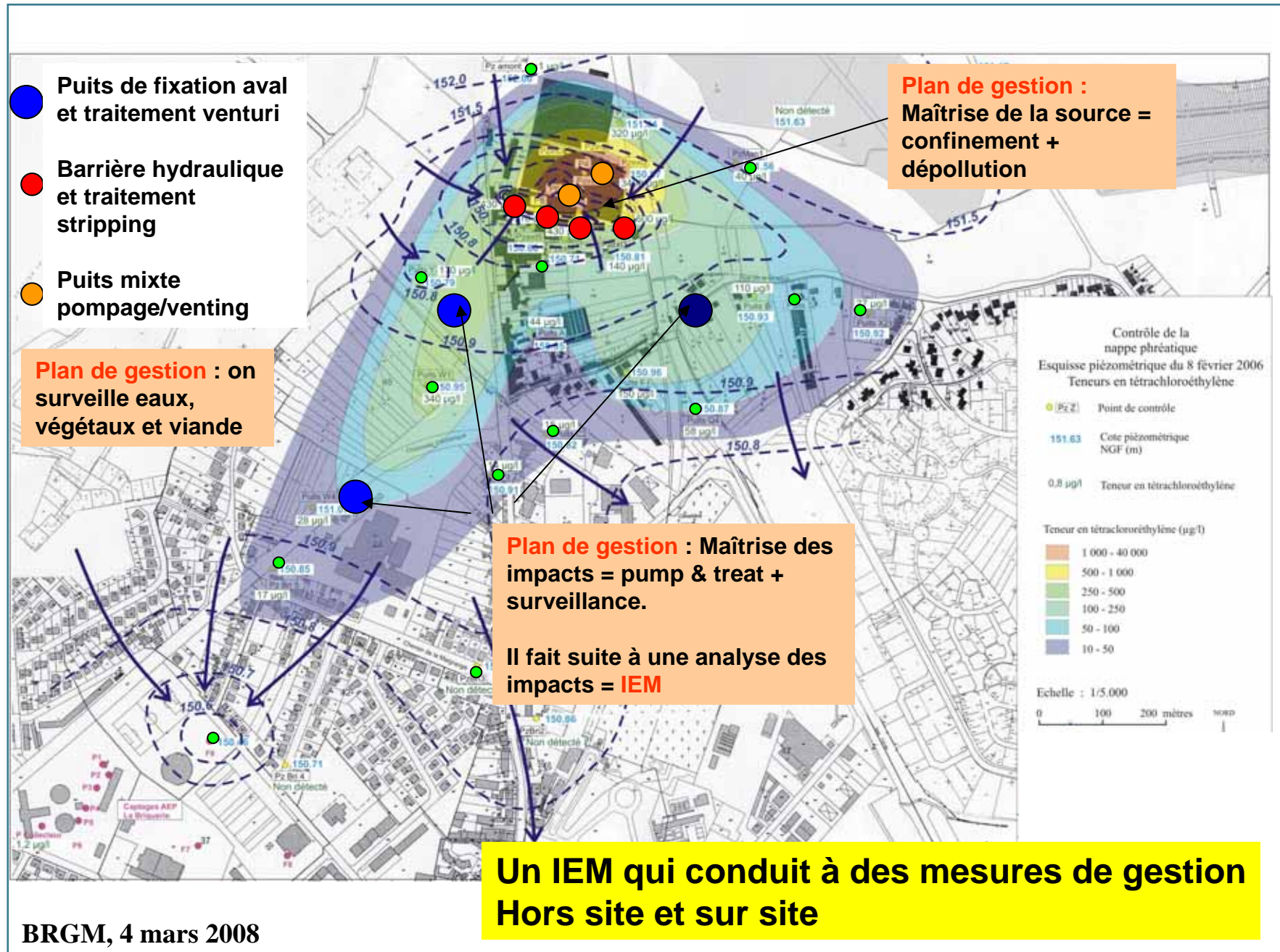
- Modèles hydrodynamiques de propagation de polluants dans les nappes : MODFLOW, MT3DMS, MTFAT, MARTHE, HYTEC2D, MISP,...
- Modèles sol-air : VOLASOIL C-SOIL, Johnson Ettinger

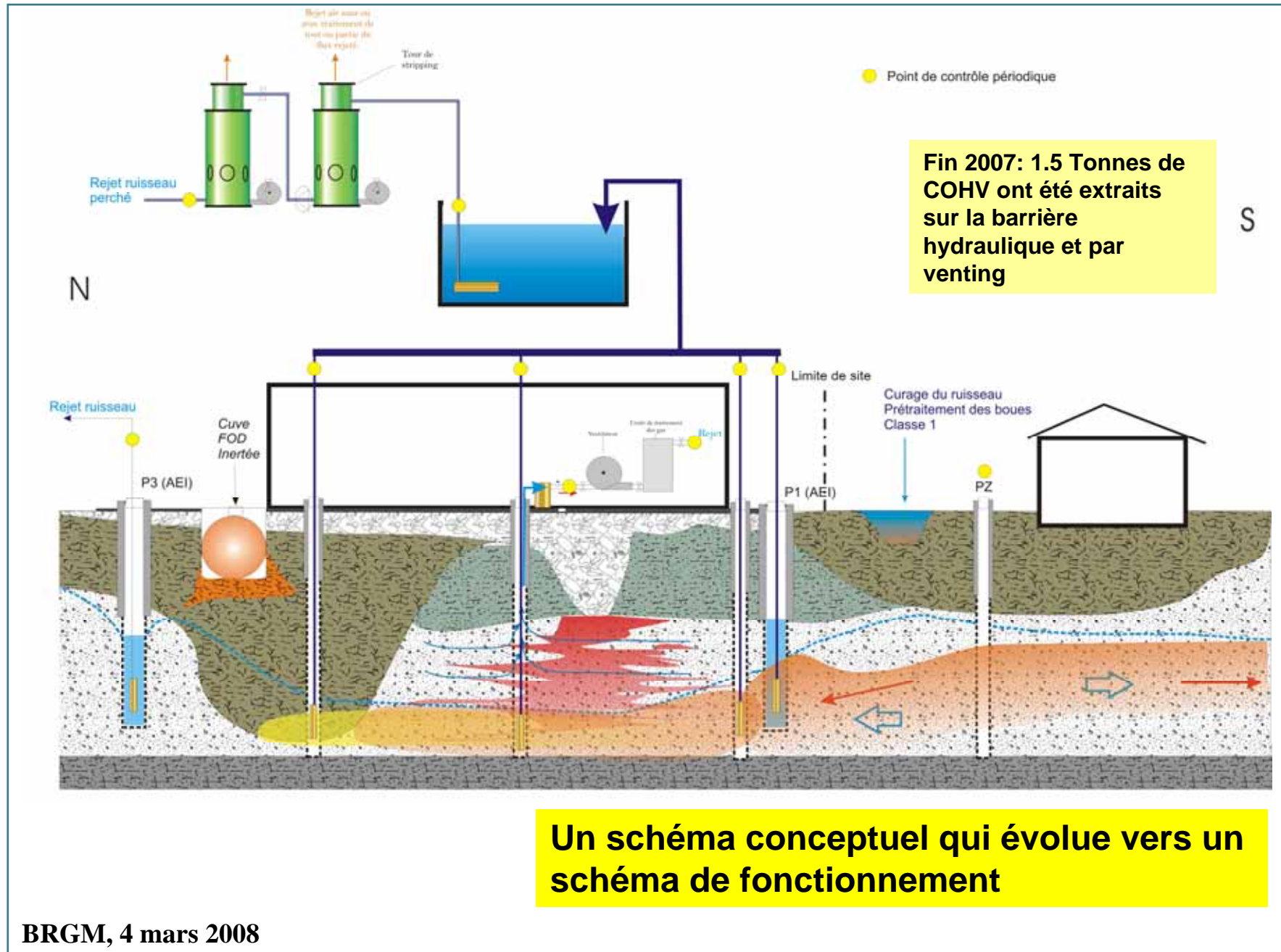
## Critères de l'IEM calculs

### Substances avec seuil d'effet : niveau de risque



BRGM, 4 mars 2008





BRGM, 4 mars 2008

jeudi 3 avril 2008



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

**BRGM, 4 mars 2008**

jeudi 3 avril 2008

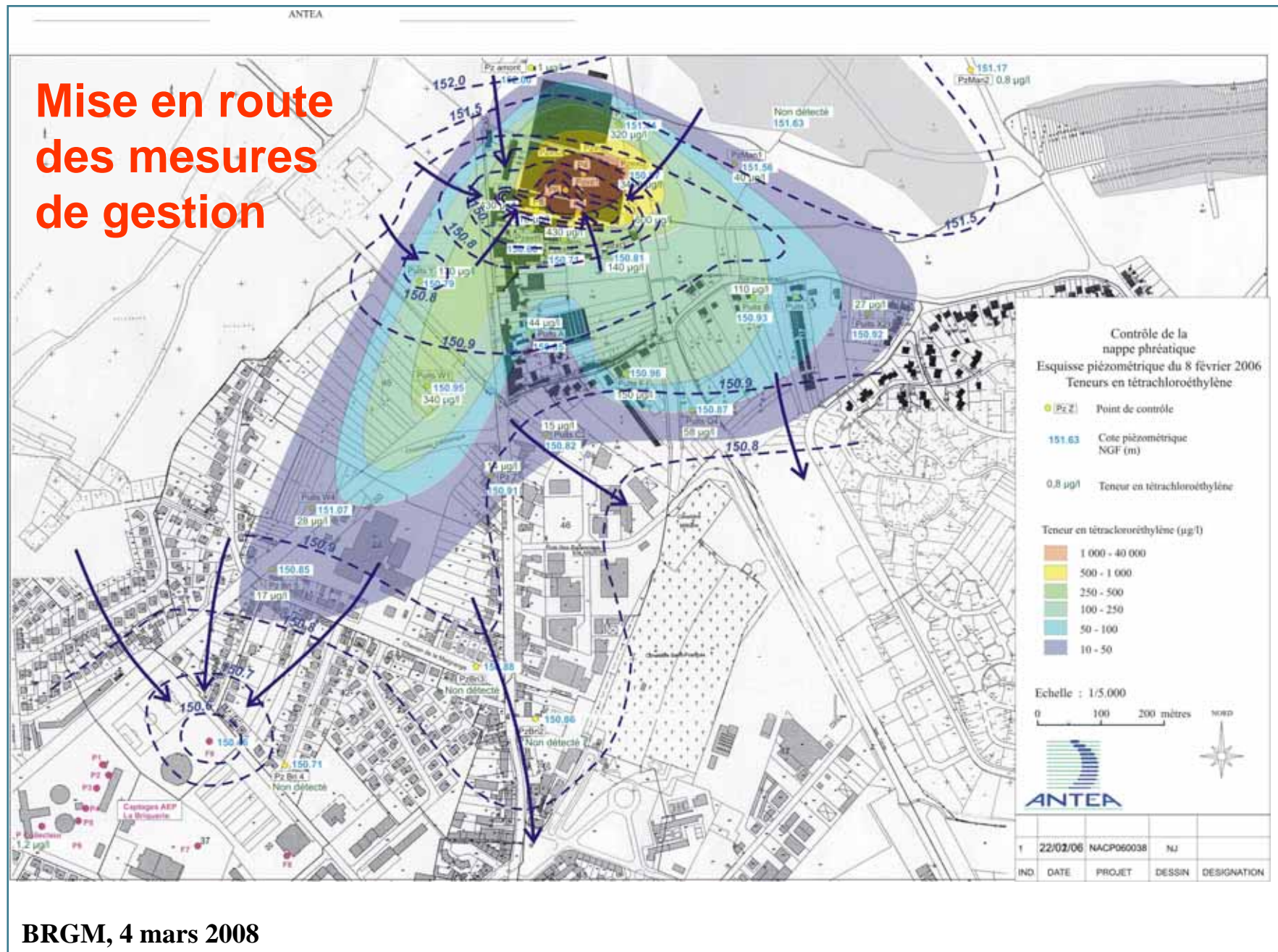




**BRGM, 4 mars 2008**

jeudi 3 avril 2008

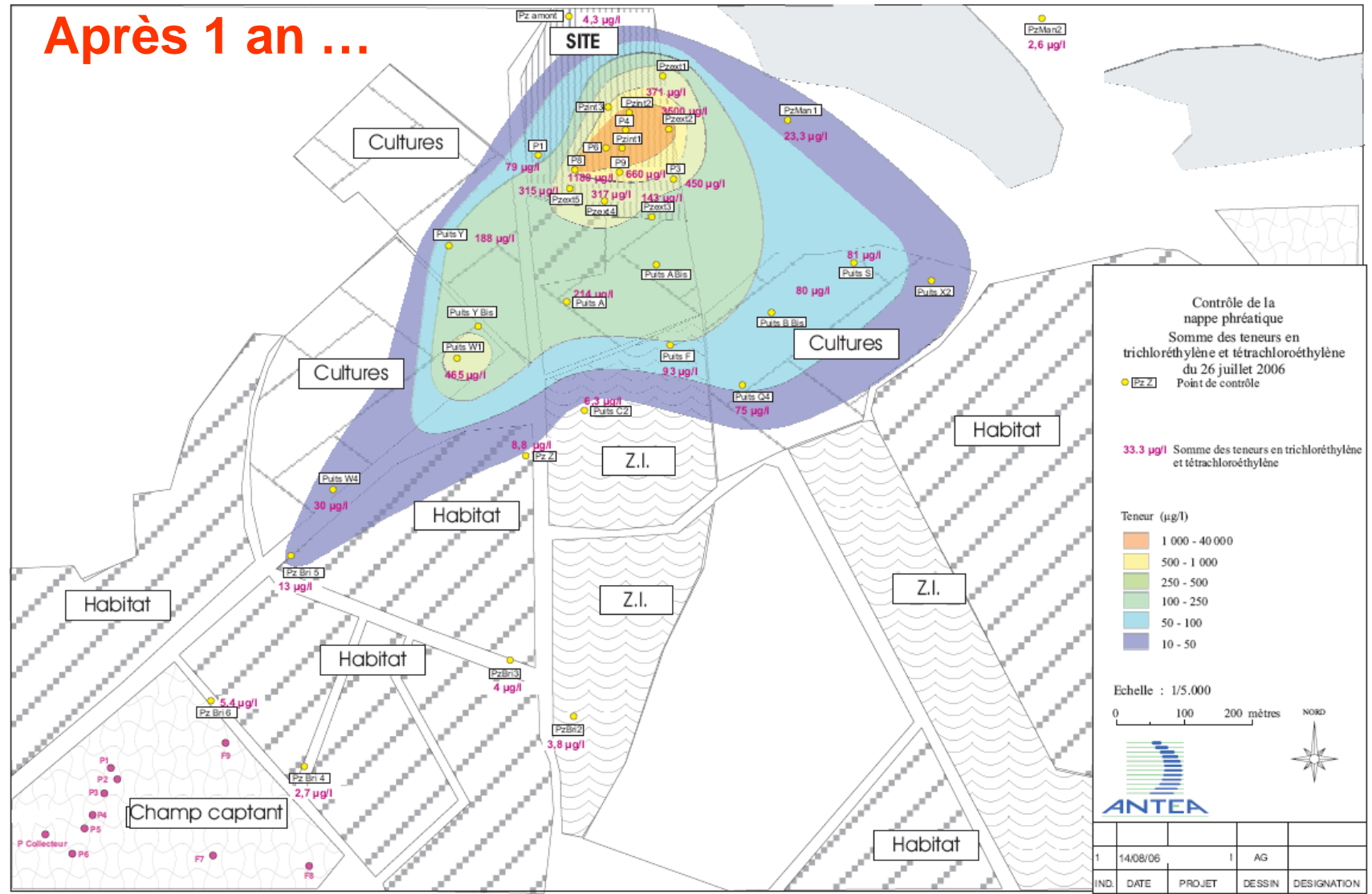
# Mise en route des mesures de gestion



BRGM, 4 mars 2008

jeudi 3 avril 2008

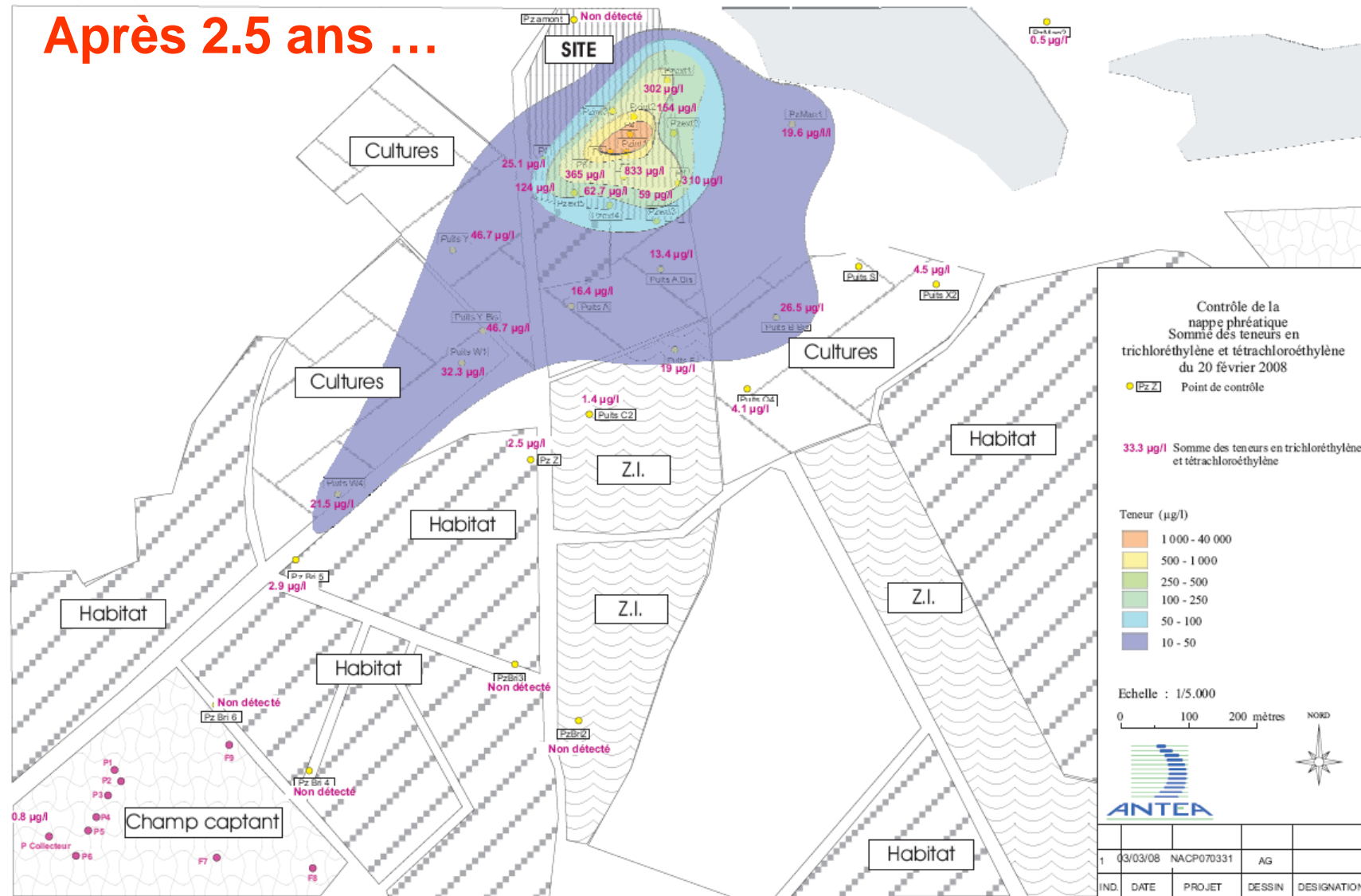
Après 1 an ...



**PCE + TCE**

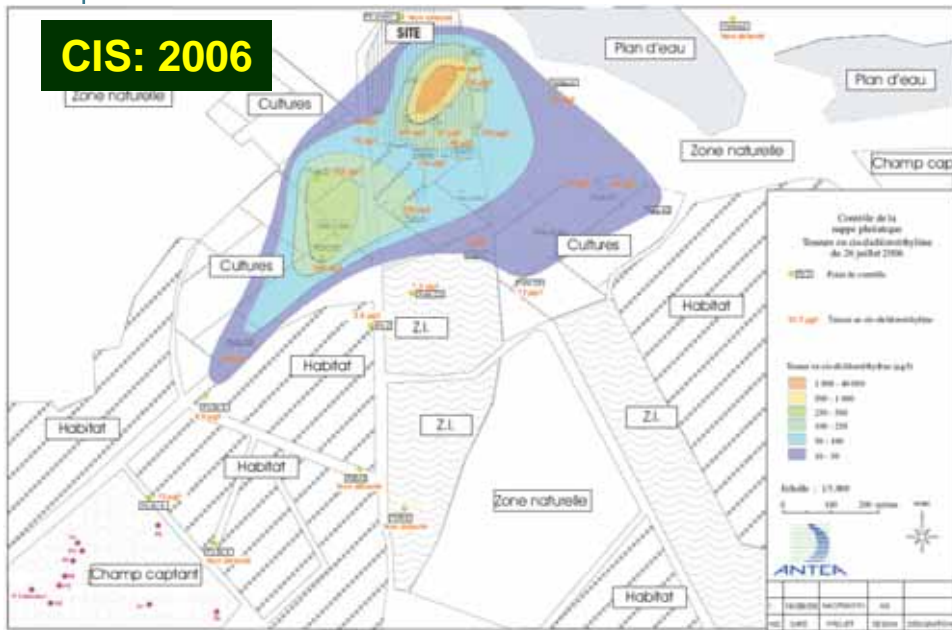
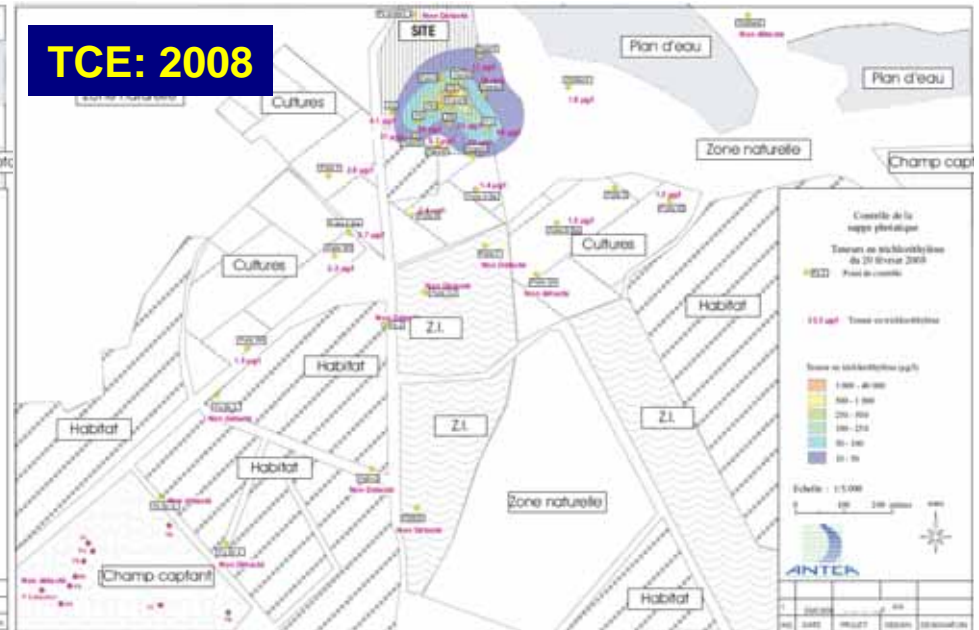
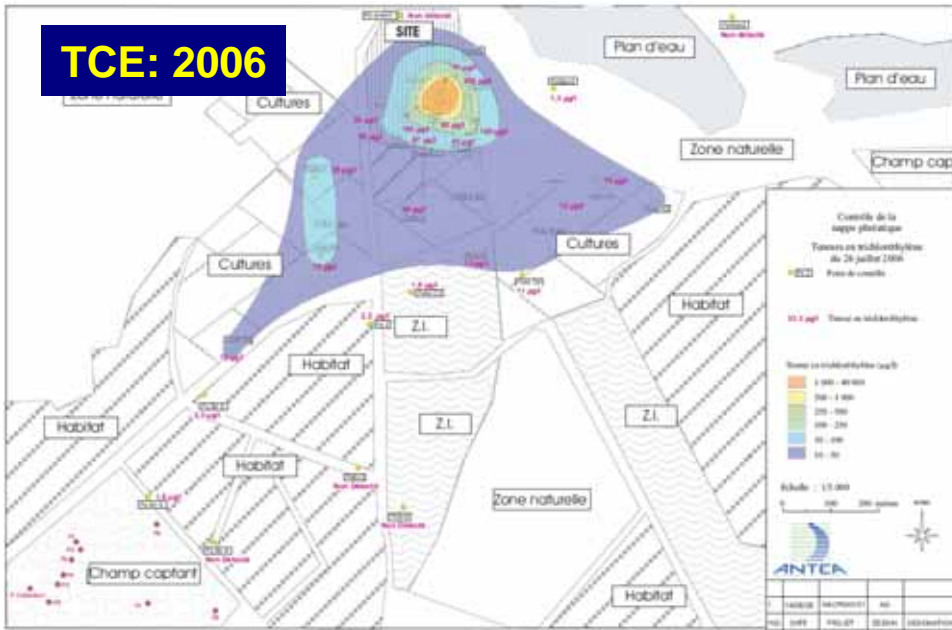
BRGM, 4 mars 2008

# Après 2.5 ans ...



## PCE + TCE

BRGM, 4 mars 2008



**BRGM, 4 mars 2008**

jeudi 3 avril 2008

# Merci pour votre attention !



BRGM, 4 mars 2008

jeudi 3 avril 2008

> 38