

## Journée Technique d'information et de retour d'expérience de la gestion des sols pollués

# La construction du schéma conceptuel ou la démarche d'évaluation des risques sanitaires appliquée à la gestion des sols pollués : illustration sur des exemples

Stéfan COLOMBANO – BRGM

Corinne HULOT et Laurence LETHIELLEUX – INERIS

En collaboration avec Magali RIOU et David HIEZ – Tauw France  
et Jean-Luc ANTOINE – GRS Valtech



# Contexte

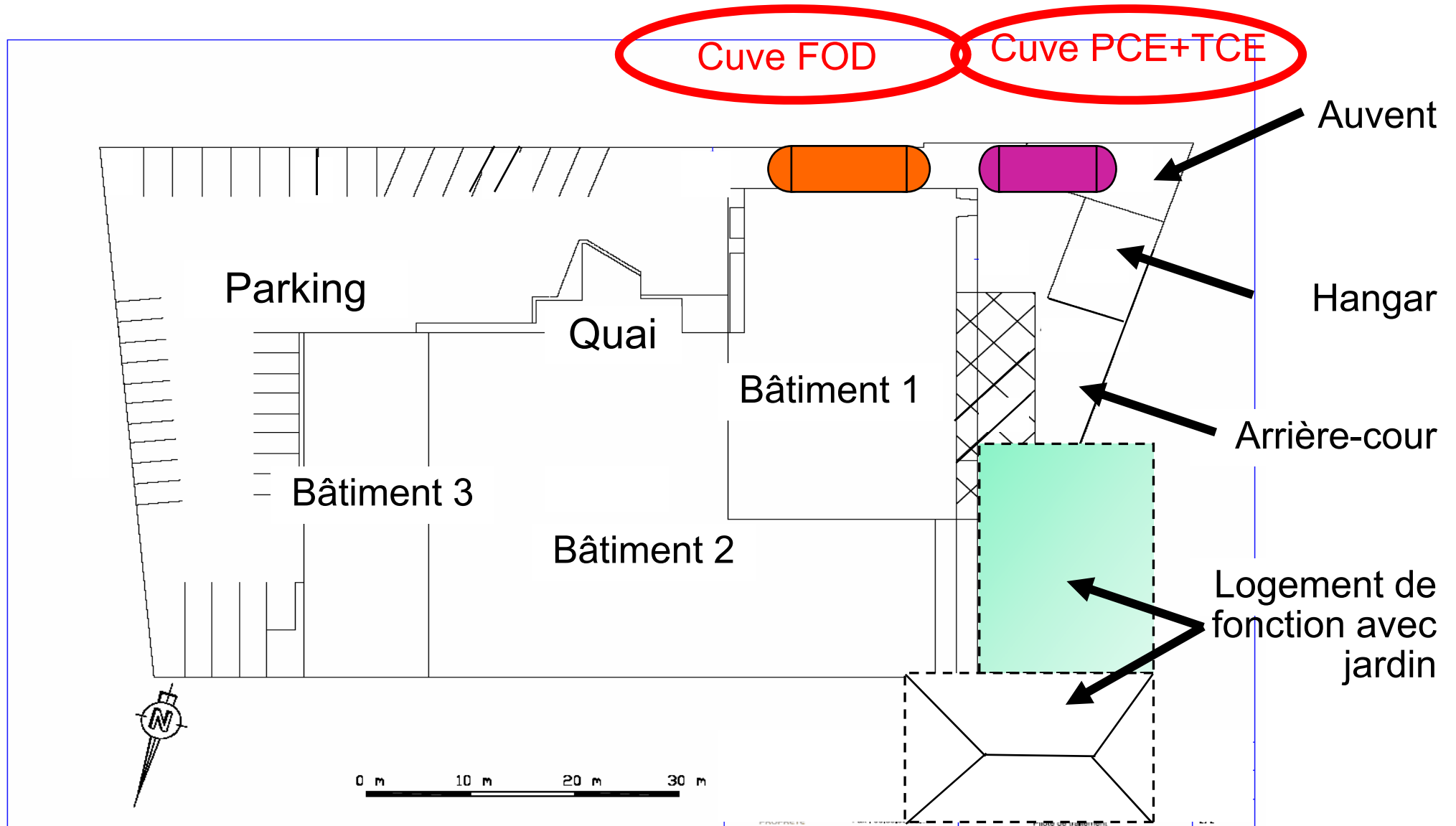
- Exemple d'un cas réel
- Ancien dépôt et centre de reconditionnement de solvants
- Actuellement magasin de peintures et de produits d'entretien
- Diagnostics volontaires des sols et des eaux souterraines



- Site en milieu urbain (quartier résidentiel et industriel)

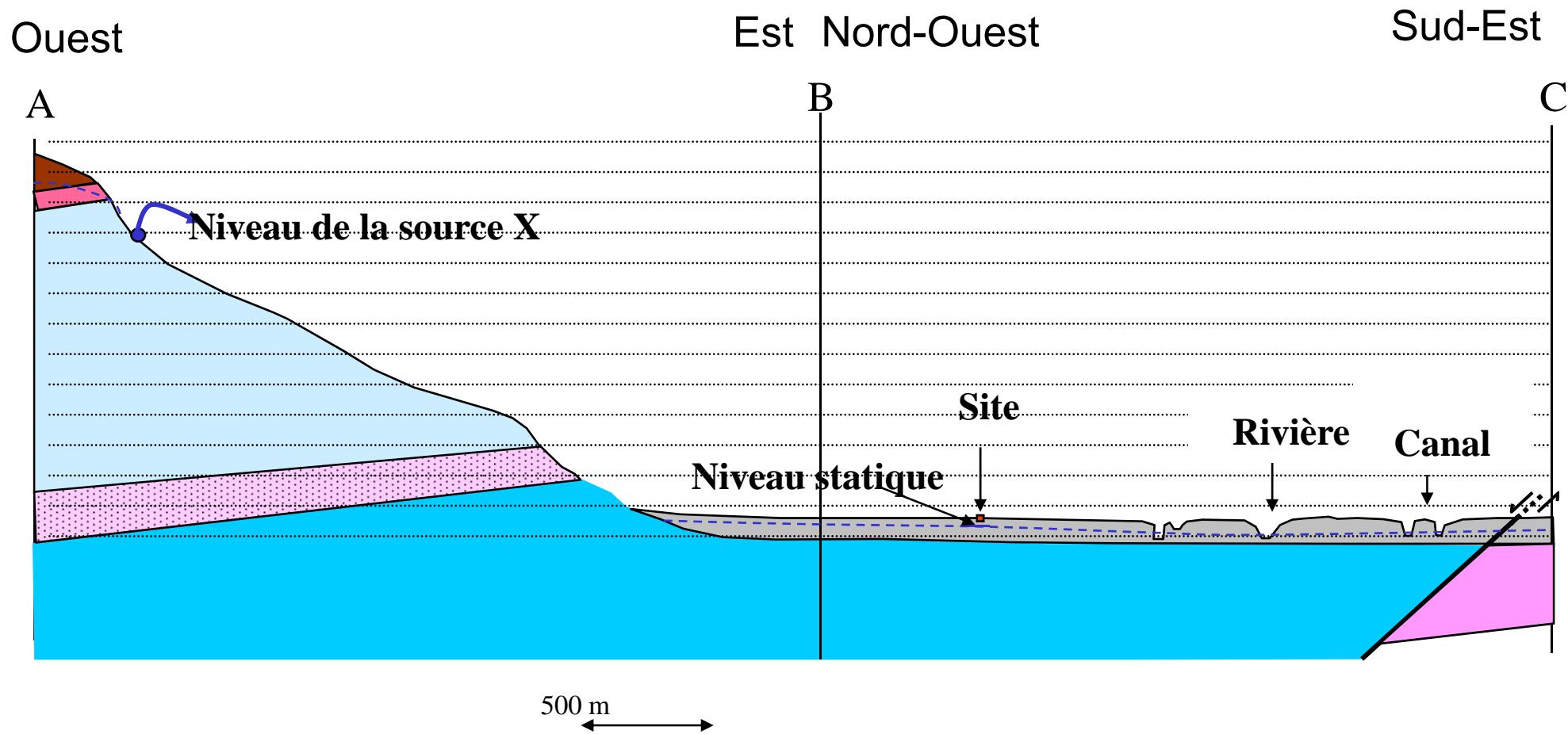


# Plan du site





# Contexte hydrogéologique

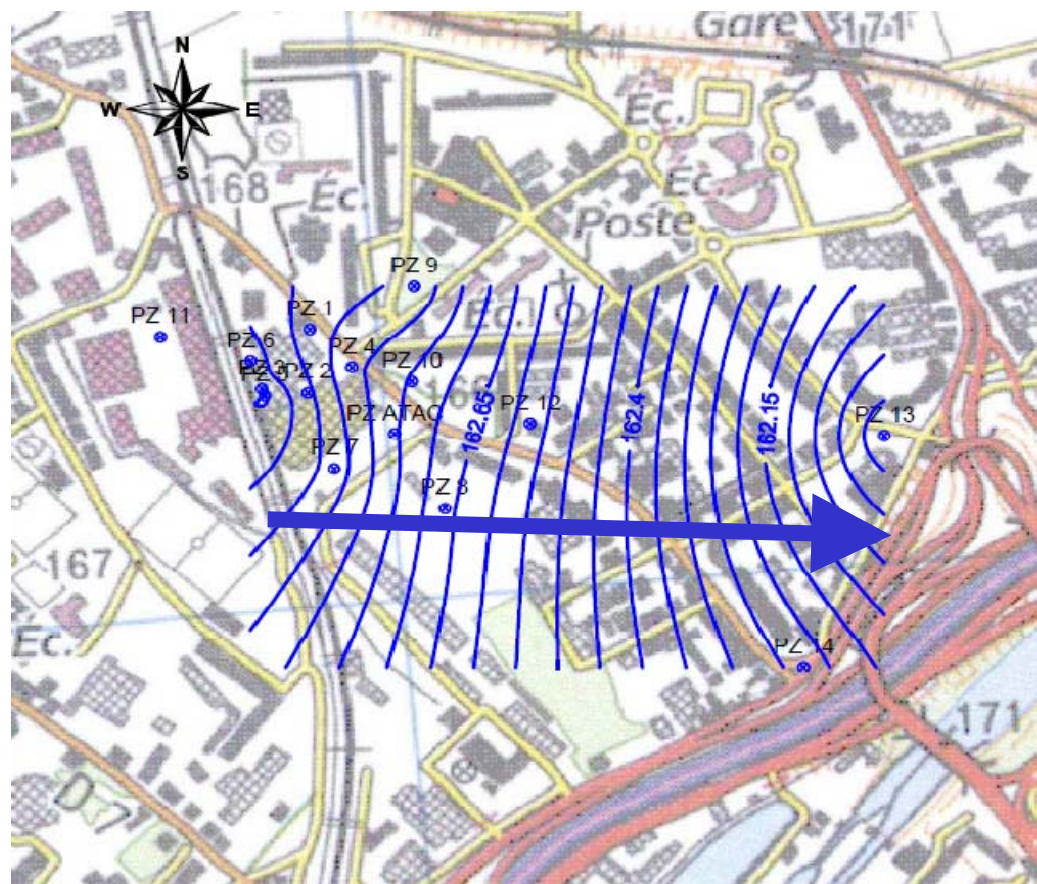


- |                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| Fz : alluvions récentes   | I4d : grès                 |
| J1b-a : calcaire et limon | I4c : argile               |
| I6 : grès limoneux        | I2-3a : calcaire et limons |
| I5 : argile et limon      |                            |



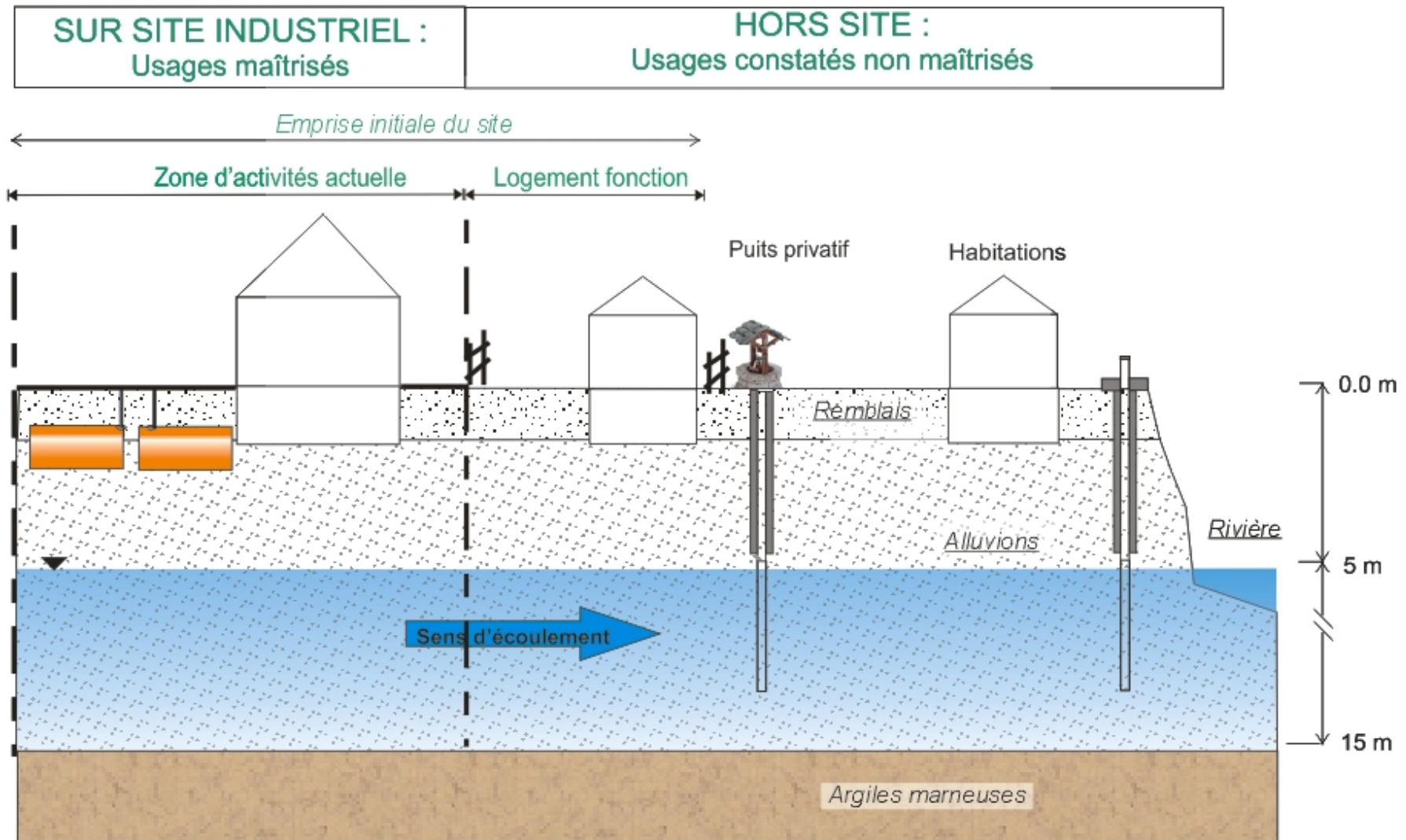
# Contexte environnemental

- Nappe alluviale largement exploitée pour l'alimentation en eau potable (AEP), l'alimentation en eau industrielle (AEI), l'agriculture et à des fins domestiques
- Sens d'écoulement de la nappe :  
Ouest-Est
- Visite de voisinage :  
puits privés utilisés pour  
l'arrosage de jardin :  
200 et 400 m en aval
- Eaux souterraines plus vulnérables  
que les eaux superficielles  
(différence de débits)

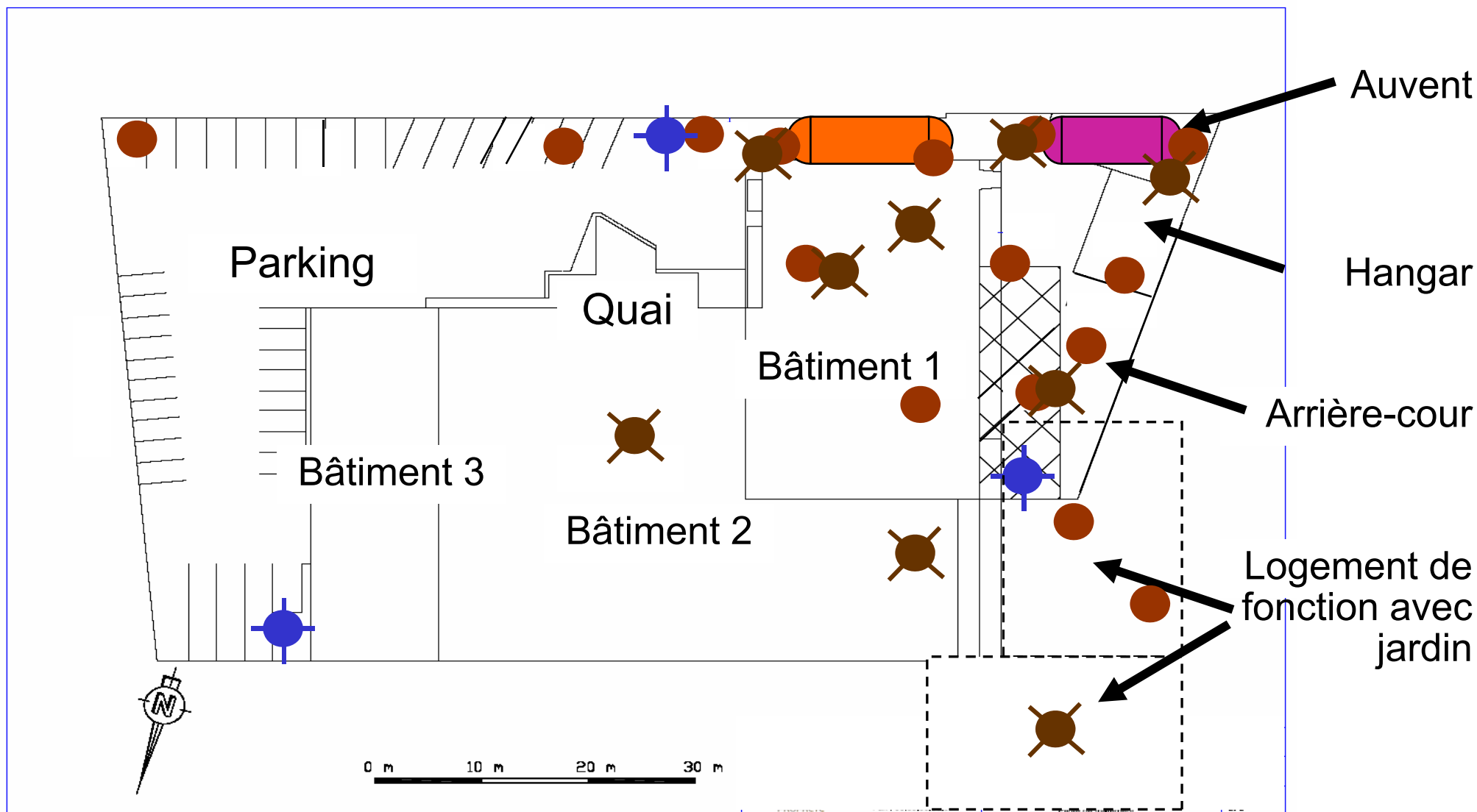




# Schéma conceptuel préliminaire



# Investigations de terrain (3 phases)



● Sondages    ✕ Piezaires/air ambiant    ⊕ Piezomètres



# Prise en compte du milieu air (inhalation)

- Mesures des gaz du sol via des piezairs et dans l'air ambiant (air extérieur et air intérieur) :
  - Mesures orientées sur site par des mesures semi-quantitatives (PID + tubes colorimétriques Dräger)
  - 9 points de contrôles/mesures

Concentrations dans  
les gaz des sols

Composés	Concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	Moy.	Maxi.
Benzène	1,24	1,35
Toluène	9,17	18,22
Ethylbenzène	9,1	26,46
Xylène totaux	32,68	60,85
HCt C6-C10	1418,47	3703,7
HCt C10-C16	381,31	899,47
TCE	4,06	7,94
PCE	1,59	2,17
1,2-dichloroéthylène (cis)	1114,59	1753,31
Chlorure de vinyle	2,31	3,9





# Prise en compte du milieu eaux (3 phases)

- Réalisation de 14 Pz sur et hors site - suivi sur 4 ans

- **COHV :**

- Concentrations maximales au droit de la source de pollution

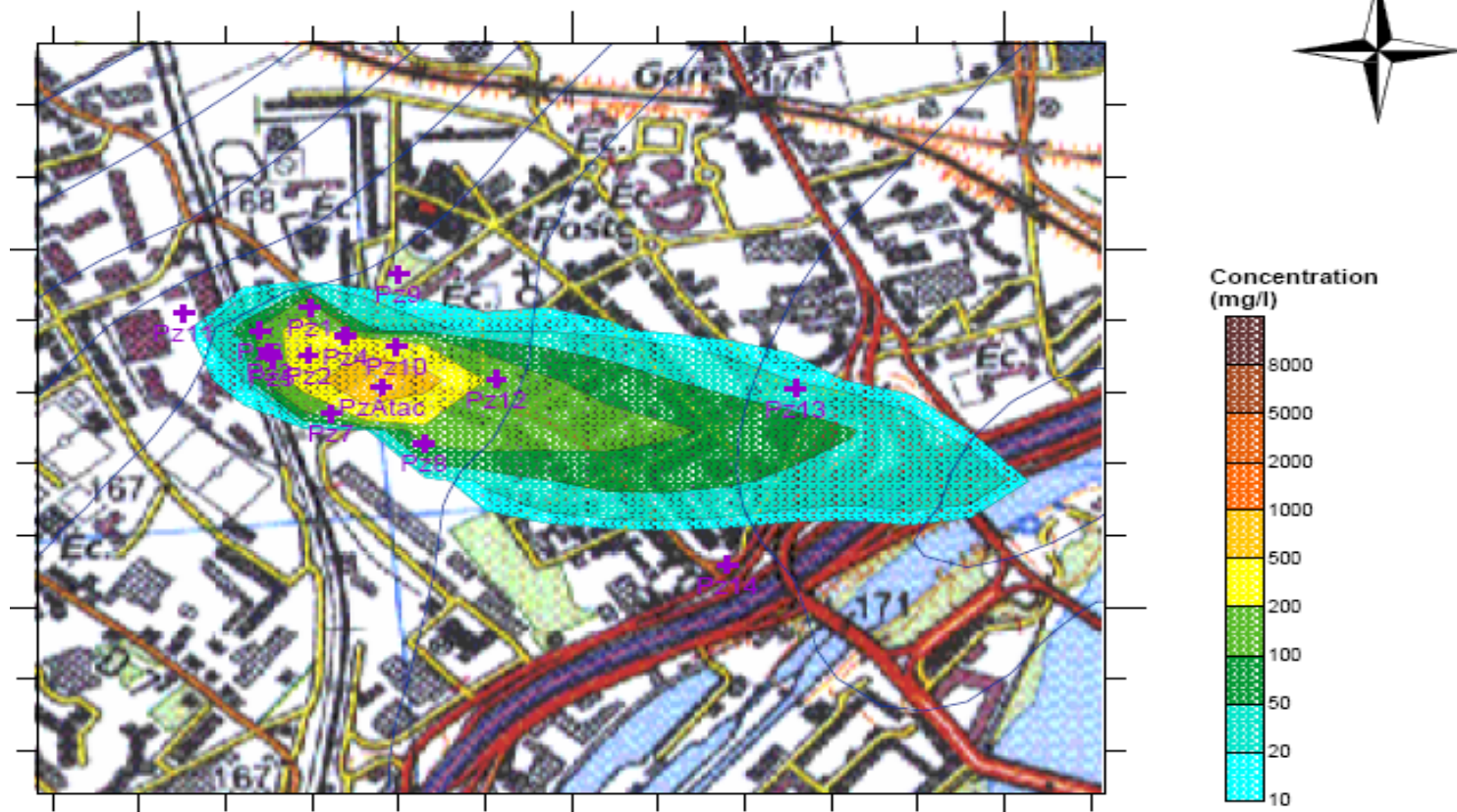
Composés organohalogénés

Volatils (COHV)<sup>α</sup>

- 1,1,1-Trichloroéthane	µg/l	750	98
- 1,1-Dichloroéthane	µg/l	54	11
- 1,1-Dichloroéthène	µg/l	4,0	< 0,5
- Chlorure de vinyle	µg/l	< 0,5	< 0,5
- cis-Dichloroéthène	µg/l	8700	2700
- Dichlorométhane	µg/l	2,5	1,7
- Tetrachloroéthène	µg/l	15000	630
- Tetrachlorométhane	µg/l	< 0,5	< 0,5
- trans-Dichloroéthène	µg/l	32	4,6
- Trichloroéthène	µg/l	5500	690
- Trichlorométhane	µg/l	4,3	4,2
Somme des COHV	µg/l	30046,8	4139,5

- Concentrations hors site non négligeables - au droit du puits à usage privatif (200 m en aval) : PCE : 40 µg/l ; TCE : 15 µg/l ; CV < 0,1 µg/l

- COHV : Modélisation sur 15 ans ( $\Sigma$  COHV)



- **Produits pétroliers :**

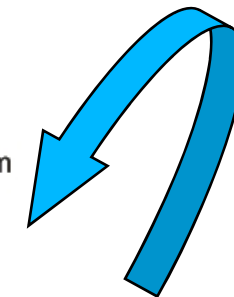
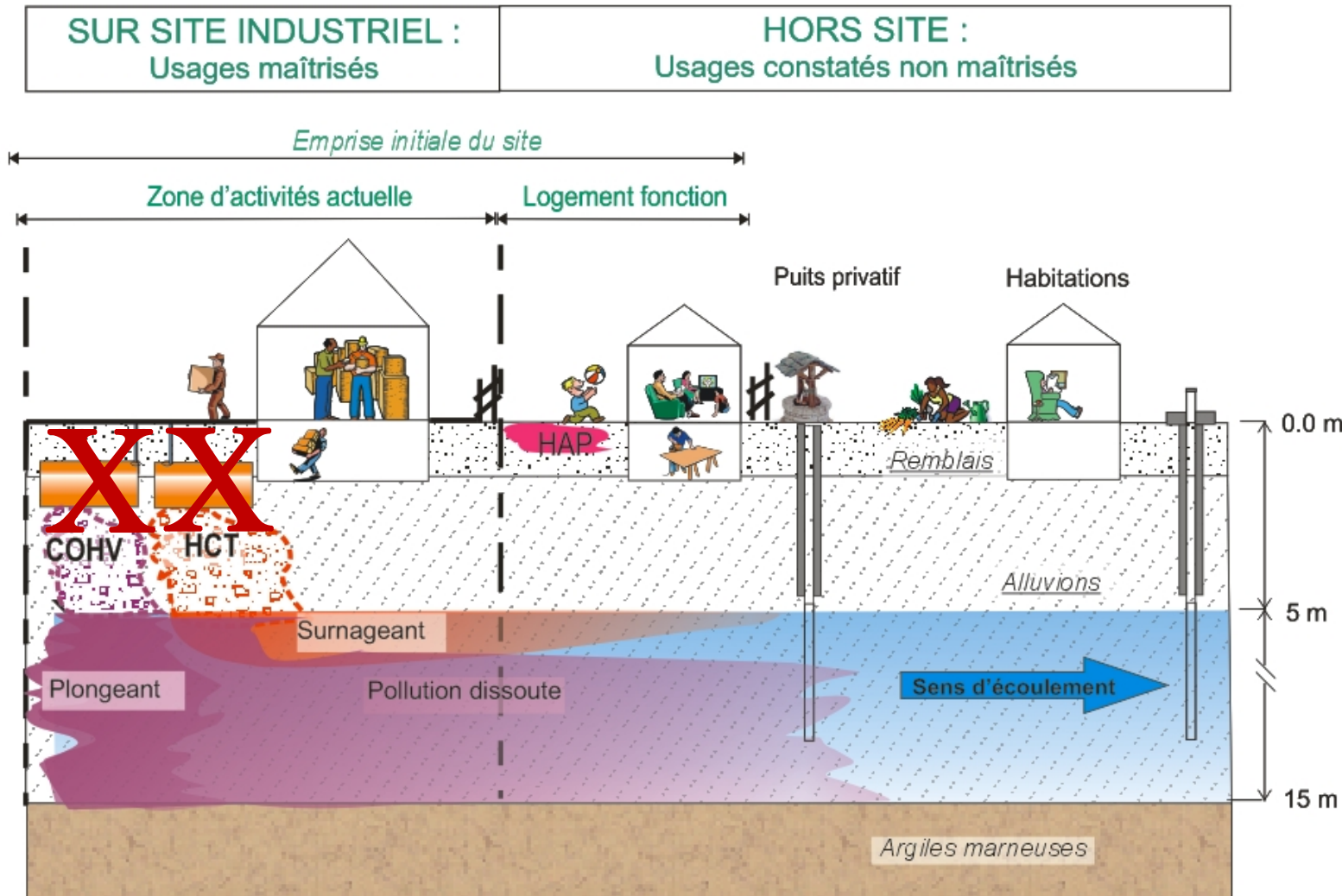
- Concentrations en BTEX et HCt (1200  $\mu\text{g/l}$ ) importante au droit de la cuve de FOD mais en très forte décroissance juste en aval
- Présence très ponctuelle de surnageant



# Prise en compte du milieu sols

- Réalisation de 18 sondages (parfois couplés avec d'autres ouvrages) sur et hors site
  
- Teneurs anormales : 3 zones
  - Ex-arrière-cour maintenant jardin du logement de fonction (sols de subsurface) :
    - Concentrations max. en benzo(a)anthracène (120 mg/kg), benz(a)pyrène (140 mg/kg), indéno(1,2,3-c,d)pyrène (94 mg/kg)
  
  - Au droit de la cuve de FOD (sols situés en profondeur) :
    - Concentrations max. en HCt : 16 000 mg/kg
    - Concentrations en benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes variant de 100 à 1 500 mg/kg
  
  - Au droit de la cuve de TCE/PCE (sols situés en profondeur) :
    - Concentrations en TCE et PCE variant de 500 à 8 900 mg/kg

# Schéma conceptuel post premiers diagnostics



Rivière : non prise en compte par la suite dans les démarches exposées au vu des résultats des diagnostics et des résultats de l'évaluation prospective des impacts par modélisation hydrodispersive et du traitement des sols mis en place sur site et de la nappe



**Que faire ?**

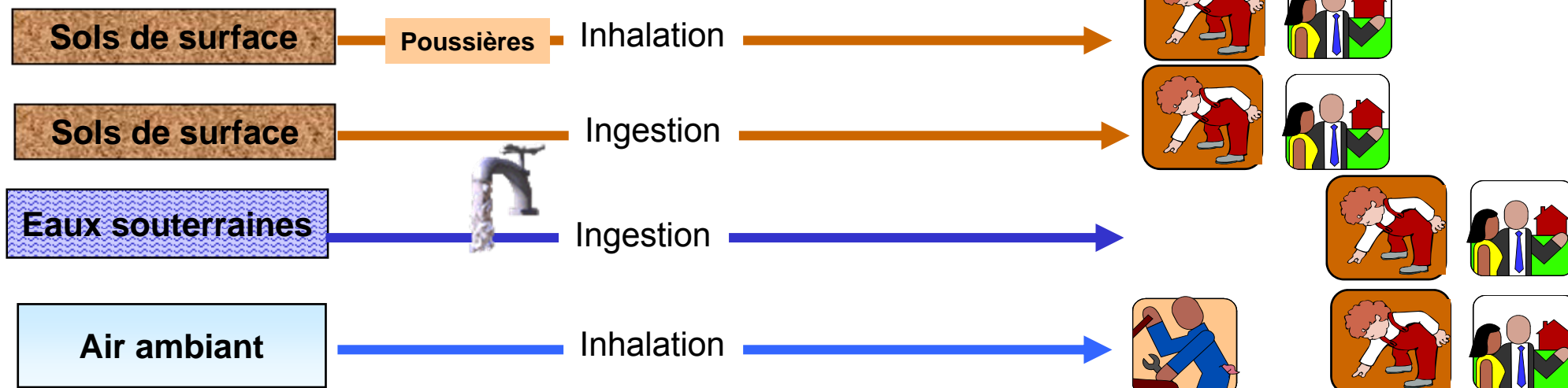
**Comment interpréter les résultats dans les milieux « source, transfert et exposition » ?**



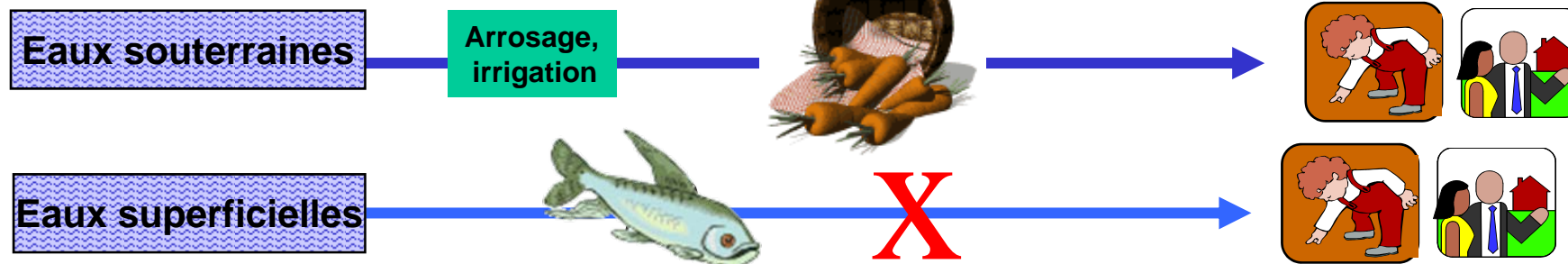


# Exposition

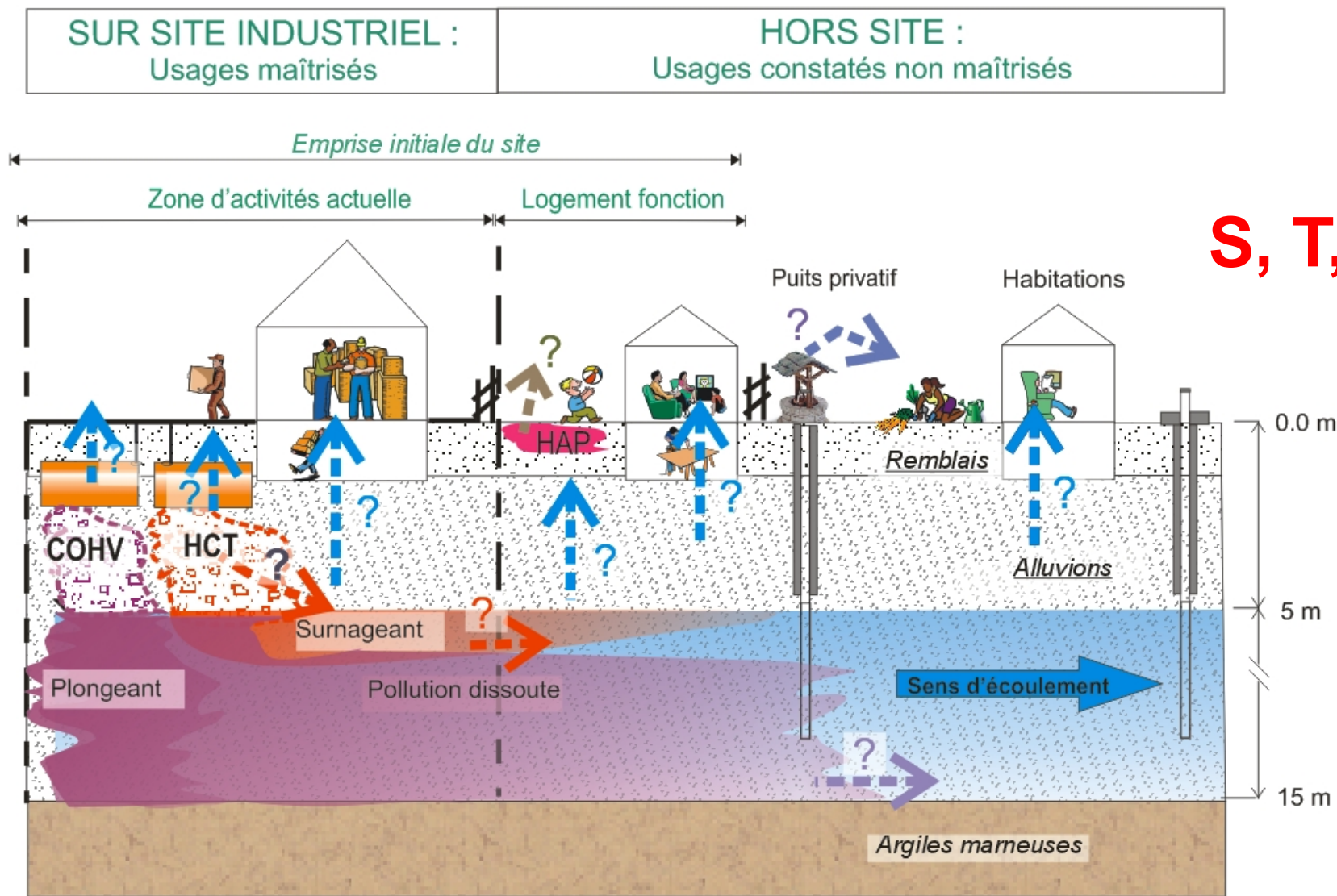
## Voies d'exposition directe : inhalation et ingestion



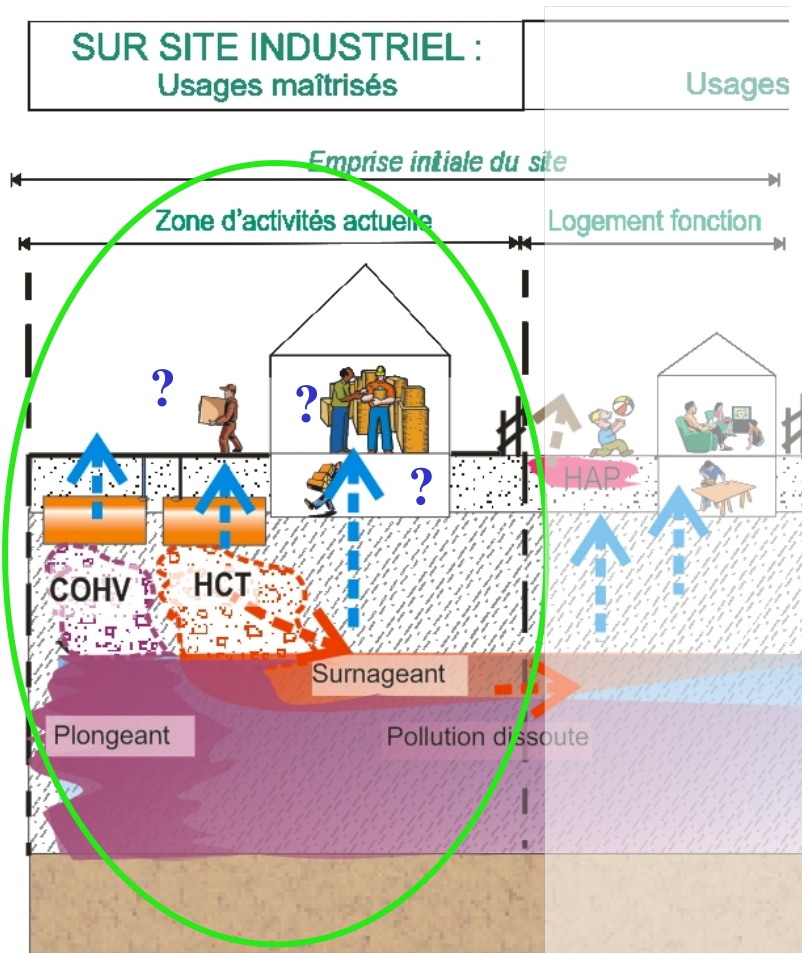
## Voies d'exposition indirecte : ingestion



# Schéma conceptuel : mise en place des éléments potentiellement nécessaires



**S, T, C ?**



## Sur site: Evaluation de l'impact sur le milieu d'exposition air ambiant - cas des travailleurs

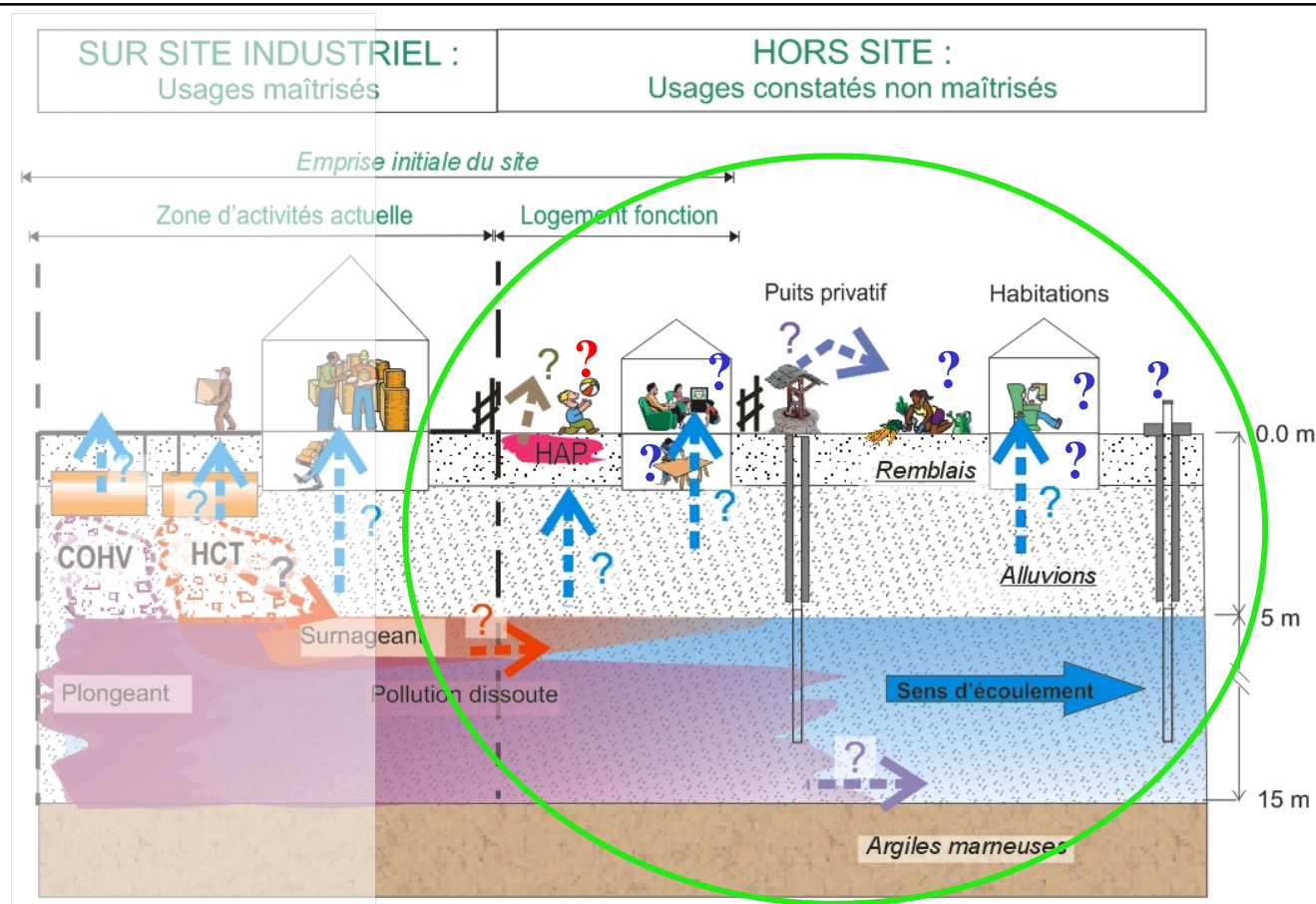
- diagnostic des sols et de la nappe : concentrations significatives en COHV
  - exposition potentielle du personnel par inhalation de vapeurs issues de la nappe et du sol
- ⇒ à la demande de l'industriel, réalisation de mesures de la qualité (plusieurs campagnes)
- air intérieur dans les pièces en sous-sol (occasionnellement fréquentées par le personnel et également afin de s'affranchir des toutes pollutions « classiques » de l'air intérieur et dans des locaux au rez-de-chaussée)
  - air extérieur

- MAIS le PCE et TCE, des substances « mises en œuvre » dans les installations
- ⇒ la santé du personnel relève du code du travail, appréciation des risques et mise en œuvre de mesures de prévention / protection fondées sur les dispositions du code du travail
- ⇒ pas traité dans cet exposé

# Hors site

## Rappel sur site :

- impact sur les sols et la nappe (COHV, hydrocarbures)



## Hors site :

- impact observé sur la sol de surface au droit de la parcelle voisine (ancienne emprise du site) : **concentrations significatives en HAP**
- impact observé dans la nappe au droit d'un puits privé en aval : **concentrations significatives en PCE**
- impact dans les piézomètres en aval du site
- évaluation prospective par modélisation hydrodispersive d'un impact sur la nappe hors site



# Maîtrise des sources sur site au regard des impacts hors site, mesures de gestion

- Nécessité d'un traitement des sols du site et de la nappe (**pompage + stripping et venting**)
- Étude de la compatibilité entre l'état des milieux et les usages constatés
- Comparaison des concentrations aux concentrations de l'environnement local témoin, aux valeurs réglementaires

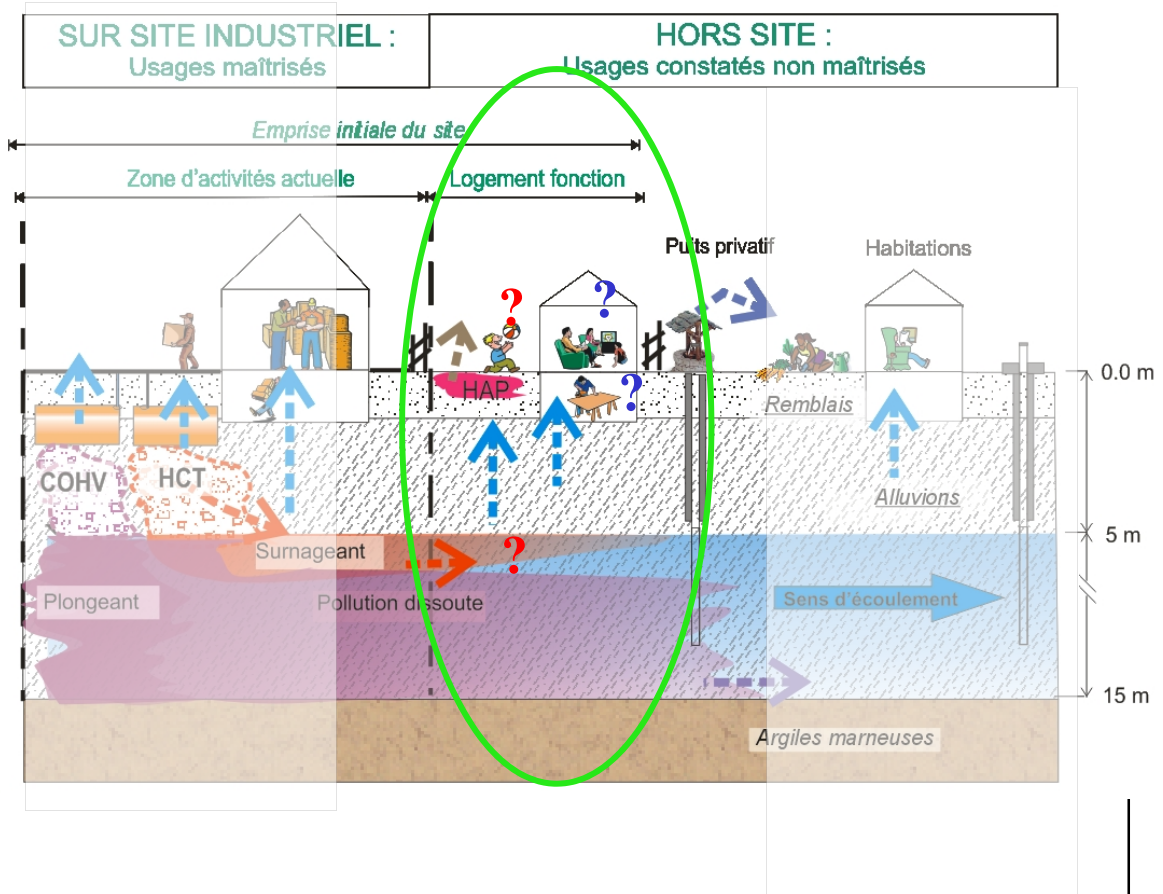




## Hors site

### Evaluation de l'impact sur le milieu d'exposition sol, air ambiant : cas des habitants du logement de fonction (1/4)

- nappe : concentrations significatives en COHV (ex. PCE : 300 µg/l, TCE 250 µg/l ; moindre en HCT)  
⇒ exposition potentielle par inhalation de vapeurs issues de la nappe
- au droit d'une ancienne zone de brûlage de palettes en bois dans l'horizon de sol de surface (0 à 50 cm)
  - présence de HAP, notamment du benzo(a)anthracène (120 mg/kg MS), benzo(a)pyrène (140 mg/kg), en indéno(1,2,3, c-d)pyrène (94 mg/kg MS)
  - des métaux et métalloïde (de quelques mg/kg MS à quelques dizaines de mg/kg de MS)
- ⇒ exposition potentielle par ingestion accidentelle de sol et inhalation de particules de sol lors des activités de loisirs en extérieur ou de jardinage

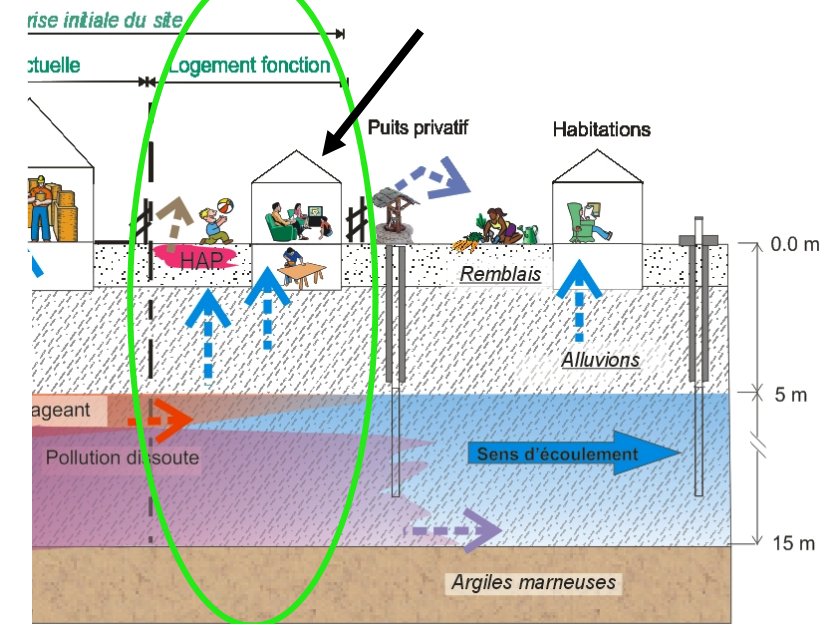


## Hors site

### Evaluation de l'impact sur le milieu d'exposition air ambiant intérieur et extérieur : cas des habitants du logement de fonction (2/4)

Quelle démarche ?

- Interprétation de l'Etat des Milieux
- Caractérisation du milieu d'exposition air ambiant
- réalisation de mesures de la qualité de l'air ambiant
  - air ambiant intérieur dans les pièces en sous-sol (occasionnellement fréquentées, mais également afin de s'affranchir de toutes pollutions « classiques » de l'air intérieur :
    - concentrations en BTEXN, .... : < à la limite de détection de  $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$
    - parmi les COHV : LD de  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  < seuls le TCE et le PCE < LQ de  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
  - air ambiant intérieur dans les pièces de vie en rez-de-chaussée
    - concentrations en BTEXN, ... : < à la limite de détection de  $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$
    - parmi les COHV : LD de  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  < seuls le TCE et le PCE < LQ de  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
  - **air ambiant de l'environnement local témoin : pièce de vie à l'étage et en air à l'extérieur**
    - LD de  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  < seuls le TCE et le PCE < LQ de  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$





# Hors site : Evaluation de l'impact sur le milieu d'exposition air ambiant (3/4)

OQAI, 2006 : tétrachloroéthylène

Usage de l'IEM : interprétation des résultats

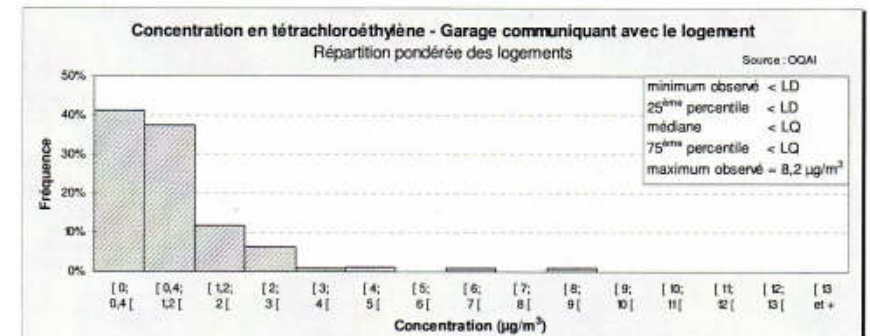
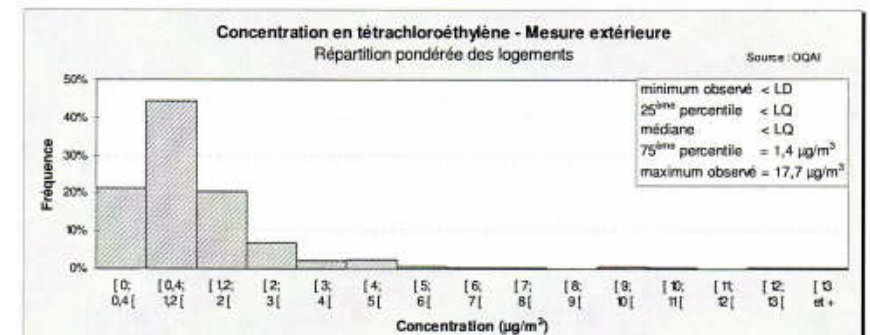
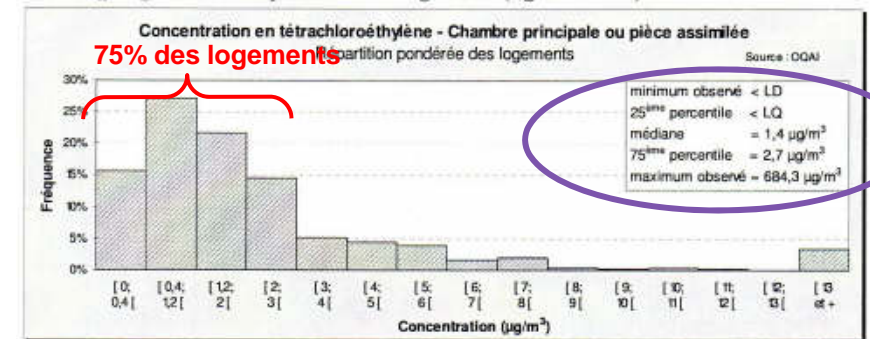
- pièce de vie = environnement témoin local (1ère étage, extérieur)
- dans gamme valeurs de l'OQAI
- absence de valeurs réglementaires nationales, mais valeur de l'OMS de  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$

⇒ pas de dégradation de la qualité de l'air pour le PCE et le TCE

⇒ Pas de préoccupation sanitaire

**Mais impact sur la nappe sur site et hors site**

⇒ maîtrise de la source sur site

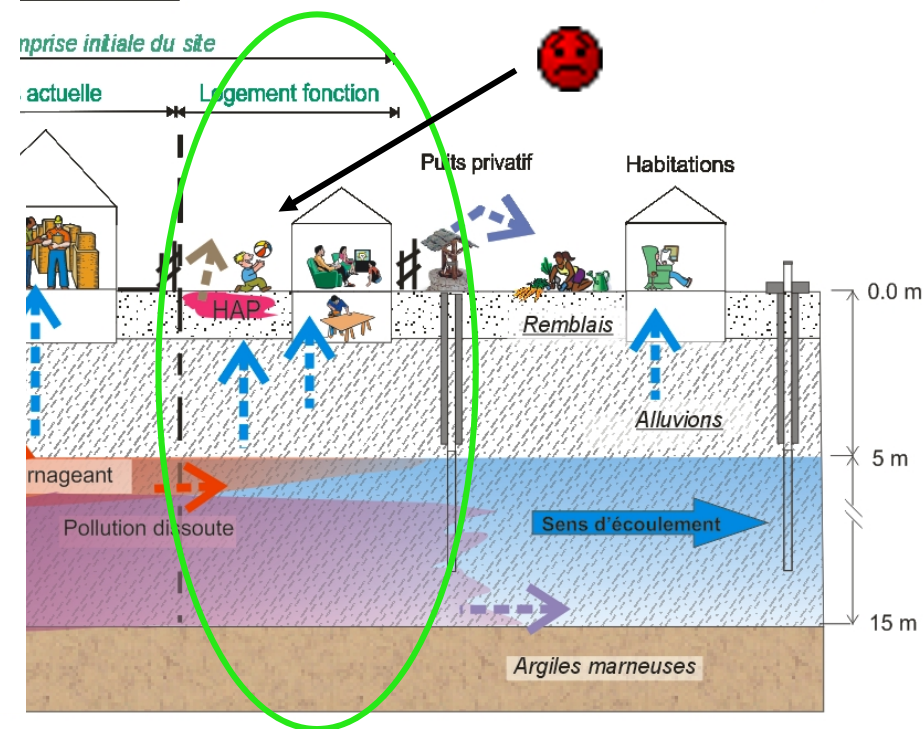


## Hors site : Evaluation de l'impact sur le milieu d'exposition sol (4/4)

Quelle démarche ?

- IEM
- comparaison aux concentrations de l'environnement témoin local, aux valeurs pertinentes de bases de données existantes dans la littérature

- ⇒ dégradation de la qualité des sols pour les HAP, autres substances dans la gamme des valeurs de l'environnement témoin local
- ⇒ grille IEM : EQRS pour une exposition par ingestion de sol hors comportement PICA par des enfants (rappel des hypothèses de travail...; absence de jardin potager)
- ⇒ risque pour les effets cancérigènes de l'ordre de  $3 \cdot 10^{-5}$
- ⇒ dans l'intervalle de gestion « zone d'incertitude »







# Traitements envisagés

- Mesures simples ?
- Plan de gestion :
  - Maîtrise de la source ?
  - Maîtrise des impacts ?
  - Bilan coûts/avantages ?



- **Zone des HAP**

- Prise en compte des éléments suivants :
  - sensibilité du site (jardin)
  - sols de subsurface (risque par ingestion)
  - absence de risque par inhalation
  - faible volume de sols pollués ( $\approx 20 \text{ m}^3$ )

- Traitements envisageables :
  - recouvrement (pour « couper » le transfert)
  - excavation et élimination en centre agréé





# Traitements envisagés

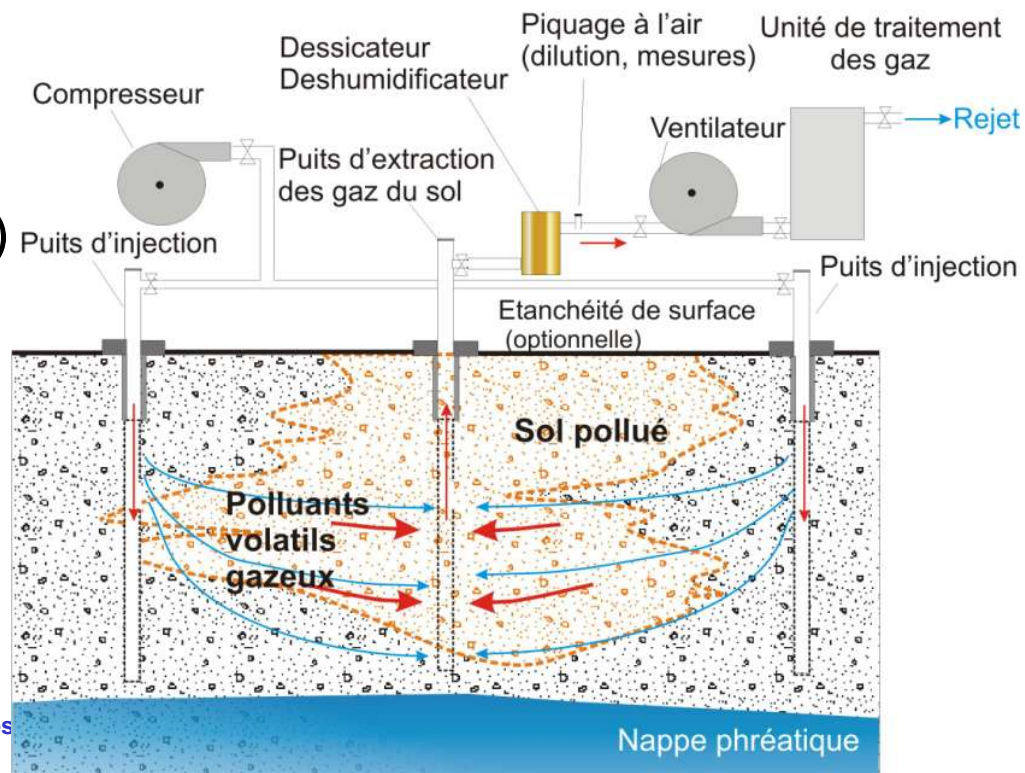
## ■ Zone des COHV (+ HCT)

■ Prise en compte des éléments suivants :

- sensibilité de la nappe et de son usage
- volonté d'épuiser au plus vite la source de produit pur pour diminuer le temps de traitement de la phase dissoute
- volonté de limiter l'extension du panache et de rétablir la compatibilité des milieux et des usages
- sols pollués en profondeur
- fort encombrement du site
- contexte hydrogéologique (perméabilité, toit de la nappe)

■ Traitements envisageables :

- traitement in situ/on site  
⇒ pompage/stripping et venting

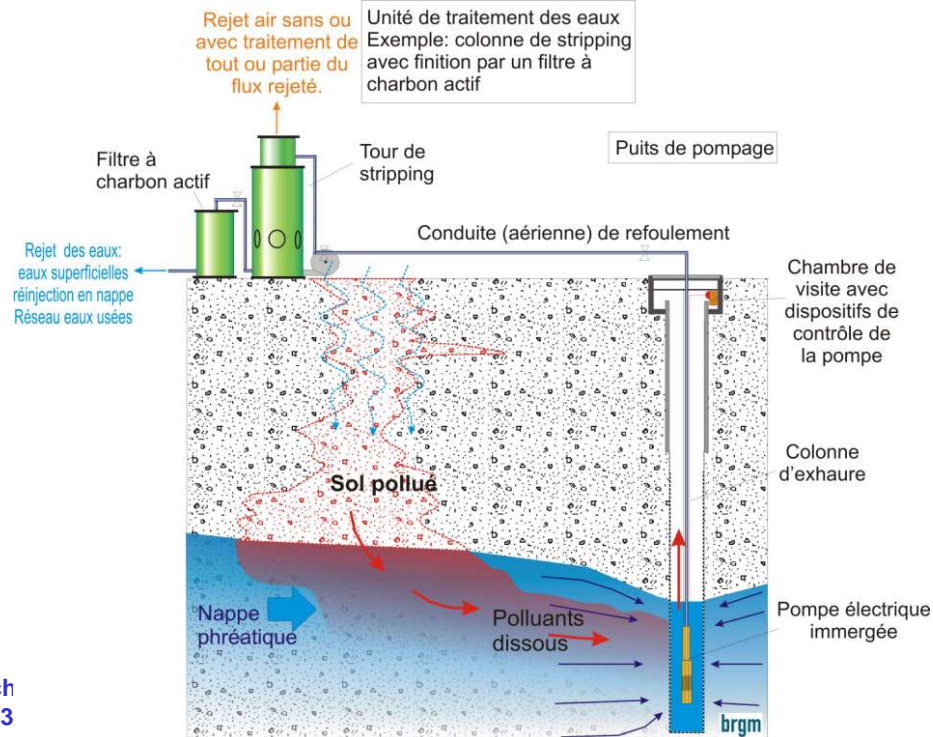




# Traitement du milieu souterrain

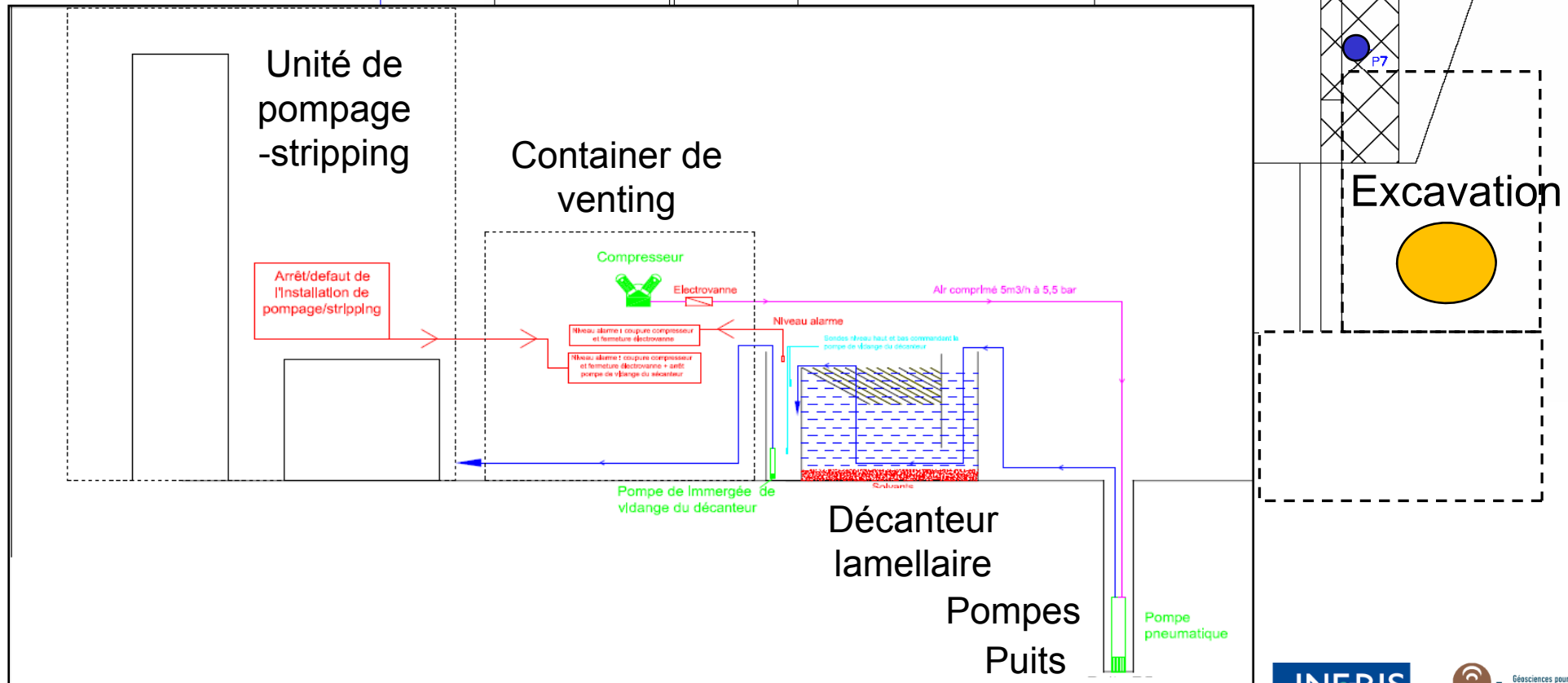
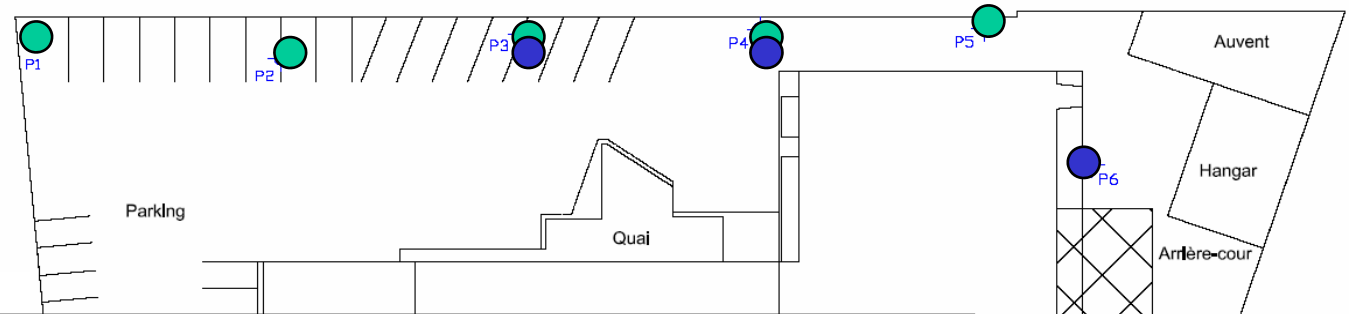
## Pump and treat - venting

- 7 puits de pompage des eaux
- Petit séparateur d'hydrocarbures
- Tour de stripping (8m de haut), soufflante de 1 400 m<sup>3</sup>/h
- 5 puits de venting
- 2 filtres à charbon actif de 4,4 t chacun



# Localisation des installations de traitement

- Pump and treat
- Venting





# Hors site

## Evaluation de l'impact de la source nappe sur site et panache associé hors site et expositions

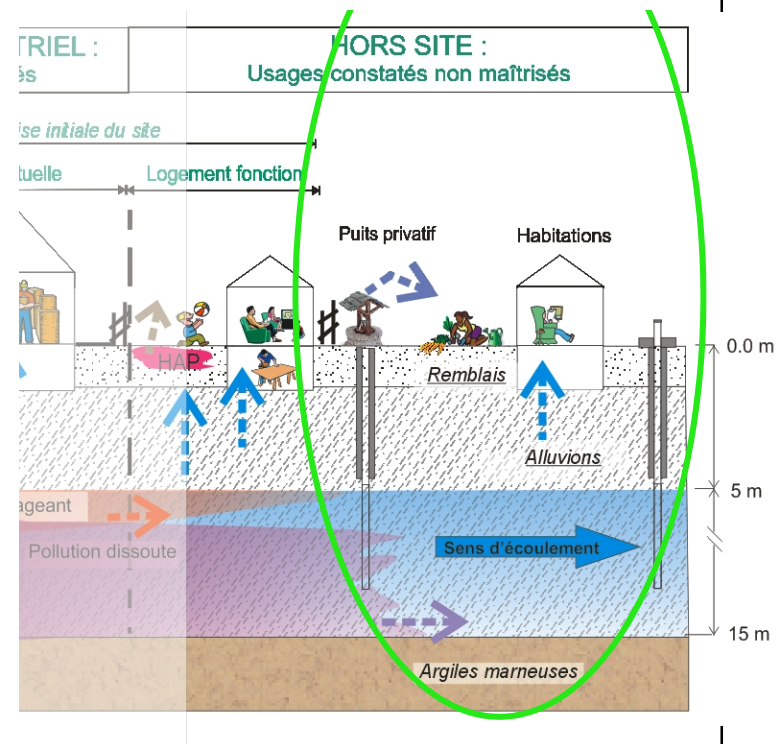
Dans le puits privé : PCE (40 µg/l) et en TCE (15 µg/l) (absence de CV)

⇒ exposition potentielle par ingestion d'eau et autres voies d'exposition liées à un usage domestique (arrosage de végétaux potagers ⇒ prélèvements)

⇒ exposition potentielle par inhalation de vapeurs issues de la nappe



Quelle démarche? L'IEM



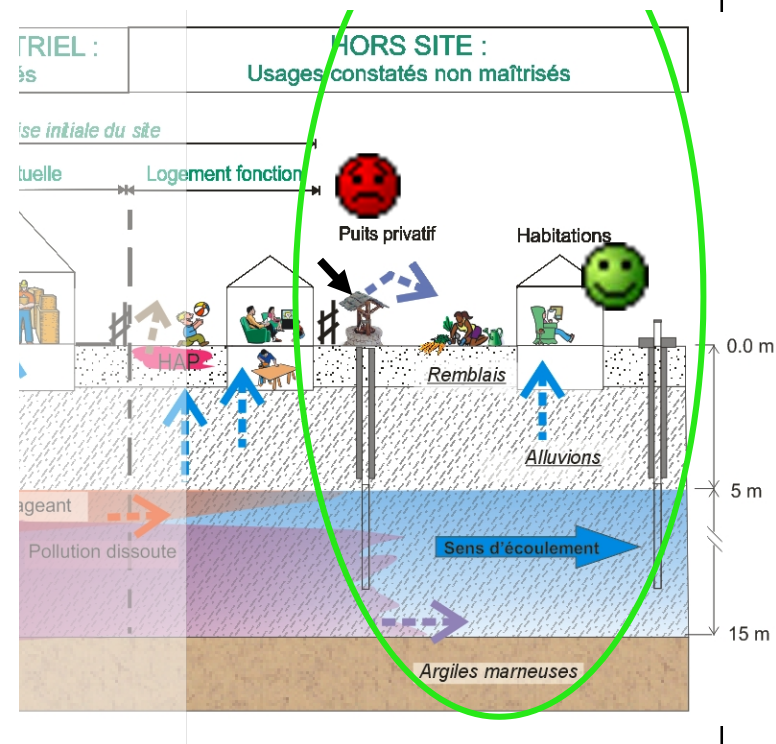




# Hors site

## Evaluation de l'impact de la source nappe sur site et panache associé hors site et expositions

- < LD dans végétaux
  - eau du puits, données existantes :
    - comparaison aux concentrations hydrogéochimiques de l'environnement témoin local
    - aux valeurs de gestion réglementaires mises en place par les pouvoirs publics (critères de potabilité des eaux)
  - valeurs de gestion réglementaires pour la somme (PCE+TCE) de 10 µg/l
- ⇒ dégradation du milieu en aval du site
- ⇒ **mise en place d'une mesure de gestion provisoire : restriction d'usage des puits privés en aval pendant la phase de traitement de la source sol sur site et nappe**
- caractérisation de la qualité de l'air ambiant ? ⇒ pas nécessaire







## Mise en place du traitement sur site

### ARR prospective pour assurer la compatibilité hors site pour l'usage des puits privés (1/2)

- Résultats issus de l'EQRS pour un usage domestique des puits privés, principalement scénario pour l'ingestion d'eau (absence de prise en compte d'un scénario d'exposition aux vapeurs issues de la nappe pour les riverains et d'exposition par ingestion de végétaux)
- relations à respecter :



avec [X] = concentration de la substance X en  $\mu\text{g/L}$  dans la nappe

QD = niveau de risque associé à 1  $\mu\text{g/L}$  de substance X dans la nappe

ERI = niveau de risque associé à 1  $\mu\text{g/L}$  de substance X dans la nappe

- effet à seuil, cas d'une approche précautionneuse pour QD (somme systématique) :
 
$$QD * [Aro C>8-10] + \dots + QD * [Aro C>10-12] + \dots + QD * [Ali C>8-10] + QD * [Ali C>10-12] + \dots + QD * [benzène] + QD * [toluène] + QD * [naphtalène] + QD * [pyrène] + \dots + QD * [PCE] + QD * [TCE] \dots < 1$$
- effet sans seuil :
 
$$ERI * [benzène] + ERI * [éthylbenzène] + ERI * [naphtalène] + ERI * [pyrène] + ERI * [benzo(a)pyrène] + ERI * [b(a)anthracène] + \dots + ERI * [PCE] + ERI * [TCE] + ERI * [CV] \dots < 10^{-5}$$



## Mise en place du traitement sur site

### ARR prospective pour assurer la compatibilité hors site pour l'usage des puits privés (2/2)

- arrêt de l'ARR prospective dès atteinte des valeurs repère dans le cadre du plan de gestion,  $QD < 1$  et  $ERI < 10^{-5}$  (cf. formules précédentes)
- avec *a minima* (au vu des résultats du bilan coûts / avantages,...)
  - respect des valeurs de gestion réglementaires mises en place par les pouvoirs publics (critères de potabilité des eaux) :



[benzène] < 1 µg/l ; [benzo(a)pyrène] < 0,01 µg/l ; somme benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)fluoranthène, indéno(1,2,3, cd)pyrène < 0,1 µg/l  
[PCE + TCE] < 10 µg/l ; [CV] < 0,5 µg/l

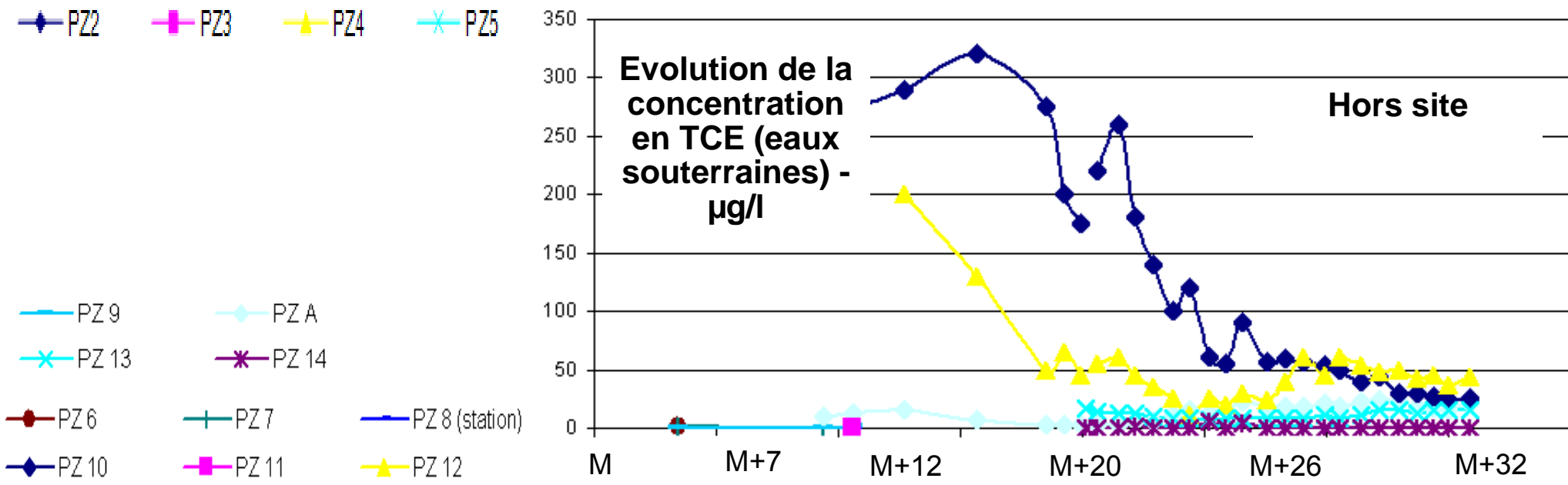
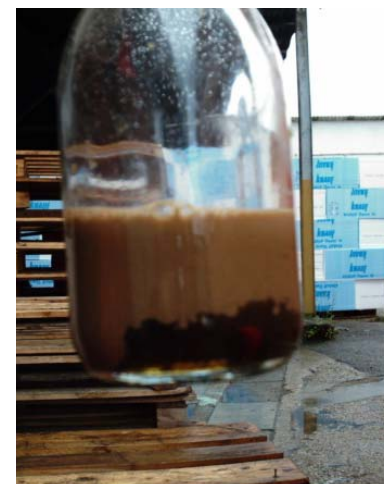
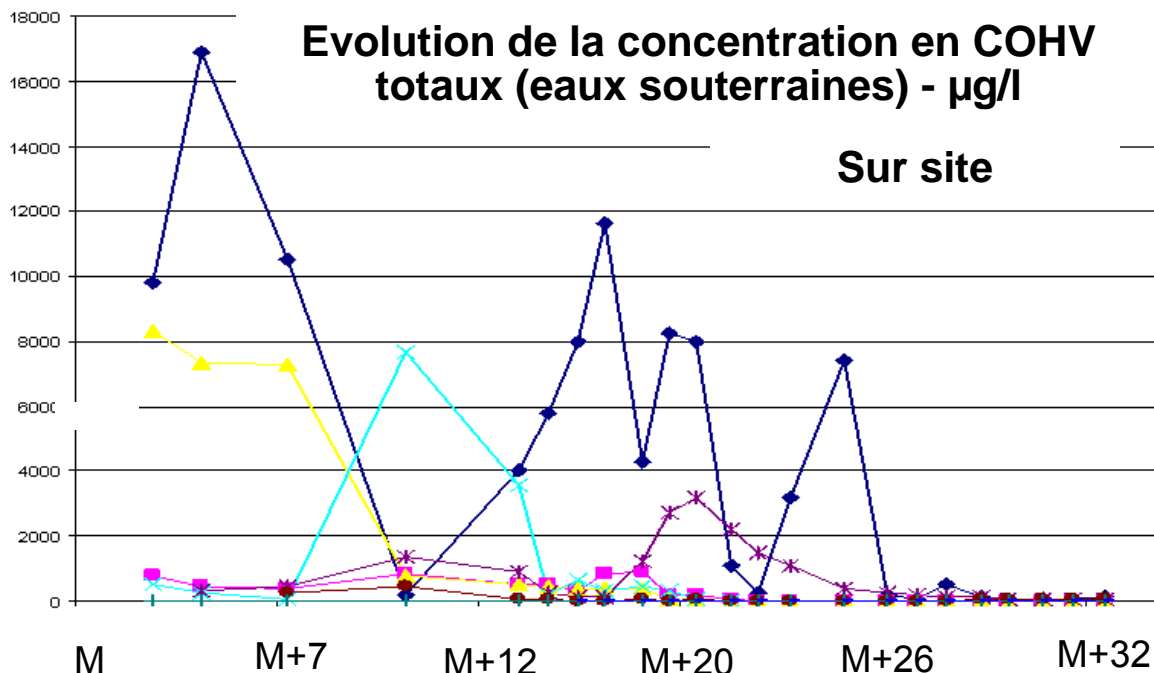
- respect de la valeur repère de 1 pour la sommation des QD, avec respect de la règle d'additivité :



- Foie :  $QD * [\text{éthylbenzène}] + QD * [\text{Ali } C>8-10] + QD * [\text{Ali } C>10-12] + QD * [\text{Ali } C>12-16] + QD * [\text{acénaphène}] + QD * [\text{fluoranthène}] + QD * [\text{fluorène}] + QD * [\text{phénanthrène}] + \dots + QD * [\text{tétrachloroéthylène}] + QD * [\text{trichloroéthylène}] \dots < 1$
- Rein :  $QD * [\text{éthylbenzène}] + QD * [\text{pyrène}] \dots < 1$
- .....



# Evolution de la concentration en COHV



# Bilan de matières / COHV extraits

- Venting : 780 kg
- Pompage et stripping : 880 kg
- Produit récolté dans le décanteur en P5 : 325 kg
- Objectif : épuiser au plus vite la source de produit pur pour diminuer le temps de traitement de la phase dissoute
- Bilan financier : 320 000 €



# Cas hors site, zone résidentielle avec puits privés, à l'issue de la phase de traitement des sols sur site et de la nappe

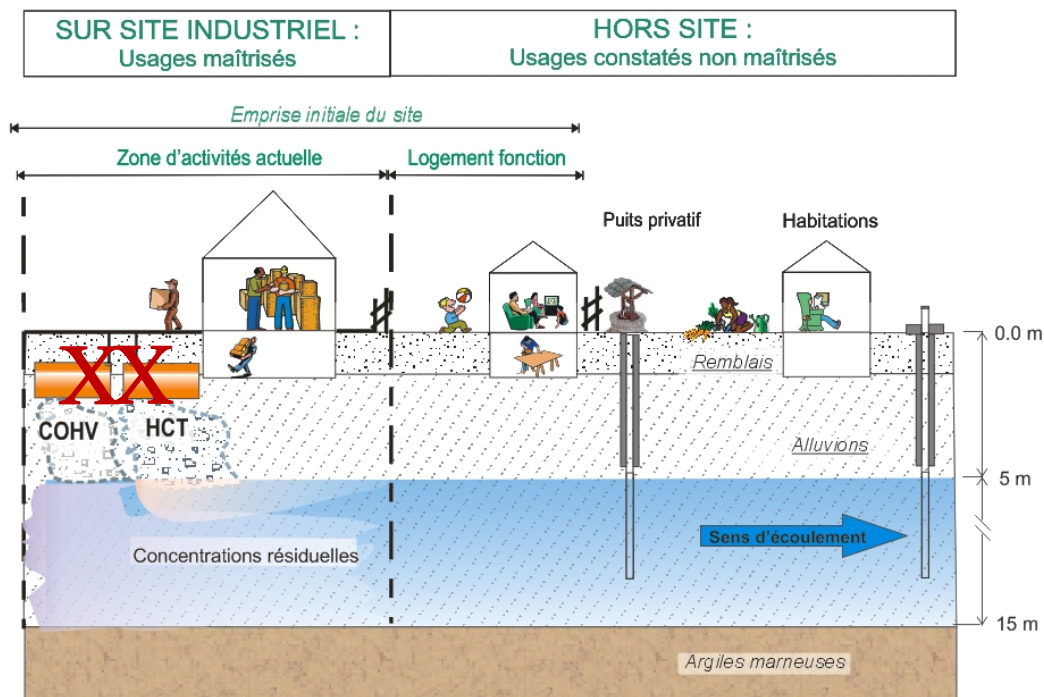
Résultats des campagnes dans les eaux souterraines au droit des puits privés

- < valeurs de gestion réglementaires mises en place par les pouvoirs publics (critères de potabilité des eaux) pour le TCE + PCE, le CV, etc
- pour les autres substances, dans la gamme des valeurs des concentrations hydrogéochimiques de l'environnement local témoin en amont

⇒ épuisement du terme source

⇒ suffisance des mesures de gestion

- Malgré cela, nécessité d'une surveillance de la nappe limitée dans le temps pour caractériser les effets « rebound »







# Conclusion

- Lorsque les milieux sont dégradés : **AGIR et GERER**
  - En priorité, protéger les populations : couper, à défaut réduire les expositions aux polluants
  - Dans le même temps réparer les dégâts environnementaux : mettre en œuvre les techniques éprouvées
  - Un outil de gestion : le schéma conceptuel qui comprend nombre des éléments de la démarche d'évaluation des risques sanitaires
  
- En cas de contact avéré des polluants avec la population, possibilité de gérer sans recourir à l'EQRS : les textes de février 2007 définissent les modalités de mise en œuvre de l'EQRS en fonction des contextes de gestion
  
- En cas de recours à l'EQRS : être conscient des incertitudes (cf. JT 7)

***Merci de votre attention***