

# « Pollution des sols et santé »

**28/10/2013**

Christelle LEDEVEHAT et Nathalie MONTIGNY  
BURGEAP

Mail : [c.ledevehat@burgeap.fr](mailto:c.ledevehat@burgeap.fr); [n.montigny@burgeap.fr](mailto:n.montigny@burgeap.fr)





# Le Groupe BURGEAP IGIP Holding

Première société  
d'ingénierie européenne

40 implantations dans le  
monde

Ingénieurs conseils  
indépendants  
depuis 60 ans

700 collaborateurs et 13  
filiales dans le monde avec  
IGIP

CA 2008 : 50 M€

Certifié ISO 9001, qualifié  
OPQIBI, QUALIPOL et GEHSE ;  
ISO 14001 par sa filiale  
BURGEAP Nucléaire &  
Déconstruction

# Nos atouts



Un engagement historique dans l'aide au développement depuis 1947



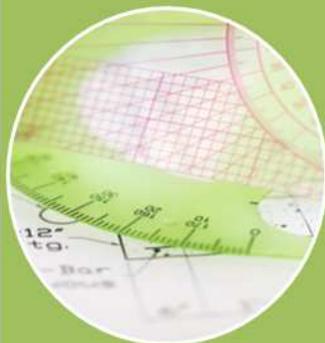
Une présence dans plus de 40 pays



Une parfaite connaissance du contexte local en France et dans le monde



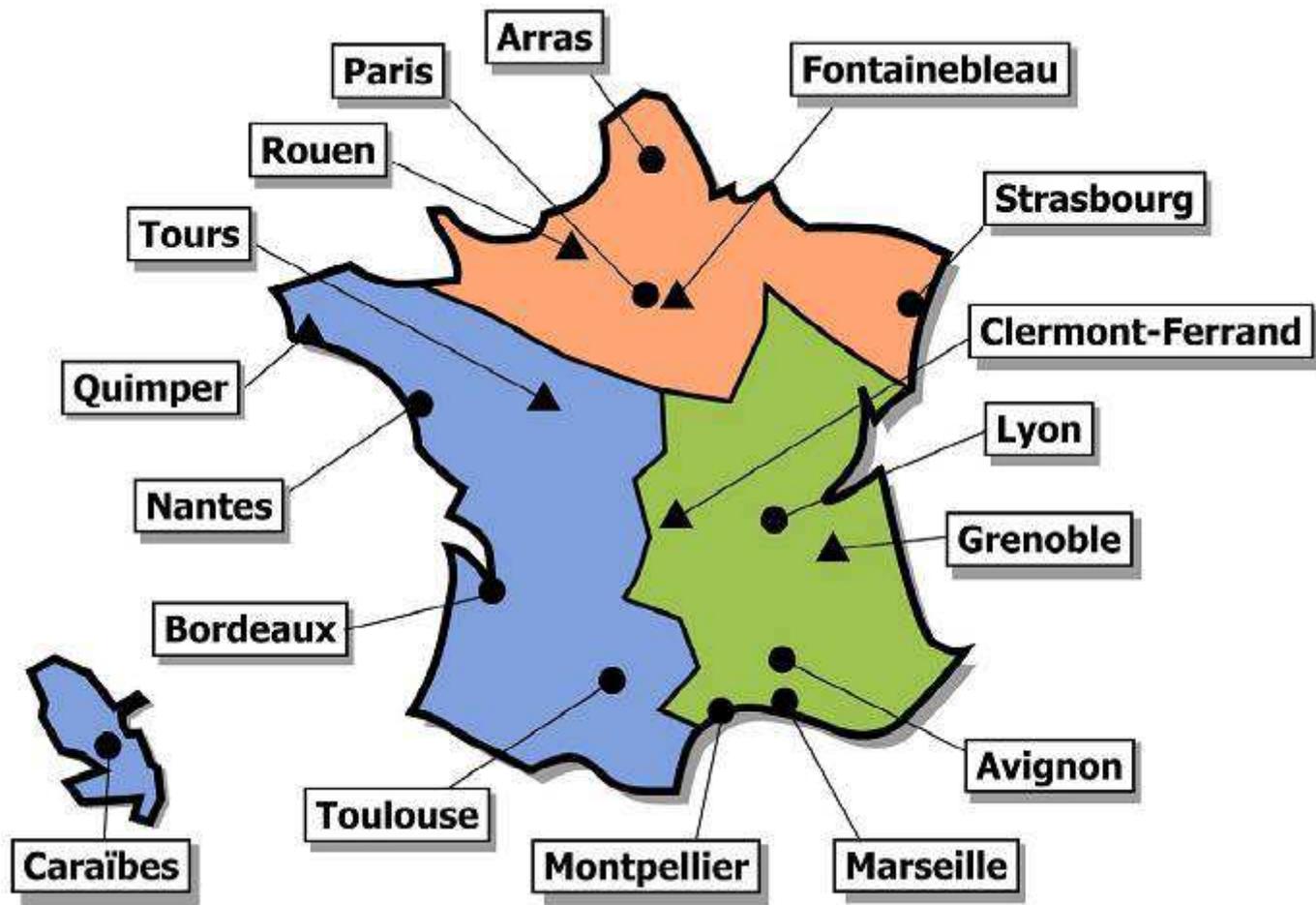
Des conseils adaptés et une mobilisation rapide d'experts



Des méthodologies fondées sur des standards nationaux ou internationaux



# De nombreuses implantations en France



# Nos métiers



**Eau et assainissement**



**Sol**



**Air**



**Energie**



**Santé publique**



**Environnement industriel**



**Aménagement et construction durables**

## Pollution des sols et santé

1. Définition et principe et Notion de risque sanitaire
2. Les responsabilités
3. Les principaux polluants : propriétés et comportement des composés les plus couramment rencontrés
4. Les missions de recherches environnementales
5. Plan de gestion et techniques de dépollution

## Définition : Réhabilitation ou remise en état

« remettre le site dans un état tel qu'il ne présente aucun danger ou inconvénients *pour l'environnement* » *Sept 1977*

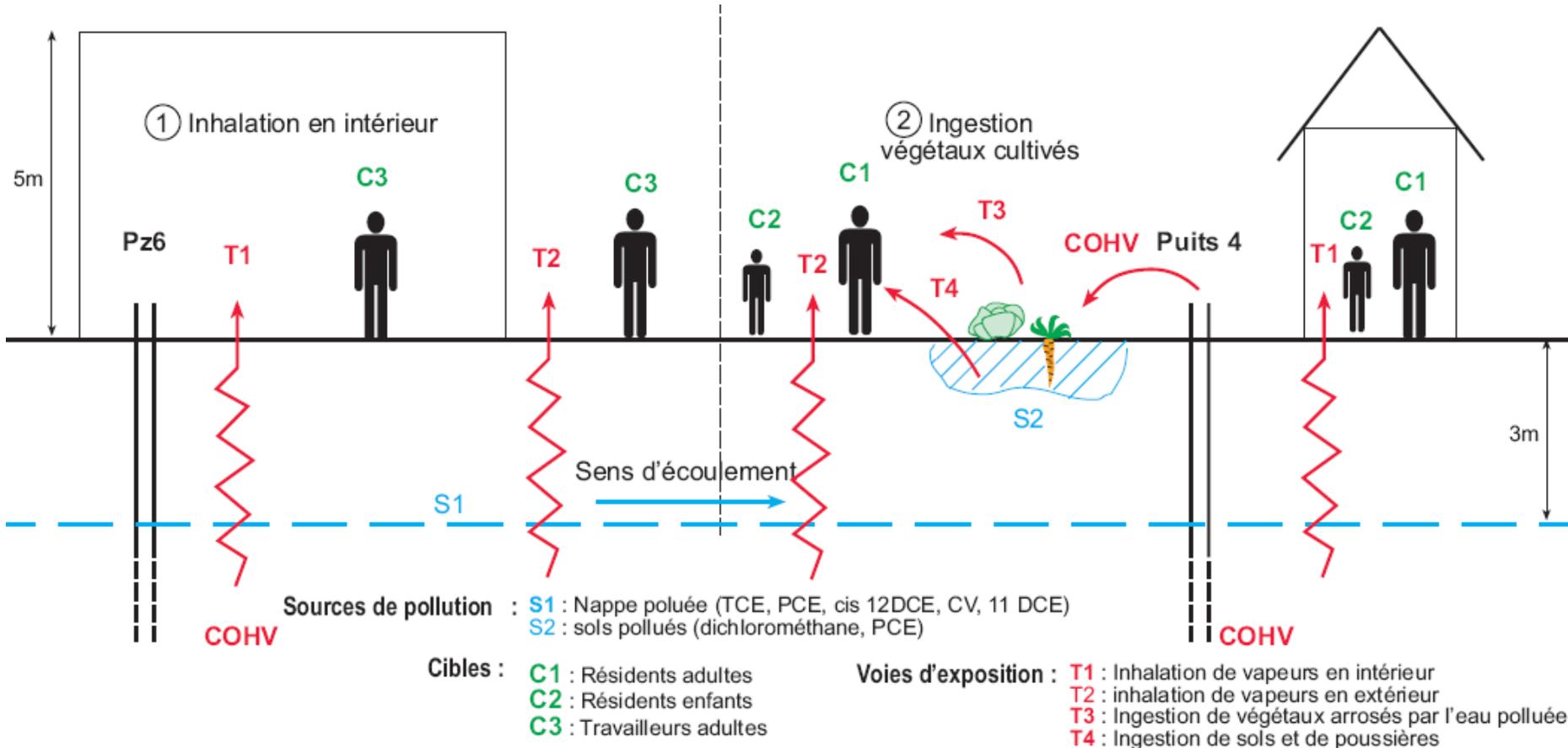
**Se baser sur Circulaire février 2007**

- Établir la compatibilité sanitaire**
- Maitriser les impacts et les sources sur site et hors site**

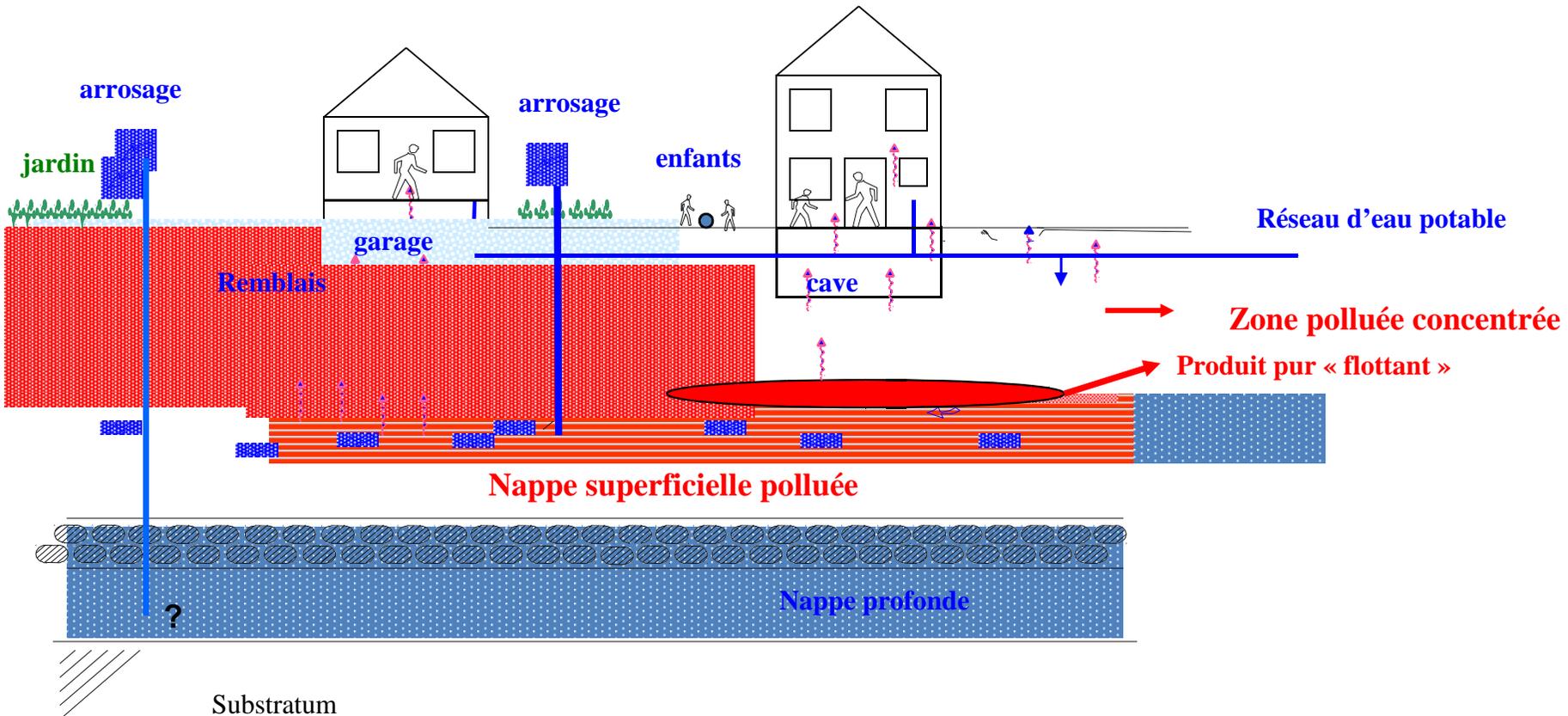
# Le document essentiel : schéma conceptuel

Usages sur site

Usages en aval immédiat du site



# Y-a-t-il compatibilité sanitaire ?



=

**Même en cas de compatibilité sanitaire, maîtriser la source et les impacts**

- ▶ **risque** = probabilité de survenue d'effets néfastes pour la santé dans des conditions déterminées.
  
- ▶ Un risque est défini par :
  - ▶ une source de contamination,
  - ▶ un vecteur de transfert de la contamination,
  - ▶ un milieu d'exposition,
  - ▶ une cible.
  
- => Si l'un de ces éléments n'existe pas, alors aucun risque n'est caractérisable.

- ▶ **Caractérisation des risques** basée sur des **calculs théoriques** :
  - ▶ données du diagnostic environnemental,
  - ▶ scénarii d'exposition (majorant/moyen),
  - ▶ références toxicologiques.
- ▶ **Calculs** de probabilités de survenue des **effets indésirables** susceptibles de se produire dans la population étudiée.

=> Codifiée par la méthode de l'**EQRS** :

~~**E**valuation **Q**uantitative des **R**isques **S**anitaire~~

- ▶ EQRS réalisée à l'issue du diagnostic pour **interpréter** la présence de certaines pollutions au regard d'un projet d'aménagement
  - ▶ C'est un **outil**, une méthode de calcul pour aide à la décision, mais pas une fin en soi :
    - ▶ Les pollutions peuvent elles présenter un risque pour la santé des usage futurs envisagés?
    - ▶ Si oui, que dois je faire pour assurer que l'état des milieux sera compatible avec l'usage envisagé?
  - ▶ L'ARR (**A**nalyse des **R**isques **R**ésiduels = EQRS menée à partir des concentrations résiduelles
-

## ► **Textes de base :**

- ▶ Guide du Ministère, du BRGM et de l'INERIS,  
« Gestion des sites pollués : diagnostic approfondi – Evaluation  
détaillée des risques », v0 de juin 2000
- ▶ Circulaires du 8 février 2007
- ▶ Guide du Ministère « La démarche d'analyse des risques résiduels  
ARR », v0 du 8 février 2007

## Méthodologie

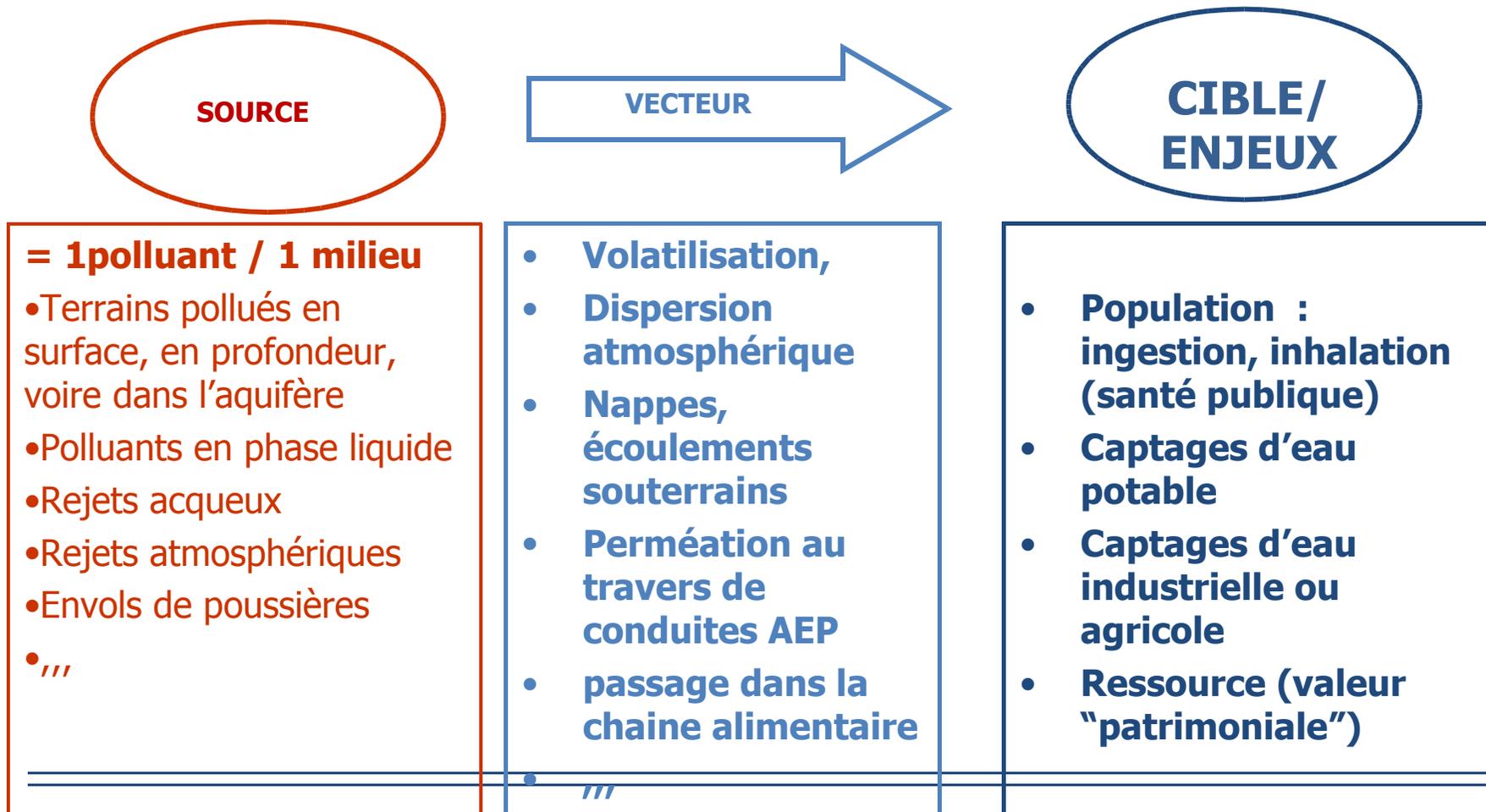
- ▶ principe de précaution : l'absence de certitude ne doit pas retarder l'adoption de mesures visant à prévenir un risque de dommages à l'environnement,
  - ▶ principe de proportionnalité : cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude et l'incidence prévisible de la pollution,
  - ▶ principe de spécificité : pertinence de l'étude par rapport à l'usage et aux caractéristiques du site,
  - ▶ principe de transparence : justification des choix et bonne lisibilité de l'étude.
- 
-



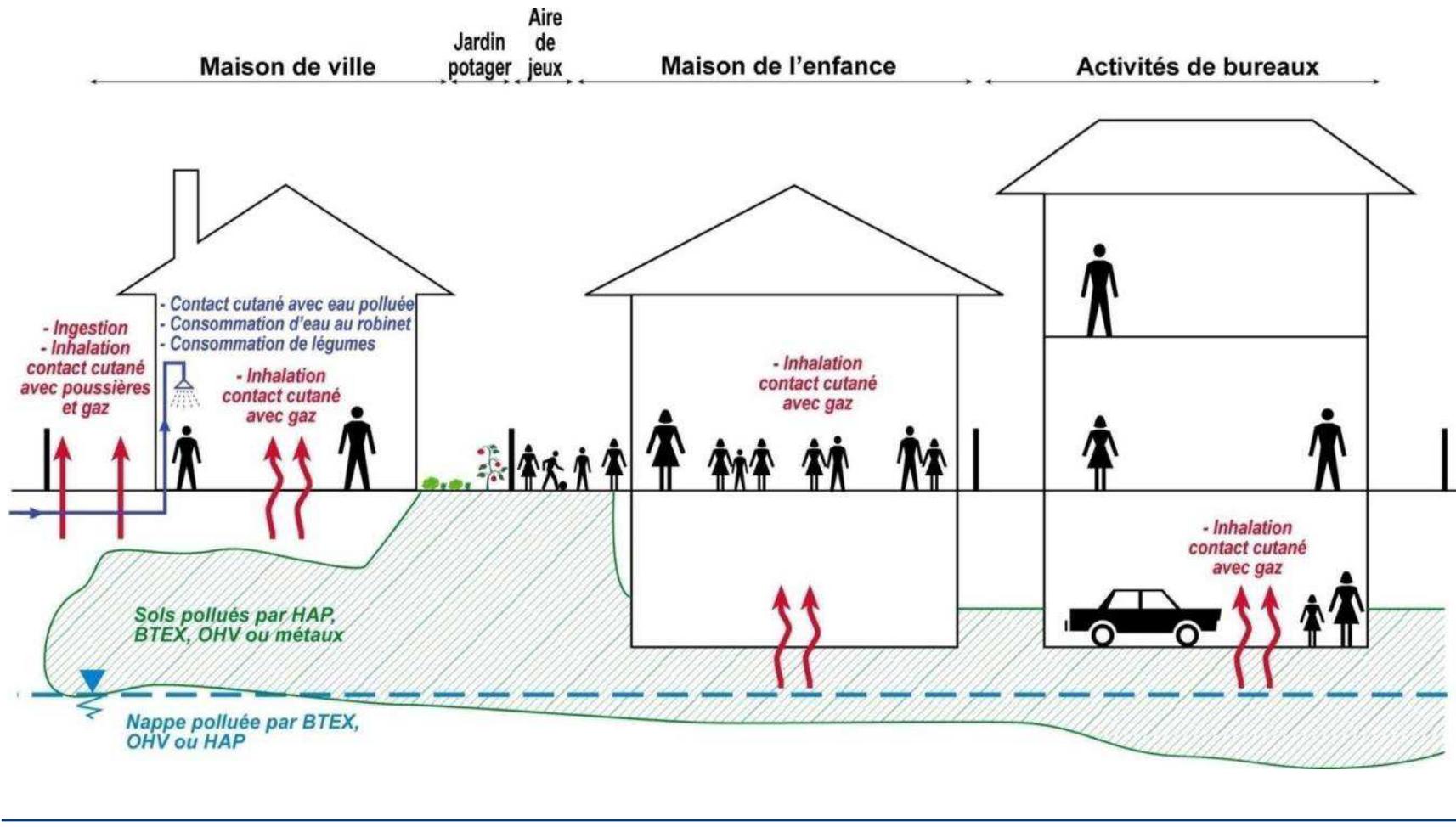
# Grandes étapes d'une EQRS

- ▶ Phase préliminaire : Elaboration du **schéma conceptuel**
- ▶ **4 étapes** fondamentales :
  - ▶ Identification des dangers
  - ▶ Relations dose-réponse
  - ▶ Estimation des expositions
  - ▶ Caractérisation du risque (évaluation aux regard des Incertitudes et sensibilité)

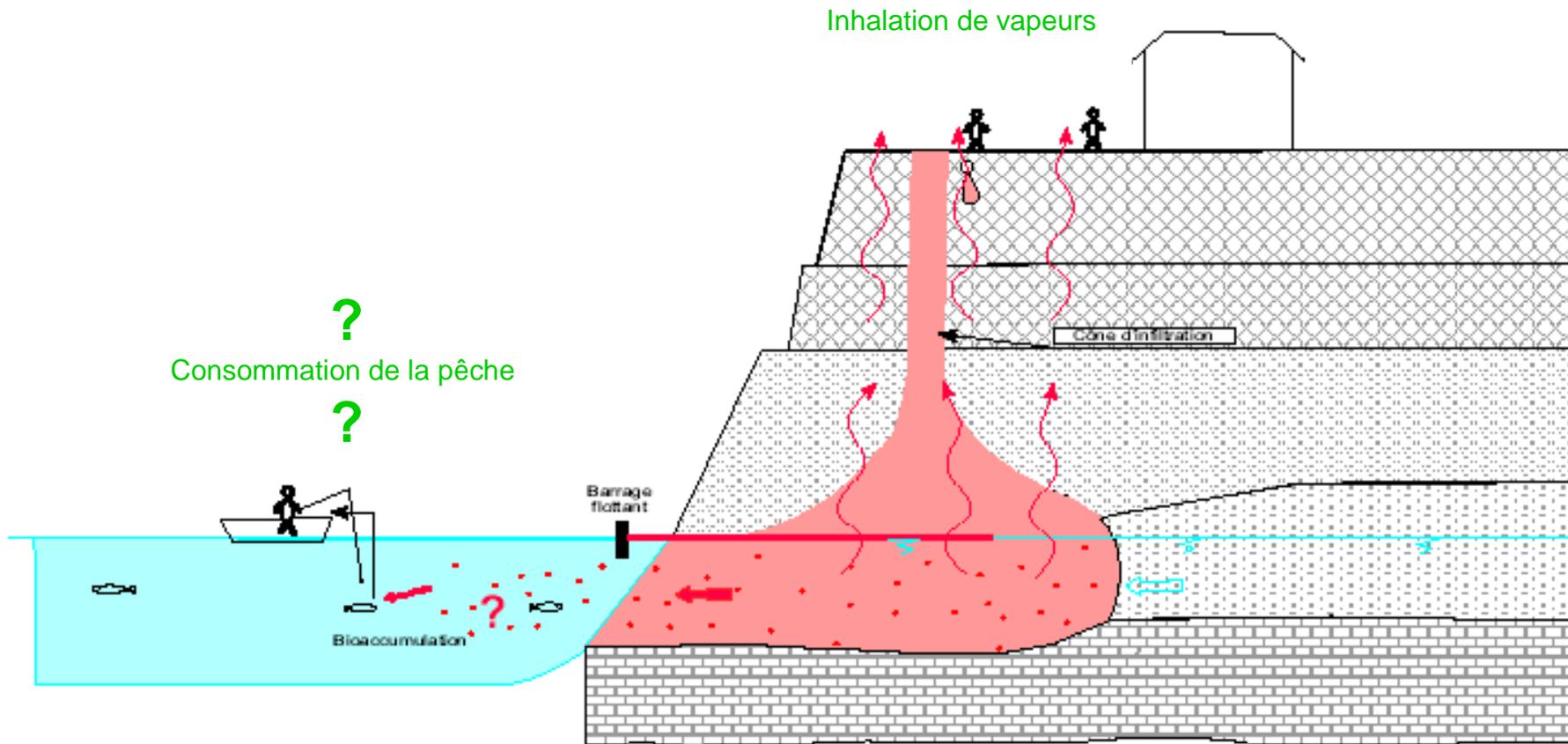
# Le schéma conceptuel



## Premier schéma conceptuel sur site....



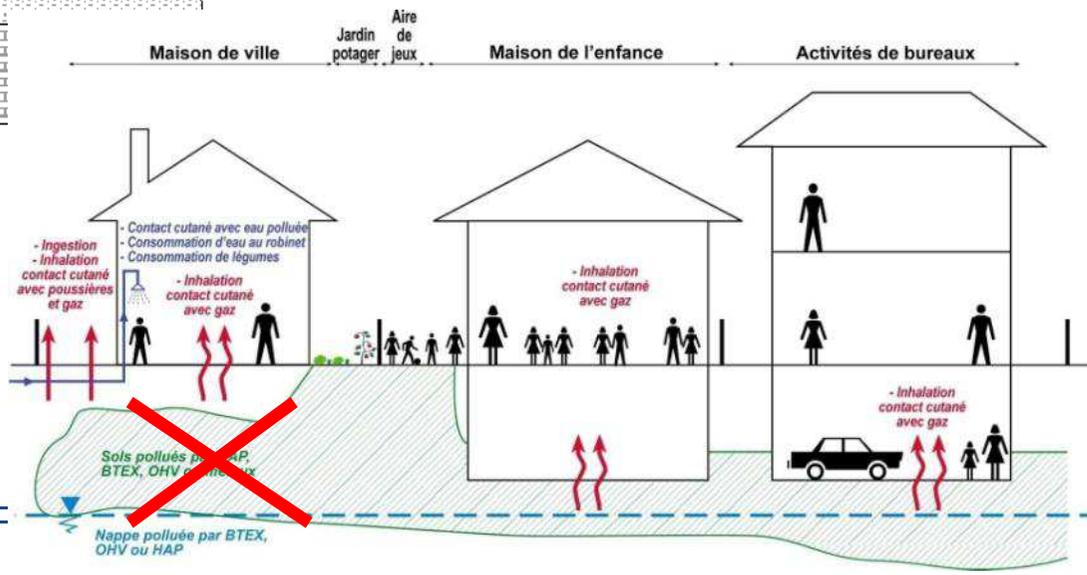
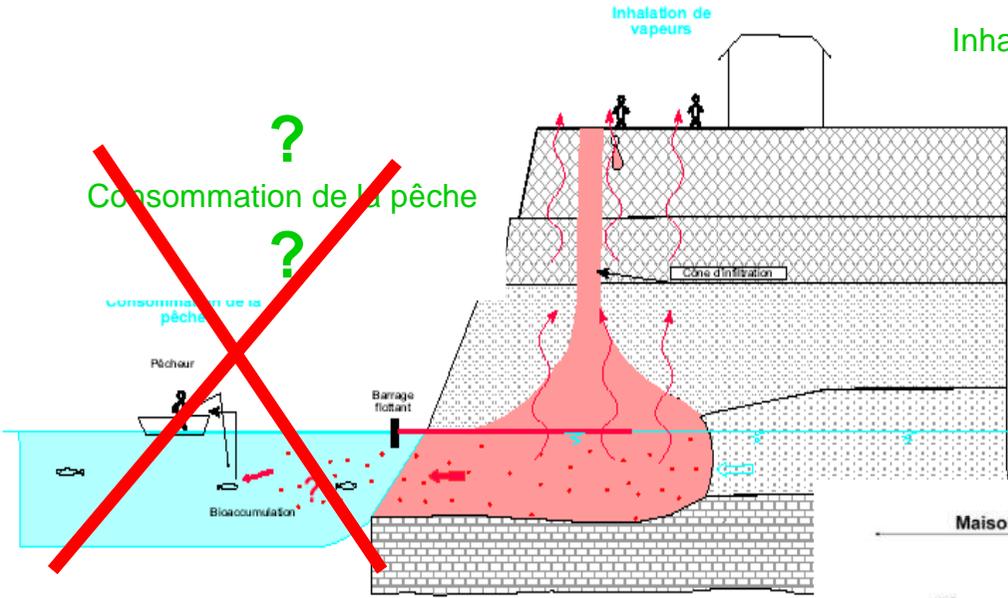
## ... et hors site



# Schémas conceptuels mis à jour

Inhalation de vapeurs

~~Consommation de la pêche~~ ?  
~~Consommation de la pêche~~ ?



▶ **Identification des dangers**

Le danger = Propriété ou capacité intrinsèque d'une substance de causer un dommage pour la santé

▶ **Relation dose/réponse**

estimation de la quantité de substance à laquelle un individu peut théoriquement être exposé sans constat d'effet nuisible

## Les voies d'exposition :

### Inhalation

Vapeur du sol

Poussières / sols

Vapeurs d'eau

### Ingestion

de sol

d'eau

Végétaux

Poissons, viandes

### Contact cutané

de sol/ poussières

de l'eau

des gaz

- **Les cibles :**

- Quels utilisateurs du site : adultes ? enfants ?
- Quel usage : habitat collectif ou individuel, tertiaire, travailleurs, usagers, ...
- Définition du budget espace temps, du poids, des habitudes alimentaires ...
  - enquête spécifique (usages existants)
  - base de donnée CIBLEX (ADEME)
  - enquêtes INSEE (emploi du temps des ménages, habitudes de consommations , etc.)
  - « Exposure Factor Handbook » (US-EPA)

## Seuils d'acceptabilité

- **Le Ministère chargé de l'environnement définit le niveau « Acceptable » et donc implicitement ce qui est « inacceptable »**

- ▶ Pour les effets à seuil : **QD < 1**

La dose d'exposition doit rester inférieure à la dose admissible

- ▶ Pour les effets sans seuil : **ERI < 10<sup>-5</sup>**

La probabilité supplémentaire de développer un cancer associée aux expositions ne doit pas être supérieure à 1 cas sur 10 000 personnes exposées.

# Acceptabilité



## **SERVITUDES et MESURES DE PROTECTION**

Propositions de :

- modification d'aménagement (pour limitation des expositions)
- servitudes
- surveillance des milieux

## **RETABLIR LA COMPATIBILITE**

- Mesures de gestion simples ou renvoi au plan de gestion
- Détermination des objectifs de dépollution au regard des usages

# Seuils d'acceptabilité

## En cas d'incompatibilité entre l'état du site et ses futurs usages

### **Action sur la source**

- Dépollution,
- Excavation et élimination

### **Action sur les transferts**

- Confinement de la source
- Confinement du panache (mise en surpression du vide sanitaire, barrière hydraulique, barrière réactive... )
- Typologie de bâtiments (fondations, ventilation...)

### **Action sur les cibles**

- 
- Modification du plan d'aménagement

## V) Sensibilité et incertitudes

- ▶ But de cette partie de l'étude : répondre aux questions suivantes :
  - ▶ *Les risques calculés sont-ils majorants ? Réalistes ? Minorants ?*
  - ▶ *Quels sont les principaux facteurs qui influencent les niveaux de risque calculés ?*
  - ▶ *Une modification des hypothèses retenues aurait-elle conduit à une modification des résultats de l'étude ?*

# Ce que demande l'administration

## Privilégier les solutions simples et robustes

**A bilan coûts - avantages comparable**, doivent être recherchées :

- en premier lieu les mesures visant à **l'élimination de la source** (ex : traitement, enlèvement de taches de pollutions concentrées...) **indépendamment des aspects sanitaires**
- en second lieu celles conduisant à **désactiver une ou des voies de transfert**, c'est à dire les possibilités de mise en contact avec les polluants

## Choix de la remise en état

1- SE POSITIONNER par rapport à la réglementation : **Plan de gestion**

EXTRAIRE SOURCE

CONFINER

Restrictions d'usage

2 BIEN IDENTIFIER LES POLLUANTS

Propriété, comportement, milieu concerné

3 OBJECTIFS DE TRAITEMENT , **COUTS et Risques sanitaires**

Réalistes, relation cout / efficacité / **durabilité**

Engagement des sociétés travaux

AVANT TOUTE CHOSE QUI EST RESPONSABLE ? QUI PAYE ?

1. Définition et principe Notion de risque sanitaire
2. Les responsabilités
3. Les principaux polluants : propriétés et comportement des composés les plus couramment rencontrés
4. Les missions de recherches environnementales
5. Plan de gestion et techniques de dépollution

# PREALABLE A L'ACHAT

## 1. Questions à se poser préalablement à l'achat d'un site :

- Quel est l'**usage de ce site** ?
  - Usage industriel ? Quel type d'activité ? Polluants éventuels ?
  - Usage d'habitation ? Quel type de chauffage ?
  - Champs ? Possibilité d'utilisation des produits phytosanitaires ?
- Présence de sites à risque de pollution au voisinage immédiat ?

## 2. Investigations à réaliser pour lever le doute :

### Étude historique et documentaire

afin de recenser les activités pratiquées sur le site et les polluants éventuels  
et de vérifier la vulnérabilité du milieu souterrain



### Diagnostic de pollution (sols, eaux souterraines, air du sol)

## 3. Évaluation du passif environnemental du site et de la faisabilité du projet

---

## Principe pollueur - payeur

| Le site abrite(ait)   | Une ICPE                          | Activité Non ICPE                 |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Responsable :   | Exploitant ou liquidateur         | Propriétaire ou liquidateur       |
| A défaut :  | Les ayants droits de l'exploitant | Les ayants droits du propriétaire |
| Toute personne qui a connaissance de la présence d'une pollution doit le porter dans l'acte de vente et en informer la préfecture |                                   |                                   |

- Dans le cas des ICPE : => cadre réglementaire précis
  - Non ICPE : => plus complexe

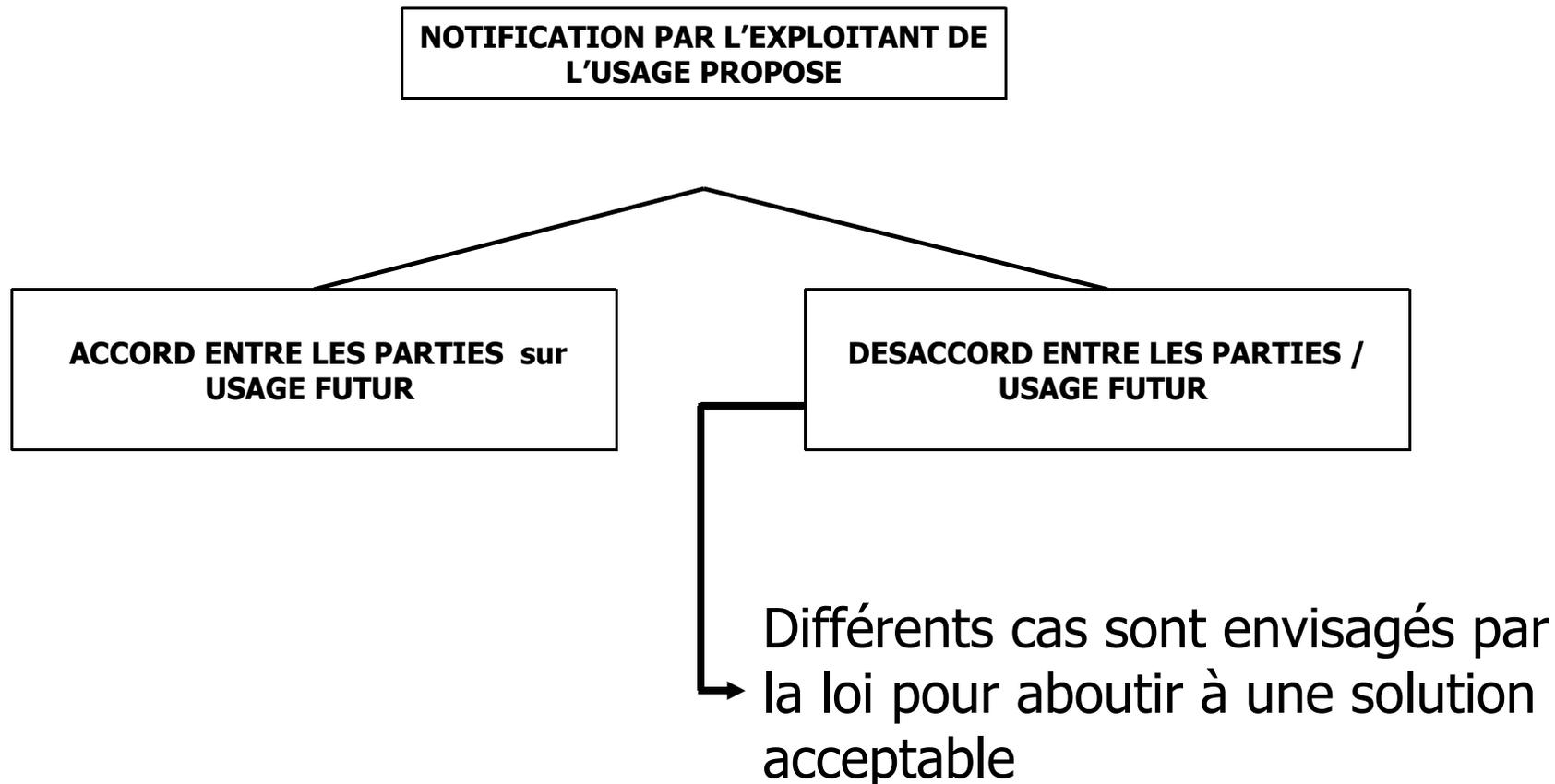
- ❑ Le principe est que **l'exploitant de l'ICPE, soumise autorisation ou enregistrement, remet en état le site** pour un usage arrêté en concertation avec le maire et le propriétaire du site

Sauf pour les **sites fermés avant le 01/10/05**, qui ne nécessitent une remise en état que pour un usage industriel

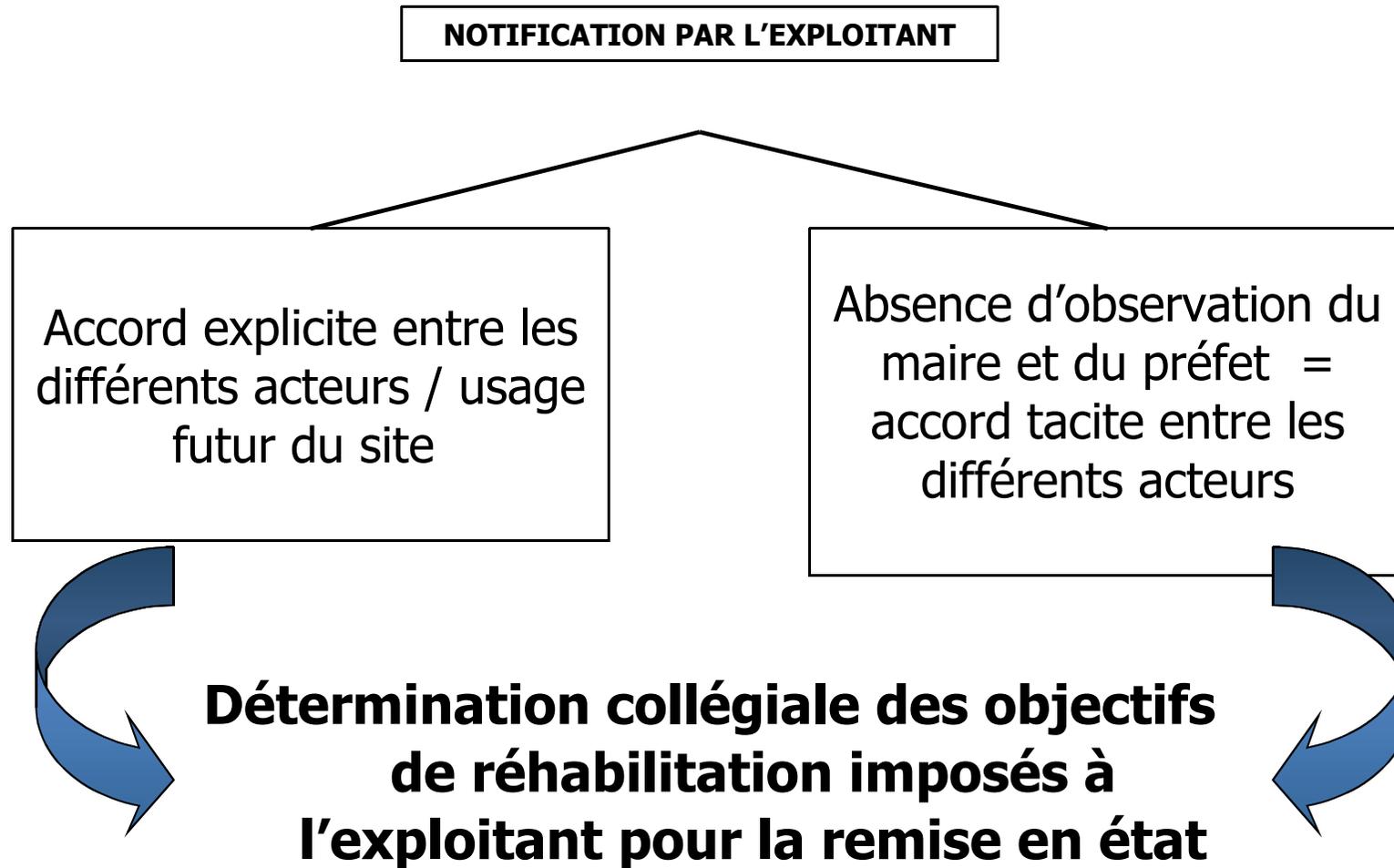
Site soumis à déclaration : usage identique au dernier mois d'exploitation

- ❑ Le maire doit encadrer les éventuels travaux de dépollution complémentaires, via les autorisations de construire....
- ❑ ... avec une coopération renforcée avec les services de l'Etat pour certains établissements sensibles.

## *La circulaire envisage plusieurs scénarios*



## LE SCENARIO FAVORABLE : L'ACCORD ENTRE LES ACTEURS



## LE SCENARIO DEFAVORABLE : DESACCORD ENTRE LES ACTEURS

CONSTAT DE DÉSACCORD



**Incompatibilité manifeste opposée** au principe de réhabilitation pour un usage comparable par :

- le **maire** : dispose de 4 mois à compter de la notification de l'état de désaccord au préfet pour lui adresser un mémoire justifiant cette incompatibilité et proposant un ou des usages
- le **préfet** (pouvoir « d'auto-saisine »)



**Consultation par le préfet** de l'exploitant et du propriétaire pour **fixer le ou les type(s) d'usages qui devront être étudiés** (dans le mémoire de réhabilitation)

- Si le site était:
- ICPE: => cadre réglementaire précis
- Non ICPE: => plus complexe.....

## Code civil et lois sur l'eau et les déchets

### ❑ La **responsabilité civile délictuelle**

dommage direct causé à autrui (*art. 1382 c.civ.*) ; théorie des « troubles de voisinage » ; responsabilité des choses que l'on a sous sa garde (*art. 1384 c. civ.*) ; ...

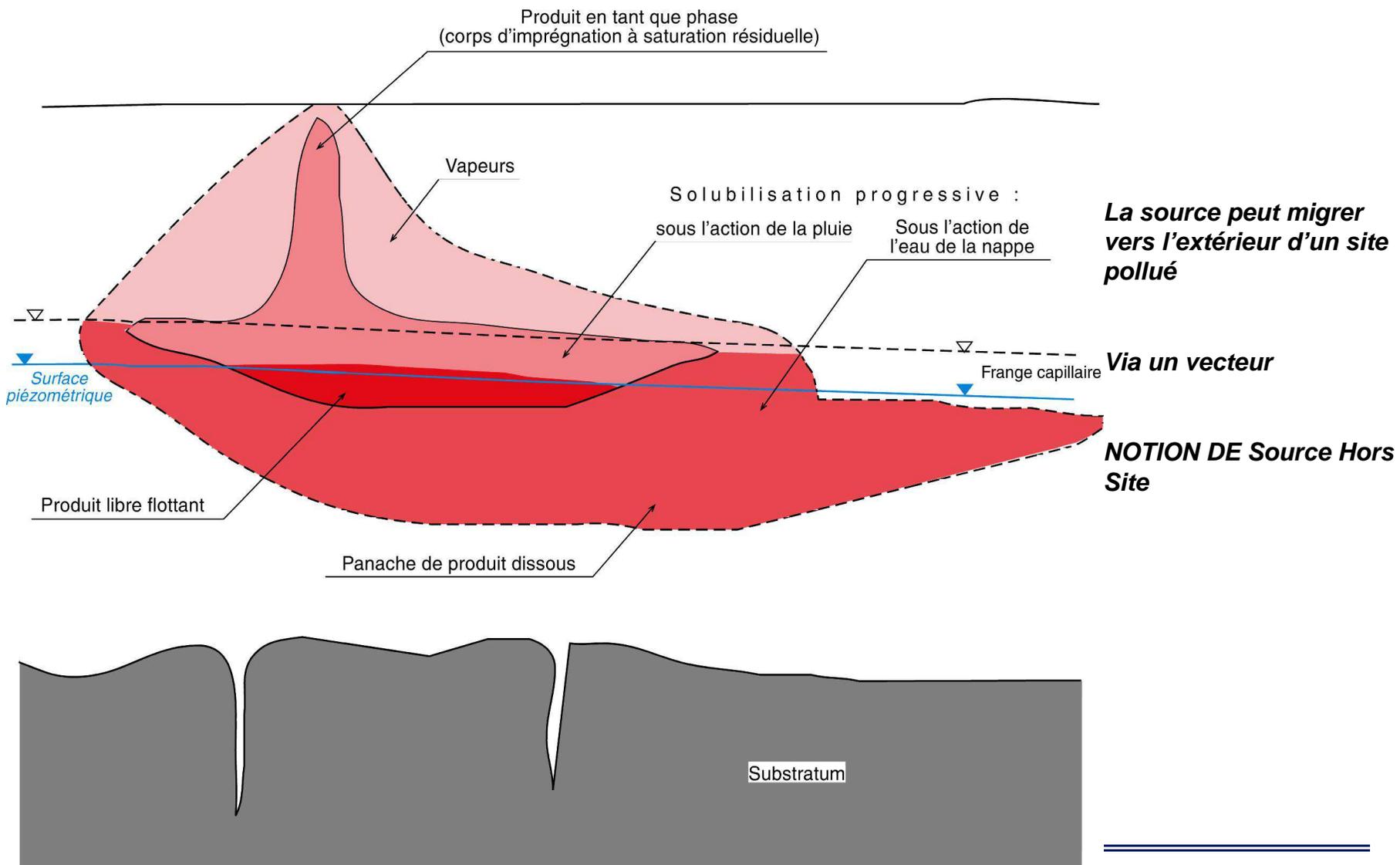
❑ La **responsabilité contractuelle** / vendeur d'un site pollué  
carence / obligation d'information ; causes de droit commun des  
contrats (vice caché, dol, ...) ; clauses spécifiques / garantie de l'état  
des sols

❑ La **responsabilité émanant directement du droit de l'environnement** (législations « ICPE », « Déchets », « Eau »)  
risque de sanctions administratives ou pénales

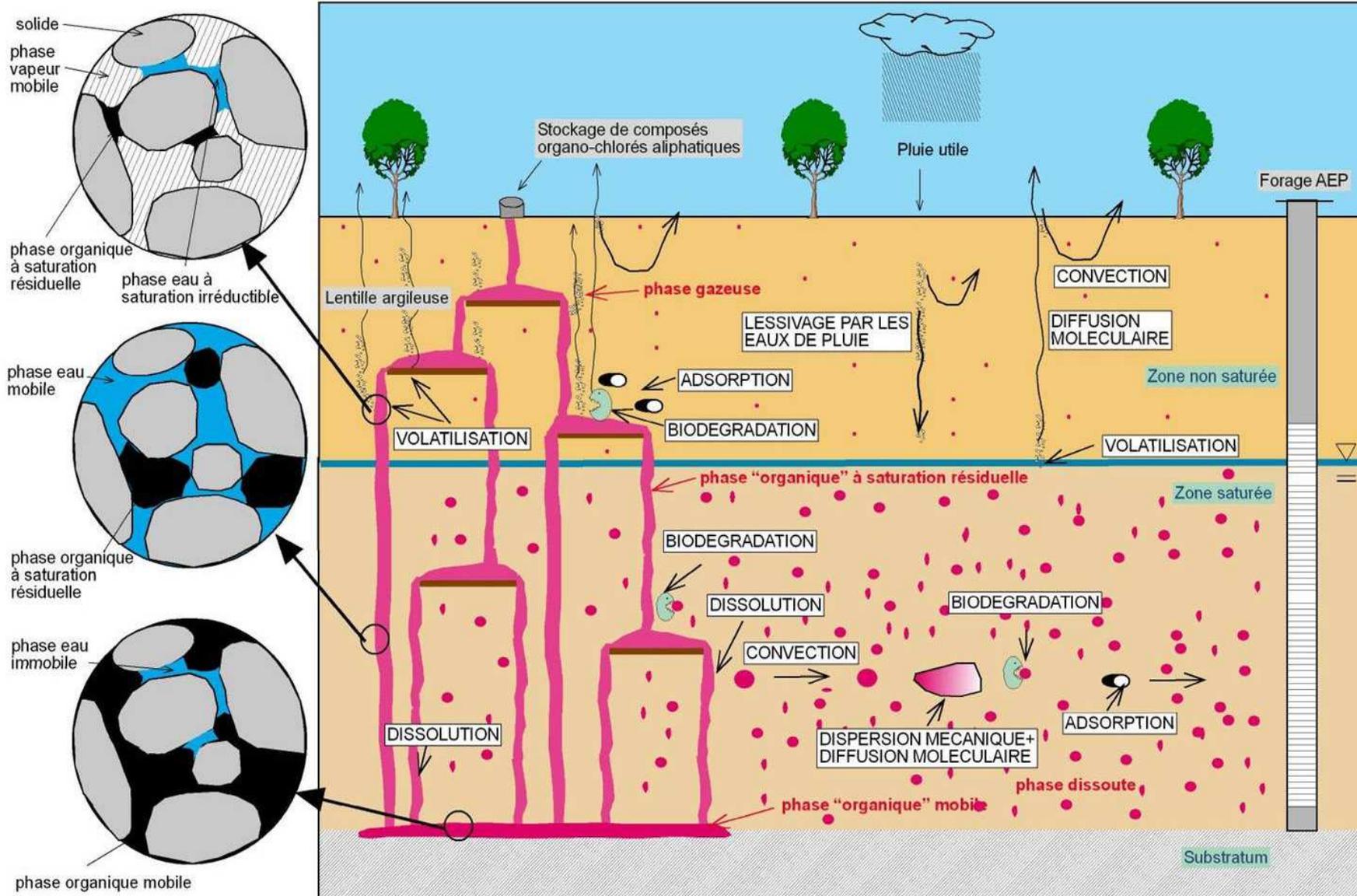
1. Définition et principe
2. Les responsabilités
3. Les principaux polluants : propriétés et comportement des composés les plus couramment rencontrés
4. Les missions de recherches environnementales
5. Plan de gestion et techniques de dépollution



# Comportement des produits dans le milieu (cas d'un produit plus léger que l'eau atteignant la nappe)



# Cas des solvants chlorés



## Les principaux polluants

| Familles de polluants et exemples  | Principales propriétés communes  | Activités génératrices  |
|--|--|---|
| <b>HYDROCARBURES PETROLIERS COURANTS</b><br>- Essences<br>- Gazole<br>- Fuel-Oil domestique<br>- Carburants d'aviation<br>- Pétrole brut<br>- Naphta | - Plus légers que l'eau<br>- Bio-dégradables<br>- Globalement peu solubles mais fraction soluble possible<br>- Volatils ou comportant une fraction volatile<br>- Viscosité variable<br>- Adsorption variable | - Stations-services<br>- Dépôts de stockage<br>- Installations de transport (port, pipes)<br>- Raffineries<br>- Transports (Fer, route) |
| <b>HYDROCARBURES LOURDS</b><br>- Fuels lourds<br>- Goudrons de houille<br>- Goudrons de pétrole<br>- Créosotes                                       | - Densité variable<br>- Peu bio-dégradable<br>- Peu solubles<br>- Peu volatils<br>- Visqueux<br>- Adsorption en générale forte   | - Chaudières, centrales thermiques<br>- Usines à gaz<br>- Raffineries<br>- Traitement de bois...  |
| <b>HYDROCARBURES HALOGENES ALIPHATIQUES</b><br>- Nombreuses formules, les plus courantes :<br>TCE, TCA, PCE, chloroforme bromoforme...               | - Densé<br>- Peu bio-dégradables<br>- Relativement solubles<br>- Volatils<br>- Fluides<br>- Adsorption en générale faible  | - Traitement de surface, mécanique<br>- Industrie chimique<br>- Nettoyage à sec<br>- Très courants dans de nombreuses industries...     |

Flotter =  
 écrémer, Digérer  
 Extractibles  
 Eliminer

Eliminer

Couler : pompage,  
 Eliminer  
 Extractibles  
 (Digérer)

## Typologie simplifiée des principaux polluants

| Familles de polluants et exemples   | Principales propriétés communes  | Activités génératrices   |   |
|---|--|--|---|
| <p><b>“METAUX LOURDS”</b><br/>Cd, Hg, Ni, As, Co, Pb, Sb, Cr, Cu, Zn...</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solubilités variables suivant les sels et la spécification</li> <li>- Adsorption générale forte</li> <li>- Non volatils (sauf le Mercure)</li> <li>- Pas bio-dégradables</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Traitement de surface</li> <li>- Traitement du bois</li> <li>- Minéralurgie, métallurgie</li> <li>- Electrolyse du sel, dépôts et exploitation minière, décharges, ordures ménagères</li> </ul> | Eliminer  |
| <p><b>AUTRES ORGANIQUES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Hydrocarbures oxygénés :</b><br/>Glycols, alcools, phénols, furane, additifs des carburants modernes (MTBE, TAME)</li> <li>- <b>Halogénés cycliques :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombreux pesticides</li> <li>- PCB</li> <li>- Pentachlorophénol</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fortement solubles</li> <li>- Bio-dégradables</li> <li>- Autres propriétés variables</li> <li>- Peu volatils</li> <li>- Très peu à pas bio-dégradables</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Variables</li> </ul>  | <p>Pomper,<br/>Digérer<br/>Extractibles</p> <p>Eliminer</p> |
| <p><b>AUTRES PRODUITS MINERAUX</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nitrates</li> <li>- Cyanures</li> <li>- Chlorures, Sulfates</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Très variables en fonction des sels incriminés et des propriétés physiques et chimiques des sols</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Explosifs</li> <li>- Usines à gaz</li> </ul>  | Au cas par cas  |

## Problématique des sites et sols pollués

### Nombreux polluants différents

- +/- volatiles
- +/- solubles dans l'eau
- +/- toxiques
- +/- biodégradables
- +/- concentrés

### Nombreux sols différents

- +/--homogènes
- +/- organiques
- +/- saturés en eau
- +/- perméables

### Nombreuses géologies différentes

- nappe +/- alimentée
- +/- fissurés
- +/- stratifiés

### Contraintes différentes

- +/- profond
- +/- place
- +/- accessible

Seuil de remise en état

**Adapter la méthode de recherche et  
le procédé de traitement associé**

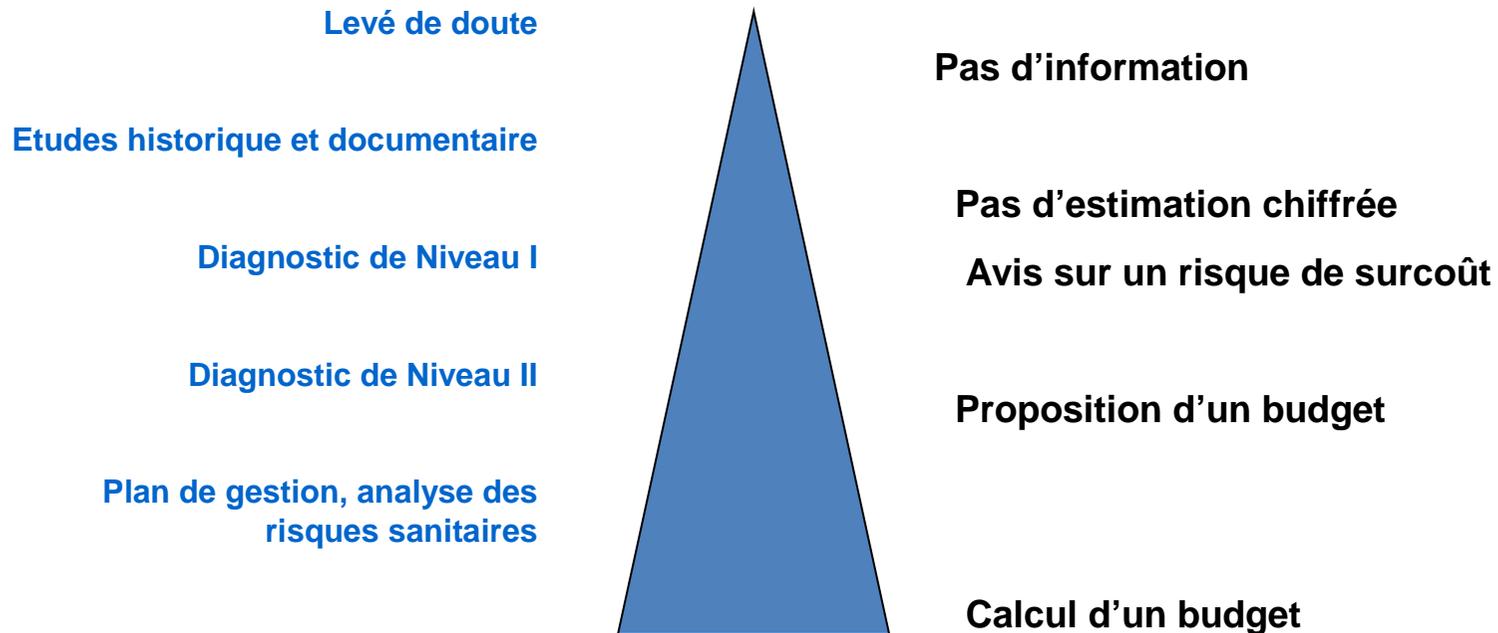
1. Définition et principe
2. Les responsabilités
3. Les principaux polluants : propriétés et comportement des composés les plus couramment rencontrés
4. Les missions de recherches environnementales
5. Plan de gestion et techniques de dépollution

| Prestations  | Coûts                            | Délais                         |
|--|----------------------------------|--------------------------------|
| <b>Levée de doute «pollution chimique »</b>                                  | <1 k€                            | 1 semaine                      |
| <b>Diagnostic historique et documentaire</b>                                 | 3 à 10 k€                        | 3 à 4 semaines                 |
| <b>Diagnostic sur site<br/>niveau I</b>                                      | 5 à 20 k€                        | 3 à 4 semaines                 |
| <b>Diagnostic sur site<br/>niveau II</b>                                     | 5 à plusieurs<br>centaines de k€ | 3 semaines à<br>plusieurs mois |
| <b>Diagnostic hors site / Interprétation de<br/>l'état des milieux (IEM)</b> | 5 à plusieurs<br>centaines de k€ | 3 semaines à<br>plusieurs mois |
| <b>Élaboration d'un plan de gestion</b>                                      | 5 à 100 k€                       | 2 semaines à<br>plusieurs mois |
| <b>Maîtrise d'œuvre des travaux de<br/>réhabilitation</b>                    | 5 à 15% des<br>travaux           | Durée des travaux              |
| <b>Surveillance</b>  | 5 à 50 k€ / an                   | Plusieurs années               |
| <b>Assistance à maîtrise d'ouvrage /<br/>expertise</b>                       | Variable                         | Variable                       |

# Réalisation des études pour estimation du passif

## Combien coûterait la dépollution? (estimation du passif environnemental à déduire du prix du site)

Précision des estimations



# Conséquences de l'audit

- ▶ Assurer compatibilité entre usages et teneurs
- ▶ L'enlèvement et le tri des terres polluées.
- ▶ Le problème des décharges de ISD ND ou CSDU et de déchets inertes (dite de ISDI) et leurs seuils d'acceptation.
- ▶ Dispositions constructives particulières à mettre en œuvre (drain gaz par exemple).
- ▶ Changement du mode de fondation.
- ▶ Retards de chantiers et Surcoûts.
- ▶ Des questions :
  - ▶ La pollution vient-elle du site ou de l'extérieur ?
  - ▶ Dépolluer avant ou en cours de chantier ?
  - ▶ Qui prend en charge quoi ? Qui porte la responsabilité ?

# Principales techniques de remise en état

1. Définition et principe
2. Les responsabilités
3. Les principaux polluants : propriétés et comportement des composés les plus couramment rencontrés
4. Les missions de recherches environnementales
5. Plan de gestion et techniques de dépollution

# Les grandes familles de traitement

- **Traitement hors site (ex situ)**

Traitement de sol : excavation puis transport vers une plate-forme spécialisée

Limites techniques : celles des excavations

Traitement de nappe : hydrocurage

Limites techniques : volumes pompés

- **Traitement sur site (on site)**

Traitement de sol : excavation puis traitement sur place avec pour objectif la réutilisation sur site des terres traitées

Limites techniques : celles des excavations et nature des polluants

Traitement de nappe : pompage, stripping

- **Traitement in situ**

Traitement nappe phréatique et/ou traitement de sol sans mouvement de sols

Limites techniques : perméabilité, hétérogénéité des sols, nature des polluants

## Typologie par type de traitement

### ▶ Traitements physiques

- ▶ Modification des paramètres physiques pour détruire (thermique), extraire (pompage, excavation, volatilisation) ou isoler (confinement, stabilisation) un polluant

### ▶ Traitements biologiques

- ▶ Utilisation des capacités métaboliques d'un microorganisme ou d'un consortium microbien pour détruire (biotertre), modifier (déchloration réductive) ou extraire (biolixiviation) un polluant

### ▶ Traitements chimiques

- ▶ Utilisation de réactifs chimiques pour détruire (oxydation, réduction) ou extraire (lavage) un polluant

# Critères de choix d'un procédé de « dépollution »

## CRITERES TECHNIQUES

- Nature /propriétés des polluants
- Propriétés du milieu souterrain sol
- Localisation : ZNS, ZS, ZBN
- Performance de la technique
- Objectif de la dépollution
- Fiabilité de la technique
- Place disponible
- Accessibilité
- Site en activité ou non
- Sécurité
- ...

## CRITERES ECONOMIQUES

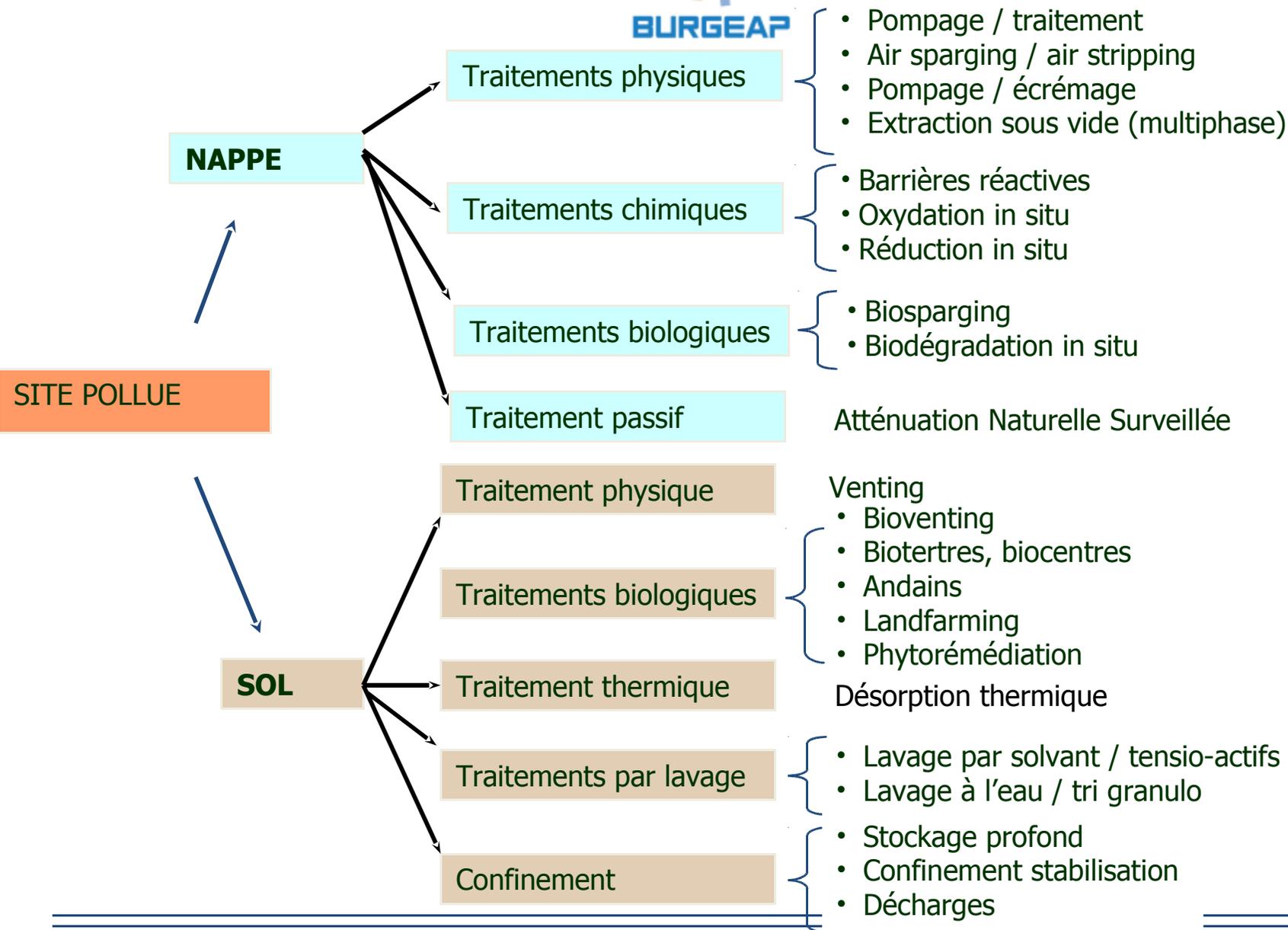
- Prix
- Délais
- Ratio installation/ maintenance
- ...

## AUTRES CRITERES

- Durabilité : Emissions de GES, impact environnemental global (ACV), aspect sociétaux (emploi, développement ville, flexibilité/pérennité, etc )
- Impératifs et contraintes de l'administration
- Gestion des aléas
- Impact du chantier sur le voisinage
- Pression médiatique , Image

# Grille technique / nature du polluant

|                                      | HC | BTEX | HAP | PCB | Solv chlorés | Métaux |
|--------------------------------------|----|------|-----|-----|--------------|--------|
| Bioventing                           | ++ | ++   | +   | -   | -            | -      |
| Phytoremediation                     | +  | +    | +   | -   | -            | ++     |
| Lavage in situ                       | +  | +    | +   | -   | -            | +      |
| Venting                              | +  | ++   | -   | -   | ++           | -      |
| Stabilisation / inertage             | -  | -    | +   | +   | -            | ++     |
| Biocentre                            | ++ | ++   | +   | -   | -            | -      |
| Lavage par solvant                   | +  | -    | ++  | ++  | -            | -      |
| Mise en décharge                     | ++ | -    | ++  | +   | -            | +      |
| Stockage profond -ultime             | -  | -    | -   | -   | -            | ++     |
| Andain                               | ++ | +    | ++  | -   | -            | -      |
| Bioterre ventilé                     | ++ | ++   | +   | -   | -            | -      |
| Landfarming                          | ++ | +    | ++  | -   | -            | -      |
| Désorption thermique                 | ++ | ++   | ++  | +   | +            | -      |
| Lavage à l'eau / tri granulométrique | -  | -    | +   | -   | -            | +      |
| Biosparging                          | ++ | ++   | -   | -   | -            | -      |
| Barrière biologique                  | ++ | ++   | -   | -   | -            | -      |
| Atténuation naturelle                | ++ | ++   | -   | -   | +            | -      |
| Barrière de fer (PRB)                | -  | -    | -   | -   | ++           | -      |
| Barrière funnel and gate             | -  | -    | -   | -   | ++           | -      |
| Oxydation in situ                    | -  | ++   | -   | -   | ++           | -      |
| Pompage / traitement /écrémage       | ++ | ++   | -   | -   | -            | -      |
| Sparging                             | +  | ++   | -   | -   | ++           | -      |
| Extraction sous vide                 | ++ | ++   | -   | -   | ++           | -      |
| Confinement                          | ++ | -    | ++  | ++  | -            | ++     |



# Dans le respect de la réglementation sur les déchets

- ▶ : mise à jour politique de gestion des sites pollués

- **Principe clé : gestion des risques suivant l'usage (ie compatibilité état des milieux et usages)**

2) Concernant les projets de réhabilitation de sites pollués, les activités de traitement des terres polluées non excavées ne sont pas classables sous une rubrique de traitement de déchets, les terres non excavées ne prenant pas le statut de déchets. De même, les installations de traitement des terres polluées excavées ne sont pas classables si le traitement est opéré sur le site de leur excavation. Dans ces deux cas, l'encadrement réglementaire peut être assuré au moyen d'arrêtés préfectoraux de prescriptions complémentaires ou spéciales, si l'installation à l'origine du risque de pollution est classée. Dans le cas contraire, les dispositions de l'article L. 514-4 du Code de l'environnement pourront être mises en œuvre si les enjeux environnementaux attachés à l'opération de dépollution le nécessitent. En revanche, dès lors que les terres sont évacuées du site de leur excavation, ces dernières prennent un statut de déchet. Leur valorisation ou leur élimination doit donc répondre aux réglementations « déchets » et l'installation effectuant ces opérations est alors classée sous les rubriques 2790 ou 2791, voire 2760.

## Stripper

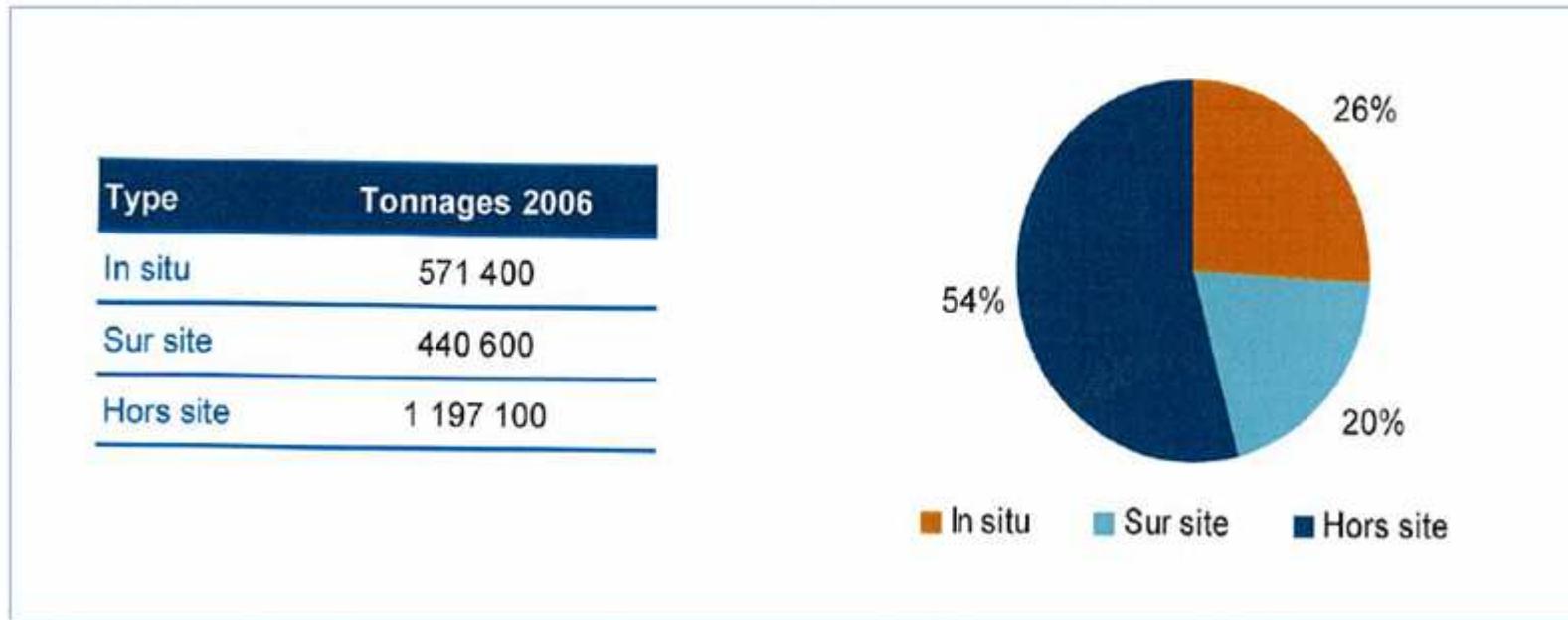


# Une grande variabilité des coûts (sols pollués)

| Technique de traitement                           | Type      | Variabilité des coûts (€/t) | Coûts moyens pondérés* (€/t) | Indicateur de fiabilité |
|---|-----------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Installation d'incinération                       | Hors site | 250 - 650                   | 450                          | +                       |
| Installation de lavage de terres                  | Hors site | 350 - 500                   | 400                          | +                       |
| Installation de stabilisation physico-chimique    | Hors site | 70 - 200                    | 100                          | -                       |
| Installation de Stockage de Déchets Dangereux     | Hors site | 70 - 130                    | 100                          | +                       |
| Installation de désorption thermique              | Hors site | 55 - 100                    | 80                           | +                       |
| Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux | Hors site | 50 - 90                     | 75                           | -                       |
| Stabilisation physico-chimique                    | In situ   | 45 - 110                    | 75                           | -                       |
| Stabilisation physico-chimique                    | Sur site  | 30 - 110                    | 75                           | -                       |
| Désorption thermique                              | Sur site  | 65 - 85                     | 70                           | +                       |
| Cimenterie  | Hors site | 40 - 80                     | 55                           | +                       |
| Installation de traitement biologique             | Hors site | 45 - 85                     | 50                           | +                       |
| Confinement                                       | Sur site  | 20 - 110                    | 50                           | +                       |
| Confinement                                       | In situ   | 35 - 60                     | 45                           | +                       |
| Lavage de terres                                  | Sur site  | 35 - 80                     | 40                           | -                       |
| Biodégradation (biotertre, etc)                   | Sur site  | 20 - 40                     | 35                           | +                       |
| Oxydation chimique                                | In situ   | 20 - 35                     | 30                           | +                       |
| Installation de Stockage de Déchets Inertes       | Hors site | 10 - 30                     | 15                           | +                       |
| Venting-Bioventing                                | In situ   | 10 - 25                     | 15                           | +                       |

Source : Ernst & Young, 2009

# Sols pollués : une domination du marché par les filières hors site



Source : Ernst & Young,  
2009

# Taux d'utilisation des filières de traitement des eaux souterraines

| Technique de traitement                           | Type     | Volumes 2006 (m3) | Taux d'utilisation | Indicateur de fiabilité |
|---|----------|-------------------|--------------------|-------------------------|
| Sparging-Biosparging                              | In situ  | 1 606 500         | 26,5%              | +                       |
| Bioaugmentation / Biostimulation                  | In situ  | 757 000           | 12,5%              | +                       |
| Pompage suivi d'un traitement sur charbon actif   | Sur site | 605 400           | 10,0%              | +                       |
| Extraction multiphasique                          | In situ  | 583 500           | 9,6%               | +                       |
| Stripping   | Sur site | 519 300           | 8,6%               | +                       |
| Stripping suivi d'un traitement sur charbon actif | Sur site | 507 500           | 8,4%               | +                       |
| Confinement hydraulique                           | In situ  | 497 400           | 8,2%               | -                       |
| Pompage écrémage                                  | Sur site | 380 400           | 6,3%               | +                       |
| Oxydation/Réduction                               | In situ  | 378 100           | 6,2%               | +                       |
| Pompage suivi d'un traitement physico-chimique    | Sur site | 173 900           | 2,9%               | +                       |
| Barrières Perméables Réactives                    | In situ  | 42 800            | 0,7%               | -                       |
| Atténuation naturelle contrôlée                   | In situ  | 20 000            | 0,3%               | -                       |
| <b>Total</b>                                      |          | <b>5 886 800</b>  |                    |                         |

Le stripping suivi d'un traitement physico-chimique sur site a été supprimé car aucun volume n'a été traité en 2006

Source : Ernst & Young, 2009

# Eaux souterraines : une grande variabilité des coûts

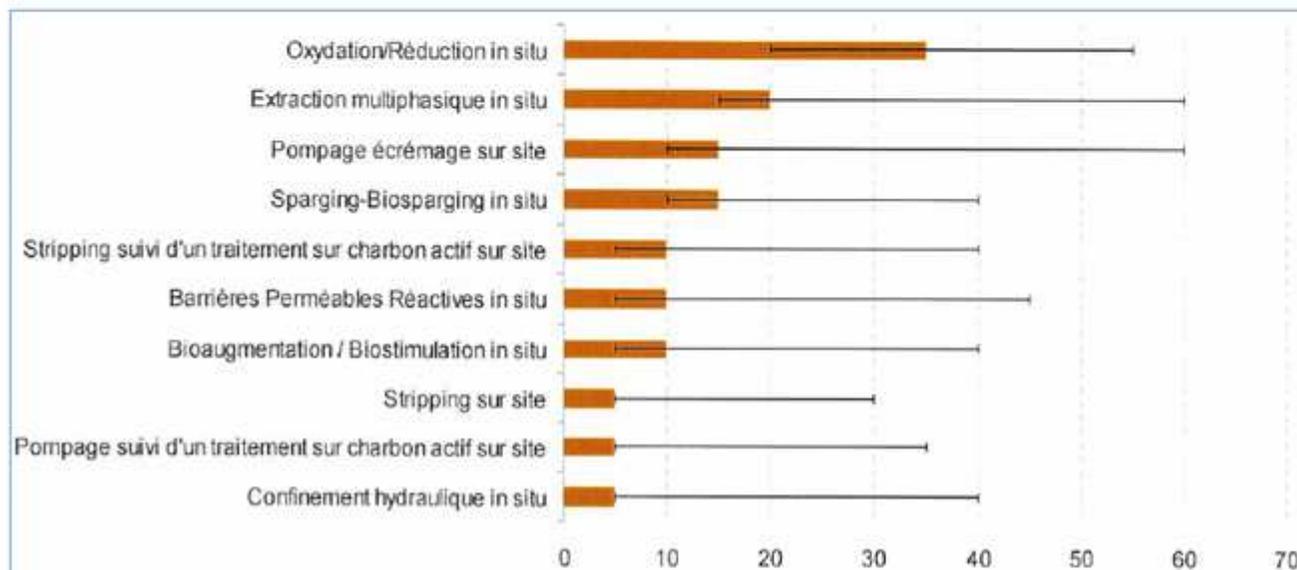


| Technique de traitement                           | Type     | Variabilité des coûts (€/m3) | Coûts moyens pondérés * (€/m3) | Indicateur de fiabilité |
|---|----------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Oxydation/Réduction                               | In situ  | 20 - 55                      | 35                             | +                       |
| Extraction multiphasique                          | In situ  | 15 - 60                      | 20                             | +                       |
| Sparging-Biosparging                              | In situ  | 10 - 40                      | 15                             | +                       |
| Pompage écrémage                                  | Sur site | 10 - 60                      | 15                             | +                       |
| Bioaugmentation / Biostimulation                  | In situ  | 5 - 40                       | 10                             | +                       |
| Barrières Perméables Réactives                    | In situ  | 5 - 45                       | 10                             | -                       |
| Stripping suivi d'un traitement sur charbon actif | Sur site | 5 - 40                       | 10                             | +                       |
| Confinement hydraulique                           | In situ  | 5 - 40                       | 5                              | -                       |
| Pompage suivi d'un traitement sur charbon actif   | Sur site | 5 - 35                       | 5                              | +                       |
| Stripping   | Sur site | 5 - 30                       | 5                              | +                       |

\* Les coûts moyens collectés auprès des acteurs ont été pondérés par les volumes correspondants.

Remarque:

Les coûts moyens pondérés de l'atténuation naturelle ont été écartés par manque d'exhaustivité des données collectées. Quant au pompage suivi d'un traitement physico-chimique, aucun volume n'a été traité en 2006.



Source : Ernst & Young, 2009

## COMMENT CHOISIR LA BONNE TECHNIQUE ?

Il n'y a pas de bonnes et de mauvaises techniques mais des « combinaisons de techniques » OU « filières de traitement » adaptées à une situation.

Ne pas réfléchir en terme de « technique » mais en terme de mise au point d'un « PLAN DE GESTION », meilleur compromis technique/financier des différentes « mesures de gestion » et de « technologies de dépollution ». **Atteinte des objectifs de remise en état : Compatibilité sanitaire**

Le choix d'un procédé doit intégrer de multiples paramètres (techniques, économiques, politiques).

## Critères de choix d'un procédé de « dépollution »

### CRITERES TECHNIQUES

- Nature du polluant, du sol
- **Performance : teneurs résiduelles**
- Place disponible
- Accessibilité
- Site en activité ou non
- Sécurité
- - ...

### AUTRES CRITERES

- Emissions de CO<sub>2</sub> et impact environnemental global...
- Impératifs de l'administration
- Gestion des aléas
- Gênes du chantier sur le voisinage
- Pression médiatique
- Image

### CRITERES DURABILITE

- Sociétaux
- Perennité, flexibilité
- ...

### CRITERES ECONOMIQUES

- Prix
- Performance : Délai
- ...