

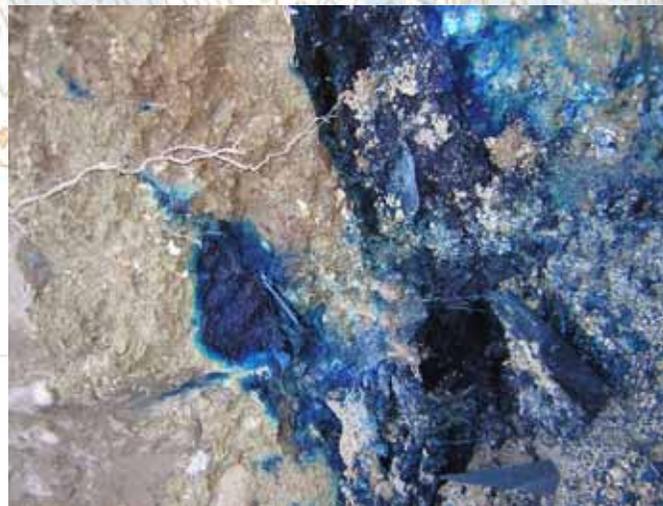
Journées Techniques d'information et de retour d'expérience de la gestion des sols pollués

Le comment des diagnostics

Dimensionnement et réalisation des diagnostics

Daniel HUBE (BRGM)

MEEDDAT, septembre 2008



BRGM



mercredi 17 septembre 2008

Diagnostiques: comment investiguer? (1)

Les diagnostics sont des outils itératifs et évolutifs qui interviennent à différents stades et dans différents contextes de gestion. Leur dimensionnement et leur réalisation dépendent :

- **Du contexte et des enjeux identifiés,**
- **Des moyens et technologies disponibles,**
- **Des contraintes techniques liées au site,**
- **Des contraintes de délais,**
- **Des contraintes de « discrétion »,**
- **Des capacités et stratégies financières des donneurs d'ordre.**

Diagnostics: comment investiguer? (2)

Les différentes étapes du diagnostic :

- **Phase préliminaire documentaire:** étude historique et étude de vulnérabilité,
 - **Au moins une visite de terrain,**
 - **Analyse des enjeux et de la pertinence d'investigations complémentaires,**
 - **Phase de dimensionnement des investigation,**
 - **Phase de préparation des investigations,**
 - **Phase de réalisation,**
 - **Phase de restitution et d'analyse des résultats.**
- 

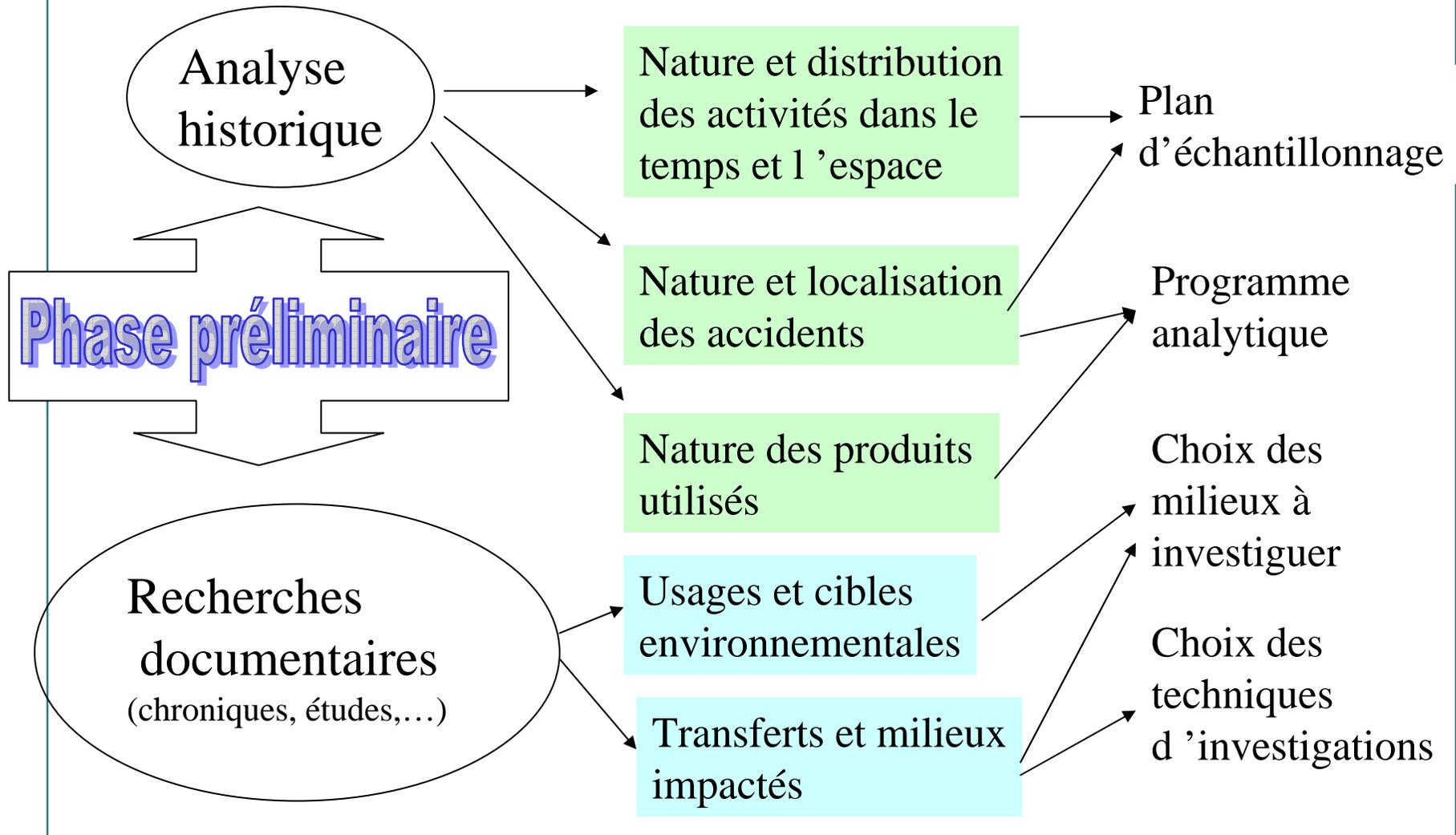
Diagnostics: comment investiguer? (3)

Phase préliminaire (étude historique, étude de vulnérabilité + au moins une visite de terrain):

Les objectifs sont :

- 1. Identification des enjeux** (*schéma conceptuel initial*) **en terme de risques** (Pourquoi rechercher?) → identification des zones sources de pollution potentielle ou avérées, identification des polluants potentiels, des milieux pollués ou susceptibles de l'être, des milieux de transferts, des expositions, etc.
- 2. Constat sommaire de l'impact sur la Santé humaine** et sur l'environnement des activités présentes ou passées, pratiquées sur le site (**mesures simples d'urgence, mise en sécurité ?**),
- 3. Prendre les dimensions et la réalité d'un site, d'une situation,**
- 4. Recueil des informations indispensables pour dimensionner les investigations:** Où rechercher ? Que rechercher ? Comment rechercher ? Quand rechercher ?

Où chercher, quoi chercher, comment chercher ?



Diagnostiques: comment investiguer? (4)



L'étude historique préliminaire:

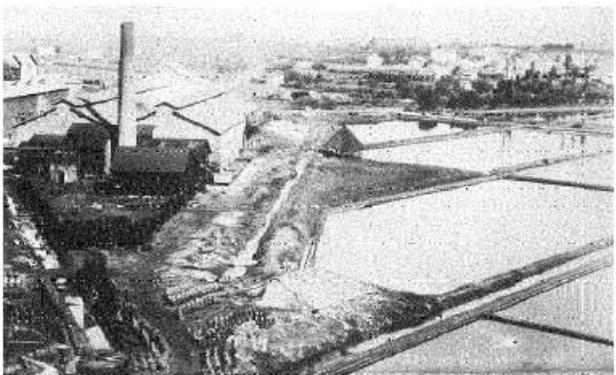
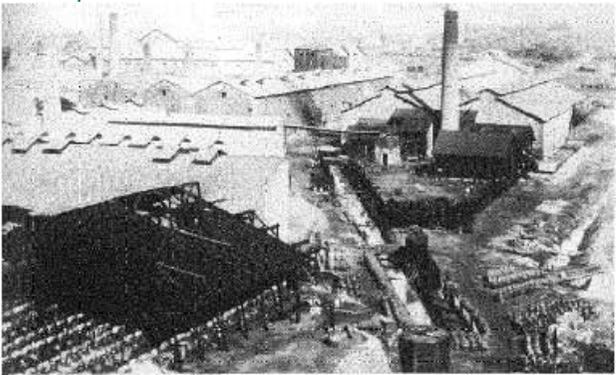
Sources d'informations historiques: archives (du site, municipales, départementales, DRIRE, etc.), photographies aériennes (IGN, Armées, etc.), supports cartographiques (IGN, etc.), interview, autres.

La phase documentaire et historique doit être menée avec grand soin sans négligence car elle contraint l'intégralité des investigations futures et cherche à limiter le risque de découvertes fortuites ultérieures.

Par ailleurs, il convient souvent d'élargir l'analyse historique aux abords du site afin d'identifier d'éventuels sites tiers riverains dont la pollution serait susceptible d'interférer avec celle du site d'étude ciblé.

Principales difficultés: informations souvent lacunaires, rétentions d'informations

Photographies & cartes postales

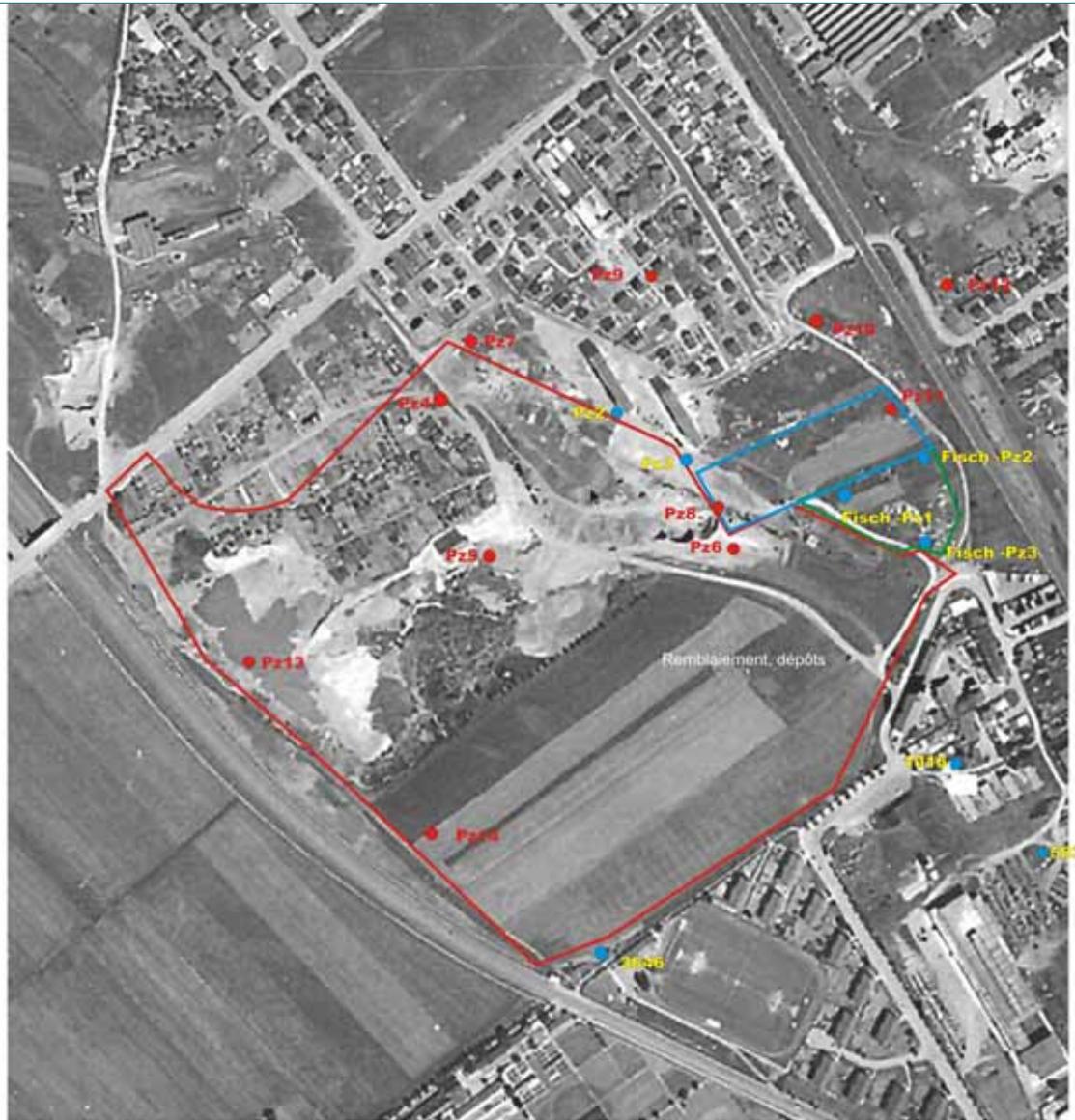




Photographie SWISSTOPO 1954

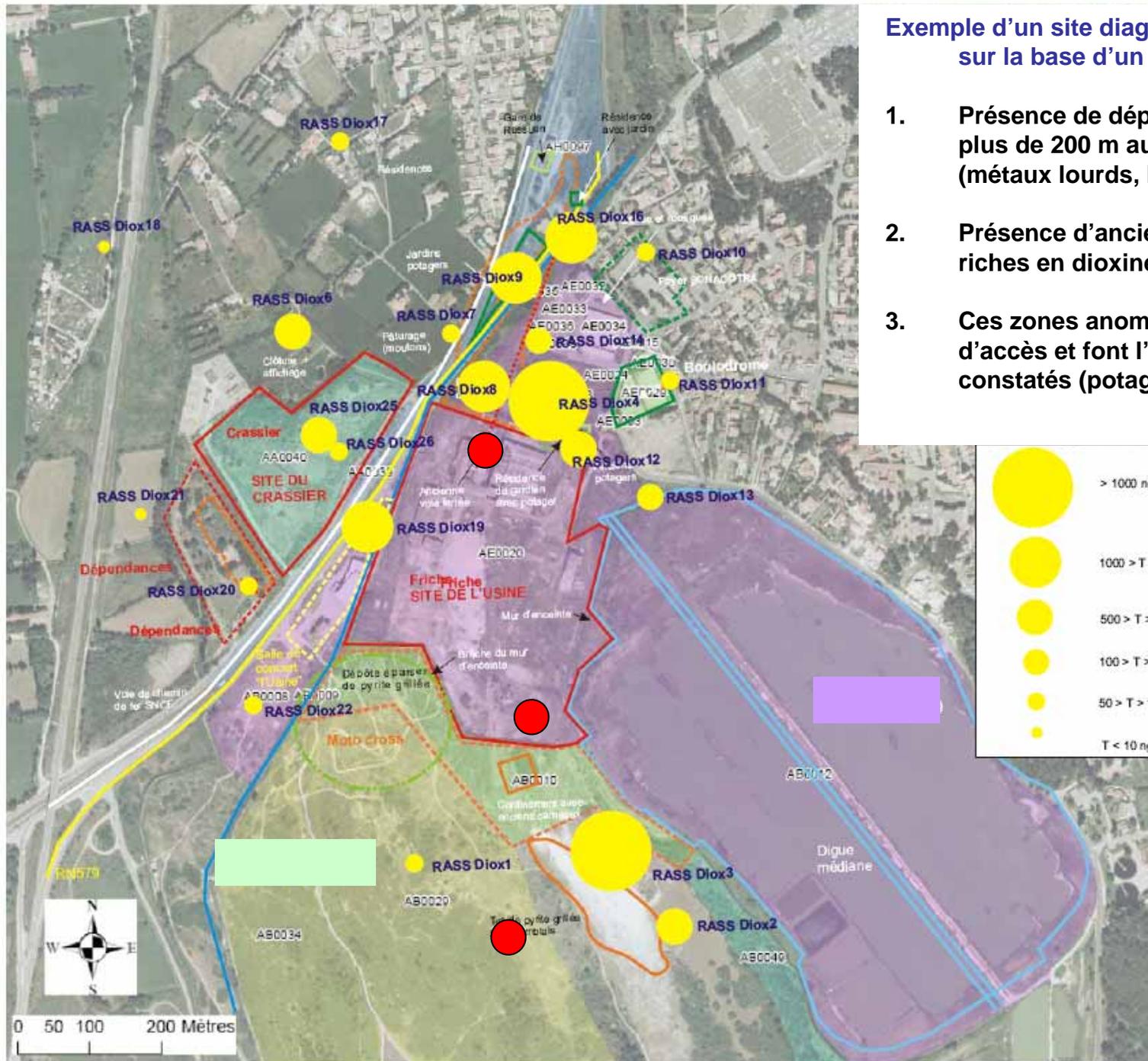


Photographie SWISSTOPO 1953



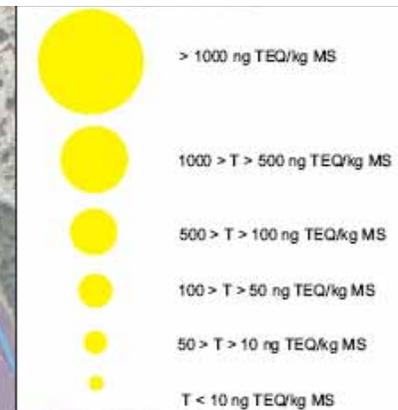
Photographie SWISSTOPO 1959

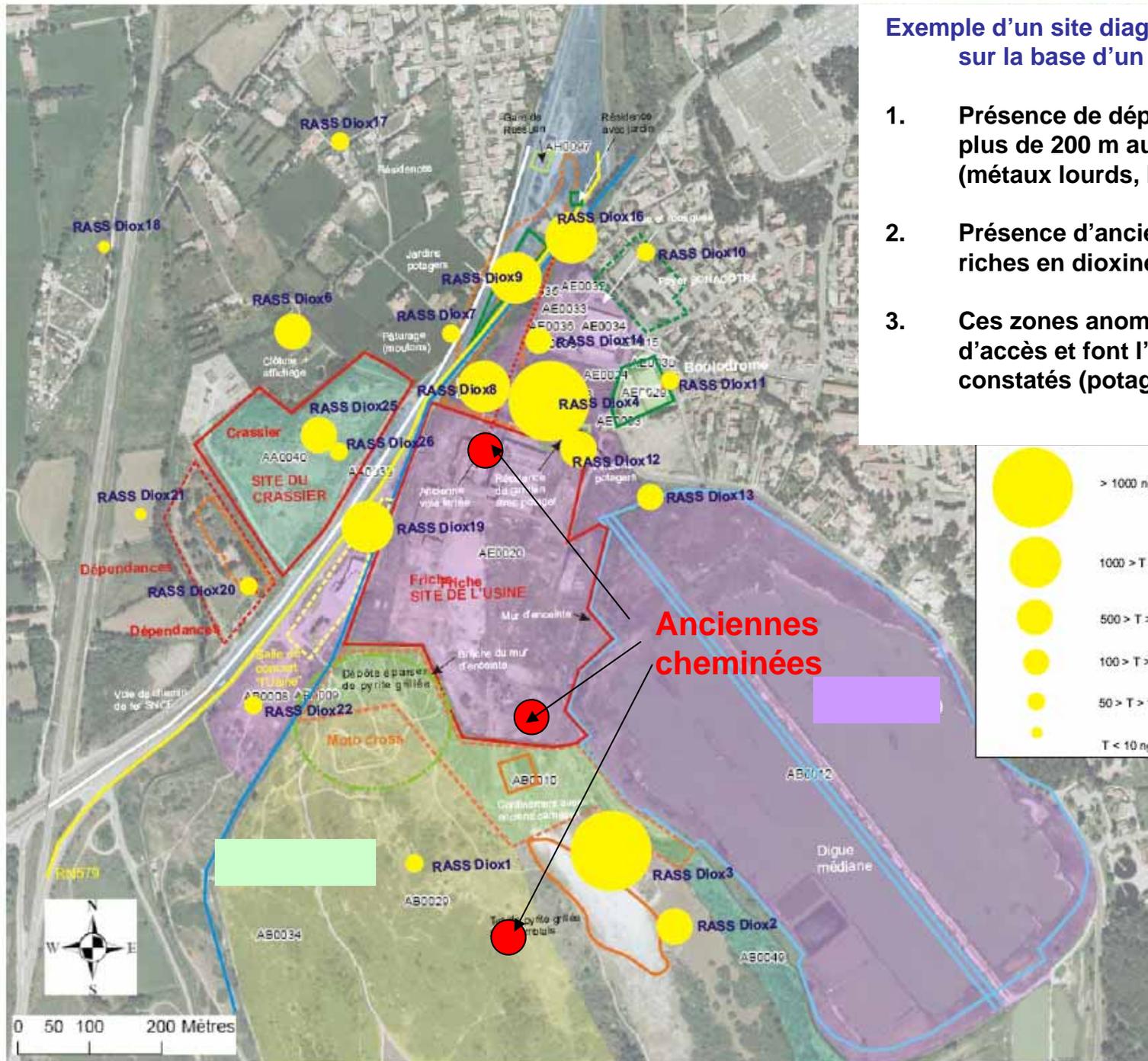
Photographies aériennes



Exemple d'un site diagnostiqué et dépollué sur la base d'un historique incomplet:

1. **Présence de dépôts industriels sur plus de 200 m au Nord et Sud du site (métaux lourds, HAP),**
2. **Présence d'anciennes retombées très riches en dioxines & furannes.**
3. **Ces zones anomaliques sont libres d'accès et font l'objet d'usages constatés (potager, résidences, etc.)**

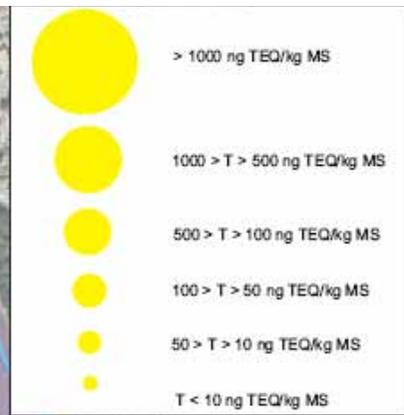




Exemple d'un site diagnostiqué et dépollué sur la base d'un historique incomplet:

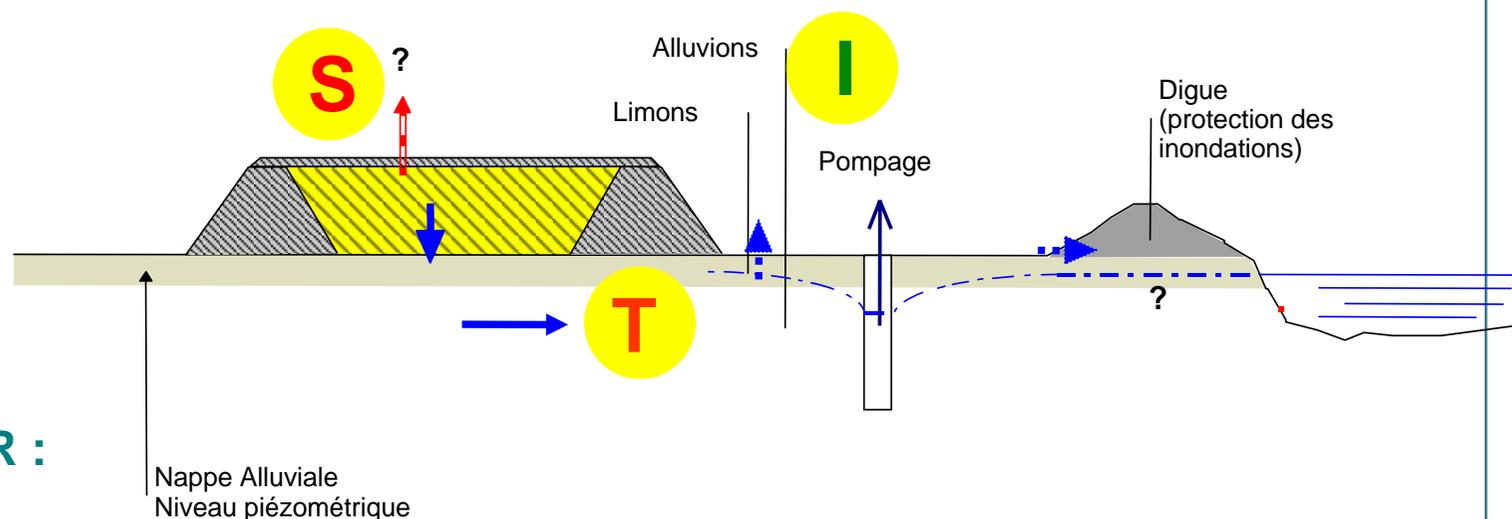
1. **Présence de dépôts industriels sur plus de 200 m au Nord et Sud du site (métaux lourds, HAP),**
2. **Présence d'anciennes retombées très riches en dioxines & furannes.**
3. **Ces zones anomaliques sont libres d'accès et font l'objet d'usages constatés (potager, résidences, etc.)**

Anciennes cheminées



Diagnostics: comment investiguer? (5)

Etude de vulnérabilité préliminaire: la vulnérabilité est la possibilité d'atteindre les populations, les ressources naturelles à protéger



IDENTIFIER :

- la source,
- les milieux d'exposition,
- Les voies de migration potentielles (transfert, rétention),
- Les usages liés aux milieux d'exposition,
- Les points d'exposition

Transferts:

1. Nappe des Alluvions?
2. Ruisseau?
3. Air du sol?

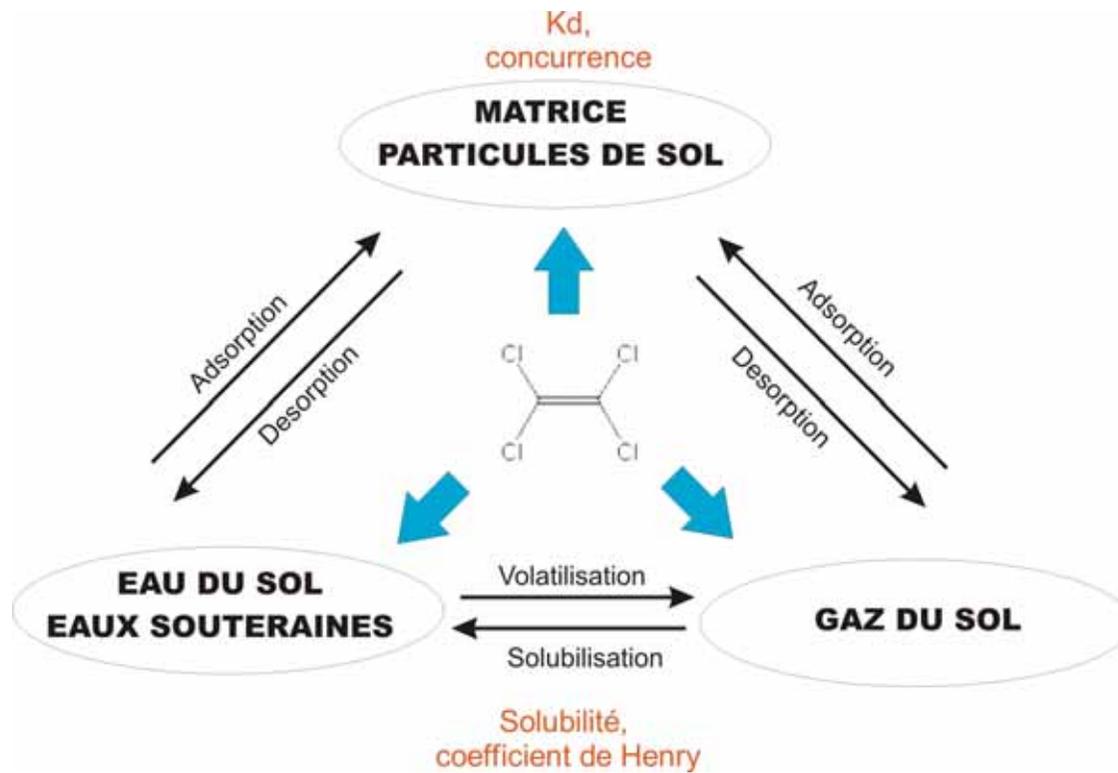
Cibles:

1. Puits AEP,
2. Puits AEA (végétaux, viande)
3. Résidents attenants au site

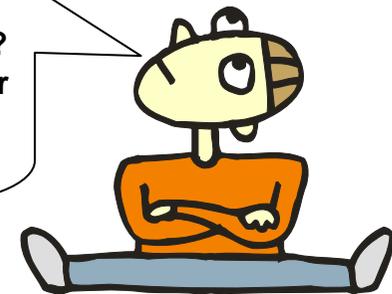
Source:

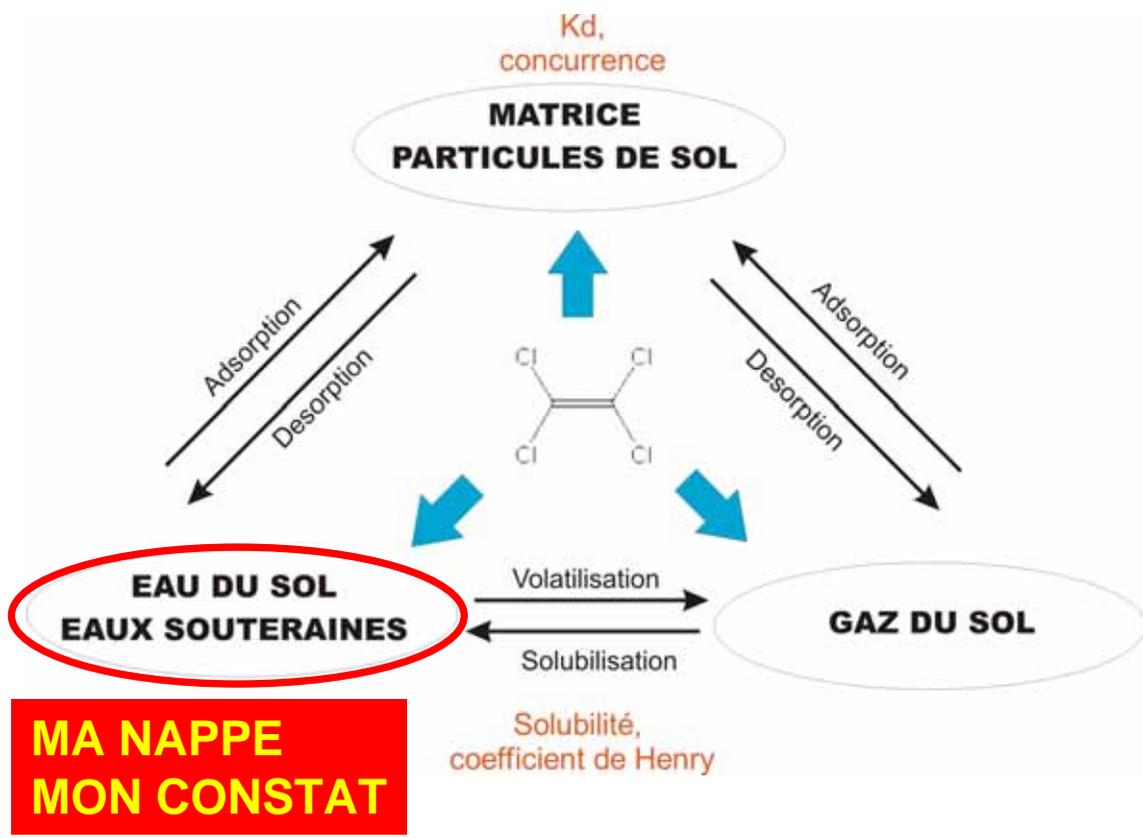
1. COHV dans les sols ? La nappe ?
2. Moyennement solubles
3. Volatils
4. Toxiques et cancérigènes par ingestion et inhalation



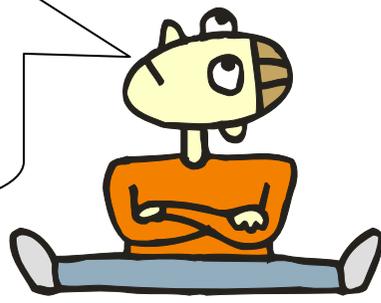


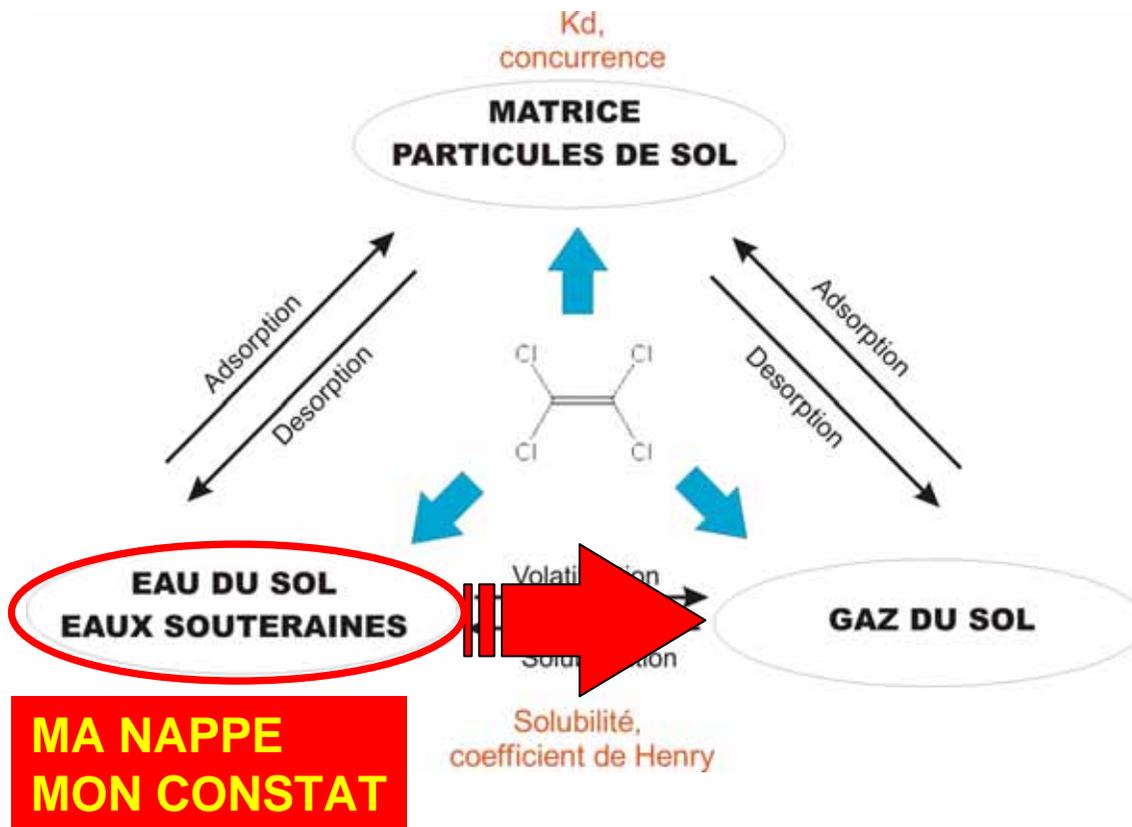
PCE, TCE, Chlorure de vinyle ?
 Mais ..ce sont des composés volatils ?
 De surcroit toxiques, cancérigènes par
 Inhalation....



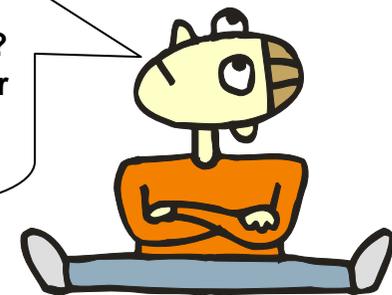


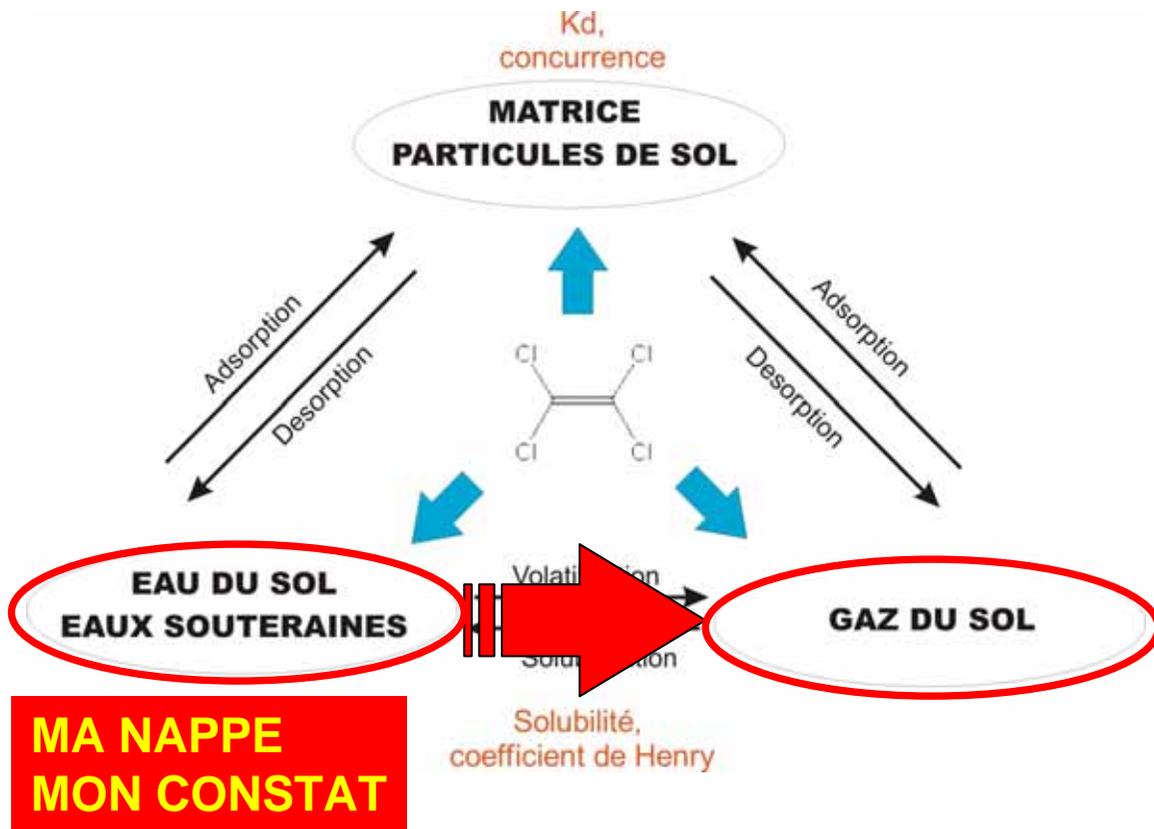
PCE, TCE, Chlorure de vinyle ?
 Mais ..ce sont des composés volatils ?
 De surcroit toxiques, cancérigènes par
 Inhalation....



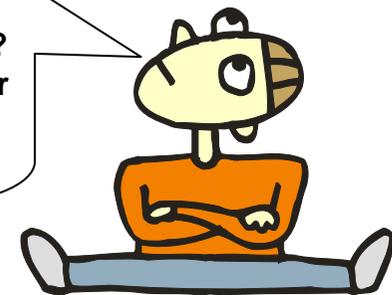


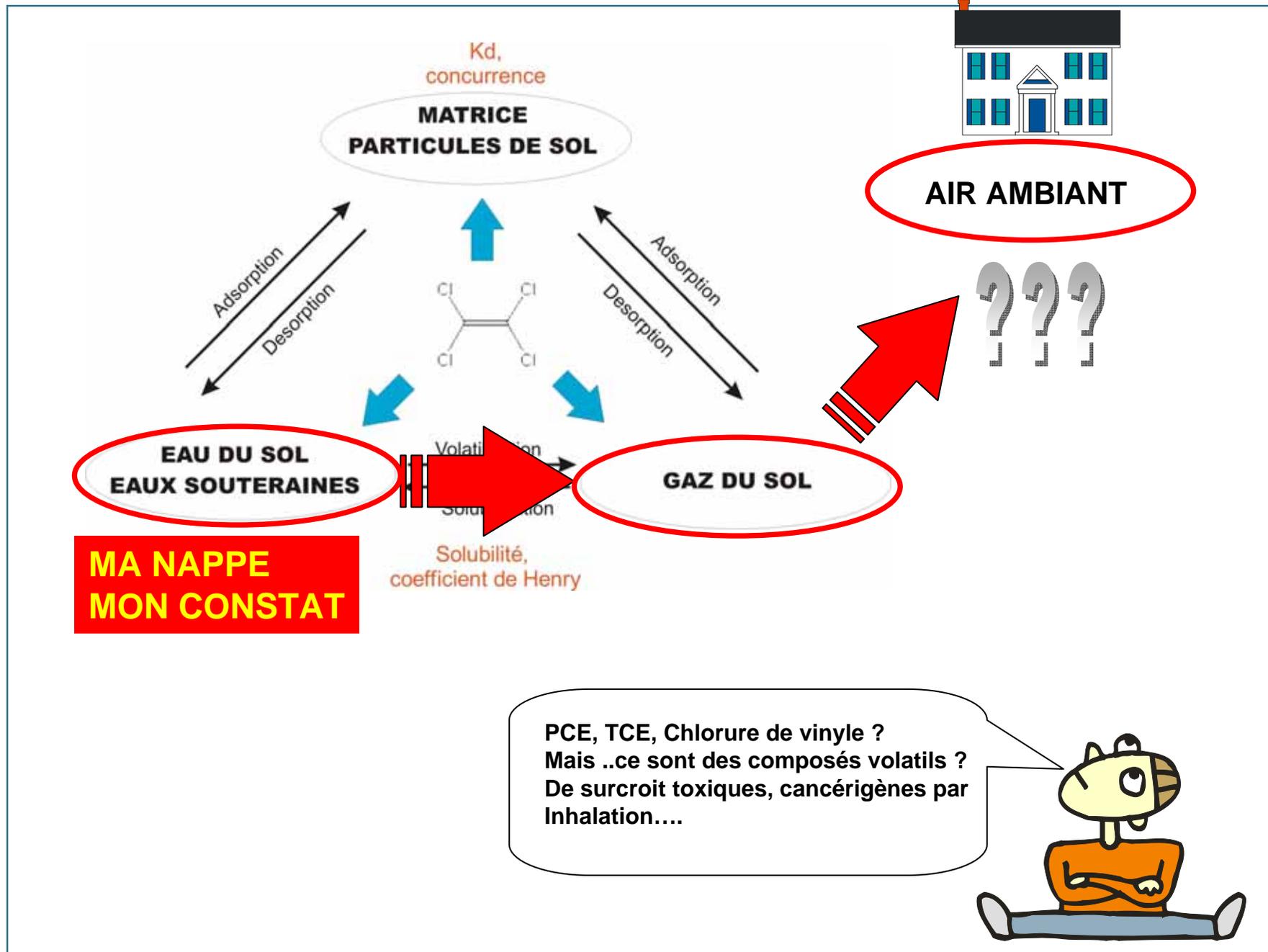
PCE, TCE, Chlorure de vinyle ?
 Mais ..ce sont des composés volatils ?
 De surcroit toxiques, cancérigènes par
 Inhalation....





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





SUR SITE

QUEL EST L'ETAT DES MILIEUX? Compatibilité de l'état des milieux avec leurs usages, futur projet immobilier ?

PROJET IMMOBILIER
Résidences sans sous sol
parking aériens et semi enterrés
Aire de jeux
Fondations , canalisations

HORS SITE

QUEL EST L'ETAT DES MILIEUX ? L'état de mes milieux est il compatible avec la libre jouissance des usages constatés ?

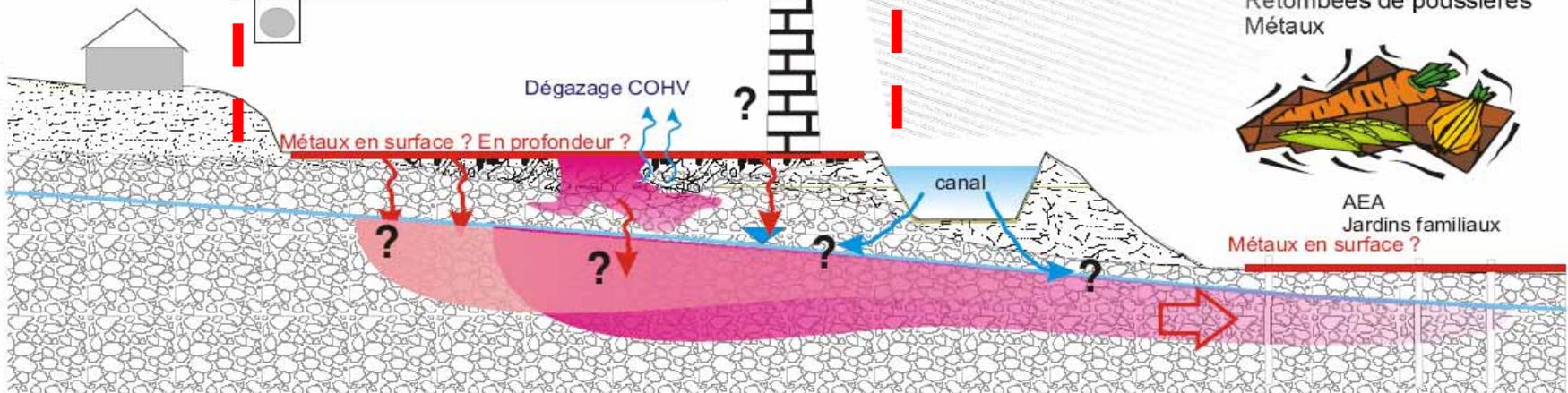
Retombées de poussières
Métaux



AEA
Jardins familiaux

Métaux en surface ?

+118.0 m NGF
+117.0 m NGF
+116.0 m NGF
+115.0 m NGF
+114.0 m NGF
+113.0 m NGF
+112.0 m NGF



-  Loess
-  Remblais grossier (graviers tout venant, laitier de haut fourneau et déblais de démolition)
-  Remblais limoneux et sableux
-  Sables et graviers, Alluvions du Rhin

**SCHEMA CONCEPTUEL
PRELIMINAIRE: QUELLES SONT MES
HYPOTHESES, MES ENJEUX ?**

Diagnosics: comment investiguer? (6)

Visite(s) de terrain: objectifs?

- > **Déterminer s'il y a des RISQUES avérés**, et le cas échéant dimensionner les mesures simples de mise en sécurité à prendre en conséquence.
- > **Prendre la dimension** et la réalité d'un site, d'une situation,
- > **Identifier les contraintes** liées au site qui orienteront le choix des techniques d'investigations,
- > **Identifier les sources, transferts**, enjeux et pratiques qui auraient pu échapper à l'analyse documentaire (puits non déclarés, pratiques opportunistes, etc.)



Diagnostics: comment investiguer? (6)

Dimensionner des investigations? → définir une stratégie d'échantillonnage

- > Stratégie: position, nombre, densité, répartition spatiale & temporelle, nature, volume des échantillons ?
- > Les investigation procèdent par **échantillonnage** des milieux,
- > C'est une action qui consiste à prélever, **en un point et un instant donné**, une partie considérée comme représentative d'un **milieu** en vue de l'examen de diverses caractéristiques définies.

Diagnostics: comment investiguer ? (7)

Dimensionner un diagnostic: freins et limites

- > On est confronté à **l'hétérogénéité** du milieu et de la distribution du ou des polluants à toutes échelles, (approche ponctuelle d'un milieu continu),
- > **L'échantillonnage ne peut donner qu'une vision discontinue et ponctuelle de la qualité des milieux et de leur évolution**; on ne peut exclure l'existence d'anomalies qui échapperaient au réseau de points d'échantillonnage → **inévitables incertitudes** qui doivent, selon les **enjeux** des diagnostics, être intégrées au dimensionnement du programme des investigations (densité, nombre et position des points dans le 3D, paramètres analysés, etc.)

Diagnostiques: comment investiguer ? (8)

Dimensionner un diagnostic: contraintes

Analyse des contraintes

- Contraintes d'accès et de mise en place (réseaux, bâtiments, etc.)
- Présence d'utilités sur le site (électricité, eau),
- Contraintes de délais,
- Sur un site en activité, contraintes horaires éventuelles (travail le WE),
- Contraintes liées aux procédures internes au site et/ou à certaines activités sensibles et/ou dangereuses du site (zones feux). Sécurité,
- Contraintes de discrétions,
- Contraintes financières.

Analyse des risques

Risques chimiques, mécaniques, thermiques (incendie / explosion),etc.

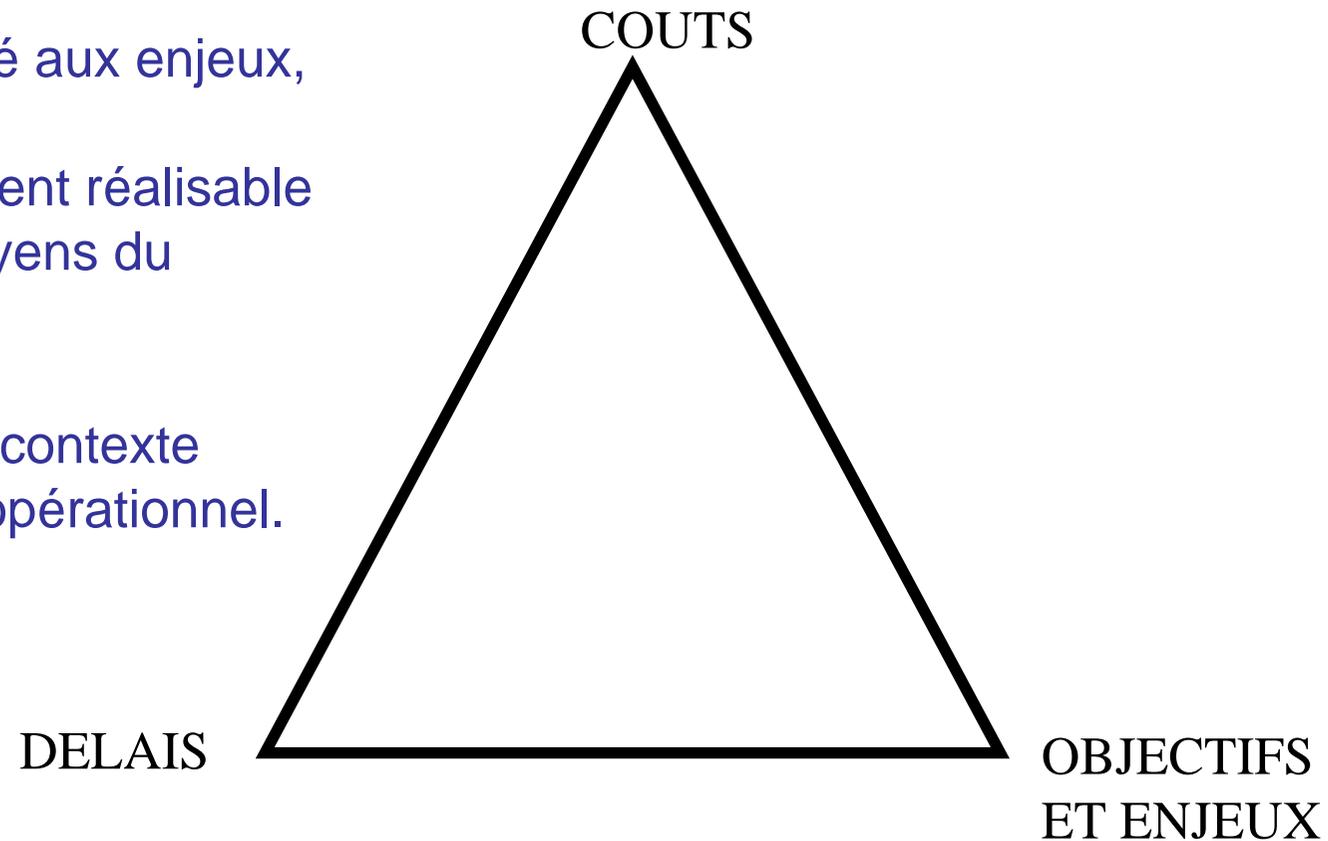


Diagnostics: comment investiguer ? (9)

Dimensionner un diagnostic

Le diagnostic doit être :

- proportionné aux enjeux,
- techniquement réalisable avec les moyens du moments,
- adaptés au contexte financier et opérationnel.



Diagnostiques: comment investiguer et limiter les incertitudes ? (1)

> Les techniques de criblage: définition et objectifs (1)

- Il s'agit de techniques d'investigations **directes ou indirectes**,
- **Simple et rapides** à mettre en œuvre généralement in situ ou sur site,
- **Peu coûteuses**,
- À lecture généralement directe,
- Offrant la possibilité d'un **grand nombre de mesures** (sur de grandes surfaces en un temps réduit),
- → permettant d'orienter et **d'optimiser techniquement et économiquement l'échantillonnage**: de limiter le nombre d'échantillons et/ou d'analyses (et coûts associés) tout en réduisant les incertitudes.

Diagnostiques: comment investiguer et limiter les incertitudes ? (2)

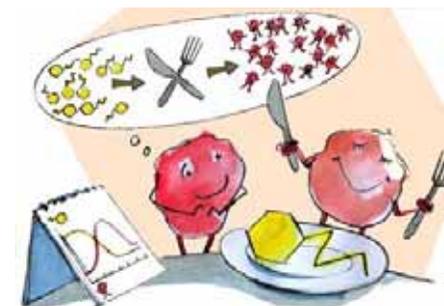
> Les techniques de criblage: définition et objectifs (2)

- Identifier l'occurrence, la position et l'extension de pollution du milieu souterrain,
- Identifier le type de substances, les familles et/ou les substances présentes,
- Identifier les ordres de grandeurs des teneurs/concentrations en polluants dans les milieux.

Diagnostiques: comment investiguer et limiter les incertitudes ? (3)

> Les techniques de criblage (3)

- Mesure des concentrations en polluant et/ou indicateurs de biodégradation des gaz du sol pour les polluants volatils et/ou biodégradables,
- Mesures des modifications physiques des milieux pollués ($T^{\circ}\text{C}$, conductivité électrique, etc.): application des techniques géoélectriques, georadar, susceptibilité magnétique, etc.,
- Mesure des ordres de grandeur des teneurs / concentrations de milieux au moyen d'analyseur de terrain (ex NITON © pour les métaux) et/ou de kits de terrain.



Kits d'analyses de terrain:

- Fonctionnent sur le principe de réactions de complexation sélective et de mesure colorimétriques,
 - Ordres de grandeur des teneurs des sols (LQ ~mg/kg),
 - Différents kits sélectifs disponibles sur le marché: kit ENSYS Immuno enzymatiques et Petroflag ® pour les hydrocarbures, Kit DLE (Dräger Liquid Extraction), kits PCB, HAP, métaux, etc.
 - Périodes de validité et pour certains sensibles à la température.
 - 15 à 20 minutes par analyse.
 - Kits sols, kits eaux.
 - Sensibilité, LIQ ~1 à 10 ppm.
-
- Pour les gaz du sol: tubes colorimétriques DRAEGER ® spécifiques à chaque polluant et à chaque gamme de concentration (LIQ ~500 ppm).



Fig. 32: Mesure avec le test simultané

Chromatographes de terrain:

- Divers GC proposés sur le marché,
- Matrices sols, eaux et gaz du sol,
- LIQ ~ppb (gaz), et du ppm (eaux, sol).
- Exemple: GC/MS portable (EM640TM), GC portable Modèle 4100 avec détecteur SAW (*Surface Acoustic Wave*), CPG Portable - Sentex Systems

FID



PID



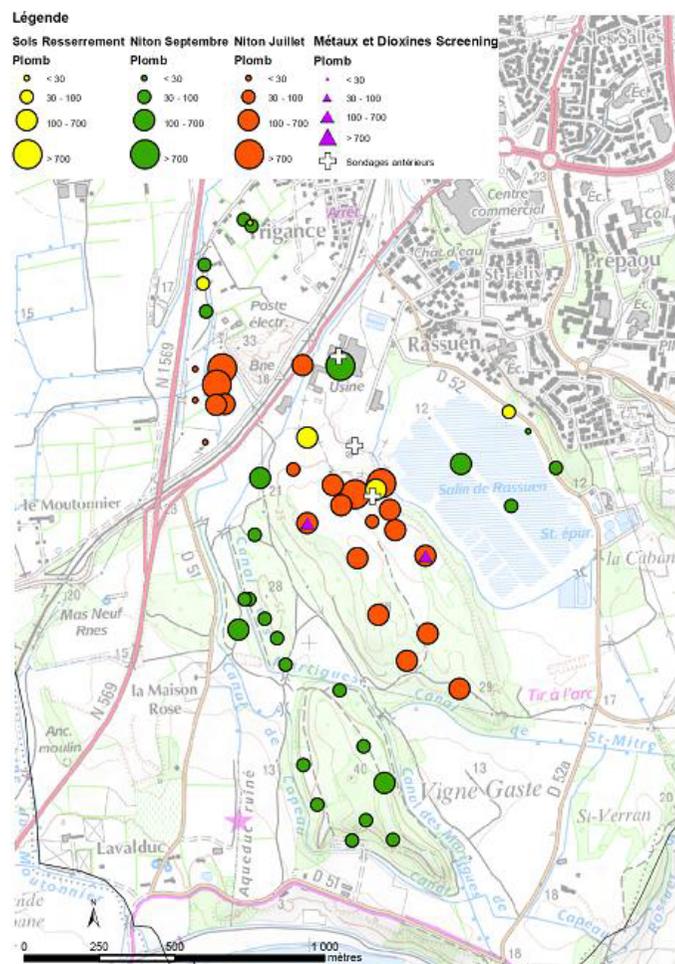
Spectromètres de terrain:

- Spectrométrie UV (HC aromatiques), spectrométrie IR (COV des gaz), spectromètres FX pour l'analyse élémentaire (ex. NITON®),
- Matrices sols, eaux et gaz du sol,
- LIQ ~ppb (gaz), et du ppm (eaux, sol).
- Exemple: Type 1312 Multi-gas Monitor - Innova AirTech Instruments, FL200 (Datalink Instruments) Fluorescence UV visible, etc.
- 15 à 20 minutes par analyse.

Capteurs (passifs ou actifs) et analyseurs de gaz:

- Gaz du sol et air ambiant: FID, PID, EMFLUX, capteur diffusif RADIELLO®, etc. LIQ ~0.01 ppm à 1 ppm.

Spectromètres portable de fluorescence X (FPXRF : Field Portable X-Ray Fluorescence) type NITON © : analyse jusqu'à 22 éléments, sol sec, avec une LIQ variable (temps de comptage de 2 à 4 minutes)



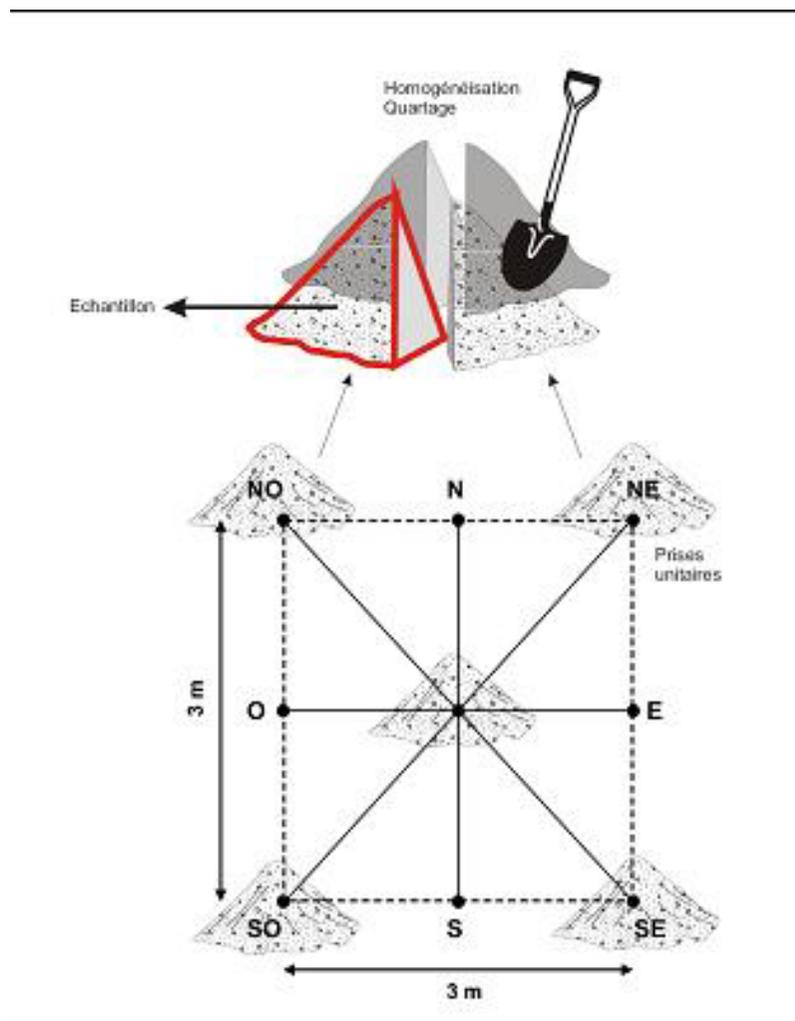
	Sand Matrix	SRM Matrix
Filter 1		
Ba	500	1000
Sb	54	72
Sn	50	70
Ag	30	50
Cd	30	40
Sr	10	10
Rb	4	10
Hg	12	20
Pb	11	18
Se	6	10
As	9	19
Zn	24	48
Cu	50	80
Ni	80	160
Co	150	500
Fe	120	500
Mn	90	300
Filter 2¹		
Cr	60	100
V	65	175
Ti	100	200
Sc	45	200
Ca	250	400
K	300	500
Cl	1.30%	1.50%
S	1.30%	1.50%
P	2.20%	2.50%

All values are in ppm (mg/kg) unless otherwise noted. Other elements may be added on request. Please contact a NITON agent for technical consultation.
¹Detection of Cr does not necessitate a second filter, however LIBS are optimized using a multi-filter NITON.
²An NITON utilizes PERFECT X-ray tube (Programmable Excitation by Regulating Fibers, Energy, Current, and Time technology.)



Indice français	Indice ISO	Titre	Année
FD X 31-610		Méthode de détermination semi-quantitative des HAP dans les sols. Guide de sélection et d'utilisation des kits de dosage immuno-enzymatiques	1997
FD X 31-611-1		Méthode de détection et de caractérisation des pollutions. Partie 1 : guide général pour les analyse des gaz des sols <i>in situ</i> employées en criblage de terrain	1997

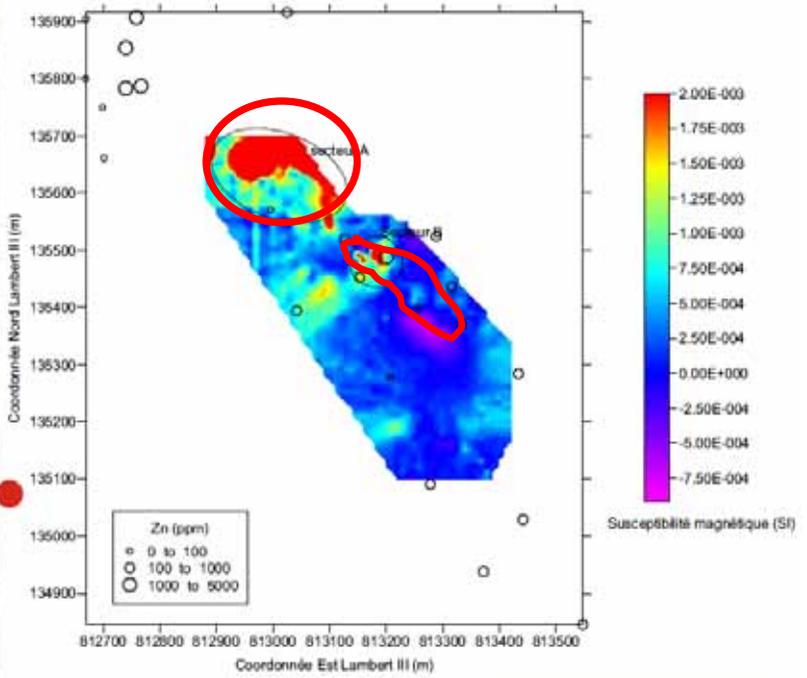
Echantillonnage de type mélange (composite):



- Echantillonnage en étoile sur une surface,
- Rainurage sur une verticale,
- Teneurs moyennes,
- Adapté pour caractériser des expositions à des sols de surface par exemple et/ou identifier les zones anormales.

Constitution d'un échantillon de type mélange suivant une configuration en étoile des prises unitaires (d'après Scovazzo & Strubble, 1990 modifié)

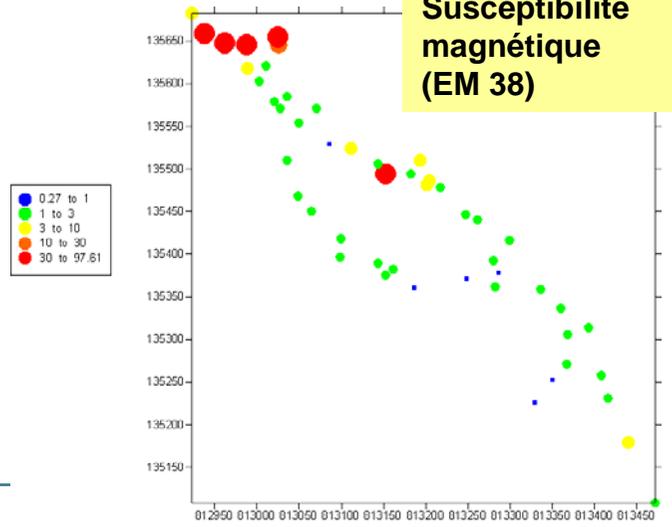
Susceptibilité magnétique (EM 38)

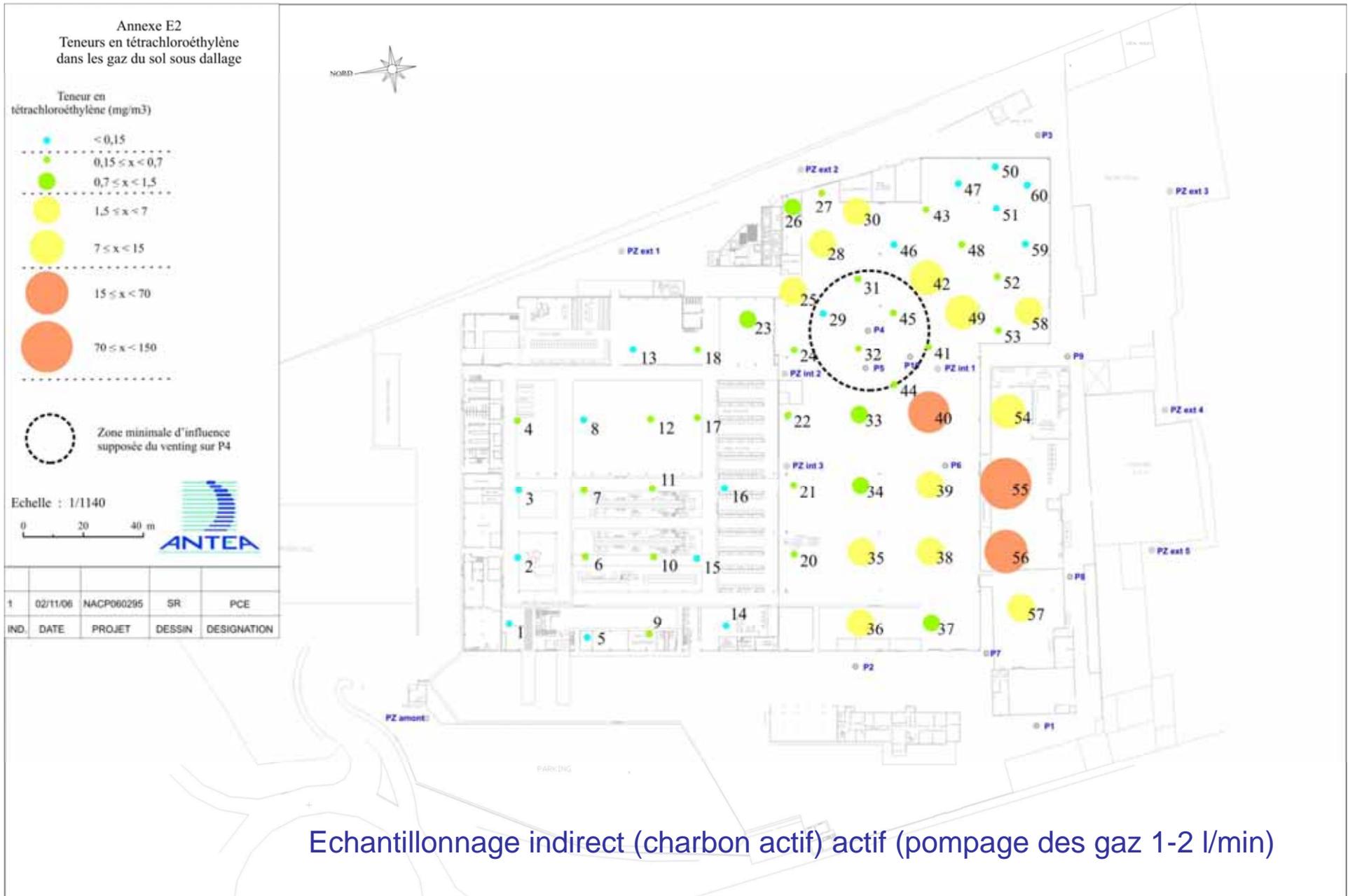


Méthodes géophysiques (susceptibilité magnétique) sur une pollution métallique



Susceptibilité magnétique (EM 38)



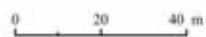


Annexe I
Esquisse interprétative
des isoconcentrations en tétrachloroéthylène
dans la nappe le 18 octobre 2006

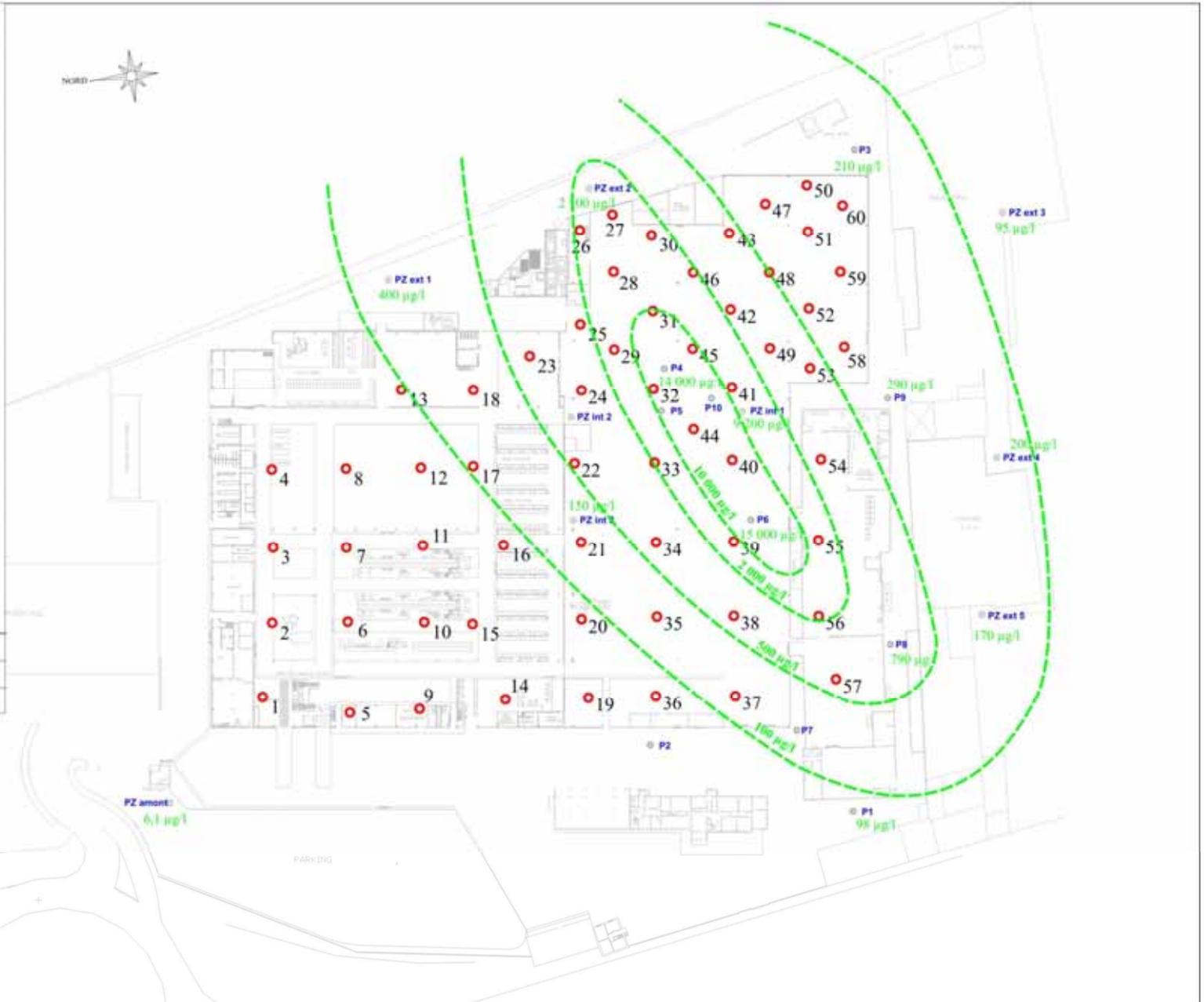


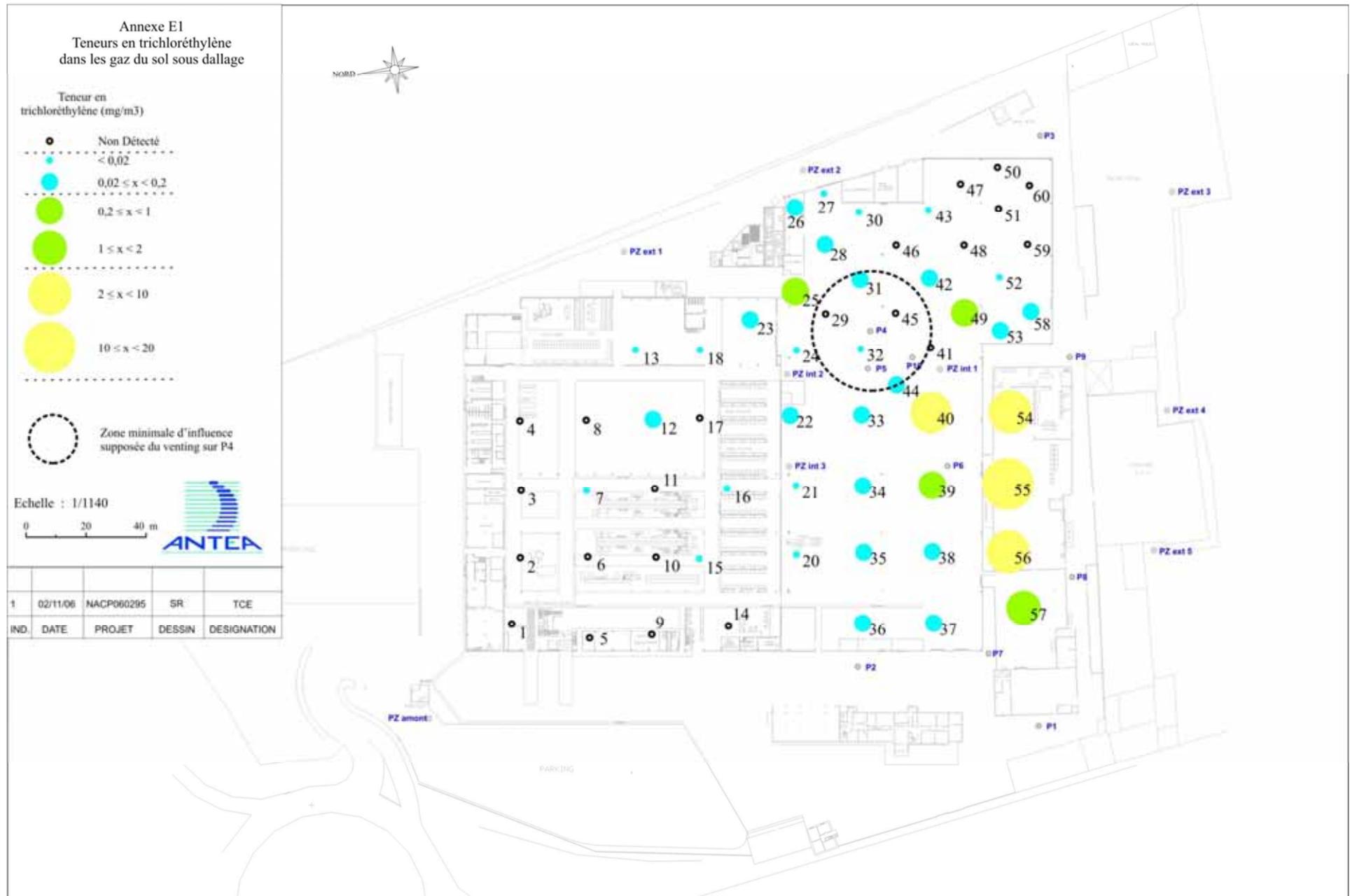
- 4 Point de prélèvement de gaz
- Teneur en tétrachloroéthylène
- Courbe d'isoconcentration (µg/l)

Echelle : 1/1140



1	12/11/06	NACP060295	SR	Nappe PCE
IND.	DATE	PROJET	DESSIN	DESIGNATION





Annexe F
Esquisse interprétative
des isoconcentrations en
trichloroéthylène et tétrachloroéthylène
dans la nappe
le 18 octobre 2006

4 Point de prélèvement de gaz

2 450 µg/l Somme des teneurs en trichloroéthylène
et tétrachloroéthylène

----- Courbe d'isoconcentration (µg/l)

Echelle : 1/1140



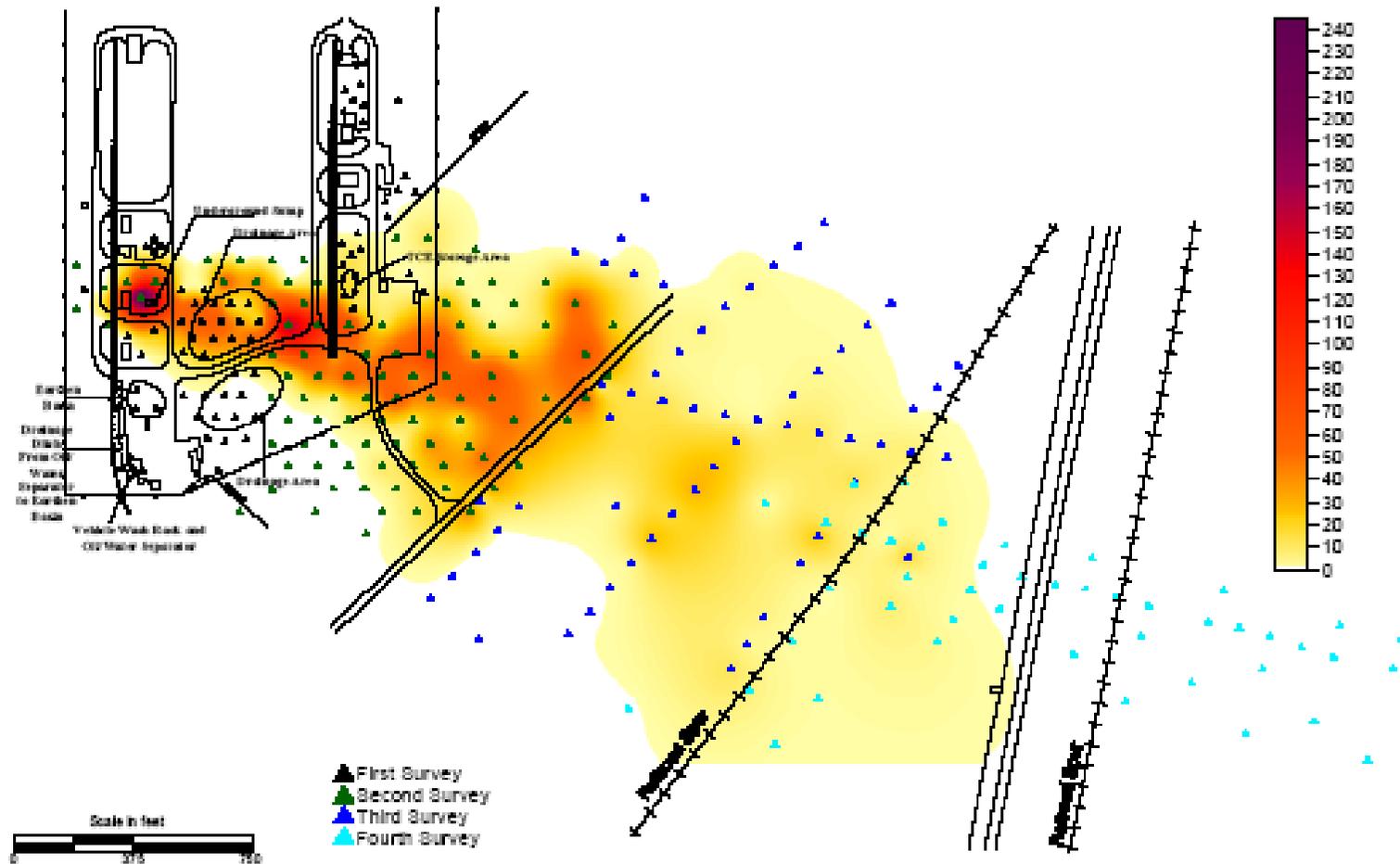
1	06/11/06	NACPO90295	SR	Nappe COHV totaux
IND.	DATE	PROJET	DESSIN	DESIGNATION



PZ amont:
6,1 µg/l

PARKING



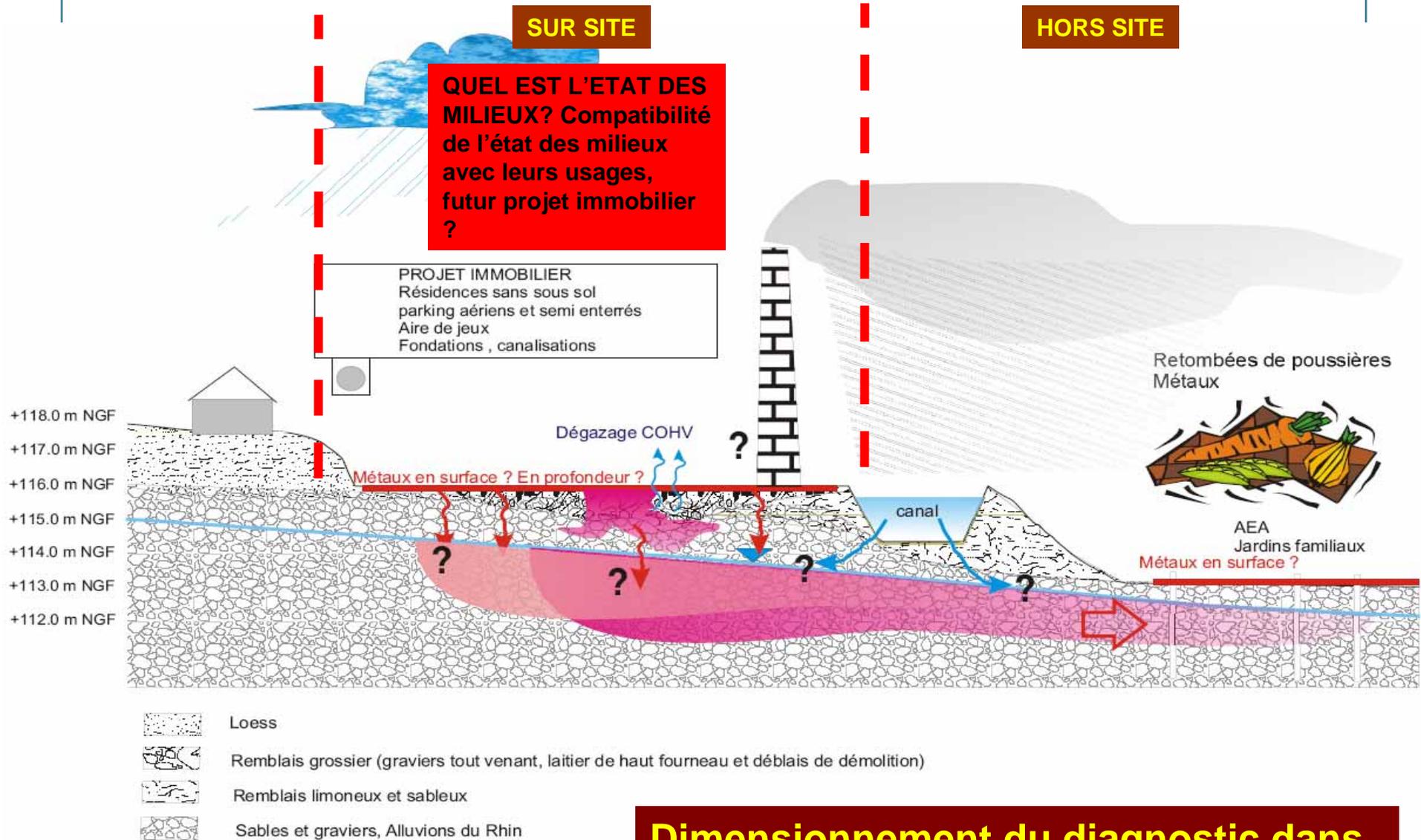


Dispositif EMFLUX© (émanométrie passive, capteurs passifs de subsurface).
Mise en évidence du tracé d'un panache de COHV dans la nappe phréatique

Diagnostics: comment investiguer et limiter les incertitudes ? (4)

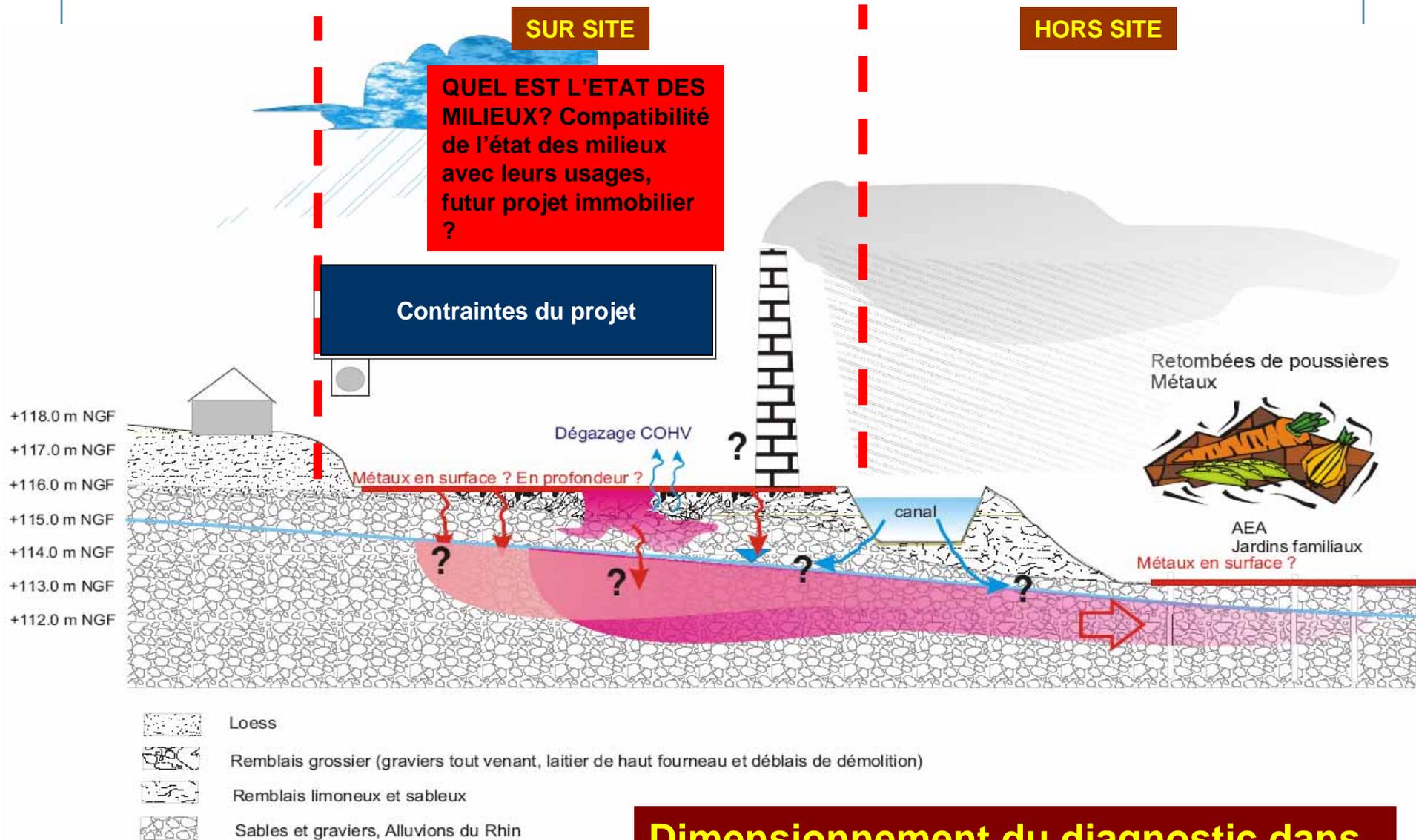
- > Exploitation de l'étude historique et/ou des résultats de la ou des visites de terrain (échantillonnage au jugé)**
- > Utilisation de techniques géostatistiques afin d'orienter le choix du plan d'échantillonnage (systématique, aléatoire, stratifié, etc.)**

Diagnostics: comment investiguer ? (5)



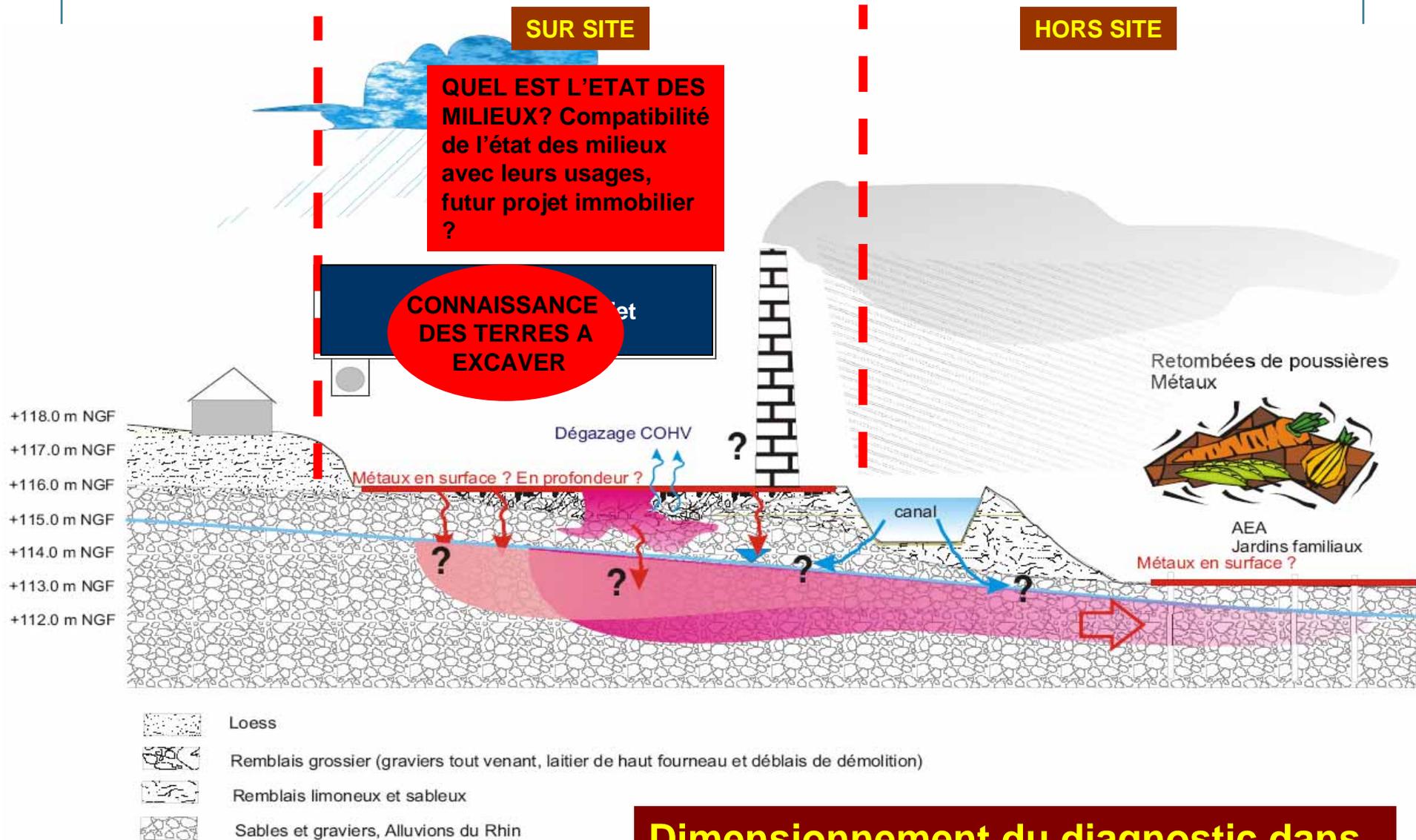
Dimensionnement du diagnostic dans le cadre du Plan de Gestion

Diagnostics: comment investiguer ? (5)



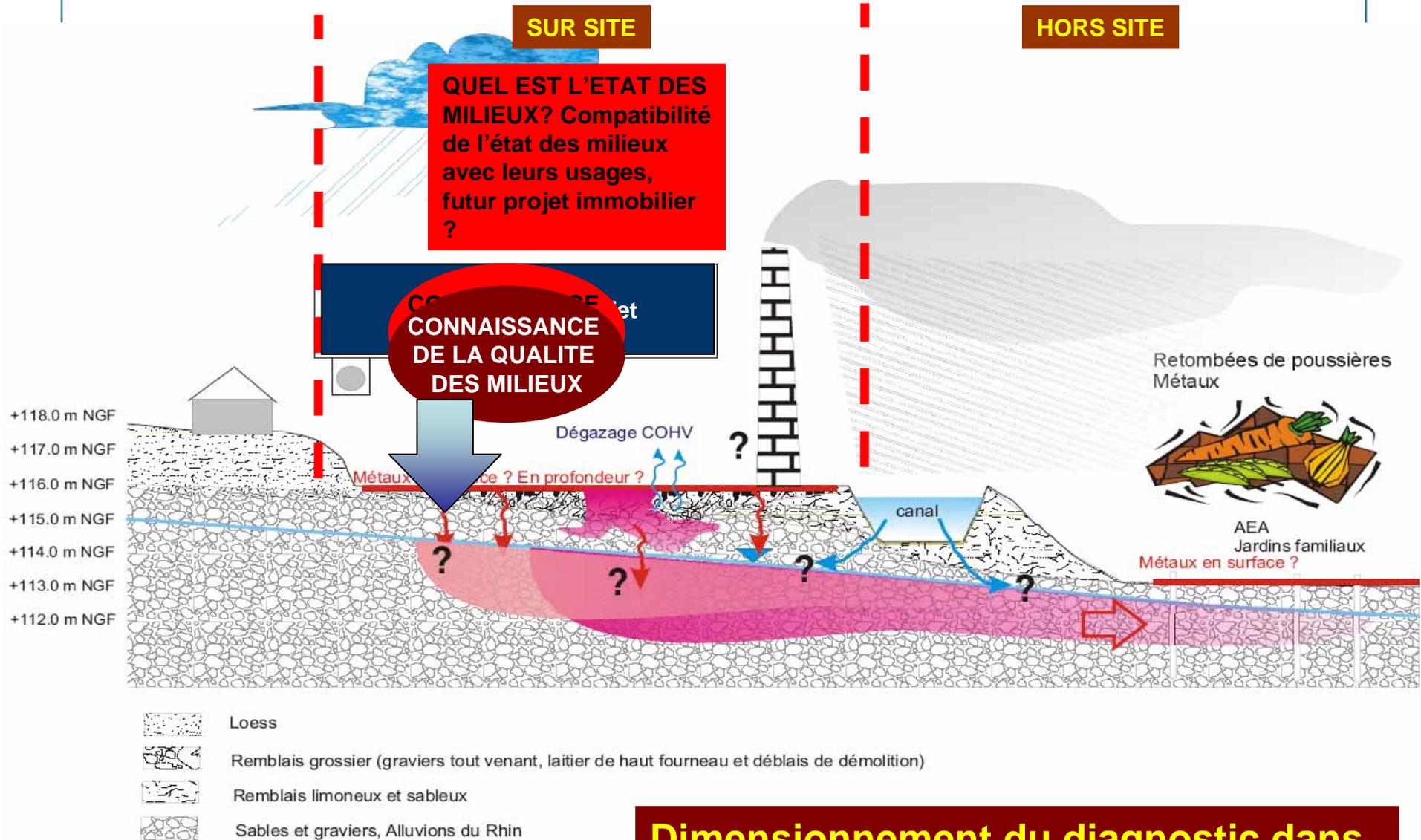
Dimensionnement du diagnostic dans le cadre du Plan de Gestion

Diagnostics: comment investiguer ? (5)



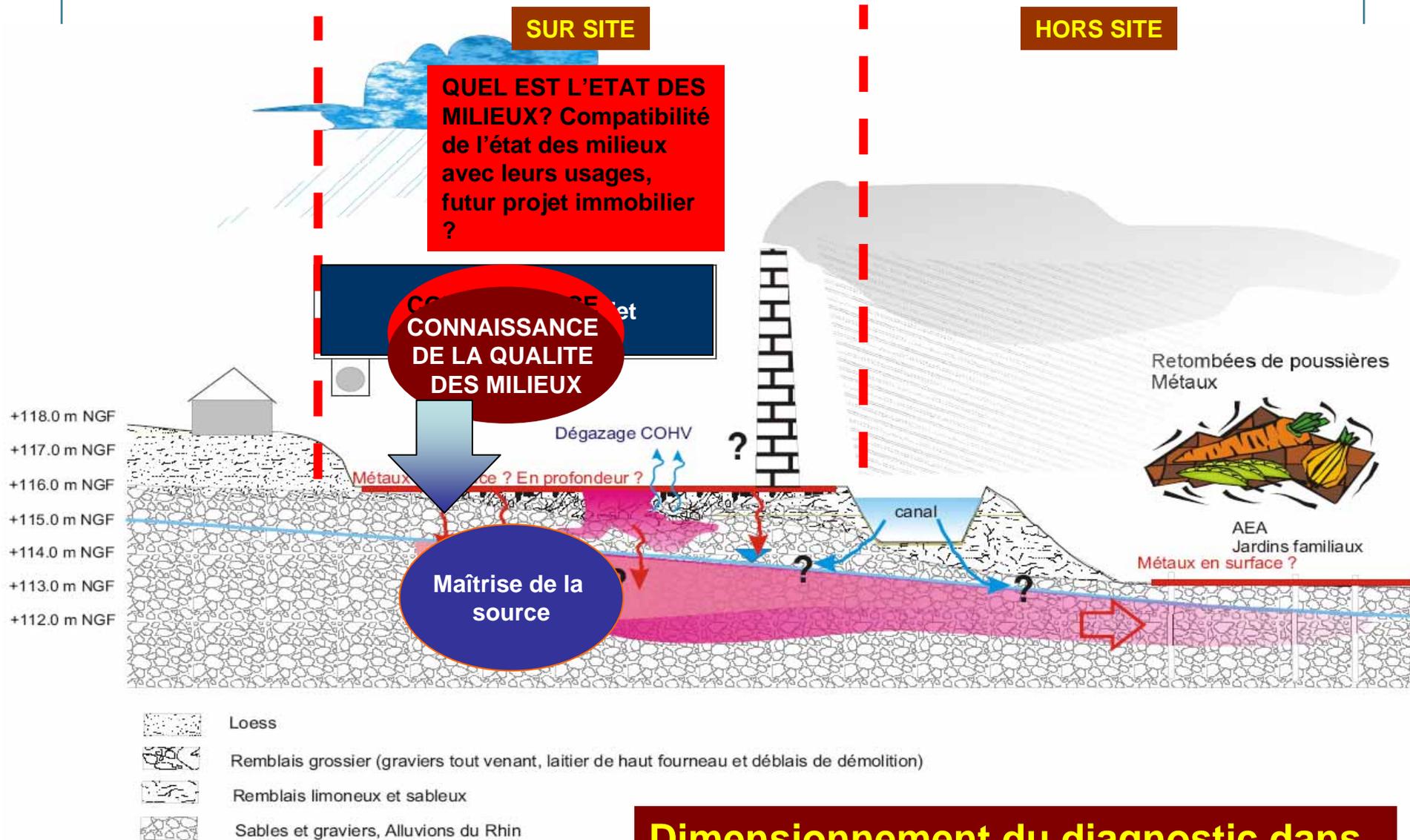
Dimensionnement du diagnostic dans le cadre du Plan de Gestion

Diagnostics: comment investiguer ? (5)



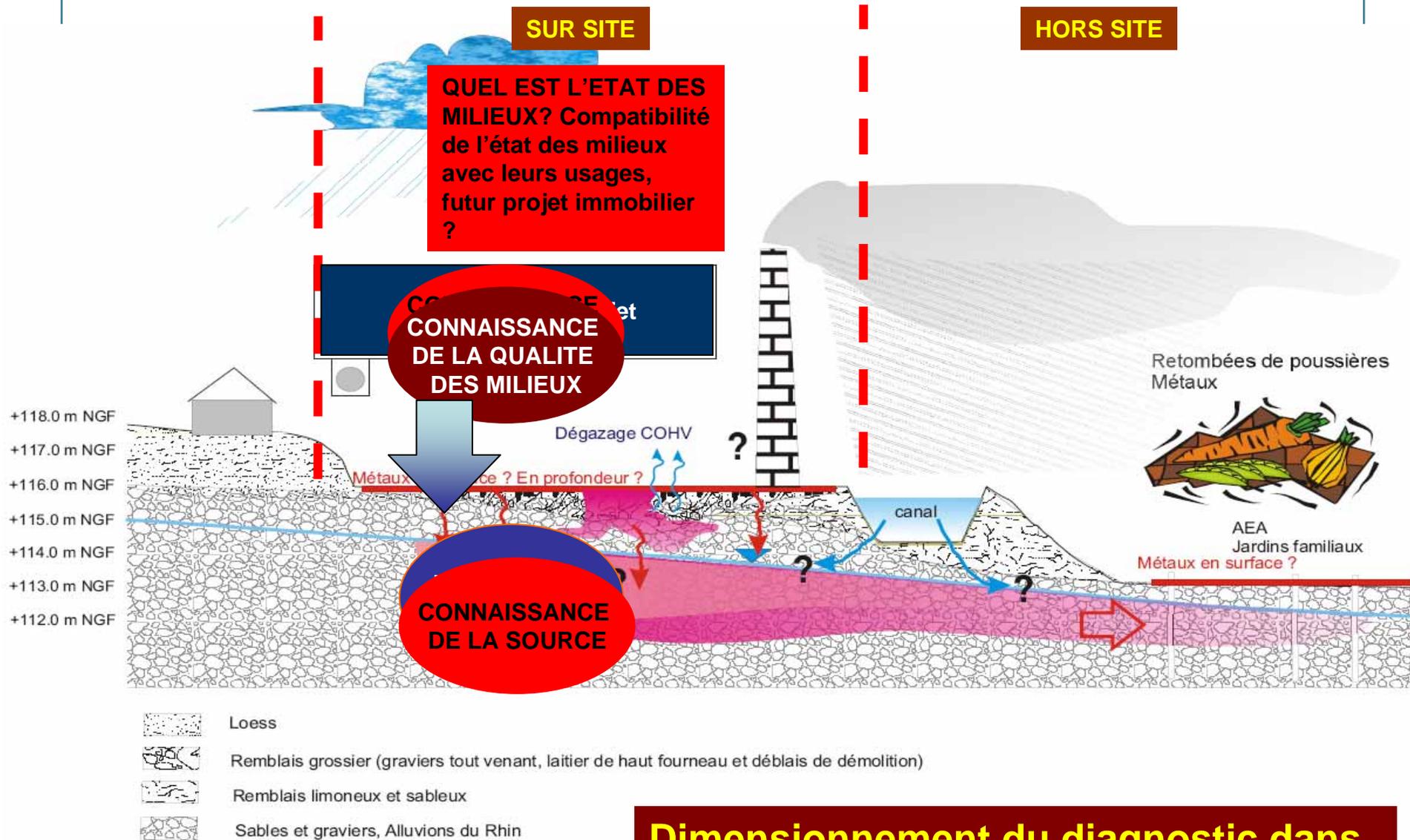
Dimensionnement du diagnostic dans le cadre du Plan de Gestion

Diagnostics: comment investiguer ? (5)



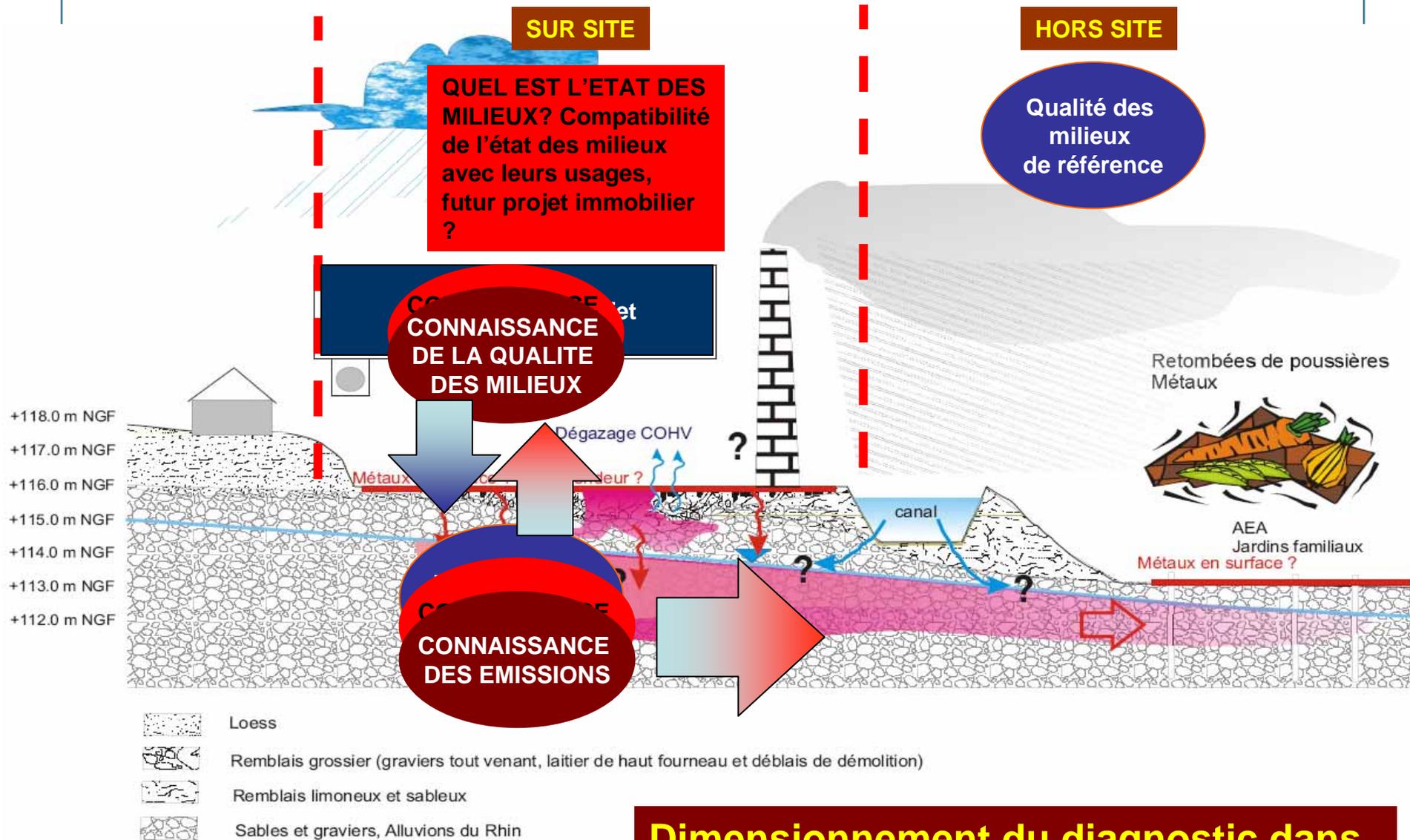
Dimensionnement du diagnostic dans le cadre du Plan de Gestion

Diagnostics: comment investiguer ? (5)



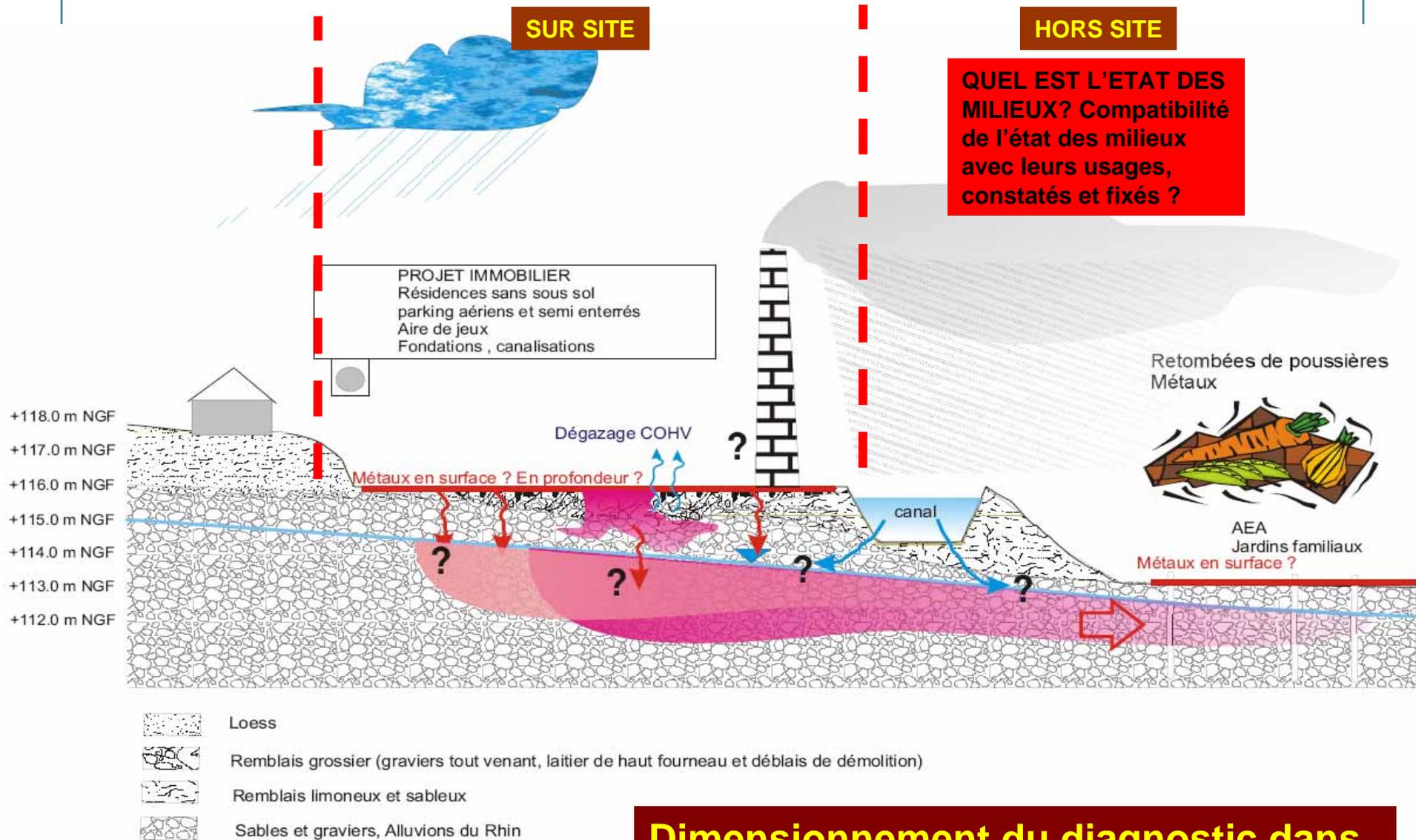
Dimensionnement du diagnostic dans le cadre du Plan de Gestion

Diagnostics: comment investiguer ? (5)



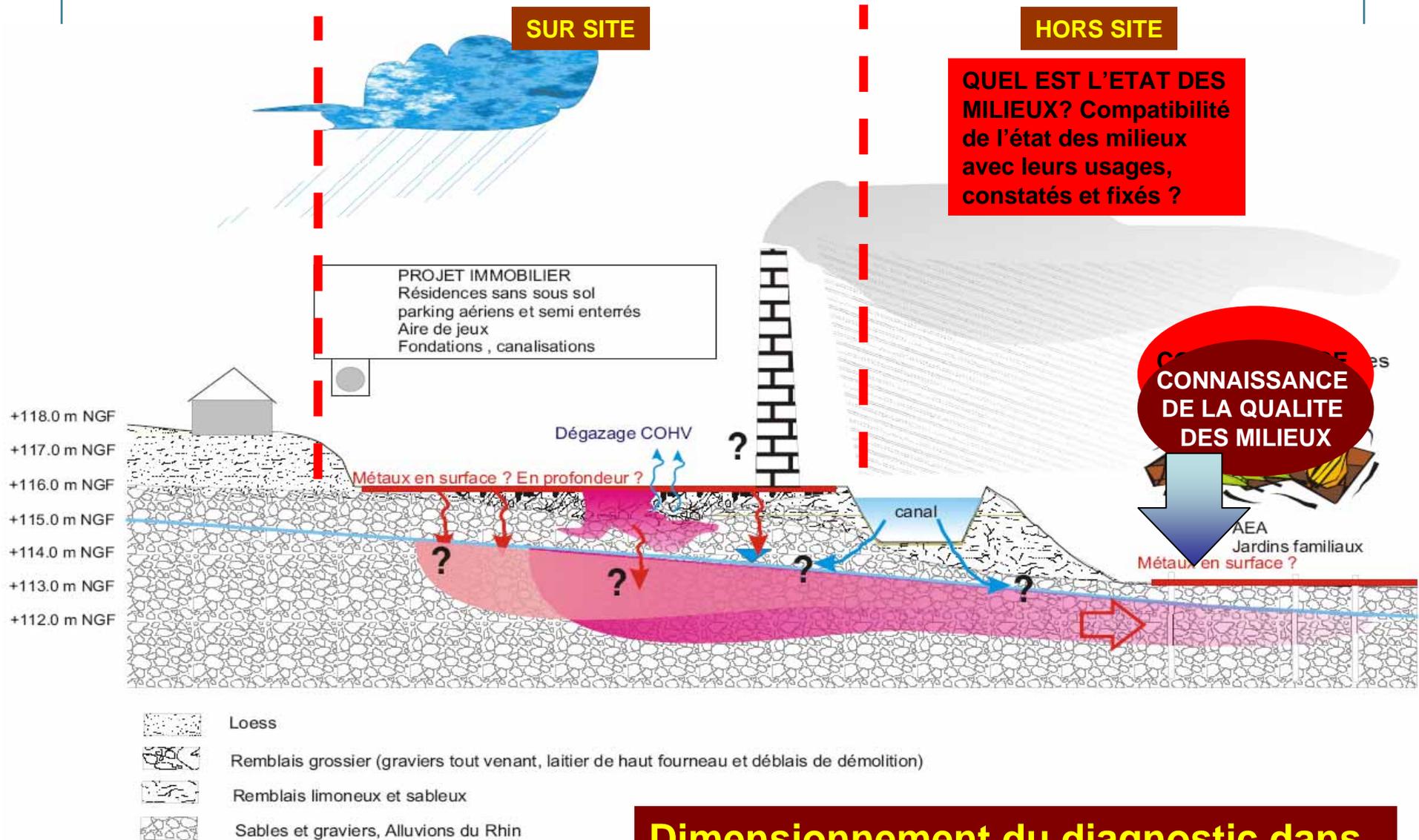
Dimensionnement du diagnostic dans le cadre du Plan de Gestion

Diagnostics: comment investiguer ? (6)



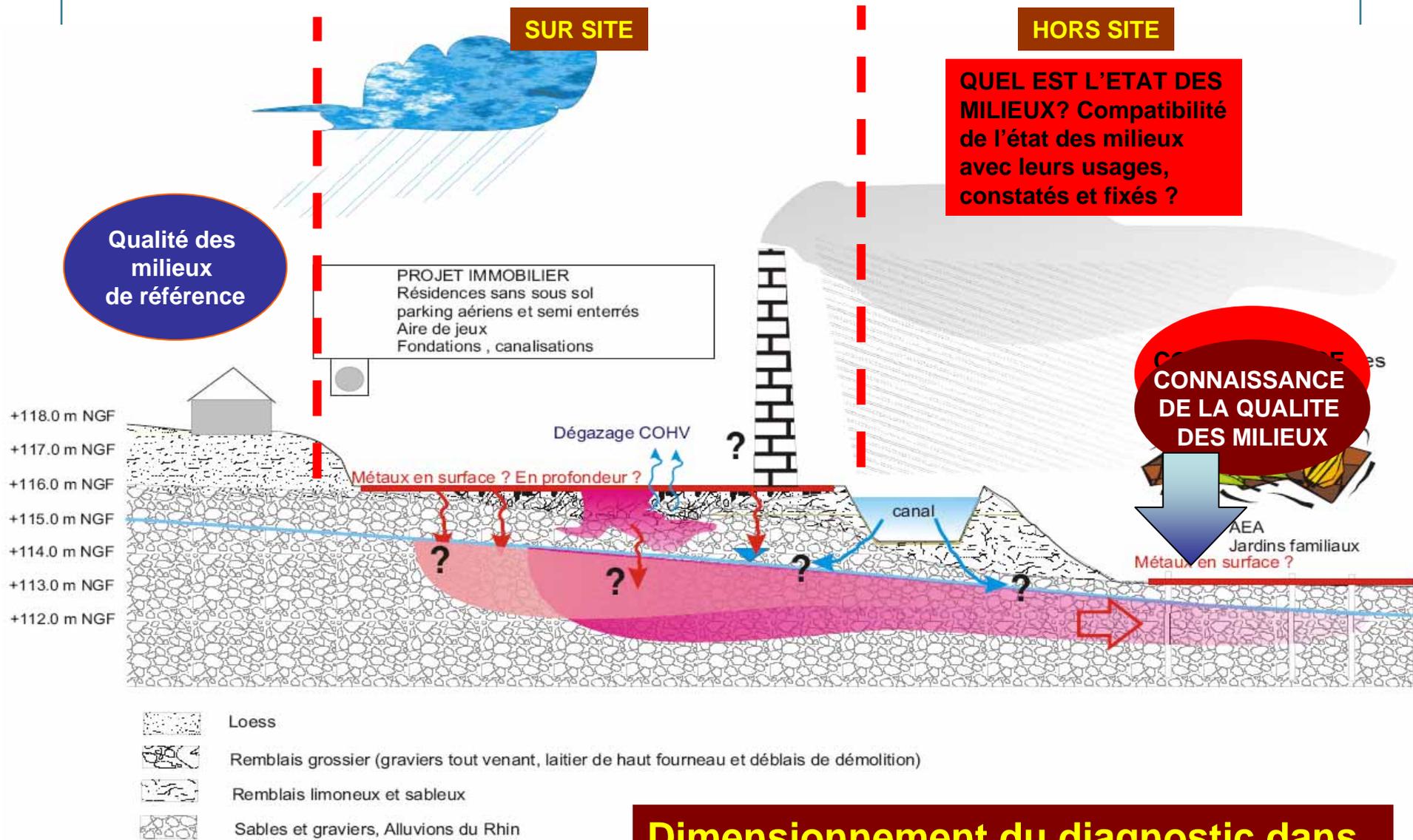
Dimensionnement du diagnostic dans le cadre de l'EM

Diagnostics: comment investiguer ? (6)



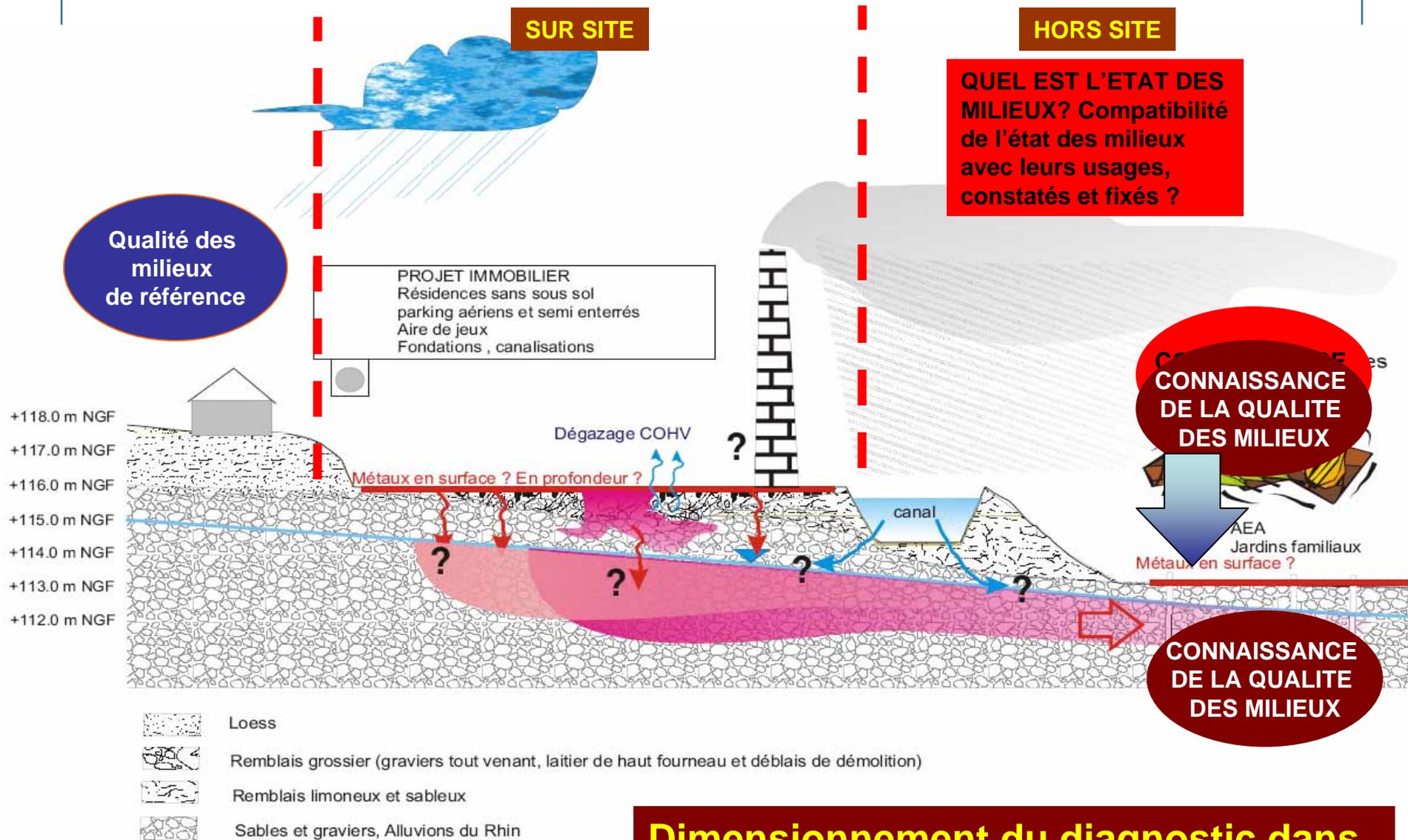
Dimensionnement du diagnostic dans le cadre de l'EM

Diagnostics: comment investiguer ? (6)



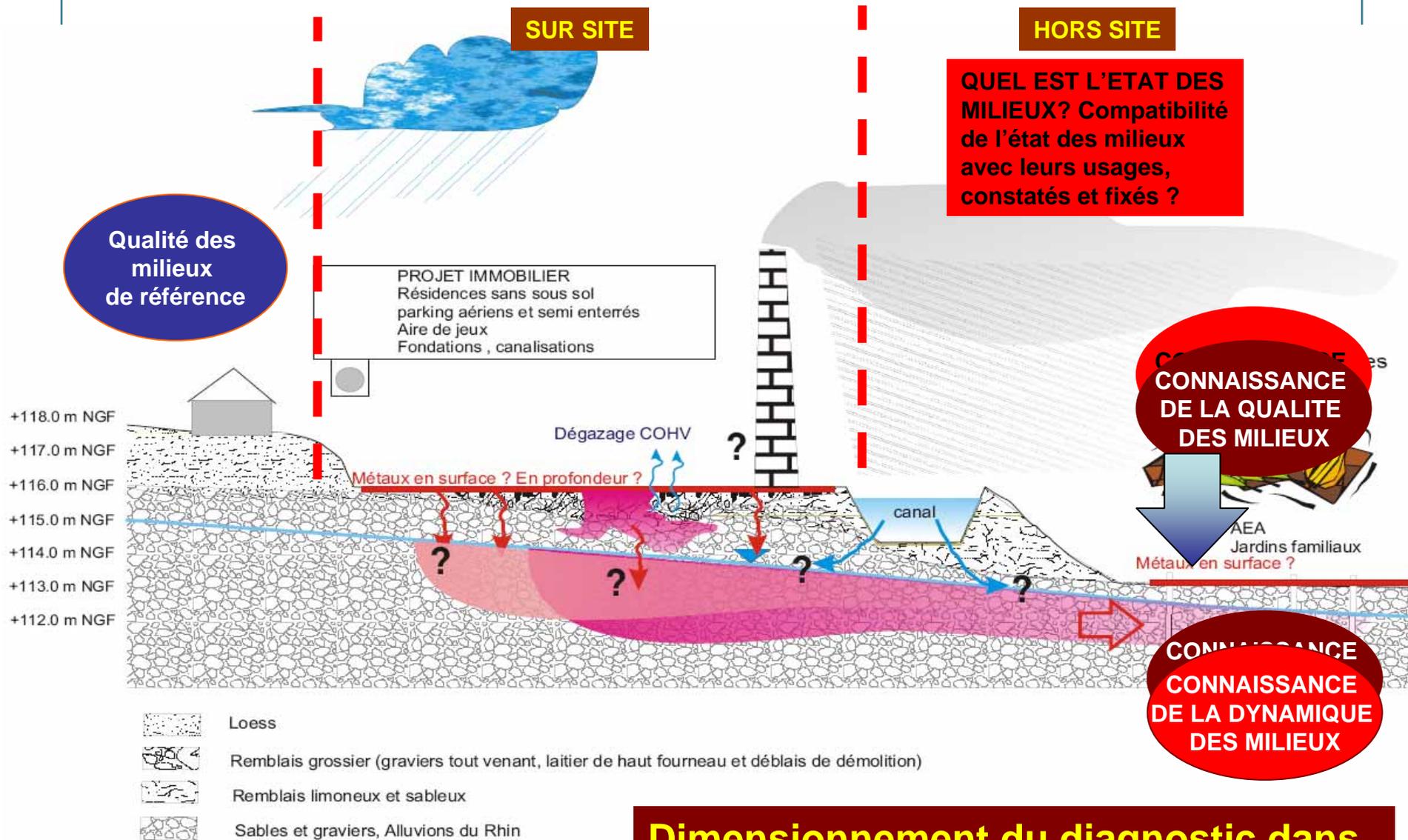
Dimensionnement du diagnostic dans le cadre de l'EM

Diagnostics: comment investiguer ? (6)



Dimensionnement du diagnostic dans le cadre de l'EM

Diagnostics: comment investiguer ? (6)

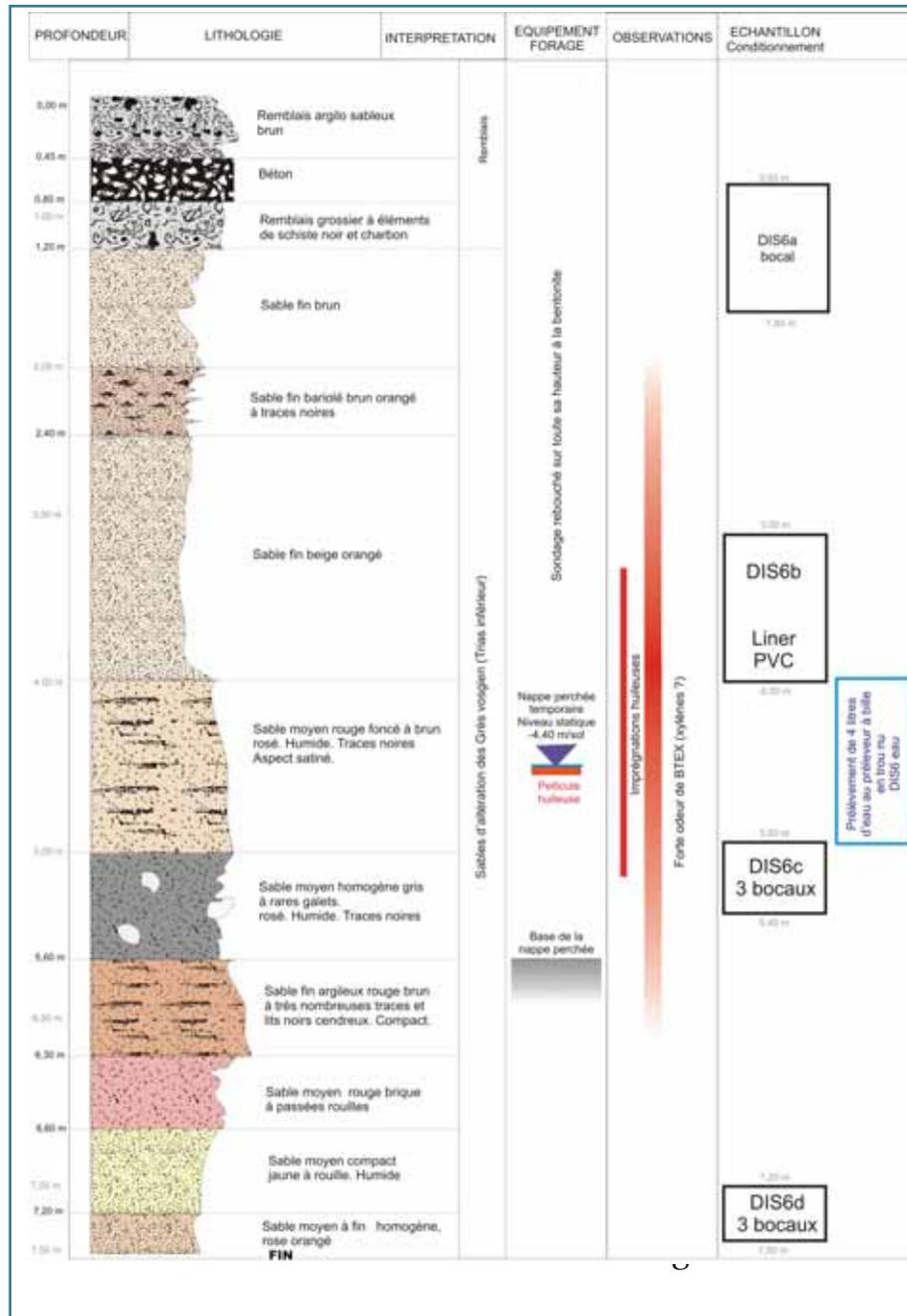


Dimensionnement du diagnostic dans le cadre de l'EM

Diagnosics: comment investiguer ? (1)

- > **Echantillonnage des sols** de surface (milieux d'exposition) et/ou en profondeur (zone source, terre à excaver), ponctuel ou composite, selon un maillage au jugé ou systématique, libre ou sous gaine (selon les polluants recherchés). Forage, pelle, carottage battu, tarière







Présentation des carottes de sondage dans leurs caisses à carotte d'un sondage au carottier battu

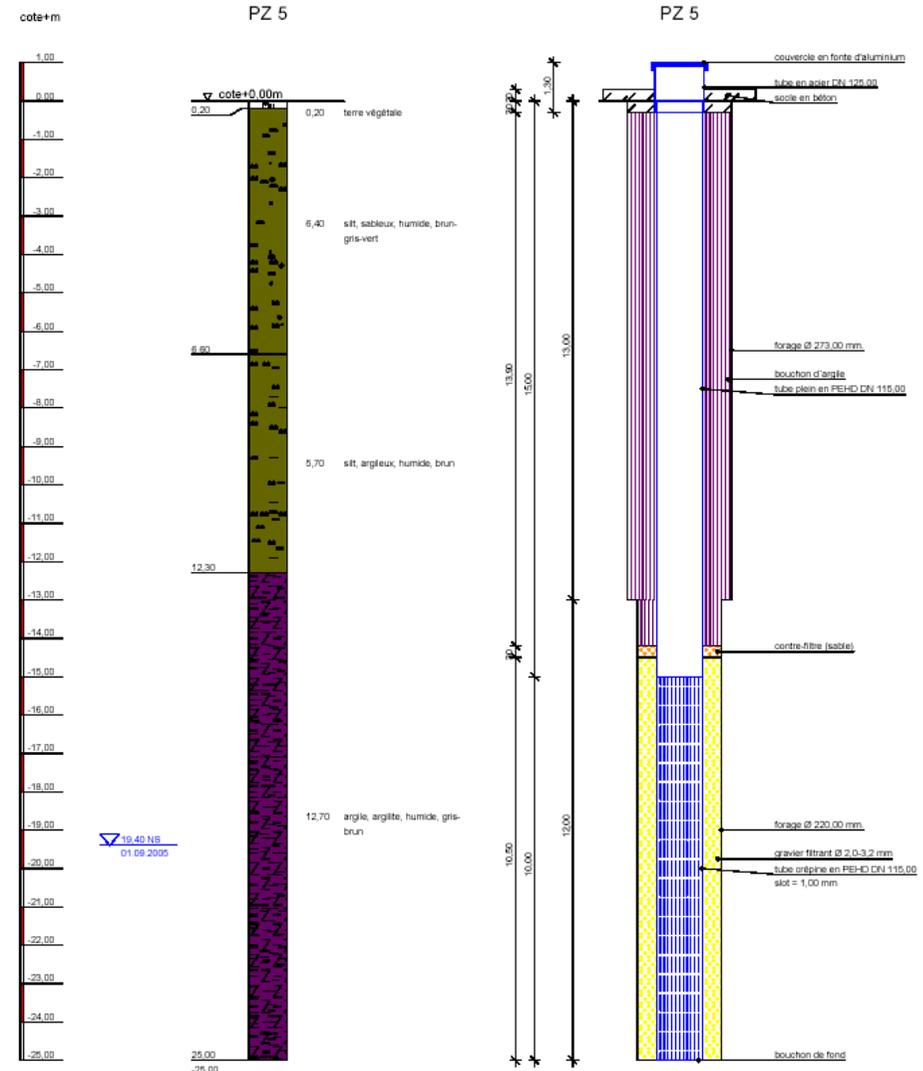
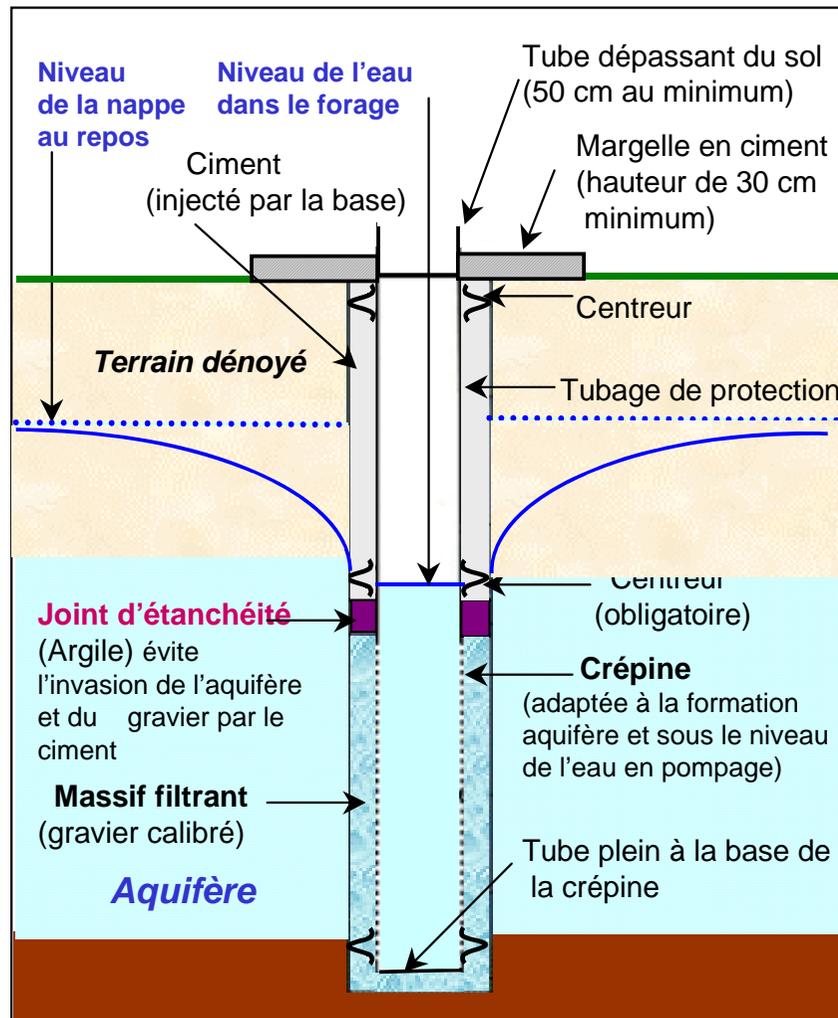
Diagnostics: comment investiguer ? (2)

> Echantillonnage des eaux souterraines (ESO)

- Au niveau d'émergence des ESO, de puits existants ou de piézomètres créés.
- Piézomètres → mesure des niveaux d'eau, échantillonnage « représentatif » et reproductible des ESO, identification de phases organiques.
- Prélèvement composite ou ponctuel (à profondeur donnée),
- Prélèvement selon protocole opératoire normé (AFNOR - FD-X 31-615 de décembre 2000): pompe immergée, pompe de surface, préleveur à bille selon les circonstances, etc.

Réalisation d'un réseau de piézomètres

> Coupe schématique d'un piézomètre



Diagnostique: comment investiguer ? (3)

> Echantillonnage des gaz du sol et de l'air ambiant

> Définition des objectifs de la recherche

- **pour les gaz du sol** : recherche et caractérisation du milieu source ou du milieu de transfert,
- **pour les gaz ou les particules dans l'air ambiant** : caractérisation du milieu d'exposition à l'intérieur ou l'extérieur des locaux.

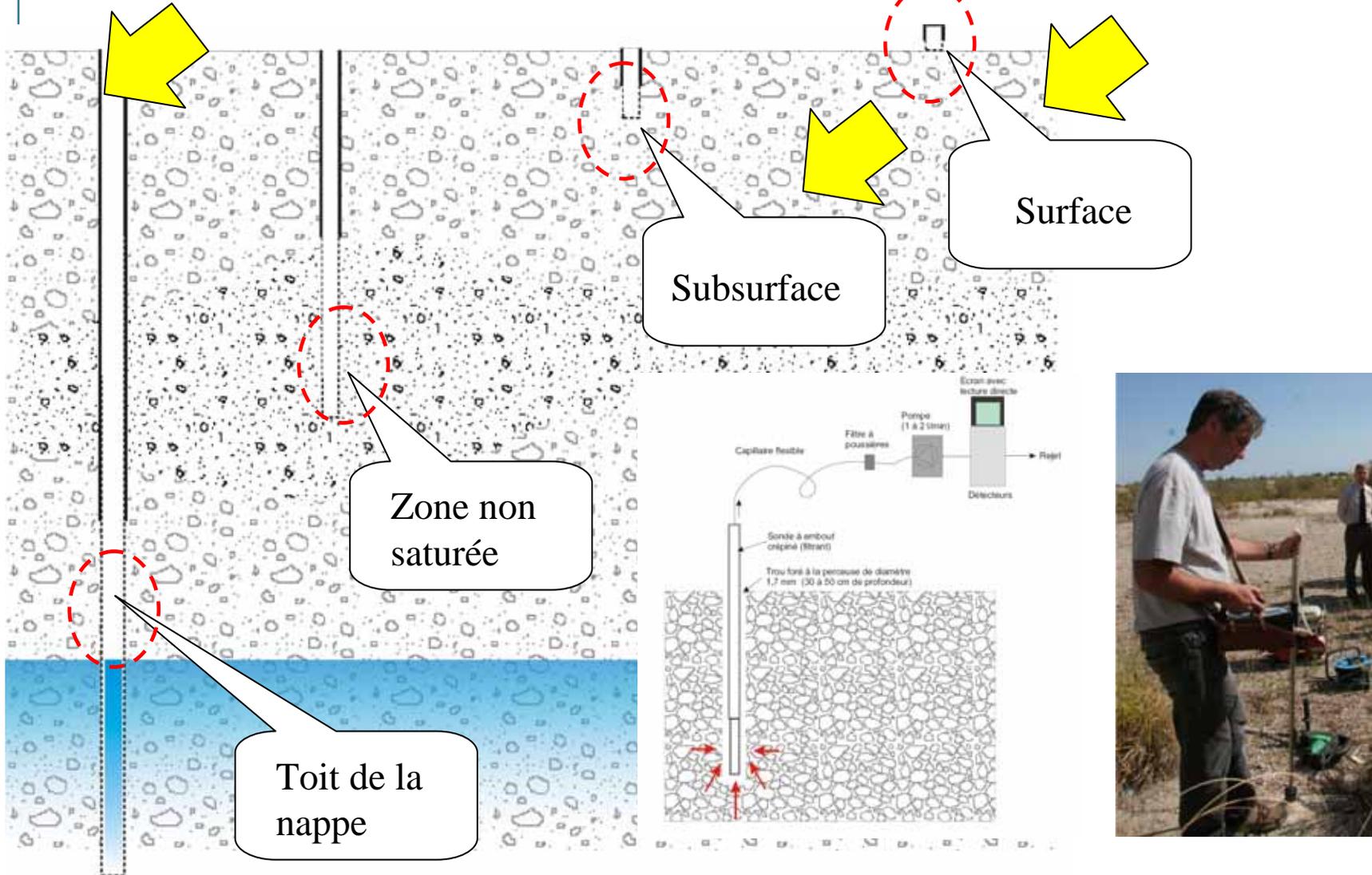
> Choix des méthodes et des techniques appropriées

- **Méthode active ou dynamique** : insertion d'une sonde dans le sol, « *piézair* », extraction par pompage et récupération du gaz dans une seringue, un adsorbant, une ampoule, un sac,...
- **Méthode passive** : enterrement d'un adsorbant (charbon actif, résine, tenax,...) dans un sol ou dépose dans local pendant quelques heures ou quelques jours, recueil de celui-ci, transport au laboratoire pour analyse après désorption thermique ou extraction chimique.

> Normes existantes ou en projet pour l'échantillonnage, la mesure et l'analyse.

**Pensez à exploiter l'existant !
Mesure des gaz dans les piézos captant la ZNS**

**Dispositifs généralement appliqué
en phase de screening**

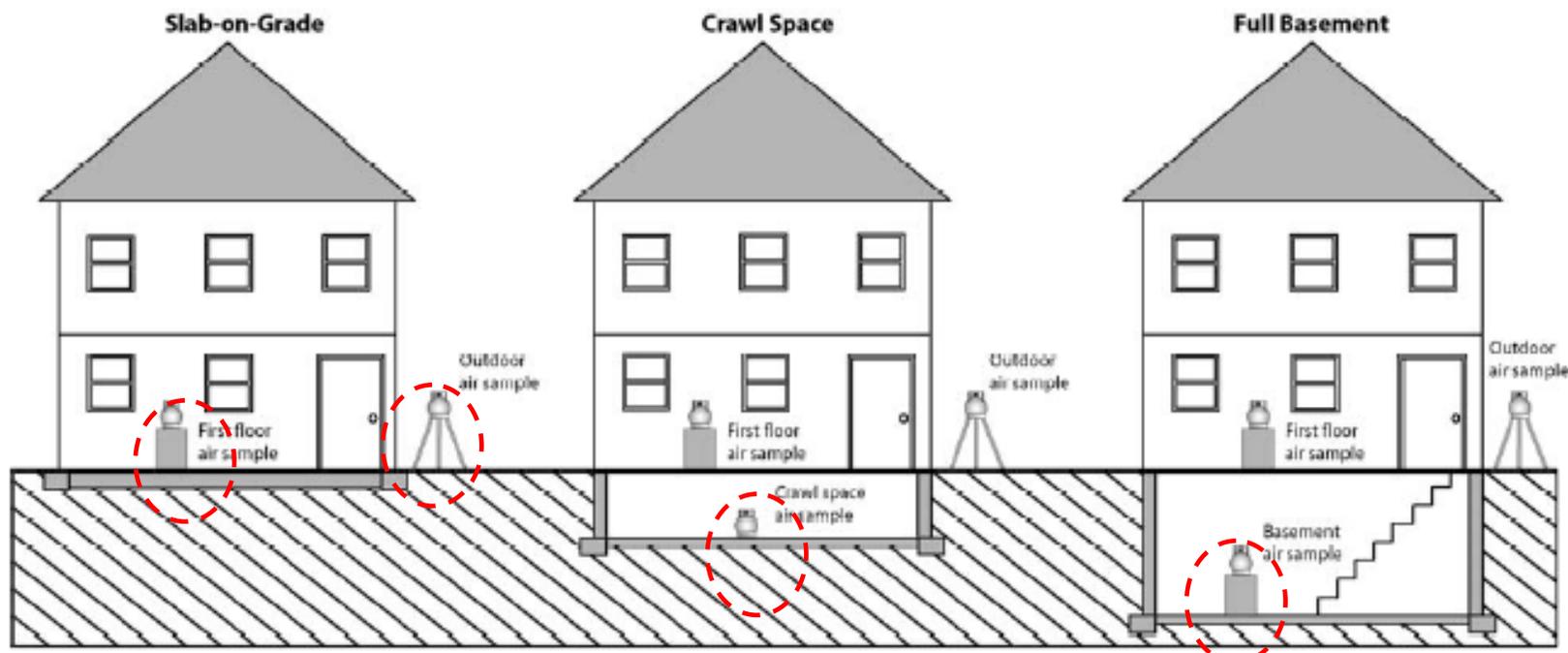


XP X 31-612

Méthodes de détection et de caractérisation des pollutions. Mesure *in situ* des COV dans les gaz du sol et du sous-sol d'un site

1997

Air ambiant : plan d'échantillonnage



Gaz de l'air ambiant : on place au moins un point de mesure à proximité immédiate

ou au niveau des actuelles ou futures cibles susceptibles d'être exposées (logements, caves des bâtiments, etc.) .

Nécessité d'effectuer un " blanc de terrain " à l'extérieur du bâtiments et/ou hors influence de la source gazeuse (sol, nappe).

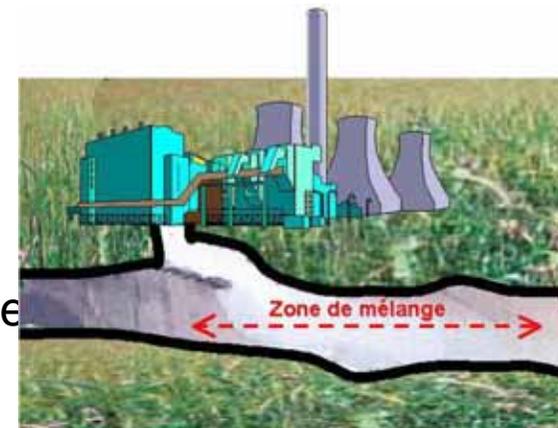
•Diagnostics: comment investiguer ? (4)

Echantillonnage des eaux de surface

- au droit du rejet du site là où les variations de la qualité des eaux sont probables ,
 - en amont des plans d'eau, en amont et aval des zones de rejet du site, des affluents, des confluents. Le prélèvement d'échantillons "témoins" en amont de la zone de rejet d'un site doit permettre l'évaluation du "bruit de fond hydrogéochimique" ,
 - au droit d'un usage existant ou potentiel ; zones de baignade, pêche, pisciculture, captage d'eau, etc.

Prélèvements d'échantillons de matériaux "intégrateurs« pour les eaux de surface:

- les sédiments déposés dans le fond,
- les matières en suspension,
- bio-indicateurs : les diatomées, macro-invertébrés benthiques ou les bryophytes



•Diagnostics: comment investiguer ? (5)

Végétaux & plantes potagères



> **Plan d'échantillonnage** – Guide pour échantillonnage des plantes potagères cultivées (ADEME, 2007) :

- Lieux d'échantillonnage, variable en fonction des objectifs de l'étude,
- Sélection des espèces végétales (légumes feuilles, légumes racines, légumes tubercules, légumes fruits)
- Sélection des individus, en fonction du nombre disponible et de leur état, conditionnement selon leur consommation,
- Soutien du laboratoire important pour opérateurs de terrain,
- Précaution sur l'intégrité des échantillons,
- Limites Inférieures de Quantification adaptées à l'objectif qualité recherché.

Diagnostics: comment investiguer ? (5) Restitution et mise en forme des données

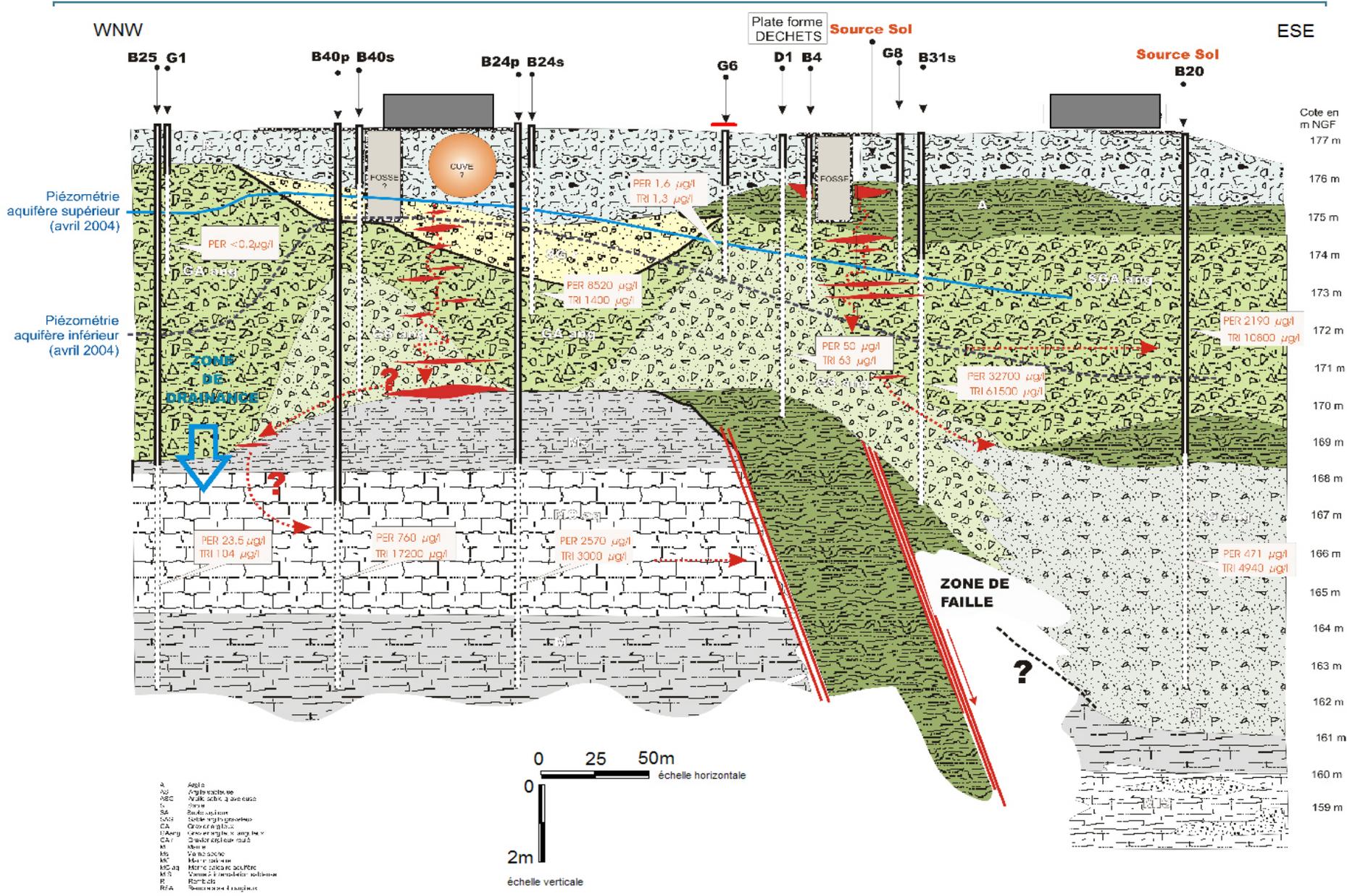
Pour les analyses et mesures

- Vérification préalable de la cohérence des résultats.
- Tableau synthétique récapitulatif des analyses .
- Y placer des niveaux de référence,
- Position des points d'accès à la nappe,
- Hydrogrammes corrélés à la pluviométrie, chroniques analytiques.

Pour les sondages et piézomètres:

Verticalement, si possible réaliser des coupes sériées en distinguant:les principales unités géologiques, les piézomètres, les partie crépinées, le(s) niveau(x) statique(s) ou dynamique(s), toute autre information pertinente (structures enterrées, etc.), les secteurs contaminés identifiés.

Horizontalement (approche cartographique), position des sondages, points d'accès à la nappe géoréférencés sur plan de masse ou fond IGN, piézométrie rapportée au référentiel NGF, distribution spatiale des teneurs et concentrations (SIG,...) éventuellement interpolée.



PIEZOMETRIE ET CARTOGRAPHIE DES CONCENTRATIONS

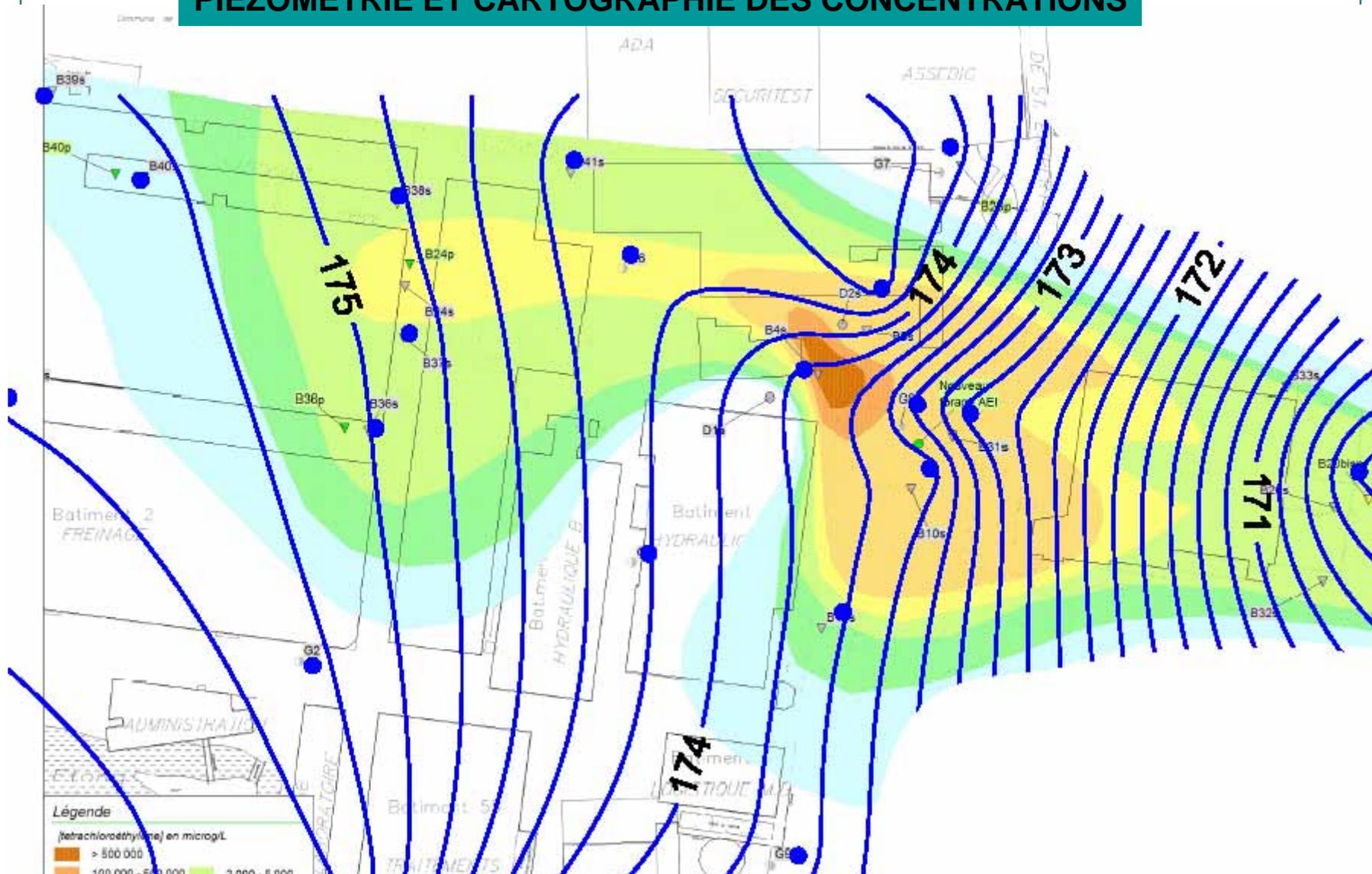
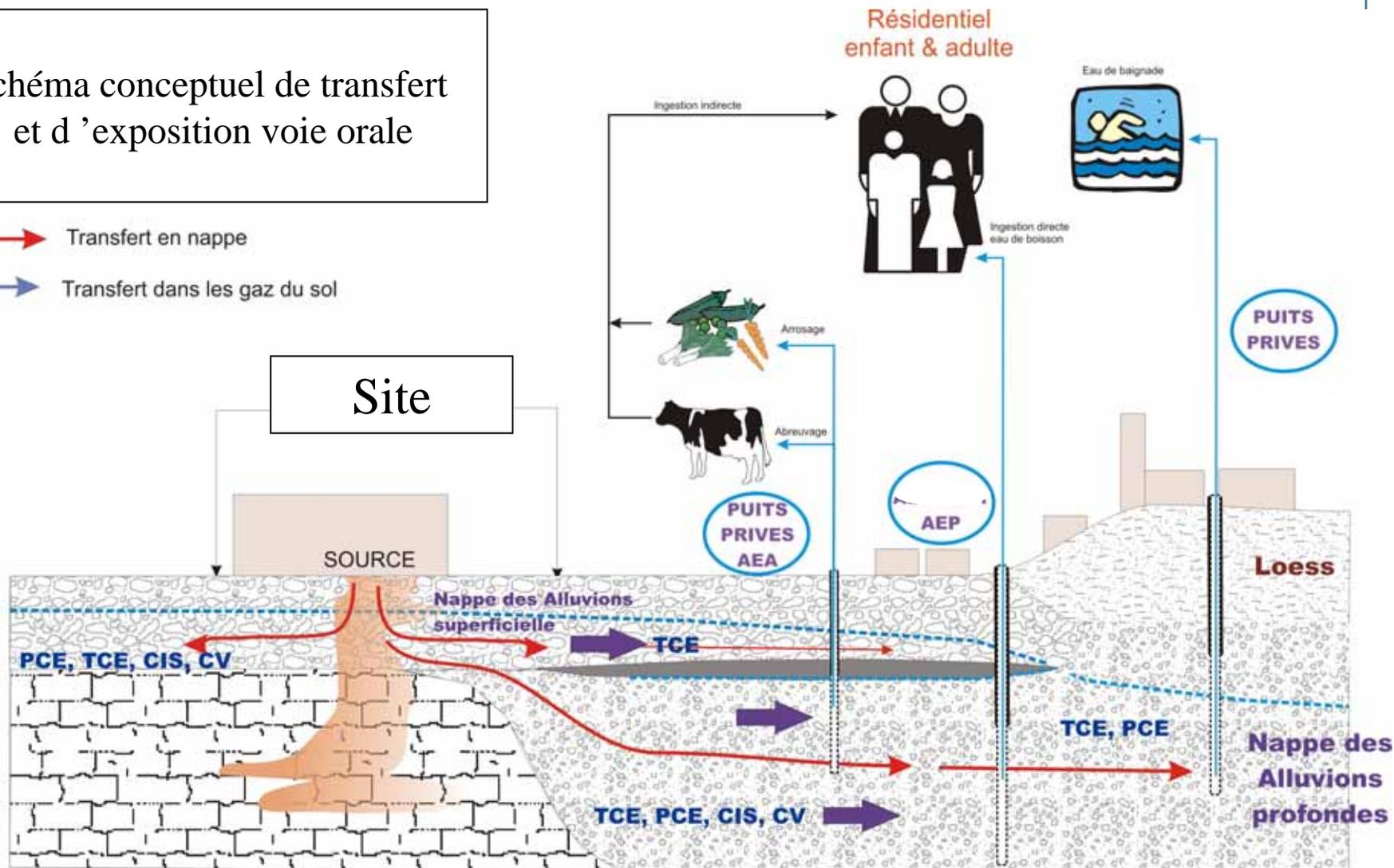


Schéma conceptuel de transfert et d'exposition voie orale

- Transfert en nappe
- Transfert dans les gaz du sol



CONCLUSION

- > Les nouveaux textes replacent désormais au premier plan:**
- > La qualité de l'expertise et du conseil, la qualité de la mesure au détriment d'une approche strictement hypercalculatoire,**
- > Les diagnostics et la caractérisation des milieux comme des outils sur lesquels s'appuient, à différents stades de la gestion d'un site/d'une situation, les choix et décisions raisonnées des parties prenantes.**

Merci pour votre attention !

