



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL  
INTERPRETATION DE L'ETAT DES MILIEUX (IEM)**

**ANCIENS SITES MINIERES SUR LES COMMUNES DE  
SAINT-FELIX-DE-PALLIERES ET THOIRAS (30)**

**RAPPORT PROVISOIRE PHASES 2 ET 3  
CARACTERISATION DE L'ETAT DES MILIEUX  
IEM**

**Rapport  
AIX12085IR-VP2**

## Présentation de la société ICF Environnement

ICF Environnement est une société d'ingénierie et de conseil en environnement française, indépendante, créée en 1991 (Directeur Général Monsieur Gérard Marceau), et filiale du groupe IRH Environnement dont le siège social est situé au 14-30 rue Alexandre, 92635 Gennevilliers Cedex.

Acteur historique et majeur de l'environnement, spécialiste des sites et des sols pollués ainsi que des ressources en eau, ICF Environnement développe depuis plus de 20 ans son savoir-faire de conseil et de maîtrise du risque environnemental.

Plus de 100 spécialistes des sciences de la terre, de la vie et de l'ingénieur, apportent aujourd'hui leur expertise aux industriels, aux professionnels de l'immobilier et aux collectivités.

ICF Environnement s'appuie sur son réseau de 11 agences réparties sur l'ensemble du territoire national pour vous proposer toute une gamme de services à l'environnement :

- Conseil et expertise pour la maîtrise des risques environnementaux associés à vos projets immobiliers et industriels ;
- Etudes de sites nécessitant une expertise fiable dans le cadre de cession, acquisition, réaménagement de sites ayant supporté des activités potentiellement polluantes ;
- Mise en œuvre des techniques de dépollution les plus adaptées en fonction du contexte d'intervention pour le traitement des pollutions accidentelles ou chroniques, depuis la conception jusqu'aux travaux.

ICF Environnement est certifiée ISO 9001:2008, MASE et selon les normes NF X 31-620-1 à 4 de juin 2011 relatives aux prestations de services des sites et sols pollués pour les domaines A (études, assistance et contrôle), B (ingénierie des travaux de réhabilitation) et C (exécution des travaux de réhabilitation).

Système de Management de  
la Qualité certifié ISO 9001



FQA 9910144/A  
Validité 30/09/15

Entreprise certifiée  
MASE



Validité 23/10/15

Certification de service des prestataires  
dans le domaine des sites et sols pollués



SITES ET SOLS POLLUÉS  
NF X 31-620-2  
ÉTUDES, ASSISTANCE  
ET CONTRÔLE

SITES ET SOLS POLLUÉS  
NF X 31-620-3  
INGÉNIERIE DES TRAVAUX  
DE RÉHABILITATION

SITES ET SOLS POLLUÉS  
NF X 31-620-4  
EXÉCUTION DES TRAVAUX  
DE RÉHABILITATION

[www.lne.fr](http://www.lne.fr)  
Validité 20/03/16



## FICHE SIGNALÉTIQUE

### CLIENT :

- Raison Sociale : **BRGM**  
DAT / GIR ME / BRGM LRO  
1039 rue de Pinville  
87 069 MONTPELLIER CEDEX 3
- Coordonnées du siège social :
- Interlocuteurs : Nom Mlle Ingrid GIRARDEAU / M. Denis NGUYEN  
Téléphone 02.38.64.32.35 / 04.67.15.79.67  
Mail [i.girardeau@brgm.fr](mailto:i.girardeau@brgm.fr) / [d.nguyen@brgm.fr](mailto:d.nguyen@brgm.fr)

### SITE D'INTERVENTION :

- Raison Sociale : -
- Coordonnées : Anciennes mines sur les communes de Saint-Félix-de-Pallières et Thoiras
- Interlocuteurs : Nom Mlle Ingrid GIRARDEAU / M. Denis NGUYEN  
Téléphone 02.38.64.32.35 / 04.67.15.79.67  
Mail [i.girardeau@brgm.fr](mailto:i.girardeau@brgm.fr) / [d.nguyen@brgm.fr](mailto:d.nguyen@brgm.fr)

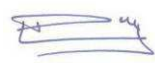


### DOCUMENT :

- Type : Proposition / Affaire Affaire AIX12085IR  
Selon offre AIX12031IR94RCO Rev.0
- Code prestation ICF Environnement : A320 : Analyse des enjeux sanitaires
- Code prestation selon la norme NFX-31-620-2 du 23/06/2011 **Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) intégrant :**  
A 100 : Visite de site  
A 110 : Etude historique, documentaire et mémorielle  
A 120 : Etude de vulnérabilité des milieux  
A200 : Prélèvements, mesures observations et/ou analyses sur les sols  
A210 : Prélèvements, mesures observations et/ou analyses sur les eaux souterraines  
A220 : Prélèvements, mesures observations et/ou analyses sur les eaux superficielles et/ou sédiments  
A240 : Prélèvements, mesures observations et/ou analyses sur l'air ambiant  
A250 : Prélèvements, mesures observations et/ou analyses sur les denrées alimentaires  
A320 : Analyse des enjeux sanitaires

### REVISION

révision	Date	Observations / Modifications
VP1	11/12/2012	Document initial
VP2	31/05/2013	Intégration des résultats sur le milieu miel conformément au mail du 03/1/2013 d'ICF au BRGM et intégration des commentaires du BRGM envoyées par email le 16/04/2013

### SIGNATAIRES

	Nom	Fonction	Visa
Rédacteur	<b>Elodie DAMON</b>	Ingénieur de projet Région Sud-est	
Rédacteur/Vérificateur	<b>Rozenn CORRE</b>	Responsable Adjoint Région Sud-est	
Vérificateur/ Approbateur	<b>Yves GUELORGET</b>	Responsable Région Sud-est	

## SOMMAIRE

<b>PARTIE 1 : CONTEXTE, ZONE ETUDE ET METHODOLOGIE</b>	<b>1</b>
<b>I. CONTEXTE ET LOCALISATION ZONE D'ETUDE</b>	<b>1</b>
<b>II. RAPPEL METHODOLOGIE</b>	<b>4</b>
II.1. REFERENTIELS METHODOLOGIQUES	4
II.2. SYNTHESE DES DEMARCHES DE GESTION DEFINIES	5
II.3. METHODOLOGIE MISE EN ŒUVRE SUR LA ZONE ETUDIEE	6
<b>PARTIE 2 : CARACTERISATION DES MILIEUX</b>	<b>7</b>
<b>III. RAPPEL – STRATEGIE D'INVESTIGATIONS</b>	<b>7</b>
<b>IV. CARACTERISATION DES SOLS SUPERFICIELS</b>	<b>10</b>
IV.1. ECHANTILLONNAGE	10
IV.2. RESULTATS DES MESURES ET ANALYSES	12
IV.3. OBSERVATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS SUR LES SOLS SUPERFICIELS	13
<b>V. CARACTERISATION DES DENREES ALIMENTAIRES</b>	<b>34</b>
V.1. RAPPEL - VOIES DE CONTAMINATION POTENTIELLE DES VEGETAUX ET AUTRES DENREES ALIMENTAIRES	34
V.2. ECHANTILLONNAGE DES DENREES ALIMENTAIRES	35
V.3. RESULTATS DES ANALYSES SUR LES DENREES	39
V.4. INTERPRETATION DES RESULTATS SUR LES DENREES ALIMENTAIRES	39
<b>VI. CARACTERISATION DES EAUX AUX POINTS D'USAGE</b>	<b>46</b>
VI.1. ECHANTILLONNAGE	46
VI.2. RESULTATS ANALYTIQUES SUR LES EAUX AUX POINTS D'USAGES	49
VI.3. INTERPRETATION DES RESULTATS SUR LES EAUX AUX POINTS D'USAGE	49
<b>VII. CARACTERISATION DES EAUX SUPERFICIELLES ET SEDIMENTS (PAS D'USAGE RECENSE)</b>	<b>51</b>
VII.1. ECHANTILLONNAGE	51
VII.2. RESULTATS SUR LES EAUX SUPERFICIELLES/SEDIMENTS	53
VII.3. INTERPRETATION DES RESULTATS ANALYTIQUES EAUX SUPERFICIELLES/SEDIMENTS	53
<b>VIII. INVESTIGATIONS MENEES SUR LES RE ENVOLS DE POUSSIERES ET L'AIR AMBIANT</b>	<b>54</b>
VIII.1. ECHANTILLONNAGE	54
VIII.2. RESULTATS DES ANALYSES SUR LE MILIEU AIR	57
VIII.3. INTERPRETATION DES RESULTATS SUR LE MILIEU AIR	60
<b>PARTIE 3 : INTERPRETATION DE L'ETAT DES MILIEUX</b>	<b>61</b>
<b>IX. RAPPELS ET GENERALITES SUR L'IEM</b>	<b>61</b>
<b>X. RECENSEMENT DES USAGES ET SYNTHESE DES INVESTIGATIONS</b>	<b>61</b>
X.1. RAPPEL SUR LE RECENSEMENT DES USAGES	61
X.2. SYNTHESE SUR LA QUALITE DES MILIEUX	63
<b>XI. SCHEMA CONCEPTUEL</b>	<b>65</b>
<b>XII. INTERPRETATION DE L'ETAT DES MILIEUX</b>	<b>68</b>

XII.1.	IEM MILIEU SOLS .....	68
XII.2.	IEM MILIEU EAU.....	79
XII.3.	IEM MILIEU AIR.....	80
XII.4.	IEM MILIEUX DENREES ALIMENTAIRES .....	82
XII.5.	DISCUSSION SUR LES RESULTATS DE L'IEM .....	88
<b>XIII.</b>	<b>RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>98</b>
XIII.1.	DELIMITATION DES ZONES D'IMPACT .....	98
XIII.2.	INVESTIGATIONS APPROFONDIES .....	99
XIII.3.	MESURES DE GESTION SIMPLES .....	99
XIII.4.	SERVITUDES ET RESTRICTIONS D'USAGE.....	101
<b>PARTIE 4 :</b>	<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>102</b>
<b>XIV.</b>	<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>102</b>
<b>XV.</b>	<b>LIMITATIONS DU RAPPORT.....</b>	<b>105</b>

## FIGURES

<b>Figure 1 :</b>	<b>Situation du secteur d'étude (Source : géoportail) .....</b>	<b>1</b>
<b>Figure 2 :</b>	<b>Localisation périmètre d'étude et sectorisation sur un extrait de photographie aérienne récente .....</b>	<b>3</b>
<b>Figure 3 :</b>	<b>Méthodologie retenue pour cette étude .....</b>	<b>6</b>
<b>Figure 5 :</b>	<b>plan de localisation des mesures de sols de « l'environnement témoin » .....</b>	<b>15</b>
<b>Figure 8 :</b>	<b>Graphique de comparaison des distributions pour le plomb.....</b>	<b>18</b>
<b>Figure 9 :</b>	<b>Graphique de comparaison des distributions pour l'arsenic .....</b>	<b>19</b>
<b>Figure 10 :</b>	<b>Graphique de comparaison des distributions pour le zinc.....</b>	<b>20</b>
<b>Figure 11 :</b>	<b>Graphique de comparaison des distributions pour le manganèse .....</b>	<b>21</b>
<b>Figure 12 :</b>	<b>Graphique de comparaison des distributions pour le fer .....</b>	<b>22</b>
<b>Figure 13 :</b>	<b>Graphique de comparaison des distributions pour l'antimoine .....</b>	<b>23</b>
<b>Figure 14 :</b>	<b>Graphique de comparaison des distributions pour le cadmium .....</b>	<b>24</b>
<b>Figure 12 :</b>	<b>Carte de localisation des analyses en cyanures totaux Secteur 3.....</b>	<b>31</b>
<b>Figure 13 :</b>	<b>Carte de localisation des analyses de granulométrie Secteurs 1, 3 et 5.....</b>	<b>32</b>
<b>Figure 14 :</b>	<b>Graphique de comparaison granulométrie / teneurs dans les sols obtenues à l'XRP .....</b>	<b>33</b>
<b>Figure 15 :</b>	<b>Voies de contamination potentielle des denrées alimentaires .....</b>	<b>34</b>
<b>Figure 16 :</b>	<b>Répartition des denrées alimentaires échantillonnées .....</b>	<b>36</b>
<b>Figure 17:</b>	<b>localisation des échantillons de denrées alimentaires .....</b>	<b>37</b>
<b>Figure 18 –</b>	<b>Relation entre les teneurs en plomb sols superficiels / végétaux et fruits issues des valeurs labo (échelles logarithmiques) .....</b>	<b>43</b>
<b>Figure 19 –</b>	<b>Relation entre les teneurs en plomb sols superficiels / œufs ([C] moyenne (mesures à l'XRPF sur la parcelle) ou valeurs labo / ([C] 'échantillon).....</b>	<b>44</b>
<b>Figure 20 :</b>	<b>Ouvrages d'eaux aux points d'usages et usage associé le plus sensible.....</b>	<b>48</b>
<b>Figure 21 :</b>	<b>localisation du programme d'échantillonnage des eaux superficielles et sédiments .....</b>	<b>52</b>
<b>Figure 22 :</b>	<b>Localisation des points de prélèvement d'air extérieur et intérieur.....</b>	<b>55</b>
<b>Figure 23 :</b>	<b>Vitesse des vents le 23/10/2012 (station de Cognac) .....</b>	<b>57</b>
<b>Figure 24 :</b>	<b>Direction des vents le 23/10/2012 (station de Cognac) .....</b>	<b>58</b>
<b>Figure 25 :</b>	<b>Résultats d'analyses sur le prélèvement d'air intérieur.....</b>	<b>59</b>



Figure 26 : Localisation périmètre d'étude et sectorisation sur un extrait de photographie aérienne récente .....	62
Figure 27 : Elaboration du schéma conceptuel du secteur 1 (Mine Joseph et usages en aval du ruisseau de Paleyrolle).....	66
Figure 28 : Elaboration du schéma conceptuel des secteurs 2 à 5.....	67
Figure 29 – Grille IEM – Ingestion des sols pour les résidents .....	73
Figure 30 – Grille IEM – Ingestion des sols pour les promeneurs.....	75
Figure 31 – Grille IEM – Inhalation air intérieur pour les résidents .....	81
Figure 32 - Acceptabilité du risque – Ingestion des végétaux.....	86
Figure 33 - Acceptabilité du risque – Ingestion des œufs .....	86
Figure 34 - Acceptabilité du risque – Ingestion du miel.....	87
Figure 35 - Facteurs régissant la biodisponibilité du Pb : taille, spéciation et matrice (Ruby et al.) .....	89
Figure 36 - Valeur de biodisponibilité en fonction de la spéciation pour le plomb, selon la.....	90
Figure 37 - Coefficient de corrélation de Pearson entre la spéciation du plomb et sa bioaccessibilité dans les sols étudiés (les valeurs en gras indiquent une corrélation statistiquement significative).....	90
Figure 38 - Facteurs régissant la biodisponibilité de l'arsenic : taille, spéciation et matrice (Ruby et al.) .....	91
Figure 39 - Valeur de biodisponibilité en fonction de la spéciation pour l'arsenic, selon la classification semi-quantitative de l'US EPA .....	92
Figure 40 : Comparaison des niveaux de risque entre l'environnement témoin et les secteurs 2 et 3 .....	96

## TABLEAUX

Tableau 1 : Stratégie de caractérisation des milieux vis-à-vis du principe source-transfert-cible .....	8
Tableau 2 : Programme analytique de caractérisation des milieux .....	9
Tableau 3 : Limites de détection de l'appareil à fluorescence X .....	11
Tableau 4 : Nature des terrains rencontrés par secteur .....	13
Tableau 5 : Comparaison des valeurs de fond régionales et locales.....	16
Tableau 6 : Tableau de données statistiques par secteur pour As, Pb, Zn, Cd, Sb, Fe et Mn...	17
Tableau 7 : Programme d'échantillonnage des denrées alimentaires hors miel .....	38
Tableau 8 : description des points de prélèvements d'air.....	56
Tableau 9 : Résultats d'analyses sur les prélèvements d'air extérieur.....	59
Tableau 10 : Paramètres retenus pour les scénarios d'ingestion de sol – Résidents et promeneurs .....	69
Tableau 11 : teneurs retenues dans les sols superficiels pour la réalisation de l'IEM .....	72
Tableau 12 : Paramètres retenus pour les scénarios ingestion de végétaux.....	83
Tableau 13 : Teneurs maximales retenues en métaux dans les légumes et œufs pour le calcul de risque par l'outil IEM.....	85
Tableau 14 : Comparaison des résultats de risques sanitaires entre chaque scénario (sécuritaire et moyen) pour un secteur donné et des teneurs moyennes .....	94
Tableau 15 : Teneurs seuils en plomb et arsenic pour chaque classe de niveaux de risque ...	95
Tableau 16 : Pourcentage de valeurs mesurées dans les sols superficiels pour chaque classe de niveaux de risque et pour chaque secteur et l'environnement témoin.....	95

## ANNEXES

- Annexe 1 : *Synthèse cartographique du programme de caractérisation*
- Annexe 2 : *Tableau de valeurs de référence et bases de données utilisées dans le cadre de cette étude*
- Annexe 3 : *Localisation des points de mesures à l'XRFP*
- Annexe 4 : *Localisation des points de prélèvement de sols superficiels pour analyse au laboratoire*
- Annexe 5 : *Graphique de corrélation XRFP / laboratoire sur l'ensemble des trois zones*
- Annexe 6 : *Synthèse des résultats d'analyses pour les sols superficiels à l'XRPF avec coordonnées GPS et analysés en laboratoire*
- Annexe 7 : *Bordereaux d'analyses du laboratoire sur les sols superficiels*
- Annexe 8 : *Cartes de profils des teneurs en métaux (Pb, As, Zn) dans les sols superficiels de l'ensemble des cinq secteurs*
- Annexe 9 : *Fiches de prélèvements des denrées alimentaires*
- Annexe 10 : *Tableaux de synthèse des résultats d'analyses pour les denrées alimentaires*
- Annexe 11 : *Bordereaux d'analyses du laboratoire sur les denrées alimentaires*
- Annexe 12 : *Fiches de prélèvements des eaux aux points d'usage*
- Annexe 13 : *Tableaux de synthèse des résultats d'analyses pour les eaux souterraines et eau de ville aux points d'usage*
- Annexe 14 : *Bordereaux d'analyses du laboratoire sur les eaux souterraines et eau de ville aux points d'usage*
- Annexe 15 : *Fiches de prélèvements des eaux superficielles et sédiments*
- Annexe 16 : *Tableaux de synthèse des résultats d'analyses pour les eaux superficielles et sédiments*
- Annexe 17 : *Bordereaux d'analyses du laboratoire sur les eaux superficielles et sédiments*
- Annexe 18 : *Fiches de prélèvement du milieu air ambiant et air intérieur*
- Annexe 19 : *Rapport de synthèse du laboratoire*
- Annexe 20 : *Grilles de calcul IEM*

## PARTIE 1 : CONTEXTE, ZONE ETUDE ET METHODOLOGIE

### I. CONTEXTE ET LOCALISATION ZONE D'ETUDE

La DREAL Languedoc-Roussillon a confié au BRGM, selon les modalités de la convention n° SGR/LRO/2012/C056 du 13 mars 2012, une mission de Maîtrise d'œuvre pour la mise en œuvre d'une interprétation de l'état des milieux (IEM) sur l'ancien site minier de St-Félix-de-Pallières/Thoiras.

Le secteur d'étude est localisé sur les communes de St Felix-de-Pallières, de Thoiras et de Tornac dans le Gard (30). Les limites administratives des communes et la localisation de la zone d'étude sont présentées à la figure 1 ci-dessous.



Figure 1 : Situation du secteur d'étude (Source : géoportail)

Dans ce contexte, le BRGM a confié à ICF Environnement la réalisation d'un diagnostic environnemental de la zone d'étude ainsi qu'une Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) selon les enjeux qui auront été recensés et la selon la norme NFX-31-620-2 du 23 Juin 2011, relatives aux prestations de services en sites et sols pollués<sup>1</sup>.

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- déterminer les teneurs des polluants existants et évaluer les risques potentiels pour l'environnement immédiat et la population environnante ;
- démontrer la compatibilité des milieux avec les usages actuels, ou de préconiser, si nécessaire, si la zone d'étude doit faire l'objet de mesures simples de gestion ou d'un plan de gestion.

Pour ce faire, la méthodologie proposée par ICF Environnement, en application de la politique nationale du Ministère en charge de l'Environnement, consiste à :

- réaliser la synthèse des données documentaires afin de mieux cerner le contexte historique, environnemental et sociétal et réaliser un recensement des usages dans le périmètre de l'étude. Cette première étape permet d'identifier les sources potentielles de pollution, les voies de transfert et les cibles (élaboration du schéma conceptuel),
- effectuer des investigations sur site (hors dépôt UMICORE) en vue de caractériser les milieux d'exposition et déterminer l'impact sur ces différents milieux (sols, eaux souterraines, eaux superficielles, denrées alimentaires, air) et ainsi de recueillir les données nécessaires à la réalisation de l'IEM,
- conduire une Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) afin de s'assurer que l'état des milieux est compatible avec les usages fixés (constatés).

<sup>1</sup> cf codes prestations dans la fiche signalétique en page i



Le premier point a fait l'objet d'un rapport intermédiaire (AIX/12/0851R-Phase 1-V1 de Novembre 2012). **Le présent rapport donne les résultats de la caractérisation et de l'interprétation de l'état des milieux.**

Le site d'étude fait partie d'un ensemble de concessions minières de La Croix de Pallières, Pallières, Gravouillère et Valleraube (ancienne mine Joseph), situées dans le département du Gard (30) à 15 km au sud-ouest d'Alès et à environ 7 km d'Anduze.

La zone d'étude comprend deux anciens sites miniers, séparés par la route départementale D133 reliant Anduze à Saint Félix de Pallières :

- dans la partie Nord, la zone des anciennes mines de la Vieille Montagne ;
- dans la Partie Sud-est, la zone de l'ancienne mine Joseph.

Le périmètre de l'étude est concerné par deux bassins versants et intègre les abords des deux ruisseaux d'Aiguesmortes et de Paleyrolle jusqu'à leur débouché (Le Gardon de Saint Jean et l'Ourne respectivement).

Pour une meilleure compréhension de l'étude et de l'identification des enjeux, suite à une première visite préalable du secteur d'étude, les limites et la sectorisation du périmètre d'étude ont été proposées au donneur d'ordre et validées au démarrage de l'étude.

La description des secteurs est réalisée ci-après :

- **1. le secteur de l'ancienne Mine Joseph et les usages en aval du ruisseau de Paleyrolle** à usage promeneurs avec présence de haldes de stériles miniers en bordure du ruisseau de Paleyrolle au niveau de l'ancienne mine Joseph et usages d'habitations et captage AEP à proximité immédiate des ruisseaux de Paleyrolle et l'Ourne ;
- **2. le secteur riverains au Sud des anciennes mines de la Vieille Montagne**, usage habitations, intégrant également les hameaux de Coumessas, l'Issart, Les Patus, les Marchands et une partie du Mas ;
- **3. le secteur des anciennes mines de la Vieille Montagne**, couvrant l'ensemble des anciennes activités de surface et une partie des activités souterraines de la concession minière - actuellement, dans la partie Nord, à usage promeneurs (GR et PR), manifestations festives et habitations mobiles face au dépôt de résidus de laverie sur des haldes de produits d'extraction et dans la partie Sud, vers le puits n°1 à usage de promeneurs et terrain de moto-cross. Ce secteur comprend également le dépôt réhabilité par la Société « UMICORE » ;

*N.B. Le dépôt réhabilité est intégré au périmètre d'étude pour la phase d'étude historique et documentaire afin de définir les impacts potentiels sur l'environnement et la santé (ex. ruissellement, impact sur les eaux superficielles en aval) et l'intégrer dans le schéma conceptuel global mais ne fera pas l'objet d'investigations (pas d'usage recensé – accès interdit – gestion du site sous autorité DREAL).*

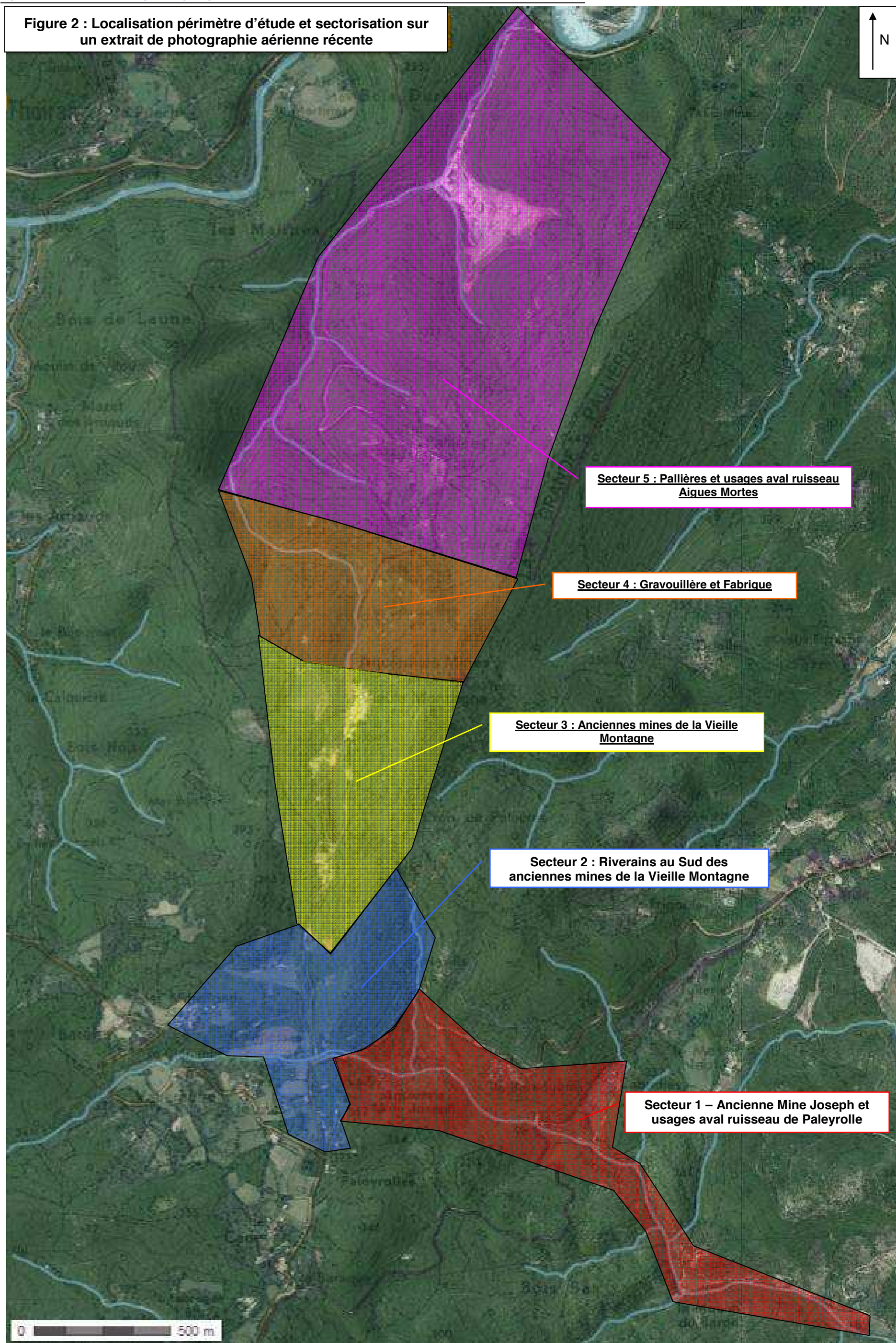
*Le ruisseau d'Aigues Mortes débute dans le secteur des anciennes mines de la Vieille Montagne et collecte notamment les eaux circulant sur le dépôt « UMICORE ».*

- **4. le secteur Gravouillère et La Fabrique** : à usage promeneurs, habitations éparses et des parcelles utilisées en jardin expérimental (greffe des arbres fruitiers) ;
- **5. le secteur du hameau de Pallières et les usages en aval du ruisseau Aiguesmortes jusqu'au Gardon de Saint Jean** : hameau de Pallières à usage d'habitations – identification d'une carrière de dolomie actuellement exploitée, à proximité du ruisseau Aigues Mortes et présence de promeneurs.

Le périmètre d'étude et sa sectorisation est présentée sur un extrait de photographie aérienne récente, à la **figure 2** ci-après.



Figure 2 : Localisation périmètre d'étude et sectorisation sur un extrait de photographie aérienne récente





## II. RAPPEL METHODOLOGIE

### II.1. Référentiels méthodologiques

Pour répondre aux enjeux de l'étude, la méthodologie proposée a été établie en référence :

- aux outils et guides élaborés par le **Ministère en charge de l'Environnement** pour la mise en œuvre des démarches de gestion des sites potentiellement pollués :
  - textes ministériels du 8 février 2007 relatifs aux modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués ;
  - guide « Première visite de site » approuvé par le MEDAD le 8 février 2007 ;
  - guide « Diagnostics du site » approuvé par le MEDAD le 8 février 2007 ;
  - guide « Schéma conceptuel et modèle de fonctionnement » approuvé par le MEDAD le 8 février 2007 ;
  - guide « Interprétation de l'Etat des Milieux » approuvé par le MEDAD le 8 février 2007 ;
  - arrêté ministériel du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-8 du code de santé publique ;
  - arrêté ministériel du 17 septembre 2003 relatif aux méthodes d'analyse des échantillons d'eau et à leurs caractéristiques de performances ;
  - règlement CE n°1881/2006 du 19 décembre 2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires ;
  - portail substances chimiques de l'INERIS regroupant les normes de qualité environnementale existantes ;
  - arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement ;
  - rapport du BRGM " fond géochimique naturel - état des connaissances à l'échelle nationale " de juin 2000 ;
  - rapport BRGM « Inventaire des données de bruit de fond dans l'air ambiant, l'air intérieur, les eaux de surface et les produits destinés à la consommation humaine », 2009 ;
  - décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air transposant la directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe ;
  - décret n°2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène ;
  - valeurs guides de la qualité de l'air intérieur – Comparaison de proposition de l'ANSES et de l'OMS, ANSES saisine 2012sa0203 du 20 Avril 2012 ;
  - prélèvement et analyse des métaux dans les particules en suspension dans l'air ambiant - 2/2 Projet de Guide Technique et Méthodologique de l'analyse de l'Arsenic, Cadmium, Nickel et Plomb dans l'Air Ambiant, LCSQA, novembre 2006 ;
  - thème métrologie Benzène/HAP/Métaux - Etude N° 4/1 – 2011, Surveillance du benzène 2/2 : la méthode de référence (échantillonnage actif), LCSQA, novembre 2011 ;
  - méthodes de référence pour l'évaluation des concentrations dans l'air ambiant décrites dans l'annexe V de la Directive n°2004/107/CE du 15/12/04 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant ;
  - campagne nationale de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur dans les logements français entre 2003 et 2005 ;
  - rapport BRGM/RP-52928-FR « Protocole d'échantillonnage des sols urbains pollués par du plomb » (2004) ;
  - rapport ADEME/INERIS « Guide d'échantillonnage de plantes potagères dans le cadre de diagnostics environnementaux » (2007) ;
  - « contamination des sols – transfert des sols vers les plantes » Anne Tremel-Shaub et Isabelle Feix, décembre 2008 ;
  - contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en traces – mesures pour réduire l'exposition », publication Michel Mench, Denis Baize, 2004 ;
  - guide « Maîtrise et Gestion des impacts des polluants de la Qualité des eaux souterraines », VO.1, 2 septembre 2009 ;

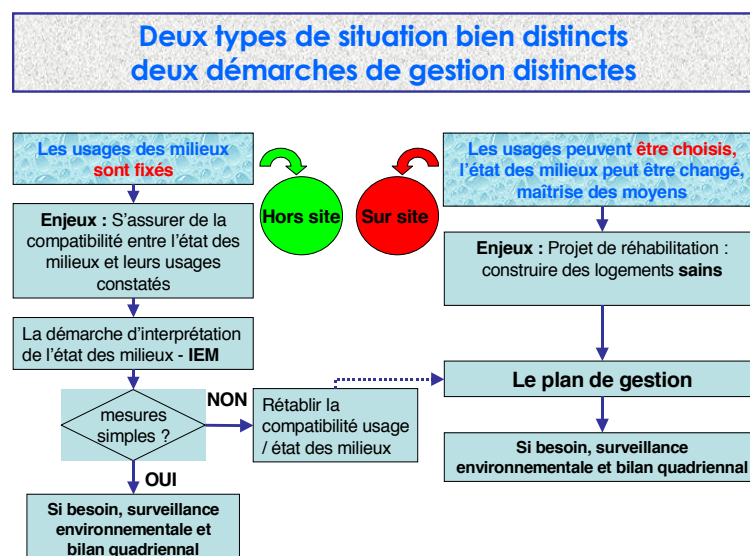


- fiches Métropol INRS.
- aux **normes françaises en vigueur** et notamment :
  - norme NF X 31-620 de Juin 2011 « Prestations de services relatives aux sites et sols pollués » ;
  - les normes NF ISO 10381/AFNOR X31-008 relatives à la qualité du sol – échantillonnage ;
  - norme NF EN ISO 5667-3 de Décembre 2003 « Qualité de l'eau – Echantillonnage – partie 3 : lignes directrices pour la conservation et à la manipulation des échantillons d'eaux ». (NF-T 90-513) ;
  - norme NF EN 25667-2 de Mai 1993 « Qualité de l'eau. Échantillonnage. Partie 2 : Guide général sur les techniques d'échantillonnage ». (NF-T 90-512) ;
  - fascicule AFNOR FD-X-31-615 d'octobre 1999 relatif au prélèvement et à l'échantillonnage des eaux souterraines ;
  - fascicule FD T 90-523 de Janvier 2009 « Guide de prélèvement pour le suivi de la qualité des eaux dans l'environnement – partie 1 : prélèvement d'eau superficielle, partie 3 : prélèvement d'eau souterraine » ;
  - NF EN ISO 16017-1 : Air intérieur, air ambiant et air des lieux de travail - Echantillonnage et analyse des composés organiques volatils par tube à adsorption/désorption thermique/chromatographie en phase gazeuse sur capillaire, Partie 1 : Echantillonnage par pompage ;
  - Norme EN 12341 : "Détermination de la fraction PM10 de matière particulaire en suspension - Méthode de référence et procédure d'essai in situ pour démontrer l'équivalence à la référence de méthodes de mesurage"
- Aux **référentiels internes ICF Environnement** :
  - Procédures ICF ;
  - Certificat ISO 9001 du système de management de la Qualité ;
  - Label QUALIPOL de l'Union des Professionnels de la Dépollution des Sites (certification LNE en cours) ;
  - Certificat MASE pour la sécurité (Manuel d'Amélioration Sécurité des Entreprises).

## II.2. Synthèse des démarches de gestion définies

En application des principes de la politique de gestion des risques suivants l'usage, deux démarches de gestion sont définies pour ce qui concerne les milieux et les sites pollués.

- **L'interprétation de l'état des milieux (IEM)** : il s'agit de s'assurer que l'état des milieux est compatible avec les usages fixés (constatés). Cette démarche concerne les milieux présents en dehors de toute emprise industrielle ou d'activités de service.
- **Le plan de gestion** est la démarche qui permet d'agir aussi bien sur l'état d'un site (par des aménagements ou des mesures de dépollution) que sur les usages qui peuvent être choisis ou adaptés.



Ces démarches ne sont pas nécessairement exclusives l'une de l'autre : selon le cas, elles peuvent être mises en œuvre indépendamment l'une de l'autre, simultanément ou successivement. Ces démarches se veulent progressives et réfléchies pour permettre, sur la base d'un schéma conceptuel évolutif, un levé des incertitudes et répondre aux objectifs fixés.

## II.3. Méthodologie mise en œuvre sur la zone étudiée

Les prestations proposées s'articulent de la façon suivante :

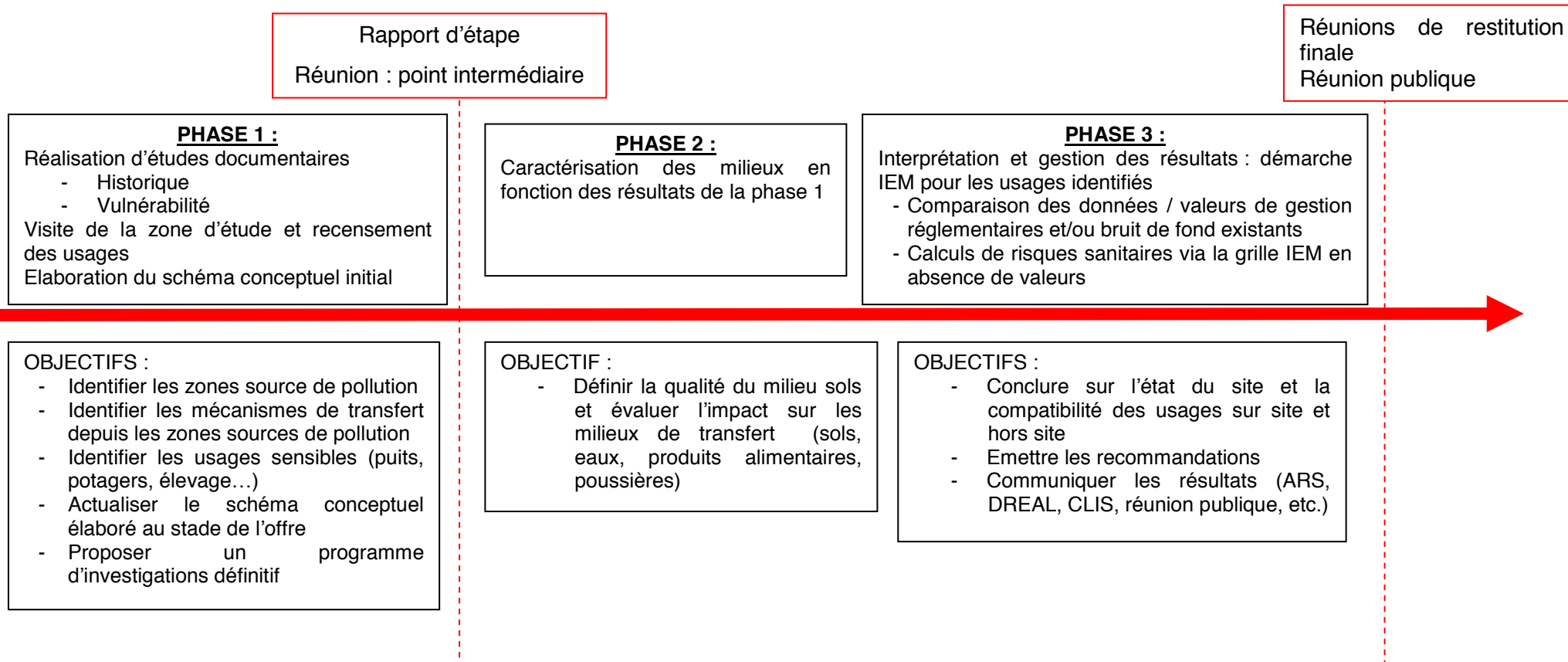


Figure 3 : Méthodologie retenue pour cette étude

Le présent rapport correspond aux phases 2 et 3 de caractérisation des milieux et d'interprétation de l'état des milieux. Un rapport de phase 1 incluant l'étude environnementale et documentaire (rapport ICF Environnement AIX/12/085IR-Phase 1 – V1- Novembre 2012) a été transmis au BRGM le 29 Août 2012 et présenté en réunion BRGM / DREAL le 6 Septembre 2012.

## PARTIE 2 : CARACTERISATION DES MILIEUX

### III. RAPPEL – STRATEGIE D'INVESTIGATIONS

L'étude historique, documentaire et de vulnérabilité a permis de mettre en évidence les sources de pollution potentielles et leur localisation ainsi que les éventuelles voies de migration et les différentes cibles associées (élaboration du schéma conceptuel).

L'objectif des investigations est de vérifier la compatibilité des milieux avec les usages recensés (caractérisation des milieux aux points d'usage).

Compte tenu des usages recensés dans chaque secteur, les milieux à investiguer en fonction des zones du secteur d'étude sont les suivants :

- Secteur 1 : Sols, eaux souterraines et superficielles, denrées alimentaires ;
- Secteurs 2 et 3 : Sols, eaux souterraines et superficielles, denrées alimentaires, air/poussières.
- Secteur 4 : sols, eaux souterraines, denrées alimentaires ;
- Secteur 5 : sols, eaux souterraines et superficielles, denrées alimentaires, air/poussières (témoin).

Afin de répondre à l'objectif principal de cette étude, le plan d'échantillonnage a été réfléchi de la manière suivante :

- ✓ un découpage de la zone d'étude en 5 secteurs en fonction des sources potentielles de pollution, des voies de transfert et des usages des milieux recensés ;
- ✓ la réalisation de prélèvements dits « témoins », afin de faciliter l'interprétation des résultats (eaux, sols, poussières, denrées alimentaires) ;
- ✓ des mesures systématiques sur les sols de surface des éléments traces métalliques à l'aide d'un appareil à fluorescence X en tenant compte de l'analyse historique du site et des usages constatés des sols dans chaque secteur (et sélection d'échantillons à envoyer au laboratoire pour établir la corrélation des mesures) ;
- ✓ un échantillonnage ciblé des sols de surface au droit des sources potentielles de pollution autres que métalliques (ex. laverie (traitement cyanuré), usine de vitriol) ;
- ✓ l'échantillonnage d'une bonne variété de végétaux considérés dans le guide comme des traceurs sensibles de la pollution liée aux anciennes activités minières (feuille, fruit, racines) et d'autres denrées alimentaires suite au recensement des usages (œufs, miel) ;
- ✓ un échantillonnage systématique des sols des potagers en sus des mesures systématiques à l'appareil portatif à fluorescence X ;
- ✓ une bonne connaissance de la qualité de l'ensemble des eaux qui sont utilisées par les personnes ;
- ✓ une évaluation de la qualité des poussières de l'air potentiellement contaminées pendant les phases de ré envols de poussières au droit des usages sensibles sous les vents dominants ;
- ✓ une évaluation de la qualité de l'air intérieur au droit des sources potentielles de pollution volatile à usage actuel d'habitations (ancien garage et transformateur).



Sources potentielles de pollution	Polluants potentiels associés	Milieux de transfert et d'exposition	Cibles / usages recensés	Traceurs et milieux retenus à ce stade en fonction des usages constatés
Dépôts d'extraction sulfurés et de stériles fins issus du traitement du minerai  Dépôts de haldes et résidus miniers	ETM dont traceurs Pb, As, Zn, Cd, Sb, Se	Sols / sédiments Eaux Souterraines Eaux superficielles Poussières/Air ambiant Denrées alimentaires	Habitants – promeneurs  <u>Usages des sols</u> : vergers, potager, élevage de chevaux, habitations, atelier transformation bières et jus de fruits, manifestations musicales, sentiers de randonnée, zone de chasse ?  <u>Usages de l'eau</u> : eau de ville pour tous les usages – captage AEP au pied du ruisseau en aval immédiat des dépôts	ETM dans chaque milieu
Zones de traitement du minerai - Ancienne laverie / laverie moderne (puits n°3) - Traitement Joseph sur TORNAC - Usine de vitriol - Gravouillère	ETM dont traceurs Pb, As, Zn, Cd, Sb, Se  Cyanures  Sulfates  Chaux, acides	Sols/sédiments Eaux Souterraines Eaux superficielles Poussières/ Air ambiant Denrées alimentaires	Habitants – promeneurs  <u>Usages des sols</u> : vergers, potager, élevage d'animaux, habitations/gîte, espace de formation, sentiers de randonnée,  <u>Usages de l'eau</u> : eau de ville ou puits/sources de particuliers – usages domestiques, arrosage, abreuvement, remplissage piscine	ETM : tous les milieux  Cyanures : sols et végétaux (au droit ou à proximité des sources) et eaux en première approche. Etude milieu air en fonction résultats sols et eaux  Solubles (Sulfates) : eaux – milieu le plus pertinent  pH : sols et eaux
Installations annexes : transformateur (usage habitation actuellement)	Polychlorobiphényles Chlorobenzènes	Sols/sédiments Eaux Souterraines Eaux superficielles Air intérieur	Habitants  <u>Usage des sols</u> : habitation <u>Usages de l'eau</u> : eau de ville pour tous les besoins	Chez habitants – difficulté d'investiguer le milieu sols et/ou gaz du sol. Pas analysé en première approche. Volatils (Chlorobenzènes) : air ambiant
Installations annexes : garage de la Mine (usage habitation actuellement)	HCT HAP Solvants	Sols/sédiments Eaux Souterraines Eaux superficielles Denrées alimentaires Air intérieur	Habitants  <u>Usages des sols</u> : habitation, poulailler <u>Usages de l'eau</u> : eau de ville pour tous les besoins	Chez habitants/résidents – difficulté d'investiguer le milieu sols et/ou gaz du sol. Pas analysé en première approche. Volatils (HCT volatils, BTEXN) : air ambiant Solubles (HCT/HAP/BTEX) : eaux superficielles au niveau du pont de la CD 133
Installations annexes : transformateurs, garage, ateliers, compresseurs (bâtiments rasés)	PCB/chlorobenzènes HCT/HAP/BTEX/Solvants	Sols/sédiments Eaux Souterraines Eaux superficielles Air ambiant	Habitants – promeneurs  <u>Usages des sols</u> : habitations temporaires, atelier transformation bières et jus de fruits, manifestations musicales, sentiers de randonnée  <u>Usages de l'eau</u> : eau de ville pour tous les usages	sources potentielles non clairement identifiées sur le terrain ou – uniquement plan masse des bâtiments et aucun autre détail sur les installations ou absence de cibles Source ponctuelle – pas de recherche à ce stade. Ces sources ont été négligées / autres sources de pollution métallique et polluants organiques au droit des bâtiments transformés en usage sensible (habitations)

Tableau 1 : Stratégie de caractérisation des milieux vis-à-vis du principe source-transfert-cible

N.B. Dans le cadre de la réalisation d'une IEM, il n'est pas prévu, à ce stade, de réaliser des investigations sur **les sols profonds** au droit de sources potentielles de pollution identifiées lors de l'analyse historique (ex. transformateurs, ateliers, garage), soit lié à l'absence d'usage au droit de ces sources ou que ces sources n'ont pas été identifiées clairement sur site ou de la difficulté à pouvoir mener les investigations compte tenu de l'usage.

Les stratégies et techniques d'échantillonnage par milieu ont été présentées dans le rapport de phase 1 en vue de la validation du programme de caractérisation par la DREAL et le BRGM (cf chapitre V.2 du rapport phase 1 AIX/12/085/IR-V1-Novembre 2012).

L'objectif de cette caractérisation des milieux a été d'assurer un prélèvement le plus représentatif possible pour chaque milieu.

Les chargés d'étude ICF environnement (Superviseur et Ingénieur de projet) ont été présents constamment sur le terrain pendant toute la durée des investigations afin de :

- diriger les travaux et veiller à l'application des consignes de sécurité ;
- noter la coupe des terrains traversés et les observations organoleptiques (odeur, couleur, aspect) pour chaque milieu sur site ;
- photographier les sols découverts et les autres milieux investigués ;
- effectuer des mesures au détecteur FX et le repérage au GPS portable ;
- prélever et conditionner les échantillons de sols, d'eaux souterraines et superficielles, air/poussières et denrées alimentaires, nécessaires à la caractérisation analytique de chaque milieu investigué ;
- assurer l'information hebdomadaire du donneur d'ordre.

**La synthèse cartographique des campagnes de caractérisation menées sur le secteur d'étude** est présentée en [Annexe 1](#).

La méthodologie ainsi que les valeurs de références basées sur des textes réglementaires et/ou des bases de données existantes sont présentées dans le rapport de Phase 1. Pour mémoire, **les tableaux récapitulatifs des valeurs de référence utilisées dans le cadre de cette étude sont fournis en Annexe 2**.

En sus de la campagne de mesures sur les sols superficiels à l'aide de l'appareil portatif de fluorescence X, le programme analytique réalisé en laboratoire est rappelé ci-après :

Milieux	Programme analytique en laboratoire	Quantité échantillons
<b>Sols</b>	Systématique : MS/teneur en eau + 13 métaux (1) Ciblé : Cyanures totaux, pH au droit des sources potentielles de pollution au niveau des anciennes usines de traitement du minerai Granulométrie	40
<b>Eaux souterraines</b>	MES, Sulfates, Cyanures libres et totaux, 13 ETM (1)	16
<b>Eaux superficielles sédiments</b>	MES, Sulfates, Cyanures libres et totaux, 13 ETM (1) + HCT/HAP/BTEX au niveau du ruisseau de la mine et Paleyrolle amont uniquement (impact anciennes activités de garage)	7 2
<b>Sédiments</b>	Cyanures totaux, 13 ETM (1), granulométrie + HCT/HAP/BTEX au niveau du ruisseau de la mine et Paleyrolle amont uniquement (impact anciennes activités de garage)	7 2
<b>Denrées alimentaires</b>	Systématique : 13 métaux (1) Ciblé : Cyanures au droit des jardins et poulaillers à proximité des sources potentielles de pollution (traitement du minerai) et sur les échantillons de miel (butinage aléatoire)	44
<b>Poussières</b>	Métaux (liste à définir en fonction des résultats analytiques sur les autres milieux) - Cyanures ?	3
<b>Air intérieur</b>	Chlorobenzènes dans l'habitation (ancien transformateur) HCT volatils, BTEXN dans la partie habitation (ancien garage)	1 1

(1) ETM : **As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Zn et Hg**

**Tableau 2 : Programme analytique de caractérisation des milieux**

Les analyses de poussières et d'air intérieur ont été réalisées par le laboratoire TERA Environnement. Les analyses des autres milieux ont été réalisées par les laboratoires WESSLING.

## IV. CARACTERISATION DES SOLS SUPERFICIELS

### IV.1. Echantillonnage

#### IV.1.1 Répartition et méthode de mesure

Les mesures de sol ont été réalisées à l'aide d'un appareil portable à fluorescence X (XRFP) qui permet de réaliser un grand nombre de mesures de concentration en métaux lourds et métalloïdes dans les sols avec un résultat en temps réel.

En l'absence de plan topographique détaillé de l'ensemble des trois zones d'étude, les reconnaissances de terrain ont été accompagnées d'un levé GPS qui permet le positionnement des points de mesure sur un fond géoréférencé. Les photographies aériennes et le fond cadastral disponibles ont été utilisés comme support cartographique pour tracer les **contours des zones à anomalie**.

L'accessibilité des terrains pour la réalisation de mesures à l'XRFP a été contrainte par :

- la topographie et la densité du couvert végétal,
- l'accord des propriétaires pour les parcelles privées.

Les cartographies de la pollution des sols de surface en éléments métalliques ont été réalisées selon les maillages suivants :

- **Secteur 1** : maillage systématique serré 15 x 15 m sur l'ancienne mine Joseph et aléatoire sur le reste de la zone en fonction des accès et des usages ;
- **Secteur 2** : maillage systématique 30 x 30 m et aléatoire sur tout le secteur 2 en fonction des accès et des usages ;
- **Secteur 3** : maillage systématique serré 20 x 20 m au droit des anciennes installations minières et des dépôts de stériles miniers et aléatoire sur le reste de la zone en fonction des accès et des usages ;
- **Secteur 4** : maillage systématique 35 x 35 à 50 x 50 m et aléatoire en fonction des accès et des usages ;
- **Secteur 5** : maillage systématique 40 x 40 à 50 x 50 m et aléatoire sur l'ensemble de la zone en fonction des accès et des usages.

Les mesures à l'XRFP et les prélèvements de sols superficiels ont été réalisés du 6 au 22 Août 2012 comme suit :

- **Secteur 1** : 152 points de mesures à l'XRFP et 7 échantillons de sols superficiels dont 4 au niveau de jardins potagers afin de vérifier la cohérence des résultats fournis par l'appareil de terrain et les analyses de laboratoire et établir une corrélation entre les deux résultats ;
- **Secteur 2** : 162 points de mesures à l'XRFP et 6 échantillons de sols superficiels dont 4 au niveau de jardins potagers et deux au niveau du vignoble ;
- **Secteur 3** : 331 points de mesures à l'XRFP et 15 échantillons de sols superficiels dont un prélevé au niveau d'un jardin potager et un au niveau du poulailler ;
- **Secteur 4** : 93 points de mesures à l'XRFP et 5 échantillons de sols superficiels dont un prélevé au niveau d'un jardin potager et 2 au niveau de verger ;
- **Secteur 5** : 169 points de mesures à l'XRFP et 7 échantillons de sols superficiels dont deux prélevés au niveau de jardins potagers, un au niveau du verger et d'un poulailler.

**Soit un total de 907 points de mesure de métaux à l'XRFP sur l'ensemble du secteur d'étude et 40 analyses de métaux en laboratoire pour déterminer une corrélation entre les mesures de terrain et celles en laboratoire.**

De plus, **des prélèvements de sols de surface ciblés** ont été réalisés au droit des sources potentielles de pollution autres que métalliques (zones de traitement du minerai) pour analyses en laboratoire des paramètres pH et/ou cyanures totaux. **40 échantillons de sols de surface ont été envoyés au laboratoire** au droit des zones sources potentielles de pollution identifiées lors de la phase 1.

La **localisation des points de mesures à l'XRFP** est présentée en **Annexe 3**.

La **localisation des points de prélèvement de sols superficiels pour analyses en laboratoire** est présentée sur la carte reportée en **Annexe 4**.

#### **Limites de la méthode :**

- Les prélèvements ponctuels ne peuvent pas offrir une vision continue de l'état des terrains du site. Leur implantation et leur densité (maillages 15 x 15 à 50 x 50 m) permettent d'avoir une vision représentative de l'état du sous-sol, sans que l'on puisse exclure l'existence d'une anomalie d'extension limitée entre deux prélèvements, qui aurait échappée à nos investigations.

- Les limites de détection de l'appareil à fluorescence X sont relativement élevées c'est pourquoi son application est généralement limitée à la cartographie des éléments présentant des anomalies géochimiques significatives. Ces limites (LOD) en mg/kg (pour une mesure de 60 s et 2 types de matrice) pour les métaux étudiés sont les suivantes :

Métal	Sable	Sol de référence (SRM)
As	9	19
Cd	30	40
Cr	60	100
Cu	50	80
Fe	120	500
Mn	90	300
Sb	54	72
Pb	11	18
Zn	24	48

**Tableau 3 : Limites de détection de l'appareil à fluorescence X**

#### ***IV.1.2 Corrélation mesures de terrain / analyses de laboratoire***

Pour les besoins de l'assurance qualité, des échantillons ont été envoyés au laboratoire pour effectuer une comparaison entre les résultats de l'XRFP et les analyses du laboratoire. Afin d'obtenir une meilleure estimation du biais existant entre ces mesures in-situ et laboratoire, la corrélation a été calculée à partir de l'ensemble des échantillons de sol prélevés sur les cinq secteurs et pour l'ensemble des substances analysées par les deux procédés i.e. As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Zn.

Une bonne corrélation a été trouvée pour les paramètres suivants : **As, Pb, Zn, Mn, Fe**.

N.B. : Concernant l'arsenic, le rapport du BRGM « Evaluation des performances du spectromètre portable de fluorescence X Niton XL723S (au laboratoire et sur le terrain) » n°BRGM/RP-53377-FR d'avril 2005, indique que les concentrations en arsenic obtenues à l'XRFP sont faussées lorsque le ratio Pb/As est supérieur à 10 (interférences probables entre les deux spectres). Cette interférence peut exister également sur notre appareil, la corrélation sélectionnée est donc basée sur la comparaison entre les concentrations en arsenic présentant un ratio Pb/As inférieur à 10 et les concentrations obtenues en laboratoire.

Les **graphiques de corrélation** pour les éléments cités ci-avant sont présentés en **Annexe 5**.

Aucune corrélation n'a été possible sur les éléments Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Sb et Se en raisons :

- des limites de quantification de l'appareil (LOD) élevées pour certains paramètres : par exemple pour le cadmium, tous les échantillons pris en doublons pour la corrélation XRFP/labo sont inférieures à la LOD au XRFP et varient de <0,4 à 18 mg/kgMS au laboratoire. La LOD de l'appareil est de l'ordre de 30-40 mg/kgMS pour un bruit de fond régional à 9 mg/kgMS et une valeur maximale au laboratoire de 18 mg/kgMS ou,
- du grand nombre de résultats inférieurs aux limites de quantification du laboratoire, par exemple pour le sélénium ou,
- de la trop grande homogénéité des concentrations obtenues sur les échantillons envoyés au laboratoire (et des interférences possibles des mesures de l'XRFP) par exemple pour le mercure.

**Par conséquent, la corrélation a été possible sur les principaux traceurs de l'activité minière sur les communes de Saint Félix de Pallières et Thoiras** (sur la base des informations historiques disponibles). La corrélation n'a pas été possible pour les autres traceurs potentiels identifiés : cadmium (associé au zinc) et l'antimoine (associé au plomb).

*Rappel : les autres éléments métalliques analysés ne sont pas les traceurs majoritaires de l'activité minière mais ont été retenus dans le plan analytique car soit, ce sont des constituants majoritaires dans le sol (Fe, Mn qui peuvent aussi potentiellement créer des interférences avec le XRFP), soit la synthèse des études existantes a montré la présence d'anomalie ponctuelle dans les eaux, les sols et/ou les sédiments).*

Pour les paramètres où la corrélation a été possible, les résultats mesurés avec l'appareil XRFP ont pu être utilisés et une formule d'ajustement a été appliquée sur l'ensemble des résultats fournis par l'appareil (Secteurs 1 à 5) et les interprétations ont été réalisées pour ces paramètres.

**Les interprétations cartographiques qui suivent (chap.V.3.3.) sont menées sur les paramètres majoritaires et traceurs de l'activité minière, le Plomb, l'Arsenic et le Zinc.**

*N.B. Il n'a pas été jugé utile de réaliser des cartographies pour le Fer et le Manganèse, éléments constitutifs du sol, dont l'analyse des données nous a permis d'interpréter l'ensemble des résultats des mesures.*

Pour les paramètres où la corrélation n'a pas été possible, les résultats quantifiés avec l'appareil XRFP ne peuvent pas être utilisés. Cependant, compte tenu du fait que les échantillons de sols superficiels, prélevés en doublon pour analyses en laboratoire (40 analyses disponibles), sont représentatifs de la distribution, **les résultats de sols en laboratoire peuvent être utilisés pour l'interprétation analytique et l'approche de risque sanitaire.**

Cas particuliers concernant les paramètres cadmium et antimoine, l'analyse statistique des résultats a été réalisée à titre indicatif, **en utilisant les résultats relatifs obtenus à l'XRFP**, afin de réaliser une comparaison entre les différents secteurs d'étude.

*N.B. Dans le but de garder un effectif représentatif, les mesures présentant des concentrations inférieures à la LOD de l'appareil ont été considérées égales à la LOD, cette dernière étant relativement homogène.*

## IV.2. Résultats des mesures et analyses

Des **tableaux de synthèse des résultats d'analyses** obtenus à l'aide de l'appareil XRPF (avec les coordonnées GPS associées) et en laboratoire sont présentés en **annexe 6**.

Les **bordereaux d'analyses sur les sols superficiels du laboratoire Wessling** sont fournis en **annexe 7**.



### IV.3. Observation et interprétation des résultats sur les sols superficiels

#### IV.3.1 Nature des terrains rencontrés

La nature des terrains rencontrés sur les différents secteurs est décrite dans le tableau suivant :

	Nature des terrains
<b>Secteur 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Formations superficielles de type rendzine, correspondant à l'altération des calcaires et/ou dolomies sous-jacentes, à matrice sablo-limoneuse gris à ocre.</li> <li>✓ Verses de minerai (dolomie) extrait lors de l'exploitation minière.</li> </ul>
<b>Secteur 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Formations superficielles de type rendzine, correspondant à l'altération des calcaires et/ou dolomies sous-jacentes, à matrice limono-sableuse, graveleuse brun à ocre.</li> <li>✓ Affleurement de granite altéré au Sud-est du secteur.</li> </ul>
<b>Secteur 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Formations superficielles de type rendzine, correspondant à l'altération des calcaires et/ou dolomies sous-jacentes, à matrice sablo-limoneuse, graveleuse gris, brun à ocre.</li> <li>✓ Verses de minerai (dolomie) extrait lors de l'exploitation minière.</li> </ul>
<b>Secteur 4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Formations superficielles de type rendzine, correspondant à l'altération des calcaires et/ou dolomies sous-jacentes, à matrice sablo-limoneuse, graveleuse gris à brun.</li> </ul>
<b>Secteur 5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Formations superficielles de type rendzine, correspondant à l'altération des calcaires et/ou dolomies sous-jacentes, à matrice limono-sableuse, graveleuse brun à ocre.</li> </ul>

**Tableau 4 : Nature des terrains rencontrés par secteur**

La nature des formations superficielles rencontrées est donc relativement homogène sur l'ensemble de la zone d'étude.

## IV.3.2 *Interprétations des résultats pour les éléments traces métalliques*

### IV.3.2.1 Détermination d'un « environnement témoin » en local

L'objectif de la détermination d'un bruit de fond géochimique local est de pouvoir distinguer les teneurs qui sont susceptibles de poser un problème (liées à l'activité anthropique ciblée) des teneurs rencontrées naturellement dans le secteur d'étude (bruit de fond géochimique local).

Pour cette étude, le bruit de fond géochimique local en éléments métalliques sera défini comme le « fond ambiant », caractérisé par :

- une fraction naturelle majoritaire liée aux sources endogènes (géologie, processus pédologiques et biogéochimiques) et aux sources exogènes (érosion, apports éoliens, événements naturels) ;
- et une fraction anthropique faible liée aux sources diffuses en zones rurales (hors zones urbaines/industrielles, trafic routier et zone de la carrière exploitée au Nord de la zone d'étude).

Le bruit de fond géochimique est une distribution qui peut être caractérisée par des paramètres statistiques. Dans ce contexte minier, nous avons choisi de le caractériser par la moyenne et le percentile 90 pour réaliser l'interprétation des résultats sur le milieu sols.

En effet, les zones minières étant plus minéralisées et plus riches en éléments métalliques que d'autres secteurs, le paramètre statistique P90 donne un ordre de grandeur potentiellement plus adapté aux zones minières que la moyenne.

L'ensemble des résultats des mesures réalisées à l'XRFP a été comparé à l'état des milieux dits naturels voisins défini :

- à l'échelle régionale, à l'aide des valeurs calculées à partir des résultats d'une campagne d'analyses réalisée par le BRGM de 1975 à 1991 ;
- à l'échelle locale, à l'aide des valeurs calculées à partir des résultats mesurés sur les sols superficiels à l'XRFP sur des zones considérées comme témoin i.e. à partir des mesures réalisées dans les différents secteurs d'étude dans des zones hors influence :
  - des anciennes activités minières,
  - des envols potentiels de poussières issues des dépôts de stériles miniers,
  - du lit des ruisseaux du Paleyrolle et de l'Aiguesmortes et terrains inondables adjacents en cas de fortes pluies (dépôt de sédiments potentiellement chargés en Pb et As) ;
  - de l'activité de la carrière présente au Nord de la zone d'étude.

La sélection des points de mesures utilisés comme « environnement témoin » pour déterminer le bruit de fond géochimique local est représentée cartographiquement ci-après.

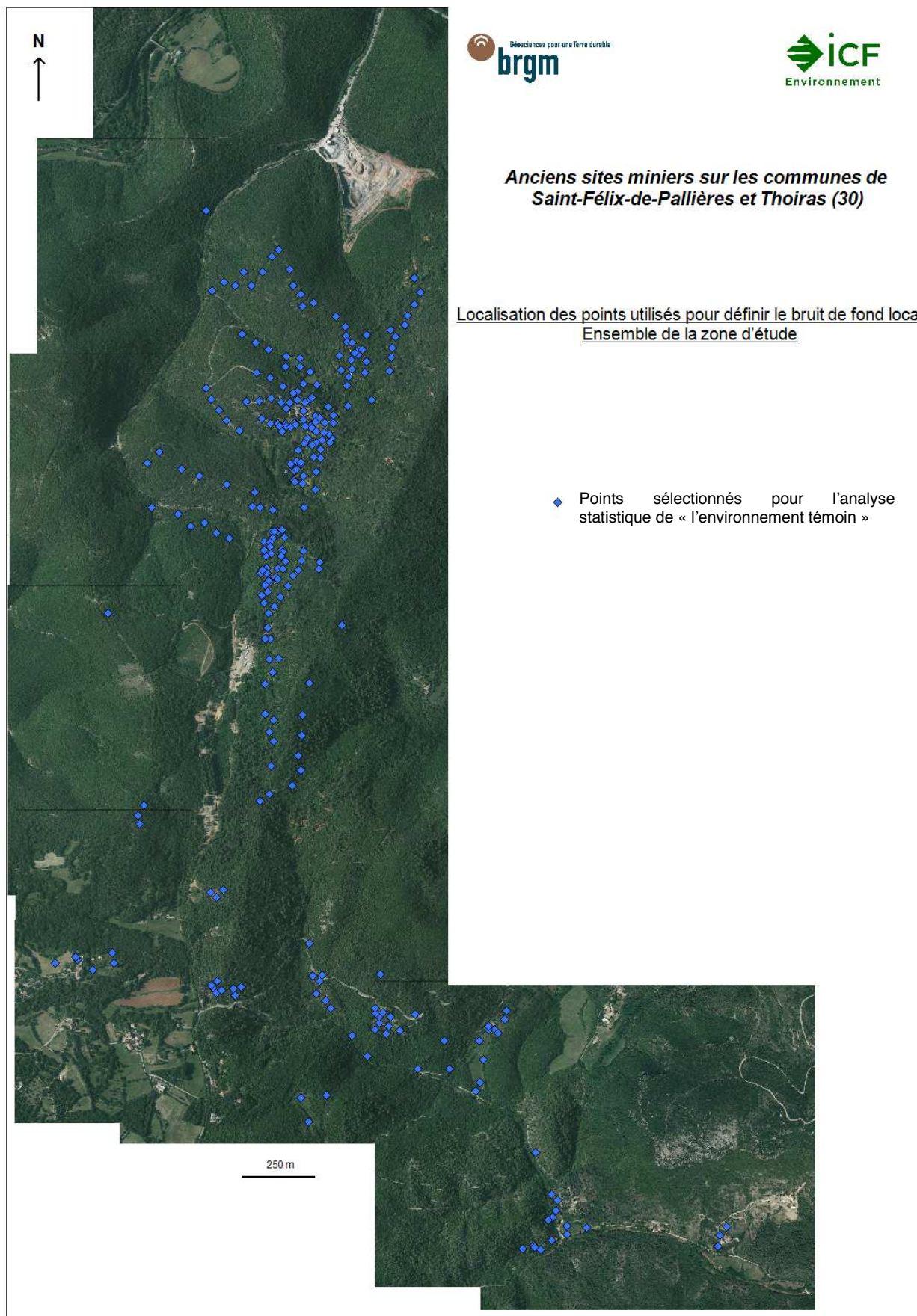


Figure 4 : plan de localisation des mesures de sols de « l'environnement témoin »

Les valeurs calculées en local sont comparées aux valeurs calculées régionales dans le tableau suivant :

Elément	Moyenne du fond géochimique (mg/kg-MS)		P90 du fond géochimique (mg/kg-MS)	
	Régional (1)	Local (2)	régional	local
As	97	374	165	664
Pb	221	1239	261	2278
Zn	320	740	566	950
Fe	Exprimé en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	69 700	Exprimé en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	92 100
Mn	Exprimé en MnO	1 808	Exprimé en MnO	3 403

(1) valeurs calculées à partir des résultats d'une campagne d'analyses réalisée par le BRGM de 1975 à 1991

(2) valeurs calculées à partir des mesures ICF Environnement sur les sols superficiels à l'XRFP sur des zones considérées comme témoin

**Tableau 5 : Comparaison des valeurs de fond régionales et locales**

Cette comparaison amène les observations suivantes :

- ✓ **Arsenic** : le bruit de fond géochimique local est environ 4 fois supérieur au bruit de fond régional ;
- ✓ **Plomb** : le bruit de fond géochimique local est environ 6 fois supérieur au bruit de fond régional ;
- ✓ **Zinc** : le bruit de fond géochimique local est environ 2 fois supérieur au bruit de fond régional ;

**Ces observations soulignent la forte minéralisation notamment en arsenic et en plomb, caractérisant les terrains de la zone d'étude.**

#### IV.3.2.2 Interprétation des résultats pour As, Pb, Zn, Fe, Mn, Cd, Sb

Une analyse statistique des teneurs mesurées et « corrigées » à l'aide des droites de corrélation, sur l'ensemble des secteurs de la zone d'étude en Pb, As, Zn, Fe et Mn a été réalisée.

A titre indicatif, afin de dégager des tendances entre les différents secteurs d'étude, les paramètres antimoine et cadmium, en relation potentielle avec l'activité minière, ont également fait l'objet d'un traitement statistique à partir des données relatives non corrigées obtenues à l'XRFP.

Les caractéristiques statistiques de la distribution pour chaque élément sont les suivantes :



Substances	Paramètres statistiques	Concentrations mg/kgMS						
		Tous secteurs	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	BDF
Antimoine relatif	effectif	623	97	145	306	33	42	284
	min	0,5	13	0,5	2	27	3	2
	P10	47	60	44	49	72	45	37
	mediane	201	266	156	227	169	172	155
	moyenne	223	338	154	235	160	159	160
	P90	393	722	272	415	244	249	286
	max	1525	1525	439	1176	327	270	518
Cadmium relatif	effectif	623	97	145	306	33	42	284
	min	0,1	1	1	0,2	8	0,1	0,1
	P10	9	7	6	12	25	8	10
	mediane	61	62	44	71	47	61	49
	moyenne	73	78	48	87	59	54	53
	P90	152	173	93	187	102	89	97
	max	402	252	130	402	187	107	179
Plomb	effectif	623	97	145	306	33	42	284
	min	642	722	643	642	765	697	551
	P10	976	1186	778	1628	863	788	679
	mediane	3346	8315	1527	6267	2245	1156	882
	moyenne	14533	35320	3673	16077	3339	1565	1239
	P90	29221	77428	9353	29990	7919	2724	2278
	max	421127	421127	53533	383746	19308	4365	7261
Arsenic	effectif	623	97	145	306	33	42	283
	min	0,3	93	0,3	8	228	175	67
	P10	210	215	182	279	264	205	169
	mediane	498	1023	275	609	483	342	263
	moyenne	1029	2319	375	1074	499	398	374
	P90	2060	4992	710	1963	770	665	664
	max	17944	17944	1875	11148	1242	915	2990
Zinc	effectif	622	96	145	306	33	42	284
	min	82	82	212	214	317	373	139
	P10	445	441	368	1143	389	380	234
	mediane	5541	1022	779	10576	663	606	387
	moyenne	8630	2981	2660	14715	3321	1994	740
	P90	19620	6683	6347	28080	8131	6615	950
	max	135781	10546	22465	135781	15232	9200	8566
Fer (g/kgMS)	effectif	623,0	97,0	145,0	306,0	33,0	42,0	284,0
	min	22,3	29,9	30,3	22,3	38,1	31,6	18,7
	P10	40,6	39,9	40,0	41,4	41,3	41,6	35,9
	mediane	61,7	79,0	51,8	66,6	55,5	53,5	52,0
	moyenne	90,1	141,6	54,9	98,5	58,1	57,4	69,7
	P90	163,0	244,3	73,4	172,6	83,6	73,6	92,1
	max	1059,9	1059,9	79,1	600,2	89,0	105,9	857,0
Manganèse	effectif	583	71	145	292	33	42	282
	min	32	39	585	32	347	498	267
	P10	617	328	848	593	848	781	583
	mediane	1189	808	1386	1105	1055	1660	1336
	moyenne	1463	1088	1540	1501	1180	1792	1808
	P90	2479	2228	2423	2740	1766	2790	3403
	max	13240	3964	4157	13240	1904	4226	10157

Tableau 6 : Tableau de données statistiques par secteur pour As, Pb, Zn, Cd, Sb, Fe et Mn

Pour mémoire, les secteurs cités dans le tableau ci-dessus sont les suivants (cf figure 2) :

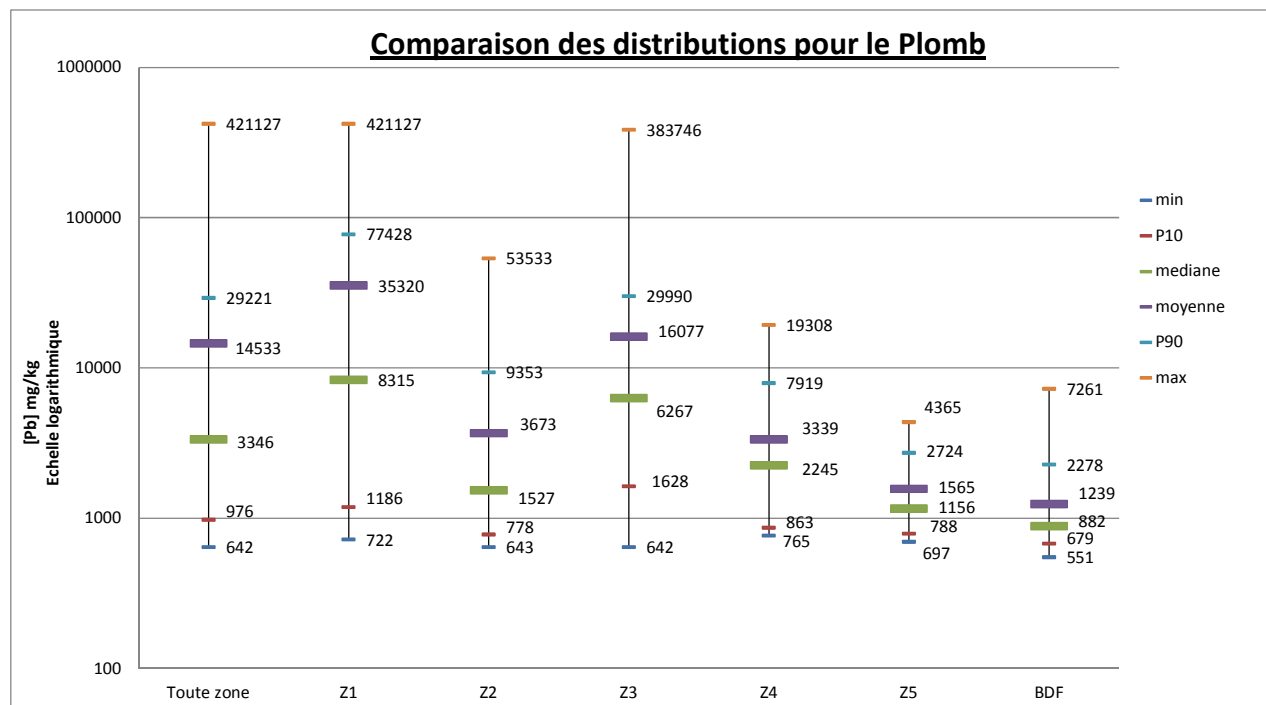
- Secteur 1 : Ancienne mine Joseph et usages aval hydraulique Mine Joseph
- Secteur 2 : Riverains aval anciennes mines de la Vieille Montagne
- Secteur 3 : Anciennes mines de la Vieille Montagne
- Secteur 4 : Gravouillère et Fabrique
- Secteur 5 : Pallières et usages aval ruisseau Aiguesmortes

En première approche, ce tableau permet de montrer que la distribution des teneurs dans les secteurs 4, 5 et 6 est du même ordre de grandeur pour les éléments métalliques ci-dessus, à l'exception du plomb.

Les graphiques aux pages suivantes comparent les distributions observées sur les différents secteurs avec celle du bruit de fond géochimique local (BDF local) pour les éléments cités ci-dessus.



o **Plomb (mesures après corrélation) :**



**Figure 5 : Graphique de comparaison des distributions pour le plomb**

Le graphique ci-dessus amène les observations suivantes sur la répartition des distributions en plomb :

- ✓ La moyenne du **BDF local** est de l'ordre de 1 239 mg/kgMS. Cette moyenne montre que la distribution des teneurs est légèrement influencée par quelques valeurs hautes, en effet 29 % des valeurs sont supérieures à la moyenne. Cependant, cette moyenne reste relativement représentative des teneurs rencontrées dans des matériaux naturels fortement minéralisés. A titre indicatif, cette teneur est comprise dans la gamme de valeurs observées dans le cas de fortes anomalies naturelles du programme ASPITET de l'INRA-ADEME, gamme déterminée à partir de zones à fortes minéralisations au contact entre bassins sédimentaires et massifs cristallins ainsi que sur des paléosols ferrallitiques soit un contexte relativement similaire à celui du secteur d'étude. Le percentile 90 (P90) du BDF local est quant à lui de 2 278 mg/kgMS ;
- ✓ En **Secteur 1**, la moyenne des teneurs est de l'ordre de 35 320 mg/kgMS alors que la médiane est à 8315 mg/kg MS. Cette moyenne est environ 29 fois supérieure à celle du BDF local et est fortement influencée par quelques valeurs hautes (24% des teneurs sont supérieures à cette moyenne). Ces quelques fortes teneurs sont essentiellement retrouvées au niveau de l'ancien dépôt de stériles de l'ancienne mine Joseph reflétant ainsi l'impact de cette ancienne exploitation minière. A noter que ces dépôts ne sont pas accessibles pour la randonnée et qu'aucun usage n'y a été observé ;
- ✓ En **Secteurs 2 et 4**, les moyennes de teneurs sont respectivement de 3 673 et 3 339 mg/kg MS soit environ 3 fois supérieures à celle du BDF local. Ces moyennes sont fortement influencées par quelques valeurs élevées (25 à 27 % des teneurs sont supérieures à ces moyennes), les anomalies en plomb semblent donc être localisées notamment sur le secteur 2 (dépôt de sédiments, envol de poussières, ...) ;
- ✓ En **Secteur 3**, la moyenne des teneurs est de l'ordre de 16 077 mg/kgMS soit 13 fois supérieure à celle du BDF local. La distribution est légèrement asymétrique, tirée par quelques valeurs élevées (23 %) localisée essentiellement au droit des anciennes activités minières (dépôt de stériles du puits N°3 et du puits N°1, ancienne laverie). Cette moyenne élevée reflète l'impact des anciennes activités minières sur le milieu sol ;

- ✓ En **Secteur 5**, la distribution apparait plus homogène avec une moyenne de teneur d'environ 1 565 mg/kgMS (38% des teneurs sont supérieures à cette valeur) soit de l'ordre de grandeur de la moyenne du BDF local. Ce secteur ne semble donc pas subir d'impact des anciennes activités minières et semble représentative d'une zone témoin.

○ **Arsenic (mesures après corrélation) :**

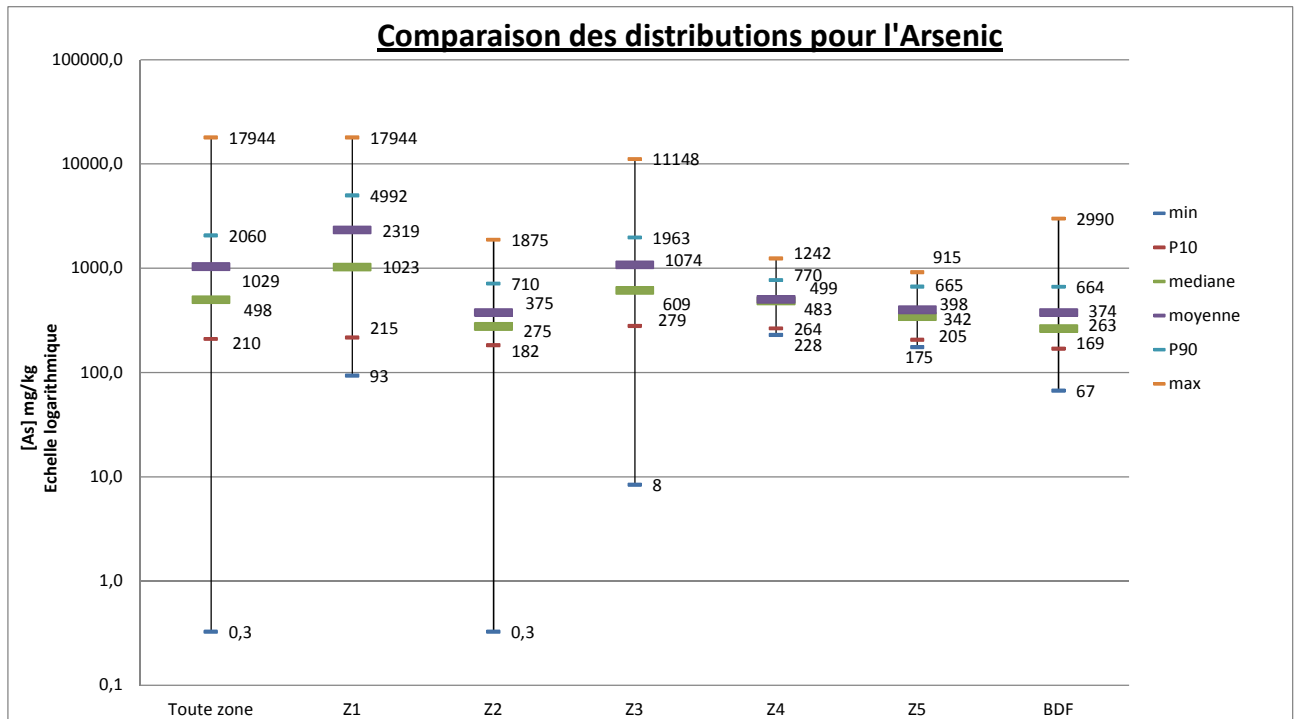


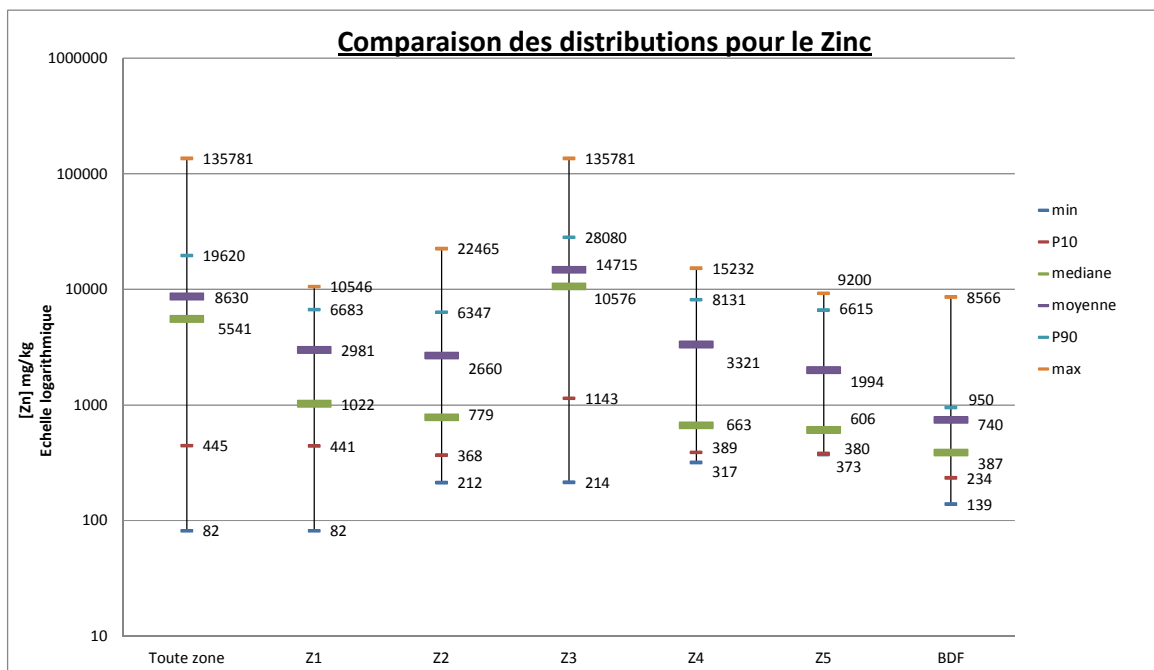
Figure 6 : Graphique de comparaison des distributions pour l'arsenic

Le graphique ci-dessus amène les observations suivantes sur la répartition des distributions :

- ✓ La moyenne du **BDF local** est de l'ordre de 374 mg/kgMS. Cette moyenne montre que la distribution des teneurs est relativement homogène bien que légèrement influencée par quelques valeurs hautes, en effet 30 % des valeurs sont supérieures à la moyenne. Cependant, cette moyenne reste relativement représentative des teneurs rencontrées dans des matériaux naturels fortement minéralisés. A titre indicatif, cette teneur est légèrement supérieure (31%) à la gamme de valeurs observées dans le cas de fortes anomalies naturelles du programme ASPITET de l'INRA-ADEME, gamme déterminée à partir de zones à fortes minéralisations au contact entre bassins sédimentaires et massifs cristallins, soit un contexte relativement similaire à celui du secteur d'étude. Le P90 du BDF local est de 664 mg/kgMS ;
- ✓ En **Secteur 1**, la moyenne des teneurs est de l'ordre de 2 319 mg/kgMS. Cette moyenne est environ 6 fois supérieure à celle du BDF local et est influencée par quelques valeurs hautes (33% des teneurs sont supérieures à cette moyenne). Ces quelques fortes teneurs sont essentiellement retrouvées au niveau de l'ancien dépôt de stériles de l'ancienne mine Joseph reflétant ainsi l'impact de cette ancienne exploitation minière ;
- ✓ En **Secteur 2**, la moyenne des teneurs est de 375 mg/kg MS soit du même ordre de grandeur que celle du BDF local. Cette moyenne est influencée par quelques valeurs élevées (28% des teneurs sont supérieures à la moyenne). Les anomalies en arsenic semblent donc être localisées (dépôt de sédiments, envol de poussières, ...), pour autant l'impact des anciennes activités minières ne semble pas être mis en évidence sur ce secteur d'étude concernant le paramètre arsenic ;

- ✓ En **Secteur 3**, la moyenne des teneurs est de l'ordre de 1 074 mg/kgMS soit 3 fois supérieure à celle du BDF local. La distribution est asymétrique, tirée par quelques valeurs élevées (27 %) localisée essentiellement au droit des anciennes activités minières (dépôt de stériles du puits N°3 et du puits N°1, ancienne laverie). Cette moyenne élevée reflète l'impact des anciennes activités minières sur le milieu sol ;
- ✓ En **Secteur 4**, la distribution des teneurs est homogène, 49 % des teneurs sont supérieures à la moyenne. La moyenne, d'environ 499 mg/kgMS, est très légèrement supérieure à celle du BDF local (environ 1,3 fois) mais ne permet pas de mettre en évidence un impact des anciennes activités minières sur ce secteur d'étude ;
- ✓ En **Secteur 5**, la distribution apparaît également symétrique avec une moyenne de teneur d'environ 398 mg/kgMS (43% des teneurs sont supérieures à cette valeur) soit de l'ordre de grandeur de la moyenne du BDF local. Ce secteur ne semble donc pas subir d'impact des anciennes activités minières et semble représentative d'une zone témoin.

○ **Zinc (mesures après corrélation) :**



**Figure 7 : Graphique de comparaison des distributions pour le zinc**

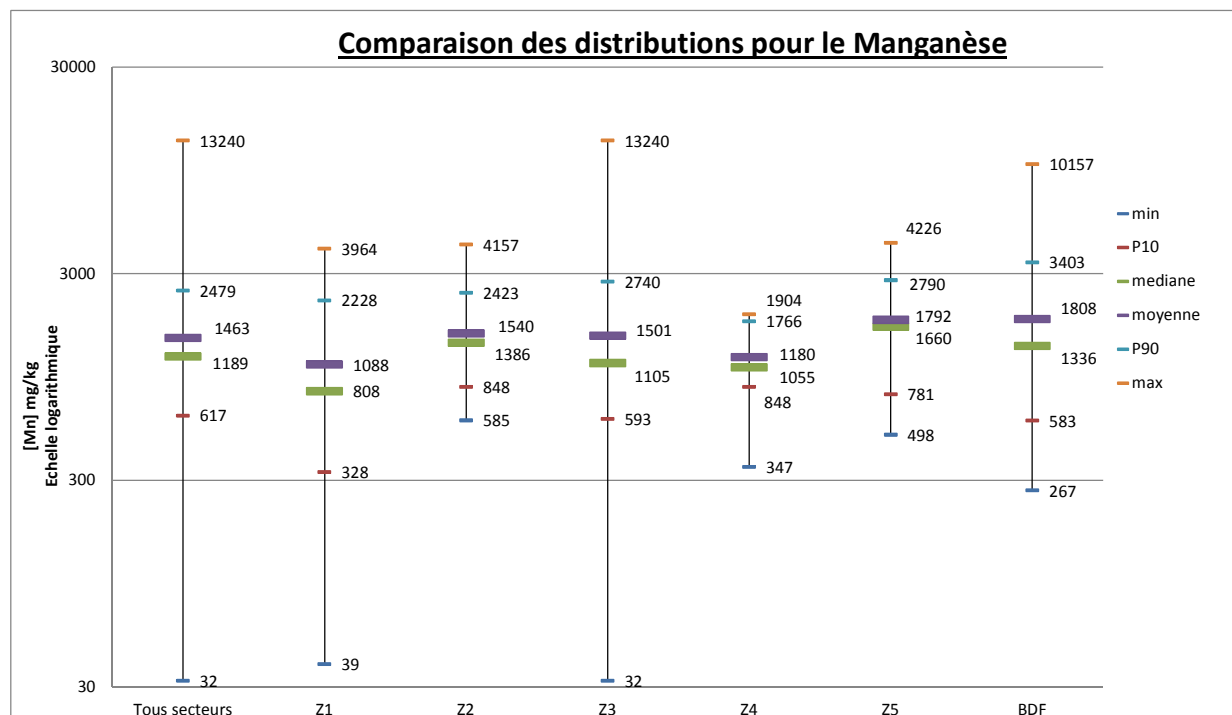
Le graphique ci-dessus amène les observations suivantes sur la répartition des distributions pour le zinc :

- ✓ La moyenne du **BDF local** est de l'ordre de 740 mg/kgMS. Cette moyenne montre que la distribution des teneurs est relativement asymétrique, influencée par quelques valeurs hautes, en effet 16% des valeurs sont supérieures à la moyenne. Cependant, cette moyenne reste relativement représentative des teneurs rencontrées dans des matériaux naturels fortement minéralisés. A titre indicatif, cette teneur est comprise dans la gamme de valeurs observées dans le cas de fortes anomalies naturelles du programme ASPITET de l'INRA-ADEME, gamme déterminée à partir de zones à fortes minéralisations au contact entre bassins sédimentaires et massifs cristallins ainsi que sur des paléosols ferrallitiques soit un contexte relativement similaire à celui du secteur d'étude. Le P90 du BDF local est de 950 mg/kgMS ;
- ✓ En **Secteur 1**, la moyenne des teneurs est de l'ordre de 2 981 mg/kgMS. Cette moyenne est environ 4 fois supérieure à celle du BDF local. La distribution est cependant relativement homogène puisque 41% des teneurs sont supérieures à cette moyenne. Les plus fortes teneurs sont essentiellement retrouvées au niveau de l'ancien dépôt de stérile de l'ancienne mine Joseph ;

- ✓ En **Secteur 2**, la moyenne des teneurs est de 2 660 mg/kgMS soit 4 fois supérieure à celle du BDF local. Cette moyenne est influencée par quelques valeurs élevées (29% des teneurs sont supérieures à la moyenne). Les anomalies en zinc semblent donc être localisées (dépôt de sédiments, envol de poussières, ...)
- ✓ En **Secteur 3**, la moyenne des teneurs est de l'ordre de 14 715 mg/kgMS soit 20 fois supérieure à celle du BDF local. La distribution est légèrement asymétrique, tirée par quelques valeurs élevées (34 %) localisée essentiellement au droit des anciennes activités minières (dépôt de stériles du puits N°3 et du puits N°1, ancienne laverie). Cette moyenne élevée semble refléter l'impact des anciennes activités minières sur le milieu sol ;
- ✓ En **Secteur 4**, la distribution des teneurs est très légèrement asymétrique, 39 % des teneurs sont supérieures à la moyenne. La moyenne, d'environ 3 331 mg/kgMS, est environ 4,5 fois supérieure à celle du BDF local ;
- ✓ En **Secteur 5**, la distribution apparaît également asymétrique avec une moyenne de teneur d'environ 1 994 mg/kgMS (24% des teneurs sont supérieures à cette valeur) soit 3 fois supérieur à celle du BDF local.

Concernant le paramètre zinc, l'ensemble des secteurs d'étude présente une moyenne de teneur environ 4 fois plus élevée que celle du bruit de fond géochimique local, hormis sur le secteur 3. A contrario du plomb et de l'arsenic, ce constat ne permet pas de mettre en évidence un impact avéré des anciennes activités minières sur les sols de surface des secteurs 1, 2, 4 et 5 concernant le zinc. En revanche, un impact est identifié sur le secteur 3.

○ **Manganèse (mesures après corrélation) :**



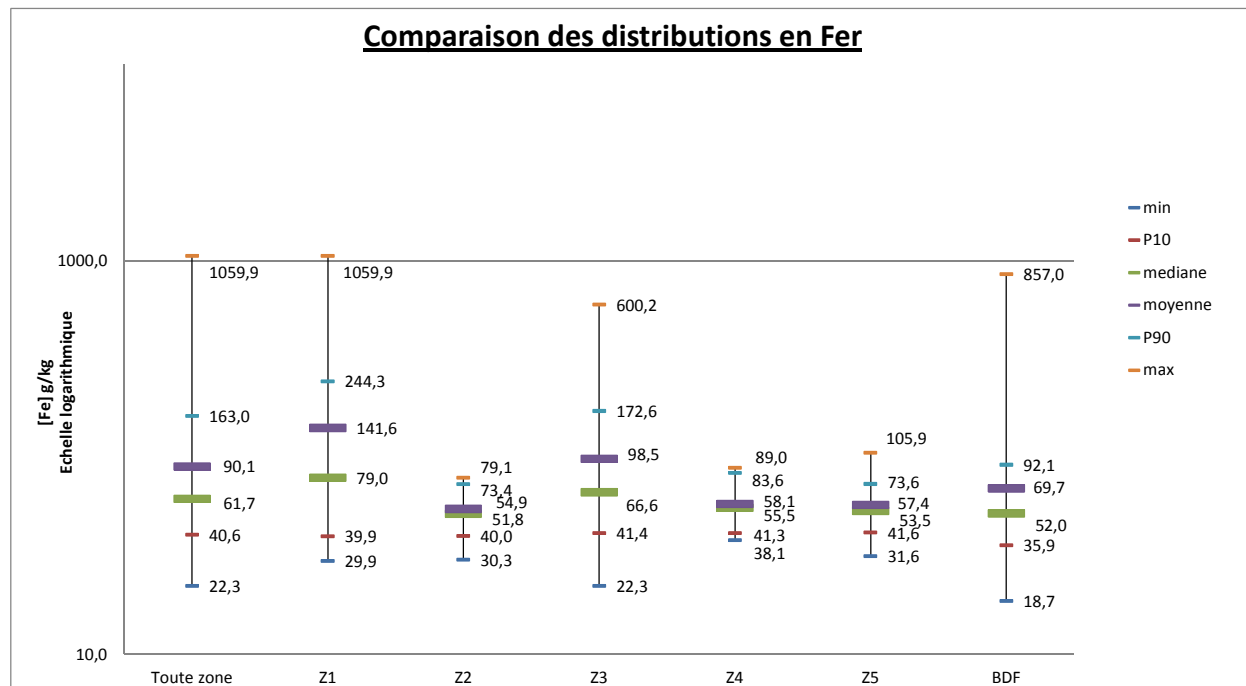
**Figure 8 : Graphique de comparaison des distributions pour le manganèse**

Le graphique ci-dessus amène les observations suivantes sur la répartition des distributions en manganèse :

- ✓ La moyenne du **BDF local** est de l'ordre de 1 808 mg/kgMS. Cette moyenne montre que la distribution des teneurs est légèrement asymétrique, en effet 33% des valeurs sont supérieures à la moyenne. Cependant, cette moyenne reste relativement représentative des teneurs rencontrées dans des matériaux naturels fortement minéralisés. Le P90 du BDF local est de 3 403 mg/kgMS ;

- ✓ Sur l'ensemble des **secteurs 1 à 5**, les moyennes de teneurs sont de l'ordre de grandeur et même inférieures à celle du BDF local ;
- ✓ En **Secteurs 1 et 3**, les distributions sont légèrement tirées vers les valeurs hautes, respectivement 27 et 29% des valeurs sont supérieures à la moyenne ;
- ✓ En **Secteurs 2, 4 et 5** les distributions des teneurs sont relativement symétriques, les moyennes et médianes sont du même ordre de grandeur ;
- ✓ Les distributions des teneurs sur les différents secteurs ne mettent pas en évidence d'impact des anciennes activités minières concernant le paramètre manganèse.

○ **Fer (mesures après corrélation) :**



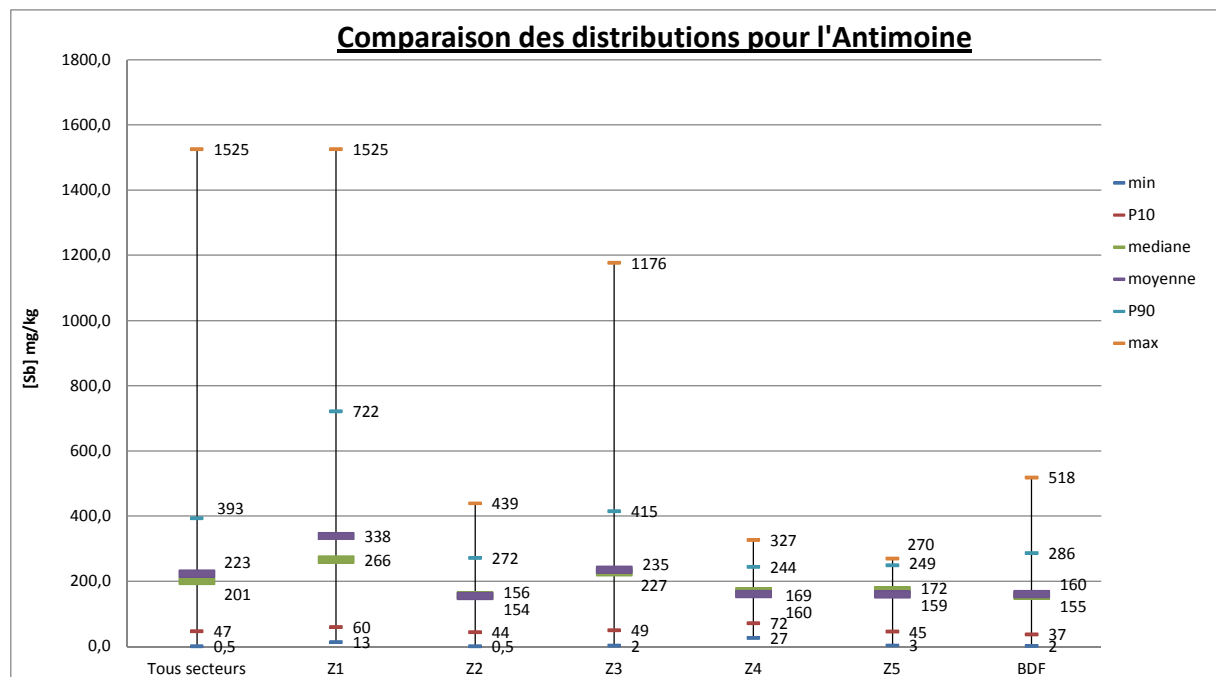
**Figure 9 : Graphique de comparaison des distributions pour le fer**

Le graphique ci-dessus amène les observations suivantes sur la répartition des distributions en fer :

- ✓ La moyenne du **BDF local** est de l'ordre de 69,7 g/kgMS. Cette moyenne montre que la distribution des teneurs est relativement asymétrique, en effet 21% des valeurs sont supérieures à la moyenne. Cependant, cette moyenne reste relativement représentative des teneurs rencontrées dans des matériaux naturels fortement minéralisés. Le P90 du BDF local est de 92,1 g/kgMS ;
- ✓ En **Secteurs 1 et 3**, les distributions sont également tirées vers les valeurs hautes, respectivement 34 et 26% des valeurs sont supérieures à la moyenne. Les moyennes de teneurs sont de 142 g/kgMS en secteur 1 et 98 g/kgMS en secteur 3 soit respectivement 4 et 1,5 fois supérieur à celle du BDF local. Ces teneurs semblent mettre en évidence une influence des anciennes activités minières sur ces deux secteurs d'étude ;
- ✓ En **Secteurs 2, 4 et 5** les distributions des teneurs sont relativement symétriques, les moyennes et médianes sont du même ordre de grandeur. Les moyennes de teneurs de ces trois secteurs sont inférieures à celle du BDF local donc représentatives du milieu naturel non impacté.



**Antimoine (en relatif + Analyses labo – pas de corrélation satisfaisante) :**



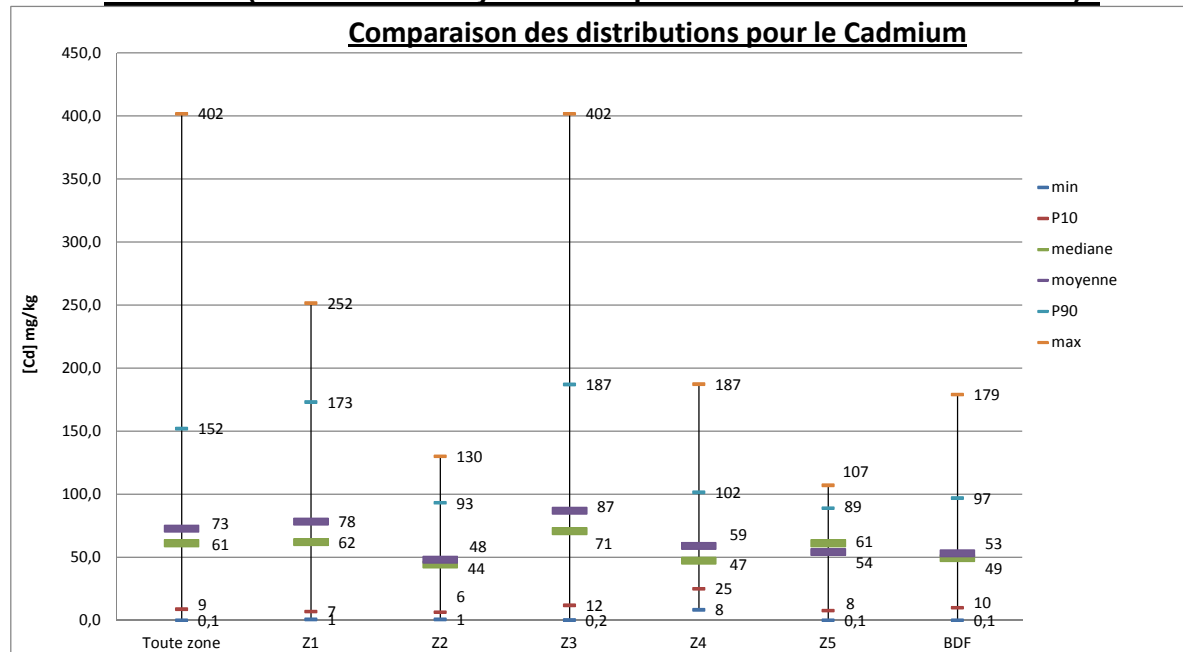
**Figure 10 : Graphique de comparaison des distributions pour l'antimoine**

Le graphique ci-dessus amène les observations suivantes sur la répartition des distributions en antimoine (basée sur les données relatives obtenues à l'XRFP) :

- ✓ La moyenne du **BDF local** est de l'ordre de 160 mg/kgMS. Cette moyenne montre que la distribution des teneurs est symétrique, en effet 48% des valeurs sont supérieures à la moyenne. Cette moyenne est relativement représentative des teneurs rencontrées dans des matériaux naturels fortement minéralisés. Le P90 du BDF local est de 286 mg/kgMS ;
- ✓ En **Secteur 1** la distribution est légèrement tirée vers les valeurs hautes, 34% des valeurs sont supérieures à la moyenne. La moyenne de teneurs est de 338 mg/kgMS soit 2 fois supérieure à celle du BDF local mais de l'ordre de grandeur du P90 du BDF local. Cette teneur ne semble pas mettre en évidence une influence significative des anciennes activités minières sur ce secteur d'étude ;
- ✓ En **Secteur 3**, la distribution est symétrique, 46% des valeurs sont supérieures à la moyenne. La moyenne des teneurs est de 235 mg/kgMS soit environ 1,5 fois supérieur à celle du BDF local. Cette teneur ne permet pas de mettre en évidence une influence significative des anciennes activités minières sur ce secteur d'étude pour le paramètre antimoine ;
- ✓ En **Secteurs 2, 4 et 5** les distributions des teneurs sont relativement symétriques, les moyennes et médianes sont du même ordre de grandeur. Les moyennes de teneurs de ces trois secteurs sont du même ordre de grandeur que celle du BDF local donc représentatives du milieu naturel non impacté.

L'analyse des résultats analytiques en antimoine sur les sols envoyés en laboratoire, ont montré des teneurs variant de 6,8 à 1 100 mg/kgMS. 9 échantillons sur 40 présentent une teneur supérieure à la moyenne du fond géochimique régional (74 mg/kgMS) dont 2 sur 7 en Secteur 1, 6 sur 15 en Secteur 3 et 1 sur 7 en Secteur 5. **Les teneurs les plus élevées en antimoine semblent associées aux teneurs élevées en plomb et arsenic.** A titre indicatif, 4 échantillons sur 40 présentent une teneur supérieure à la moyenne du fond géochimique local déterminé à partir des données relatives obtenues à l'XRFP (160 mg/kgMS). Ces échantillons sont localisés en Secteur 1 (1 sur 7) et en Secteur 3 (3 sur 15).

○ **Cadmium (en relatif + Analyses labo – pas de corrélation satisfaisante) :**



**Figure 11 : Graphique de comparaison des distributions pour le cadmium**

Le graphique ci-dessus amène les observations suivantes sur la répartition des distributions en cadmium (basée sur les données relatives obtenues à l'XRFP) :

- ✓ La moyenne du **BDF local** est de l'ordre de 53 mg/kgMS. Cette moyenne montre que la distribution des teneurs est relativement symétrique, en effet 48% des valeurs sont supérieures à la moyenne. Elle est relativement représentative des teneurs rencontrées dans des matériaux naturels fortement minéralisés. Le P90 du BDF local est de 97 mg/kgMS ;
- ✓ En **Secteur 1**, la distribution est très légèrement tirée par quelques valeurs hautes mais reste relativement symétrique, 41% des valeurs sont supérieures à la moyenne. La moyenne de teneurs est de 78 mg/kgMS soit 1,5 fois supérieure à celle du BDF local. Cette teneur ne permet pas de mettre en évidence un impact significatif des anciennes activités minières sur ce secteur d'étude ;
- ✓ En **Secteur 3**, la distribution est légèrement asymétrique, 36% des valeurs sont supérieures à la moyenne. La moyenne de teneurs est de 87 mg/kgMS soit environ 2 fois supérieure à celle du BDF local mais de l'ordre de grandeur du P90 du BDF local. Cette teneur ne semble pas mettre en évidence un impact significatif des anciennes activités minières sur ce secteur d'étude pour le paramètre cadmium ;
- ✓ En **Secteurs 2, 4 et 5** les distributions des teneurs sont relativement symétriques, les moyennes et médianes sont du même ordre de grandeur à l'exception du secteur 4 (39% des valeurs sont supérieures à la moyenne). Les moyennes de teneurs de ces trois zones sont du même ordre de grandeur que celle du BDF local voire légèrement inférieure pour le secteur 2. Elles sont donc représentatives du milieu naturel non impacté.

L'analyse des résultats analytiques en cadmium sur les sols, envoyés en laboratoire, ont montré des teneurs variant de la limite de quantification analytique (<0,4 mg/kgMS) à 230 mg/kgMS : 19 échantillons sur 40 présentent une teneur supérieure à la moyenne du fond géochimique régional (8 mg/kgMS) dont 2 sur 7 en Secteur1, 1 sur 6 en Secteur 2, 15 sur 15 en Secteur 3 et 1 sur 5 en Secteur 4. **Les teneurs les plus élevées en cadmium sont associées aux teneurs les plus fortes en zinc.** A titre indicatif, 11 échantillons sur 40 présentent une teneur supérieure à la moyenne du fond géochimique local déterminé à partir des données relatives obtenues à l'XRFP (53 mg/kgMS). Ces échantillons sont tous localisés en Secteur 3.

#### IV.3.2.3 Interprétation des résultats autres ETM : Ba, Cu, Ni, Cr, Se, Hg

L'analyse des résultats analytiques de ces éléments métalliques sur les sols envoyés en laboratoire, est la suivante :

- **Baryum** : les teneurs en Baryum varient de la limite de quantification analytique (<5 mg/kgMS) à 460 mg/kgMS. 3 échantillons sur 40 présentent des teneurs supérieures à la moyenne du fond géochimique régional (212 mg/kgMS) dont 1 sur 5 en Secteur 4 et 2 sur 7 en Secteur 5. L'échantillon du secteur 4 présente également une teneur supérieure au P90 du fond géochimique régionale (345 mg/kgMS). **Les teneurs les plus élevées en Baryum ne sont pas associées aux teneurs les plus élevées en arsenic, plomb et zinc ;**
- **Cuivre** : les teneurs sont majoritairement (37 échantillons sur 40) supérieures à la moyenne et au percentile 90 du fond géochimique régional (34 mg/kgMS et 68 mg/kgMS respectivement). A titre indicatif, les teneurs pour chaque secteur sont majoritairement comprises dans la gamme de valeurs d'anomalies naturelles fortes du programme ASPITET (y compris le secteur 5 de Pallières). Ponctuellement, les teneurs les plus importantes (>160 à 1100 mg/kgMS) ont été mesurées au niveau de la mine Joseph et en Secteur 3 (4 valeurs sur 15) mais ces résultats restent difficilement interprétables car les teneurs en cuivre ne semblent pas suivre la même évolution que les teneurs en Pb, As ou Zn ;
- **Nickel** : les teneurs varient de la limite de quantification analytique (<3 mg/kgMS) à 46 mg/kgMS, elles restent du même ordre de grandeur quel que soit le secteur et ne semblent donc pas associées aux éléments traceurs de l'activité minière. Seuls 2 échantillons sur 40 (1 en Secteur 2 et 1 en Secteur 4) présentent une teneur supérieure mais de l'ordre de grandeur de la moyenne du fond géochimique régional (33 mg/kgMS) ;
- **Chrome** : les teneurs varient de 2,4 à 46 mg/kgMS, elles restent du même ordre de grandeur pour chaque secteur et sont inférieures à la moyenne du fond régional (59 mg/kgMS). Les teneurs les moins élevées sont observées en Secteur 3 ;
- **Mercure** : les teneurs varient de 0,18 à 36 mg/kgMS et semblent associées aux éléments traceurs de l'activité minière (As et Pb). Il n'existe pas de mesures de fond géochimique dans la région pour ce paramètre. A titre indicatif, 4 échantillons sur 40 présentent une teneur supérieure à la moyenne du fond géochimique local déterminé à partir des données relatives obtenues à l'XRFP (8 mg/kgMS) dont 3 sur 15 en Secteur 3 et 1 sur 4 en Secteur 4. A titre indicatif également, 15 échantillons sur 40, localisés majoritairement en Secteur 3, présente une teneur supérieure à la gamme d'anomalie naturelle modérée de la base de données ASPITET de l'INRA/ADEME ;
- **Sélénium** : l'ensemble des teneurs est inférieur à la limite de quantification analytique (<5 mg/kgMS). Ces teneurs ne sont pas associées aux éléments traceurs de l'activité minière. Il n'existe pas de valeur de fond géochimique dans la région pour ce paramètre.

**L'impact des anciennes activités minières est significatif pour l'arsenic et le plomb. Au vue des résultats analytiques, les autres traceurs identifiés relatifs aux anciennes activités minières restent le zinc, le cadmium et l'antimoine, cependant l'impact sur le milieu sols est moins important pour ces éléments que pour que l'arsenic et le plomb.** Les teneurs pour le cuivre restent difficilement interprétables vis-à-vis d'un impact lié aux activités minières. Les résultats analytiques n'ont pas permis de mettre en évidence un impact des anciennes activités sur le périmètre d'étude pour les éléments Nickel, Chrome, Sélénium, Baryum, Fer et Manganèse.

#### IV.3.2.4 Représentation cartographique pour les traceurs majoritaires de l'activité minière (Pb, As et Zn)

Des **cartes de profils des teneurs en métaux (Pb, As, Zn) dans les sols superficiels de l'ensemble des cinq secteurs** mesurées à l'XRFP et « corrigées » à l'aide des droites de corrélation sont données en **annexe 8**.

Ces cartes présentent, sur un fond aérien de zonage, les teneurs en métaux des sols superficiels obtenues pour chaque point de mesure réalisés à l'XRFP. Pour chaque mesure, un profil coloré montre la teneur en Plomb, Arsenic et Zinc dans les sols superficiels. Ce profil a été établi selon 5 classes de teneur « arbitraires » issues de l'analyse statistique des données (cf §V.3.2), afin de faciliter l'interprétation des données (en intégrant notamment la moyenne et le P90 du fond géochimique local de chaque élément, calculés à partir de nos mesures « environnement témoin »). Ces classes tiennent également compte de la distribution statistique des teneurs sur l'ensemble de la zone d'étude.

##### Limitations de la cartographie :

- Ces cartographies ont pour but uniquement de représenter spatialement la répartition par classes de teneurs. Ces cartographies ne permettent pas d'évaluer les risques pour la santé humaine.
- La cartographie est basée sur des mesures sur lesquelles les facteurs de corrélation propres à chaque substance ont été appliqués (cf courbes de corrélation en Annexe 4).
- La précision des cartographies est dépendante de :
  - La dérive du GPS de terrain pouvant exister dans des zones boisées ou peu couvertes par les satellites ;
  - La précision des fonds de plan (carte IGN, photographie aérienne, cadastre) ;
  - La précision du géoréférencement sous le SIG.

Aussi de légères distorsions ou petits décalages peuvent exister sur certains points de mesure entre le rendu cartographique et la réalité de terrain.

- Ces représentations cartographiques ont vocation à dégager des secteurs présentant des anomalies plus importantes que d'autres, les contours et valeurs numériques associées à ces anomalies ne sauraient être considérés stricto sensu.

Les interprétations relatives à ces cartographies sont les suivantes :

### ○ Plomb:

#### ➤ Pour le Secteur 1 :

- Des teneurs très élevées au droit des dépôts de stériles miniers de l'ancienne mine Joseph et de l'ancienne installation de traitement du minerai au niveau des Autiés ;
- Des teneurs élevées en face des actuels dépôts de stériles miniers au droit d'une zone d'extraction où sont encore visibles des entrées de galeries, ainsi qu'au niveau des sédiments du Paleyrolle ;
- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude ;
- Des teneurs élevées au niveau de certains points d'usage : sédiments à proximité du captage AEP de la source du Moulin Baron, habitation et jardin potager au niveau des Autiés.



➤ **Pour le Secteur 2 :**

- Des teneurs très élevées à proximité immédiate de l'ancienne mine Joseph ;
- Des teneurs élevées au droit des dépôts de sédiments et des zones d'inondation, au droit des zones de culture ainsi que dans l'axe des vents dominants ;
- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude ;
- Des teneurs élevées au droit de certains points d'usage : habitations avec jardins potagers, cultures (vignes).

➤ **Pour le Secteur 3 :**

- Des teneurs très élevées au droit et à proximité immédiate des anciennes activités minières d'extraction, de traitement et de stockage de stériles ainsi qu'au niveau des dépôts de sédiments et zones d'inondation ;
- Des teneurs élevées au droit et à proximité immédiate des anciennes activités minières y compris celles de la Croix de Pallières ainsi que dans l'axe des vents dominants en aval du dépôt UMICORE ;
- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude ;
- Des teneurs élevées au droit de certains points d'usage : habitations temporaires avec jardins potagers et poulaillers, chemin de randonnée, terrain de cross.

➤ **Pour le Secteur 4 :**

- Des teneurs très élevées au niveau du lit de l'Aiguesmortes (dépôts de sédiments) ;
- Des teneurs élevées au niveau des dépôts de sédiments et zones d'inondation, au niveau et aux abords de la voie de circulation principale desservant les habitations de « La Gravouillère » ;
- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude ;
- Des teneurs élevées au droit de certains points d'usage : habitations avec jardins potagers, cultures (verger pédagogique), chemin de randonnée.

➤ **Pour le Secteur 5 :**

- Des teneurs élevées au droit des dépôts de sédiments et zones d'inondation, au niveau des habitats temporaires au Nord-est de Pallières ainsi qu'au Sud de Pallières. La présence de ces deux dernières zones d'anomalie qui ne semble pas liée à l'activité minière peuvent éventuellement trouver une explication dans la nature géologique des terrains et notamment l'existence d'une lentille de terrain Triasique ou encore le passage aux formations dolomitiques présentant des teneurs en fer un peu plus élevées que dans les calcaires indifférenciés du reste du secteur et pouvant influencer la mesure du plomb ;
- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude ;
- Des teneurs élevées au droit de certains points d'usage : habitations avec jardins potagers et poulailler, culture (vergers), chemin routier/randonnée.

**Aussi les cartographies des teneurs en Plomb semblent montrer l'influence des anciennes installations de traitement physique et chimique du minerai avec un gradient de teneurs réparti depuis les anciennes activités minières et dépôts de stérile miniers, dans l'axe des vents dominants et des dépôts de sédiments et qui décroît de part et d'autre de l'axe d'allongement des vallées de l'Aiguesmortes et du Paleyrolle.**

## ○ **Arsenic:**

### ➤ **Pour le Secteur 1 :**

- Des teneurs très élevées au droit des dépôts de stériles miniers de l'ancienne mine Joseph et de l'ancienne installation de traitement du minerai au niveau des Autiés ainsi qu'en face des actuels dépôts de stériles miniers au droit d'une zone d'extraction où sont encore visible des entrées de galeries ;
- Des teneurs élevées, au niveau des sédiments et des zones d'inondation et à proximité des dépôts de stériles de l'ancienne mine Joseph ;
- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude ;
- Des teneurs élevées au niveau de certains points d'usage : habitation au niveau des Autiés ayant accueillie une ancienne usine de traitement du minerai.

### ➤ **Pour le Secteur 2 :**

- Des teneurs très élevées à proximité immédiate de l'ancienne mine Joseph ;
- Des teneurs élevées au droit des dépôts de sédiments et des zones d'inondation ainsi que dans l'axe des vents dominants ou réparti aléatoirement sur le Secteur ;
- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude ;
- Des teneurs élevées au droit de certains points d'usage : habitations avec jardins potagers.

### ➤ **Pour le Secteur 3 :**

- Des teneurs très élevées au droit des anciennes activités minières d'extraction, de traitement et de stockage de stériles ainsi qu'au niveau des dépôts de sédiments et zones d'inondation ;
- Des teneurs élevées au droit et à proximité immédiate des anciennes activités minières y compris celles de la Croix de Pallières ;
- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude ;
- Des teneurs élevées au droit de certains points d'usage : habitations temporaires avec jardins potagers et poulailler, chemin de randonnée, terrain de cross.

### ➤ **Pour le Secteur 4 :**

- Des teneurs élevées au droit et à proximité immédiate de « La Fabrique », au niveau des dépôts de sédiments et zones d'inondation de l'Aiguesmortes ;
- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude.

### ➤ **Pour le Secteur 5 :**

- Des élevées à très élevées au droit des dépôts de sédiments et zones d'inondation, au niveau des habitats temporaires au Nord-est de Pallières ainsi qu'au Sud de Pallières. La présence de ces deux dernières zones d'anomalie qui ne semble pas liée à l'activité minière peuvent éventuellement trouver une explication dans la nature géologique des terrains et notamment l'existence d'une lentille de terrain Triasique ou encore le passage aux formations dolomitiques présentant des teneurs en fer un peu plus élevées que dans les calcaires indifférenciés du reste du secteur et pouvant influencer la mesure de l'arsenic ;

- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude ;
- Des teneurs élevées au droit de certains points d'usage : habitations avec jardins potagers et poulailler, chemin routier/randonnée.

Aussi les cartographies des teneurs en Arsenic montrent la même logique de répartition que celle du plomb (influence des anciennes installations de traitement physique et chimique du minerai, des dépôts de stérile miniers, des vents dominants et des dépôts de sédiments).

## ○ Zinc:

### ➤ Pour le Secteur 1 :

- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local pour la moitié des mesures ;
- Des teneurs plus élevées au niveau des anciennes installations minières (ancienne mine Joseph et usine de traitement au niveau des Autiés), des actuels dépôts de stériles miniers de l'ancienne mine Joseph et des zones de dépôts de sédiments du Paleyrolle ;
- La répartition des teneurs élevées en Zinc semble associée aux teneurs élevées en plomb et en arsenic.

### ➤ Pour le Secteur 2 :

- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local pour la moitié des mesures ;
- Des teneurs plus élevées à proximité immédiate de l'ancienne mine Joseph, au droit des dépôts de sédiments et des zones d'inondation ainsi que dans l'axe des vents dominants ;
- La répartition des teneurs élevées en Zinc semble associée aux teneurs élevées en plomb et en arsenic.

### ➤ Pour le Secteur 3 :

- Des teneurs élevées au droit et à proximité immédiate des anciennes activités minières d'extraction, de traitement et de stockage de stériles miniers ;
- Un gradient de teneur s'observe avec des teneurs plus moins élevées au droit des anciennes activités minières d'extraction, de traitement et de stockage de stériles y compris au niveau de la Croix de Pallières ainsi qu'au niveau des dépôts de sédiments et zones d'inondation et dans l'axe des vents dominants en aval du dépôt de résidus de traitement Umicore ;
- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude ;
- La répartition des teneurs élevées en Zinc semble associée aux teneurs élevées en plomb et en arsenic.

### ➤ Pour le Secteur 4 :

- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local pour 78% des mesures ;
- Des teneurs plus élevées au droit des dépôts de sédiments et des zones d'inondation ;
- La répartition des teneurs élevées en Zinc semble associée aux teneurs élevées en plomb et en arsenic.

➤ **Pour le Secteur 5 :**

- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local pour 79% des mesures ;
- Des teneurs plus élevées au droit des dépôts de sédiments et des zones d'inondation ainsi qu'au niveau de la « source ferrugineuse » au Sud de Pallières et de façon éparse sur le reste du secteur.

Aussi les cartographies des teneurs en Zinc mettent en évidence un léger gradient de teneur réparti depuis les anciennes activités minières et dépôts de stérile miniers, dans l'axe des vents dominants et des dépôts de sédiments et qui décroît de part et d'autre de l'axe d'allongement des vallées de l'Aiguesmortes et du Paleyrolle.

**Cependant, l'influence des anciennes installations de traitement physique et chimique du minerai semble moins significative que pour le plomb et l'arsenic.**

**Les cartographies des teneurs en métaux notamment en Plomb et Arsenic montrent l'influence :**

- **des anciennes installations minières implantées par le passé au niveau de l'ancienne mine Joseph, de la Vieille Montagne (Puits n°3 et n°1), de la Croix de Pallières et des Autiés,**
- **des sédiments déposés dans le lit majeur du Paleyrolle et de l'Aiguesmortes lors d'épisodes de crues sur les teneurs rencontrées dans les sols,**
- **des vents dominants d'orientation plus ou moins Nord-Sud.**

**La même logique de répartition spatiale des teneurs s'observe concernant le Zinc mais de façon moins évidente.**

IV.3.2.5 Comparaison des données XRPF, 2012 et celles de GEODERIS, 2007

La comparaison des mesures entre la campagne de 2012 et celle réalisée en 2007 par GEODERIS est limitée pour les raisons suivantes :

- le nombre de points réalisé par ICF Environnement (907 points) est beaucoup plus important que celui réalisé dans le cadre de la campagne GEODERIS (63 points) ;
- l'étude GEODERIS s'est attachée particulièrement à l'étude des haldes et dépôts de résidus dans le cadre de l'Inventaire Des Risques Miniers (IRM) environnementaux. Les mesures de la campagne de 2012 couvrent une zone d'étude plus étendue y compris les zones étudiées par GEODERIS à l'exception du dépôt de stériles. Les mesures de 2012 ont été réalisées dans le cadre d'une Interprétation de l'Etat des Milieux, au regard des usages constatés (habitations, sentiers de randonnée, moto-cross, manifestations musicales, etc.).

Toutefois, nous avons réalisé la comparaison par groupes de valeurs dans des secteurs communs de mesure.

**Ainsi, malgré quelques différences observées sur certains points de mesures ou certains métaux, les résultats obtenus lors de la présente campagne à l'XRFP restent globalement cohérents avec ceux obtenus par Geoderis.**



### IV.3.3 Interprétations des résultats pour les paramètres cyanures totaux, pH, teneur en eau, granulométrie

Les résultats analytiques en laboratoire sur ces différents paramètres mesurés dans les sols montrent :

#### ➤ Pour les cyanures totaux

- Au droit de la zone de l'ancienne laverie, les teneurs varient de la limite de quantification analytique (<1 mg/kgMS) à 2,3 mg/kgMS. 8 échantillons sur 24 dans le secteur présentent des teneurs supérieures à la LQ, du même ordre de grandeur ;
- L'absence de quantification ou des teneurs équivalentes à la LQ (1 mg/kgMS) au niveau des jardins potagers ;
- Des cyanures ont été quantifiés à des teneurs plus faibles 0,13 et 0,27 mg/kgMS au niveau des points d'usage (poulailler et verger dans le secteur de Pallières) ;

*N.B. La LQ des cyanures n'est pas la même entre la campagne d'Août et celle de Septembre. Ayant l'information du niveau de contamination des échantillons après analyses des métaux, le laboratoire a préféré ne pas risquer la détérioration de leur matériel analytique et a de ce fait réalisé l'analyse des cyanures en diluant par 100 les échantillons. Ces précautions n'ont pas été prises dans les échantillons de Septembre 2012 et les niveaux de concentrations dans les métaux étaient moins importantes (secteur « environnement témoin »)*

- Aucune valeur réglementaire n'existe pour ce paramètre dans les sols. Cependant, ces teneurs sont au maximum 2 fois supérieures à la limite de quantification analytique ;
- La cartographie ci-dessous montre la répartition spatiale des échantillons pour lesquels les cyanures ont été quantifiés au niveau de l'ancienne laverie :

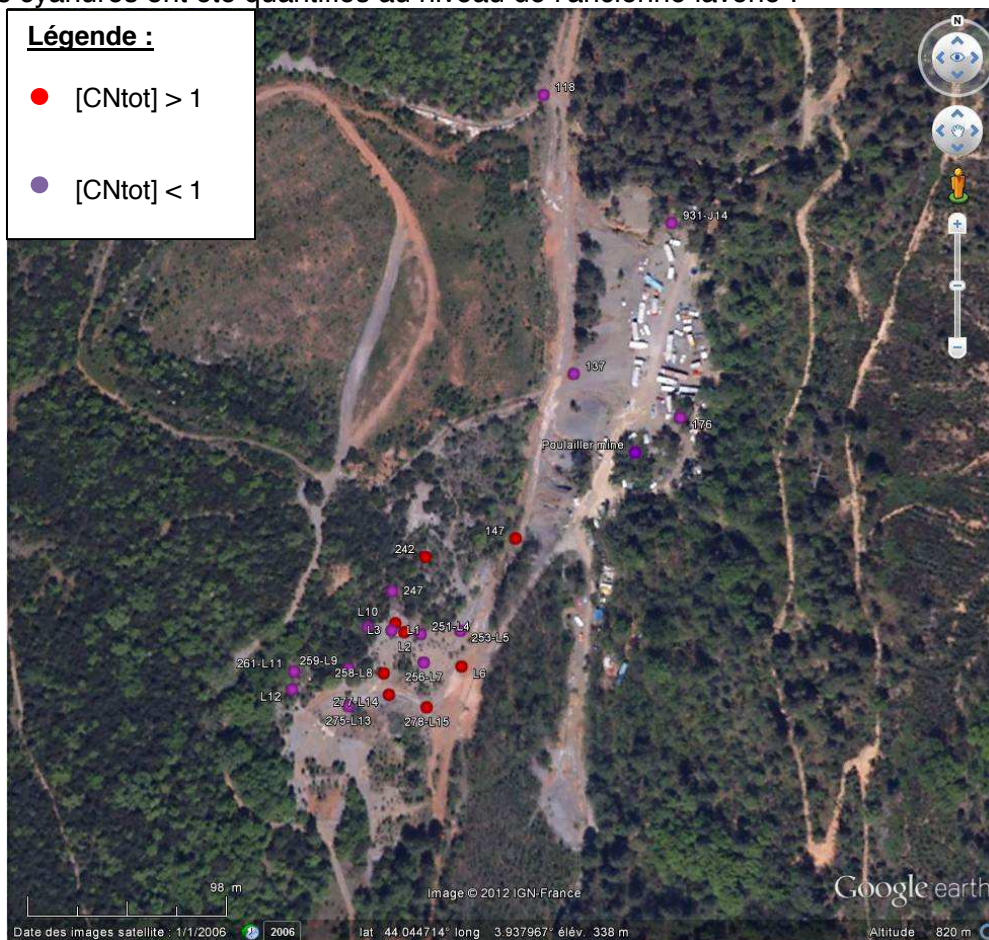


Figure 12 : Carte de localisation des analyses en cyanures totaux Secteur 3



Cette carte montre que les teneurs quantifiées en cyanures sont localisées au niveau du carreau de l'ancienne laverie puis suivent un ravinement pour rejoindre l'amont du ruisseau Aiguemortes et se poursuivre jusqu'au pied des stériles miniers. Cette anomalie n'est pas retrouvée plus en aval à l'exutoire du dépôt Umicore.

➤ **Pour le pH**

- Les valeurs varient de 4,8 à 8 ;
- Hormis le pH acide (4,8) observé au niveau des résidus de minerai de l'ancienne usine de traitement au niveau du lieu-dit des Autiés, les anciennes installations minières de traitement du minerai n'ont pas influencé le pH des sols. Ainsi les pH observés au droit et à proximité de l'ancienne laverie sont compris entre 6,8 et 7,4, ceux observés au droit et à proximité du lieu-dit La Fabrique (ancienne usine de Vitriol) sont compris entre 6,9 et 7,5.

➤ **Pour la teneur en eau**

- Les valeurs varient de 0,5 à 34,8 % avec une moyenne de 8,6 % ;
- Les valeurs plus élevées, supérieures à 20% (8 sur 56 analyses) ne mettent pas en évidence d'influence significative sur les résultats des mesures à l'XRFP.

➤ **Pour la granulométrie**

- Sur les 6 échantillons ayant fait l'objet d'une analyse granulométrique, 3 sont à dominante de sable grossier, 1 à dominante de sable fin et 2 à dominante d'argile à limon fin. La localisation des prélèvements pour analyse granulométrique est présentée ci-dessous ;

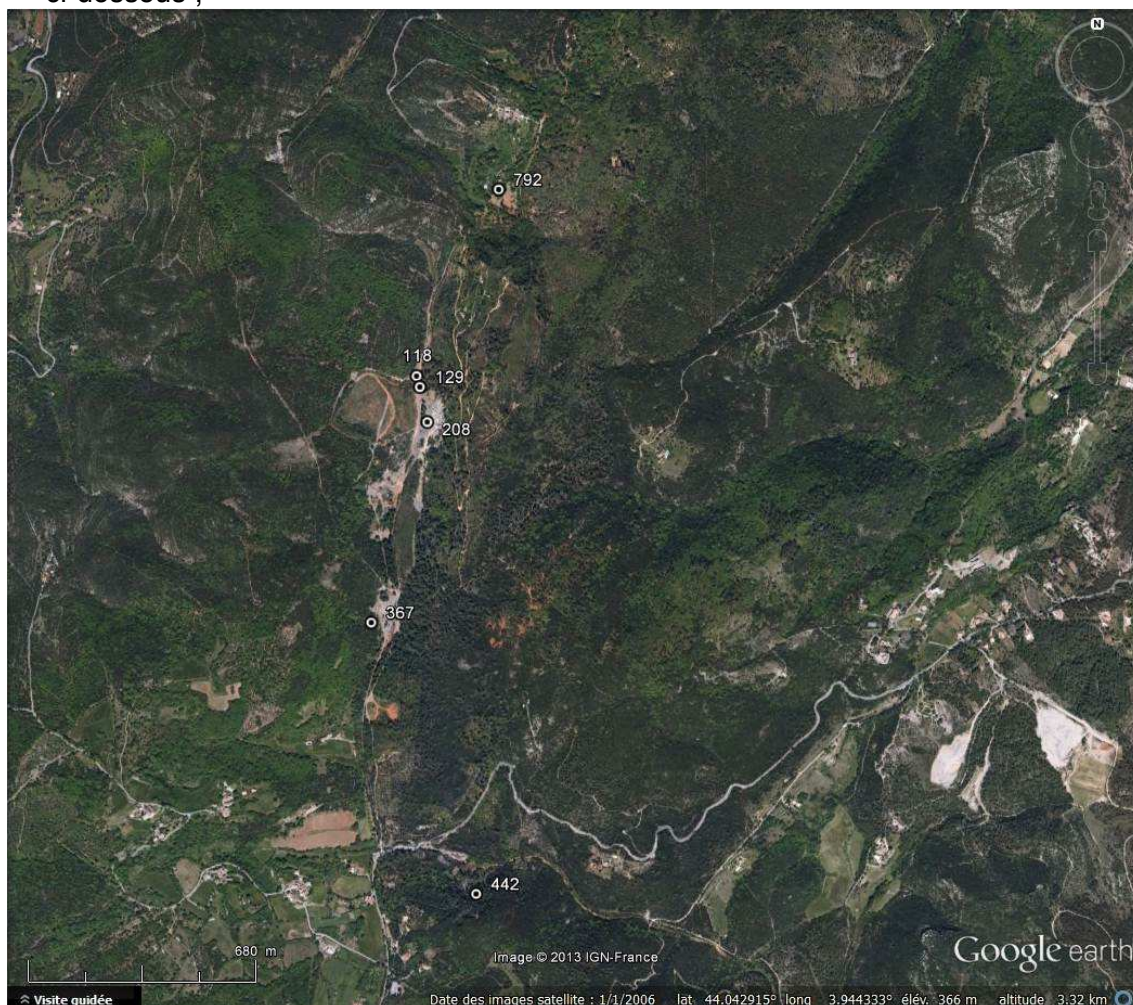


Figure 13 : Carte de localisation des analyses de granulométrie Secteurs 1, 3 et 5

- Les trois typologies de sol observées ne permettent pas de mettre en évidence une influence significative de la granulométrie sur les teneurs obtenues à l'XRFP sur les principaux éléments traceurs (les teneurs les plus hautes ne sont pas forcément corrélées à des éléments fins et vice-versa) comme le montre les graphiques ci-dessous.

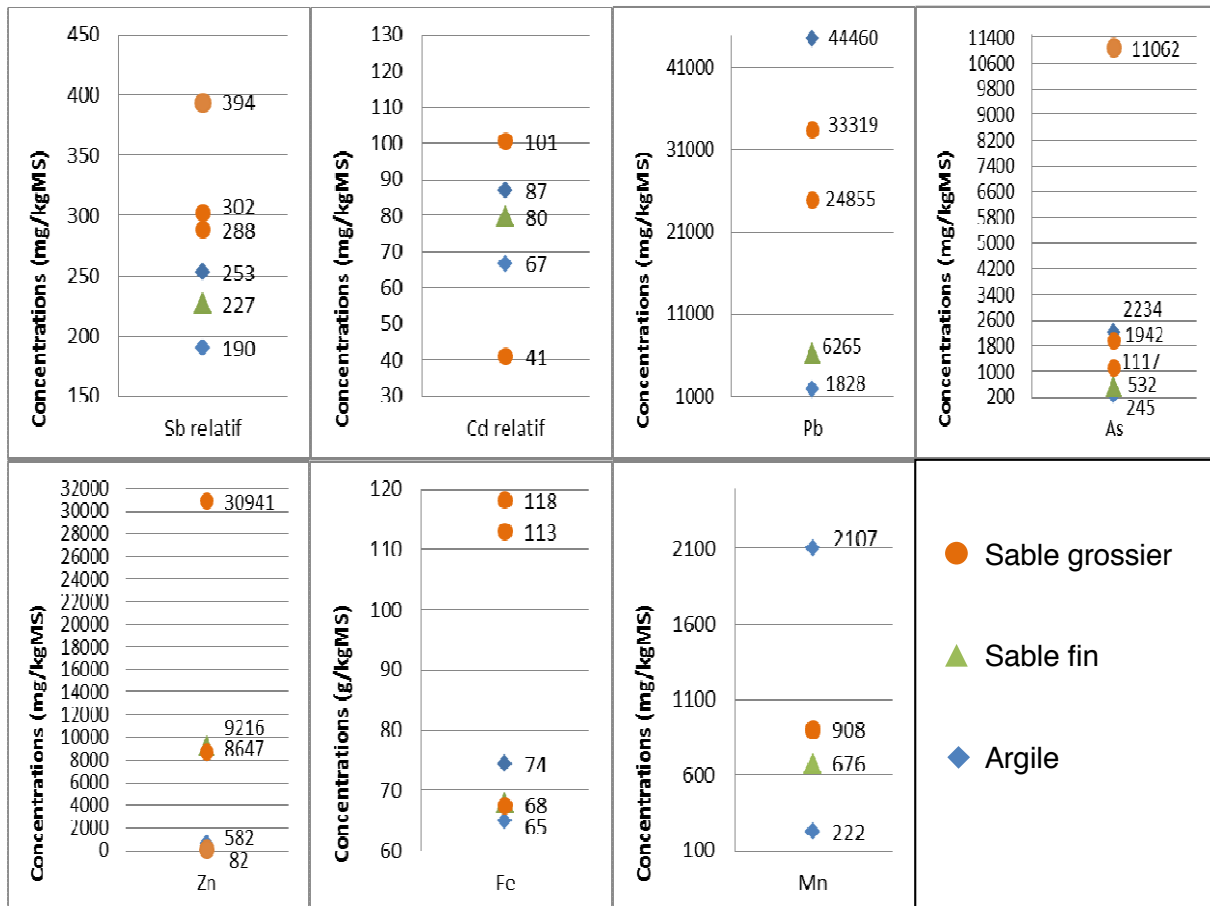


Figure 14 : Graphique de comparaison granulométrie / teneurs dans les sols obtenues à l'XRFP

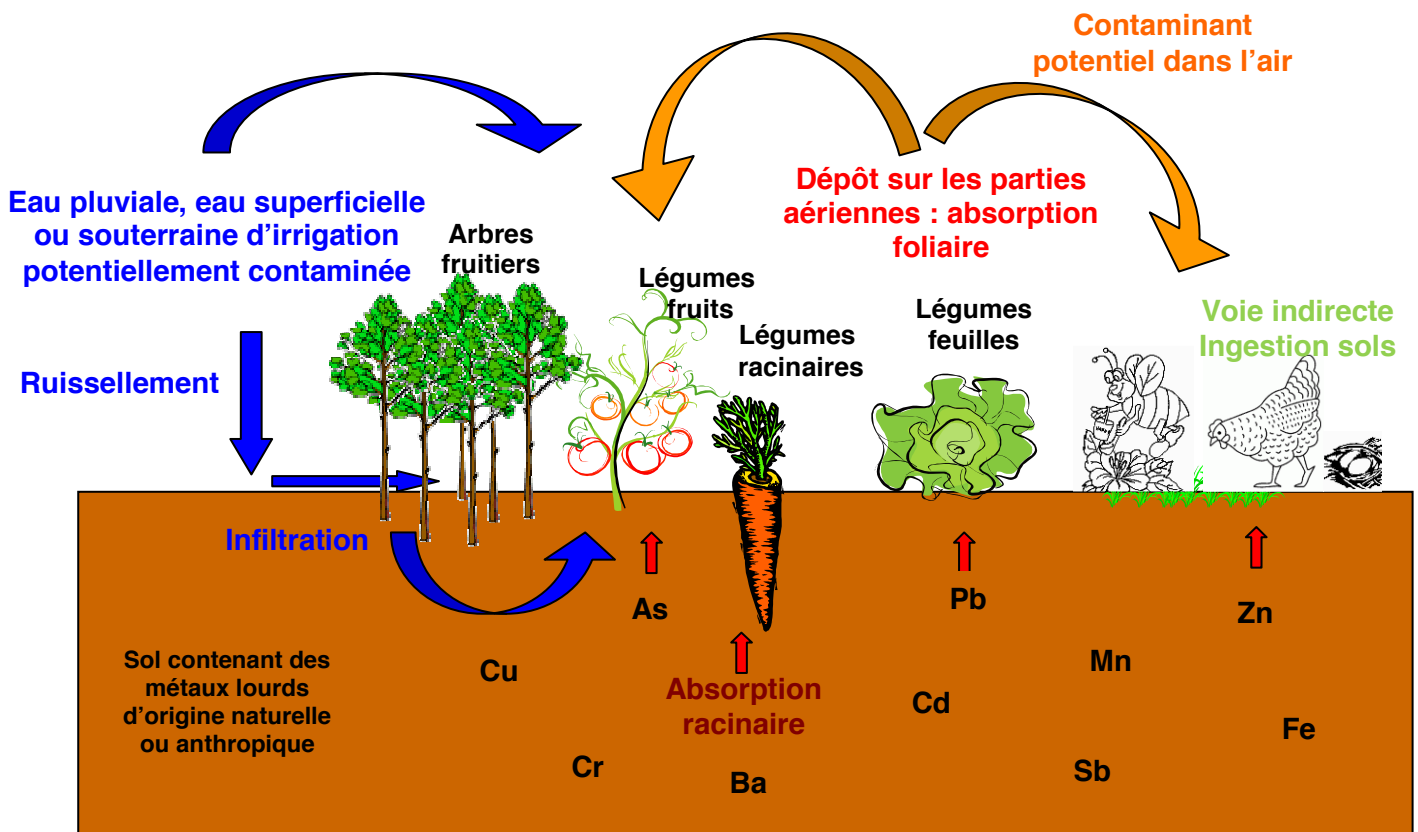
## V. CARACTERISATION DES DENREES ALIMENTAIRES

### V.1. Rappel - Voies de contamination potentielle des végétaux et autres denrées alimentaires

Les voies de contamination potentielle des végétaux sont les suivantes :

- Les sols contenant des anomalies naturelles en métaux ou des anomalies en métaux d'origine anthropique (dépôt de déchets miniers, dépôt de poussières),
- Les eaux superficielles et souterraines potentiellement contaminées et utilisées pour l'irrigation,
- Les poussières de l'air potentiellement contaminées pendant les phases de ré envols de poussières.

Figure 15 : Voies de contamination potentielle des denrées alimentaires





## V.2. Echantillonnage des denrées alimentaires

Une cartographie des usages types jardins potagers, vergers/vignes, élevages animaux a été établie lors des phases d'enquête de terrain du 5 au 28 juillet 2012.

20 jardins potagers , 1 vignoble et 2 vergers (un expérimental pour les greffes, le second pour la transformation des pommes et des poires en jus), 9 poulaillers et une miellerie (transformation du miel mais uniquement hivernage des abeilles sur le secteur d'étude) ont ainsi été recensés sur la zone d'étude ainsi qu'un apiculteur ayant des ruches sur le hameau de Panissière à environ 1 kilomètre hors zone d'étude (cf rapport ICF phase 1 AIX/12/085/IR\_V1 de Novembre 2012).

Compte tenu du démarrage de l'étude le 5 Juillet 2012, il n'a pas été possible de réaliser les mesures de sols préalablement à la sélection des jardins potagers, cultivés principalement sur la période printemps-été. Par conséquent, pour chacun des 5 secteurs, une présélection des jardins représentatifs de chaque secteur a été menée, afin de lancer la campagne d'échantillonnage des végétaux au plus tôt.

Le programme d'échantillonnage et le choix des végétaux échantillonnés ont été établis selon la stratégie détaillée dans le Rapport de Phase 1 et conformément aux recommandations du « Guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre de diagnostics environnementaux - ADEME – INERIS (2007) » et validé par le BRGM/la DREAL début Août 2012.

Comme conseillé dans le guide ADEME INERIS évoqué ci-dessus, tous les prélèvements de végétaux ont été associés à un prélèvement de sol et d'eau d'arrosage. Ils permettront ainsi de comparer les concentrations en métaux des sols, des eaux et des végétaux analysés et d'en déduire les transferts associés.

**Les prélèvements des plantes potagères ont été réalisés du 7 au 9 Août 2012, durant la période estivale compte tenu de l'exploitation des potagers uniquement l'été.**

Le programme d'échantillonnage des fruits et des œufs a été finalisé après l'analyse des mesures de sols de surface, réalisées au cours du mois d'Août 2012 au niveau de tous les vergers, du vignoble et des poulaillers recensées dans le secteur d'étude. Ce programme a été validé par le BRGM courant septembre avant la réalisation de la campagne de collecte de fruits et d'œufs.

**Les prélèvements de fruits (pommes et raisins) et d'un échantillon du jus de pomme réalisé au niveau de l'atelier de transformation ont été réalisés le 25 Septembre 2012, au moment de la saison de collecte de ces fruits et de leur transformation.**

*N.B. Pas de vendange réalisée sur le vignoble de Coumessas en 2012.*

**Les prélèvements de miel ont été réalisés le 28 novembre 2012 après validation du programme d'échantillonnage sur ce milieu par le BRGM et la DREAL le 14 Novembre 2012.** A ce stade il a été validé de collecter pour analyses deux échantillons de miel dont un témoin, correspondant à la saison de butinage la plus sèche (cas le plus défavorable en terme de concentrations en éléments métalliques dans le miel d'après les données bibliographiques existantes), à savoir, dans notre contexte, le miel récolté à l'issue de la période de butinage potentielle dans le secteur d'étude en septembre-octobre (rappel pas de butinage l'été dans la zone d'étude, cf phase 1) qui correspond à un miel majoritairement d'arbousier.

Le choix du miel « témoin », situé au niveau du hameau de Clairan, à une vingtaine de kilomètres de la zone d'étude, s'est porté sur la base des critères suivants :

- hors zone butinage dans le secteur d'étude (> 10 kilomètres) ;
- même saison de butinage et de récolte (butinage septembre-octobre et extraction en novembre 2012) ;
- même type de plantes/fleurs (arbousier majoritairement) ;
- nature géologique des terrains où sont installées les ruches, similaire (calcaire).

Au total, 29 échantillons de plantes potagères, 7 échantillons de fruits, 1 échantillon du jus de pomme, 5 échantillons d'œufs et 2 échantillons de miel ont été prélevés pour analyses dans le cadre de cette étude.

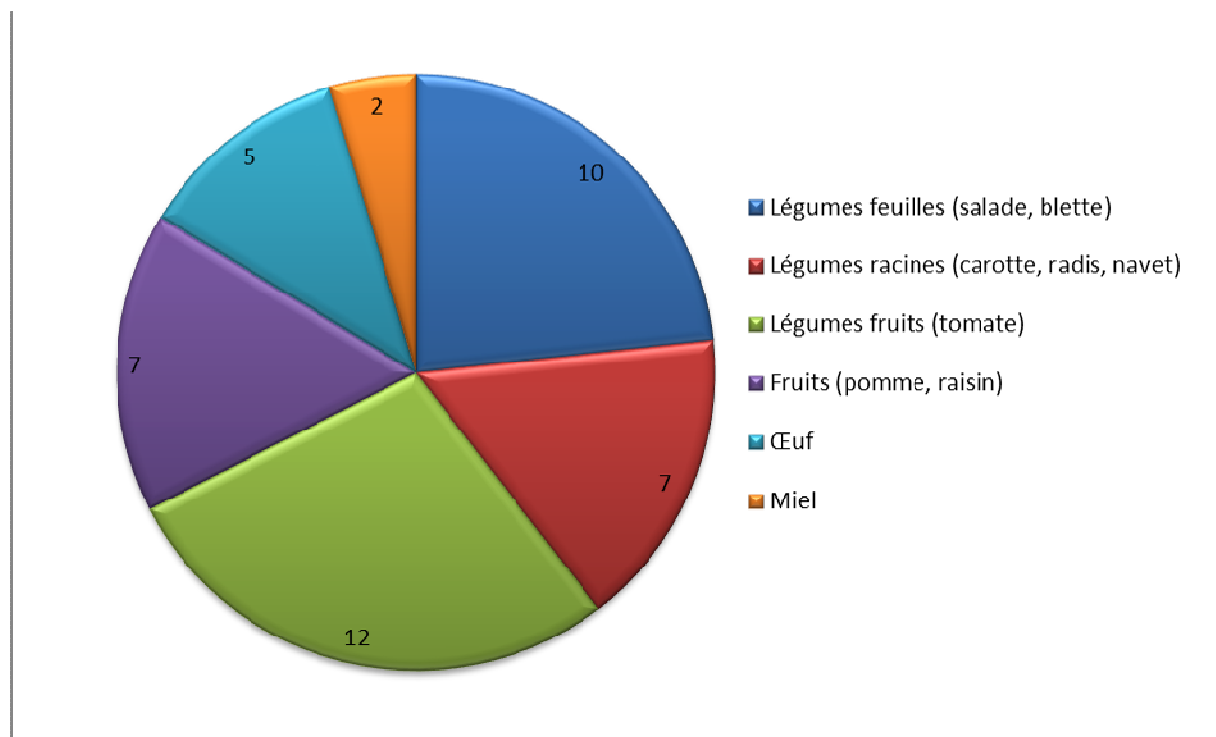


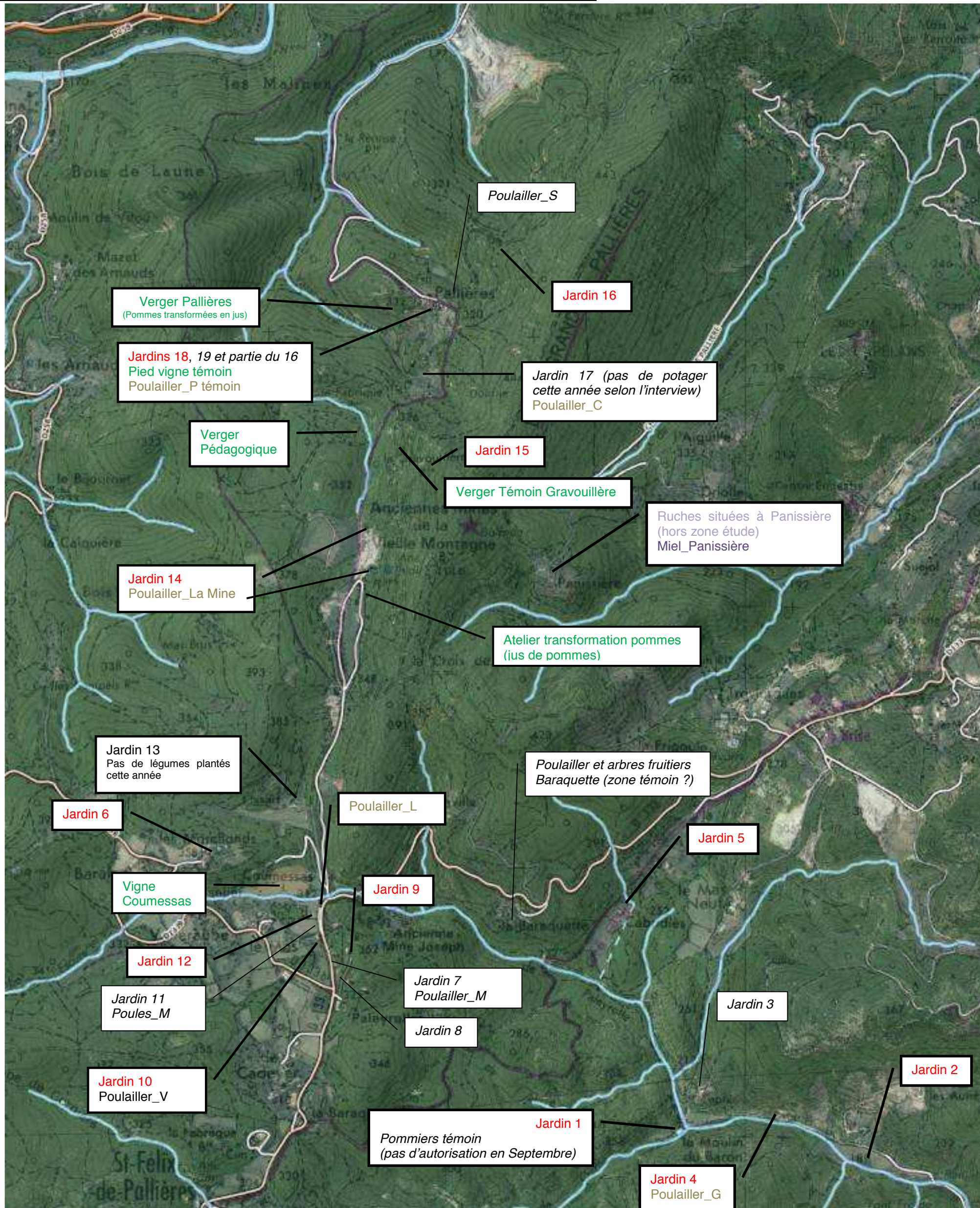
Figure 16 : Répartition des denrées alimentaires échantillonnées

La **localisation précise des différents jardins recensés et sélectionnés** associée aux différents critères de sélection est présentée sur la carte suivante.

Le tableau présenté en [p.45](#) récapitule pour chaque secteur spatial défini sur la zone d'étude, les jardins échantillonnés ainsi que les types végétaux cultivés prélevés et les autres prélèvements associés (sols, eaux).

Les fiches de prélèvement des denrées alimentaires sont présentées en [annexe 9](#).





Denrées alimentaires échantillonnées : **Plantes potagères** en rouge, **fruits** en vert, **œufs** en marron et **miel** en violet  
En noir : usages recensés mais denrées non échantillonnées

+ Un échantillon de miel témoin au niveau du hameau de Clairan (commune de Cannes et Clairan), situé à environ 20 kilomètres de la zone d'étude nommé Miel\_Clairan.

Figure 17: localisation des échantillons de denrées alimentaires



Jardin	Secteurs	Type de culture existant	Légume feuille	légume fruit	légume racine	Nbre d'échantillons plantes potagères	Nombre d'échantillons œufs poulailler	Nbre d'échantillons fruits	Echantillon d'eau d'arrosage	Echantillon d'eau	Echantillon de sol surface	Justification de la sélection du Jardin/verger/vigne
BRGM/DREAL - Anciennes mines de Saint Félix de Pallières et Thoiras - ICF Environnement												
Programme d'échantillonnage des végétaux/fruits/œufs - Mise à jour du 14/11/12												
en gras rouge : végétaux/fruits prélevés la semaine du 06 Août 2012 (majorité légumes potagers) + 22/08/12 (tomate jardin 14) + 25/09/12 (fruits, œufs et radis Jardin 15) en noir : légumes qui n'ont pas pu être échantillonnés dans le cadre de cette étude car malgré la volonté et l'accord des propriétaires des Jardins 13 et 14, au moment du recensement et lors de la campagne de prélèvement dans les autres jardins, pour planter salades, radis et tomates par leurs soins en vue d'une collecte et analyses, aucune plantation nouvelle n'a été réalisée courant été 2012 sur ces deux jardins.												
Jardin 1	Secteur 1 : aval mine Joseph	Été : Salade, tomate, Aubergine, Courgette, Haricots, pomme de terre, betterave	Salade	tomate	navet	3			eau du forage près de l'Urne	1	1	Jardin témoin pour cette zone aval, alimenté par Urne avant confluence avec ruisseau de Paleyrolle. +usages de l'eau : pas relié à l'eau de ville - eau du forage uniquement pour tous les usages
Jardin 2	Secteur 1 : aval mine Joseph	Été : maïs, tomate, salade, pomme de terre, haricots, courge, courgette, carotte, betterave	Salade	tomate	radis	3			eau de source arrosage potager - (eau de source boisson en attente au labo)	1	1	Jardin en bordure de rivière Urne, alimentée par une source sur rive droite de la rivière mais ayant été alimentée pendant des années par la rivière Urne en aval du ruisseau de Paleyrolle +usages de l'eau : pas eau de ville - eau de sources pour tous les usages
Jardin 4	Secteur 1 : aval mine Joseph	Été : poivron, tomate, salade (printemps), asperge, concombre, aubergine, petits pois, haricots	Salade	tomate		2	1		eau de source	1	1	Leur terrain aurait accueilli d'anciennes activités minières de la Mine Joseph (ancien traitement chimique - vestiges de bassins et de trémie et dépôt type "scories" lorsqu'ils sont arrivés) justifiant l'échantillonnage des légumes et des œufs produits par leurs poules.
Jardin 5	Secteur 1 : aval mine Joseph	été : tomate, salade, courgette, haricots	Salade (faible quantité)	tomate		2			eau de source	1	1	Jardin témoin, arrosé par une source. +pas relié à l'eau de ville, utilisation pour tous les usages
Jardin 6	Secteur 2 : riverains aval Mines de la Vieille Montagne	été : tomate, courgette, carottes, oignons, salade, pommes de terre	Salade	tomate	carotte	3			eau de ville	1	1	Jardin pouvant être considéré comme témoin côté Mines de Pallières, arrosé à l'eau de ville
Jardin 9	Secteur 2 : riverains aval Mines de la Vieille Montagne	Été : carotte, pomme de terre, tomate, aubergine		tomate		1			eau de source	1	1	Jardin, réalisé depuis 33 ans, situé dans le "couloir de la Mine" (envol poussières depuis les anciennes mines de la vieille Montagne?) et au-dessus de la Mine Joseph et arrosé par eau de source venant de Naville Il n'y a plus de salades dans les trois jardins 7 à 9 depuis Juillet (plantées au printemps d'après leurs dires) et pas de carotte malgré ce qui avait été dit le 20 Juillet+ les navets viennent d'être plantés. Que tomates dans ce secteur Jardins 7 à 9.
Jardin 10	Secteur 2 : riverains aval Mines de la Vieille Montagne	été : salade, céleri, pomme de terre, poivron, courgette, oignons, aubergine, tomate	Salade	tomate	Carotte	3			eau de pluie uniquement pour fleurs-eau de ville pour potager	1	1	Jardin situé dans le "couloir de la Mine", jardin de grande taille et réalisé depuis 24 ans, hors zone inondable, arrosé à l'eau de ville cette année.
Jardin 12	Secteur 2 : riverains aval Mines de la Vieille Montagne	Été : haricots, tomate, aubergine, pomme de terre, poivron, poireau, courgette, courge, blette	Blette NB. Pas de salades cette année	Tomate		2			eau de forage	1	1	Jardin pouvant être inondé par Valleraube et Paleyrolle principalement + avant arrosage jardin avec puits de la Mine + près du pont de la confluence entre Paleyrolle, le ruisseau de la Mine et le fossé côté route
Poulailler_L	Secteur 2 : riverains aval Mines de la Vieille Montagne	Pas de jardin					1		eau de ville	0		Présence d'un poulailler dans le "couloir de la mine" et ancien garage de la mine. les poules sont susceptibles d'ingérer les sols sur leur terrain, en bas du terrain du Jardin 12 (près du pont) et cet été les poules ont été observées en bas du hameau de Coumessas. Les mesures sur les sols superficiels justifient l'analyse des œufs produits au niveau de l'ancien garage de la Mine.
Vigne Coumessas	Secteur 2 : riverains aval Mines de la Vieille Montagne							1	eau de source	1	1	Vignoble dans le "couloir de la Mine" - raisin destiné à une coopérative pour vente - Sélection des raisins en fonction de l'analyse des mesures de sols superficiels réalisées en Août 2012 sur l'ensemble des terrasses du vignoble. Vigne peu productive cette année (pas de vendange cette année) en terrasse haute (raisin blanc en très faible quantité), échantillonnage de raisin rouge en quantité sur fisanne au niveau de la terrasse basse de vignoble où les teneurs en Pb notamment sont les plus importantes + échantillon envoyé déjà au laboratoire en Août 2012.
Jardin 13	Secteur 2 : riverains aval Mines de la Vieille Montagne	Jardin pour l'étude - non réalisé	Salade	tomate	radis	0			eau de source ou de forage	1		Jardin dans le "couloir de la Mine" et sur les zones d'extraction. Na pas réalisé de jardin cette année mais est volontaire pour planter salade, tomates et radis. Pombémie mesurée sur les enfants. D'après proprio, légumes plantés le 1er Août pour attente collecte. En réalité, absence de plantation (ou temps trop sec) donc aucun prélèvement de végétaux. Cependant, le prélèvement au niveau du puits (pas d'usage à ce jour mais usage potentiel futur pour arrosage et abreuvement animaux)
Jardin 14	Secteur 3 : Mines de la Vieille Montagne	Jardin pour l'étude - non réalisé	Salade	tomate	radis	1	1		eau de ville	1	2	Jardin et poulailler au droit d'anciennes activités minières. Légumes type salades et radis à planter par l'Association de la Mine suite à leur volonté d'avoir des résultats analytiques sur ces milieux - Au final, les légumes n'ont pas été plantés donc seul le prélèvement de tomates existantes a pu être réalisé fin Août. L'échantillon d'eau de ville sera collecté en bout de réseau au niveau de l'association de la Mine, à savoir au niveau de l'atelier de transformation de houblon et de pommes, permettant de connaître la qualité des eaux dans ce secteur à usage d'habitations. Ce prélèvement sera réalisé après un épisode pluvieux ou orageux.
Verger pédagogique	Secteur 3 : Mines de la Vieille Montagne							1	Même eau Jardin 18		1	Jardin pédagogique pour apprendre à greffer - présence de pommiers non utilisés à ce jour pour la fabrication de jus de fruit mais usage prévu (doute lié à l'inondabilité du terrain par le ruisseau d'Alguesmortes). Echantillon composite de pommes du verger pédagogique (les mesures dans les sols superficiels sont relativement homogènes et les pommes sont de variété similaire (type Judeline)
Verger Grav Témoin	Secteur 4 : Gravouillère et La Fabrique							1	Eau de source (cf Jardin 15)		1	géochimique (variété type Judaine) N.B. L'échantillon de pomme dit témoin a été modifié par rapport au plan d'échantillonnage du fait de l'absence de pommes (pas ou peu de production/jeunes pommiers à la Baraquette et aux Marchands) ou de la non autorisation des propriétaires (Moulin du Baron). Par conséquent, cela a été remplacé par des pommes ayant une variété similaire sur le secteur de Gravouillère au niveau d'une terrasse non susceptible d'être inondée (contrairement au verger Pallières et verger pédagogique) et avec des concentrations dans les sols de l'ordre du bruit de fond géochimique.
Jardin 15	Secteur 4 : Gravouillère et La Fabrique	été : salade, tomate, poireau, carottes, oignons, navet, courgette, roquette dans jardin Poivrons, aubergine, plants et cultures dans la serre	salade	tomate	radis	3			eau de ville et eau de source (plvt eau de source)	1	1	Anciennes activités d'extraction minière en relation avec la Fabrique. Présence d'un jardin potager et d'une serre avec plantation en pots. Arrosé par eau de ville pour le jardin potager majoritairement (terrasse du jardin plus haute que la source) et eau de source pour la serre et les arbres fruitiers aux alentours. Les radis ont été plantés la première quinzaine d'août donc ils n'ont pas pu être prélevés en même temps que les tomates et salades mais au moment du prélèvement des pommes (Sept)
Entre La Fabrique et Pallières	Secteur 4 : Gravouillère et La Fabrique	Pas d'autorisation plvt potager				0	1		eau de source (même que Jardin 16)		1	N'ont pas souhaité nous rencontrer au moment du recensement- à priori, pas de jardin cette année suite à ma conversation téléphonique avec eux. Puis nous sommes allées les voir pour l'autorisation de la campagne sols NITON sur leur terrain qu'ils ont acceptée. Au vue des concentrations relativement élevées / mesures sur le hameau de Pallières dans les sols superficiels, échantillons d'œufs de poule proposés.
Jardin 16	Secteur 5 : Pallières	Été : Salade, tomate, carotte, oignons, pomme de terre, oignons, courgette, concombre	Salade	tomate	carotte	3			eau de source (sources ferrugineuses)	1	1	Jardin considéré comme témoin arrosé avec des sources ferrugineuses "indépendantes" à priori des anciens sites miniers. Cependant minéralisation importante dans ce secteur.
Jardin 18 + vigne témoin	Secteur 5 : Pallières	Hervé : salade, tomate, betterave, poivrons, aubergine, oignons, pomme de terre, courgettes Sylvette : tomate, carotte, chou, courgette, aubergine, poivron, salade	Salade	tomate	carotte	3	1	1	eau de source (fond du Moulin)	2	1	Jardin pouvant être dit "témoin" à condition que la source du Fond du Moulin (aval hydraulique du crassier et des activités minières potentiellement) ne soit pas impactée. Source prélevée en Août dans la cuve du hameau de Pallières et après des épisodes pluvieux au niveau du bassin de Pallières (terrasse la plus basse du verger) près du ruisseau en Octobre. Présence de pieds de vigne de même nature que la terrasse basse du vignoble de Coumessas au niveau du jardin potager pouvant être utilisés comme "vigne témoin" et permet de s'affranchir des aléas géologiques sur TORNA C où sont implantés les plus proches vignobles. Présence d'un poulailler entre les jardins 18 et 19 avec des mesures sur les sols équivalents aux valeurs de fond géochimique. Poulailler témoin ? Verger alimenté par la même source que les jardins 18 et 19. Pommes utilisées pour transformation en jus de fruits, destinées à la vente. Poires non utilisées. au moins 6 variétés de pommes différentes donc Sélection des terrasses de pommiers en fonction de l'analyse des mesures de sols de surface : choix de prélever 3 variétés différentes dans la partie basse du verger de Pallières correspondant aux trois terrasses de pommes longeant le ruisseau d'alguesmortes avec des mesures sols superficiels parmi les plus élevés en plomb et arsenic (variétés judaine, judeline et locart vert) et un jus de pommes réalisés au niveau de l'atelier de transformation au niveau de l'association de la Mine avec les pommes issues de ces terrasses.
Verger Pallières	Secteur 5 : Pallières							4	Même eau Jardin 18		1	

Tableau 7 : Programme d'échantillonnage des denrées alimentaires hors miel

### V.3. Résultats des analyses sur les denrées

Les tableaux présentés en **annexe 10** synthétisent les **résultats d'analyse sur les végétaux**.

Les **bordereaux d'analyses sur les végétaux du laboratoire Wessling** sont fournis en **annexe 11**.

### V.4. Interprétation des résultats sur les denrées alimentaires

#### V.4.1 *Interprétation des résultats dans les plantes potagères*

L'analyse des résultats analytiques montrent :

- La présence significative de **plomb** dans tous les échantillons de légumes feuilles (salades ou blettes) (0,19 à 4,3 mg/kgMB, de légumes racinaires (carottes ou radis) (0,14 à 12 mg/kgMB) et dans 5 échantillons sur 12 de légumes fruits (tomates) (<0,02 à 0,16 mg/kgMB) ;
- La présence significative de **zinc** dans tous les échantillons de légumes feuilles (2,9 à 24 mg/kgMB, de légumes racinaires (2,4 à 17 mg/kgMB) et dans 11 échantillons sur 12 de légumes fruits (tomates) (<1 à 2,7 mg/kgMB) ;
- La présence d'**arsenic** dans 6 échantillons sur 10 (<0,1 à 0,54 mg/kgMB) de légumes feuilles, 3 échantillons sur 7 (<0,1 à 0,57 mg/kgMB) de légumes racinaires. L'arsenic n'est pas quantifié dans les légumes fruits dans les 12 échantillons ;
- La présence significative de **cadmium** dans tous les échantillons de légumes feuilles (0,02 à 0,56 mg/kgMB, de légumes racinaires (0,02 à 0,29 mg/kgMB) et dans 9 échantillons sur 12 de légumes fruits (tomates) (<0,01 à 0,08 mg/kgMB) ;
- La présence significative de **baryum** dans 8 échantillons sur 10 (<0,2 à 42 mg/kgMB) de légumes feuilles, 7 échantillons sur 7 (1,7 à 5,2 mg/kgMB) de légumes racinaires et 1 échantillon sur 12 (<0,2 à 0,66 mg/kgMB) ;
- La présence de **mercure** dans 3 échantillons sur 10 (<0,005 à 0,012 mg/kgMB) de légumes feuilles, 4 échantillons sur 7 (<0,005 à 0,02 mg/kgMB) de légumes racinaires. Le mercure n'est pas quantifié dans les légumes fruits dans les 12 échantillons ;
- La présence de **cuivre** dans tous les échantillons de légumes feuilles (<0,2 à 68 mg/kgMB) et légume fruits (0,45 à 1,1 mg/kgMB), 6 échantillons sur 7 (<0,2 à 1,2 mg/kgMB) de légumes racinaires ;
- La présence de **fer et manganèse** de manière très hétérogène dans les légumes feuilles ( $8 < [Fe] < 160$  mg/kgMB et  $0,2 < [Mn] < 28$ ) et les légumes racinaires ( $15 < [Fe] < 149$  mg/kgMB et  $0,92 < [Mn] < 7,3$ ) et de manière relativement homogène dans les légumes fruits ( $1,9 < [Fe] < 4,5$  mg/kgMB et  $0,65 < [Mn] < 2,3$ ), mettant en évidence que les légumes feuilles et racinaires absorbent plus d'éléments métalliques en relation avec la composition des sols ;
- L'absence de quantification en **antimoine, chrome, nickel et sélénium** dans l'ensemble des végétaux analysés (29 échantillons) ;
- L'absence de quantification des **cyanures totaux** dans les légumes feuilles (<0,5 mg/kgMB), la quantification dans le même ordre de grandeur dans les légumes racinaires (environ 0,4 mg/kgMB) et des teneurs inférieures ou équivalentes à la limite de quantification (valeur quantifiée = 0,32 mg/kgMB) dans les légumes fruits.

*N.B. Les limites de quantification peuvent varier en fonction du type de légumes du fait de l'interférence générée par la matrice elle-même.*



#### V.4.1.1 Comparaison par rapport aux jardins témoins

##### **Pour le secteur de la Mine Joseph (Jardins 1, 2, 4 et 5)**

Lors du recensement, les Jardin 1 et Jardin 5 avaient été identifiés comme potentiels Jardins témoins, sous réserve d'une qualité de sols équivalente au bruit de fond ambiant et de l'absence d'anomalie dans les eaux d'arrosage. Le Jardin 2 avait été sélectionné du fait qu'il était situé au droit d'une source potentielle de pollution et le Jardin 4 du fait de sa position au bord de la rivière Ourne, en aval du ruisseau de Palleyrolle (zone potentiellement inondable et arrosage avec l'eau de la rivière par les propriétaires précédents).

Par comparaison des résultats sur ce secteur 1, les teneurs en éléments quantifiés sont :

- dans les **légumes fruits**, du même ordre de grandeur ;
- dans les **légumes racinaires**, plus importantes dans les légumes du Jardin 1 (navet) que celles du Jardin 2 (radis), à l'exception du plomb, cadmium et zinc, traceurs de l'activité minière.

*Nota : il n'a pas été possible de cueillir le même légume racinaire dans les deux jardins et il n'y avait pas d'espèce racinaire au niveau des autres jardins de ce secteur.*

- Dans les **légumes feuilles**, par comparaison avec les teneurs dans le Jardin 5 :
  - Du même ordre de grandeur ou inférieures pour l'arsenic, le baryum, cuivre, mercure, fer, manganèse ;
  - Supérieures dans les autres jardins pour le plomb, cadmium et zinc pour certains jardins :
    - Pb : Jardin 4 (6 fois plus élevée), Jardin 1 (2,6 fois plus élevée).
    - Cd : Jardin 4 (11 fois plus élevée), Jardin 2 (6 fois plus élevée) et Jardin 1 (2 fois plus élevée).
    - Zn : Jardins 2 et 4 (environ 3 fois plus élevées).

*Nota : les teneurs en Plomb dans la salade et le navet du Jardin 1 sont relativement élevées par rapport aux teneurs mesurées dans les autres Jardins tout secteur considéré. C'est pourquoi, les comparaisons ont été réalisées par rapport au Jardin « témoin » 5.*

##### **Pour les secteurs des anciennes mines de Pallières**

Suite au recensement, les jardins dits « témoins » étaient Jardin 18 (hameau de Pallières), Jardin 16 (même si présent sur une zone plus fortement minéralisée) et Jardin 6 (hameau des Marchands), sous réserve d'une qualité de sols équivalente au bruit de fond ambiant et de l'absence d'anomalie dans les eaux d'arrosage.

*Rappel : dans ces secteurs, lors du recensement, les habitants au droit des anciennes mines de Pallières ou à proximité immédiate (Association La Mine, Les Issards, Coumessas) nous avaient informés qu'ils n'avaient pas réalisé de jardin potager cette année. Afin d'évaluer l'impact potentiel des activités minières sur ces secteurs les plus sensibles, les propriétaires de l'Association de la Mine et des Issards étaient volontaires pour planter salade, tomate et radis. Ces légumes n'ayant pas été plantés, seules les tomates existantes sur le jardin de la mine ont pu être prélevées.*

Par comparaison des résultats sur les secteurs 2 à 5, les teneurs en éléments quantifiés sont :

- dans les **légumes fruits**, du même ordre de grandeur pour la majorité des éléments sauf en
  - Ba : Jardin 15 (3 fois plus élevée),
  - Pb : Jardin 14 (4 fois plus élevée) et Jardin 15 (2 fois plus élevée),
  - Zn : Jardin 14 (2 fois plus élevée).
- dans les **légumes racinaires**, du même ordre de grandeur pour la majorité des éléments métalliques sauf en :
  - Pb : Jardins 10 et 16 (11 fois plus élevée), Jardin 15 (7 fois plus élevée),
  - Cd : Jardin 10 (environ 10 fois plus élevée).

- Dans les **légumes feuilles**, par rapport aux teneurs dans le Jardin 18 (Hameau de Pallières), les teneurs sont inférieures ou du même ordre de grandeur sauf pour :
  - As : Jardins 6 (5fois>LQ), et 15 (4,4 fois>LQ) ;
  - Ba : Jardin 15 (environ 20 fois) ;
  - Pb : Jardins 6 (3,5 fois), 12 (2,5 fois) et 15 (14 fois)
  - Cd : Jardin 6 (6fois), Jardin 10 (4 fois) et 15 (environ 15 fois)
  - Cu et Zn : Jardin 12 (environ 45 fois pour le cuivre et 8 fois pour le zinc) ;De plus, les teneurs en Fer et Manganèse sont plus élevées en Jardin 6 et jardin 15 que dans les autres jardins.

#### V.4.1.1 Comparaison par rapport à la base de données BAPPET

A titre indicatif, par comparaison avec la base de données BAPPET, les teneurs mesurées sont globalement :

- Supérieures à celles de la base de données dans l'échantillon de blette (données pour Cd, Cu, Pb, Zn) ;
- Supérieures majoritairement à celles de la base de données dans les échantillons de salade pour l'élément Arsenic, Plomb Zinc, dans la gamme de valeurs pour l'élément Cadmium, supérieures pour 6 échantillons sur 10 en Cuivre
- Du même ordre de grandeur dans les échantillons de tomates (données pour Cd, Cr, Cu, Pb, Zn) ;
- Supérieures pour le plomb, légèrement supérieures pour l'arsenic, le zinc et le cadmium, inférieures ou du même ordre de grandeur pour le cuivre et le chrome, dans les échantillons de radis ;
- Dans les gammes de valeurs de la base de données dans les échantillons de carotte sauf pour une des teneurs en Plomb (données pour As, Cr, Cu, Pb, Zn).

#### V.4.1.1 Comparaison par rapport aux valeurs réglementaires existantes

D'un point de vue réglementaire, des **teneurs maximales réglementaires** (relatives à la mise sur le marché) **ou recommandées** sont définies en France uniquement pour les éléments **Plomb, Cadmium et Mercure** :

- Dans les **légumes feuilles**, la teneur maximale réglementaire est dépassée en **Plomb pour 8 échantillons sur 10** et en **Cadmium pour 2 échantillons sur 10** ;
- Dans les **légumes racinaires**, la teneur maximale réglementaire est dépassée en **Plomb pour tous les échantillons** et en Cadmium pour 3 échantillons sur 7 ;
- Dans les **légumes fruits**, la teneur maximale réglementaire est légèrement dépassée en **Plomb et Cadmium pour 1 échantillon sur 12**.

Au regard des teneurs en **Plomb**, traceur majoritaire de l'ancienne activité minière, par **comparaison des teneurs dans les légumes du même potager**, les teneurs dans **les légumes racinaires sont supérieures à celles mesurées dans les légumes feuilles**, elles-mêmes supérieures à celles mesurées dans les légumes fruits, à l'exception du Jardin 15 où  $[Pb]_{\text{salade}} > [Pb]_{\text{radis}} > [Pb]_{\text{tomate}}$ .

### V.4.2 Interprétation des résultats dans les fruits

Les résultats analytiques sur les **raisins** montrent :

- pour **Sb, As, Cd, Cr, Ni, Hg, Se**, des teneurs **inférieures aux limites de quantification analytique** dans les deux échantillons ;
- pour **Zn, Ba et Cu**, des teneurs **du même ordre de grandeur** dans les deux échantillons ;
- pour **Pb, Fe, Mn**, les teneurs observées dans les raisins de la vigne de Coumessas sont **supérieures aux teneurs dans les raisins prélevés dans la zone dite « témoin »** ;
- la teneur en **Plomb** dans les raisins de la vigne de Coumessas (0,56 mg/kgMB) **est supérieure à la valeur maximale réglementaire européenne** pour la mise sur le marché (0,1 mg/kgMB).

Les résultats analytiques sur les **pommes** montrent :

- pour **Sb, As, Cd, Cr, Ni, Hg, Se, Zn**, des teneurs **inférieures aux limites de quantification analytique** dans les cinq échantillons ;
- **pour les autres paramètres métalliques**, les teneurs mesurées dans les pommes prélevées sur le **secteur de Gravouillère** (Jardin pédagogique, terrain susceptible d'être inondé par le ruisseau d'Aigues Mortes et sur la terrasse dite « témoin ») sont **du même ordre de grandeur** ;
- **pour Pb et Fe**, des teneurs inférieures à la limite de quantification ou du même ordre de grandeur sur l'ensemble des échantillons sauf pour les pommes cueillies dans les deux terrasses de pommiers les plus basses du verger ;
- **Pour Ba, Cu et Mn**, des teneurs du même ordre de grandeur avec une teneur plus importante sur une des terrasses (pomme 3 pour Ba et Cu et pomme 1 pour Mn) ;
- les teneurs quantifiées **en Plomb** dans les pommes des terrasses basses du verger (0,07 et 0,08 mg/kgMB) sont **inférieures à la valeur maximale réglementaire européenne pour la mise sur le marché** (0,1 mg/kgMB).

*N.B. Les teneurs en Cd et Hg sont inférieures aux limites de quantification analytiques qui sont inférieures aux valeurs maximales réglementaires européennes (Cd) ou recommandées par le CSHPF (Hg).*

Les résultats analytiques sur jus de pommes (issues du verger de Pallières) montrent :

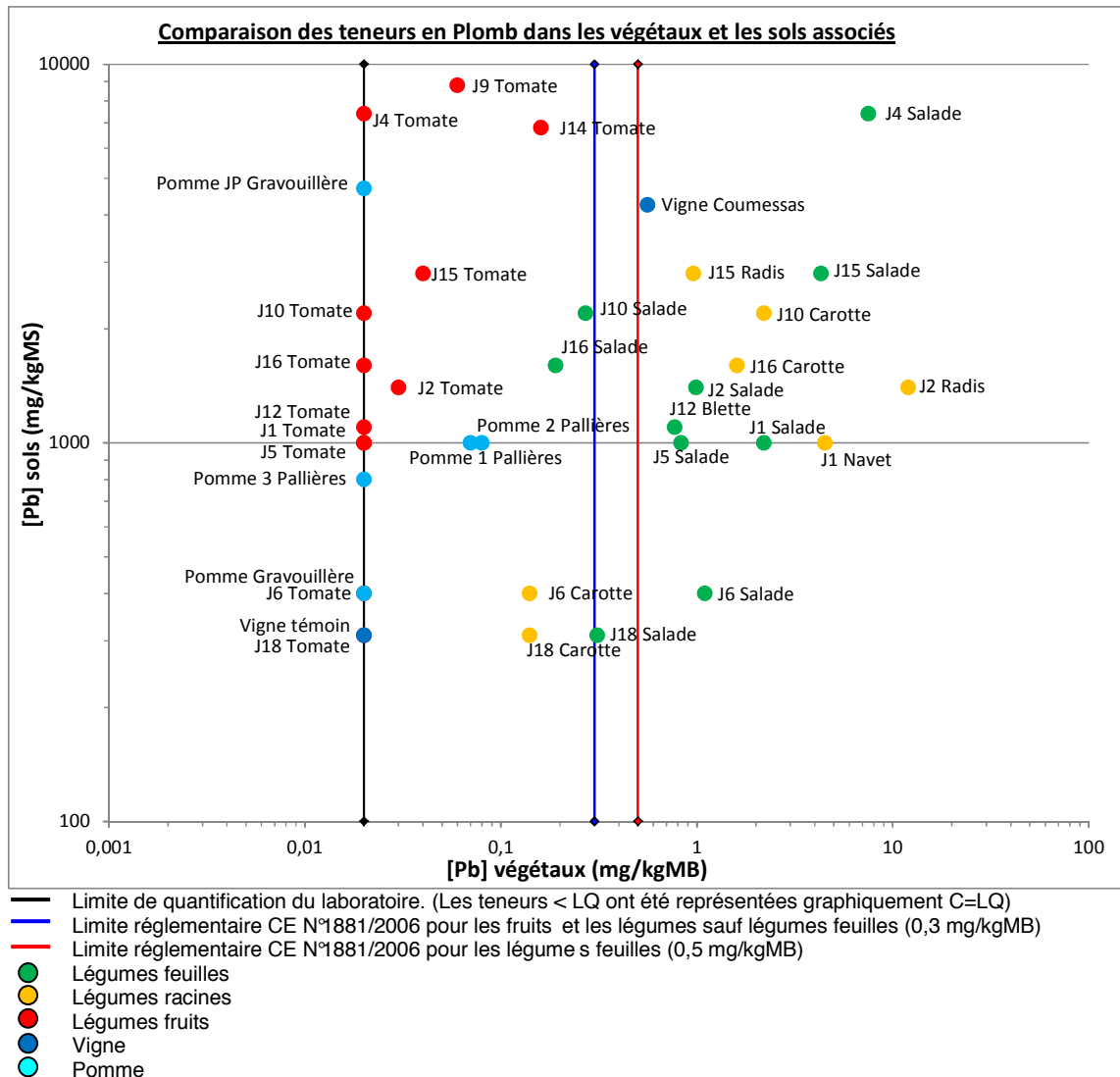
- Des concentrations inférieures aux limites de quantification pour tous les paramètres analytiques sauf Pb, Fe, Cu et Mn. **Les teneurs en Pb, Fe, Cu et Mn dans le jus de pommes sont inférieures ou équivalentes (Cu) à celles mesurées dans les pommes du verger** ;
- La concentration en **plomb** (0,04 mg/kgMB) est **inférieure à la valeur maximale réglementaire européenne pour la mise sur le marché** (0,05 mg/kgMB).

*N.B. Les teneurs en Cd et Hg sont inférieures aux limites de quantification analytiques qui sont équivalentes ou inférieures aux valeurs maximales recommandées par le CSHPF. Il n'existe pas de valeurs réglementaires à l'exception du plomb pour les jus de fruits.*

### V.4.3 Interprétation résultats sols / plantes potagères et fruits

La corrélation entre les teneurs observées dans les plantes potagères et fruits et les cartographies de teneurs en métaux dans les sols superficiels réalisés à l'XRFP montre une relation entre ces deux milieux.

Le graphique ci-dessous montre pour chaque végétal analysé la teneur en plomb en tant que traceur mesurés dans la partie comestible du végétal/fruit et la teneur en plomb dans l'échantillon de sol superficiel prélevé simultanément.



Ce graphique ne permet pas de mettre clairement en évidence une corrélation entre les sols et les teneurs dans les légumes et fruits, à l'exception du légume racinaire carotte.

Les jardins dits témoins dans le secteur 1 (Jardins 1 et 5) ont des teneurs en Plomb dans les sols des jardins potagers supérieures à celles observées dans les jardins dits témoins des secteurs 2 à 5 (Jardins 6 et 18).

*N.B. Le Jardin 16 dit également « témoin » du fait qu'il soit hors influence activité minière se situe sur une zone minéralisée plus riche.*

Pour un même jardin, pour une même qualité des sols, les teneurs en Plomb sont majoritairement plus importantes dans les légumes racinaires puis légumes feuilles puis légumes fruits puis les fruits.



#### V.4.4 Interprétation des résultats dans les œufs

Il n'existe pas de valeur réglementaire ou recommandée pour les teneurs en éléments métalliques dans les œufs. Les résultats analytiques sur les **œufs** montrent :

- pour **Sb, As, Cd, Cr, Ni, Hg, Se**, des **teneurs inférieures aux limites de quantification analytique** dans les cinq échantillons ;
- Par comparaison avec les résultats de l'échantillon œuf\_P dit « témoin » :
  - **Ba, Cu, Zn** : les teneurs sont légèrement plus élevées sur deux ou trois échantillons ;
  - **Pb** : le plomb n'est pas quantifié dans l'échantillon dit « témoin » (<0,02 mg/kgMB), les teneurs sont 3 à 4 fois plus élevées et du même ordre de grandeur dans les secteurs 1 et 2 et 7 à 8 fois plus élevées au niveau du Poulailier Association de la Mine et au Nord de la Fabrique ;
  - **Fe** : les teneurs sont du même ordre de grandeur.

Le graphique ci-dessous montre la teneur en plomb - en tant que traceur - mesurées dans la partie comestible de l'œuf et la teneur en plomb dans l'échantillon de sol superficiel prélevé simultanément ou à l'aide des valeurs mesurées à l'XRPF dans ces poulaillers.

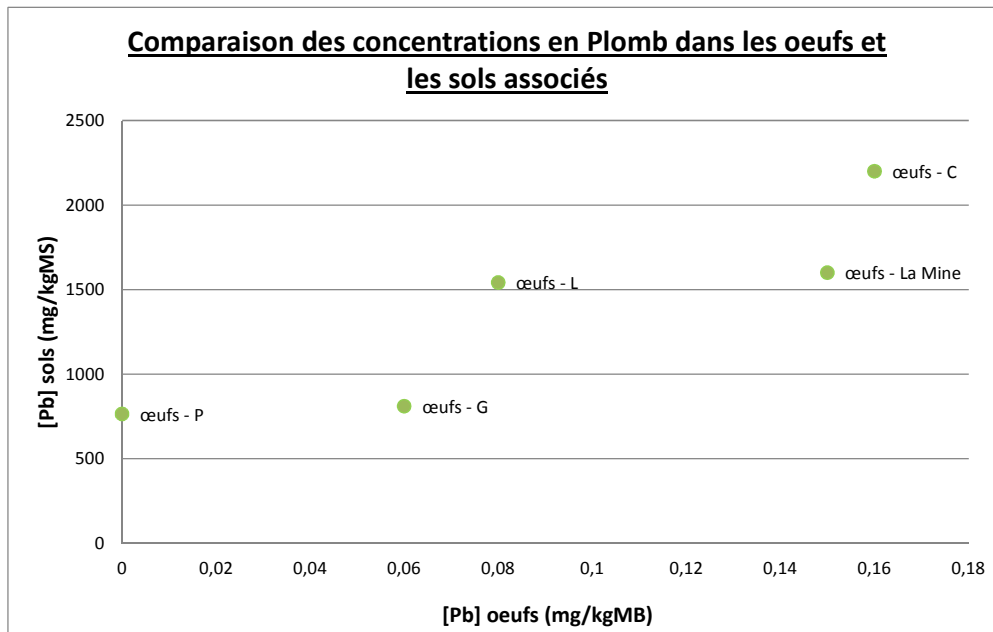


Figure 19 – Relation entre les teneurs en plomb sols superficiels / œufs ([C] moyenne (mesures à l'XRPF sur la parcelle) ou valeurs labo / ([C] 'échantillon))

### V.4.5 *Interprétation des résultats dans le miel*

Les résultats analytiques mettent en évidence :

- des **teneurs inférieures aux limites de quantification analytiques** (LQ) du laboratoire **pour Sb, As, Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, Se** (incluant les traceurs de l'activité minière As, Pb, Cd, Sb)
- une quantification en Fe, Cu, Mn et Zn et cyanures totaux dans les deux échantillons avec une teneur **plus importante dans l'échantillon témoin** ;
- une quantification en Baryum avec une valeur sur **le miel de Panissière (0,5 mg/kgMB) légèrement supérieure à celle de l'échantillon témoin (0,2 mg/kgMB)**.

**Il n'existe pas de valeurs réglementaires pour les teneurs en éléments métalliques dans le miel.**

Rappel : Dans l'échantillon de miel qui a été réalisé par ECOCERT en janvier 2012 au niveau des ruches du hameau de Pallières, seuls l'As, Pb et Cd ont été analysés et les teneurs étaient inférieures aux LQ (LQ plus élevée pour l'As uniquement pour cette analyse)

## VI. CARACTERISATION DES EAUX AUX POINTS D'USAGE

### VI.1. Echantillonnage

La sélection des points d'eaux est liée au recensement des **usages directs et indirects** privatifs type arrosage, irrigation, domestique, boisson, réalisée dans le cadre de la phase 1 courant Juillet 2012. Les résultats de ce recensement et la stratégie de sélection sont présentés dans le rapport de Phase 1 N° AIX/12/0861R- V1 de Novembre 2012.

En particulier, chaque mode d'arrosage (eau de ville, eau de source, eau de forage) des jardins potagers/vergers sélectionnés pour l'échantillonnage a fait l'objet de prélèvement, chaque puits/sources utilisés à des fins domestiques et/ou de consommation également. Cette stratégie a été élaborée afin de tenir compte de la nécessité de disposer d'une évaluation de la qualité des eaux de différentes origines et pour les différents usages identifiés.

L'objectif de l'échantillonnage prend également en compte la nécessité de disposer d'échantillons de sols superficiels, d'eaux aux points d'usages et de végétaux en un même endroit afin de dégager des corrélations entre les différents milieux et d'avoir si possible un aperçu global des modalités de transfert d'une éventuelle pollution.

Suite au recensement et à l'étude documentaire, le programme d'échantillonnage sur les eaux aux points d'usage a été le suivant :

- **13 prélèvements d'eaux souterraines** (sources, puits de particulier) aux points d'usage répartis l'ensemble de la zone d'étude (arrosage, domestique, boisson) et **1 prélèvement au niveau du captage AEP<sup>2</sup> de la Source du Moulin Baron** (*non réalisé à ce jour du fait de l'absence d'épisode orangeux significatif qui viendrait inonder la margelle béton du captage*) ;
- **3 prélèvements d'eau de ville** : un au niveau du hameau des Marchands et du Mas (arrosage jardins potagers sélectionnés) et un au niveau de l'espace d'accueil temporaire de la Mine (en bout de réseau correspondant à l'atelier de fabrication de bière et jus de pommes) ;

La carte de **localisation des prélèvements d'eaux aux points d'usages** est présentée à la page suivante.

La technique de prélèvement des eaux au point d'usage est détaillée dans le rapport de Phase 1. **Les fiches de prélèvements des eaux souterraines / eau de ville** sont présentées en [annexe 12](#).

*N.B. Le puits des Issarts n'étant pas utilisé au moment de l'étude (usage futur probable abreuvement et arrosage), une purge à l'aide d'une pompe immergée, a été réalisée pendant une heure avant prélèvement des échantillons.*

<sup>2</sup> AEP : Alimentation en Eau Potable

La campagne d'échantillonnage des eaux souterraines aux points d'usage a eu lieu en plusieurs phases :

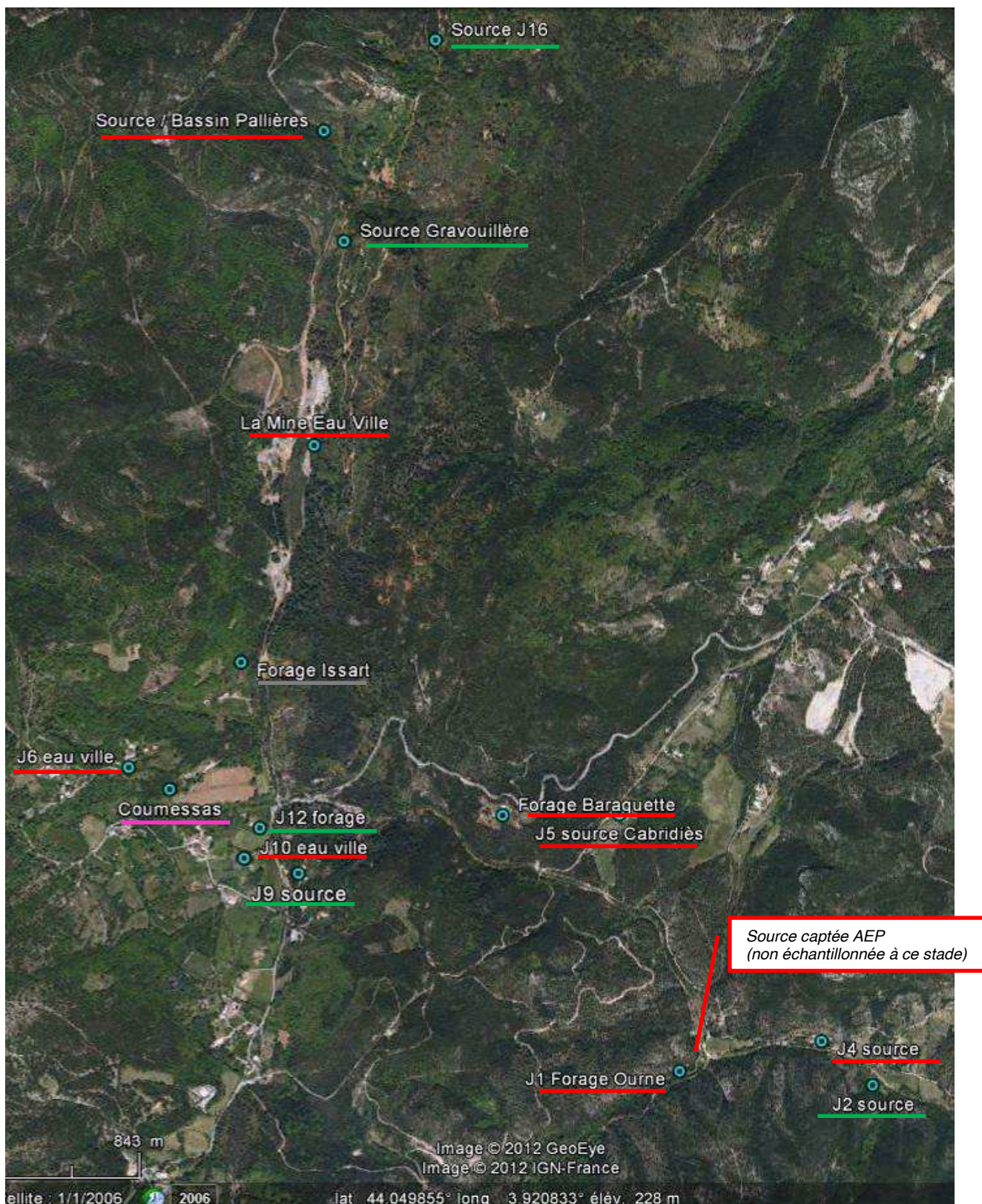
- **du 7 au 9 Août 2012** pour les eaux utilisées pour l'arrosage des potagers ;
- **le 20 Août 2012** pour l'eau du puits de Coumessas utilisée pour un usage d'arrosage, remplissage piscine et ponctuellement domestiques (pas de boisson) du fait de l'absence des propriétaires à compter de fin Août ;
- **le 12 novembre 2012**, après plusieurs épisodes pluvieux ponctuels, pour les points d'usage utilisés toute l'année pour des besoins domestiques et boisson et lesquels peuvent potentiellement être impactés par les anciennes activités minières lors de conditions particulières, après des épisodes orageux, d'écoulements de surface (réseau eau de ville Association de la Mine), ou d'écoulements souterrains (ancien puits minier aux Issart, forage profond de la Baraquette face à l'ancienne mine Joseph, source du Fond du Moulin en aval hydraulique du dépôt de stériles)

*N.B. Il était prévu de réaliser ces derniers points en même temps que les prélèvements d'eaux superficielles/sédiments (pas d'usage constaté) suite à un épisode orageux cévenol significatif.*

*A la date de rédaction de ce rapport, plusieurs épisodes pluvieux ponctuels ont eu lieu à compter du 24 Septembre 2012 mais n'ont pas permis d'observer un écoulement significatif des eaux dans les ruisseaux de la zone d'étude pour des prélèvements significatifs d'eaux superficielles et sédiments (cf chapitre VIII ci-après).*

*Cependant, afin d'obtenir les résultats avant fin Novembre et avancer sur l'étude IEM au niveau des usages constatés, les prélèvements ont été réalisés le 12 Novembre 2012 après un épisode pluvieux important survenu le 11 Novembre.*





**Légende : usage le plus sensible recensé**

- Besoins sanitaires et boisson
- Besoins domestiques (actuellement, le forage de Coumessas est utilisé pour remplissage piscine et arrosage – le forage est relié au circuit d'eau dans la maison)
- Arrosage potagers
- Pas d'usage actuel – usage futur arrosage et abreuvement

**Figure 20 : Ouvrages d'eaux aux points d'usages et usage associé le plus sensible**

## VI.2. Résultats analytiques sur les eaux aux points d'usages

Le **tableau synthétique des résultats d'analyses sur les eaux** aux points d'usage est donné en **annexe 13**.

Les **bordereaux d'analyses sur les eaux souterraines et superficiels** du laboratoire Wessling sont donnés en **annexe 14**.

## VI.3. Interprétation des résultats sur les eaux aux points d'usage

### VI.3.1 Eau de ville aux points d'usages

Les résultats analytiques sur les échantillons d'eau de ville aux points d'usage (J6, J10 et J14La Mine) montrent :

- Des concentrations **inférieures aux limites de quantifications** pour les **Matières en suspension, les cyanures libres et totaux** et les éléments métalliques **Sb, As, Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, Se** ;
- La quantification des autres éléments métalliques analysés mais à des concentrations inférieures à l'Annexe 1 de l'arrêté du 11 Janvier 2007 relatif aux valeurs limites de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

*N.B. Rappelons que l'analyse eau de ville au niveau de la Mine a été réalisé en bout de leur réseau et après plusieurs épisodes pluvieux.*

### VI.3.2 Eaux souterraines aux points d'usages

Les résultats analytiques sur les échantillons d'eaux souterraines aux points d'usage montrent :

- Des concentrations **en matières en suspension** inférieures aux limites de quantifications pour tous les échantillons, sauf pour la source J16, il s'agit d'une eau de source ferrugineuse avec présence de matières en suspension, utilisée pour l'arrosage uniquement ;
- Des concentrations **en cyanures libres et totaux** inférieures aux limites de quantification analytique pour tous les échantillons ;
- Des concentrations **en sulfates** variant de 19 à 70 mg/l, inférieure aux valeurs réglementaires des limites de qualités des eaux destinées à la consommation humaine ;
- Pour les **éléments métalliques totaux, les concentrations sont majoritairement inférieures aux valeurs limites de l'Annexe 1 de l'arrêté du 11 Janvier 2007 relatif aux valeurs limites de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine**. Les dépassements ponctuels en As, Pb, Fe, Mn par rapport aux valeurs limites de cette annexe 1 concernent des sources et un forage utilisés à ce jour pour des besoins en arrosage et/ou remplissage de piscine (Jardin 12 forage, source J16), sauf pour :
  - o **Bassin Pallières** (après épisode orageux), dépassement pour le **Fer**.
  - o **puits de Coumessas**, dépassement en **Manganèse** Le puits de Coumessas est utilisé pour des besoins en arrosage et remplissage de l'eau de la piscine et peut être utilisé pour des besoins domestiques mais pas de consommation d'après l'interview des propriétaires.

*N.B. Pour le Fer et le Manganèse, il n'existe pas de valeurs limites dans l'Annexe 2 de l'arrêté du 11 Janvier 2007, relatives aux valeurs limites de qualité des eaux brutes destinées à la consommation humaine. Rappelons que la présence du fer et manganèse dans les eaux est en relation avec la nature géologique des sols en profondeur (éléments constitutifs du sous-sol).*

- La source alimentant le hameau de Pallières est stockée dans un bassin, en bas du verger, puis est refoulée dans une cuve tampon située au hameau de Pallières. Le prélèvement de cet été a été réalisé dans cette cuve, au plus près des points d'usage (consommation, sanitaires et arrosage jardins potagers) puis cet automne, un nouveau prélèvement a été réalisé au niveau du bassin, après plusieurs épisodes pluvieux. Les concentrations sont du même ordre de grandeur à l'exception du Baryum, Chrome, Fer, Manganèse, Nickel.



## VII. CARACTERISATION DES EAUX SUPERFICIELLES ET SEDIMENTS (PAS D'USAGE RECENSE)

### NON REALISE A CE STADE DU FAIT DE L'ABSENCE D'EPISODES PLUVIEUX SIGNIFICATIFS DANS LA ZONE D'ETUDE.

*A la date de rédaction de ce rapport, plusieurs épisodes pluvieux ponctuels ont eu lieu à compter du 24 Septembre 2012 mais n'ont pas permis d'observer un écoulement significatif des eaux dans les ruisseaux, notamment ceux venant de la mine alimentant Palleyrolle et Aigues Mortes de la zone d'étude, pour des prélèvements représentatifs d'eaux superficielles et sédiments.*

#### VII.1. Echantillonnage

La caractérisation des impacts sur les eaux superficielles et sédiments est nécessaire compte tenu des voies de transfert potentielles des sources de pollution sur ces milieux, des observations sur site (ravinements) et des usages identifiés.

A l'exception des observations en Juillet d'activités de baignade dans le ruisseau d'Aiguesmortes (au lieu-dit La Remise) et l'Ourne, **les ruisseaux étudiés n'ont pas d'usage direct** mais ils se jettent d'un côté dans le Gardon et de l'autre l'Ourne puis le Gardon d'Anduze, qui sont utilisés pour des usages sensibles.

Suite au recensement et à l'étude documentaire, le programme d'échantillonnage sur les eaux aux points d'usage correspond à **7 prélèvements ponctuels d'eaux superficielles et sédiments associés, après un épisode orangeux significatif** incluant :

- 3 prélèvements sur le ruisseau Aiguesmortes : 1 à l'aval immédiat du pied du dépôt de stériles, 1 au Nord du lieu-dit La Remise (où le ruisseau est facilement accessible et après la confluence avec le vallon du Fond du Moulin), 1 en amont immédiat des exutoires de la carrière de dolomies, actuellement en exploitation ;

*N.B. Compte tenu des résultats d'analyse existants sur le Gardon, il n'est pas prévu à ce stade de prélèvement dans la rivière.*

- 1 prélèvement sur le ruisseau de la mine avant sa confluence avec les ruisseaux de Valleraube donnant naissance au ruisseau de Paleyrolle ;
- 2 prélèvements sur le ruisseau de Paleyrolle : 1 à l'amont de la Mine Joseph (après le pont) et 1 à proximité de la source captée du Moulin Baron (au niveau d'un pré susceptible d'être inondé), avant la confluence avec l'Ourne ;
- 1 prélèvement sur l'Ourne, en aval de la confluence Ourne-Paleyrolle.

Le plan de localisation de ces points est illustré sur la figure à la page suivante.

La technique de prélèvement des eaux superficielles et sédiments est détaillée dans le rapport de Phase 1. **Les fiches de prélèvements des eaux superficielles et sédiments associés** sont présentées en **annexe 15**.







## VII.2. Résultats sur les eaux superficielles/sédiments

Le tableau synthétique des résultats d'analyses sur les eaux superficielles et sédiments est donné en [annexe 16](#).

Les bordereaux d'analyses sur les eaux souterraines et superficiels du laboratoire Wessling sont donnés en [annexe 17](#).

## VII.3. Interprétation des résultats analytiques eaux superficielles/sédiments

### *VII.3.1 Interprétation campagne 2012*

### *VII.3.1 Comparaison avec les campagnes précédentes*

## VIII. INVESTIGATIONS MENEES SUR LES RE ENVOLS DE POUSSIERES ET L'AIR AMBIANT

### VIII.1. Echantillonnage

#### VIII.1.1 Acquisition des données météorologiques

La station météorologique de Cognac, station la plus proche du site a été utilisée pour les données météorologiques concernant les vents (orientation, intensité, ...).

Ces données ont été utilisées pour proposer un plan d'échantillonnage adapté pour le ré envol des poussières.

#### VIII.1.2 Description des points de prélèvement d'air

Compte tenu des résultats de la phase 1, le programme proposé comportait :

- des mesures de retombées atmosphériques dans les secteurs 2 et 3 afin de quantifier les voies de transfert inhalation et ingestion de poussières retenues dans le schéma conceptuel préliminaire ;
- deux prélèvements d'air ambiant dans des bâtiments à usage d'habitation au droit de sources potentielles de pollution (ancien garage de la mine et transformateur), afin d'évaluer l'impact potentiel des anciennes activités historiques au niveau de l'habitation.

Le programme et la localisation des points de prélèvement ont été validés par le BRGM/la DREAL en septembre et début octobre 2012.

Le programme d'investigations sur les poussières comportait trois points de prélèvement répartis pour deux d'entre eux sur le Secteur 2, et le troisième au niveau du Secteur 3. Sur la base de la connaissance de la qualité des sols et des plantes potagères, de la rose des vents, des usages et des témoignages des riverains, les prélèvements d'air extérieur ont été réalisés aux emplacements suivants :

- Espace d'Accueil Temporaire de la Mine au niveau des usages type habitats ;
- Au lieu-dit L'Issart ;
- Au niveau du pont de la Mine (habitation Garage de la Mine).

Le programme d'investigations sur l'air intérieur était :

- Une mesure au niveau de l'ancien garage de la mine, dans la partie habitation au-dessus de la grande fosse afin d'évaluer l'impact des anciennes activités de garage sur le milieu air intérieur ;
- Une mesure dans une habitation, dans laquelle un transformateur avait été exploité pendant la période d'activité minière, afin de réaliser un lever de doute car nous n'avons pas réuni d'informations plus précises sur la nature du transformateur.

N.B. A la date de rédaction de ce rapport, le propriétaire relatif à la seconde mesure ne nous a pas donné l'autorisation pour réaliser ces prélèvements dans sa propriété.

Le plan de localisation des points de prélèvements d'air est présenté à la figure ci-après.

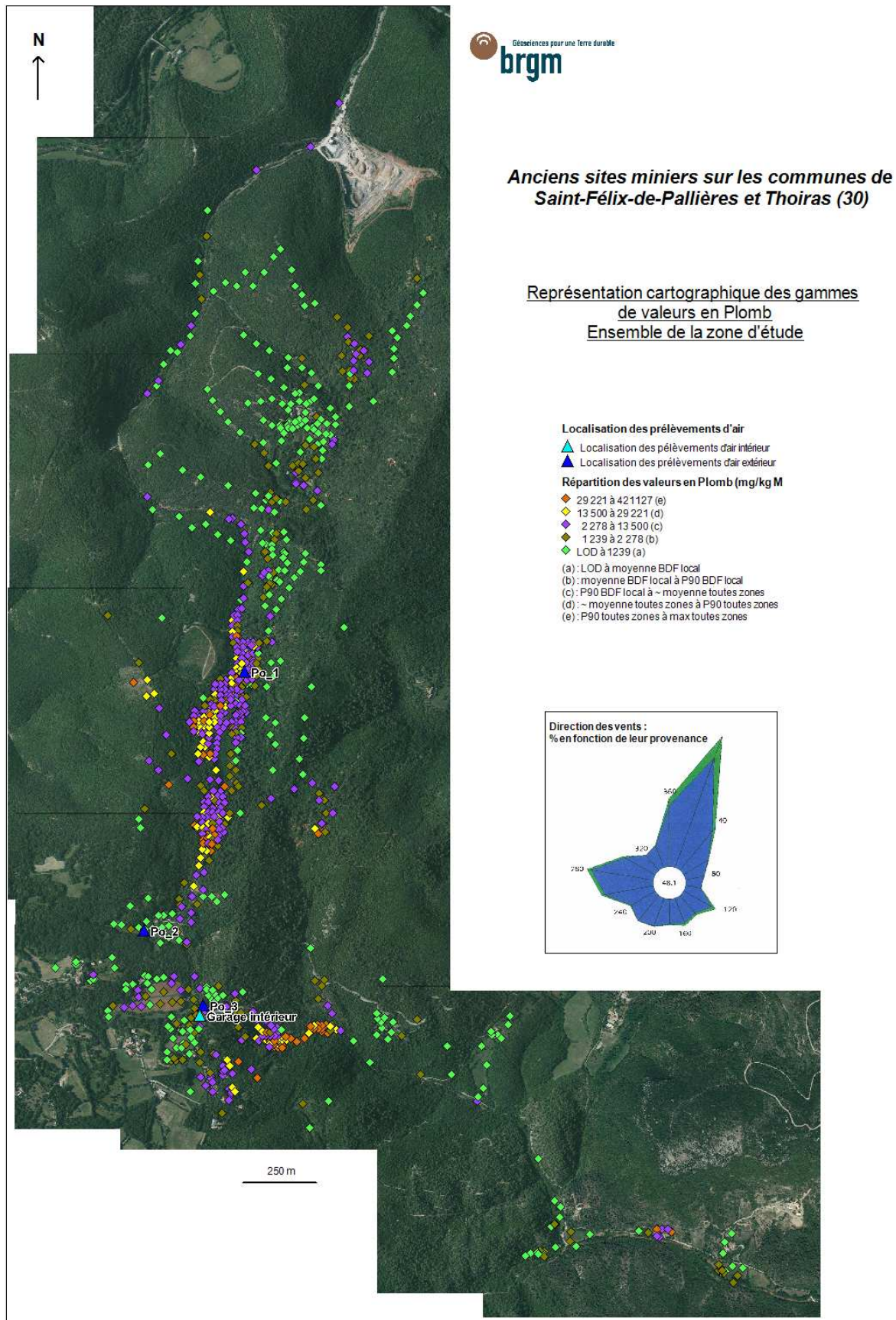






Figure 22 : Localisation des points de prélèvement d'air extérieur et intérieur

Le tableau ci-dessous synthétise les données concernant l'implantation et les caractéristiques des différents points de prélèvement.

Zone d'étude	Prélèvement	Implantation	Environnement	Photographie
<b>Air extérieur</b>				
Secteur 2	Po_1	Zone 2 X = 728 391 Y = 3 195 149  Parcelle N°1676 feuille B03 (Thoiras)	Au droit du dépôt de stériles miniers et des anciennes installations minières, au niveau des habitats temporaires, fortes concentrations dans les sols.  A proximité du dépôt de stériles.	
	Po_2	Zone 2 X = 728 023 Y = 3 194 175  Parcelle N°883 feuille A03 (Saint Felix de Pallières)	« Sous le vent » des anciennes installations minières, concentrations faibles dans les sols superficiels.  Hameau des Issarts à usage d'habitations  Zone dégagée (prairie) dans l'axe principal des vents.	
Secteur 3	Po_3	Zone 3 X = 728 254 Y = 3 193 901  Parcelle N°526 feuille A04 (Saint Felix de Pallières)	« Sous le vent » des anciennes installations minières, concentrations élevées dans les sols superficiels.  Zone dans l'axe principal des vents.	
	Garage Mine	Zone 3 X = 728 254 Y = 3 193 901  Parcelle N°526 feuille A04 (Saint Felix de Pallières)	Ancien garage de la mine à usage d'habitation Pièce centrale de l'habitation à proximité immédiate de l'ancienne cuve (en sous-sol).	
<b>Air intérieur</b>				

**Tableau 8 : description des points de prélèvements d'air**

Les mesures de prélèvements d'air ont été réalisées le **23 Octobre 2012**, sur la base des prévisions météorologiques, avec le matériel de pompage suivant :

- pour les analyses de métaux sur poussières : un préleveur PARTISOL Haut débit (sur secteur ou GE), débit de 1 m<sup>3</sup>/h avec une tête de prélèvement PM10 (fraction la plus sécuritaire dans le cadre d'une étude de risques) ;
- pour les analyses en air intérieur pour les composés volatils ; une pompe type GILAIR bas débit variant de 0,5 à 1l/min en fonction des composés (sur secteur ou sur batterie).

*Remarque : La période à laquelle les prélèvements de poussières ont été réalisés n'est pas la situation la plus représentative d'une situation majorante en termes d'exposition des usagers. En effet, ces prélèvements doivent être réalisés idéalement en saison sèche et conditions de vent significatives afin d'évaluer le ré-entrainement de poussières.*



Compte tenu du calendrier de l'étude (démarrage en Juillet, réalisation de la phase 1 en Juillet et investigations sur les milieux sols, eaux et plantes potagères en août puis fruits en septembre, exploitation des données sols en Septembre afin de valider la localisation des points de prélèvement d'air extérieur), les prélèvements d'air n'ont pas pu être réalisés courant de l'été, avant les premières pluies et pendant la période à laquelle la fréquentation au niveau des anciennes mines de Pallières est la plus importante.

Cependant, après validation par la DREAL et le BRGM, il a été convenu de conserver ces mesures afin d'avoir une approche initiale de l'étude en matière de prélèvement d'air afin de pouvoir conclure partiellement sur cette voie d'exposition avant fin 2012. Une autre campagne de mesure sera proposée pour 2013.

La technique de prélèvement du milieu air est détaillée dans le rapport de Phase 1.

Les fiches de prélèvements sur le milieu air sont présentées en [annexe 18](#).

## VIII.2. Résultats des analyses sur le milieu air

### VIII.2.1 Données météorologiques - Période de prélèvement des poussières du 23/10/2012

Le 23/10/2012, jour des mesures d'air extérieur :

- le cumul des précipitations est nul,
- la vitesse moyenne du vent est de 2,6 km/h,
- la vitesse maximale est de 9 km/h,
- les vents sont majoritaires orientés N à NNE.

Le graphique et la rose des vents ci-après détaillent les résultats météorologiques sur la période de prélèvement des poussières avec les Partisol.

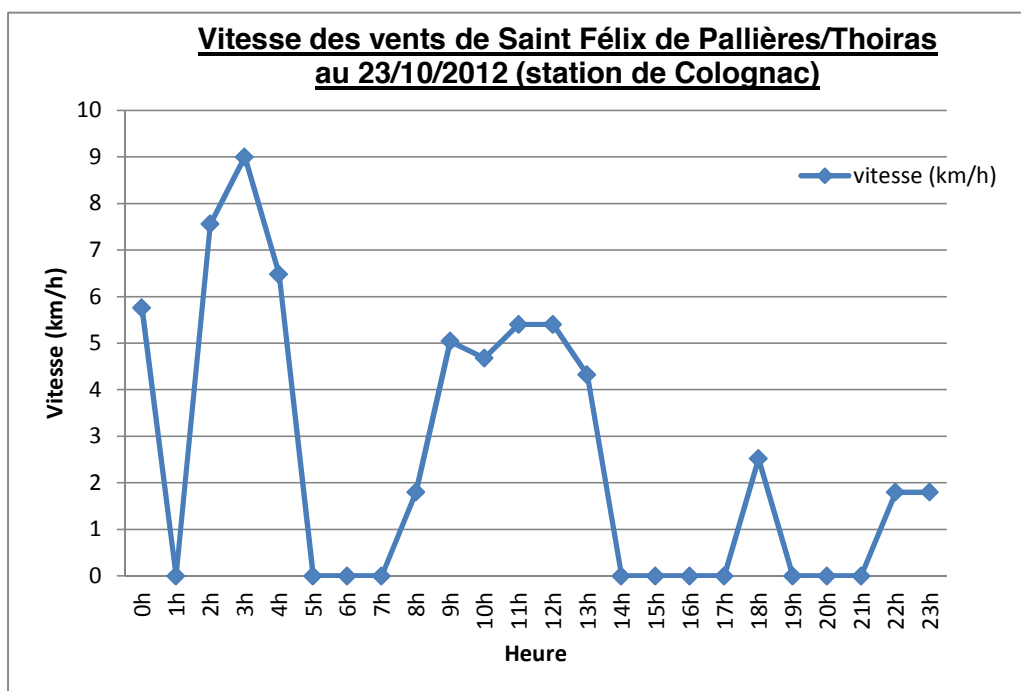


Figure 23 : Vitesse des vents le 23/10/2012 (station de Cognac)

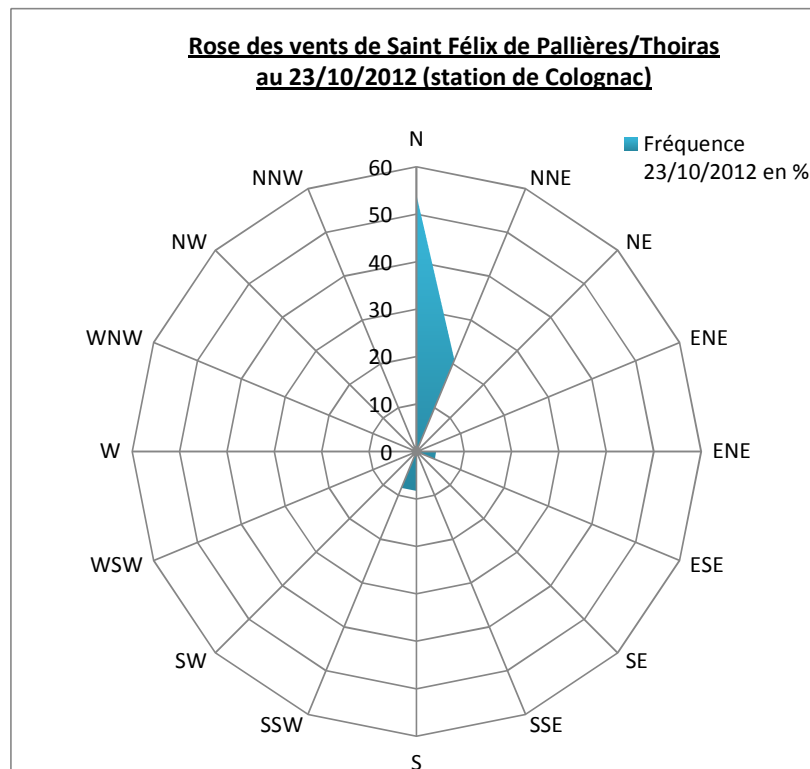


Figure 24 : Direction des vents le 23/10/2012 (station de Cognac)

Les conditions météorologiques enregistrées au cours de cette campagne montrent l'absence de précipitations le jour des mesures et confirment une direction des vents orientée du N-NNE au S-SSW.

**A noter toutefois, que la période étudiée n'est pas la plus représentative des ré-envols potentiels de poussières sur la zone d'étude. En effet, la campagne de mesure réalisée en automne fait suite à quelques épisodes pluvieux qui fixent les particules fines au sol minimisant ainsi la voie de transfert éolienne (cf remarque ci-dessous).**

### VIII.2.2 Résultats d'analyses sur l'air extérieur et intérieur

Les résultats mentionnés ci-après correspondent à la période de prélèvement du 23 octobre 2012.

Le tableau ci-après présente les résultats des PM10 et métaux présents dans les poussières sur les 3 points collectés en air extérieur ainsi que les résultats des BTEXN et HCT C6-C16 sur le prélèvement d'air intérieur au niveau de l'habitation au droit de l'ancien garage de la mine.

Le rapport d'analyse sur l'air extérieur et intérieur du laboratoire TERA Environnement sont donnés en [annexe 19](#).

Concentration en solution en $\text{ng/m}^3$ (Blanc déduit)				
Éléments	Po 1 Mine association	Po 2 ISSART	Po 3 Pont garage	Limite de quantification
As	<Lq	<Lq	<Lq	0,8
Ba	<Lq	<Lq	<Lq	15,6
Cd	<Lq	<Lq	<Lq	0,2
Cr	<Lq	<Lq	<Lq	0,2
Cu	3,3	0,3	2,7	0,2
Fe	<Lq	<Lq	105,4	16
Mn	<Lq	<Lq	<Lq	0,2
Ni	4,5	<Lq	<Lq	0,2
Pb	4,4	<Lq	7,8	0,2
Sb	0,2	<Lq	0,2	0,2
Se	<Lq	<Lq	<Lq	0,8
Zn	0,5	<Lq	27,7	0,2
Hg	<Lq	<Lq	<Lq	3,1
Concentration en solution en $\mu\text{g/m}^3$ (Blanc non déduit)				
Éléments	Po 1 Mine association	Po 2 ISSART	Po 3 Pont garage	Lq
PM 10	<Lq	<Lq	<Lq	37,5

Tableau 9 : Résultats d'analyses sur les prélèvements d'air extérieur

Concentrations en $\mu\text{g/m}^3$		
Composés	Garage intérieur court Blanc déduit	Limite de quantification
Benzène	<Lq	0,33
Toluene	1,32	0,33
Ethylbenzene	1,37	0,33
m+p xylène	10,65	0,33
o xylène	2,63	0,33
Naphtalene	<Lq	0,33
Aliphatiques C6-C7	5,93	0,33
Aliphatiques >C7-C8	0,65	0,33
Aliphatiques >C8-C10	3,64	0,33
Aliphatiques >C10-C12	1,48	0,33
Aliphatiques >C12-C16	3,63	0,33
Aromatiques C6-C7	<Lq	0,33
Aromatiques >C7-C8	1,32	0,33
Aromatiques >C8-C10	28,42	0,33
Aromatiques >C10-C12	2,35	0,33
Aromatiques >C12-C16	<Lq	0,33

Figure 25 : Résultats d'analyses sur le prélèvement d'air intérieur

### VIII.3. Interprétation des résultats sur le milieu air

#### VIII.3.1 Poussières

Les résultats sur les prélèvements d'air extérieur (blanc déduit) montrent des concentrations :

- **inférieures ou équivalentes à la limite de quantification analytique en PM10, arsenic, antimoine baryum, cadmium, chrome, manganèse, sélénium et mercure** sur les trois points de prélèvements,
- **la quantification de cuivre, fer, plomb, nickel et zinc sur les points Po\_1** (au droit de l'ancienne zone de la mine en face du dépôt de stériles) **et/ou Po\_3** (sous le vent de toutes les installations des anciennes mines de Pallière et route d'accès à la Mine). Les concentrations mesurées en Po\_2 sont inférieures ou équivalentes aux limites de quantification analytique :
  - **Cu** : concentrations du même ordre de grandeur sur les deux points, absence de valeurs réglementaires françaises ou valeurs-guides ;
  - **Pb** : concentrations mesurées plus importantes en Po\_3 que Po\_1, inférieures aux objectifs de qualité et valeur limite françaises de qualité de l'air ;
  - **Zn** : concentrations mesurées plus importantes en Po\_3 que Po\_1, absence de valeurs françaises ou valeurs-guides internationales ;
  - **Ni** : quantification uniquement en Po\_1 à une concentration inférieure à la valeur cible française de qualité de l'air,
  - **Fe** : quantification uniquement en Po\_3, pas de valeurs associées.

*N.B. l'ensemble des limites de quantification analytique est inférieur aux valeurs françaises (décret n°2010-1250 du 21 Octobre 2010) ou internationales.*

Les concentrations en plomb et zinc observées dans les poussières sont les plus élevées au niveau du garage de la mine ce qui n'est pas corrélé avec les concentrations observées dans les végétaux. Aussi la contribution des ré envols de poussières sur les concentrations observées dans les végétaux n'est pas avérée, à cette période.

#### VIII.3.2 Air intérieur

Les résultats sur le prélèvement d'air intérieur montrent :

- En **benzène et naphthalène**, des concentrations inférieures aux limites de quantification analytique, inférieures aux valeurs guides françaises,
- La quantification du **toluène et éthylbenzène** à des concentrations inférieures à la médiane des valeurs de bruit de fond dans les logements français (OQAI 2003-2005) et aux valeurs guides internationales (pas de valeurs-guides françaises),
- La quantification **en xylènes** à une concentration supérieure à la médiane mais inférieure au P95 des valeurs de bruit de fond (OQAI 2003-2005). La concentration est inférieure aux valeurs guide internationales (pas de valeurs-guides françaises),
- La quantification en **HCT C6-C16** avec une fraction majoritaire en aromatiques C8-C10. Il n'existe pas de valeur-guides pour les fractions hydrocarburées.



## PARTIE 3 : INTERPRETATION DE L'ETAT DES MILIEUX

### IX. RAPPELS ET GENERALITES SUR L'IEM

La démarche d'interprétation des milieux a pour objectif de distinguer :

- Les milieux permettant une jouissance des usages constatés sans exposer les populations à des niveaux de risques excessifs,
- Les milieux qui peuvent faire l'objet d'actions simples de gestion,
- Les milieux qui nécessitent la mise en œuvre d'un plan de gestion. La zone devient alors site au sens du plan de gestion.

Les objectifs de cette démarche sont de pouvoir distinguer les situations qui ne posent pas de problème particulier de celles susceptibles d'en poser et donc de faire l'objet de mesures de gestion appropriées. Il s'agit d'un outil d'aide à la décision plus qu'une évaluation de risques sanitaires en tant que telle.

La démarche d'IEM comprend :

- la comparaison aux milieux naturels,
- la comparaison aux valeurs de gestion réglementaires,
- l'utilisation de l'outil IEM (grille de calcul) permettant une évaluation quantitative des risques sanitaires pour les substances et les milieux qui n'ont pu être comparés aux milieux naturels ou à l'état initial de l'environnement ou à des valeurs de gestion réglementaires.

Il est rappelé que l'acceptabilité des risques est définie sur la base de la méthodologie décrite dans l'outil IEM de gestion des sites (potentiellement) pollués, rédigée par le MEDAD, V0 – février 2007 :

	ERI	QD
Site compatible	$< 10^{-6}$	$< 0,2$
Zone d'incertitude	$10^{-4} < \text{ERI} < 10^{-6}$	$0,2 < \text{QD} < 5$
Site incompatible	$> 10^{-4}$	$> 5$

ERI (Excès de Risque Individuel) et QD (Quotient de Danger ou Indice de Risque supérieur)

Les résultats de cette étude sont élaborés en l'état actuel des connaissances scientifiques tant du point de vue chimique que toxicologique (novembre 2012).

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) retenues dans cette étude ont été sélectionnées selon les critères énoncés dans la circulaire DGS/SD.7B n°2006-234 du 30 mai 2006 et en particulier sur la hiérarchisation des bases de données citée dans cette circulaire lorsque plusieurs VTR existent. Ces VTR sont mises à jour mensuellement.

### X. RECENSEMENT DES USAGES ET SYNTHÈSE DES INVESTIGATIONS

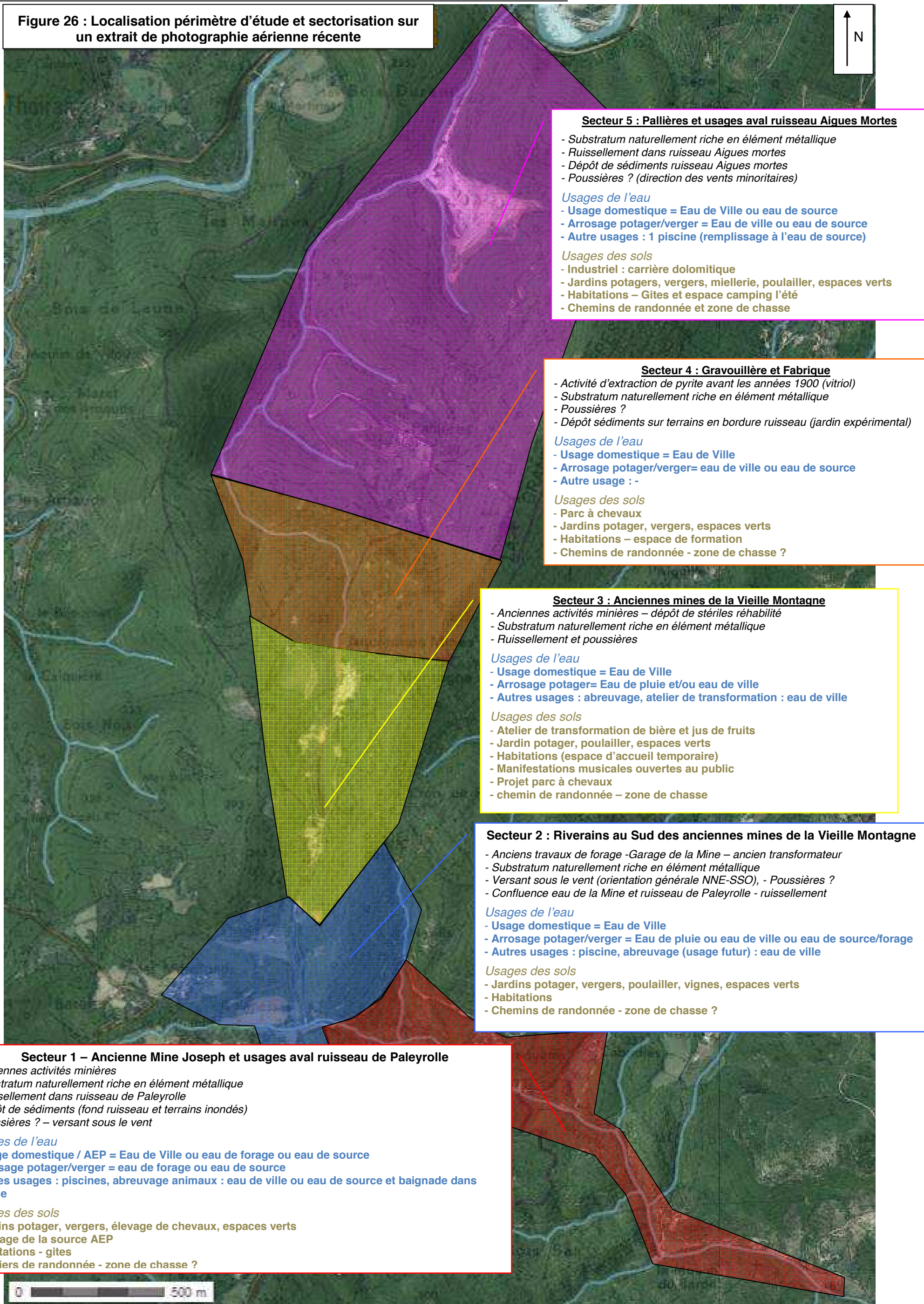
Le chapitre suivant reprend les conclusions réalisées pour chaque milieu en se concentrant sur les traceurs principaux de l'activité minière à savoir Plomb, Arsenic et Zinc.

*N.B. Les concentrations en cadmium sont associées aux concentrations les plus fortes en zinc. Les concentrations les plus élevées en antimoine semblent associées aux concentrations élevées en plomb et en arsenic.*

#### X.1. Rappel sur le recensement des usages



Figure 26 : Localisation périmètre d'étude et sectorisation sur un extrait de photographie aérienne récente





## X.2. Synthèse sur la qualité des milieux

Au regard du recensement des différents usages identifiés sur la zone d'étude et des investigations réalisées sur les milieux sols superficiels, eaux souterraines et superficielles, denrées alimentaires (plantes potagères, fruits, œufs, miel), air intérieur et air ambiant, la hiérarchisation suivante peut être réalisée :

Milieux	Usages recensés	Anomalies	Risques potentiels	Secteurs concernés par les anomalies
Sols superficiels	<ul style="list-style-type: none"> <li>Habitations - Gîtes - Camping</li> <li>Lieux de vie extérieurs</li> <li>Jardins potagers / Verger</li> <li>Elevage (poulaillers, parc à chevaux)</li> <li>Chemins de randonnée / Cross</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Teneurs en éléments métalliques supérieures au bruit de fond géochimique local<sup>3</sup></b></li> <li>Les teneurs en métaux notamment en Plomb et Arsenic montrent un impact : <ul style="list-style-type: none"> <li>- des anciennes installations minières implantées par le passé au niveau de l'ancienne mine Joseph, de la Vieille Montagne (Puits n°3 et n°1), de la Croix de Pallières et des Autiés,</li> <li>- des sédiments déposés dans le lit majeur du Paleyrolle et de l'Aiguesmortes lors d'épisodes de crues,</li> <li>- des vents dominants d'orientation plus ou moins Nord-Sud.</li> </ul> </li> <li>La même logique de répartition spatiale des teneurs s'observe concernant le Zinc mais de façon moins évidente.</li> <li><b>Teneurs en cyanures totaux</b></li> <li>- Au droit de la zone de l'ancienne laverie, les teneurs varient de la limite de quantification analytique (&lt;1 mg/kgMS) à 2,3 mg/kgMS. 8 échantillons sur 24 dans le secteur présentent des teneurs supérieures à la LQ, du même ordre de grandeur.</li> <li>- Quantification au niveau de certains points d'usage (secteur 2, secteur 3) et en plus faibles teneurs en secteur 6 (changement de la LQ entre la campagne d'Août et celle de Septembre).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Risque environnemental : teneurs élevées en métaux lourds notamment Plomb, Arsenic, Zinc, Cadmium et Antimoine</li> <li>Risque sanitaire : contact / ingestion / inhalation de poussière et de sols pollués</li> </ul>	<p><b>Pour les éléments métalliques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Secteur 1 :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Des teneurs élevées à très élevées au droit des dépôts de stériles miniers de l'ancienne mine Joseph et de l'ancienne installation de traitement du minerai au niveau des Autiés ainsi qu'en face des actuels dépôts de stériles miniers au droit d'une zone d'extraction où sont encore visibles des entrées de galeries, ainsi qu'au niveau des sédiments du Paleyrolle ;</li> <li>- Des teneurs élevées au niveau de certains points d'usage : sédiments à proximité du captage AEP de la source du Moulin Baron et/ou habitation/jardin potager/poulailler au niveau des Autiés ;</li> <li>- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude.</li> </ul> </li> <li><b>Secteur 2 :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Des teneurs très élevées à proximité immédiate de l'ancienne mine Joseph ;</li> <li>- Des teneurs élevées au droit des dépôts de sédiments et des zones d'inondation, au droit des zones de culture ainsi que dans l'axe des vents dominants ;</li> <li>- Des teneurs élevées au droit de certains points d'usage : habitations avec jardins potagers, cultures (vignes) ;</li> <li>- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude.</li> </ul> </li> <li><b>Secteur 3 :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Des teneurs très élevées au droit et à proximité immédiate des anciennes activités minières d'extraction, de traitement et de stockage de stériles ainsi qu'au niveau des dépôts de sédiments et zones d'inondation ;</li> <li>- Des teneurs élevées au droit et à proximité immédiate des anciennes activités minières y compris celles de la Croix de Pallières ainsi que dans l'axe des vents dominants en aval du dépôt UMICORE ;</li> <li>- Des teneurs élevées au droit de certains points d'usage : habitations temporaires avec jardins potagers et poulaillers, chemin de randonnée, terrain de cross ;</li> <li>- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude.</li> </ul> </li> <li><b>Secteur 4 :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Des teneurs très élevées à élevées au niveau du lit de l'Aiguesmortes (dépôts de sédiments) ;</li> <li>- Des teneurs élevées au niveau des dépôts de sédiments et zones d'inondation et/ou au niveau et aux abords de la voie de circulation principale desservant les habitations de « La Gravouillère » et/ou de La Fabrique ;</li> <li>- Des teneurs élevées au droit de certains points d'usage : habitations avec jardins potagers, cultures (verger pédagogique), chemin de randonnée ;</li> <li>- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude.</li> </ul> </li> <li><b>Secteur 5 :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La zone dite « témoin » des anciennes mines de Pallières ;</li> <li>- Des teneurs élevées au droit des dépôts de sédiments et zones d'inondation, au niveau des habitats temporaires au Nord-est de Pallières ainsi qu'au Sud de Pallières. La présence de ces deux dernières zones d'anomalie qui ne semble pas liée à l'activité minière peuvent éventuellement trouver une explication dans la nature géologique des terrains et notamment l'existence d'une lentille de terrain Triasique ou encore le passage aux formations dolomitiques présentant des teneurs en fer un peu plus élevées que dans les calcaires indifférenciés du reste de la zone et pouvant influencer la mesure du plomb et de l'arsenic ;</li> <li>- Des teneurs élevées au droit de certains points d'usage : culture (vergers), chemin routier/randonnée ;</li> <li>- Des teneurs de l'ordre de la moyenne et du P90 du BDF local sur le reste du secteur d'étude.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Pour les cyanures totaux : Secteurs 2 et 3</b></p>
Eaux souterraines et eau de ville aux points d'usages	<ul style="list-style-type: none"> <li>AEP</li> <li>Besoins sanitaires</li> <li>Arrosage</li> <li>Abreuvement</li> <li>Remplissage de piscine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Absence d'anomalie dans l'eau de ville dans tous les secteurs, <b>les concentrations restent inférieures à la valeur réglementaire</b> ;</li> <li>Absence d'anomalie significative dans les eaux souterraines, les <b>concentrations sont compatibles avec les usages</b> : des dépassements des valeurs de l'annexe 1 de l'arrêté du 11 Janvier 2008 ont été identifiés au niveau du Forage J12 et la source J16 et puits Coumassas (Pb, As ou Mn) mais ces points d'eau ne sont pas utilisés pour la consommation humaine.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>RAS</li> <li>Compatible avec les usages constatés</li> </ul>	-

- <sup>3</sup> Les mesures pour le calcul du bruit de fond ambiant ont été sélectionnées hors influence :
  - ✓ Des anciennes installations minières
  - ✓ Des dépôts de stériles miniers
  - ✓ Des dépôts de sédiments et zones d'inondation de l'Aiguesmortes et du Paleyrolle ;
  - ✓ De l'axe des vents dominants (envol de poussières)

Milieux	Usages recensés	Anomalies	Risques potentiels	Secteurs concernés par les anomalies
Eaux superficielles et sédiments	• Usage baignade identifié dans l'Ourne et Paleyrolle	• -Investigations non réalisées à ce jour		
Plantes potagères	• Autoconsommation / don	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Secteur de la Mine Joseph</b> (Jardin 5 = jardin témoin) : teneurs supérieures en <u>Pb, Cd, Zn</u> dans les jardins 1, 2 et 4 dans les légumes feuilles et les légumes racinaires / Teneurs du jardin témoin</li> <li>• <b>Secteur des mines de Pallières</b> (Jardins 16 et 18 = jardins témoins) : teneurs supérieures / celles du Jardin témoin en <u>Ba, Pb, Zn</u> pour les légumes fruits, en <u>Pb, Cd, Fe, Mn</u> pour les légumes racinaires et en <u>As, Ba, Pb, Cd, Cu</u> et <u>Zn</u> pour les légumes feuilles.</li> </ul> <p>D'un point de vue réglementaire, des <b>teneurs maximales réglementaires ou recommandées</b> sont définies en France uniquement pour les éléments <b>Plomb, Cadmium et Mercure</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Dans les <b>légumes feuilles</b>, la teneur maximale réglementaire est dépassée en <b>Plomb pour 8 éch/10</b> et en <b>Cadmium pour 2 éch/10</b> ;</li> <li>o Dans les <b>légumes racinaires</b>, la teneur maximale réglementaire est dépassée en <b>Plomb pour tous les échantillons</b> et en <b>Cadmium pour 3 éch/ 7</b> ;</li> <li>o Dans les <b>légumes fruits</b>, la teneur maximale réglementaire est légèrement dépassée en <b>Plomb et Cadmium pour 1 éch/ 12</b>.</li> </ul> <p><b>cyanures totaux</b> : quantification dans le même ordre de grandeur dans les légumes racinaires (environ 0,4 mg/kgMB)</p>	• Risque sanitaire : ingestion légumes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secteur 1 : Jardins 1, 2 et 4</li> <li>• Secteur 2 : Jardins 6, 10, 12</li> <li>• Secteur 3 : Jardin 14 (uniquement tomates disponibles cette année)</li> <li>• Secteur 4 : Jardin 15</li> </ul>
Fruits / Jus de fruits	• Vente / autoconsommation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentrations en Pb et Fe quantifiées sur les pommes cueillies au niveau des terrasses les plus basses près du ruisseau d'Aiguesmortes ;</li> <li>• Quantification en Pb, Fe, Cu et Mn dans le jus de pommes à des concentrations inférieures ou équivalentes (Cu) à celles mesurées dans les pommes du verger ;</li> <li>• Cependant, les concentrations quantifiées en plomb dans les pommes et le jus de pommes sont inférieures à la valeur maximale réglementaire européenne.</li> <li>• la concentration en <b>Plomb</b> dans les raisins de la vigne de Coumessas (0,56 mg/kgMB) <b>est supérieure à la valeur maximale réglementaire européenne</b> pour la mise sur le marché (0,1 mg/kgMB) + présence Fe et Mn</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risque sanitaire potentiel : ingestion de raisins et vin produit en coopérative</li> <li><i>N.B. Pas d'analyse possible sur le vin produit en coopérative car pas de vendange cette année</i></li> </ul>	• -Secteur 2
Œufs	• autoconsommation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teneurs en Plomb supérieures à celle mesurée dans l'œuf du poulailler dit témoin</li> <li>• Teneurs en Ba, Cu, Zn de 2 à 3 éch/4 supérieures à celles mesurées dans l'œuf du poulailler dit témoin.</li> </ul>	• Risque sanitaire : ingestion œufs	• Secteurs 1, 2, 3 et 5
Miel	• Vente/autoconsommation	• Teneur en Baryum le miel de Panissière (0,5 mg/kgMB) légèrement supérieure à celle de l'échantillon témoin (0,2 mg/kgMB)	• Risque sanitaire : ingestion miel	• Butinage des abeilles potentiellement sur l'ensemble du secteur d'étude
Poussières	• Mêmes usages que les sols	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quantification en 2 points/3 de Cu, Fe, Pb, Ni et Zn</li> <li>- <b>Concentrations en Pb et Ni inférieures aux valeurs réglementaires.</b></li> <li>- Pas de valeurs réglementaires pour Cu, Zn et Fe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risque potentiel sanitaire : inhalation poussières</li> <li>La période étudiée n'est pas la plus représentative des ré-envols potentiels de poussières.</li> </ul>	• -Secteurs 2 et 3
Air intérieur	• Habitation (ancien garage de la Mine)	<ul style="list-style-type: none"> <li>o En <b>benzène et naphthalène</b>, C &lt;LQ&lt;valeurs guides françaises,</li> <li>o En <b>toluène et éthylbenzène</b> C&lt; médiane des valeurs de bruit de fond dans les logements français (OQAI 2003-2005) et &lt; aux valeurs guides internationales (pas de valeurs-guides françaises),</li> <li>o Médiane &lt; [<b>xylènes</b>] &lt; P95 des valeurs de bruit de fond (OQAI 2003-2005). C &lt; aux valeurs guide internationales (pas de valeurs-guides françaises),</li> <li>o La quantification en <b>HCT C6-C16</b> avec une fraction majoritaire en aromatiques C8-C10. Il n'existe pas de valeur-guides pour les fractions hydrocarburées.</li> </ul>	• Risque sanitaire : inhalation air intérieur	• Secteur 2 : ancien garage de la Mine



## XI. SCHEMA CONCEPTUEL

Le schéma conceptuel est élaboré à partir des données dont nous disposons à ce jour. Ces données sont résumées ci-après et pages suivantes sous forme de schéma et de synoptique.

Le schéma conceptuel préliminaire élaboré à partir des données dont nous disposons à ce jour est présenté aux pages suivantes sous forme de schémas :

- Le premier selon une coupe Ouest-Est du pont de la RD 133 jusqu'à l'Ourne, incluant l'ancienne mine Joseph.
- Le second selon une coupe Nord-Sud de la confluence Aiguesmortes/Gardon à la confluence ruisseau de la Mine/ruisseau de Paleyrolle (pont de la RD 133), incluant les anciennes mines de Pallières ;

Selon les informations disponibles à ce jour, les sources/voies de transfert/cibles potentielles sont les suivantes :

Secteur 1 : Ancienne Mine Joseph et usages aval ruisseau Paleyrolle	Secteurs 2 à 6 : autres concessions minières et usages aval ruisseau aiguesmortes
<p><b>Sources de pollution potentielles identifiées :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anciennes activités minières de surface (usine de traitement du minerai sur la commune de TORNAC) ;</li> <li>- zone à nus dans les zones d'extraction, haldes,</li> <li>- résidus miniers – dépôts de fines,</li> <li>- zone de dépôts des sédiments aux abords du ruisseau de Paleyrolle et de l'Ourne lors d'épisodes de crues.</li> </ul> <p><b>Voies de transfert / voies d'exposition :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- contact direct : ingestion des sols et inhalation poussières,</li> <li>- Ruissellement des eaux de pluie circulant sur les sols contaminés vers les eaux superficielles (drainage acide, entrainement de fines, précipitation d'hydroxydes de fer au niveau des ruisseaux),</li> <li>- Transfert indirect via sols et/ou eaux souterraines : ingestion de légumes cultivés et œufs.</li> </ul> <p><b>Cibles identifiées :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Habitants/riverains adultes et enfants : consommateurs végétaux et autres produits alimentaires,</li> <li>- Locataires courte durée (gîtes et camping) / Visiteurs / promeneurs adultes et enfants</li> </ul>	<p><b>Sources de pollution potentielles identifiées :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- anciennes activités minières (laverie, concasseur et autres procédés de traitement/transformation du minerai, transformateurs, cuves et bassins, etc.),</li> <li>- zone à nus dans les zones d'extraction, haldes</li> <li>- dépôts de stériles / résidus miniers – dépôts de fines,</li> <li>- zone de dépôts de sédiments aux abords des ruisseaux d'aiguesmortes et de la Mine lors d'épisodes de crues.</li> </ul> <p><b>Voies de transfert / voies d'exposition potentielles :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- contact direct : ingestion des sols et inhalation poussières,</li> <li>- Ruissellement des eaux de pluie circulant sur les sols contaminés vers les eaux superficielles (drainage acide, entrainement de fines, précipitation d'hydroxydes de fer au niveau des ruisseaux),</li> <li>- Transfert indirect via sols et/ou eaux souterraines : ingestion de légumes cultivés et autres denrées alimentaires (œufs),</li> <li>- envol / inhalation de poussières,</li> </ul> <p><b>Cibles identifiées :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Habitants/riverains adultes et enfants : consommateurs végétaux et autres produits alimentaires,</li> <li>- Travailleurs,</li> <li>- Locataires courte durée (gîtes et camping) / Visiteurs / promeneurs adultes et enfants.</li> </ul>

Figure 27 : Elaboration du schéma conceptuel du secteur 1 (Mine Joseph et usages en aval du ruisseau de Paleyrolle)

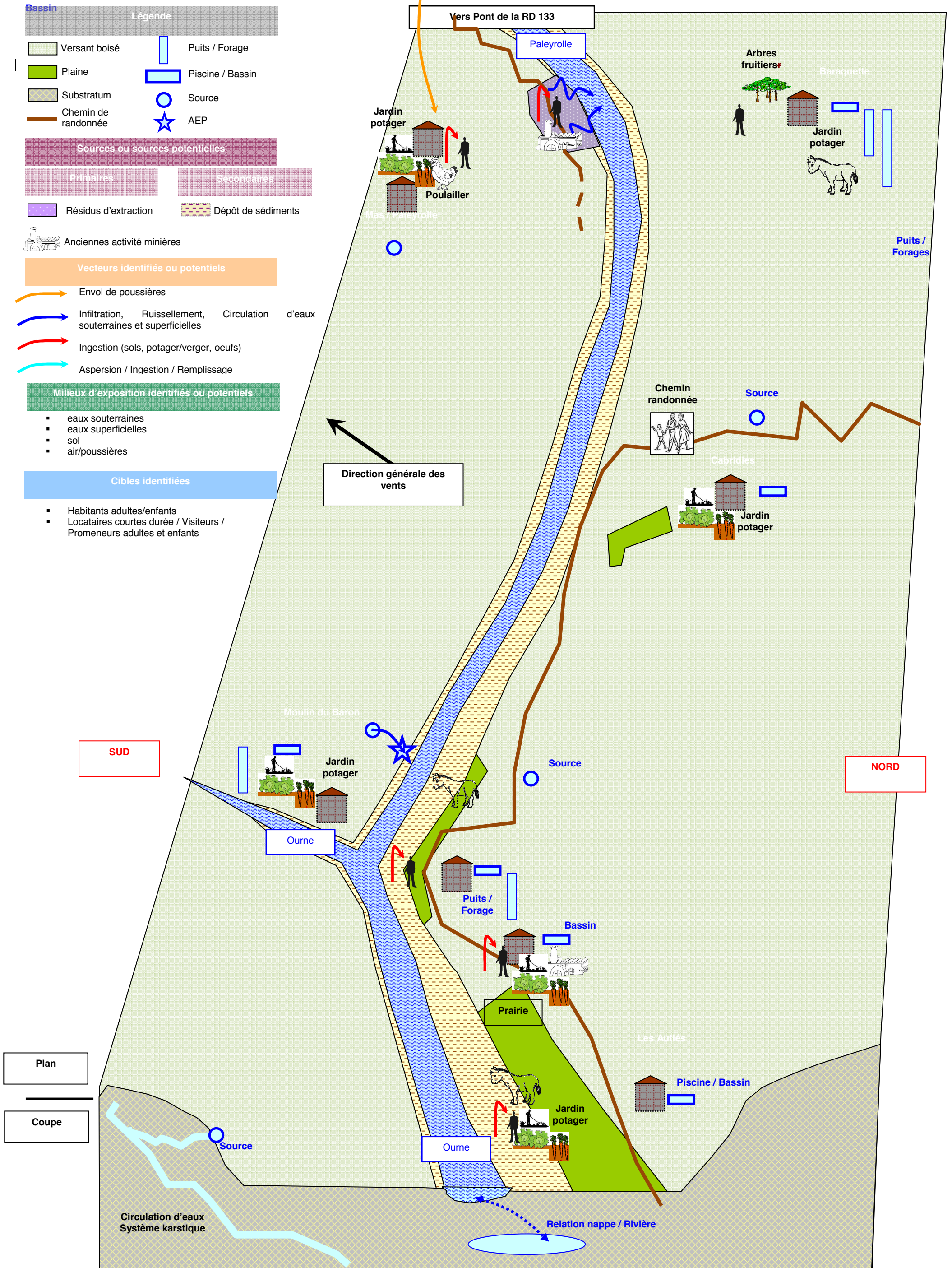
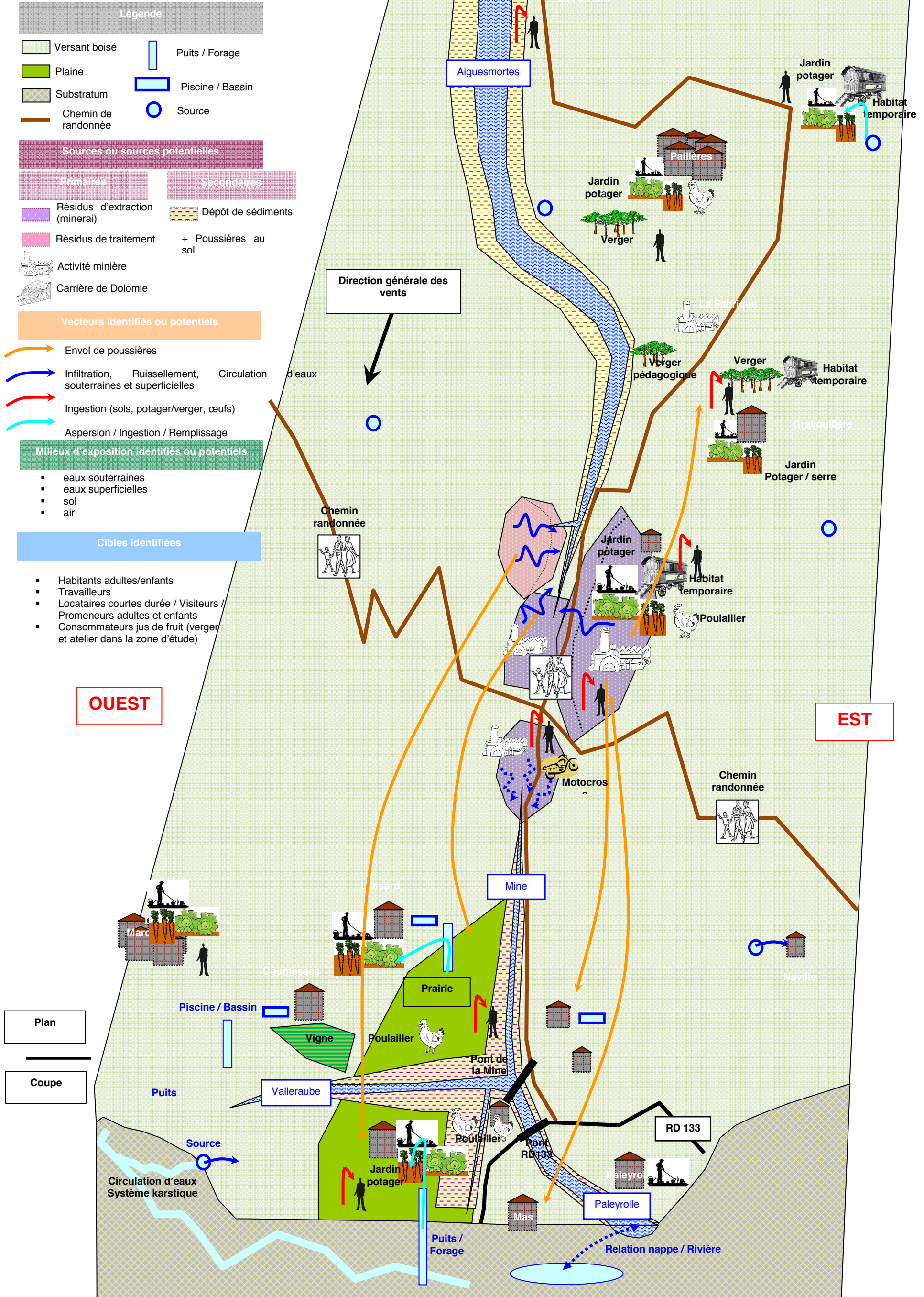




Figure 28 : Elaboration du schéma conceptuel des secteurs 2 à 5  
(anciennes mines de Pallières et usages aval ruisseaux)



## XII. INTERPRETATION DE L'ETAT DES MILIEUX

### XII.1. IEM milieu sols

#### XII.1.1 Références utilisées

##### Pour les éléments métalliques

L'ensemble des résultats des mesures réalisées à l'XRFP et en laboratoire a été comparé à l'état des milieux dits naturels voisins défini :

- à l'échelle régionale, à l'aide des valeurs calculées à partir des résultats d'une campagne d'analyses réalisée par le BRGM de 1975 à 1991 ;
- à l'échelle locale, à l'aide des valeurs calculées à partir des résultats mesurés sur les sols superficiels à l'XRFP sur des zones considérées comme témoin i.e. à partir des mesures réalisées dans les différents secteurs d'étude dans des zones hors influence :
  - des anciennes activités minières,
  - des envols potentiels de poussières issues des dépôts de stériles miniers,
  - du lit des ruisseaux du Paleyrolle et de l'Aiguesmortes et terrains inondables adjacents en cas de fortes pluies (dépôt de sédiments potentiellement chargés en Pb et As) ;
  - de l'activité de la carrière présente au Nord de la zone d'étude.

Les points de mesure utilisés pour définir « l'environnement témoin » sont précisés au chapitre IV.3.2.1.

Pour les cyanures, la valeur de référence utilisée a été la limite de quantification analytique du laboratoire.

#### XII.1.2 Voie d'exposition

La voie d'exposition par contact direct comprend trois voies d'exposition : ingestion de particules de sol, inhalation de poussières, contact cutané.

La voie par inhalation de poussières sera étudiée via le milieu Air (cf chapitre XIV.4.).

Par ailleurs, concernant la voie par contact cutané, le guide méthodologique concernant l'IEM précise : « En outre, en l'absence à ce jour de procédure établie pour la construction d'une VTR pour la voie cutané, il ne peut être envisagé une transposition pour cette voie à partir de VTR disponibles pour la voie orale ou respiratoire. ». A ce titre, la circulaire DGS/SD.7B n°2006-234 du 30 mai 2006 recommande de ne plus dériver de VTR pour les effets cutanés (en l'absence de VTR, aucune quantification possible du risque).

Il faut souligner ici que la très faible lipophilie des métaux limite leur absorption à travers l'épiderme<sup>4</sup>. Dans tous les cas, pour les molécules organiques et inorganiques, le contact cutané est considéré comme une voie d'exposition mineure lorsque les voies d'exposition par ingestion de sol et inhalation de poussières telluriques sont étudiées par ailleurs.

**Ainsi, considérant le milieu sol, seule la voie par ingestion de particules de sol sera étudiée ici.**

<sup>4</sup> Hostynek, et al., 1998 ; Paustenbach, 2000) US-EPA, Issue Paper on Metal Exposure Assessment, August 2004.



### XII.1.3 Evaluation des expositions

Les cibles retenues dans le cadre de cette IEM sont :

- **les résidents adultes et enfants** (tous les secteurs hors secteur 5<sup>5</sup>),

A noter que les cibles « résidents adultes et enfants » couvrent les autres cibles adultes et enfants qui pourraient être présentes sur le site mais qui sont moins exposées du fait d'une durée d'exposition plus faible (notamment les promeneurs). Cependant, le scénario promeneurs a été étudié également.

- **les promeneurs**, sur tout le secteur si on considère que des promeneurs peuvent traverser l'ensemble de la zone d'étude (chemins de randonnée depuis Pallières jusqu'au puits n°1 puis vers les Dolmen ou vers le dépôt et sentier existant au niveau de la mine Joseph – fréquenté par les chasseurs essentiellement).

Les paramètres retenus pour le calcul de risque sanitaire sont détaillés dans le tableau ci-après.

Paramètre	Scénario moyen				Scénario sécuritaire			
	Adultes résidents	Enfants résidents	Promeneurs Adultes	Promeneurs enfants	Adultes résidents	Enfants résidents	Promeneurs Adultes	Promeneurs enfants
Taux d'ingestion de sols	10 mg/j	20 mg/j	10 mg/j	20 mg/j	50 mg/j	100 mg/j	50 mg/j	100 mg/j
Durée d'exposition	30 ans	6 ans	30 ans	6 ans	30 ans	6 ans	30 ans	6 ans
Fréquence d'exposition	365 j/an	365 j/an	52 j/an	52 j/an	365 j/an	365 j/an	52 j/an	52 j/an
Poids corporel	70 kg	15 kg	70 kg	15 kg	70 kg	15 kg	70 kg	15 kg

**Tableau 10 : Paramètres retenus pour les scénarios d'ingestion de sol – Résidents et promeneurs**

N.B. Le scénario sécuritaire est le plus majorant en termes de risque. Le scénario moyen considère un taux d'ingestion moins important, les autres paramètres ne changent pas. Les quantités ingérées font références aux médianes (P50) (pour le scénario "moyen") et aux percentiles 95 (pour le scénario « sécuritaire ») des distributions publiées par Stanek et al.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Secteur 5 = Secteur de Pallières. Le hameau de Pallières se situe en dehors des activités minières et se situe en dehors des vecteurs potentiels de transfert et d'exposition vis-à-vis de ces activités. Les points de mesure de sols sur Pallières ont été utilisés pour le calcul des valeurs de fond géochimique ambiant, il fait partie de l'environnement témoin.

<sup>6</sup> Stanek, et al. 1997. Soil ingestion in adults – Results of a second pilot study. Toxicol. Environ Safety 36 : 249-257. + Stanek, E.J., Calabrese E.J. 2000. Daily soil ingestion estimates for children at a Superfund Site. Risk Analysis ; 20 : 627-635.

Les études de Stanek *et al* ont été recommandées par l'INVS dans deux ouvrages :

- INVS, Synthèse des travaux du Département santé environnement sur les variables humaines d'exposition, 2012.
- InVS (Dor F), INERIS (Denys S) et les membres du GT. Quantités de terre et poussières ingérées par un enfant de moins de 6 ans et bioaccessibilité des polluants. État des connaissances et propositions. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, septembre 2012, 83 p

## XII.1.4 Sélection des substances

Les substances sélectionnées pour l'étude sont celles connues pour être toxiques pour l'homme et pour lesquelles il existe des valeurs toxicologiques de référence accessibles et fiables. Les calculs de risque porteront sur ces substances.

### XII.1.4.1 Critère de sélection

Conformément au guide IEM, les substances sont sélectionnées sur la base d'un bruit de fond ou sur la base d'un témoin.

- Pour les **métaux** :
  - Eléments métalliques pour lesquels des dépassements par rapport aux valeurs de fond géochimique ambiant, calculées en local à l'aide des points XRPF mesurés dans l'environnement témoin. Il s'agit des métaux suivants : **As, Pb, Zn, Cd, Sb, Mn** (N.B. Le fer n'a pas de VTR à ce jour<sup>7</sup>) ;
  - Eléments métalliques pour lesquels des dépassements par rapport aux valeurs de fond géochimique régional ont été observés. Il s'agit des métaux suivants : **Ba, Cu et Hg**.

*N.B. Pour le mercure, il n'existe pas de valeurs de fond géochimique régional. Les concentrations varient de 0,18 à 36 mg/kgMS donc par principe de précaution, cet élément a été retenu.*

- Pour les **cyanures totaux** : Compte tenu de leur quantification au niveau de l'ancienne laverie, par principe de précaution ces teneurs sont retenues au niveau du secteur 3.

*N.B.*

*- Sur la campagne d'Août 2012, la limite de quantification des cyanures a été augmentée à 1 mg/kgMS. Ayant l'information du niveau de contamination des échantillons après analyses des métaux, le laboratoire a préféré ne pas risquer la détérioration de leur matériel analytique et a de ce fait réalisé l'analyse des cyanures en diluant par 100 les échantillons. Ces précautions n'ont pas été prises dans les échantillons de Septembre 2012 et les niveaux de concentrations dans les métaux étaient moins importantes (secteur « environnement témoin ») ;*

*- Les concentrations en cyanures au niveau du poulailler et du verger au hameau de Pallières (secteur 5) ont été quantifiées à des niveaux plus bas (0,13 et 0,27 mg/kgMS), équivalents à la limite de quantification (0,1mg/kgMS). Ces valeurs ne seront pas retenues dans un premier temps, ils font partie de l'environnement dit témoin.*

### XII.1.4.2 Teneurs retenues

Pour le scénario d'ingestion de sols, la campagne de prélèvement sur les sols superficiels a été menée en particulier pour quantifier ce type de risque.

Les teneurs en métaux retenues **au niveau de chaque secteur impacté<sup>8</sup> (hors valeurs utilisées pour le calcul des valeurs de fond ambiant local)**, sont les teneurs maximales et la moyenne des teneurs calculées pour chaque élément soit :

- Avec les mesures de l'XRPF corrélées avec les teneurs en laboratoire (cas pour lesquels la corrélation a été satisfaisante : As, Pb, Zn, Mn) sur la base de l'analyse statistique (**cf § V.3.2.2.**) ou,
- Avec les mesures en laboratoire pour les autres éléments métalliques (Cd, Sb, Ba, Cu, Hg).

#### **Cas particuliers :**

- **Secteur 1** (Ancienne mine Joseph et usages à l'aval du ruisseau de Paleyrolle) : ce secteur comprend la zone de la Mine Joseph (pas d'habitation), une ancienne zone de traitement du minerai, à usage d'habitation/gîte actuellement et des zones d'habitations dont les mesures ont été utilisées pour l'analyse statistique du bruit de fond géochimique local (*hors influence des activités minières et hors zone d'inondation*). Par conséquent, pour ce secteur, dans un premier temps, la grille IEM sera réalisée avec les mesures réalisées au droit de la propriété habitation/gîte où les teneurs en sols sont les plus élevées par rapport aux habitations de ce secteur (cas le plus majorant) ;

<sup>7</sup> Il existe actuellement une VTR provisoire définie par l'OMS

<sup>8</sup> Hors valeurs utilisées pour l'analyse statistique du bruit de fond géochimique local

- **Secteur 4** (Gravoulière) : au niveau des zones d'habitations, les teneurs sont majoritairement du même ordre de grandeur et hors influence des activités minières de surface. Cependant, des teneurs plus élevées ont été mesurées au droit de deux habitations et par principe de précaution, un calcul de risques sanitaires via la grille IEM a été réalisée en réalisant une nouvelle analyse statistique avec les teneurs sont supérieures à la moyenne de fond local pour ce secteur ;
- **Cas du scénario promeneur** : les teneurs moyennes tous secteurs confondus sera retenue en première approche.

Les teneurs retenues pour les cyanures totaux sont les teneurs maximales et les teneurs moyennes pour chaque secteur ayant fait l'objet d'une caractérisation de sols pour analyses des cyanures. Par principe de précaution, les teneurs en cyanures totaux ont été assimilées à celles en cyanures libres (majoration du risque) afin de les introduire dans la grille de calcul.

Pour la teneur maximale, cette démarche est très précautionneuse et majore les niveaux de risques sanitaires associés, en particulier dans les secteurs des anciennes activités minières. Les critères de sélection retenus pour cette étude sont sécuritaires vis-à-vis de l'évaluation du risque (substances quantifiées et teneurs maximales retenues).

Les teneurs moyennes ont été privilégiées aux médianes par principe de précaution car les moyennes sont supérieures aux médianes dans l'analyse statistique pour chaque secteur.

Nota : Lorsque les valeurs de risque apparaissent compatibles pour une teneur donnée, les calculs n'ont pas été menés pour les autres teneurs inférieures (pour le même scénario et la même cible).

Les teneurs retenues dans les sols superficiels pour la réalisation d'une grille IEM sont présentées dans le tableau suivant.

		Sb labo	Ba labo	Cd labo	Cu labo	Hglabo	As corrigé	Mn corrigé	Pb corrigé	Zn corrigé	CNtot labo
<b>BDF</b>	effectif	-	-	-	-	-	283				-
	moyenne	74	212	8	34	-	374	1808	1239	740	-
	P90	51	345	16	68	-	664	3403	2278	950	-
<b>Tous secteurs</b>	effectif	40	40	40	40	40	623	583	623	622	40
	moyenne	98	102	34,7	134	3,9	1029	1463	14533	8630	1,4
	max	1100	460	230	1100	36	17944	13 240	421 127	135 781	2,3
<b>Secteur 1</b> Uniquement habitation au droit ancienne activité minière avec la valeur max isolée	effectif	1	1	1	1	1	5	0	8	7	-
	moyenne	-	-	-	-	-	4914	/	67 239	3248	-
	max	56	33	2,7	58	0,34	17944	/	421127	8160	-
<b>Secteur 1</b> Uniquement habitation au droit ancienne activité minière sans la valeur max isolée	effectif	1	1	1	1	1	4	0	7	6	-
	moyenne	-	-	-	-	-	1656	/	16684	2429	-
	max	56	33	2,7	58	0,34	4306	/	71965	5471	-
<b>Secteur 2</b> Usages aval ruisseau de la mine et sous le vent	effectif	6	6	6	6	6	145	145	145	145	4
	moyenne	38	64	5,4	124	0,78	375	1540	3 673	2660	-
	max	69	81	14,0	210	1,40	1875	4157	53 533	22 465	1,3
<b>Secteur 3</b> Anciennes mines de Pallières	effectif	15	15	15	15	15	306	292	306	306	20
	moyenne	121	63,9	85	199	8,7	1074	1501	16 077	14 715	1,7
	max	350	140,0	230	1100	36,0	11 148	13 240	383 746	135 781	2,3
<b>Secteur 4</b> Gravouillère	effectif	4	4	4	4	4	29	8	41	20	3
	moyenne	34,7	235	1	57	0,8	599	2120	3324	5744	-
	max	57,0	460	2	120	1,3	1242	2640	19308	15232	-

N.B. Concernant le secteur 1, il a été jugé opportun de retirer la valeur maximale qui correspond à la valeur maximale tous secteurs confondus et cette mesure est particulièrement élevée par rapport aux autres mesures au niveau de cette habitation, elle est située au niveau de l'ancienne volière dans la partie non habitée du terrain.

Tableau 11 : teneurs retenues dans les sols superficiels pour la réalisation de l'IEM



## XII.1.5 Résultats

Les résultats des calculs pour l'ingestion de sol dans les grilles IEM sont présentés en **Annexe 20**, ils sont donnés par substance et selon les hypothèses retenues dans cette étude. L'interprétation des résultats relative à l'acceptabilité du risque, est synthétisée, par substance, dans les tableaux suivants.

**Figure 29 – Grille IEM – Ingestion des sols pour les résidents**  
**TENEURS MAXIMALES**

Résidents : Scénario sécuritaire – Teneurs maximales									
Substance sélectionnée	Secteur 1		Secteur 2		Secteur 3		Secteur 4		
	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	
antimoine	ZI	C	ZI	C	INC	ZI	ZI	C	
arsenic	INC	INC	INC	INC ERI	ZI QD	INC	INC	INC	INC ERI ZI QD
baryum	C	C	C	C	C	C	C	C	
cadmium	C	C	C	C	ZI	ZI	C	C	
cuiivre	C	C	C	C	C	C	C	C	
manganèse	-	-	ZI	C	ZI	ZI	ZI	C	
mercure	C	C	C	C	ZI	C	C	C	
plomb	INC	INC	INC	INC	INC	INC	INC	ZI	
Zinc	C	C	ZI	C	ZI	ZI	ZI	C	
Cyanures totaux	-	-	C	C	C	C	-	-	

INC : incompatible, ZI : Zone d'incertitude, C : Compatible

ERI : Excès de risque Individuel

QD : Quotient de danger

Résidents : Scénario moyen – Teneurs maximales									
Substance sélectionnée	Secteur 1		Secteur 2		Secteur 3		Secteur 4		
	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	
antimoine	C	C	ZI	C	ZI	C	C	C	
arsenic	INC	INC ERI ZI QD	INC	INC ERI ZI QD	INC	INC	INC	INC	INC ERI ZI QD
baryum	C	C	C	C	C	C	C	C	
cadmium	C	C	C	C	ZI	C	C	C	
cuiivre	C	C	C	C	C	C	C	C	
manganèse	-	-	C	C	ZI	C	C	C	
mercure	C	C	C	C	C	C	C	C	
plomb	INC	ZI	INC	ZI	INC	INC	INC	ZI	
Zinc	C	C	C	C	ZI	C	C	C	
Cyanures totaux	-	-	C	C	C	C	C	-	

INC : incompatible, ZI : Zone d'incertitude, C : Compatible

ERI : Excès de risque Individuel

QD : Quotient de danger

### TENEURS MOYENNES

Résidents : Scénario sécuritaire – Teneurs moyennes											
Substance sélectionnée	Secteur 1		Secteur 2		Secteur 3		Secteur 4				
	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes			
antimoine	ZI	C	ZI	C	ZI	ZI	ZI	C			
arsenic	INC	INC ERI ZI QD	INC	INC ERI ZI QD	INC	INC ERI ZI QD	INC	INC ERI ZI QD			
baryum	C	C	C	C	C	C	C	C			
cadmium	C	C	C	C	ZI	C	C	C			
cuivre	C	C	C	C	C	C	C	C			
manganèse	-	-	ZI	C	ZI	C	ZI	C			
mercure	C	C	C	C	C	C	C	C			
plomb	INC	ZI	INC	ZI	INC	ZI	INC	ZI			
Zinc	C	C	C	C	ZI	C	C	C			
Cyanures totaux	-	-	C	C	C	C	-	-			

INC : incompatible, ZI : Zone d'incertitude, C : Compatible  
ERI : Excès de risque Individuel  
QD : Quotient de danger

Résidents : Scénario moyen – Teneurs moyennes											
Substance sélectionnée	Secteur 1		Secteur 2		Secteur 3		Secteur 4				
	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes			
antimoine	C	C	C	C	ZI	C	C	C			
arsenic	INC	INC ERI ZI QD	ZI	ZI ERI C QD	INC ERI ZI QD	ZI	INC ERI ZI QD	ZI			
baryum	C	C	C	C	C	C	C	C			
cadmium	C	C	C	C	ZI	C	C	C			
cuivre	C	C	C	C	C	C	C	C			
manganèse	-	-	C	C	C	C	C	C			
mercure	C	C	C	C	C	C	C	C			
plomb	INC	ZI	ZI	C	INC	ZI	ZI	C			
Zinc	C	C	C	C	C	C	C	C			
Cyanures totaux	-	-	C	C	C	C	C	C			

INC : incompatible, ZI : Zone d'incertitude, C : Compatible  
ERI : Excès de risque Individuel  
QD : Quotient de danger

Figure 30 – Grille IEM – Ingestion des sols pour les promeneurs

Promeneurs : Teneurs maximales				
Substance sélectionnée	Scénario sécuritaire		Scénario moyen	
	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes
antimoine	ZI	ZI	ZI	C
arsenic	INC	INC	INC	INC ERI ZI QD
baryum	C	C	C	C
cadmium	ZI	C	C	C
cuiivre	C	C	C	C
manganèse	ZI	C	C	C
mercure	C	C	C	C
plomb	INC	INC	INC	ZI
Zinc	ZI	C	C	C
Cyanures totaux	C	C	C	C

INC : incompatible, ZI : Zone d'incertitude, C : Compatible  
ERI : Excès de risque Individuel, QD : Quotient de danger

Promeneurs : Teneurs moyennes				
Substance sélectionnée	Scénario sécuritaire		Scénario moyen	
	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes
antimoine	ZI	C	C	C
arsenic	INC ERI ZI QD	ZI	ZI	ZI ERI C QD
baryum	C	C	C	C
cadmium	C	C	C	C
cuiivre	C	C	C	C
manganèse	C	C	C	C
mercure	C	C	C	C
plomb	ZI	ZI	ZI	C
Zinc	C	C	C	C
Cyanures totaux	C	C	C	C

INC : incompatible, ZI : Zone d'incertitude, C : Compatible  
ERI : Excès de risque Individuel, QD : Quotient de danger

En considérant les scénarii résidents, les résultats montrent des niveaux de risques pour l'ingestion de particules de sols :

CIBLES : RESIDENTS	
<p><b>SECTEUR 1</b></p> <p>Habitation/gîte au droit d'une ancienne zone de traitement de minerai</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ incompatibles pour : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ l'arsenic pour tous les scénarii adultes et enfants,</li> <li>▪ le plomb pour : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tous les scénarii et teneurs pour les enfants,</li> <li>▪ scénario sécuritaire et teneurs max pour les adultes.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>✚ zone d'incertitude pour : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ le plomb pour les adultes : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ scénario sécuritaire et teneurs moyennes,</li> <li>▪ scénario moyen et teneurs max et moyennes.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>✚ compatibles pour les autres éléments métalliques.</li> </ul>

	<b>CIBLES : RESIDENTS</b>
<p><b>SECTEUR 2</b></p> <p>Usages sous le vent des anciennes mines de Pallières</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ <b>incompatibles</b> pour :           <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ l'<b>arsenic</b> pour les enfants et adultes :               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ scénario sécuritaire, teneurs max et moyennes,</li> <li>▪ scénario moyen et teneurs max.</li> </ul> </li> <li>▪ le <b>plomb</b> pour :               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ scénario sécuritaire et teneurs max, adultes et enfants,</li> <li>▪ scénario sécuritaire et teneurs moyennes, enfants,</li> <li>▪ scénario moyen et teneurs max, enfants</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>✚ <b>zone d'incertitude</b> pour :           <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ l'<b>arsenic</b> pour les enfants et adultes :               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ scénario moyen et teneurs moyennes.</li> </ul> </li> <li>▪ le <b>plomb</b> pour :               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ scénario moyen et teneurs moyennes, enfants,</li> <li>▪ scénario sécuritaire et teneurs moyennes, adultes,</li> <li>▪ scénario moyen et teneurs max, adultes</li> </ul> </li> <li>▪ l'<b>antimoine</b> pour les enfants :               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ scénario sécuritaire, teneurs max et moyennes,</li> <li>▪ scénario moyen et teneurs max.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>✚ <b>compatibles</b> pour :           <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ le <b>plomb</b> pour scénario moyen, teneurs moyennes, adultes ;</li> <li>▪ l'<b>antimoine</b> :               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ scénario moyen et teneurs moyennes, enfants,</li> <li>▪ tous les scénarii adultes.</li> </ul> </li> <li>▪ <b>les autres éléments métalliques</b></li> <li>▪ <b>les cyanures</b></li> </ul> </li> </ul>
<p><b>SECTEUR 3</b></p> <p>Anciennes mines de Pallières</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ <b>incompatibles</b> pour :           <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ l'<b>arsenic</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tous les scénarii enfants,</li> <li>▪ tous les scénarii adultes sauf scénario moyen, teneurs moyennes.</li> </ul> </li> <li>▪ le <b>plomb</b> pour :               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tous les scénarii enfants,</li> <li>▪ scénarii sécuritaire et moyen, teneurs max, adultes</li> </ul> </li> <li>▪ l'<b>antimoine</b> pour scénario sécuritaire, teneurs max, enfants</li> </ul> </li> <li>✚ <b>zone d'incertitude</b> pour :           <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ l'<b>arsenic</b> scénario moyen et teneurs moyennes, adultes.</li> <li>▪ le <b>plomb</b> pour scénarii sécuritaire et moyen, teneurs moyennes, adultes</li> <li>▪ l'<b>antimoine</b> pour :               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ scénario sécuritaire, teneurs moyennes, enfants</li> <li>▪ scénario moyen, teneurs max et moyennes, enfants,</li> <li>▪ scénario sécuritaire, teneurs max et moyennes, adultes</li> </ul> </li> <li>▪ le <b>mercure</b> pour scénario sécuritaire, teneurs max, enfants</li> <li>▪ le <b>cadmium</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tous les scénarii, enfants</li> <li>▪ scénario sécuritaire, teneurs max, adultes.</li> </ul> </li> <li>▪ le <b>manganèse et zinc</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tous les scénarii sauf scénario moyen, teneurs moyennes, enfants</li> <li>▪ scénario sécuritaire, teneurs max, adultes.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>✚ <b>compatibles</b> pour :           <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ le <b>plomb</b> pour scénario moyen, teneurs moyennes, adultes</li> <li>▪ l'<b>antimoine</b> pour le scénario moyen, teneurs max et moyennes, adultes</li> <li>▪ le <b>mercure</b> sauf scénario sécuritaire, teneurs max, enfants</li> <li>▪ le <b>cadmium</b> pour le scénario sécuritaire, teneurs moyennes et scénario moyen, teneurs max et moyennes, adultes</li> <li>▪ le <b>manganèse et zinc</b>,               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ scénario moyen, teneurs moyennes, enfants.</li> <li>▪ tous les scénarii sauf scénario sécuritaire, teneurs max, adultes</li> </ul> </li> <li>▪ <b>les autres éléments métalliques</b></li> <li>▪ <b>les cyanures</b></li> </ul> </li> </ul>



	CIBLES : RESIDENTS
<p><b>SECTEUR 4</b></p> <p>Gravouillère</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ incompatibles pour : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ l'arsenic : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tous les scénarii, enfants,</li> <li>▪ tous les scénarii adultes sauf scénario moyen et teneurs moyennes.</li> </ul> </li> <li>▪ le plomb pour tous les scénarii sauf scénario moyen et teneurs moyennes, enfants</li> </ul> </li> <li>✚ zone d'incertitude pour : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ l'arsenic pour scénario moyen et teneurs moyennes, adultes</li> <li>▪ le plomb pour : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ scénario moyen et teneurs moyennes, enfants,</li> <li>▪ tous les scénarii sauf scénario moyen et teneurs moyennes, adultes</li> </ul> </li> <li>▪ le manganèse pour le scénario sécuritaire, teneurs max et moyennes, enfants</li> </ul> </li> <li>✚ compatibles pour : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ le plomb pour scénario moyen, teneurs moyennes, adultes ;</li> <li>▪ le manganèse pour <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ scénario moyen et teneurs max et moyennes, enfants,</li> <li>▪ tous les scénarii adultes.</li> </ul> </li> <li>▪ les autres éléments métalliques</li> </ul> </li> </ul>

En considérant le scénario promeneurs, les résultats montrent des niveaux de risques pour l'ingestion de particules de sols :

- ✚ incompatibles pour :
  - l'arsenic,
    - tous les scénarii, teneurs maximales, adultes et enfants
    - scénario sécuritaire, teneurs moyennes, enfants.
  - le plomb
    - tous les scénarii, teneurs maximales, enfants
    - scénario sécuritaire, teneurs maximales, adultes.
- ✚ zone d'incertitude pour
  - l'arsenic,
    - scénario moyen, teneurs moyennes, adultes et enfants.
    - scénario sécuritaire, teneurs moyennes, adultes
  - le plomb
    - tous les scénarii, teneurs moyennes, enfants
    - scénario sécuritaire, teneurs moyennes, adultes.
    - Scénario moyen, teneurs max, adultes
  - l'antimoine,
    - tous les scénarii sauf scénario moyen, teneurs moyennes, enfants
    - scénario sécuritaire, teneurs maximales, adultes.
  - cadmium, manganèse, zinc pour scénario sécuritaire, teneurs maximales, enfants,
- ✚ compatibles pour :
  - le plomb, scénario moyen, teneurs moyennes, adultes.
  - l'antimoine,
    - scénario moyen et teneurs max, adultes
    - scénario sécuritaire, teneurs moyennes, adultes
    - scénario moyen, teneurs moyennes, adultes et enfants
  - cadmium, manganèse, zinc pour tous les scénarii sauf scénario sécuritaire, teneurs maximales, enfants,

## XII.1.6 Conclusion globale IEM Sols

Compte tenu des résultats des calculs, il est difficile de dégager une analyse fine par secteur. En effet, quel que soit le secteur, les niveaux de risque incompatibles concernent globalement l'arsenic et le plomb et ponctuellement l'antimoine pour scénario sécuritaire, teneurs max, enfants.

Les facteurs influençant les résultats de cette analyse sont le choix des taux d'ingestion (scénario sécuritaire et moyen) et la valeur de teneurs entrée dans les grilles IEM.

En effet, compte tenu de la surface de chaque secteur et du nombre de points de mesures importants pour les traceurs de risque (Plomb et arsenic) sauf secteur 1 habitation/gîte, les conclusions basées sur la teneur maximale par secteur peuvent être considérées comme non réalistes.

En tentant d'être raisonnablement réaliste et pouvoir dégager des recommandations plus claires en distinguant les secteurs 1 et 3 des autres secteurs, nous avons pris les hypothèses suivantes, à ce stade :

- Scénario sécuritaire et teneurs moyennes pour les résidents au droit des anciennes installations minières et haldes : Secteur 3 et habitation/gîte en secteur 1 :

Les niveaux de risques incompatibles et en zone d'incertitude sont :

✚ incompatibles pour :

- l'arsenic, adultes et enfants,
- le plomb, les enfants.

✚ zone d'incertitude pour :

- le plomb pour les adultes ;
- l'antimoine pour les enfants des secteurs 1 et 3 et adultes du secteur 3
- le cadmium, le manganèse et le zinc pour les enfants du secteur 3 uniquement.

- Scénario moyen et teneurs moyennes pour les résidents des autres secteurs sous influence des anciennes activités minières : secteurs 2 et 4

Les niveaux de risques incompatibles et en zone d'incertitude sont :

✚ incompatibles pour :

- l'arsenic, enfants, secteur 4 uniquement,

✚ zone d'incertitude pour :

- l'arsenic et le plomb pour les enfants (sauf arsenic secteur 4) ;
- l'arsenic pour les adultes.

- Scénario moyen et teneurs moyennes pour les promeneurs

➤ Les niveaux de risques incompatibles et en zone d'incertitude sont :

✚ Aucune incompatibilité

✚ zone d'incertitude pour :

- l'arsenic, adultes et enfants ;
- le plomb pour les enfants.

Les résultats et ces hypothèses de travail sont à discuter avec le BRGM et la DREAL.

Dans cette attente, au chapitre XII.5.1.1 relatif à la discussion des résultats de l'IEM sur les sols, présentée au chapitre, il est présenté les gammes de valeurs en éléments métalliques pour lesquelles les niveaux de risques sont compatibles ou dans la zone d'incertitude ou incompatibles et le pourcentage des valeurs mesurées à l'XRPF par secteur et pour chaque gamme de niveaux de risques.

## XII.2. IEM milieu eau

Les résultats analytiques sur les échantillons d'eau de ville aux points d'usage (J6, J10 et J14La Mine) et d'eaux souterraines aux points d'usage montrent des concentrations :

- **inférieures aux limites de quantifications et/ou ;**
- **inférieures aux valeurs limites de l'Annexe 1 de l'arrêté du 11 Janvier 2007** relatif aux valeurs limites de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, sauf pour certains points d'eau qui ne sont pas utilisées pour la consommation humaine mais pour des besoins d'arrosage (eaux ferrugineuses) :
  - o **As, Forage Jardin 12 et Source J16**, les concentrations (20 et 21  $\mu\text{g/l}$ ) restent **inférieures à l'Annexe 2 de cet arrêté relatif à la valeur limite sur la qualité des eaux brutes destinées à la consommation humaine (100  $\mu\text{g/l}$ )** ;
  - o **Pb, Source J16**, toutefois, la concentration (22  $\mu\text{g/l}$ ) reste **inférieure à l'Annexe 2 de cet arrêté relatif à la valeur limite sur la qualité des eaux brutes destinées à la consommation humaine (50  $\mu\text{g/l}$ )** ;
  - o **Fe, Forage Jardin 12, Forage Issart, Source J16 et Bassin Pallières** (après épisode orangeux). Le puits des Issarts n'est pas utilisé à ce jour (usage futur – arrosage et abreuvement animaux), le Jardin 12 est relié à l'eau de ville pour la consommation en eau et la Communauté du Haut de Pallières au Jardin J16 utilise une autre source (sur l'autre versant) pour les besoins de consommation en eau. Ce sont des eaux ferrugineuses compte tenu de la nature des terrains traversés ;
  - o **Mn, puits de Coumessas et source J16**. Le puits de Coumessas est utilisé pour des besoins en arrosage et remplissage de l'eau de la piscine et peut être utilisé pour des besoins domestiques mais pas de consommation d'après l'interview des propriétaires.

Pour le Fer et le Manganèse, il n'existe pas de valeurs limites dans l'Annexe 2 de l'arrêté du 11 Janvier 2007. Rappelons que la présence du fer et manganèse dans les eaux est en relation avec la nature géologique des sols en profondeur (éléments constitutifs du sous-sol).

*N.B. Il n'existe pas de valeurs réglementaires concernant l'usage arrosage.*

A titre indicatif, les **SEQ-Eaux souterraines**, définies par l'Agence de l'Eau, permettent d'évaluer la qualité de l'eau par rapport à des **usages** (détermination de l'aptitude d'une eau en fonction de sa qualité à satisfaire plus ou moins certains usages : production d'eau potable, usages énergétiques, irrigation, abreuvement...). Les SEQ-ESO pour les usages abreuvement et irrigation pour le plomb et l'arsenic sont les suivantes :

SEQ ESO En $\mu\text{g/l}$	Abreuvement pour une eau permettant l'abreuvement de tous les animaux y compris les plus sensibles	Irrigation pour une eau permettant l'irrigation des plantes très sensibles ou de tous les sols
Arsenic	50	100
Plomb	50	200

**Les concentrations en plomb et arsenic au niveau du forage du Jardin 12 et de la source J16 sont inférieures aux SEQ-ESO pour ces usages.**

**Au vu de ces résultats, la qualité des eaux semble compatible avec les usages constatés.**

## XII.3. IEM milieu air

### XII.3.1 Poussières

Les résultats sur les prélèvements d'air extérieur (blanc déduit) montrent des concentrations :

- **inférieures ou équivalentes à la limite de quantification analytique en PM10, arsenic, antimoine baryum, cadmium, chrome, manganèse, sélénium et mercure** sur les trois points de prélèvements,
- **la quantification de cuivre, fer, plomb, nickel et zinc sur les points Po\_1** (au droit de l'ancienne zone de la mine en face du dépôt de stériles) **et/ou Po\_3** (sous le vent de toutes les installations des anciennes mines de Pallière et route d'accès à la Mine). Les concentrations sont inférieures aux valeurs réglementaires du décret n°2010-1250 du 21 Octobre 2010, sauf pour le cuivre et le zinc et le fer pour lequel il n'existe pas de valeurs réglementaires françaises ou valeurs-guides.

*N.B. l'ensemble des limites de quantification analytique est inférieur aux valeurs françaises (décret n°2010-1250 du 21 Octobre 2010) ou internationales.*

**Compte tenu des résultats et de la période de prélèvement peu sécuritaire en termes d'envol de poussières, nous recommandons la réalisation d'une nouvelle campagne de mesures d'air ambiant en saison sèche et en période de vent dominant Nord-Sud important afin d'évaluer la pertinence de retenir cette voie d'exposition et de réaliser un calcul de risque sanitaire pour les substances n'ayant pas de valeurs réglementaires associées. Au vue de l'absence de valeurs de référence pour certains métaux, il sera opportun de réaliser une mesure témoin pour la comparaison des résultats.**

### XII.3.2 Air intérieur

#### XII.3.2.1 Comparaison des résultats avec les valeurs de référence

Les résultats sur le prélèvement d'air intérieur montrent :

- En **benzène et naphtalène**, des concentrations inférieures aux limites de quantification analytique, inférieure aux valeurs guides françaises,
- La quantification du **toluène et éthylbenzène** à des concentrations inférieures à la médiane des valeurs de bruit de fond dans les logements français (OQAI 2003-2005) et aux valeurs guides internationales pour le toluène (INDEX) (pas de valeurs-guides françaises pour les deux composés et pas de valeur-guide internationale pour l'éthylbenzène),
- La quantification **en xylènes** à une concentration supérieure à la médiane mais inférieure au P95 des valeurs de bruit de fond (OQAI 2003-2005). La concentration est inférieure aux valeurs guide internationales INDEX (pas de valeurs-guides françaises),
- La quantification en **HCT C6-C16** avec une fraction majoritaire en aromatiques C8-C10. Il n'existe pas de valeur-guides pour les fractions hydrocarburées.

#### XII.3.2.2 Evaluation des expositions

Les cibles retenues dans le cadre de cette IEM sont :

- les enfants résidents,
- les adultes résidents.



### XII.3.2.3 Sélection des substances et concentrations retenues

Les substances retenues sont celles présentant des teneurs n'ayant pas de valeurs guides ou supérieures à la médiane de l'OQAI, à savoir :

- Xylènes ;
- HCT aliphatiques C6-C8 ;
- HCT aliphatiques C8-C10 ;
- HCT aliphatiques C10-C12 ;
- HCT aliphatiques C10-C16 ;
- HCT aromatiques C8-C10 ;
- HCT aromatiques C10-C12 ;
- HCT aromatiques C12-C16.

*N.B. Les HCT aromatiques C6-C8 correspondent au benzène et toluène.*

### XII.3.2.4 Résultats des calculs par l'outil IEM

Les résultats des calculs pour l'inhalation air intérieur dans la grille IEM sont présentés en [Annexe 21](#). L'interprétation des résultats relative à l'acceptabilité du risque, est synthétisée par substances, dans le tableau suivant.

**Figure 31 – Grille IEM – Inhalation air intérieur pour les résidents**

Résidents		
Substances Recherchées	Enfants	Adultes
HCT aliphatiques C6-C8	C	C
HCT aliphatiques C8-C10	C	C
HCT aliphatiques C10-C12	C	C
HCT aliphatiques C12-C16	C	C
HCT aromatiques C8-C10	C	C
HCT aromatiques C10-C12	C	C
HCT aromatiques C12-C16	C	C
Xylènes	C	C

INC : incompatible, Z I : Zone d'incertitude, C : Compatible

ERI : Excès de risque Individuel

QD : Quotient de danger

Les résultats montrent des niveaux de risque pour le scénario inhalation air intérieur, compatibles pour les substances étudiées pour toutes les cibles.

## XII.4. IEM milieux Denrées alimentaires

### XII.4.1 Comparaison aux valeurs réglementaires et échantillons « témoin »

L'analyse de la comparaison des teneurs mesurées par rapport aux échantillons témoins est présentée au chapitre V.4.1.1.

D'un point de vue réglementaire, des **teneurs maximales réglementaires** (relatives à la mise sur le marché) **ou recommandées** sont définies en France uniquement pour les éléments **Plomb, Cadmium et Mercure** :

- Dans les **légumes feuilles**, la teneur maximale réglementaire est dépassée en **Plomb pour 8 échantillons sur 10** et en **Cadmium pour 2 échantillons sur 10** ;
- Dans les **légumes racinaires**, la teneur maximale réglementaire est dépassée en **Plomb pour tous les échantillons** et en Cadmium pour 3 échantillons sur 7 ;
- Dans les **légumes fruits**, la teneur maximale réglementaire est légèrement dépassée en **Plomb et Cadmium pour 1 échantillon sur 12** ;
- Dans les **raisins** de la vigne de Coumessas, **la valeur maximale réglementaire européenne** pour la mise sur le marché (0,1 mg/kgMB) est dépassée en **Plomb** (0,56 mg/kgMB).

Il n'existe pas de valeur réglementaire ou recommandée pour les teneurs en éléments métalliques dans les œufs et le miel. Par comparaison avec les résultats des échantillons témoin pour les œufs et le miel, les teneurs des échantillons supérieures à celles mesurées dans l'échantillon témoin concernent :

- Pour les œufs :
  - **Ba, Cu, Zn** : les teneurs sont légèrement plus élevées sur deux ou trois échantillons ;
  - **Pb** : le plomb n'est pas quantifié dans l'échantillon dit « témoin » (<0,02 mg/kgMB), les teneurs sont 3 à 4 fois plus élevées et du même ordre de grandeur dans les secteurs 1 et 2 et 7 à 8 fois plus élevées au niveau du Poulailier Association de la Mine et au Nord de la Fabrique ;
- Pour le miel :
  - **Ba** : la valeur sur le miel de Panissière (0,5 mg/kgMB) est légèrement supérieure à celle de l'échantillon témoin (0,2 mg/kgMB).

## XII.4.2 Evaluation des expositions

Les cibles retenues dans le cadre de cette IEM sont :

- les populations non agricoles enfants,
- les populations non agricoles adultes.

Les paramètres retenus pour le calcul de risque sanitaire sont les suivants :

**Tableau 12 : Paramètres retenus pour les scénarios ingestion de végétaux**

Paramètre	Scénario ingestion denrées alimentaires	
	Adultes	Enfants
Quantité de légumes de type « feuilles » ingérées	47,43 g/j	59,31 g/j
Quantité de fruits ou légumes fruits ingérés	197,69 g/j	79,41 g/j
Quantité de légumes de type « racines » ingérées	29,58 g/j	26,39 g/j
Quantité d'oeufs	15,1 g/j	10,4 g/j
Quantité de miel ingéré	8,2-15 g/j	8,2-40g/j
Pourcentage d'autoproduction de légumes de type « feuilles » ingérés	26,38 %	26,38 %
Pourcentage d'autoproduction de fruits ou légumes « fruits » ingérés	13,08 %	13,08 %
Pourcentage d'autoproduction de légumes de type racines ingérées	24,33 %	24,33 %
Pourcentage d'autoconsommation d'oeufs	23,67 %	23,67 %
Nombre de jour d'exposition théorique annuelle	365 j	365 j
Durée d'exposition théorique	30 ans	6 ans
Poids corporel	70 kg	15 kg
Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition	70 ans	70 ans

Rappelons ici que ce scénario est très sécuritaire en terme de risque, il est à la fois sécuritaire sur la quantité journalière ingérée et sur la durée d'exposition (données nationales issues de la base de données CIBLEX<sup>9</sup>).

Les données sur les œufs sont issues de l'étude INCA 2 sur les consommations moyennes par groupes d'aliments en 2006-2007 pour les enfants et adultes (source AFSSA – 12 décembre 2007) et la fraction d'autoconsommation correspond à la valeur maximale toutes régions confondues de l'étude BERTAND, 1993.

Les données sur le miel sont issues d'un site internet de santé naturelle <http://www.01sante.com> (en considérant la consommation une cuillère à soupe par jour pour les adultes et une cuillère à café par jour par les enfants) et une enquête de consommation de miel en France sur réalisée en Septembre 2010-Février 2011, réalisée par APINOV<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> IRSN, ADEME, Banque de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué, CIBLEX, version O, Juin 2003.

<sup>10</sup> Production-et-consommation-de-miel-dans-le-monde-version-reduite-Nov2010, APINOV.

## XII.4.3 Sélection des substances

### XII.4.3.1 Critère de sélection

Les substances retenues sont celles présentant des teneurs n'ayant pas de seuil de référence dans la norme CE N°1881/2006 (commercialisation des denrées alimentaires) et qui présentent des teneurs supérieures aux teneurs dans les jardins et poulaillers définis comme « témoins ».

En complément des seuils réglementaires afin de préciser les niveaux de risque potentiels, l'outil IEM a également été utilisé pour le plomb et le cadmium sur les zones présentant des teneurs en plomb incompatibles avec la norme CE N°1881/2006 (denrées alimentaires).

De plus, par principe de précaution, les cyanures ont été retenus car des teneurs sont supérieures aux limites de quantification même si elles sont du même ordre de grandeur que dans les jardins/poulaillers dits témoins.

**Donc les paramètres retenus sont les suivants :**

- **As, Ba, Cd, Cu, Mn, Zn, Pb et cyanures pour les plantes potagères et fruits,**
- **Ba, Cu, Zn, Pb et cyanures pour les œufs,**
- **Ba pour le miel.**

*N.B. A l'exception du raisin prélevé dans les vignes de Coumessas, les fruits ne font pas l'objet d'un calcul via la grille IEM compte tenu des interprétations sur ce milieu (cf § VI.4.2).*

### XII.4.3.2 Teneurs retenues

Dans un premier temps, les teneurs retenues sont les teneurs maximales mesurées sur l'ensemble des jardins présentant des anomalies de teneurs pour chaque type de végétaux et par secteur.

Pour les œufs, dans un premier temps, la teneur maximale pour chaque substance quel que soit le secteur a été utilisée pour la grille IEM.

Pour le Miel, la teneur du Baryum dans l'échantillon du miel de Panissière a été retenue.

Cette démarche est précautionneuse et majore les niveaux de risque sanitaire associés.

Les critères de sélection retenus pour cette étude sont majorants vis-à-vis de l'évaluation du risque (substances quantifiées et teneurs maximales retenues). Par conséquent, le scénario le plus pénalisant en termes de risque sanitaire a été retenu.


Les teneurs maximales sont présentées dans le tableau suivant :



**Tableau 13 : Teneurs maximales retenues en métaux dans les légumes et œufs pour le calcul de risque par l'outil IEM**

Substance (Zone)	Légume feuille	Fruits (ou légume fruits)	Légume racines	Œufs
<b>Secteur 1 (teneurs en mg/kgMB)</b>				
Arsenic	0,23	0,1	0,57	
Baryum	2,4	0,2	3,6	0,63
Cadmium	0,56	0,03	0,28	
Cuivre	1,8	0,99	1,2	0,63
Manganèse	8,5	1,2	7,3	
Zinc	24	2,4	17	9,1
Plomb	7,5	0,03	12	0,06
Cyanures	-	-	-	0,4
<b>Secteur 2 (teneurs en mg/kgMB)</b>				
Arsenic	0,14	0,1	0,1	
Baryum	1,9	0,2	3	1,1
Cadmium	0,12	0,04	0,29	
Cuivre	68	1	1,1	1
Manganèse	28	0,76	2,4	
Zinc	8,8	2,1	5,2	14
Plomb	1,1	0,56 (raisin)	2,2	0,08
Cyanures	-	-	0,4	
<b>Secteur 3 (teneurs en mg/kgMB) (1)</b>				
Arsenic	-	0,1	-	
Baryum	-	0,2	-	1,4
Cadmium	-	0,08	-	
Cuivre	-	0,91	-	0,89
Manganèse	-	0,66	-	
Zinc	-	2,7	-	11
Plomb	-	0,16	-	0,15
Cyanures	-	-	-	
<b>Secteur 4 (teneurs en mg/kgMB)</b>				
Arsenic	0,44	0,1	0,1	
Baryum	42	0,66	5,2	-
Cadmium	0,38	0,01	0,02	
Cuivre	1,7	0,64	0,2	-
Manganèse	17	0,65	0,92	
Zinc	24	1,3	2,4	-
Plomb	4,3	0,04	0,96	-
Cyanures	-	-	-	-
<b>Secteur 5 (teneurs en mg/kgMB)</b>				
Baryum				1,1
Plomb	0,31	-	1,6	0,16
Cadmium	-	-	-	-

(1) Dans le secteur 3, seules les tomates étaient disponibles dans le jardin de l'association de la Mine. Pas de plantation de légumes feuilles ou racinaires en 2012.

 Substance non retenue pour le calcul via la grille IEM

### XII.4.4 Résultats des calculs par l'outil IEM

Les résultats des calculs pour l'ingestion de végétaux dans la grille IEM sont présentés en [Annexe 21](#). L'interprétation des résultats relative à l'acceptabilité du risque, est synthétisée par substances, dans le tableau suivant.

Figure 32 - Acceptabilité du risque – Ingestion des végétaux

Substances recherchées	Secteur 1		Secteur 2		Secteur 3		Secteur 4		Secteur 5			
	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes		
Arsenic	ZI ERI	C QD	ZI ERI	C QD	ZI ERI	C QD	ZI ERI	C QD	ZI ERI	C QD	-	-
Baryum	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-	-
Cadmium	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-	-
Cuivre	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-	-
Manganèse	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-	-
Plomb	ZI	ZI	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Zinc	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-	-
Cyanures	-	-	C	C	C	C	-	-	-	-	-	-

INC : incompatible, Z I : Zone d'incertitude, C : Compatible  
ERI : Excès de risque Individuel  
QD : Quotient de danger

N.B.

- La limite de quantification en **Arsenic** est de 0,1 mg/kgMB. A cette teneur, le résultat reste dans la zone d'incertitude. Les teneurs varient des limites de quantification à 0,57 mg/kgMB. Il n'existe pas de valeurs réglementaires pour l'arsenic dans les denrées alimentaires. Cependant, à titre indicatif, la préfecture de l'Aude avait retenu une valeur limite de 1 mg/kgMB dans les légumes cultivés.

- **Pour le secteur 1, en rentrant les teneurs des légumes associées à chaque jardin dans la grille IEM (au lieu du max par légumes quel que soit le jardin), les niveaux de risque pour le plomb sont compatibles pour les adultes et les enfants.** Pour le Jardin 4, il n'y avait pas de légumes racinaires dans ce dernier en Juillet 2012. Afin que les niveaux restent compatibles, la teneur en plomb dans le légume racinaire ne doit pas excéder 1 300 µg/kgMB.

Les résultats montrent des niveaux de risque pour le scénario ingestion de végétaux/fruits :

- dans la **zone d'incertitude**, en arsenic quel que soit le jardin et en plomb en secteur 1
- **compatibles** pour les autres métaux et les autres secteurs concernant le plomb

Figure 33 - Acceptabilité du risque – Ingestion des œufs

Substances Recherchées	Œufs	
	Enfants	Adultes
Baryum	C	C
Cuivre	C	C
Zinc	C	C
Plomb	C	C
Cyanures	C	C

INC : incompatible, Z I : Zone d'incertitude, C : Compatible

Les résultats montrent des niveaux de risque compatibles pour le scénario ingestion d'œufs.

Figure 34 - Acceptabilité du risque – Ingestion du miel

Substances Recherchées	Œufs	
	Enfants	Adultes
Baryum	C	C

INC : incompatible, Z I : Zone d'incertitude, C : Compatible

Les résultats montrent des niveaux de risque compatibles pour le scénario ingestion de miel.

#### XII.4.5 Conclusion globale IEM Végétaux

Au regard de la réglementation CE N°1881/2006 (denrées alimentaires),.

- o Dans les **légumes feuilles**, la teneur maximale réglementaire est dépassée en **Plomb pour 8 échantillons sur 10** et en **Cadmium pour 2 échantillons sur 10** ;
- o Dans les **légumes racinaires**, la teneur maximale réglementaire est dépassée en **Plomb pour tous les échantillons** et en Cadmium pour 3 échantillons sur 7 ;
- o Dans les **légumes fruits**, la teneur maximale réglementaire est légèrement dépassée en **Plomb et Cadmium pour 1 échantillon sur 12** ;
- o Dans les **raisins** de la vigne de Coumessas, **la valeur maximale réglementaire européenne** pour la mise sur le marché (0,1 mg/kgMB) est dépassée en **Plomb** (0,56 mg/kgMB).

En complément, afin de préciser les niveaux de risque potentiels,

Les résultats montrent des niveaux de risque pour le scénario ingestion de végétaux/fruits :

- dans la **zone d'incertitude**,
  - en arsenic quel que soit le jardin y compris à la limite de quantification analytique,
  - en plomb secteur 1 sauf si on considère le secteur 1 de manière spécifique à chaque jardin (cf N.B sous figure 37)
- **compatibles** pour les autres métaux et les autres secteurs concernant le plomb

Les résultats montrent des niveaux de risque **compatibles** pour les scénarii ingestion d'œufs et ingestion de miel.

N.B.

- La limite de quantification en Arsenic est de 0,1 mg/kgMB. A cette teneur, le résultat reste dans la zone d'incertitude. Les teneurs varient des limites de quantification à 0,57 mg/kgMB. Il n'existe pas de valeurs réglementaires pour l'arsenic dans les denrées alimentaires. Cependant, à titre indicatif, la préfecture de l'Aude avait retenu une valeur limite de 1 mg/kgMB dans les légumes cultivés.

- **Pour le secteur 1, en rentrant les teneurs des légumes associées à chaque jardin dans la grille IEM (au lieu du max par légumes quel que soit le jardin), les niveaux de risque pour le plomb sont compatibles pour les adultes et les enfants.** Pour le Jardin 4, il n'y avait pas de légumes racinaires dans ce dernier en Juillet 2012. Afin que les niveaux restent compatibles, la teneur en plomb dans le légume racinaire ne doit pas excéder 1,3 mg/kgMB.

## XII.5. Discussion sur les résultats de l'IEM

### XII.5.1 Influence de la biodisponibilité

Les résultats de l'IEM intègrent les différentes voies d'exposition retenues et étudiées pour polluants considérés à enjeux. Dans le cadre de cette étude, pour les éléments plomb et arsenic, la principale voie d'exposition est la consommation d'eau, d'aliments (ex. végétaux autoproduits) et l'ingestion de poussières de sols contaminés (IEM sols). La contribution des vecteurs eau et aliments a pu être relativement bien évaluée ; des mesures dans ces milieux ont été faites et peuvent être comparées à la réglementation<sup>11</sup>. Il est admis que la quantité de polluant ayant une action sur l'organisme correspond directement à la quantité ingérée du fait de l'exposition à ces polluants (biodisponibilité quasi-totale). Ces apports demeurent cependant faibles par rapport à l'apport potentiel des poussières et particules de sol ingérées, d'autant plus que la biodisponibilité réelle des polluants dans les sols n'est en général pas prise en compte (considérée de façon majorante comme totale).

Comme le rappelle pourtant la norme NF EN ISO 17402 (2011)<sup>12</sup> « Des études conduites en laboratoire et sur le terrain ont démontré que les effets biologiques ne sont pas liés à la teneur totale d'un contaminant dans le sol. En fait, un organisme répond seulement à la fraction qui est biologiquement disponible (biodisponible)<sup>13</sup> pour cet organisme. Cela est particulièrement vrai dans les sols qui subissent l'interaction de molécules de contaminant avec le sol de telle sorte que le contaminant ne peut plus être atteint par l'organisme ou se présente sous une forme non disponible. Les fractions biodisponibles de contaminants dépendent des propriétés du sol et de différents processus variant dans le temps ainsi que des récepteurs biologiques. L'approche conservatrice de l'évaluation de l'exposition telle qu'elle est typiquement décrite dans un contexte réglementaire suppose que la teneur totale d'un contaminant présent dans un sol ou un matériau du sol est disponible pour être absorbée par des organismes, y compris l'homme, ce qui surestimerait les risques. Par conséquent, une évaluation du risque peut être optimisée en utilisant une approche basée sur une exposition estimée représentant la teneur disponible efficace du ou des contaminant(s) et sur des données de toxicité intrinsèque (existantes) »

Ainsi, dans le cadre de cette étude, l'influence de la biodisponibilité du plomb et de l'arsenic présents dans le sol sur les résultats de l'IEM (IEM sol) est discutée, cette voie d'exposition apparaissant comme celle « tirant » le risque.

#### XII.5.1.1 Généralités sur la biodisponibilité du plomb

Le plomb peut être présent dans les sols sous forme de minéraux propres (minéraux où le plomb est un élément principal de la structure minérale) tels que, par exemple, le sulfure de plomb (PbS), le sulfate de plomb (PbSO<sub>4</sub>), ou le carbonate de plomb (PbCO<sub>3</sub>). Il peut être aussi présent en substitution d'autres éléments majeurs ou coprécipité ou sorbé à diverses phases minérales qui résultent de l'altération du sol, tels que les oxydes de fer et de manganèse, les sulfates de fer et des minéraux phosphatés.

<sup>11</sup> Eau potable : limite de potabilité : Pb ou As : 10µg/L ; aliments Pb : 0,02 à 1mg/kg poids frais selon nature (pas de données As).

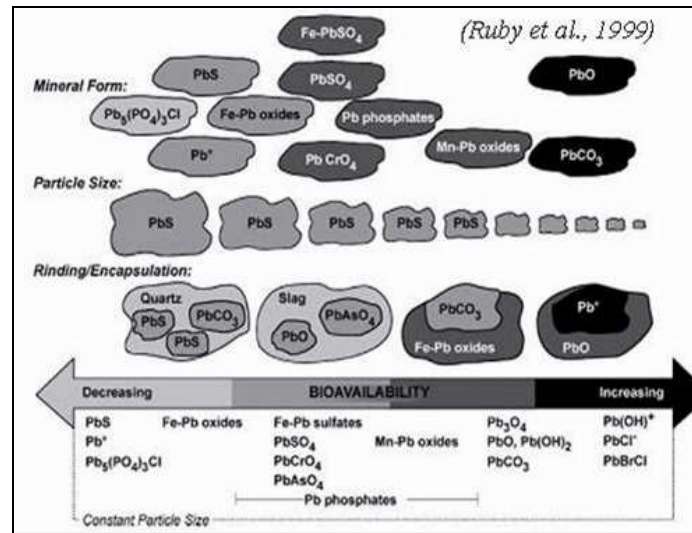
<sup>12</sup> Norme NF EN ISO 17402 (2011) Qualité du sol - Lignes directrices pour la sélection et l'application des méthodes d'évaluation de la biodisponibilité des contaminants dans le sol et les matériaux du sol.

<sup>13</sup> Définition du terme Biodisponibilité dans l'évaluation des risques pour la santé humaine selon la NF XP ISO/TS 17924 (2008) : le terme «biodisponibilité» est spécifiquement utilisé en référence à l'absorption dans la circulation générale, conformément à l'utilisation toxicologique du terme. Ceci englobe la bioaccessibilité qui constitue une mesure combinée des processus déterminant l'interaction entre le métal associé au sol et le liquide dans l'appareil digestif humain. En outre, la biodisponibilité inclut l'absorption du contaminant à travers une membrane physiologique et le métabolisme dans le foie. La fraction biodisponible est donc la fraction qui reste après la propagation dans le liquide digestif humain, le transport à travers l'épithélium intestinal et le métabolisme dans le foie.



Les facteurs qui influencent la biodisponibilité d'un élément comme le plomb sont nombreux, (voir figure ci-après, extrait de Ruby et al. 1999<sup>14</sup>), l'un des plus importants est la forme minéralogique sous laquelle s'exprime le plomb, car elle va contrôler sa plus ou moins grande propension à se mettre en solution, seule forme d'interaction avec les systèmes biologiques. Ainsi, par exemple, de nombreux travaux montrent que le plomb présent sous forme de carbonate (cérusite  $PbCO_3$ ) est plus biodisponible que sous d'autres formes tels que les sulfures. D'après certains auteurs, la biodisponibilité du plomb sur des sites à activité minière serait globalement plus faible que dans les zones urbaines, du fait d'une prédominance des formes insolubles ou peu mobiles de plomb de type sulfures et phosphates<sup>15,16</sup>.

**Figure 35 - Facteurs régissant la biodisponibilité du Pb : taille, spéciation et matrice (Ruby et al.).**



Les études de biodisponibilité sont peu nombreuses (réalisées in vivo, ces études sont complexes, longues et coûteuses). En dehors de ces études, la ou les formes sous lesquelles s'exprime le polluant dans le sol, connues pour être plus ou moins bioaccessibles, est établie via des tests chimiques plus simples tels que les extractions chimiques séquentielles<sup>17</sup> ou différents types de tests comme le test IVG –In Vitro Gastrointestinal- visant à reproduire les conditions physicochimiques de la digestion, on parle alors de test « in vitro », permettant d'appréhender la bioaccessibilité du polluant.

Une étude menée par l'US-EPA, 2007<sup>18</sup> a permis d'évaluer de façon semi-quantitative la biodisponibilité relative du plomb en fonction de la spéciation minéralogique des particules ingérées provenant de 20 échantillons de sols de contextes différents (fonderie, mines,...). Les études in vivo et in vitro étaient corrélées de façon significative. Les sulfures, sulfates, et certains oxydes de plomb sont les moins biodisponibles (< 25%) tandis que les carbonates et oxydes mixte de plomb-manganèse sont les plus biodisponibles (> 75%). Les scories, phosphates et oxydes de plomb (PbO) présentent une biodisponibilité intermédiaire (entre 25 et 75%). Ces résultats confortent ceux de Schroder et al.<sup>19</sup> qui avaient montré la bonne corrélation entre la bioaccessibilité déterminée par le test IVG et la biodisponibilité chez les jeunes cochons. Ses résultats montraient également (bien que non mis en perspective dans l'article) une influence des formes sous lesquelles s'exprimaient le plomb dans le sol ingéré avec une bioaccessibilité bien plus élevée lorsque les formes PbO et PbCO<sub>3</sub> sont prédominantes et beaucoup plus faible pour le sulfure de plomb.

<sup>14</sup> Denys, S., Caboche, J. Tack, K. & Delalain, P. Bioaccessibility of lead in high carbonate soils. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng **42**, 1331-1339 (2007).

<sup>15</sup> Roussel, H. et al. Cd, Pb, and Zn oral bioaccessibility of urban soils contaminated in the past by atmospheric emissions from two lead and zinc smelters. Arch. Environ. Contam. Toxicol **58**, 845-954 (2010).

<sup>16</sup> Caboche, J. et al. Modelling Pb bioaccessibility in soils contaminated by mining and smelting activities. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng **45**, 1264-1274 (2010).

<sup>17</sup> Caboche, J. et al. Modelling Pb bioaccessibility in soils contaminated by mining and smelting activities. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng **45**, 1264-1274 (2010).

<sup>18</sup> US EPA. Estimation of relative bioavailability of lead in soil and soil-like materials using in vivo and in vitro methods. US EPA; 2007

<sup>19</sup> Schroder, L. et al. Validation of the in vitro gastrointestinal (IVG) method to estimate relative bioavailable lead in contaminated soils. J. Environ. Qual **33**, 513-521 (2004)

Figure 36 - Valeur de biodisponibilité en fonction de la spéciation pour le plomb, selon la classification semi-quantitative de l'US EPA

Substances	Spéciations	Biodisponibilité relative
Plomb	Oxydes de PbFe (M)	< 25%
	PbSO <sub>4</sub>	
	PbS	
	Oxydes de Pb (M)	
	Sulfates de PbFe (M)	
	Scories	Entre 25% et 75%
	Phosphates de Pb	
	PbO	
	PbCO <sub>3</sub>	> 75%
	Oxydes de Pb Mn(M)	

Des travaux français récents, (Caboche et al. 2009, 2010) ont également mis en évidence que la bioaccessibilité du plomb était corrélée significativement à la distribution du plomb entre les différentes phases porteuses du sol (ex : oxyde de fer cristallins, sulfures)<sup>20</sup>, ainsi qu'à la teneur de ces formes au sein du sol<sup>21</sup>.

Figure 37 - Coefficient de corrélation de Pearson entre la spéciation du plomb et sa bioaccessibilité dans les sols étudiés (les valeurs en gras indiquent une corrélation statistiquement significative)

	<i>PbCO<sub>3</sub>/ PbO</i>	<i>PbOCIMgCa/ PbCaClO</i>	<i>PbZnSFeO</i>	<i>PbFeO/ PbFeMnO</i>	<i>PbPbAlO</i>	<i>PbBaSO<sub>4</sub>/ PbS</i>	<i>PbFeOSi/ PbSiO</i>
Pb bioaccessible (%) in mining soils (n=15)	<b>0.91</b>	0.18	0.05	-0.28	-0.18	<b>-0.54</b>	<b>-0.55</b>
Pb bioaccessible (%) in smelting soils (n=10)	<b>0.95</b>	0.19	0.21	0.06	<b>-0.75</b>	<b>-0.87</b>	<b>-0.89</b>
Pb bioaccessible (%) all soils included (n=25)	<b>0.86</b>	0.19	0.04	-0.18	-0.11	<b>-0.61</b>	<b>-0.64</b>

Bold values represent correlation coefficient values that are significant at the 95% confidence level.

<sup>20</sup> Caboche, J. Validation d'un test de mesure de bioaccessibilité. Application à 4 éléments traces métalliques dans les sols : As, Cd, Pb et Sb. (2009).

<sup>21</sup> Caboche, J. et al. Modelling Pb bioaccessibility in soils contaminated by mining and smelting activities. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng **45**, 1264-1274 (2010).

### XII.5.1.2 Généralités sur la biodisponibilité de l'arsenic

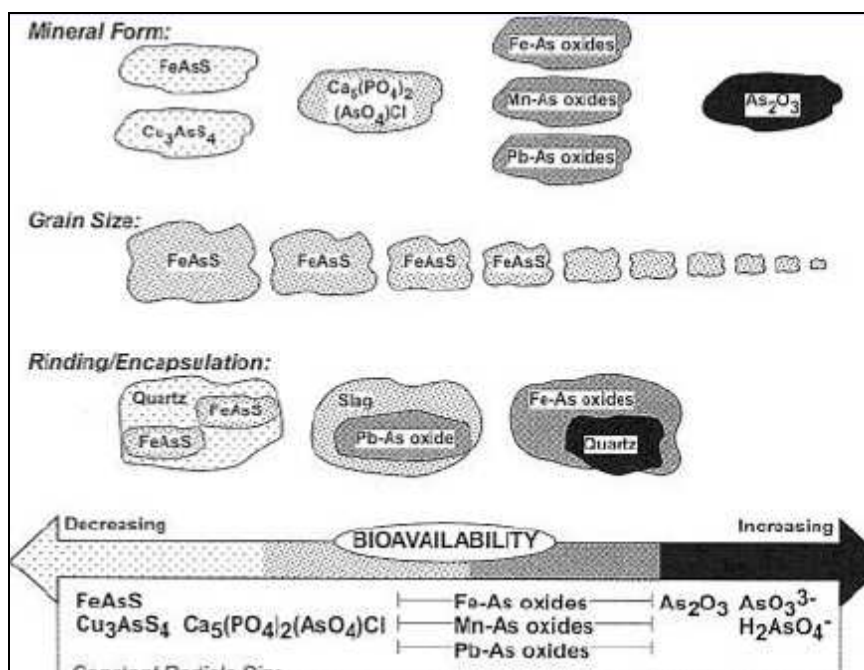
A la différence du plomb qui n'a qu'un seul degré d'oxydation, l'arsenic peut exister dans la nature sous différents états d'oxydation, dont -3, 0, +3 et +5 (au moins); L'arsenic réduit, de valence -3, n'est rencontré que dans les milieux très réducteurs où sa présence serait catalysée par l'activité micro biologique ; l'arsenic natif (0) est rare. Notons que l'arsenic de valence -1 ou -2 est invoqué dans les structures de nombreux minéraux primaires porteurs d'arsenic où l'arsenic se substitue à S. Les deux principaux états de valence dans l'environnement naturel sont les états +3 et +5 et l'arsenic forme deux familles d'espèces ioniques : les arsénates (+5) et les arsénites (+3).

Les principaux minéraux primaires porteurs d'arsenic sont des arséniures ou des sulfosels, (le terme de sulfures est communément employé pour ces deux familles), tels que l'arsénopyrite (ou mispickel  $FeAsS$ ), le réalgar ( $AsS$ ), l'orpiment ( $As_2S_3$ ), la löllingite ( $FeAs_2$ ) etc. Notons que la pyrite ( $FeS_2$ ), sulfure de fer et minerai très commun, contient toujours un peu d'arsenic (il s'agit soit de substitution vraie S-As ou bien de micro-inclusions d'arsénopyrite, ou d'autres arséniures au sein de la pyrite). Les formes d'origine anthropique les plus courantes sont les produits phytosanitaires tels que les arsénates de plomb, de calcium, de sodium ou l'arséniate de cuivre chromaté-CCA- utilisé pour la préservation du bois, ainsi que l' $As_2O_3$  (arsenolite) fréquemment issue de la fonderie et de la sidérurgie, libéré aussi par les usines thermiques utilisant du charbon riche en sulfures à As.

Toutes ces formes minérales tendent, en milieu oxydant (circulation d'oxygène), comme c'est le cas pour les sols, à produire de l'arsenic sous la forme pentavalente, soluble qui peut alors circuler, être transférée dans les végétaux, mais qui a une forte tendance à être sorbée sur les oxyhydroxydes de fer et d'aluminium ou coprécipitée lors de la formation de ces oxyhydroxydes (sauf cas particuliers de sol pauvre en fer, ou riche en carbonates). Notons qu'il existe d'autres phases porteuses d'arsenic « majeures » dans les sols mais elles ont été décrites dans des contextes de teneurs en arsenic très élevées (au-delà du pourcent), non représentatifs en termes d'équilibres thermodynamiques et de précipitation de phases.

Parmi les facteurs régissant la biodisponibilité de l'arsenic (figure suivante), là encore, le rôle de la forme minérale porteuse de l'arsenic est très important.

**Figure 38 - Facteurs régissant la biodisponibilité de l'arsenic : taille, spéciation et matrice (Ruby et al.).**



Il existe néanmoins peu d'études mettant en avant avec précision ces formes minérales compte tenu de la difficulté à bien les définir (formes souvent peu ou mal cristallisées, teneur totale en arsenic généralement très faible pour espérer en voir une expression minérale par les outils de caractérisation minérale standards). Une étude menée par US-EPA<sup>22</sup> a tenté d'évaluer de façon semi-quantitative la biodisponibilité relative de l'arsenic en fonction de la spéciation minéralogique supposée des particules à partir de l'analyse de 20 échantillons de sols d'origine différentes (fonderies, mines...) dont les résultats sont présentés dans la figure suivante.

**Figure 39 - Valeur de biodisponibilité en fonction de la spéciation pour l'arsenic, selon la classification semi-quantitative de l'US EPA**

Substances	Spéciations	Biodisponibilité relative
Arsenic	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Sulfosels	< 30%
	Phosphates d'arsenic	Entre 30 et 70%
	Oxydes de fer, de Mn et de Pb	
	Sulfates de Fer et Zn	
	FeAsO	> 70%

On retiendra que les sulfures/sulfosels sont ceux qui présentent la biodisponibilité la plus faible de toutes les phases identifiées. La cinétique de la dissolution de ces derniers, très lente, limite la mise en solution pendant le parcours gastro-intestinal. Les phosphates, les oxydes de fer ou de manganèse où l'arsenic est associé (sorption probable sous forme d'arséniate), les sulfates de fer et de zinc présentent une biodisponibilité intermédiaire.

Meunier et al.<sup>23</sup> ont montré une diminution de la bioaccessibilité de l'arsenic lorsque des teneurs élevées en oxydes de fer sont observées dans les sols, du fait d'une probable formation d'oxydes de Fe-As.

Depuis la réalisation de l'IEM (Novembre 2012), l'USEPA a publié en Décembre 2012 « Recommendations for Default Value for Relative Bioavailability of Arsenic in Soil » : sur la base de 103 estimations de biodisponibilité, une valeur de biodisponibilité de l'arsenic égale à 60 % a été sélectionnée comme valeur par défaut. Cependant, cette valeur ne représente pas un échantillon statistique de sols pour toute formation géologique ou toute source de pollution en arsenic et ne tient pas forcément compte de tous les facteurs influençant la biodisponibilité décrits ci-dessus pour tous les sites. Par conséquent, des études spécifiques de biodisponibilité devront toujours être réalisées si elles sont jugées réalisables et utiles pour améliorer la caractérisation du risque sur site. USEPA recommande plutôt de collecter des données propres au site qu'avoir recours à cette valeur par défaut car l'utilisation de cette valeur par défaut pourrait sous-estimer ou surestimer le risque.

Dans l'ensemble, les études de biodisponibilité présentent différents contextes (sites miniers, sols pollués par des pesticides... sans préciser plus avant la nature des formes minérales), et les sites miniers sont ceux où l'arsenic présente la biodisponibilité la plus faible (à l'exception des rares cas des sols naturels riches en arsenic et en fer, où l'arsenic est encore moins biodisponible)<sup>24</sup>.

<sup>22</sup> US EPA. Estimation of relative bioavailability of arsenic in soil and soil-like material by in vivo and in vitro methods. 2005

<sup>23</sup> Meunier, L. Wragg, J., Koch, I. & Reimer, K. Method variables affecting the bioaccessibility of arsenic in soil. *J. of Env. Sc. & Hlth., Part A* 45, 517-526 (2010)

<sup>24</sup> Juhasz AL; Weber J; Smith E. - Predicting Arsenic Relative Bioavailability in Contaminated Soils Using Meta Analysis and Relative Bioavailability-Bioaccessibility Regression Models Environ. Sci. Technol., 2011, 45 (24), pp10667-10683.



## XII.5.1 Discussion sur l'IEM dans la zone d'étude

Dans le cadre de l'outil IEM, la notion de biodisponibilité des éléments n'est pas intégrée. Les métaux/métalloïdes présents dans le sol sont ainsi considérés comme complètement bioaccessibles et biodisponibles.

Par ailleurs, et par définition, toute VTR intègre des facteurs de sécurité tels que les instances internationales ont pu s'engager sur l'absence de problèmes sanitaires pour des doses inférieures à cette valeur.

N.B. Depuis la réalisation de cette IEM en Novembre 2012, la VTR du plomb, établie par l'OMS et reprise par le RIVM, est remise en cause. Néanmoins, aucune autre VTR n'est actuellement officiellement disponible. La VTR proposée récemment par l'ANSES ( $6,3 \cdot 10^{-4}$  mg/kg/j)<sup>25</sup> ne sera pas reprise dans le cadre de cette étude : il semble que cette valeur ne soit pas, à ce jour, officielle, du fait d'avis divergents notifiés dans le rapport de l'ANSES<sup>26</sup>.

Compte tenu, d'une part, de ces facteurs de sécurité et, d'autre part, de la non prise en compte de la biodisponibilité, les calculs menés majorent donc fortement les risques.

### XII.5.1.1 IEM sols

Les facteurs influençant les résultats de cette analyse sont le choix des taux d'ingestion (scénario sécuritaire ou moyen) et la valeur de teneurs entrées pour chaque substance dans les grilles IEM. Ces résultats doivent permettre une discussion concernant la hiérarchisation des actions à mener par la suite.

Les conclusions de l'IEM permettent de mettre en lumière des niveaux de risques plus importants au niveau des secteurs où des installations d'activités minières ont été installées dans le passé, à savoir le secteur 3 et une zone du secteur 1 avec usage d'habitations et gîtes actuellement.

**Scénario sécuritaire et le scénario moyen** : le scénario sécuritaire est le plus majorant en termes de risque. Le scénario moyen considère un taux d'ingestion moins important, les autres paramètres ne changent pas. Les quantités ingérées font références aux médianes (P50) (pour le scénario "moyen") et aux percentiles 95 (pour le scénario « sécuritaire ») des distributions publiées par Stanek et al.<sup>27</sup>.

A titre indicatif, pour l'arsenic et le plomb, les différences de résultats entre chaque scénario pour un secteur donné et des teneurs moyennes sont comparées dans le tableau ci-après :

<sup>25</sup> Cette VTR entraînerait, via le modèle IEUBK, une plombémie de 15 µg/L chez l'enfant, plombémie jugée critique par l'ANSES en termes de néphrotoxicité.

<sup>26</sup> ANSES, Expositions au plomb : effets sur la santé associés à des plombémies inférieures à 100 µg/L, Rapport d'expertise collective, Janvier 2013

<sup>27</sup> Stanek, et al. 1997. Soil ingestion in adults – Results of a second pilot study. Toxicol. Environ Safety 36 : 249-257. + Stanek, E.J., Calabrese E.J. 2000. Daily soil ingestion estimates for children at a Superfund Site. Risk Analysis ; 20 : 627-635.

Les études de Stanek et al ont été recommandées par l'INVS dans deux ouvrages :

- INVS, Synthèse des travaux du Département santé environnement sur les variables humaines d'exposition, 2012.
- InVS (Dor F), INERIS (Denys S) et les membres du GT. Quantités de terre et poussières ingérées par un enfant de moins de 6 ans et bioaccessibilité des polluants. État des connaissances et propositions. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, septembre 2012, 83 p

Substances recherchées	Secteur 2 Scénario sécuritaire Teneurs moyennes		Secteur 2 Scénario moyen Teneurs moyennes	
	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes
Arsenic	INC	INC	ZI	ZI
Plomb	INC	ZI	ZI	C

INC : incompatible, ZI : Zone d'incertitude, C : Compatible

**Tableau 14 : Comparaison des résultats de risques sanitaires entre chaque scénario (sécuritaire et moyen) pour un secteur donné et des teneurs moyennes**

Ce tableau permet de mettre en évidence que seul le changement de taux d'ingestion de sols peut influencer les conclusions de l'étude et les actions à mettre en œuvre par la suite.

C'est pourquoi, à ce stade, des hypothèses de travail par secteur ont été prises en tentant d'être raisonnablement réaliste et afin de pouvoir dégager des recommandations plus claires (cf chapitre XII.1.6). Ces hypothèses de travail doivent être validées par le BRGM et la DREAL.

### **Choix des teneurs :**

La connaissance de la qualité du milieu sols a pu être approfondie grâce à la réalisation de mesures sur le terrain à l'XRPF. Pour les traceurs majeurs de l'activité minière (As, Pb, Zn), la corrélation entre les mesures à l'XRPF et les résultats au labo a été satisfaisante, permettant l'utilisation de toutes les données sols corrigées et réaliser une analyse statistique robuste (entre 100 et 200 points de mesure par secteur).

A contrario, pour les autres composés métalliques où la corrélation n'était pas bonne, l'analyse statistique, notamment la moyenne des teneurs entrée dans la grille IEM, a été réalisée sur la base des analyses en laboratoire (40 analyses tous secteurs confondus incluant les analyses au niveau des jardins).

De plus, en fonction des secteurs, pour les traceurs majeurs du risque plomb et arsenic, les effectifs (nombre d'échantillons) ayant permis le calcul des moyennes de teneurs et la surface d'étude peuvent différer :

- parmi les mesures du secteur 1, les mesures réalisées dans le secteur de l'habitation/gîte ont été utilisées pour calculer la moyenne des teneurs (soit sur 4 à 7 échantillons pour Pb avec une valeur max beaucoup plus importante que les autres teneurs) ;
- A contrario, les connaissances sur la qualité des sols sont plus approfondies (maillage serré dans la zone des mines de Pallières soit sur 300 échantillons pour Pb) sur le secteur 3 dans sa globalité permettant une analyse statistique robuste.

**Par conséquent, le choix des teneurs est un facteur influençant de manière importante les résultats sur les niveaux de risques sanitaires et des investigations approfondies seront recommandées dans certains secteurs.**

### **Cas du plomb et de l'arsenic**

A titre indicatif, les tableaux suivants présentent pour le scénario moyen et le scénario sécuritaire résident enfant (plus contraignant en termes de risques sanitaires), les valeurs seuils limites en plomb et arsenic pour chaque classe de niveaux de risques (compatibilité, zone d'incertitude et incompatibilité) et pour le scénario moyen résident enfant, le pourcentage de valeurs mesurées dans les sols superficiels pour chaque classe de niveaux de risque et par secteur.

**Tableau 15 : Teneurs seuils en plomb et arsenic pour chaque classe de niveaux de risque**

Paramètre	Valeurs seuils (mg/kgMS) Scénario moyen résident enfant		
	Compatible	Zone d'incertitude	Incompatible
Plomb	< 540 mg/kg	540 – 13 500 mg/kg	> 13 500 mg/kg
Arsenic	< 45 mg/kg (QD) < 5 mg/kg (ERI)	45 – 1 125 mg/kg (QD) 5 – 583 mg/kg (ERI)	> 1 125 mg/kg (QD) > 583 mg/kg (ERI)

Paramètre	Valeurs seuils (mg/kgMS) Scénario sécuritaire résident enfant		
	Compatible	Zone d'incertitude	Incompatible
Plomb	< 108 mg/kg	108 – 2 700 mg/kg	> 2 700 mg/kg
Arsenic	< 9 mg/kg (QD) < 1 mg/kg (ERI)	9 – 225 mg/kg (QD) 1 – 116 mg/kg (ERI)	> 225 mg/kg (QD) > 116 mg/kg (ERI)

Les cartes de profils des teneurs en métaux en **Annexe 8** permettent de visualiser la répartition spatiale des mesures dans ces gammes de valeurs.

**Tableau 16 : Pourcentage de valeurs mesurées dans les sols superficiels pour chaque classe de niveaux de risque et pour chaque secteur et l'environnement témoin**

Secteurs	CMA moyen	Pourcentages de valeurs dans chaque gamme de compatibilité Scénario moyen résident enfant	
		Plomb	Arsenic
Secteur 1	Compatible	0 mesures/97 soit 0 %	0/97 soit 0 %
	Zone d'incertitude	56/97 soit 57,7 %	50/97 51,5 %
	Incompatible	41/97 soit 42,3 %	47/97 48,5 %
Secteur 2	Compatible	0/145 soit 0 %	1/145 soit 0,7 %
	Zone d'incertitude	139/145 soit 95,9 %	138/145 soit 95,2 %
	Incompatible	6/145 soit 4,1 %	6/145 soit 4,1 %
Secteur 3	Compatible	0/306 soit 0 %	1/306 soit 0,3 %
	Zone d'incertitude	215/306 soit 70,3 %	230/306 soit 75,2 %
	Incompatible	91/306 soit 29,7 %	75/306 soit 24,5 %
Secteur 4	Compatible	0/33 soit 0 %	0/33 soit 0 %
	Zone d'incertitude	31/33 soit 93,9 %	32/33 soit 97 %
	Incompatible	2/33 soit 6,1 %	1/33 soit 3 %
Environnement témoin	Compatible	0/284 soit 0 %	0/283 soit 0 %
	Zone d'incertitude	284/284 soit 100 %	273/283 soit 96,5 %
	Incompatible	0/284 soit 0 %	10/283 soit 3,5 %

L'analyse des données ci-dessus permet de :

- montrer que même les valeurs moyennes des échantillons dans l'environnement témoin (hors activités anthropiques type minières ou exploitation de carrières) se situent en zone d'incertitude en termes de niveaux de risques ;
- les niveaux de risques incompatibles concernent uniquement 4 % des mesures en secteur 2 et 3 à 6 % en secteur 4 en As et Pb, contrairement aux secteurs 1 et 3, ayant abrité des anciennes activités minières, où 30 à 50 % des mesures présentent des teneurs correspondant à un niveau de risque incompatible.

De plus, dans la grille IEM sols, le QD et l'ERI intègrent les risques sanitaires associés à l'ancienne activité minière et ceux associés au bruit de fond ambiant du secteur d'étude. La notion de "part attribuable aux activités minières" ne peut pas être compatible avec une IEM (cf guide IEM) qui tient déjà compte de la comparaison avec le milieu environnant et/ou les valeurs réglementaires puisque nous ne retenons dans la grille IEM que les points définis hors bruit de fond. Par contre, dans le guide méthodologique de l'Analyse des Risques Résiduels, on retrouve cette notion de part attribuable pour un environnement témoin.

Toutefois, afin de prendre du recul par rapport aux résultats et permettre de hiérarchiser les actions à venir, à titre informatif, les risques, associés à l'environnement « témoin », sont présentés à la figure suivante et comparés à ceux calculés en secteur 2 et en secteur 3, selon les hypothèses prises au chapitre XII.1.6.

### Environnement témoin (scenario moyen enfants résidants et teneurs moyennes)

Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation	Type d'individus concernés.	Cs	Os	T	B	P	Tm	VTR			
		Concentration de la substance dans le sol	Quantité journalière de sol ingérée	Durée d'exposition théorique	Fréquence d'exposition (nombre de jour d'exposition théorique annuelle)	Poids corporel de l'individu	Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition	VTR (seuil d'effet)	Date de mise à jour	VTR (sans seuil d'effet)	Date de mise à jour
		mg/kg	mg/j	année	jour	kg	année	-	-	(mg/kg/j) <sup>1</sup>	-
Paramètres du scénario	<b>Résidant enfant (valeur moyenne)</b>	374	20	6	365	15	70	3,0E-04	03/12/12	1,5E+00	03/12/12
Substance testée							<b>Quotient de danger :</b>		<b>1,66E+00</b>		
7440382	<b>arsenic</b>						<b>Excès de risque individuel :</b>		<b>6,4E-05</b>		
Paramètres du scénario	<b>Résidant enfant (valeur moyenne)</b>	1239	20	6	365	15	70	3,6E-03	03/12/12	-	03/12/12
Substance testée							<b>Quotient de danger :</b>		<b>4,59E-01</b>		
7439921	<b>plomb</b>						<b>Excès de risque individuel :</b>		<b>-</b>		

### Secteur 3 (anciennes mines de Pallières) (scénario sécuritaire enfants résidants et teneurs moyennes)

Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation	Type d'individus concernés.	Cs	Os	T	B	P	Tm	VTR			
		Concentration de la substance dans le sol	Quantité journalière de sol ingérée	Durée d'exposition théorique	Fréquence d'exposition (nombre de jour d'exposition théorique annuelle)	Poids corporel de l'individu	Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition	VTR (seuil d'effet)	Date de mise à jour	VTR (sans seuil d'effet)	Date de mise à jour
		mg/kg	mg/j	année	jour	kg	année	-	-	(mg/kg/j) <sup>1</sup>	-
Paramètres du scénario	<b>Résidant enfant (valeur haute)</b>	1074	100	6	365	15	70	3,0E-04	03/12/12	1,5E+00	03/12/12
Substance testée							<b>Quotient de danger :</b>		<b>2,39E+01</b>		
7440382	<b>arsenic</b>						<b>Excès de risque individuel :</b>		<b>9,2E-04</b>		
Paramètres du scénario	<b>Résidant enfant (valeur haute)</b>	16077	100	6	365	15	70	3,6E-03	03/12/12	-	03/12/12
Substance testée							<b>Quotient de danger :</b>		<b>2,68E+01</b>		
7439921	<b>plomb</b>						<b>Excès de risque individuel :</b>		<b>-</b>		

### Secteur 2 (secteur riverains au Sud des anciennes mines de Pallières) (scenario moyen enfants résidants et teneurs moyennes)

Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation	Type d'individus concernés.	Cs	Os	T	B	P	Tm	VTR			
		Concentration de la substance dans le sol	Quantité journalière de sol ingérée	Durée d'exposition théorique	Fréquence d'exposition (nombre de jour d'exposition théorique annuelle)	Poids corporel de l'individu	Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition	VTR (seuil d'effet)	Date de mise à jour	VTR (sans seuil d'effet)	Date de mise à jour
		mg/kg	mg/j	année	jour	kg	année	-	-	(mg/kg/j) <sup>1</sup>	-
Paramètres du scénario	<b>Résidant enfant (valeur moyenne)</b>	375	20	6	365	15	70	3,0E-04	03/12/12	1,5E+00	03/12/12
Substance testée							<b>Quotient de danger :</b>		<b>1,67E+00</b>		
7440382	<b>arsenic</b>						<b>Excès de risque individuel :</b>		<b>6,4E-05</b>		
Paramètres du scénario	<b>Résidant enfant (valeur moyenne)</b>	3673	20	6	365	15	70	3,6E-03	03/12/12	-	03/12/12
Substance testée							<b>Quotient de danger :</b>		<b>1,36E+00</b>		
7439921	<b>plomb</b>						<b>Excès de risque individuel :</b>		<b>-</b>		

Figure 40 : Comparaison des niveaux de risque entre l'environnement témoin et les secteurs 2 et 3

Ces constats reflètent la nécessité d'aborder et d'interpréter cette IEM par priorité d'actions en différenciant les secteurs 1 et 3 des secteurs 2 et 4 et non en se limitant aux seuls résultats des grilles IEM.



### XII.5.1.2 IEM denrées alimentaires

Les résultats de l'IEM sont basés sur les campagnes de caractérisation des denrées alimentaires disponibles au moment de l'étude (plantes potagères en juillet 2012 et fruits/œufs en septembre 2012).

Pour chaque secteur, les teneurs maximales pour chaque plante potagère disponible tous jardins confondus du secteur, ont été utilisées dans la grille IEM.

Les résultats montrent des niveaux de risque pour le scénario ingestion de végétaux/fruits :

- dans la **zone d'incertitude**, en arsenic quelque soit le jardin et en plomb en secteur 1.
- **compatibles** pour les autres métaux et les autres secteurs concernant le plomb

Cependant, nous devons rappeler que dans le secteur 3 (secteur présentant des fortes teneurs dans les sols), seules des tomates ont pu être échantillonnées dans le jardin existant (seules plantes potagères disponibles dans ce jardin en juillet-septembre 2012) donc le calcul pour ce secteur n'est réalisée qu'à partir de la teneur sur les tomates (plus forte teneur toutes tomates confondues, dépassant la valeur réglementaire).

De plus, au regard des teneurs en **Plomb**, traceur majoritaire de l'ancienne activité minière, par **comparaison des teneurs dans les légumes du même potager**, les teneurs dans **les légumes racinaires sont supérieures à celles mesurées dans les légumes feuilles**, elles-mêmes supérieures à celles mesurées dans les légumes fruits, à l'exception du Jardin 15 où  $[Pb]_{\text{salade}} > [Pb]_{\text{radis}} > [Pb]_{\text{tomate}}$ .

**Par conséquent, les niveaux de risque calculés pour le jardin du secteur 3 peuvent être sous-estimés du fait de l'absence de données disponibles dans les légumes feuilles et les légumes racinaires. Des recommandations seront émises pour ce secteur.**

Concernant le secteur 2, les habitations les plus proches sous le vent des anciennes mines de Pallières n'ont pas réalisé de jardin potager cette année. Lors de la phase de recensement des usages, les propriétaires nous avaient indiqué qu'ils avaient réalisé des jardins potagers les années précédentes.

*Rappel : dans ces secteurs, lors du recensement, les habitants au droit des anciennes mines de Pallières ou à proximité immédiate (Association La Mine, Les Issards, Coumessas) nous avaient informés qu'ils n'avaient pas réalisé de jardin potager cette année. Afin d'évaluer l'impact potentiel des activités minières sur ces secteurs les plus sensibles, les propriétaires de l'Association de la Mine et des Issards étaient volontaires pour planter salade, tomate et radis. Ces légumes n'ayant pas été plantés, seules les tomates existantes sur le jardin de la mine ont pu être prélevées.*

## XIII. RECOMMANDATIONS

### XIII.1. Délimitation des zones d'impact

Compte tenu :

- des résultats de la phase 1,
- des résultats de l'interprétation des milieux,

des recommandations sont émises ci-après en regroupant certains secteurs permettant une meilleure compréhension des actions à réaliser et en vue de la mise en place des servitudes et restrictions d'usage ultérieurement.

L'IEM s'appuie sur la connaissance de la zone d'étude acquise lors des études documentaires et des campagnes d'investigations (niveaux de concentrations dans les différents milieux) et distingue :

- **les zones où certains milieux d'exposition présentent un écart de qualité significatif avec la qualité des milieux environnants, les critères réglementaires ou niveaux de risques jugés incompatibles avec les usages constatés** : nécessité de réaliser **un plan de gestion en priorité pour les secteurs 3 et une partie du secteur 1** en vue de rétablir la compatibilité entre l'état des milieux et les usages ;
- **les zones où certains milieux d'exposition présentent un écart de qualité significatif avec la qualité des milieux environnants, les critères réglementaires ou des niveaux de risques potentiels (zone d'incertitude) avec les usages constatés**, nécessitant une réflexion plus approfondie de la situation avant de se lancer dans un plan de gestion **en s'appuyant sur le retour d'expérience d'études similaires et d'éventuelles mesures simples de réduction de l'exposition des populations sont proposées** : **secteur 2 et une partie du secteur 4** ;
- **les zones où la qualité des milieux ne présenterait pas à ce jour, ni de risque de présenter dans l'avenir, d'écart par rapport à la gestion mise en place pour la population en général** : **secteur 5**.

A ce stade de l'étude, aucune délimitation précise – autre que les secteurs définis pour cette étude - ne peut être réalisée.

Au regard des caractérisations réalisées, il apparaît que des études complémentaires sont nécessaires afin de :

- compléter la connaissance sur certains milieux (sols, poussières, etc.)
- mieux appréhender les mesures de gestion environnementale et sanitaire pour chaque secteur ;
- définir des mesures de réhabilitation qui concernent en priorité le secteur 3 et une partie du secteur 1.

Des recommandations sont également données en terme de :

- préservation de l'état des milieux dans les secteurs permettant la jouissance des usages (afin d'éviter la survenue d'une dégradation des milieux d'exposition),
- surveillance de l'état des milieux,
- mesures de gestion simple et,
- conservation de la mémoire par la mise en place de servitudes et restrictions d'usage.

### XIII.2. Investigations approfondies

Les investigations complémentaires proposées pour affiner les connaissances sur les milieux et les populations sont les suivantes :

- ✓ **Investigations complémentaires sur le milieu sols** au niveau de l'habitation/gîte du secteur 1 et certaines habitations sur le secteur 4 pour avoir plus de données et resserrer le maillage sur les habitations et non à l'échelle du secteur ;
- ✓ **Etude de spéciation géochimique par extraction séquentielle** afin de rechercher la forme géochimique des molécules plomb, arsenic et cadmium **et/ou une étude de bioaccessibilité** afin de compléter les connaissances sur les milieux ;
- ✓ **Investigations complémentaires de mesures d'air ambiant extérieur en saison sèche** en *secteurs 2 et 3* et air intérieur dans l'ancien transformateur à usage d'habitations en secteur 2 (lever de doute – sous réserve de l'autorisation du propriétaire) ;
- ✓ **Réalisation de la campagne de prélèvements et analyses des eaux superficielles et sédiments et des eaux du captage AEP**, après un orage de type cévenole, sur l'ensemble du secteur d'étude. Cette campagne était prévue en septembre-octobre 2012 mais n'a pas pu être réalisée à la date de rédaction du rapport compte tenu de l'absence d'épisodes pluvieux significatifs cette année permettant des écoulements représentatifs sur les ruisseaux étudiés et l'inondation du massif béton du captage AEP.
- ✓ **Réalisation d'un plan de gestion, notamment en secteurs 1 et 3 en priorité :**
  - Les travaux éventuels devront veiller à limiter toute mobilisation de la pollution et devront s'effectuer de façon adéquate afin d'éviter toute exposition aiguë ou chronique des travailleurs et des riverains
  - Une étude de faisabilité technico-économique devra être réalisée afin de :
    - préciser les modalités de mise en œuvre du plan de gestion,
    - maîtriser les coûts,
    - définir les contraintes associées (servitudes, etc...).
- ✓ Surveillance sur les milieux sensibles dans la mesure du possible en réalisant une nouvelle campagne de prélèvements et analyses sur les milieux végétaux, sols potager et eaux pour répéter la mesure ou compléter les connaissances sur le secteur 3 et afin de confirmer dans le temps ces concentrations en métaux.

Par ailleurs, une réflexion pourrait être menée par les autorités sanitaires concernant un suivi des personnes les plus vulnérables et les plus exposées (résidents enfants et adultes).

**Les résultats relatifs au dépistage de la plombémie permettront de se prononcer de façon plus fine sur l'imprégnation des cibles sensibles et des mesures à préconiser pour la gestion des sols du secteur.**

### XIII.3. Mesures de gestion simples

Les mesures de gestion simples proposées sont jugées « techniquement et économiquement » simples à mettre en œuvre pour réduire les expositions et limiter les éventuelles conséquences sanitaires pour la population. D'un point de vue social ou juridique, elles pourront apparaître plus difficiles à mettre en œuvre sans une communication importante auprès des usagers. **Ces mesures de gestion simples concernent tous les secteurs de la zone étudiée.**

Les recommandations peuvent concerner les points suivants :

- **Le maintien d'un couvert végétal** avec mise en herbe de l'ensemble des surfaces à nu ou **couverture des sols dans les zones à risques** (cour, zones à nus, ...)

- conserver les zones en pelouse et les zones recouvertes par des enrobés ou dallage,
- limiter au maximum les platebandes.
  
- une **limitation du contact des enfants avec les poussières et les sols** :
  - Limiter les contacts des enfants avec les poussières et les sols du type :
    - laver les mains des enfants avant chaque repas et leur couper les ongles courts ;
    - laver les jouets régulièrement ;
    - limiter l'entrée dans la maison des poussières extérieures (laisser les chaussures à l'entrée) ;
    - nettoyer régulièrement les sols de la maison, de préférence avec une serpillière humide (le balais ou l'aspirateur mettent des poussières en suspension) ;
    - choisir pour les jeunes enfants des zones de jeux enherbées plutôt que des sols nus.
  
  - **Règles d'hygiène et de sécurité**
    - Limiter les contacts des enfants avec les poussières et les sols (cf ci-dessus)
    - Avoir une alimentation équilibrée et variée
      - avoir des repas équilibrés et réguliers pour éviter les carences en fer et en magnésium et les excès de graisses qui favorisent le passage des métaux dans l'organisme ;
      - varier la provenance des fruits et légumes ;
      - bien laver les fruits et légumes du jardin.
  
  - **pratiques de jardinage** et à titre de précaution, en l'absence de quantification des métaux dans les végétaux cultivés ou en cas de teneurs significatives en plomb notamment, privilégier les cultures hors sol (en pots)
    - éviter l'usage de produits chimiques ;
    - seules les cendres de bois naturel peuvent être utilisées dans les jardins. Les cendres issues de la combustion de bois usagés ou d'autres déchets peuvent contenir des polluants et ne doivent jamais être utilisées ;
    - ne jamais brûler des déchets en plein air, même dans un fût ;
    - vous pouvez mettre de la chaux dans votre jardin : en diminuant l'acidité du sol, elle diminue l'absorption des métaux par les plantes,
    - favoriser les cultures hors sol en pots.
  
  - **Commercialisation des denrées alimentaires** : interdiction de commercialiser les denrées produites sans contrôle préalable et/ou analyses régulières

Par ailleurs, vis-à-vis des eaux souterraines, aucune recommandation n'est émise vis-à-vis des usages constatés.



### XIII.4. Servitudes et restrictions d'usage

Par ailleurs, des servitudes pourront être constituées par les restrictions suivantes, en priorité pour les secteurs 1 et 3 :

- Le propriétaire du site devra garder en mémoire l'historique du site et respecter les prescriptions particulières d'utilisation des sols et du sous-sol.
- Interdiction de réaliser des affouillements (trous, tranchées, réalisation de fondations, de sous-sol, etc...) et creusements de toutes sortes, à l'exception de ceux nécessaires à la viabilisation et la réalisation des constructions et aménagements autorisés, sauf à respecter les précautions particulières ci-dessous.
- En cas de travaux de remaniement des sols (excavation, réalisation de fondations, de sous-sol, etc...) un contrôle de la qualité des sols devra être entrepris ; des mesures relatives à la santé, à l'hygiène, à la sécurité et à la prévention des éventuels transferts de pollution devront être prises, en particulier afin d'assurer la protection du personnel réalisant les travaux et des tiers.
- En cas d'affouillement ou de creusement au-delà des 15 cm de terres ajouts, les terres et matériaux extraits seront stockés sur le site et caractérisés, puis ils seront éliminés vers les filières agréées en fonction de leur caractérisation. Les terres et matériaux extraits ne pourront pas être réutilisés sur place en surface.
- En cas de cession ou de mise à disposition à titre gratuit ou onéreux de tout ou partie des terrains de la zone concernée, le propriétaire s'engage à dénoncer à tout ayant droit, les servitudes dont elle est grevée, en obligeant le dit ayant droit à les respecter en lieu et place.
- Restriction des usages des milieux (sols (ex. interdiction de constructions nouvelles), eaux, etc.).

Les servitudes pourraient être transmises à la commune en vue de leur prise en considération dans le document d'urbanisme en vigueur (en sus des dispositions prises notamment dans les zones inondables).

## PARTIE 4 : CONCLUSION GENERALE

### XIV. CONCLUSIONS

La DREAL Languedoc-Roussillon a confié au BRGM, selon les modalités de la convention n° SGR/LRO/2012/C056 du 13 mars 2012, une mission de Maîtrise d'œuvre pour la mise en œuvre d'une interprétation de l'état des milieux (IEM) sur l'ancien site minier de St-Félix-de-Pallières/Thoiras.

Le secteur d'étude est localisé sur les communes de St Felix-de-Pallières, de Thoiras et de Tornac dans le Gard (30). Le site d'étude fait partie d'un ensemble de concessions minières de La Croix de Pallières, Pallières, Gravouillère et Vallerabe (ancienne mine Joseph), situées dans le département du Gard (30) à 15 km au sud-ouest d'Alès et à environ 7 km d'Anduze.

La zone d'étude comprend deux anciens sites miniers, séparés par la route départementale D133 reliant Anduze à Saint Félix de Pallières :

- dans la partie Nord, la zone des anciennes mines de la Vieille Montagne ;
- dans la Partie Sud-est, la zone de l'ancienne mine Joseph.

Le périmètre de l'étude est concerné par deux bassins versants et intègre les abords des deux ruisseaux d'Aiguesmortes et de Paleyrolle jusqu'à leur débouché (Le Gardon de Saint Jean et l'Ourne respectivement).

Dans ce contexte, le BRGM a confié à ICF Environnement la réalisation d'un diagnostic environnemental de la zone d'étude ainsi qu'une Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) selon les enjeux qui auront été recensés.

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- déterminer les teneurs des polluants existants et évaluer les risques potentiels pour l'environnement immédiat et la population environnante ;
- démontrer la compatibilité des milieux avec les usages actuels, ou de préconiser, si nécessaire, si la zone d'étude doit faire l'objet de mesures simples de gestion ou d'un plan de gestion.

Pour ce faire, la méthodologie proposée par ICF Environnement, en application de la politique nationale du Ministère en charge de l'Environnement et de la norme 31-620-2 du 23 Juin 2011, relatives aux prestations de services en sites et sols pollués, a consisté à :

- réaliser la synthèse des données documentaires afin de mieux cerner le contexte historique, environnemental et sociétal et réaliser un recensement des usages dans le périmètre de l'étude. Cette première étape permet d'identifier les sources potentielles de pollution, les voies de transfert et les cibles (élaboration du schéma conceptuel),
- effectuer des investigations sur site (hors dépôt UMICORE) en vue de caractériser les milieux d'exposition et déterminer l'impact sur ces différents milieux (sols, eaux souterraines, eaux superficielles, denrées alimentaires, air) et ainsi de recueillir les données nécessaires à la réalisation de l'IEM,
- conduire une Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) afin de s'assurer que l'état des milieux est compatible avec les usages fixés (constatés).

Les deux premières étapes ont fait l'objet d'un rapport intermédiaire (AIX/12/085IR-Phase 1-V1 de Novembre 2012). **Le présent rapport a donné les résultats de la caractérisation et de l'interprétation de l'état des milieux.**

Les résultats de l'Interprétation de l'Etat des Milieux sont résumés ci-après :

### 1/ SOLS

Les mesures dans les sols montrent des teneurs en éléments métalliques supérieures aux valeurs mesurées dans l'environnement témoin (bruit de fond ambiant local) dans les secteurs 1 à 4 et la quantification de cyanures totaux dans la zone de l'ancienne laverie sur le secteur 3 ;

En prenant en compte les traceurs majeurs de l'activité minière, à savoir plomb et arsenic, sur la base des hypothèses de travail définies au chapitre XII.1.6, les niveaux de risque sanitaires pour le scénario ingestion de sols et les cibles étudiés sont :

- majoritairement dans la zone d'incertitude pour les secteurs 2 et 4 ;
- incompatibles ou dans la zone d'incertitude pour les secteurs 1 et 3.

La discussion sur les résultats de l'IEM sols ci-dessus permet de :

- mettre en évidence les facteurs qui ont une influence sur le calcul de risques (biodisponibilité, taux d'ingestion, choix des concentrations notamment) ;
- montrer que même les valeurs moyennes des échantillons dans l'environnement témoin (hors activités anthropiques type minières ou exploitation de carrières) se situent en zone d'incertitude en termes de niveaux de risques.

**Ces constats reflètent la nécessité d'aborder et d'interpréter cette IEM par priorité d'actions en différenciant les secteurs 1 et 3 des secteurs 2 et 4 et non en se limitant aux seuls résultats des grilles IEM.**

### 2/ EAUX SOUTERRAINES AUX POINTS D'USAGE

Au vu de ces résultats analytiques, la qualité des eaux souterraines semble compatible avec les usages constatés.

### 3/ DENREES ALIMENTAIRES

Pour les teneurs supérieures à celles mesurées dans les jardins/poulaillers/ruche dites « témoins » et aux valeurs de la norme CE n°1881/2006 (commercialisation des denrées alimentaires), les résultats montrent des niveaux de risque :

- pour le scénario ingestion de végétaux/fruits :
  - dans la *zone d'incertitude* en arsenic quelsoit le jardin y compris à la limite de quantification analytique et,
  - *compatibles* pour les autres métaux ( et en prenant en compte les teneurs spécifiques en Plomb mesurées dans chaque jardin du secteur 1 (cf N.B sous figure 32)).
- *compatibles* pour le scénario ingestion d'œufs et ingestion de miel.

### 4/ AIR

**Poussières :** Compte tenu des résultats et de la période de prélèvement peu sécuritaire en termes d'envol de poussières, nous recommandons la réalisation d'une nouvelle campagne de mesures d'air ambiant en saison sèche et en période de vent dominant Nord-Sud important afin d'évaluer la pertinence de retenir cette voie d'exposition et de réaliser un calcul de risque sanitaire pour les substances n'ayant pas de valeurs réglementaires associées. Au vue de l'absence de valeurs de référence pour certains métaux, il sera opportun de réaliser une mesure témoin pour la comparaison des résultats.

**Air intérieur :** Au regard des valeurs réglementaires et de références existantes, les résultats sur le prélèvement d'air intérieur montrent :

- des concentrations inférieures aux valeurs réglementaires et
- pour les substances n'ayant pas de valeurs guides ou présentant des concentrations supérieures à la médiane de l'OQAI, les résultats montrent des niveaux de risque sanitaire pour le scénario inhalation air intérieur, compatibles pour toutes les cibles adultes et enfants résidents.

L'IEM s'appuie sur la connaissance de la zone d'étude acquise lors des études documentaires et des campagnes d'investigations (niveaux de concentrations dans les différents milieux) et distingue :

- **les zones où certains milieux d'exposition présentent un écart de qualité significatif avec la qualité des milieux environnants, les critères réglementaires ou niveaux de risques jugés incompatibles avec les usages constatés** : nécessité de réaliser un **plan de gestion en priorité pour les secteurs 3 et une partie du secteur 1** en vue de rétablir la compatibilité entre l'état des milieux et les usages ;
- **les zones où certains milieux d'exposition présentent un écart de qualité significatif avec la qualité des milieux environnants, les critères réglementaires ou des niveaux de risques potentiels (zone d'incertitude) avec les usages constatés**, nécessitant une réflexion plus approfondie de la situation avant de se lancer dans un plan de gestion **en s'appuyant sur le retour d'expérience d'études similaires et d'éventuelles mesures simples de réduction de l'exposition des populations sont proposées** : **secteur 2 et une partie du secteur 4** ;
- **les zones où la qualité des milieux ne présenterait pas à ce jour, ni de risque de présenter dans l'avenir, d'écart par rapport à la gestion mise en place pour la population en général** : **secteur 5**.

A ce stade de l'étude, aucune délimitation précise – autre que les secteurs définis pour cette étude - ne peut être réalisée.

Au regard des caractérisations réalisées, il apparaît que des études complémentaires sont nécessaires afin de :

- compléter la connaissance sur certains milieux (sols, poussières, etc.)
- mieux appréhender les mesures de gestion environnementale et sanitaire pour chaque secteur ;
- définir des mesures de réhabilitation qui concernent en priorité le secteur 3 et une partie du secteur 1.

Des recommandations sont également données en terme de :

- préservation de l'état des milieux dans les secteurs permettant la jouissance des usages (afin d'éviter la survenue d'une dégradation des milieux d'exposition),
- surveillance de l'état des milieux,
- mesures de gestion simple et,
- conservation de la mémoire par la mise en place de servitudes et restrictions d'usage.



## XV. LIMITATIONS DU RAPPORT

Le rapport, remis par ICF, est rédigé à l'usage exclusif du client et de manière à répondre à ses objectifs indiqués dans la proposition commerciale d'ICF (cf. fiche signalétique). Il est établi au vu des informations fournies à ICF et des connaissances techniques, réglementaires et scientifiques connues le jour de la commande définitive.

La responsabilité d'ICF ne pourra être engagée si le client lui a transmis des informations erronées ou incomplètes.

ICF n'est notamment pas responsable des décisions de quelque nature que ce soit prises par le client à la suite de la prestation fournie par ICF, ni des conséquences directes ou indirectes que ces décisions ou interprétations erronées pourraient causer. Toute utilisation partielle ou inappropriée ou toute interprétation dépassant les conclusions des rapports émis ne saurait engager la responsabilité d'ICF.