



**La gestion des anciens sites miniers
Inventaire et classification des dépôts miniers
effectués sur le territoire français**

Rafik HADADOU, Philippe BARANGER (GEODERIS)



Plan de l'exposé

- > Présentation de la méthodologie générale de l'inventaire et de la classification DDIE**

- > Présentation des différentes actions issues de l'inventaire et de la classification DDIE**
 - Exemple d'étude d'orientation
 - Exemple d'étude de type « maison sur dépôt »
 - Exemple d'étude sanitaire et environnementale

Qui fait quoi

En matière d'inventaire et de classification

> MEDDE

- Pilotage et orientations

> GEODERIS

- Pilotage de l'opération
- Elaboration et mise au point de la méthodologie
- Mise en œuvre de la méthodologie pour la réalisation de l'inventaire et de la classification.

> BRGM et INERIS

- Appui aux investigations de terrain

Pour les études post inventaire

GEODERIS fait appel au cas par cas aux compétences de l'INERIS (aspect sanitaire) et/ou du BRGM (aspect hydrogéologie, appui aux mesures de terrain in situ).

> Directive du Parlement européen et du Conseil du 15/03/2006 - Gestion des déchets de l'industrie extractive (DDIE)

- « S'applique aux déchets résultants de l'extraction, du traitement et du stockage de ressources minérales [...]. »
- Article 20 : « Les Etats membres veillent à ce qu'un inventaire des installations de gestion des déchets **fermées**, y compris les installations désaffectées, situées sur leur territoire et **ayant des incidences graves sur l'environnement** ou **risquant, à court ou moyen terme, de constituer une menace sérieuse pour la santé humaine ou pour l'environnement** soit réalisé et mis à jour régulièrement. Cet inventaire, qui doit être **mis à disposition du public**, est effectué avant le 1^{er} mai 2012 [...] »

Au niveau de la France métropolitaine ont été considérées :

> **Les exploitations « métalliques ».**

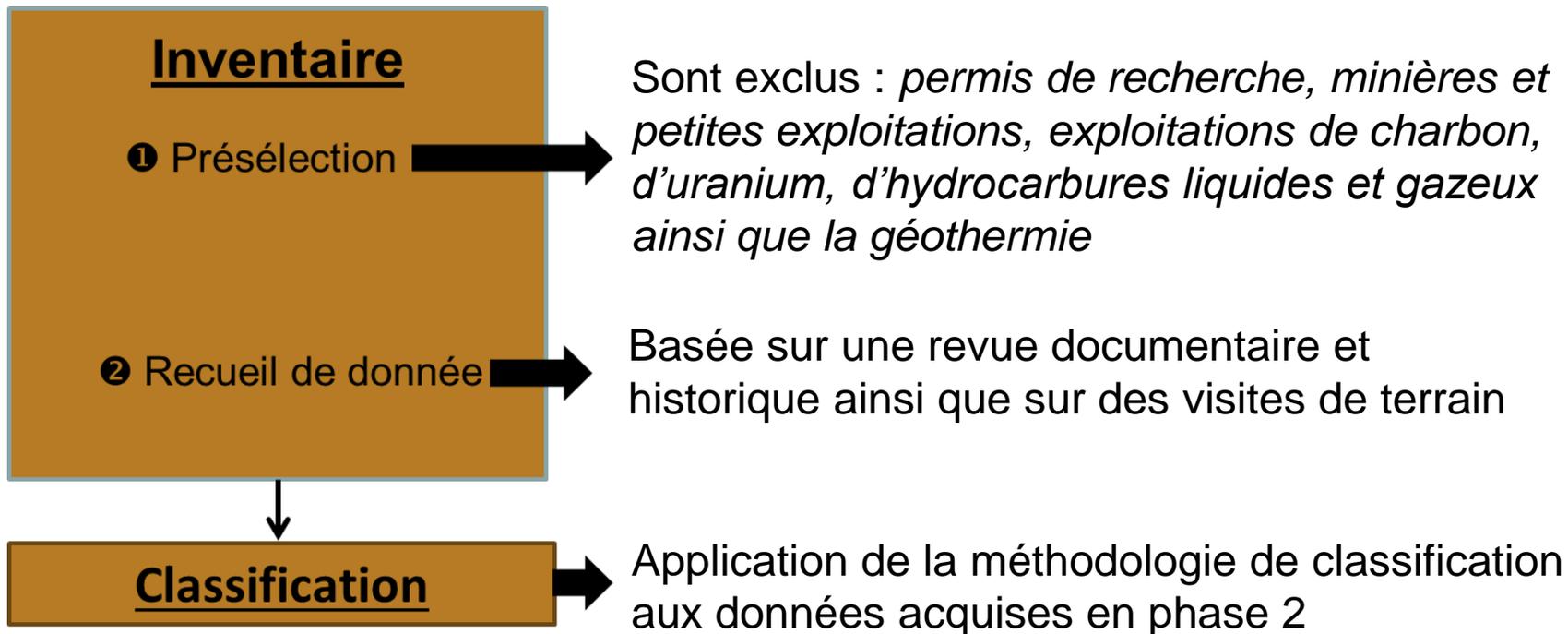
- Souvent représentées par de petites à moyennes exploitations.
- Exploitations souvent responsables de teneurs élevées en métaux dans les sols, les eaux et les sédiments.

> **Les exploitations de charbon.**

- Généralement représentées par de grandes exploitations.
- Par rapport aux exploitations « métalliques », globalement moins génératrices de teneurs élevées en métaux/métalloïdes dans les sols, les eaux et les sédiments.

La présentation ne portera ici que sur les dépôts d'exploitations métalliques dont certains peuvent être particulièrement impactants d'un point de vue sanitaire et environnemental ; la problématique liée aux dépôts des mines de charbon étant plutôt d'ordre géotechnique et/ou relative aux phénomènes de combustion.

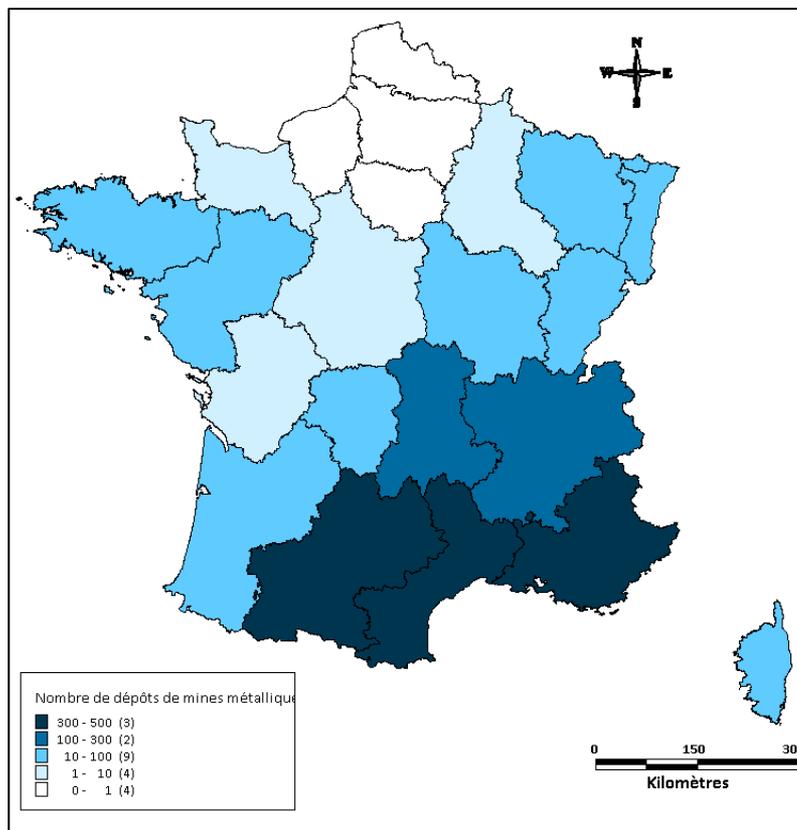
Méthodologie générale (exploitations « métalliques »)



Pour les exploitations « métalliques » : réalisation d'un inventaire et d'une classification

Pour les exploitations de charbon : réalisation d'un simple inventaire

Résultats obtenus pour la phase d'inventaire des exploitations « métalliques »

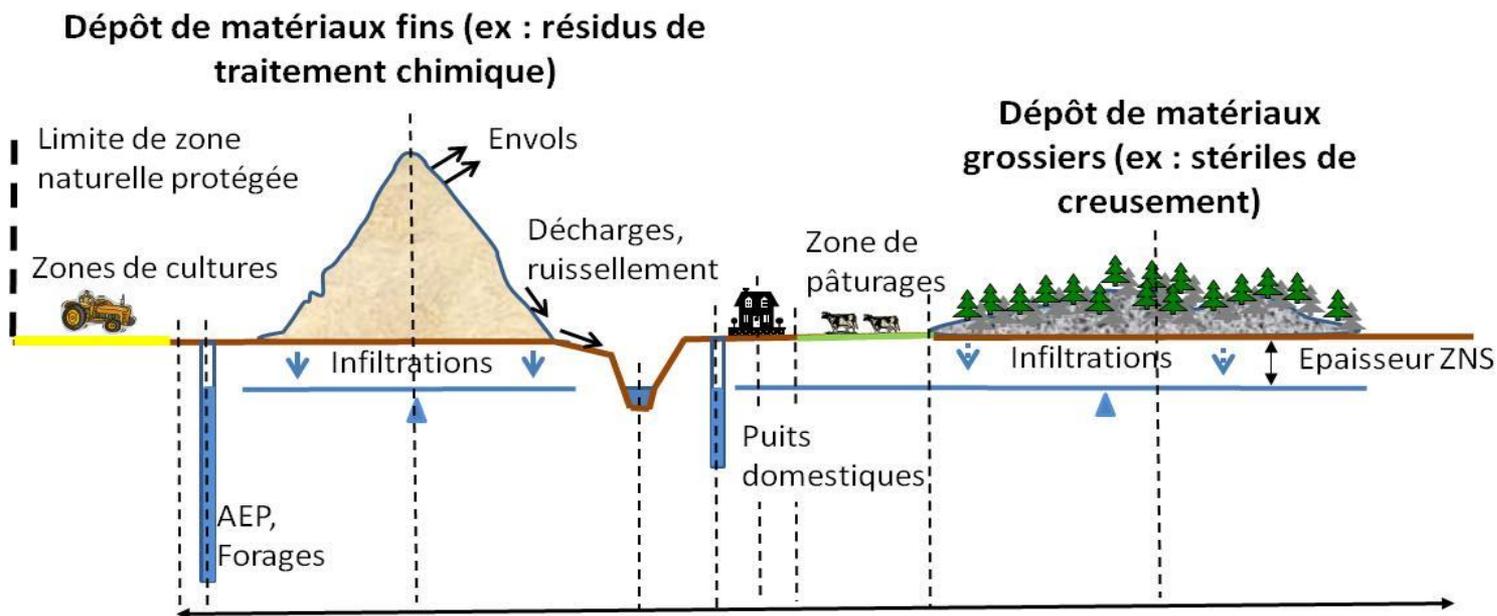


2109 dépôts recensés sur l'ensemble du territoire national.

Dépôts regroupés en secteurs :
233 secteurs identifiés sur la France métropolitaine

Méthodologie de classification

Basée sur une approche qualitative établie à partir d'un schéma conceptuel général, de tables de notation (notes : 1, 3, 5, 8, 10) et de matrices croisées

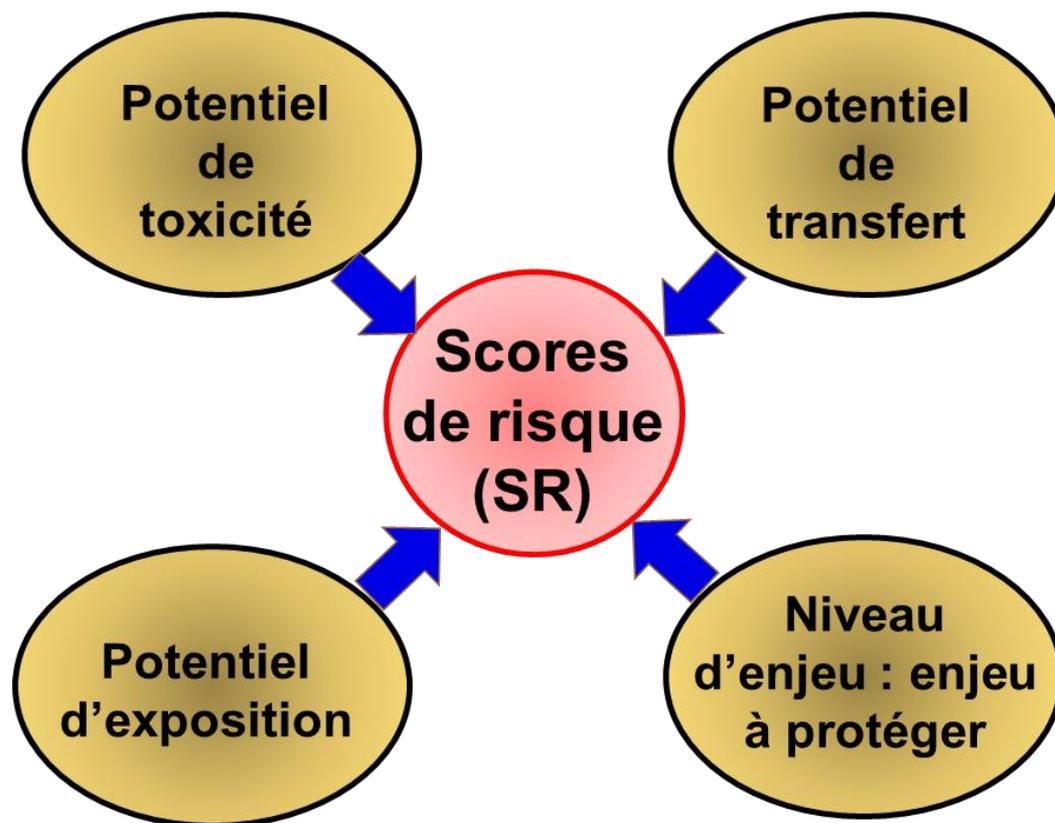


Pour chaque dépôt, une évaluation :

- d'un potentiel de toxicité
- d'un potentiel de transfert
- d'un potentiel d'exposition
- d'un niveau d'enjeu

Méthodologie de classification

- > Evaluation de scores de risque pour les enjeux considérés (populations, eaux souterraines, eaux superficielles, compartiment faune/flore)



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

- > Classification établie pour chaque secteur à partir des scores de risque (SR) relatifs aux dépôts contenus dans ces secteurs : actions mises en œuvre

Impact sanitaire et environnemental potentiel ↑	Classe	
	E	Secteur susceptible de présenter un risque significatif pour la santé humaine et l'environnement, et qui nécessite une étude sanitaire et environnementale urgente si elle n'a pas déjà été réalisée. Des mesures de gestion sont à envisager, dont l'ampleur est à affiner à l'issue de l'étude.
	D	Secteur susceptible de présenter un risque significatif pour la santé humaine et l'environnement, et qui nécessite une étude sanitaire et environnementale détaillée pour en apprécier le degré de gravité éventuel.
	C	Secteur dont un (ou plusieurs) dépôt(s) est (sont) susceptible(s) de présenter un risque pour l'environnement et la santé humaine sans pour autant constituer un risque significatif (d'après les résultats d'une étude d'orientation ou d'une étude « maison sur dépôt »). Des mesures simples de gestion pourront être envisagées telles que : <ul style="list-style-type: none"> • Un porter à connaissance sur des situations à risque (information sur des paramètres mesurés sur des eaux de consommation excédant des valeurs réglementaires par exemple), • Des préconisations du type : limitation d'accès, mise en place de panneaux d'informations, etc. • Un porter à connaissance de la carte des sources de pollution potentielle reconnues (dépôts, émergences minières, etc.), voire des résultats des analyses issues des prélèvements ou des mesures effectuées <i>in situ</i>.
	B	Secteur ne présentant pas de risque significatif pour l'environnement et la santé humaine. Une carte des sources de pollution potentielles reconnues (dépôts, émergences minières, etc.), voire des résultats des analyses issues des prélèvements ou des mesures effectuées <i>in situ</i> , pourra être réalisée.
	A	Secteur ne présentant pas de risque significatif pour l'environnement et la santé humaine. Il ne nécessite ni surveillance, ni étude particulière.

Mise en œuvre des études post DDIE

- > La directive ne définit pas d'actions ou études à engager sur les secteurs recensés dans le classement DDIE.
- > Sur les secteurs recensés en France différentes actions ou études ont toutefois été mises en œuvre.

Le classement DDIE aboutit à la réalisation de plusieurs types d'études :

- > **Etude d'orientation** : s'applique aux secteurs pour lesquels les données acquises dans le cadre de l'inventaire DDIE n'ont pas permis d'établir un classement définitif. Etude destinée à acquérir les données complémentaires nécessaires à ce classement.
- > **Etude de type « maison sur dépôt »** : s'applique aux secteurs présentant une (ou plusieurs) habitation(s) située(s) sur un dépôt minier. Etude sanitaire ciblée sur la (ou les) habitation(s) localisée(s) sur le dépôt. Etude basée sur la méthodologie « Interprétation de l'état des milieux » (IEM ; MEDD 2007).
- > **Etude sanitaire et environnementale** : s'applique aux secteurs classés en E ou en D. Etude basée sur la méthodologie IEM

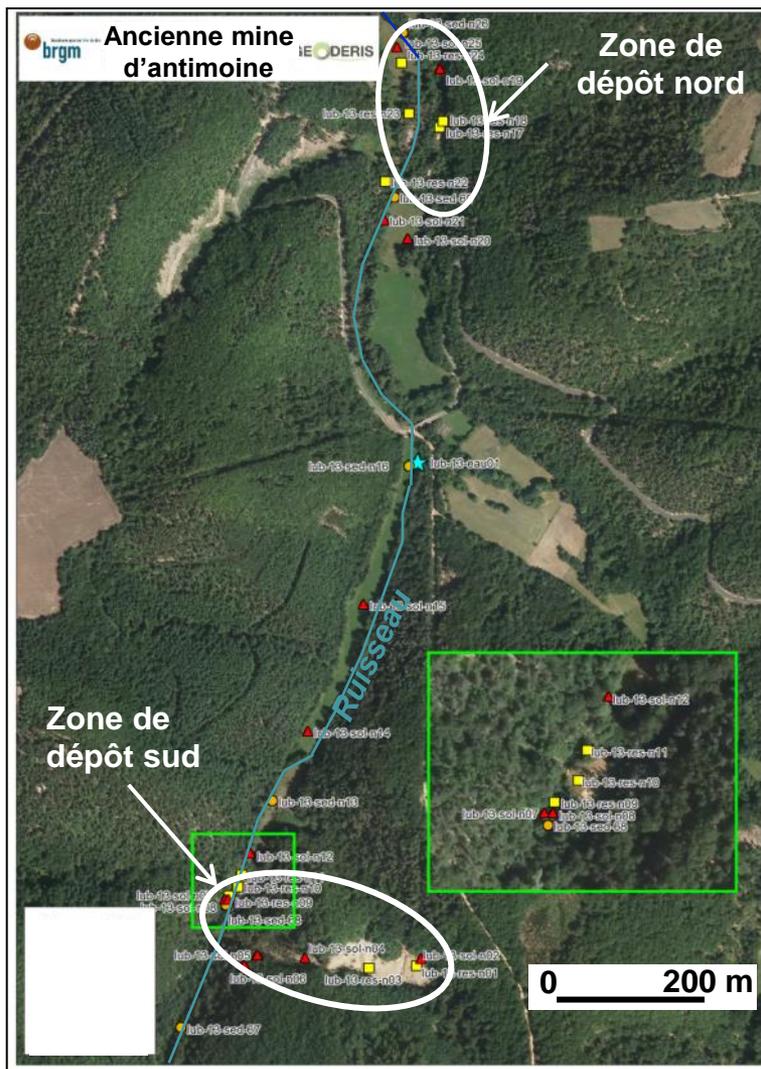
Spécificités méthodologiques de l'approche IEM liées au contexte minier :

- > Contexte d'anomalie géochimique : teneurs en éléments potentiellement polluants qui peuvent être naturellement élevées
- > Teneurs en éléments potentiellement polluants qui peuvent être très élevées à l'aplomb ou à proximité des dépôts (souvent supérieures à 10 g/kg pour des éléments tels que le plomb)
- > Sources de pollution qui peuvent être nombreuses et éparses
- > Gros volumes de résidus miniers souvent étalés sur de grandes superficies
- > Problématique des eaux souterraines : aquifères miniers souvent mal connus
- > Délimitation de la zone d'étude :
 - *Zones impactées par l'ancienne activité minière qui peuvent être très étendues, notamment en aval du site minier.*
 - *Sédiments souvent impactés sur de grandes distances en aval du site minier (dépôts de résidus non confinés et fréquemment situés en bordure de cours d'eau).*

Etude d'orientation

Exemple d'une étude réalisée sur une ancienne exploitation d'antimoine.

Etude ciblée sur deux zones de dépôt (nord et sud)



Positionnement des points de prélèvement et de mesures *in situ*

Mesures *in situ*

- ▲ Sols
- Résidus miniers
- Sédiments

Prélèvements d'eaux



- > Teneurs élevées en antimoine et en arsenic (pour la zone de dépôt sud respectivement 1,8 g/kg et 6 g/kg ; pour la zone de dépôt nord peuvent atteindre respectivement 20 g/kg et 7 g/kg).
- > Dépôts sud : mise en évidence de dépôts satellites au dépôt principal
- > Mise en évidence de départ de matériel issu des dépôts vers le cours d'eau : 3,6 g/kg de plomb et 1,7 g/kg d'antimoine mesurés dans un sédiment prélevé en aval immédiat du dépôt principal de la zone sud
- > Accessibilité au bétail sur l'un des dépôts de la zone nord

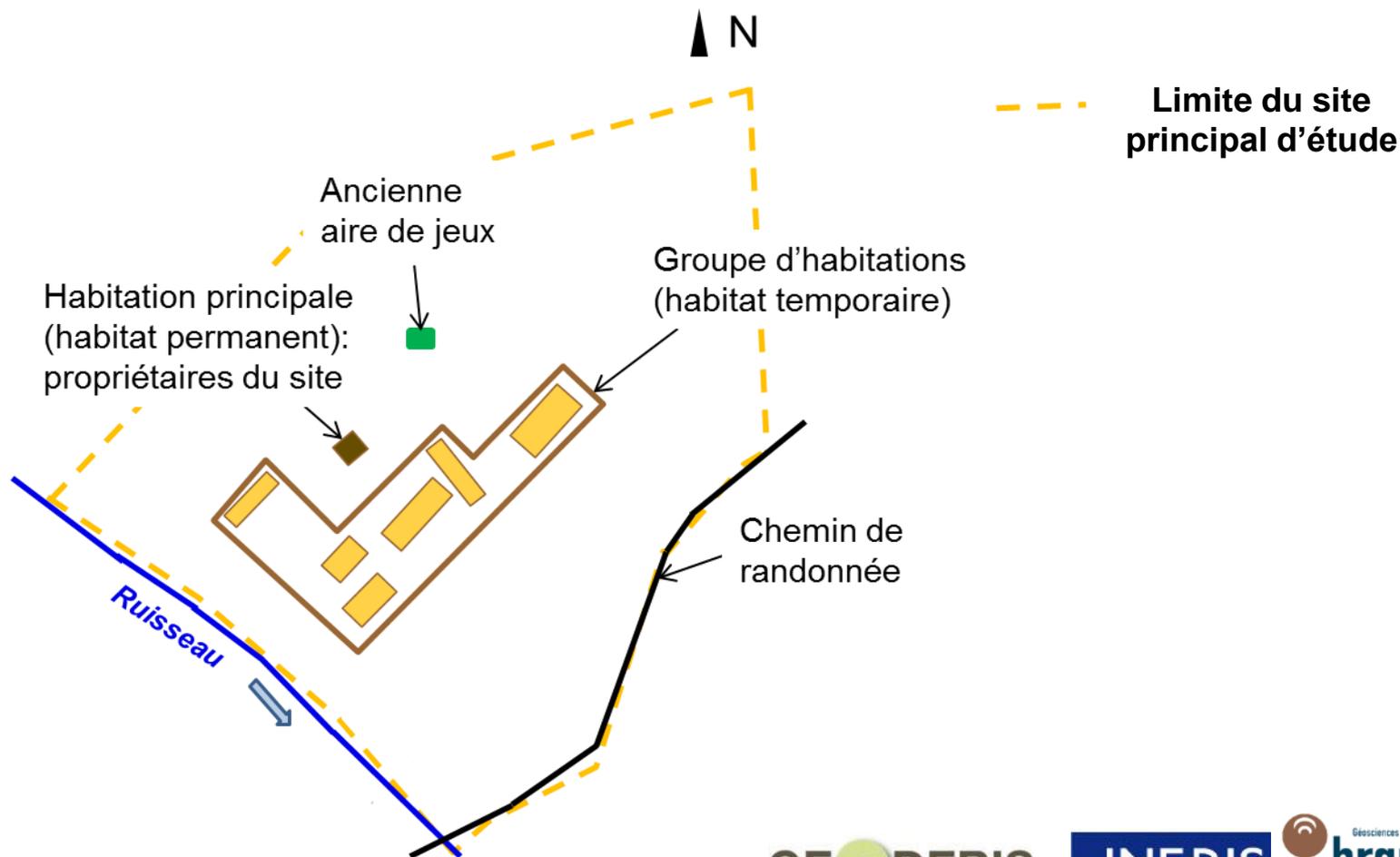
Proposition de quelques recommandations simples destinées à limiter l'impact des dépôts (entretien d'une buse canalisant le ruisseau, limiter l'accès aux dépôts, installation de clôtures).

Reclassement du secteur en classe C



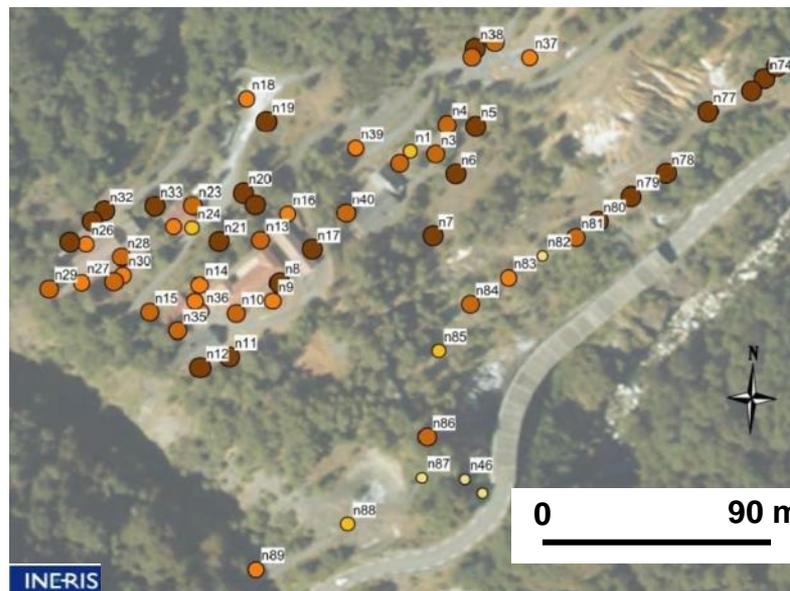
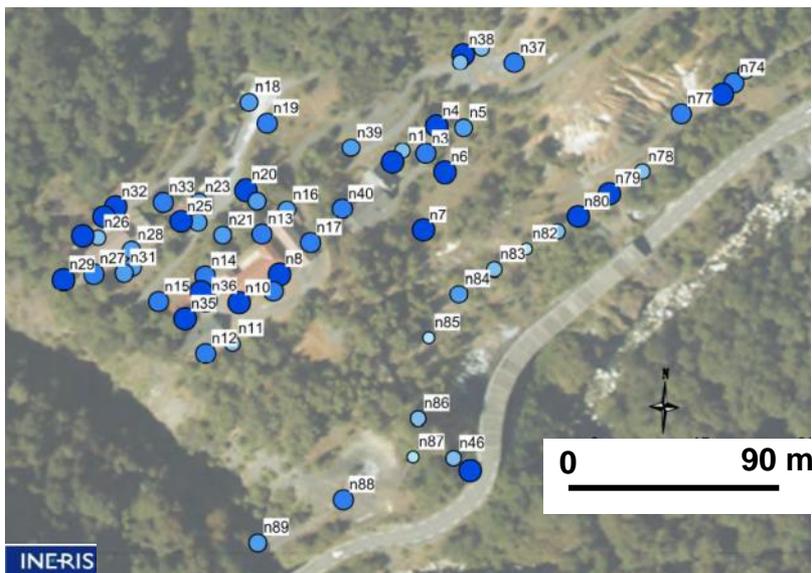
Etude « maison sur dépôt »

Exemple d'une étude réalisée dans l'emprise d'une ancienne mine de Pb/Zn. Groupe d'habitations installé sur un dépôt minier



Extrait de carte des mesures NITON[®] (teneurs en plomb et en zinc en mg/kg)

NITON_sols par Zn_NITON



NITON_sols par Pb_NITON



Par rapport aux principaux usages identifiés sur le site, il est constaté :

> Pour les « sols » (horizons de surface)

Des teneurs en métaux hétérogènes avec des anomalies ponctuellement importantes dues à la présence du dépôt (teneurs mesurées près des bâtiments : *de l'ordre de 50 g/kg pour le plomb et de 30 g/kg pour le zinc*).

> Pour les eaux souterraines

Un captage qui alimente l'ensemble du site et notamment l'habitation principale avec les caractéristiques chimiques suivantes :

- *Eau très acide (pH : 3.7)*
- *Teneurs en nickel et en cadmium (respectivement 760 µg/l et 25 µg/l) qui dépassent largement les limites de qualité pour les substances chimiques dans les eaux destinées à la consommation humaine (respectivement 20 µg/l et 5 µg/l ; annexe I de l'arrêté du 11-01-2007) : eau impropre à la consommation*

Evaluation des risques sanitaires

Prise en compte de divers scénarios (entretien du site par les propriétaires, occupation du site par des enfants, randonnées et activités de loisirs, ...).

Voies d'exposition retenues :

- Ingestion de sols
- Ingestion d'eaux

$$72 < QD_{\text{plomb}} < 291 ; 3,8 \cdot 10^{-5} < ERI_{\text{plomb}} < 1,7 \cdot 10^{-4}$$
$$5,4 \cdot 10^{-5} < ERI_{\text{arsenic}} < 4 \cdot 10^{-4}$$

Scénarios incompatibles compte tenu des fortes teneurs en plomb mesurées sur l'ensemble du site.

Etudes sanitaires et environnementales

Quelques exemples de dépôts de résidus miniers rencontrés dans le cadre des études sanitaires et environnementales déjà réalisées :

Résidus de traitement du minerai constitués de matériaux de faible granulométrie



Teneurs en plomb très élevées, pouvant atteindre jusqu'à 70 à 80 g/kg



Teneurs en plomb et arsenic très élevées, pouvant atteindre jusqu'à 40 g/kg de plomb et 1,5 g/kg d'arsenic



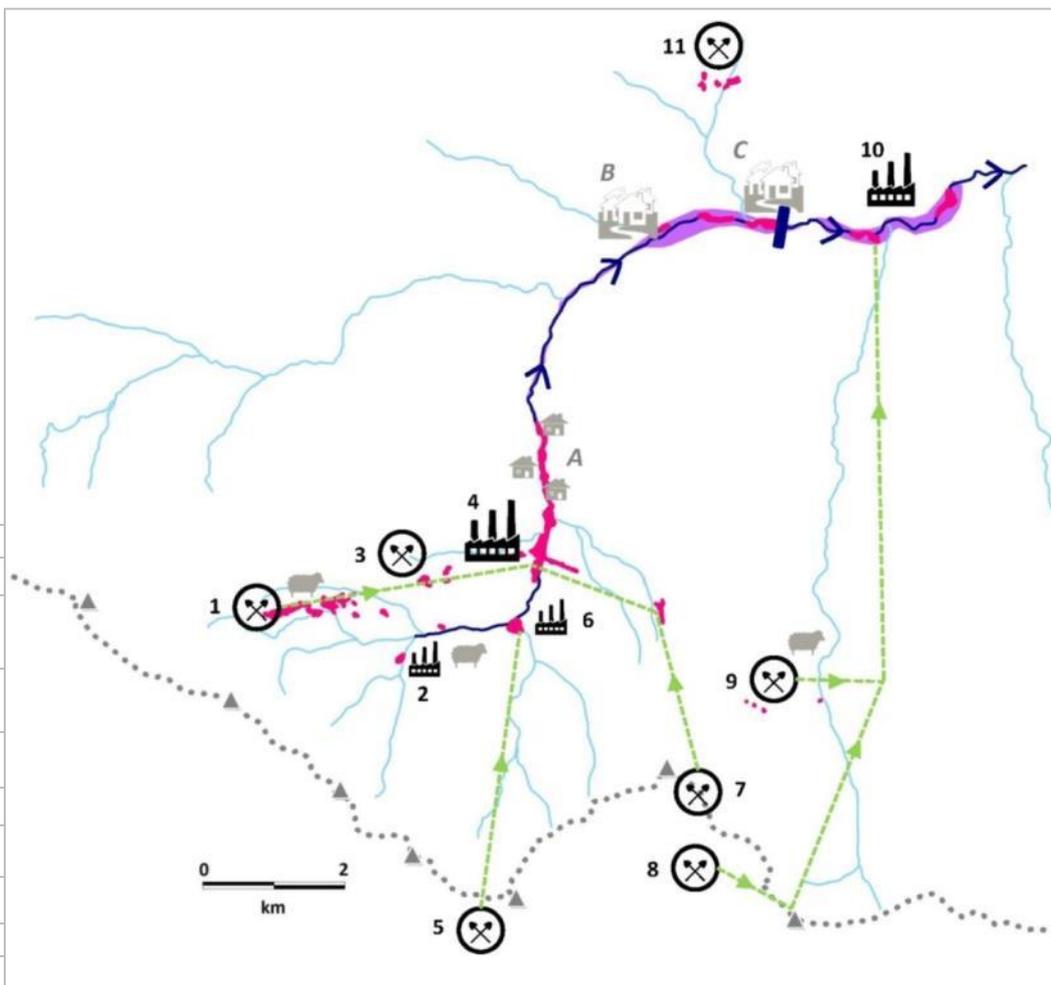
Teneurs en plomb très élevées, pouvant atteindre jusqu'à 28 g/kg

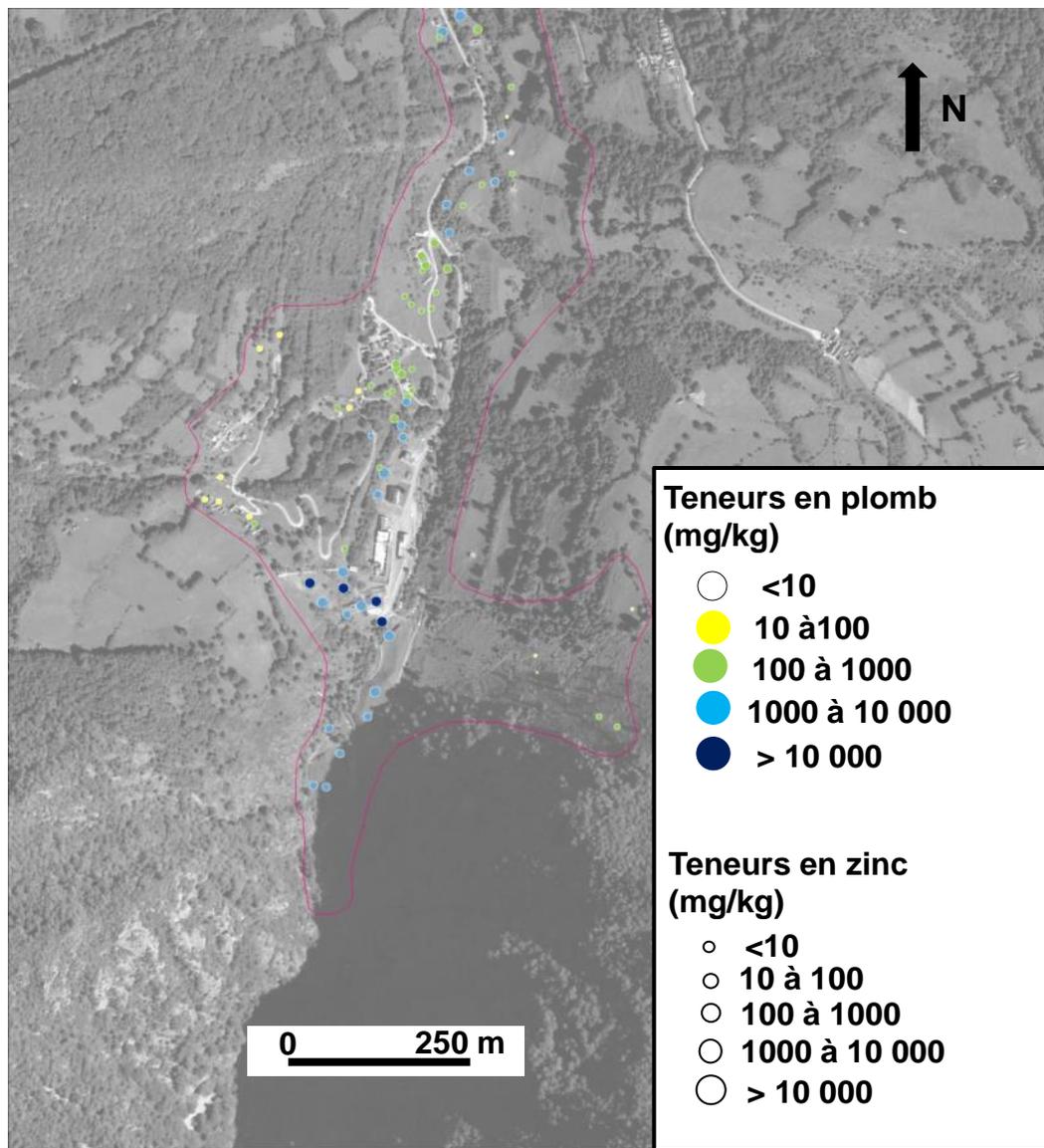
Etudes sanitaires et environnementales

Exemple d'une étude
réalisée sur une
ancienne mine de Pb/Zn

Secteur d'étude organisé en
17 zones

	Barrage
	Zone inondable
	Chaîne montagneuse et sommets
	Hameaux dispersés et habitations, installés en bordure de cours d'eau
	Principaux villages
	Principales zones de pastoralisme étudiées
	Principaux sites d'exploitation minière
	Usines de traitement du minerai :
	Principales installations de transport du minerai
	Emprise en surface des dépôts miniers ou des mélanges de sols et de résidus



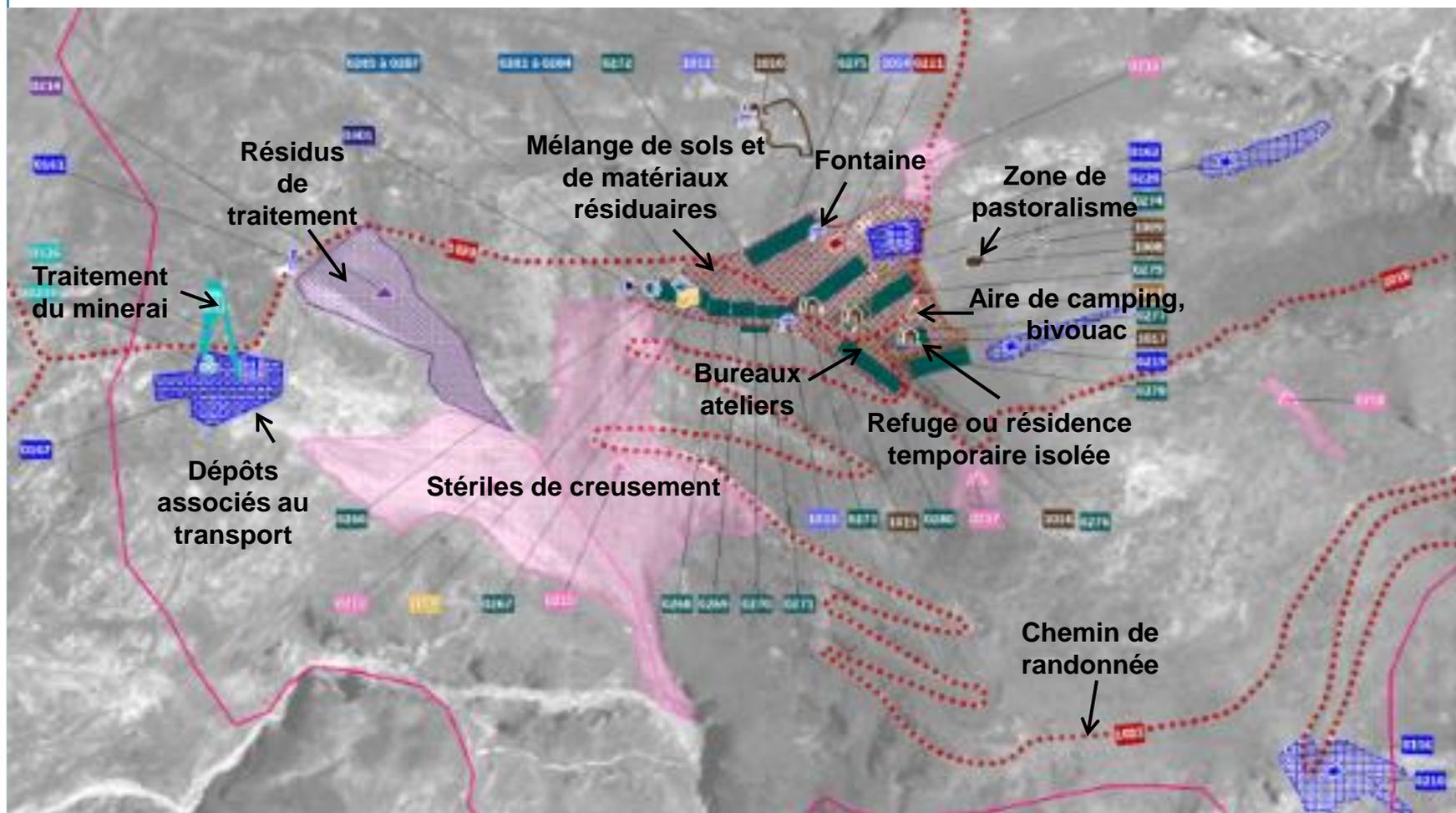


Etudes sanitaires et environnementales

Extrait de carte
relatif aux mesures
NITON[®]

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

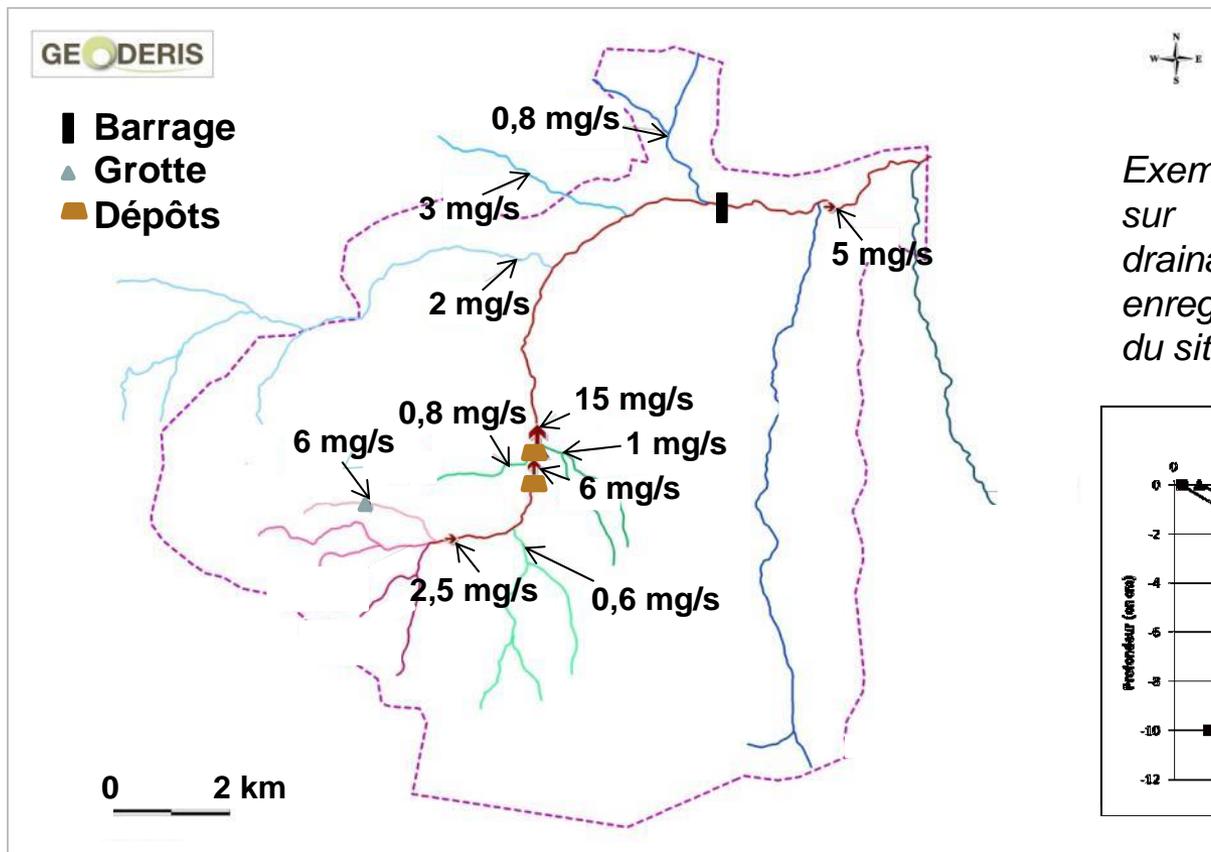
Etudes sanitaires et environnementales : exemple de carte informative



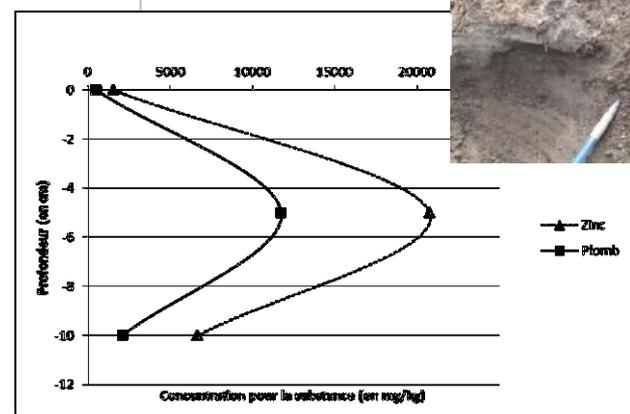
Teneurs maximales en plomb et en zinc mesurées au niveau des résidus miniers. Pb : 28 g/kg ; Zn : 53 g/kg

Etudes sanitaires et environnementales

Mise en évidence de l'impact aval de l'ancien site minier sur le réseau hydrographique superficiel et sur les sédiments



Exemple de profil de sol enregistré sur la berge du cours d'eau drainant les dépôts miniers (profil enregistré à environ 5 km en aval du site minier)



Evolution des flux de zinc dissout dans le bassin versant étudié

Evaluation des risques sanitaires

Prise en compte de divers scénarios (occupation de résidence permanente ou temporaire par des enfants, activité de jardinage, activités de loisirs, randonnées et bivouac, ...).

Voies d'exposition retenues :

- Ingestion de sols
- Ingestion de végétaux
- Ingestion d'eaux

Sur l'ensemble des scénarios retenus (tous scénarios confondus), 43 % sont compatibles et 57 % incompatibles.

Deux remarques générales sur les conclusions relatives aux calculs de risques sanitaires pour les études déjà réalisées

> Pour les études sanitaires et environnementales

- Pour la voie d'exposition « ingestion de sol », les teneurs élevées à très élevées en éléments potentiellement polluants dans les horizons de surface font qu'à l'aplomb ou à proximité immédiate des dépôts, l'état des milieux est la plupart du temps incompatible avec les usages.
- Cette incompatibilité reste toutefois beaucoup moins fréquente au niveau des zones plus éloignées des dépôts même si ces dernières peuvent rester sous influence minière.

> Pour les études « maison sur dépôt »

- Pour la voie d'exposition « ingestion de sol », diverses situations ont pu être observées. Selon les sites considérés et donc les teneurs en éléments polluants mesurées dans les horizons de surface, à l'aplomb ou à proximité des dépôts, existence à la fois de scénarios compatibles ou incompatibles.

Principaux types de mesures de gestion proposés dans le cadre des études déjà réalisées (1)

Mesures proportionnées aux enjeux.

Ampleur des mesures de gestion ↓

Mesure de gestion

Information des pouvoirs publics et de la population sur la présence de zones contaminées ou d'eaux impropres à la consommation.

Rappel des mesures simples et de bon sens à adopter pour limiter l'exposition (lavage soigné des mains après des activités en extérieur, éviter l'accumulation de poussières sur le sol des habitations, lavage des végétaux du potager et consommation variée de végétaux, etc.).

Installation de signalisation indiquant la présence de sols contaminés ou d'une eau impropre à la consommation humaine.

Porté à connaissance d'une carte informative (résultats des mesures effectuées sur les sols, les eaux et les sédiments) ; conservation de la mémoire des sources potentielles de pollution.

Restriction d'usage portant sur les eaux souterraines

Principaux types de mesures de gestion proposés dans le cadre des études déjà réalisées (2)

Ampleur des mesures de gestion

Mesure de gestion

Entretien de réseaux drainants ou de zones d'écoulement.

Installation de clôtures empêchant l'accès aux zones contaminées.

Création d'aires de jeux dédiées*.

Excavation de terre, remplacement ou recouvrement de sols contaminés par de la terre saine (mesures ciblées sur les zones les plus contaminées et étudiées au cas par cas)*.

Réaménagement général du site (éviter les dépôts de matériel particulaire dans les cours d'eau et les envols de poussières, mise en sécurité géotechnique des dépôts, ...). Dans certains cas, mesures qui peuvent avoisiner le million d'euros.

Dans le cadre d'une approche coût-bénéfice, des restrictions d'usage ou de modification de pratique (par ex. pratiques culturelles) pourront dans certains cas être préférées.