

Antenne SUD  
40 Rue de Pinville  
CS 40045  
34060 MONTPELLIER Cedex 2

# **Etude sanitaire et environnementale sur les anciennes exploitations minières de La-Croix-de-Pallières et de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (30) Rapport de synthèse**

**RAPPORT 2019/086DE – 19LRO24040**

Date : 27/05/2019



# Etude sanitaire et environnementale sur les anciennes exploitations minières de La-Croix-de-Pallières et de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (30) Rapport de synthèse




RAPPORT 2019/086DE – 19LRO24040

Diffusion :

B3S  
Pôle Après-mine SUD

DREAL Occitanie  
GEODERIS

GAY Aurélien  
CHOQUET Philippe  
BOUISSAC Marie-Hélène  
CHARTIER Philippe  
HADADOU Rafik  
ZORNETTE Nicolas  
BARANGER Philippe  
GERON Arnaud

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	A. GERON	P. BARANGER	R. HADADOU
Visa			



## SOMMAIRE

### A CADRE GENERAL DE L'ETUDE

<b>1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>7</b>
1.1	Contexte de l'étude.....	7
1.2	Déroulement de l'étude.....	8
1.3	Méthodologie.....	9

### B PHASE INFORMATIVE

<b>1</b>	<b>Phase informative - Généralités.....</b>	<b>17</b>
1.1	Démarche de recueil des informations.....	17
1.2	Situation géographique.....	20
1.3	Contexte géologique.....	22
1.4	Contexte hydrogéologique.....	31
1.5	Contexte hydrologique.....	32
1.6	Climatologie.....	35
1.7	Dynamique fluviale et phénomène d'érosion naturelle.....	36
1.8	SAGE des Gardons.....	37
<b>2</b>	<b>Phase informative - Historique minier.....</b>	<b>39</b>
2.1	Concessions de La-Croix-de-Pallières, Pallières-et-Gravouillère, et Valleraube....	39
2.2	Concession de Valensole.....	48
2.3	Laverie des Autiés.....	51
2.4	Concession des Adams.....	52
2.5	Concession et PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille.....	55
<b>3</b>	<b>Phase informative - Etude de vulnérabilité.....</b>	<b>72</b>
3.1	Usage des eaux souterraines et superficielles.....	72
3.2	Aléa inondation.....	80
3.3	Zonage sismique.....	80
3.4	Aléa retrait-gonflement des argiles.....	80
3.5	Espaces naturels sensibles.....	80
3.6	Installations classées.....	81
3.7	Base de données BASOL.....	81
3.8	Base de données BASIAS.....	82
<b>4</b>	<b>Schéma conceptuel préliminaire.....</b>	<b>85</b>
4.1	Sources potentielles de pollution.....	85
4.2	Cibles identifiées.....	85
4.3	Voies d'exposition potentielles.....	86

### C INVESTIGATIONS ENVIRONNEMENTALES

<b>1</b>	<b>Investigations de terrain.....</b>	<b>89</b>
1.1	Organisation des investigations de terrain.....	89

1.2	Méthodes de prélèvements et mesures .....	92
<b>2</b>	<b>Résultats des investigations et interprétation en matière d'impact environnemental.....</b>	<b>98</b>
2.1	Caractérisation des sources de contamination .....	98
2.2	Impacts sur les eaux souterraines.....	117
2.3	Impacts sur les eaux superficielles.....	138
2.4	Impacts sur les sédiments.....	162
2.5	Mesures des flux de poussières sur le secteur d'étude .....	182
2.6	Dissémination anthropique.....	186
 <b>D VOLET SANITAIRE</b>		
<b>1</b>	<b>Interprétation en matière de risque sanitaire.....</b>	<b>189</b>
1.1	Localisation des zones investiguées .....	189
1.2	Enjeux relevés .....	189
1.3	Investigations de terrain du volet sanitaire .....	190
1.4	Caractérisation de l'Environnement Local Témoin (ELT).....	194
1.5	Mise à jour du schéma conceptuel - Volet sanitaire .....	200
1.6	Evaluation des risques sanitaires.....	201
<b>2</b>	<b>Résultats des calculs de risques sanitaires .....</b>	<b>210</b>
2.1	Incertitudes sur la caractérisation du risque .....	217
 <b>E CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS</b>		
<b>1</b>	<b>Conclusions et recommandations .....</b>	<b>223</b>
1.1	Synthèse historique .....	223
1.2	Impact de l'exploitation minière sur l'état des milieux .....	224
1.3	Compatibilité des milieux avec les usages .....	226
1.4	Réhabilitations des zones de travaux, dépôts de matériaux et émergences minières.....	227
1.5	Recommandations relatives aux autres milieux et voies d'exposition .....	243
1.6	Usages des espaces collectifs .....	262
1.7	Usages professionnels.....	264
1.8	Information.....	264
<b>Rapports - Volets de l'étude IEM globale.....</b>		<b>274</b>
<b>Bibliographie .....</b>		<b>275</b>

**Mots clés :** étude sanitaire et environnementale ; sources de contamination ; interprétation de l'état des milieux ; arsenic ; plomb ; zinc ; impact des activités minières ; risques sanitaires ; Croix-de-Pallières, Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille ; émergence minière ; ruisseau du Paleyrolle ; ruisseau du Reigous ; rivière Ourne et rivière Amous

### **Avertissement !**

***Nous attirons l'attention sur l'utilisation du mot « minier » dans ce rapport qui est un terme générique et technique et n'a aucune signification d'ordre réglementaire ou juridique.***





**A**

## **CADRE GENERAL DE L'ETUDE**



# 1 INTRODUCTION

## 1.1 Contexte de l'étude

### 1.1.1 Origine de la demande

Les anciens sites miniers et industriels connexes de La-Croix-de-Pallières et de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille ont fait l'objet de nombreuses exploitations pour les métaux et métalloïdes.

De ces périodes d'exploitation, il subsiste des ouvrages (galeries, puits, etc.), des bâtiments (anciennes laveries, bassins de décantation, fours, etc.) et des dépôts de matériaux provenant des travaux de recherche, d'exploitation et de traitement du minerai.

Les études à caractère environnemental réalisées par le passé (BRGM, 1983 ; INERIS, 2003 et 2004 ; GEODERIS, 2007 et 2008 ; ICF Environnement, 2012 et 2013) sur ces sites ont montré la présence de teneurs parfois importantes en métaux et métalloïdes (plomb, arsenic, cadmium, zinc, etc.) dans les sols et les eaux, potentiellement impactantes pour l'environnement et les populations habitant à proximité.

Dans ce contexte, GEODERIS a été missionné par la DREAL Occitanie pour réaliser une **étude sanitaire et environnementale complémentaire** sur les sites des anciennes exploitations de La-Croix-de-Pallières et de Saint-Sébastien d'Aigrefeuille.

Une partie des travaux a été réalisée conjointement aux investigations alimentant les données de Santé publique France pour l'enquête épidémiologique et les diagnostics individuels des foyers volontaires ayant participé au dépistage mis en place par l'ARS. C'est notamment le cas des volets « Caractérisation de l'environnement local témoin », « Minéralisations naturelles en métaux et métalloïdes » et de certaines investigations à visées sanitaires sur les sols, les eaux, les végétaux, les poussières et l'air ambiant.

Toutefois, le périmètre de l'étude sanitaire et environnementale diffère du périmètre plus vaste des investigations conduites par GEODERIS dans le cadre des dépistages ARS. À ce titre, la présente synthèse ne concerne que les secteurs étant ou ayant été influencés par les anciennes activités minières.

Enfin, l'inventaire des travaux souterrains et des ouvrages débouchant au jour (ODJ : galeries, puits, descenderies, travers-bancs, etc.) est réalisé dans le cadre de l'étude géotechnique des aléas conduite par GEODERIS (rapport S2018/090/DE).

### 1.1.2 Limites de l'étude

Les anciens bâtiments et installations de surface (unités de traitement, magasins, usine, forge, garage, menuiserie, concasseur, broyeur, salle des machines, transformateurs, dépôt de dynamite, moulin de l'Argent, etc.) n'ont pas fait pas l'objet d'investigations.

Par ailleurs, aucune information précise n'a pu être recueillie sur les installations et les produits manipulés dans les bâtiments annexes liés à l'exploitation minière (garages, ateliers, etc.).

Les zones d'anciens travaux de surface et dépôts de matériaux sont rarement cartographiées dans les plans d'archives consultés. Au vu du peu d'informations disponibles, du réaménagement potentiel des sols et du couvert végétal dense de certaines zones boisées, l'inventaire de ces zones ne se veut pas exhaustif.

Au regard des nombreuses anomalies géochimiques naturelles connues sur le secteur et de l'historique complexe des travaux miniers, la discrimination entre une origine anthropique ou naturelle s'avère parfois difficile.

### 1.1.3 Emprise de la zone d'étude

Le secteur concerné par l'étude sanitaire et environnementale se situe dans le département du Gard, à quelques kilomètres à l'ouest des communes d'Alès et d'Anduze. Il recoupe les anciens titres miniers suivants :

#### Titres miniers pour le plomb et le zinc :

- Concession de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (titre n°30SM01041) ;
- Permis d'Exploitation (PEX) de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (titre n°30SM0015) ;
- Concession de La-Croix-de-Pallières (titre n°30SM0049) ;
- Concession de Valensole (titre n°30SM0125).

#### Titres miniers pour la pyrite :

- Concession des Adams (titre n°30SM0018) ;
- Concession de Pallières-et-Gravouillère (titre n°30SM0074) ;
- Concession de Valleraube (titre n°30SM0127).

## 1.2 Déroulement de l'étude

Le déroulé chronologique de l'étude sanitaire et environnementale des anciennes exploitations minières de La-Croix-de-Pallières et de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille est reporté dans le Tableau 1.

PERIODE	VOLET	TACHE
Juin à septembre 2016	Identification des secteurs à forte minéralisation naturelle	Analyse bibliographique Investigations de terrains
	Caractérisation de l'environnement local témoin	Analyse bibliographique Investigations de terrain Campagnes de mesures par fluorescence X portable (pXRF) Prélèvements de sols et résidus
Avril 2017 à mars 2018	Recensement des sources potentielles de contamination	Analyse bibliographique Investigations de terrain Campagnes de mesures pXRF Prélèvements de sols et résidus
	Campagnes de basses-eaux et de hautes-hautes – avis hydrogéologique	Mesures de terrain Prélèvements d'eaux souterraines, superficielles et sédiments
Juillet à décembre 2018	Etude sanitaire	Investigations de terrain Prélèvements de sols, eaux et végétaux Evaluation des risques sanitaires

*Tableau 1 : Déroulé chronologique de l'étude sanitaire et environnementale des anciennes exploitations minières de la Croix-de-Pallières et de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (30)*

Pour certains aspects spécifiques de l'étude, un appui a été réalisé par le BRGM et l'INERIS.

Le BRGM a effectué un travail de bibliographie et d'investigations de terrain spécifiques aux aspects géologiques, hydrogéologiques et aux Environnements Locaux témoins (ELT). Des campagnes de mesures de sols *in situ* à l'aide d'un spectromètre de fluorescence X portable ainsi que certaines analyses en laboratoire sur échantillons prélevés, ont ainsi été effectuées par le BRGM.

L'INERIS a été sollicité pour l'identification des enjeux et usages, prélèvements de sols, eaux et végétaux à des fins d'évaluation du risque sanitaire ainsi que pour l'étude des retombées atmosphériques.

Les résultats des travaux relatifs aux différents volets de l'étude sanitaire et environnementale sont synthétisés dans ce rapport.

## 1.3 Méthodologie

### 1.3.1 Contexte réglementaire

La démarche adoptée dans le cadre de cette étude s'appuie sur la méthodologie mise en œuvre dans le contexte des sites et sols pollués (SSP) définie par la note du 19 avril 2017 relative aux sites et sols pollués - Mise à jour des textes méthodologiques de gestion des sites et sols pollués de 2007.

Deux outils sont proposés pour la gestion des sites potentiellement pollués, la démarche d'interprétation de l'état des milieux (IEM) et le plan de gestion (Figure 1), qui sont à mettre en œuvre en fonction des potentialités d'action sur les usages et sur l'état des milieux.

- la démarche d'**interprétation de l'état des milieux** consiste à s'assurer que l'état des milieux est compatible avec des usages déjà fixés, c'est-à-dire les usages constatés ;
- le **plan de gestion** est mis en œuvre lorsque la situation permet d'agir aussi bien sur l'état du site (par des aménagements ou des mesures de dépollution) que sur les usages qui peuvent être choisis ou adaptés.

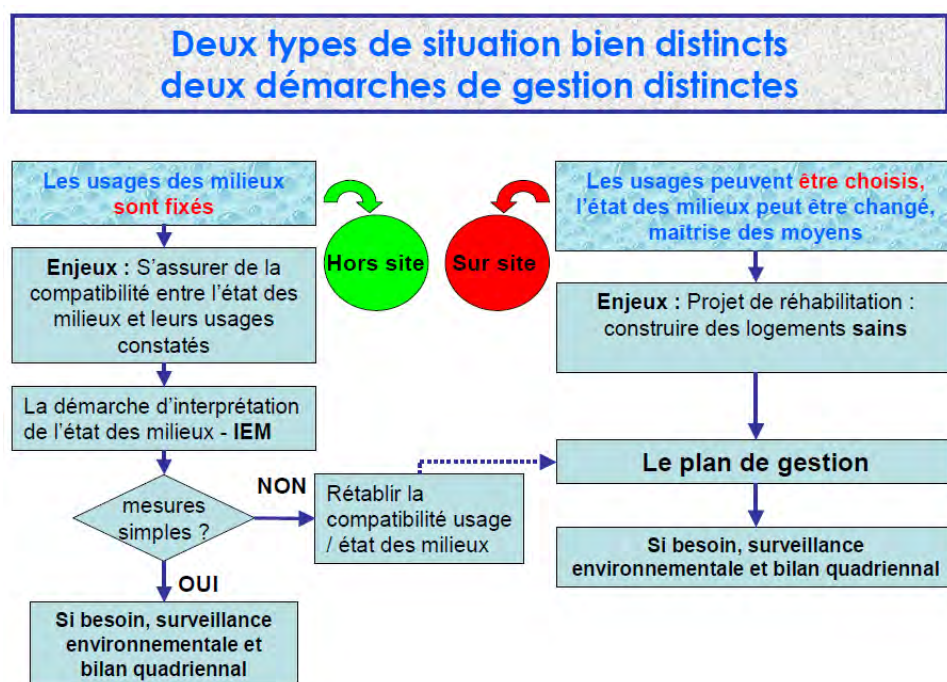


Figure 1 : Les deux démarches de gestion des sites pollués (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2007)

Ces deux démarches ne sont pas nécessairement exclusives l'une de l'autre : selon le cas, elles peuvent être mises en œuvre indépendamment, simultanément ou successivement. Par exemple, à l'issue d'une démarche d'interprétation de l'état des milieux, et dès lors que des actions simples de gestion ne sont pas suffisantes, un plan de gestion peut être nécessaire pour rétablir la compatibilité entre l'état des milieux et les usages.

### 1.3.2 La démarche d'interprétation de l'état des milieux

Dans le cas où les sites potentiellement pollués sont déjà urbanisés et/ou les usages sont fixés, l'IEM doit permettre de vérifier la compatibilité de chacun des usages constatés avec l'état des milieux (Figure 2).

La démarche a pour objectif de distinguer :

- les milieux qui ne nécessitent aucune action particulière, c'est-à-dire ceux qui permettent une libre 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 pour rétablir la compatibilité entre l'état des milieux et leurs usages constatés ; dans ce cas, il est nécessaire :
  - d'élaborer des propositions d'actions simples de gestion ;
  - le cas échéant, d'identifier des premières mesures de protection sanitaires ;
  - de recourir aux outils de conservation de la mémoire et de restriction d'usage.
- les milieux présentant une incompatibilité vis-à-vis des usages constatés et qui nécessitent la mise en œuvre d'un plan de gestion.

La démarche de l'Interprétation de l'état des milieux prévoit également une maîtrise des sources de pollution au regard des usages constatés.

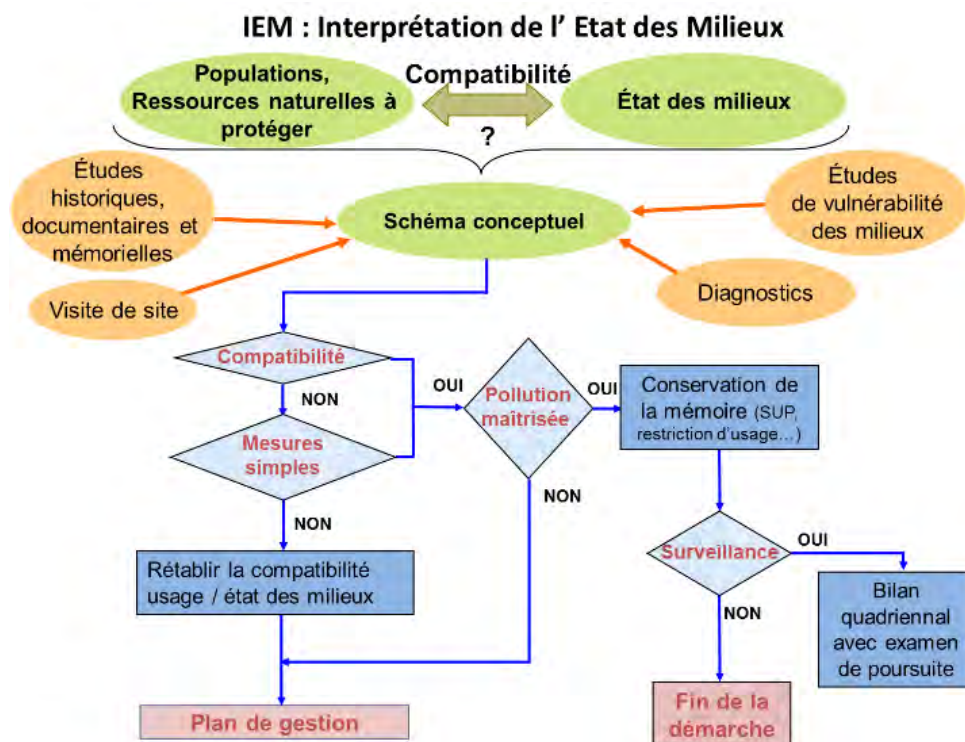


Figure 2 : Principe de la démarche IEM (Direction générale de la Prévention des Risques, Bureau du Sol et du Sous-Sol, 2017)

La démarche IEM consiste, dans un premier temps, à réaliser un bilan factuel de l'état du milieu ou du site étudié. Cet état des lieux permet d'établir **le schéma conceptuel** préliminaire (Figure 3). Il a pour but d'appréhender l'état de pollution des milieux et les voies d'exposition aux pollutions au regard des usages constatés.

Le schéma conceptuel précise les relations entre :

- les sources de pollution ;
- les différents milieux de transferts et leurs caractéristiques, ce qui détermine l'étendue des pollutions ;
- les enjeux à protéger : les populations riveraines, les usages des milieux et de l'environnement, les milieux d'exposition, et les ressources naturelles à protéger.

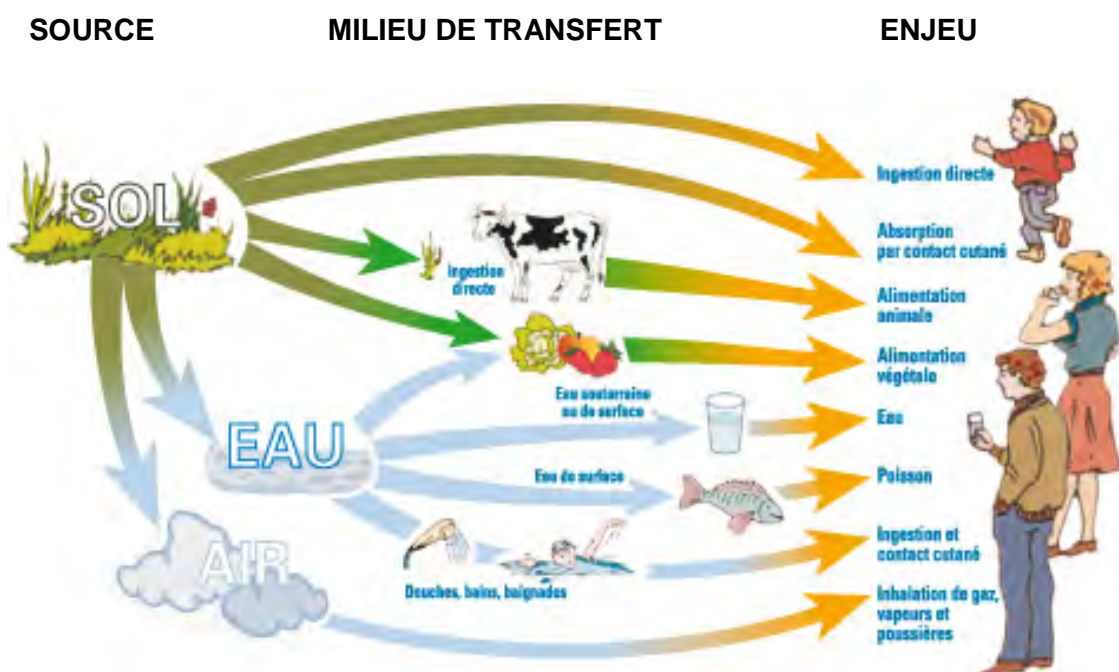


Figure 3 : Schéma conceptuel général d'exposition des personnes à un site pollué (modifié d'après INERIS, 2001, Fiche « Sites et sols potentiellement pollués »)

La construction du schéma conceptuel préliminaire repose sur une collecte d'informations pouvant nécessiter des recherches documentaires, des visites de sites et des enquêtes auprès des utilisateurs du site ou du milieu.

À partir du schéma conceptuel préliminaire est ensuite élaboré un plan d'échantillonnage. Les investigations de terrain doivent répondre à plusieurs objectifs, dont notamment :

- l'étude détaillée des usages ;
- l'identification et la caractérisation des sources de contamination ;
- la caractérisation des vecteurs/milieux de transfert ;
- la caractérisation des milieux d'exposition ;
- la caractérisation du fond géochimique.

À l'issue de campagnes de mesures réalisées sur site, le schéma conceptuel préliminaire évolue selon les éléments recueillis lors des investigations. De fait le schéma conceptuel est actualisé au fur et à mesure de l'étude et de l'acquisition de nouvelles informations.

Dans le cadre de la démarche IEM l'état des milieux potentiellement pollués est évalué au regard de l'état des milieux naturels voisins, de l'état initial de l'environnement (pour les installations classées) et des valeurs de gestion réglementaires mises en place par les pouvoirs publics.

En l'absence de valeurs de gestion réglementaires, et lorsque la comparaison à l'état des milieux naturels voisins montre une dégradation des milieux, la question de savoir dans quelle mesure cet état dégradé des milieux peut compromettre ou non son usage se pose alors. Dans ce cas, la démarche IEM propose une grille de calcul permettant une évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) basée sur les *scenarii* et les modes d'exposition identifiés dans le schéma conceptuel, et sur les valeurs toxicologiques de référence (VTR) des éléments chimiques considérés comme potentiellement impactants.

Sur la base de l'étude détaillée des usages, des observations de terrain ainsi que des résultats d'analyses physico-chimiques des différentes matrices environnementales prélevées, la démarche d'interprétation de l'état des milieux est déroulée comme suit :

- **Comparaison des concentrations** mesurées dans les milieux d'exposition avec les **valeurs réglementaires, valeurs guides ou objectifs de qualité des milieux** en vigueur au moment de l'étude.

Ces valeurs de gestion mises en place par les pouvoirs publics correspondent aux niveaux de risque acceptés par les pouvoirs publics pour l'ensemble de la population française.

- **Comparaison des concentrations mesurées dans les milieux d'exposition** (hors milieux retenus comme sources de pollution) **avec les concentrations mesurées sur un Environnement Local Témoin (ELT)** défini selon trois critères :
  - contexte naturel similaire au territoire étudié (géologie, pédologie, couvert végétal, etc.) ;
  - usages similaires ;
  - absence d'impact de l'activité minière.

Une éventuelle dégradation de la qualité des milieux par rapport à l'Environnement Local Témoin est alors mise en évidence et signalée ; néanmoins elle ne permet pas de statuer sur la compatibilité ou l'incompatibilité de la qualité des milieux avec les usages considérés.

Dans le contexte de l'Après-mine, il est à souligner la problématique de l'identification d'un Environnement Local Témoin pertinent, pour la matrice sol, notamment au regard :

- de la complexité des lithologies en présence ;
  - du contexte d'anomalies géochimiques naturelles qui caractérise tout site minier.
- Si la comparaison avec l'ELT montre une dégradation des milieux d'exposition (hors milieux retenus comme sources de pollution) et que des valeurs de gestion ne sont pas disponibles, il est alors nécessaire de vérifier si l'état de ces milieux est compatible avec les usages identifiés. Dans ce cas, une **Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS)** est alors entreprise, afin d'apporter des éléments de jugement sur la compatibilité entre la qualité des milieux et les usages constatés.



- Pour les milieux d'exposition retenus comme sources de pollution, aucun ELT n'est recherché. En cas de dépassement des valeurs réglementaires ou en l'absence de celles-ci, les teneurs mesurées dans ces milieux sources font directement l'objet d'une EQRS.

L'EQRS est basée sur :

- les *scenarii* et les paramètres d'exposition pertinents associés, définis en fonction des usages et des voies d'exposition identifiés dans le schéma conceptuel ;
- les concentrations mesurées dans les milieux d'exposition.

**En première approche, les calculs de risques sanitaires sont réalisés pour chacune des substances et voies d'exposition étudiées prises indépendamment.** Ils sont mis en œuvre à partir d'une grille de calculs adossée à la méthodologie de l'IEM. Les résultats obtenus sont interprétés sur la base des intervalles de gestion des risques associés aux effets à seuil (Quotient de Danger – QD) et aux effets sans seuil (Excès de Risque Individuel – ERI), également définis dans la méthodologie de l'IEM.

Les intervalles de gestion sont présentés dans le tableau 2 ci-dessous.

Effets à seuil Effets sans seuil	QD < 0,2	0,2 < QD < 5	QD > 5
ERI < 10 <sup>-6</sup>	Compatible	Zone d'interprétation	Incompatible
10 <sup>-6</sup> < ERI < 10 <sup>-4</sup>	Zone d'interprétation	Zone d'interprétation	Incompatible
ERI > 10 <sup>-4</sup>	Incompatible	Incompatible	Incompatible

*Tableau 2 : Compatibilité des milieux avec leurs usages en fonction des résultats de l'EQRS*

Si les résultats de l'EQRS conduisent à conclure à l'incompatibilité du milieu avec ses usages alors il convient d'envisager la mise en place de mesures simples de gestion ou d'un plan de gestion.

Dans les cas où les résultats de l'EQRS sont en « zone d'interprétation », une réflexion plus approfondie est nécessaire avant d'engager un plan de gestion. Pour cela une EQRS réfléchie peut être mise en œuvre. Des mesures simples de gestion peuvent également être proposées.

**Dans le cadre d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires réfléchie (EQRS réfléchie)** et contrairement à l'EQRS réalisée en première approche pour laquelle chacune des substances et voies d'exposition étudiées sont considérées indépendamment, les niveaux de risques sont calculés en pratiquant l'additivité des risques selon les règles de l'art en la matière et en tenant compte des recommandations des instances sanitaires émises au niveau national.

Le cumul des effets entre voies et substances sera traduit selon les règles suivantes :

- pour les effets à seuils : à l'addition des quotients de danger (QD) pour les substances ayant le même mécanisme d'action toxique sur le même organe cible ;
- pour les effets sans seuils : à l'addition de tous les excès de risque individuel (ERI).

Dans le cadre d'une EQRS réfléchie, les niveaux de risque de référence permettant de statuer sur la compatibilité ou l'incompatibilité de la qualité des milieux vis-à-vis des usages constatés sont définis comme suit :

- **pour les effets à seuils : le Quotient de Danger (QD) théorique doit être inférieur à 1** ; lorsqu'il est supérieur à 1, la possibilité d'apparition d'un effet toxique ne peut être exclue ;
- **pour les effets sans seuils : l'Excès de Risques Individuel théorique (ERI) doit être inférieur à  $10^{-5}$**  (probabilité d'apparition d'un cas supplémentaire de cancer sur une population de 100 000 personnes exposées) ; lorsqu'il est supérieur à  $10^{-5}$ , la possibilité d'apparition d'un effet toxique ne peut être exclue.

Une fois l'état des milieux défini, il s'agit, sur la base du schéma conceptuel définitif et en toute connaissance de cause, de définir, le cas échéant, les actions appropriées à engager pour rendre l'état des milieux compatible avec les usages.

**B**

**PHASE INFORMATIF**



# **1 PHASE INFORMATIVE - GENERALITES**

## **1.1 Démarche de recueil des informations**

La phase informative menée par GEODERIS a consisté en une recherche documentaire préalable ayant pour but de reconstituer l'historique du site étudié et d'acquérir une connaissance la plus précise possible de son état et de son contexte actuel. Cette étape vise également à recenser les différents usages et enjeux en présence.

Cette étape de recueil d'informations est basée sur la consultation des documents, plans, schémas et coupes disponibles et consultables dans les différents dépôts et centres d'archives à la date de rédaction du rapport.

Les organismes et centres d'archives suivants ont été consultés par GEODERIS entre 2016 et 2017 :

- le Centre des Archives Nationales à Fontainebleau ;
- les archives du BRGM à Orléans ;
- le centre des Archives Départementales du Gard à Nîmes ;
- les archives de la DREAL Occitanie.

La majorité des informations utiles a été recueillie dans les archives minières stockées à la DREAL Occitanie.

Le Centre des Archives Nationales et le Centre d'Archives Départementales du Gard à Nîmes n'ont pas fourni de documents complémentaires de ceux recueillis dans les archives de la DREAL Occitanie.

Les archives du BRGM disponibles sur le site d'Orléans n'ont pas apporté d'informations complémentaires.

Les côtes d'archives de la DREAL Occitanie consultées durant la phase de recherche documentaire complémentaire sont indiquées dans le tableau 3 suivant.

SERVICE	REFERENCE ARCHIVES	TYPE DE DOCUMENTS
DREAL Occitanie	5.6.10 CP 343, 515	Plan des travaux
	6.1.4	Concession de "La-Croix-de-Pallières" Cas. 222
	6.1.1	Travaux du jour
	6.5.4	Valleraube Pyrite fer
	6.5.4	La-Croix-de-Pallières
	6.2.10	Concessions de Valleraube Pyrites de fer de Pallières et Gravouillère Pyrites de fer de La-Croix-de-Pallières zinc, plomb, argent, autres métaux, le fer excepté Union Ministère France Arrêt définitif des travaux Renonciation
	6.2.10	Concession La-Croix-de-Pallières zinc, plomb, argent Renonciation Union Minière France
	5.6.8	La-Croix-de-Pallières
	6.2.10	Concession de Pallières et de la Gravouillère
	6.2.10	Commune Saint-Paul-Lacoste Minières de Fer
	6.1.1	Travaux de fond
	CP 343,513	Cartes géologiques Coupes de gisement

*Tableau 3 : Références des archives DREAL Occitanie consultées*

Les documents et plans d'archive utilisés dans le cadre de cette étude ont été numérisés et ont reçu une numérotation GEODERIS (tableaux 4 et 5).

Un tableau de synthèse a ensuite été constitué indiquant pour chaque document :

- la côte d'Archive DREAL ;
- l'identifiant GEODERIS ;
- la concession concernée ;
- l'expéditeur/rédacteur/destinataire ;
- la date, le titre, l'objet et le nombre de pages du document ;
- l'échelle pour chaque plan, schéma et coupe ;
- une description du contenu et des éléments essentiels du document.

Tous les documents scannés ainsi que le tableau de synthèse sont fournis dans le DVD joint à ce rapport.

CONCESSION	COTE ARCHIVES DREAL OCCITANIE	NUMEROTATION GEODERIS DES DOCUMENTS NUMERISES
La-Croix-de-Pallières	6.2.10	CDP-001 à CDP-053 CDP-055 à CDP-072
	6.1.4	CDP-054 CDP-092 à CDP-118 CDP-120
	6.5.4	CDP-073 à CDP-074
	6.1.1	CDP-075 à CDP-091 CDP-179 à CDP-184
	5.6.8	CDP-119 CDP-121 à CDP-177
	5.6.10	CDP-178
	CP343, 513	CDP-185 à CDP-187
Pallières et Gravouillère	6.2.10	PAG-001 à PAG-009 PAG-011 PAG-013 à PAG-035
	6.5.4	PAG-010
	5.6.8	PAG012
Valleraube	6.2.10	VAL-001 à VAL009 VAL-052 VAL-056
	6.5.4	VAL-010 à VAL051 VAL-053 à VAL055
	6.1.4	VAL-057 à VAL-058
	5.6.8	VAL-059
Valensole	6.5.4	VSO-001 à VSO-013 VSO-015 à VSO-016 VSO-018
	6.2.10	VSO-014 VSO-017
	6.1.4	VSO-019
Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	5.5.2	SSA-001 à SSA-004 SSA-071 à SSA-078
	5.4.9	SSA-006 à SSA-007 SSA099 à SSA-100
	5.4.8	SSA-008 à SSA-018
	5.5.1	SSA-019 à SSA-021 SSA-062 à SSA-067 SSA-069 SSA-081 à SSA-081 SSA-101
	5.4.10	SSA-022 à SSA-046 SSA-106
	5.5.10	SSA-049 à SSA-061
	5.5.3	SSA-068
	5.5.4	SSA-079 SSA-082 à SSA-086 SSA-102 à SSA-105
	5.4.7	SSA-087 à SSA-098

Tableau 4 : Numérotation GEODERIS des documents numérisés selon la côte d'archive DREAL Occitanie

CONCESSION	COTE ARCHIVES DREAL OCCITANIE	NUMEROTATION GEODERIS DES PLANS, SCHEMAS ET COUPES NUMERISES
La-Croix-de-Pallières	6.2.10	CDP-p-001 à CDP-p-002 CDP-p-045 à CDP-p-052 CDP-p-055
	6.5.4	CDP-p-003 à CDP-p-006
	5.6.10	CDP-p-007 CDP-p-012 à CDP-p-044
	6.1.1	CDP-p-008 à CDP-p-010 CDP-p-053 à CDP-p-054 CDP-p-056 à CDP-p-059
	6.1.4	CDP-p-011
	CP343, 513	CDP-p-060 à CDP-p-078
Pallières et Gravouillère	6.2.10	PAG-p-001 à PAG-p-004
Valleraube	6.2.10	VAL-p-001
	5.6.10	VAL-p-002
	CP343, 513	VAL-p-003 à VAL-p-005

*Tableau 5 : Numérotation GEODERIS des plans, schémas et coupes numérisés selon la côte d'archive DREAL Occitanie*

Ces documents sont synthétisés en **annexe 1**.

Enfin, le recensement a été complété par la consultation de documents publics ou privés (travaux universitaires, rapports de bureaux d'études, travaux de recherche du BRGM, etc.). Ces documents sont listés dans le rapport et cités en bibliographie.

## 1.2 Situation géographique

Les titres miniers étudiés sont situés dans le département du Gard, à proximité de la commune d'Anduze (Figure 4).

Ils sont localisés en bordure du massif des Cévennes où le relief est marqué par des collines aux sommets arrondis séparées par des vallons très étroits.

Les versants sont parcourus par des cours d'eau à régime torrentiel (Gardons).

Les altitudes varient entre 125 m dans la vallée du Gardon de Saint-Jean-du-Gard et plus de 500 m au nord de Carnoulès (Figure 5).

Les anciens travaux miniers se trouvent à des altitudes approximativement comprises entre 300 et 400 m.

Le recouvrement végétal est important et correspond à une végétation de type méditerranéen. On y trouve des espaces boisés dominés par des châtaigniers et des pins et par des zones de garrigues où dominent les chênes verts et une strate arbustive et buissonnante dense. Vers Anduze, la forêt fait place aux vignes qui se développent sur les terrasses caillouteuses et les coteaux, et aux vergers et cultures maraichères dans les plaines alluviales.



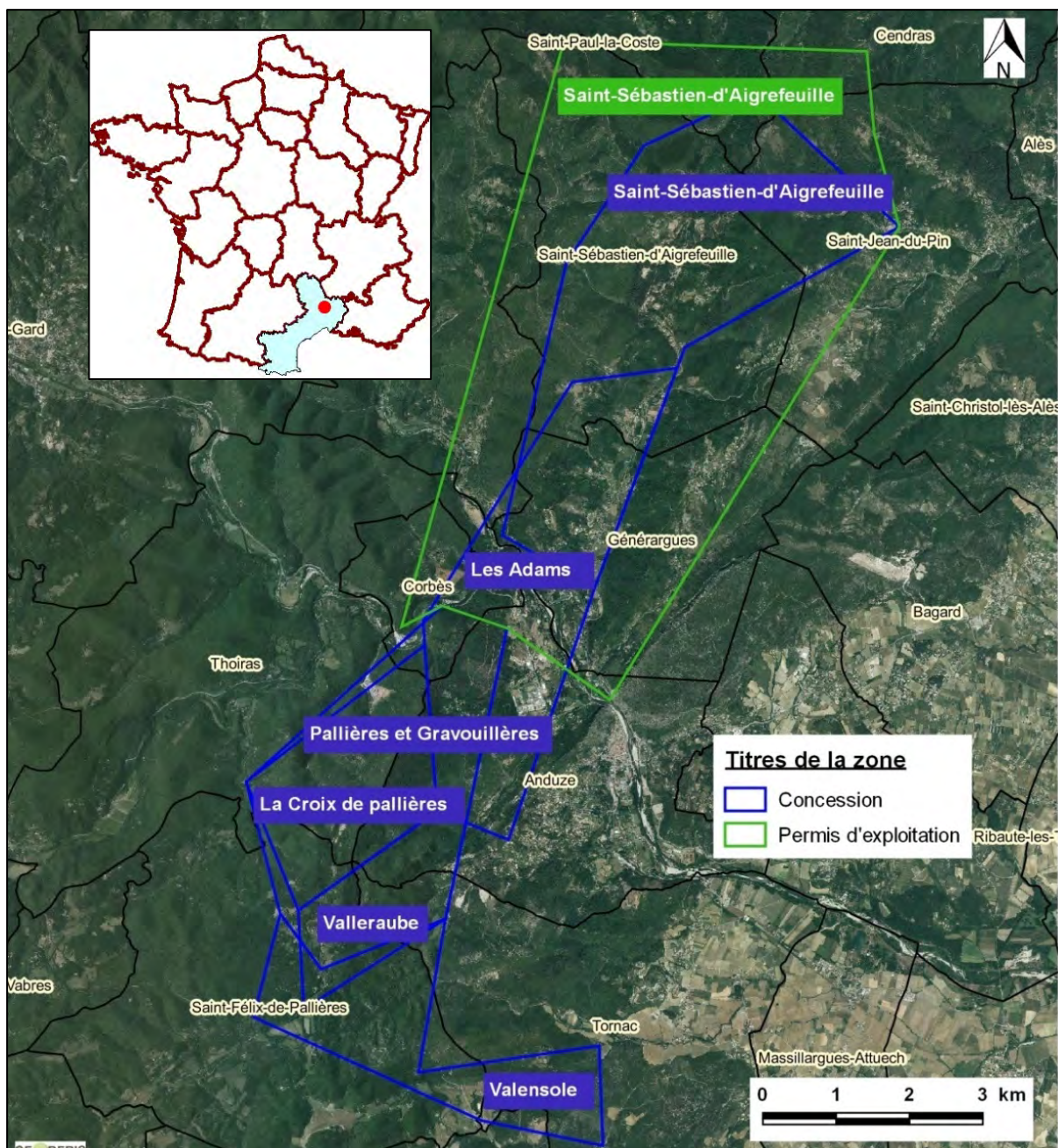


Figure 4 : Localisation des titres miniers du secteur d'étude. Les traits noirs correspondent aux limites communales



Figure 5 : Orographie du secteur d'étude (source : SMAGE des Gardons, BCEOM)

### 1.3 Contexte géologique

Une étude géologique détaillée du secteur a été réalisée dans le cadre du volet « géologie » de l'étude sanitaire et environnementale. Cette étude géologique correspond au rapport « Minéralisations naturelles en métaux et métalloïdes » référencé BRGM/RP 68364 (Melleton, 2016)<sup>1</sup>. Les éléments suivants y sont présentés :

- le contexte géologique régional et local ;
- le cadre géotectonique et métallogénique ;
- les données issues de l'Inventaire Minier métropolitain et les travaux de prospection du BRGM ;
- des relevés de terrain aboutissant à la description des minéralisations et formations encaissantes.

Quelques éléments synthétiques sont indiqués ci-après.

#### 1.3.1 Contexte géologique régional

Trois grandes entités géologiques peuvent grossièrement être différenciées au niveau régional (Figure 6) :

- au nord-ouest et à l'ouest, les zones de plus hautes altitudes correspondent aux formations varisques des Cévennes, principalement constituées de micaschistes et intrudés par des granites ;
- la bordure sous-cévenole, comprise entre les Causses et les Garrigues, et constituée par la couverture mésozoïque très déformée et correspondant à la zone du système de la faille des Cévennes ;
- au sud et au sud-est, le bassin crétacé et tertiaire languedocien des Garrigues.

<sup>1</sup> Rapport disponible sur le CD-ROM joint à la présente étude.

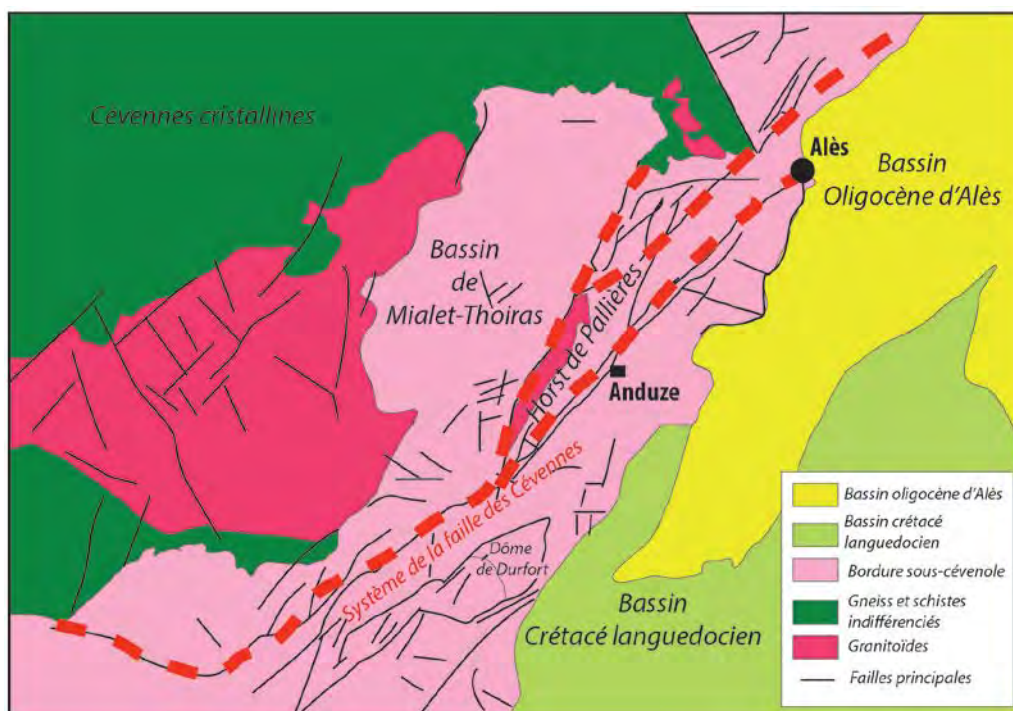


Figure 6 : Schéma structural simplifié de la bordure cévenole au niveau de la zone d'étude (source : rapport BRGM/RP 68364)

La grande majorité des gîtes minéraux connus dans la zone est localisée au sein de la bordure sous-cévenole.

### 1.3.2 Contexte géologique local : la bordure sous-cévenole

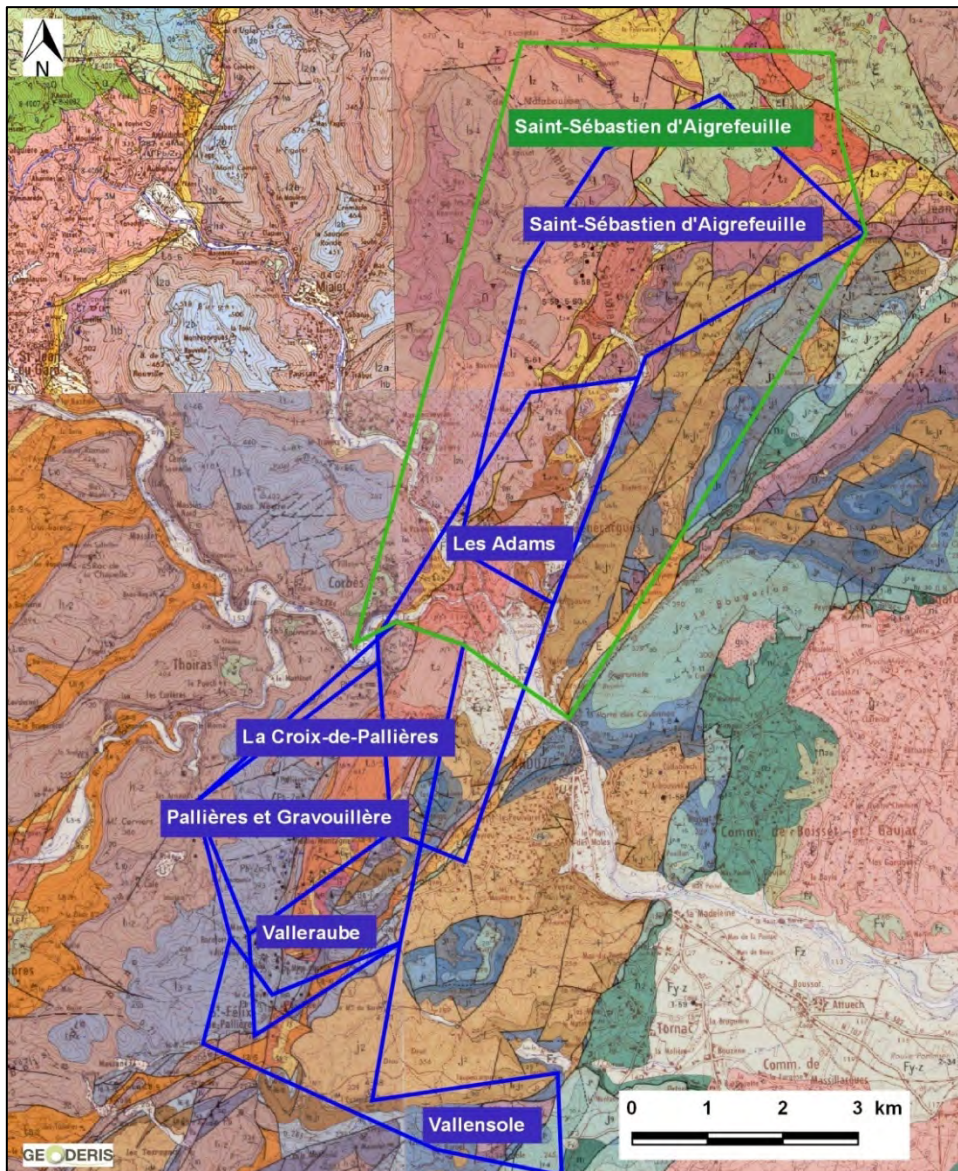
Les titres miniers étudiés sont implantés au niveau de la bordure cévenole (Figures 7 et 8).

Dans la région d'Anduze, il s'agit d'une unité tectonique de la couverture secondaire qui s'intercale entre le socle granito-schisteux de la bordure sud-est du Massif Central et les formations tabulaires crétacées ou tertiaires du bassin languedocien.

Les dépôts sédimentaires triasiques et jurassiques s'étendent sur une largeur d'une dizaine de kilomètres selon une orientation nord-est/sud-ouest.

La zone d'étude est marquée par une structure particulière, appelée « horst de Pallières – Générargues », qui apparaît en pleine couverture secondaire.

Cette structure s'étend sur une dizaine de kilomètres depuis son enracinement au nord dans le socle cévenol, jusqu'à Saint-Félix-de-Pallières au sud où elle est sectionnée par des failles transverses. Ce horst fait affleurer le granite du socle et les arkoses du Trias sous-jacents.



**Figure 7 : Environnement géologique du secteur étudié (d'après les cartes géologiques au 1/50 000 d'Alès, Le Vigan, Anduze et Saint-André-de-Valborgne)**



**Figure 8 : Légende des cartes géologiques au 1/50 000 d'Anduze, d'Alès, du Vigan et de Saint-André-de-Valborgne**

### 1.3.3 Typologie des minéralisations rencontrées

Les minéralisations rencontrées dans le secteur correspondent à deux modèles métallogéniques appartenant aux gisements de plomb et zinc portés par des formations sédimentaires :

- les minéralisations de type Mississippi Valley (MVT) ;
- les gisements de plomb dans les formations détritiques de type grès et arkoses<sup>2</sup>.

#### 1.3.3.1 Minéralisations de type Mississippi Valley (MVT)

L'environnement de formation de ce type de gisement correspond à des bassins de plateforme intracratonique en extension (Figure 9).

Ce type de gisement porte principalement du plomb et du zinc, avec la présence, parfois à des concentrations économiques, d'argent, de germanium (exemple de La-Croix-de-Pallières) ainsi que du cuivre voir du baryum. D'autres métaux et métalloïdes, généralement non exploités pour ce type de gisement et potentiellement contaminants, peuvent être présents comme l'arsenic, le cadmium, le thallium et le mercure.

Les principaux minéraux porteurs du zinc et du plomb sont respectivement la sphalérite, (Zn, Fe)S, et la galène, PbS. La minéralisation est souvent associée à des carbonates hydrothermaux (le plus souvent dolomite, et pour de plus rares occurrences calcite) qui remplacent les carbonates de la roche hôte et peut constituer la gangue du minerai.

La géométrie des gisements est généralement complexe, de type « *stratabound* »<sup>3</sup> à discordante et épigénétique<sup>4</sup>. L'extension des gisements se limite à celle des corps minéralisés, localisés dans des points particuliers de la série sédimentaire. Ces corps correspondent à des amas ou lentilles pouvant atteindre une centaine de mètres d'extension et des puissances du décimètre à plusieurs dizaines de mètres.

Les paramètres qui semblent contrôler le plus la distribution des minéralisations correspondent à :

- la présence de failles et fractures ;
- des transitions de faciès entre calcaires, dolomies et marnes ;
- la présence de paléosystèmes récifaux ;
- la présence de haut topographique.

L'ensemble des gisements et indices à Pb-Zn de la bordure cévenole présents dans les formations carbonatées du Lias appartient à ce type de gisement.

---

<sup>2</sup> Les arkoses sont des roches sédimentaires détritiques continentales contenant des grains de quartz mais aussi une part importante (au moins 25 %) de feldspath.

<sup>3</sup> Terme anglophone utilisé pour caractériser des minéralisations restreintes à une couche géologique donnée mais pas forcément stratiforme (réparties en strates).

<sup>4</sup> Se dit de minéralisations formées postérieurement à leur roche hôte, généralement par des circulations de fluides hydrothermaux.

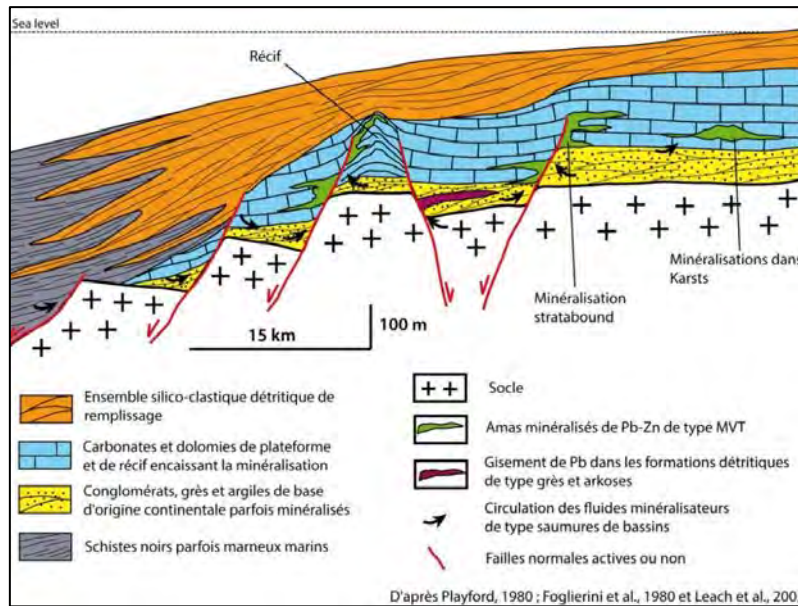


Figure 9 : Coupe schématique représentant le contexte de mise en place des gisements de type MVT et de type Pb dans les formations détritiques de type grès et arkoses (source : rapport BRGM/RP 68364)

### La-Croix-de-Pallières

Le gisement de La-Croix-de-Pallières est le gisement de type MVT le mieux connu de la bordure sous-cévenole.

Les amas qui ont été exploités correspondent à des lentilles concordantes avec les niveaux dolomitiques. Ils se répartissent sur cinq niveaux stratigraphiques de l'Hettangien.

Une partie de la minéralisation est aussi constituée par un remplissage de fractures dans les zones tectonisées en relation avec les amas cités précédemment. Par ailleurs, des lentilles d'assez faibles extensions sont aussi reconnues vers le mur de la faille de Pallières.

### Mine Joseph et grattages annexes

Le gîte de la mine Joseph est localisé sur le flanc est et à la terminaison méridionale du horst de Pallières.

Les minéralisations, principalement pyriteuses sont réparties dans les formations du Trias, les calcaires marneux et dolomies cubiques du Sinémurien.

La minéralisation principale exploitée à la mine Joseph correspond à une lentille de dolomie dans les marno-calcaires du Sinémurien, au toit des marnes noires à lentilles gréseuses du Trias. Les sulfures (pyrite, galène, sphalérite) sont disséminés dans des fissures à remplissage principalement calcitique. Le drainage minier observé aux pieds des haldes, principalement des arkoses pyritisées, n'est pas tamponné par cette gangue carbonatée.

### Valensole

Au niveau du secteur de Valensole, une petite structure anticlinale kilométrique laisse apparaître au cœur les calcaires du Sinémurien et du Pliensbachien (Lias).

Le minerai correspond à des dolomies grises noirâtres, cristallines, recoupées par des réseaux de diaclases à calcite avec des mouches de galène et de sphalérite.

### **1.3.3.2 Gisement de plomb dans les formations détritiques de type grès et arkoses**

L'environnement de formation de ce type de minéralisation est similaire à celui des MVT. Cependant, les formations détritiques encaissantes peuvent être fluviales ou marines.

Ce type de minéralisation est caractérisé par une morphologie stratiforme<sup>5</sup> et un caractère disséminé marqué. La minéralisation est caractérisée par la présence de sulfures en très grande quantité avec principalement galène, pyrite (FeS<sub>2</sub>), sphalérite, chalcopyrite (CuFeS<sub>2</sub>) et arsénopyrite (FeAsS).

Le plomb proviendrait de l'altération des feldspaths présents soit dans le substratum (granitoïdes en particulier) soit dans les arkoses. La différence de solubilité du plomb par rapport au zinc dans les environnements réducteurs expliquerait sa seule présence dans ce type de minéralisations.

Les minéralisations de la zone encaissée au sein des formations détritiques du Trias peuvent être rapportées à ce type de gisement, bien que certains soient composés de pyrite.

#### **Gisement de Carnoulès (Concession de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille)**

La minéralisation de Carnoulès est localisée dans les conglomérats de base du Trias. Elle s'étend depuis la vallée de l'Amous au sud, jusqu'au lieu-dit la Fabrique, au nord-est.

À Carnoulès, les zones minéralisées s'organisent en lentilles d'allongement N-S à NNE-SSW, formant aussi des chapelets dans des bandes NNW-SSE. Ces directions correspondent à celles des barres conglomératiques ainsi qu'aux failles structurant le horst.

Ces lentilles ont une longueur de 200 à 300 m pour une largeur de 50 à 100 m.

La minéralisation est principalement constituée par de la pyrite, de la marcassite, de la galène, plus rarement de la sphalérite, des arséniures d'argent comme la proustite, des sulfosels de cuivre. La gangue est à quartz et barytine. La galène comporte fréquemment des inclusions de chalcopyrite, de sulfosels et de cuivre gris.

#### **Gisement de Saint-Jean-du-Pin**

Le minerai exploité du gisement de Saint-Jean-du-Pin était principalement de la calamine, de la pyrite et de la sphalérite. Les résultats de la campagne de sondage de 1950-1953 ont permis de mettre en évidence la structure des minéralisations correspondant à des lentilles stratiformes comportant une minéralisation diffuse disséminée, répartie dans plusieurs niveaux lithostratigraphiques du Trias.

L'arkose triasique est imprégnée par des sulfures de fer (marcassite et pyrite) avec une gangue quartzreuse. Un deuxième type de minerai correspond à une brèche à pyrite et sphalérite à gangue carbonatée.

#### **Gisement de La Parade**

Au niveau de La Parade, de nombreux chapeaux de fer barytiques sont connus dans des psammites<sup>6</sup> feldspathiques ferruginisées du Trias de base, qui reposent sur une formation de

---

<sup>5</sup> Restreinte à une seule formation sédimentaire et non séquentielle à la stratigraphie.

<sup>6</sup> Roche sédimentaire détritique, riche en quartz et en muscovite



grès arkosiques de 3 mètres de puissances maximum. Le minerai exploité serait essentiellement pyriteux.

### **Gisement du Pradinas**

Exploité au cours de la deuxième moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle, le gisement du Pradinas est localisé dans des formations principalement gréso-dolomitiques du Trias de base, formant une bande étroite de direction NE-SW immédiatement à l'ouest de la faille occidentale du horst de Pallières. Cette zone est fortement tectonisée.

La minéralisation se présente sous différents gîtes, la plus conséquente correspondant au premier type :

- des imprégnations dans des lentilles dolomitiques formant des amas stratoïdes ;
- des filonnets quartzeux à sulfures dans des argiles gréseuses noires ;
- des arkoses et grès arkosiques à ciment sulfuré ;
- une brèche à éléments d'arkoses imprégnée de sulfures ;
- des filonnets à sphalérite ou pyrite dans le granite.

Les indices au niveau du ravin des Combettes présentent des minéralisations similaires à sphalérite dans le Trias de base et à pyrite dans l'Hettangien dolomitique.

Au niveau de Corbès des filons bréchiques minéralisés à mouche de galène et/ou pyrite au sein du granite ont fait l'objet de tentatives d'exploitation.

### **Gisement de la Baraquette**

Ce gîte a produit au milieu du XIX<sup>ème</sup> une cinquantaine tonnes d'un minerai pyriteux localisé dans les marnes du Trias supérieur, et correspondant à des lentilles irrégulières interstratifiées d'une puissance maximum de 0,75 m.

## **1.3.4 Synthèse**

Les minéralisations à Pb-Zn de la bordure sous-cévenole se répartissent depuis le Trias de base jusqu'au Sinémurien (Figure 10).

Deux grands types de minéralisations sont présents sur la zone d'étude, les gisements de type MVT, localisés dans les formations carbonatées du Trias et du Lias Inférieur et les gisements de plomb associés aux grès et arkoses, rencontrés dans les formations détritiques du Trias de base.

La localisation des minéralisations est difficile à prévoir, mais certains contrôles structuraux ont pu être mis en évidence, notamment dans le bloc effondré du horst de Pallières. Les failles ayant favorisé la circulation des fluides minéralisateurs restent cependant très difficiles à identifier.

Pour le deuxième type de minéralisations (gisements de plomb associés aux grès et arkoses), un niveau de grès arkosiques correspondant à des paléosystèmes fluviaux représenterait l'unique piège.

La relation génétique entre ces deux types de minéralisations n'a pas été clairement établie, en dépit de la proximité spatiale évidente.

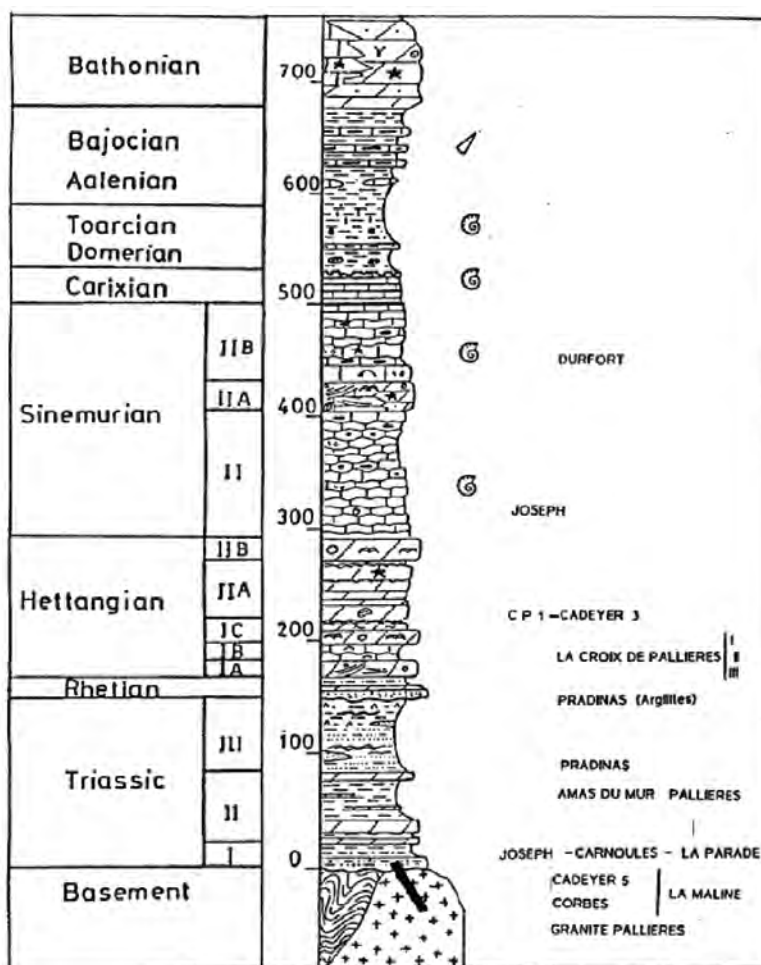


Figure 10 : Position des principaux gisements et indices de la bordure sous-cévenole entre Alès et Durfort dans une colonne stratigraphique "type" (source : rapport BRGM/RP 68364 - modifié d'après Sureau et Le Nindre, 1988)

L'étude bibliographique et les travaux de terrain ont montré l'existence d'un grand nombre de minéralisations naturelles sur le secteur concerné par l'étude.

Même si la majorité de celles-ci ne représentent pas des concentrations qui auraient pu être économiques lors des périodes d'exploitations minières, elles étendent très fortement les zones où des teneurs en métaux et métalloïdes importantes sont potentiellement présentes.

Bien que des niveaux pièges, comme les passées arénitiques des formations calcaires et dolomitiques du Lias inférieur à moyen, aient été identifiés ainsi que des contrôles structuraux (failles) pour la localisation d'une partie des minéralisations à Pb/Zn de type MVT, la difficulté d'identifier les structures sur le terrain et certains faciès stratigraphiques rend très difficile la prédiction de la localisation de minéralisations.

**Au regard de ces informations, la présence de sols naturellement minéralisés sur le secteur d'étude est avérée, sans que leur localisation puisse être précisément et exhaustivement délimitée.**

**Aussi, les teneurs naturelles en éléments trace métalliques dans ces sols peuvent être conséquentes. Ces teneurs peuvent potentiellement engendrer des problématiques sanitaires sur les usages des sols et de l'eau, par contact direct ou par transfert dans les différents milieux d'exposition, sans lien avec les anciens travaux miniers.**

## 1.4 Contexte hydrogéologique

Une étude hydrogéologique du secteur a été réalisée dans le cadre du volet « hydrogéologie » de l'étude sanitaire et environnementale. Cette étude hydrogéologique est contenue dans le rapport « Avis hydrogéologique » rapport BRGM/RP 68260-FR (Vigouroux, 2018)<sup>7</sup>.

Le secteur d'étude est situé à l'aplomb de la Masse d'Eau (ME) dont le code est FRDG532<sup>8</sup> : « **Formations sédimentaires variées de la bordure cévenole (Ardèche, Gard)** ».

La ME FRDG532 sépare les Cévennes au Nord-Ouest, de la région des Garrigues au Sud-Est et de la vallée du Rhône au Nord-Est. Elle se situe au Nord du département du Gard et se prolonge dans le département de l'Ardèche pour former une bande de 125 km de long environ, allongée selon un axe de direction SO-NE, compris entre Sumène au sud et La Voulte-sur-Rhône au nord. Elle est subdivisée en différentes entités hydrogéologiques dont l'entité 533AR pour le secteur de la présente étude.

L'entité 533AR des « **Calcaires du Lias et Jurassique de la bordure cévenole entre Alès et Sumène** », constitue la partie sud orientale de la bordure sous-cévenole, qui fait la transition entre les Cévennes au Nord et la région des garrigues gardoises au Sud. Elle couvre une superficie de 208 km<sup>2</sup> au N-O du département du Gard. Cette entité s'étend de St Jean du Gard au Nord-Ouest à Alès au Nord Est, St Hippolyte du Fort au Sud Est et Sumène au Sud-Ouest. Elle couvre aussi la commune d'Anduze. Cette entité comprend essentiellement des réservoirs dans les grès du Trias et surtout dans les dolomies et les calcaires de l'Hettangien et du Bathonien. Compartimentés par une fracturation intense, la caractérisation individualisée de ces aquifères y est complexe.

Sur ce secteur, deux types d'aquifères caractérisent la circulation des eaux souterraines :

### 1) Les aquifères calcaires qui se développent :

- dans le Jurassique en donnant naissance à quelques sources pérennes. Ces aquifères très compartimentés sous l'effet de la tectonique ne peuvent entretenir des débits élevés hors des périodes de crues ;
- dans le Crétacé où ils alimentent quelques sources de faible débit. Ces aquifères offrent peu d'intérêt ;
- le meilleur réservoir est constitué par le Barrémien à faciès Urgonien dont les développements karstiques offrent de fortes capacités hydrauliques ;
- dans le Tertiaire où les calcaires ont une extension trop réduite et une perméabilité trop faible pour que les aquifères présentent un grand intérêt.

### 2) Les aquifères alluviaux :

C'est dans les seules zones à écoulement de surface permanent que ces aquifères présentent un intérêt. Les alluvions des vallées ont généralement une bonne perméabilité et les meilleurs débits sont obtenus au voisinage des écoulements.

Le contexte hydrogéologique est surtout lié aux conséquences d'un contexte géologique qui induit un compartimentage marqué avec des aquifères divers, d'importance très variable et de capacité de production spécifique. Dans ce contexte, la **continuité hydraulique entre ces compartiments n'est pas clairement avérée**.

---

<sup>7</sup> Rapport disponible sur le CD-ROM joint à la présente étude.

<sup>8</sup> <http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/milieux-aquatiques/eaux-souterraines/mdosout2015>

## 1.5 Contexte hydrologique

La zone d'étude se trouve dans le bassin versant du Gardon (également nommé Gard), qui présente une superficie de 2 030 km<sup>2</sup>.

Les principaux cours d'eau qui constituent le Gardon sont dénommés « Gardon » complété du nom d'un village qu'ils traversent. On retrouve ainsi plusieurs branches parallèles, axées Nord-Ouest/Sud-Est : Gardon d'Alès, de Mialet, de Saint-Jean ou encore d'Anduze.

Le réseau hydrographique principal de la zone d'étude est reporté dans le tableau 6 suivant et sur la Figure 11.

Affluent niveau 3 (amont système)	Affluent niveau 2	Affluent principal de niveau 1	Cours d'eau aval système
Paleyrolle	Ourne	Gardon d'Anduze	Gardon
Salindrenque	Gardon de Saint-Jean		
Gardon de Mialet			
Aiguesmortes			
Reigous	Amous		
-	Ruisseau l'Alzon	Gardon d'Alès	

Tableau 6 : Organisation du réseau hydrographique principal de la zone d'étude

Les principales caractéristiques des cours d'eau de la zone d'étude sont synthétisées dans le tableau 7 ci-dessous.

Nom	Linéaire (km)	Surface du bassin versant (km <sup>2</sup> )
Alzon	14	28
Gardon d'Alès	65	443
Gardon de Mialet	43	242
La Salindrenque	23	68
Gardon de Saint-Jean	50	267
Amous	9	20
Ourne	11	16
Gardon d'Anduze	68	631
Gardon	144	2 030

Tableau 7 : Principales caractéristiques des cours d'eau de la zone d'étude (source : SAGE du bassin-versant du Gardon)

Le réseau hydrographique présente un chevelu en arête de poisson, très dense, avec des thalwegs courts, souvent à sec en période estivale (ruisseau de Naville, Valat de Serre, ruisseau de Graviès, ruisseau de Pallières, ruisseau des Combettes, etc.).

La disposition du réseau hydrographique et le caractère typiquement méditerranéen du climat conditionnent le régime des eaux en surface et par contrecoup, celui des eaux souterraines selon la nature et la situation des divers réservoirs aquifères.

Du point de vue du régime, le fait majeur est l'irrégularité tant saisonnière qu'annuelle et interannuelle des écoulements. Ainsi, le débit du Gard peut varier dans des proportions considérables d'un étiage à 1,5 m<sup>3</sup>/s à une période de crue de plusieurs milliers de m<sup>3</sup>/s lors des épisodes dits cévenols.

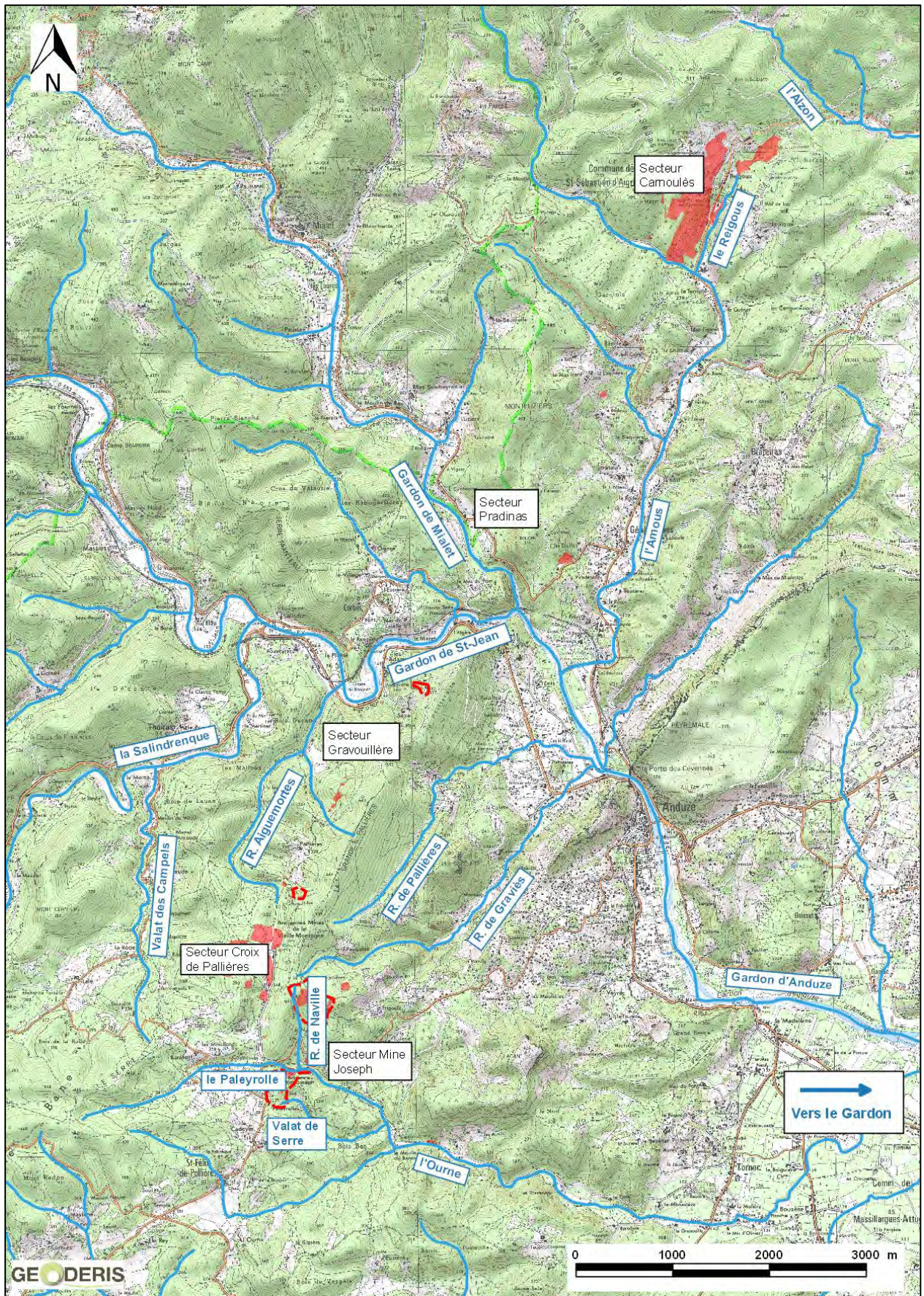


Figure 11 : Réseau hydrographique principal du secteur d'étude. En rouge se trouvent les anciens travaux et dépôts miniers

## 1.6 Climatologie

La zone d'étude fait partie du domaine climatique méditerranéen de type III dont elle présente pleinement les caractéristiques :

- un été généralement chaud et sec, un hiver frais et humide (Figure 12) ;
- une pluviométrie très irrégulière, caractérisée par des épisodes violents à la fin de l'été et à l'automne qui peuvent atteindre des centaines de millimètres d'eau en 24h (les épisodes cévenols) et une pluviométrie plutôt abondante au printemps ;
- un régime des cours d'eau très irrégulier, avec des crues soudaines pouvant être catastrophiques et des étiages très marqués (assecs récurrents en été sur certains tronçons).

La pluviométrie s'échelonne de 1 000 mm/an à 1 250 mm/an (Figure 13).

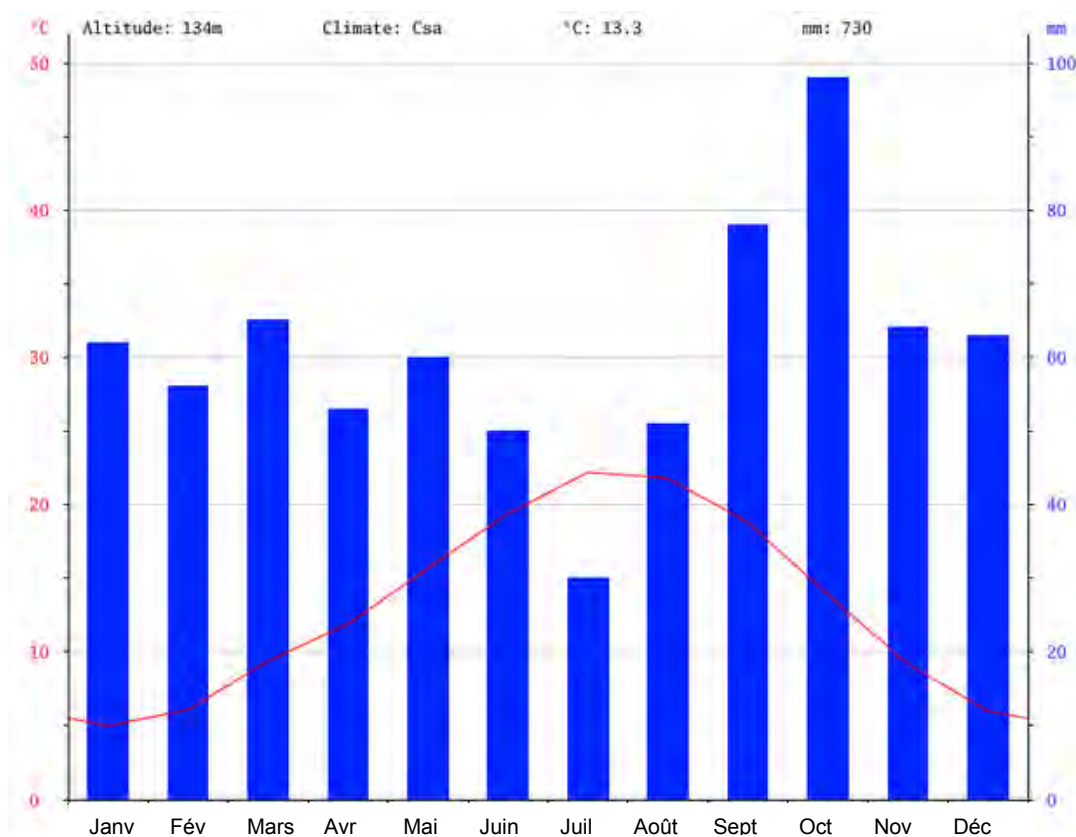


Figure 12 : Diagramme climatique d'Anduze (source : <https://fr.climate-data.org/europe/france/languedoc-roussillon/anduze-66530/>)

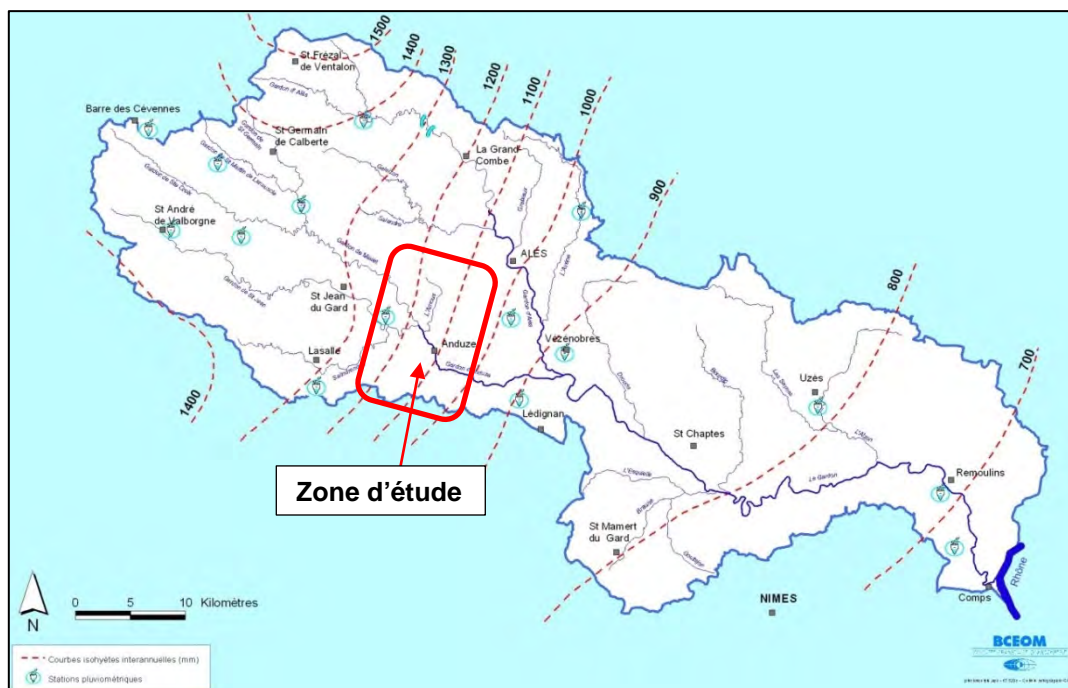


Figure 13 : Pluviométrie annuelle du secteur d'étude (source : SMAGE des Gardons, BCEOM)

Ce contexte climatique global n'exclut bien entendu pas certaines irrégularités thermiques et pluviométriques : des pluies orageuses brutales et intenses peuvent éclater en été, et l'hiver peut être doux ou connaître des gelées tardives. Par ailleurs les étiages se prolongent fréquemment en septembre voire jusqu'en novembre. Certaines périodes hivernales peuvent par ailleurs être particulièrement sèches (hiver 2011/2012).

À ces variations extrêmes entre saisons arrosées et saisons sèches s'ajoute la brutalité des changements. Suite à un été sec, des précipitations torrentielles peuvent atteindre plusieurs centaines de millimètres d'eau en 24 heures. Par exemple, les 8 et 9 septembre 2002, un cumul de 687 mm en 24h a été observé sur Anduze. Les périodes les plus arrosées se situent généralement à l'automne : notamment en octobre, secondairement au printemps ou l'hiver (janvier et février pouvant être des périodes de fortes eaux).

## 1.7 Dynamique fluviale et phénomène d'érosion naturelle

Le transport solide constitue un des phénomènes les plus spectaculaires des crues Cévenoles. À Anduze, aux « portes des Cévennes », les jardins longeant le Gardon étaient autrefois régulièrement recouverts par 50 cm de graviers à chaque crue, qu'il fallait enlever dès le retrait des eaux pour retrouver le sol fertile.

Ces phénomènes d'érosion et de dépôt expliquent en grande partie la géométrie des lits mineurs disproportionnée au regard du débit ordinaire du cours d'eau. Ces dimensions s'expliquent par la nature friable des berges, leur faible hauteur et par la puissance des crues d'automne qui occupent périodiquement le lit.

En crue, les volumes transportés sont très élevés et peuvent atteindre des valeurs comprises entre 20 000 et 35 000 m<sup>3</sup> dans le cas d'une crue type 1958.



## 1.8 SAGE des Gardons

Le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) est un document de planification de la gestion de l'eau à l'échelle d'une unité hydrographique cohérente (bassin versant, aquifère, etc.). Son objectif est l'atteinte d'un équilibre durable entre la protection et la préservation des milieux aquatiques et de l'environnement, et la satisfaction des usages et de l'aménagement du territoire.

La zone d'étude s'inscrit dans le périmètre du SAGE des Gardons, dont l'actuel périmètre a été validé par l'arrêté préfectoral n°2012-312-01 du 7 novembre 2012 modifié par l'arrêté n°2013-16-0011 du 16 janvier 2013. Il comporte 172 communes, et constitue également le périmètre du contrat de rivière, du PAPI<sup>9</sup> et de l'agrément EPTB du SMAGE<sup>10</sup> des Gardons. Il s'inscrit dans le SDAGE Rhône Méditerranée.

Le diagnostic environnemental du SAGE des Gardons, de par les perspectives d'évolution des usages du territoire et de la ressource en eau, indique que « *le secteur minier repose sur des incertitudes en lien avec les exploitations passées et leurs effets à moyen terme [...]. Ces éléments pourraient accroître considérablement la pression sur la qualité de l'eau, et notamment sur la gestion des toxiques qui constitue une thématique prioritaire sur le bassin* ».

Dans ce contexte, certains cours d'eau du secteur d'étude ont été classés en Risque de Non Atteinte des Objectifs Environnementaux<sup>11</sup> ou RNAOE à horizon 2021 (Tableau 8).

Code masse d'eau	Nom de la masse d'eau	RNAOE 2021 <sup>12</sup>	RNABE 2015 <sup>13</sup>	Pressions à l'origine du risque	Remarques (suite à réunion d'échanges avec partenaires sur le RNAOE)
FRDR10026	Ruisseau de l'Ourne	Oui	Non	Prélèvement, hydrologie, morphologie	Demande d'ajout de la pression « substances dangereuses » avec l'ancien site minier de Saint-Félix-de-Pallières
FRDR10277	Ruisseau l'Amous	Oui	Oui	Prélèvement, hydrologie, morphologie, continuité	Demande d'ajout de la pression « substances dangereuses » en lien avec l'ancien site minier de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille

Tableau 8 : Risque RNAOE 2021 pour les ruisseaux de l'Ourne et de l'Amous - données non validées (source : SAGE du bassin-versant du Gardon)

Le secteur minier à l'étude est directement concerné par plusieurs objectifs et orientations de gestion de l'objectif général C - Améliorer la qualité des eaux (Tableau 9).

<sup>9</sup> Programmes d'Actions de Prévention des Inondations

<sup>10</sup> Etablissement Public Territorial de Bassin du Syndicat Mixte d'Aménagement et de Gestion Equilibrée des Gardons

<sup>11</sup> « Méthode mise en place par les instances de bassin en 2013 pour évaluer un Risque de Non Atteinte des Objectifs Environnementaux ou RNAOE. Les données ne sont pas encore validées mais donnent un bon aperçu des risques de non atteinte des objectifs » (source : SAGE des Gardons).

<sup>12</sup> Risque de Non Atteinte des Objectifs Environnementaux

<sup>13</sup> Risque de Non Atteinte du Bon Etat écologique et chimique

Objectif	Disposition	Orientation de gestion / action
<b>C2</b> : protéger et restaurer la ressource pour l'alimentation en eau potable	C2-3.1b	Le SAGE préconise une stratégie associant la reconquête de la qualité des ressources locales utilisées pour l'AEP et la poursuite des efforts menés dans l'amélioration du rendement des réseaux et de bon état des milieux.  Cette disposition concerne les sources de pollutions pas ou peu maîtrisables des ressources captées (par exemple l'influence de l'ancien site minier de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille pour le taux d'arsenic).
<b>C4</b> : Lutter contre les pollutions toxiques et les risques de pollutions accidentelles en priorisant les milieux très dégradés par les pollutions toxiques et les aires d'alimentation de captage	C4-1.1	Le SAGE préconise la réalisation d'études complètes sur les toxiques des cours d'eau drainant l'ancien site minier de Saint-Félix-de-Pallières (priorité 2).
	C4-1.2a	Le SAGE préconise un diagnostic plus fin de l'historique des activités minières. Les services de l'Etat en charge du suivi des activités minières (DREAL) sont pressentis pour la mise en œuvre de cette démarche.
	C4-1.2b	Le SAGE préconise que les gestionnaires des anciens sites miniers aient une vigilance accrue et une maîtrise des rejets contenant les substances toxiques.  Cette vigilance implique notamment de réaliser un suivi régulier de la qualité des rejets miniers comme de la stabilité des dépôts et de mettre en œuvre l'ensemble des moyens nécessaires pour prévenir les rejets contenant des substances toxiques et pour traiter les éventuelles pollutions identifiées.
	C4-1.2c	Le SAGE encourage la mise en place d'un réseau de suivi des pollutions toxiques qui cible les secteurs géographiques liés aux anciennes exploitations minières et en mesure les paramètres spécifiques.  Le SAGE encourage les services de l'Etat à assurer un suivi adapté de l'amont du Gardon d'Anduze : Saint-Félix-de-Pallières, Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (priorité 2).

*Tableau 9 : Orientations de gestion et actions du SAGE des Gardons pour les anciens sites miniers de la zone d'étude (source : SAGE du bassin-versant du Gardon)*

La stratégie du SAGE insiste sur la nécessité de maîtriser les risques de pollution d'origines minières. Il s'agit d'un volet important pour l'atteinte des objectifs de la DCE et au respect du principe de non dégradation.

## 2 PHASE INFORMATIVE - HISTORIQUE MINIER

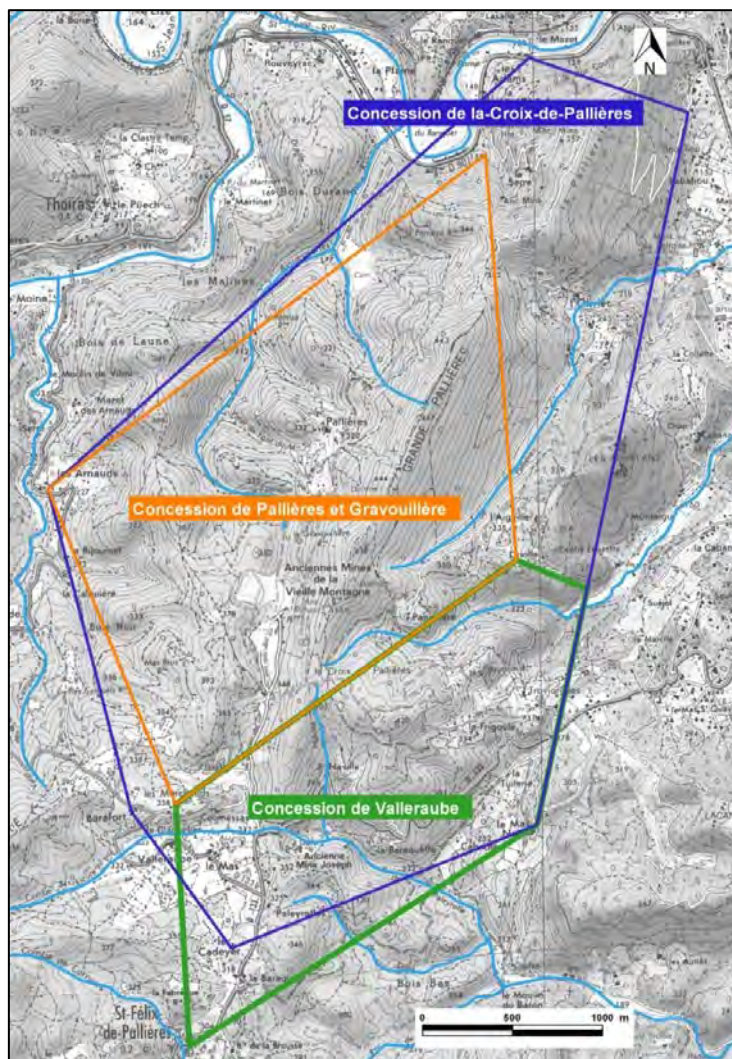
Une étude historique détaillée du secteur a été réalisée dans le cadre du volet « Recensement et caractérisation des sources de contamination » de l'étude sanitaire et environnementale. Cette phase informative correspond au chapitre B du rapport GEODERIS référencé S2018-117DE<sup>14</sup>.

L'ensemble des documents, plans, schémas et coupes disponibles dans les archives DREAL ont fait l'objet de rapports de synthèses chronologiques. Ces rapports figurent en **annexe 1**.

### 2.1 Concessions de La-Croix-de-Pallières, Pallières-et-Gravouillère, et Valleraube

Les travaux miniers concernent les communes de Thoiras, Saint-Félix-de-Pallières, Tornac et Anduze.

Le périmètre des concessions est indiqué sur la Figure 14.



**Figure 14 : Localisation des concessions de la Croix-de-Pallières, Pallières-et-Gravouillère et Valleraube (fond : SCAN 25® de l'IGN)**

<sup>14</sup> Rapport disponible sur le CD-ROM joint à la présente étude.

## 2.1.1 Historique succinct des travaux

L'histoire des travaux sur ces concessions est complexe du fait de l'imbrication chronologique de trois titres miniers pour des substances différentes. Une synthèse est indiquée dans le Tableau 10 ci-après.

Concession	Informations historiques
<b>Valleraube</b>	<p>Mine exploitée pour la pyrite (disulfure de fer) avant que l'exploitation de la blende (sulfure de zinc) et de la galène (sulfure de plomb) ne devienne prépondérante.</p> <p>Gisement connu depuis l'époque gallo-romaine (vestiges de galeries étroites) et objets retrouvés (lampes à huile, outils) attestent d'une exploitation de la galène argentifère.</p> <p>1845 : réouverture de la mine Joseph et d'une ancienne galerie datant de l'Antiquité. Exploitation de la pyrite dans la mine Joseph par la méthode des chambres et piliers.</p> <p>1955 : fermeture de la mine Joseph.</p> <p>11 mars 1971 : déclaration de cessation des travaux sur la concession de Valleraube par la Société des Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille Montagne. L'arrêté préfectoral du 16 juillet 1975 prend acte de cette déclaration.</p> <p>1990 : travaux de sécurisation du carreau de l'ancienne mine Joseph. Démolition des bâtiments en ruine, effondrement et nivellement des travaux souterrains.</p> <p>14 avril 2005 : un arrêté ministériel autorise la renonciation à la concession de Valleraube présentée par la Société UMICORE.</p>
<b>La-Croix-de-Pallières</b>	<p>1848 : institution de la concession pour l'exploitation du plomb, zinc et autres métaux au profit de la Société de Croix-de-Pallières (SCP) qui deviendra en 1853 la Société des Mines et Usines de Pallières (SMUP).</p> <p>Période d'exploitation du gisement : 1844 à 1888, 1911 à 1931 et surtout 1948 à 1971.</p> <p>Puits foncés : Huguet, Pastré, de l'Issart, n°0, n°1, n°2 et n°3, de la cantine, etc.</p> <p>Méthodes d'exploitation adaptées aux caractéristiques irrégulières du gisement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ tranches et chambres remblayées (minéralisation puissante) ;</li> <li>○ tranches unidescendantes foudroyées ;</li> <li>○ chambres et piliers abandonnés (parties minces) ;</li> <li>○ chambres-magasin ;</li> <li>○ chambres vides (amas peu étendus à éponte solide).</li> </ul> <p>1926 : construction d'une usine de traitement du minerai (broyage et concentration).</p> <p>1971 : fin de l'exploitation.</p> <p>1991 : démolition des bâtiments du carreau de mine.</p> <p>19 mars 2004 : un arrêté ministériel autorise UMICORE à renoncer à la concession.</p>
<b>Pallières et Gravouillère</b>	<p>1812 : institution de la concession par décret impérial. Travaux restreints entre 1812 et 1874.</p> <p>1812 : construction d'une usine de vitriol.</p> <p>1890-1900 : Travaux au lieu-dit La Ferrière.</p> <p>Exploitation de la pyrite et du zinc : 1917 à 1919, puis 1923 à 1932.</p> <p>16 juillet 1971 : arrêté préfectoral donnant acte à la Société Vieille Montagne (SVM) de l'abandon définitif de tous les travaux.</p> <p>19 mars 2004 : un arrêté ministériel autorise UMICORE à renoncer à la concession.</p>

*Tableau 10 : Données historiques concernant les travaux des concessions de Valleraube, La-Croix-de-Pallières et Pallières et Gravouillère*

Plusieurs secteurs d'anciens travaux non localisés sur plan et avec peu d'informations sont signalés dans les documents d'archives consultés (Tableau 11).

Localisation	Travaux recensés en archive mais non localisés
Hameau de l'Olivier et Panissière	Travaux sur des mines de plomb argentifère.
Sud du hameau de Pallières	Travaux à ciel ouvert pour exploiter la couperose, à proximité d'une ancienne fabrique.
Flanc est de la montagne de La Gravouillère	Tranchée de 20 à 25 m de direction nord-sud, pour la recherche de la pyrite. Tranchée de 10 à 15 m de longueur, à 300 m au nord de la première.
Face à la mine Joseph	Gîte pyriteux exploré et exploité pour le minerai de fer (mine Curnier).
Col de Croix-de-Pallières	Travaux de recherche sur les chapeaux de fer.
La Baraque	Grattages superficiels à une dizaine de mètres d'une galerie.
Secteur Baudoin	Grattages de surface réalisés par la Société Vieille Montagne qui recoupèrent de petites galeries creusées par les romains.

Tableau 11 : Travaux recensés dans les documents d'archives consultés mais non localisés sur plans. Concessions de Valleraube, La-Croix-de-Pallières et Pallières et Gravouillère

Seuls les travaux des hameaux de l'Olivier et Panissière n'ont pu être localisés lors des investigations de terrain.

Des minières<sup>15</sup> sont également évoquées à Roquebrune, en rive gauche du ruisseau du Paleyrolle à La Baraquette, et au Plan du Mas-Neuf.

## 2.1.2 Données de production

Les données de production connues sont indiquées dans le Tableau 12.

Localisation	Données de production
Valleraube	Mine Joseph : production mensuelle de 135 à 140 tonnes de pyrite et 5 t de galène (Procès-Verbal de visite de l'ingénieur des mines en date du 21 novembre 1875). Entre 1948 et 1955, 24 000 t de minerai renfermant 4,5% de plomb auraient été extraits.
Croix-de-Pallières	Entre 1880 et 1942 : 26 300 t de minerai (galène, sphalérite, calamine), dont 25 000 t entre 1921 et 1931 de concentré sulfuré avec 6 000 t de calamine, 29 t de galène et 576 t de pyrite. Entre 1948 et 1971 : 800 000 t de minerai tout-venant, à une concentration moyenne de 13,6% (Zn + Pb), soit environ 108 500 t de métal contenu, pour une production de plus de 22 500 t de plomb et de plus de 66 000 t de zinc. Concentration des minerais par flottation. L'usine de traitement de La-Croix-de-Pallières a produit près d'un million de tonnes de rejets de laverie, évacués par voie hydraulique puis stockés dans un bassin de décantation. En 1961, mise en exploitation par la SVM des haldes de la mine. Production en test de 4 t de plomb et 14 t de zinc. Tests abandonnés car produits trop riches en calamine. Au total, entre 1844 et 1971, la mine a produit 80 000 t de Zn, 34 000 t de Pb, 30 t d'Ag, 520 t de Cd et 28 t de Ge.
Pallières et Gravouillère	Entre 1917 et 1919 : production de 5 t de pyrite par jour. Entre 1923 et 1932 : 25 000 t de concentrés de calamine, galène et pyrite.

Tableau 12 : Données de production des concessions de Valleraube, La-Croix-de-Pallières et Pallières et Gravouillère

<sup>15</sup> Minière : exploitation artisanale ancienne non couverte par un titre minier, et non classée comme « mine » ou « carrière »

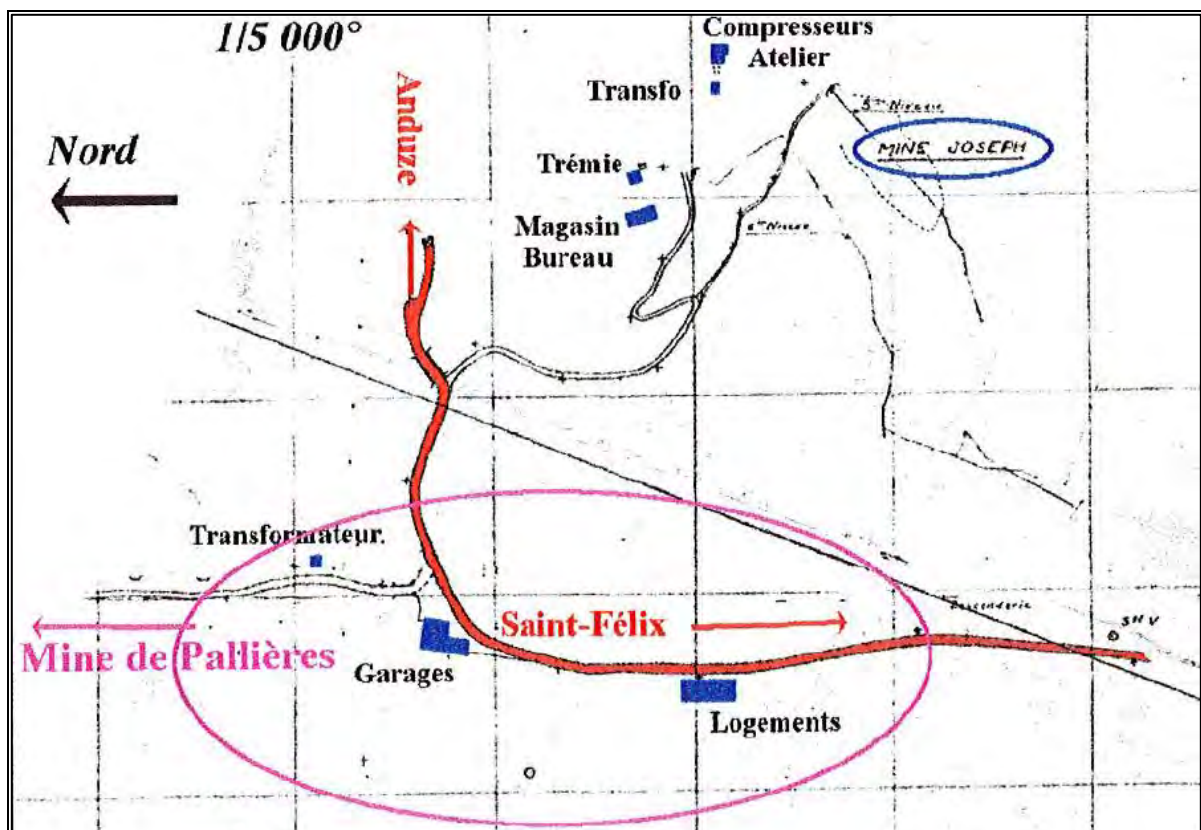
## 2.1.3 Bâtiments et installations de surface

### Mine Joseph

Les installations et bâtiments de surface recensés au niveau de la mine Joseph sont indiqués dans le Tableau 13.

Localisation	Bâtiments et installations de surface
Mine Joseph	<p>Ancienne laverie signalée au niveau de la mine Joseph dans un témoignage de M. Chaudesaigues (Grasset, 2017), rapidement remplacée par la laverie des Autiés. Aucun plan de localisation de cette ancienne laverie n'a pu être retrouvé.</p> <p>Installations et bâtiments recensés sur le carreau de mine (Figure 15) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ un atelier, une trémie, un magasin, des garages ;</li> <li>○ des utilités (compresseurs, transformateurs) ;</li> <li>○ des bureaux et logements.</li> </ul>

**Tableau 13 : Recensement des bâtiments et installations de surface liés à la mine Joseph**



**Figure 15 : Localisation des anciens bâtiments et installations du carreau de la mine Joseph (source : rapport Union Minière et BUGECO, 1998)**

## Mines de Pallières et Gravouillère

Les installations et bâtiments de surface recensés au niveau des mines de Pallières et Gravouillère sont indiqués dans le Tableau 14.

Localisation	Bâtiments et installations de surface
Secteur Gravouillère	<p>Ancienne fabrique (usine à vitriol ; La Fabrique) pour extraire du minerai un sulfate de fer (couperose verte) exploitée entre 1813 et 1856 au sud du hameau de Pallières (Figure 16).</p> <p>Ancienne laverie sur les bords du ruisseau Aiguesmortes, à l'aval de la mine de La Gravouillère (Figure 17). Cette laverie aurait fonctionné entre 1890 et 1900.</p>
Secteur carreau de mine de Pallières	<p>1926 : <u>première usine de traitement</u> du minerai (broyage et concentration) signalée à proximité du puits n°2. Localisation incertaine.</p> <p>1940 : mise en route d'une <u>laverie d'essai</u> pour le traitement des sables, provisoirement arrêtée en octobre 1941 suite à des pannes du moteur. Localisation incertaine.</p> <p>Août 1948 : mise en service d'une <u>laverie moderne</u> avec traitement des sulfures (galène, blende et pyrite) par flottation à proximité du puits n°3. L'installation était soumise à la législation des établissements dangereux, insalubres ou incommodes de 3ème classe, les inconvénients correspondants étant « l'altération des eaux et les émanations nuisibles ». Produits réactifs employés : cyanure de sodium, chaux et carbonate de chaux, sulfate de cuivre et de zinc, sulfure de sodium, éthyle et amyloxanthate de potassium et huile de pin.</p> <p>Bâtiments et installations minières recensés au carreau de la mine (Figure 18) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ laveries avec des bassins de décantation ;</li> <li>○ un dépôt de résidus de traitement ;</li> <li>○ des fours ;</li> <li>○ des ateliers, magasins, laboratoires, transformateurs, salle des pompes, etc. ;</li> </ul> <p>Des fours de calcination de la calamine étaient également présents sur le site.</p>

**Tableau 14 : Recensement des bâtiments et installations de surface du carreau de mine de Pallières et de Gravouillère**

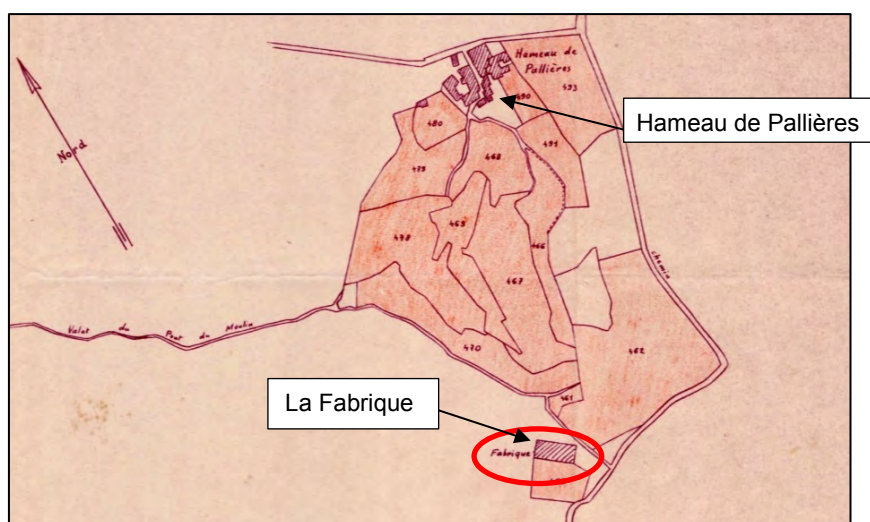


Figure 16 : Localisation de La Fabrique au hameau de Pallières (source : archives DREAL)

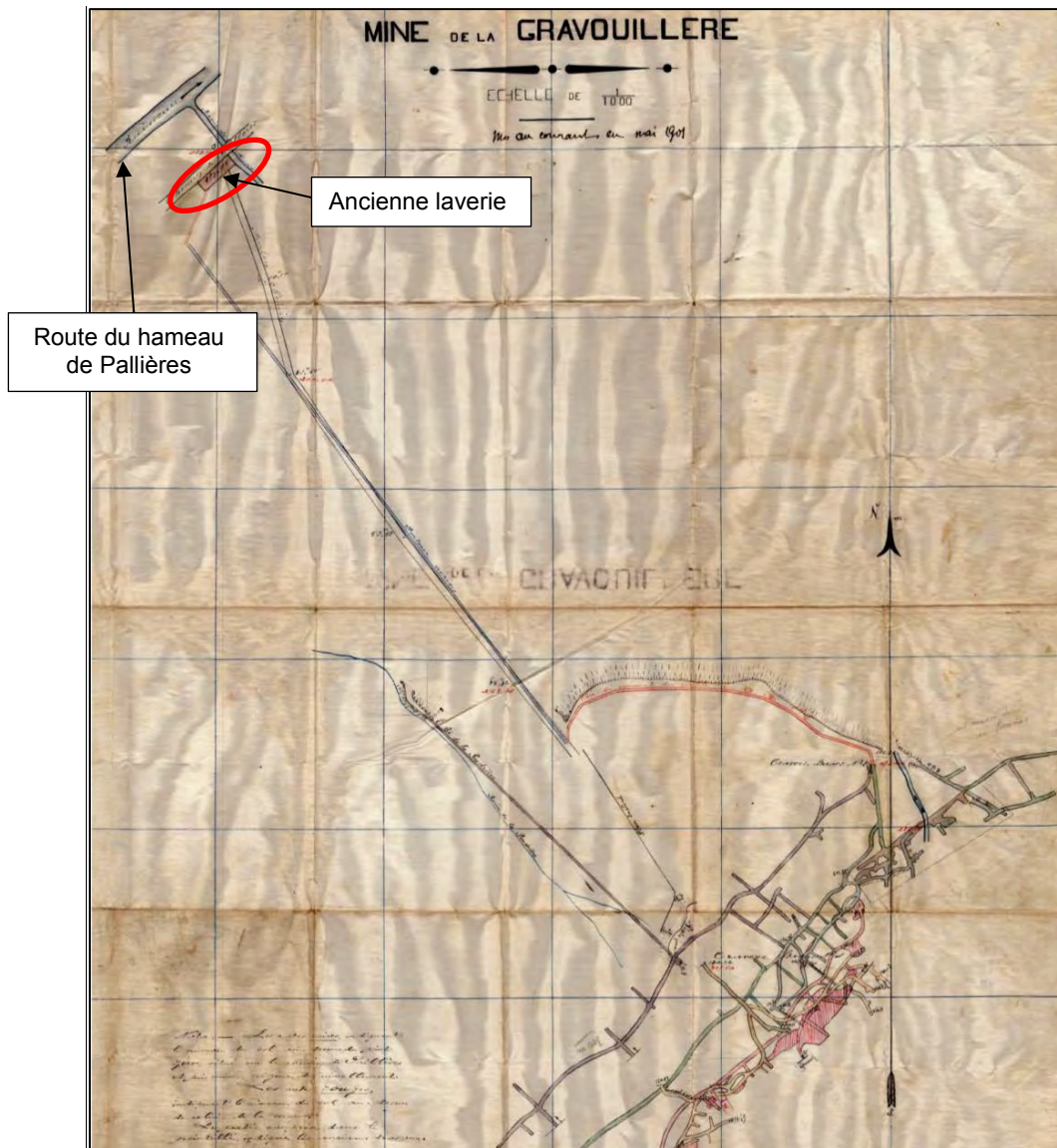


Figure 17 : Localisation de l'ancienne laverie à l'aval de la mine de La Gravouillère (source : plan des travaux en 1901, archives DREAL 6.2.10)



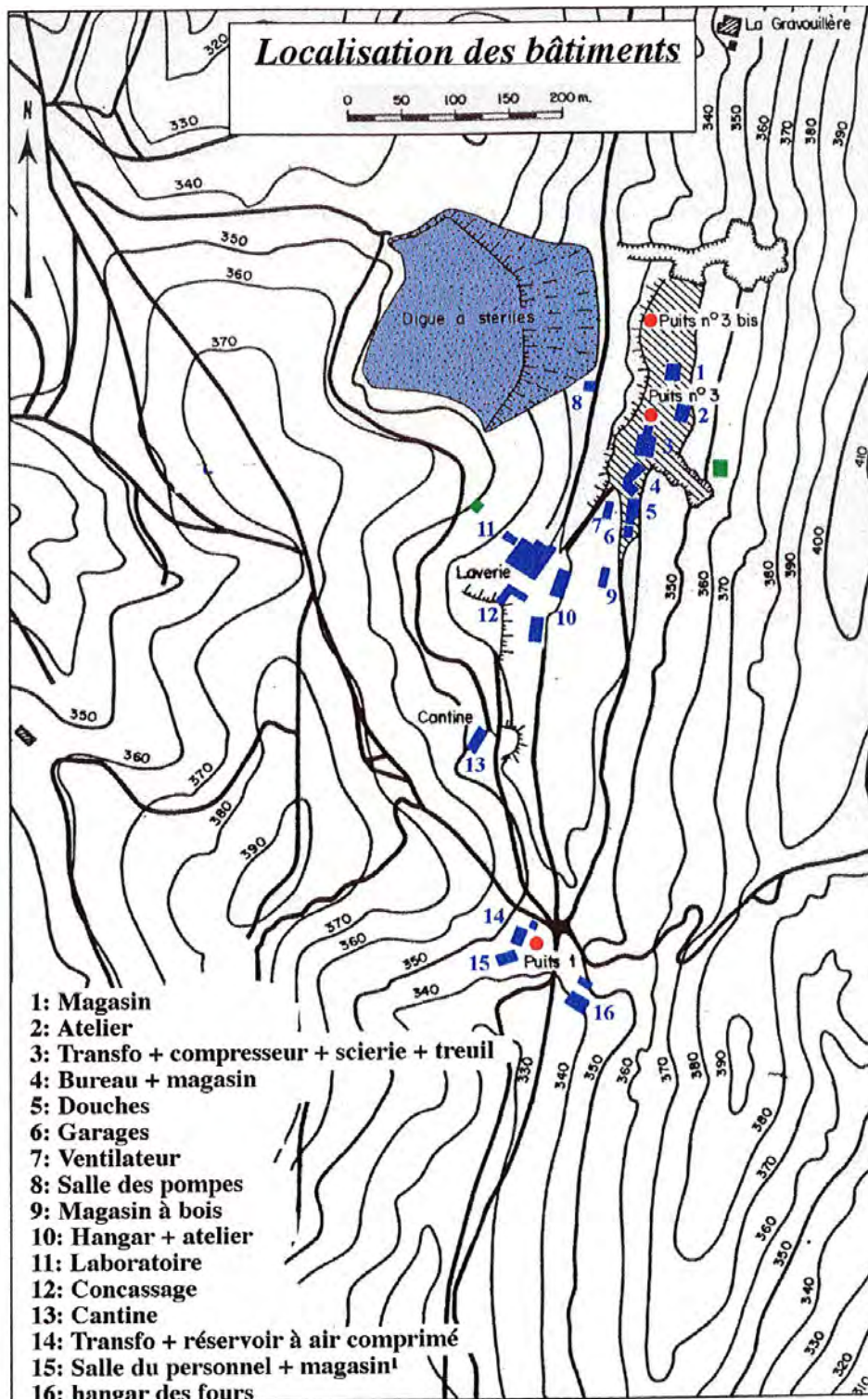


Figure 18 : Localisation des anciens bâtiments et installations du carreau de la mine de Pallières (source : rapport Union Minière et BUGECO, 1998)

➤ DEPOT DE RESIDUS DE TRAITEMENT DE LA MINE DE PALLIERES

Le traitement du minerai sur le carreau de la mine de Pallières dans la laverie moderne a produit près d'un million de tonnes de déchets, majoritairement stockés au niveau d'un bassin créé en partie nord de l'ancien carreau (Photographies 1 et 2).



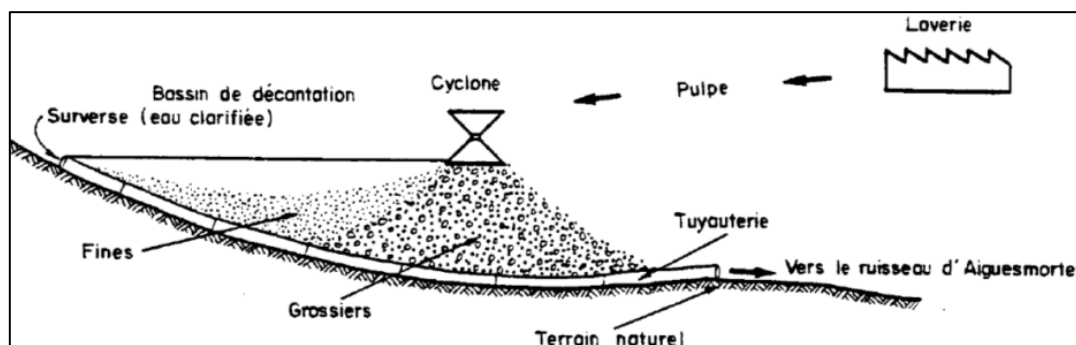
*Photographies 1 et 2 : Dépôt de résidus de traitement au nord du carreau de mine de Pallières*

Les résidus étaient évacués par voie hydraulique grâce à une pompe à pulpe et une tuyauterie jusqu'au bassin de décantation situé au nord de la laverie face au puits n°3, dans la partie amont du ruisseau d'Aiguesmortes. Ce bassin s'étend sur 3 hectares.

Le bassin forme un demi-cercle planté de piquets de stabilisation en bois, tournant sa convexité vers l'est. La digue retient à l'amont le bassin constitué de fines.

La masse stockée est de l'ordre de 900 000 t. Les matériaux ont majoritairement une granulométrie de 0-200 µm, formant un immense dépôt de produits fins et gris et localement raviné.

Le principe de constitution de la digue de retenue du bassin de décantation est illustré en Figure 19. Un cyclone, placé en tête de digue, sépare les éléments grossiers de la pulpe contenant les fines. La pulpe se décante dans le bassin constitué derrière la masse des éléments grossiers qui forment alors un barrage. Les eaux clarifiées du bassin se déversent dans une tuyauterie passant sous la digue. Les eaux de surverse rejoignent le ruisseau d'Aiguesmortes. Le cyclone et la bouche d'exhaure sont progressivement surélevés parallèlement à la constitution du dépôt.



**Figure 19 : Principe de constitution de la digue de retenue du bassin de résidus de traitement (source : Rapport BUGECO, 1998)**

Dans le cadre de la procédure de renonciation aux titres miniers sur les concessions de La-Croix-de-Pallières, Valleraube, et Pallières et Gravouillère, des études et travaux de réaménagement ont été réalisés entre 1994 et 1996 sur le dépôt de résidus de traitement.

Les études préliminaires se sont déroulées en 1994 et ont consisté en :

- un levé topographique ;
- le forage d'un piézomètre d'une profondeur de 26 m (avec le sol naturel à une profondeur de 23,5 m) ;
- une campagne d'analyses en vue de caractériser le matériau du dépôt et afin d'orienter le choix du type de végétation à adopter pour une revégétalisation du dépôt.

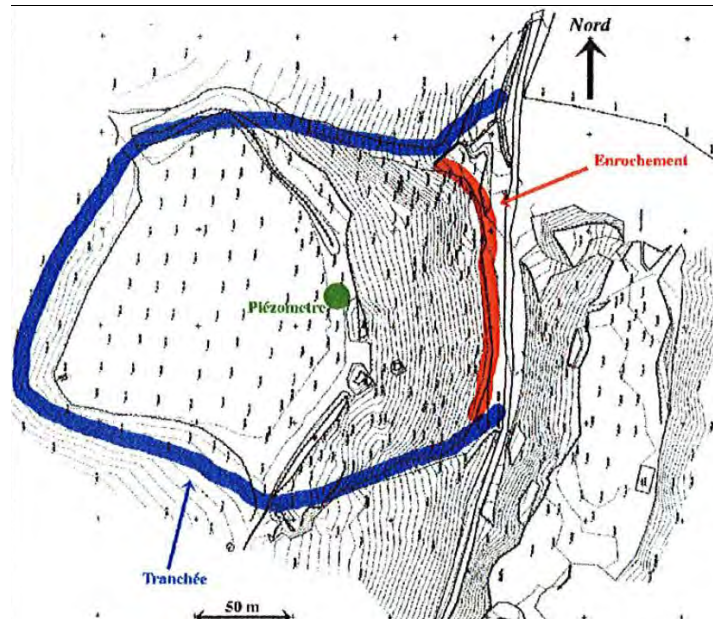
La première phase de travaux s'est déroulée en 1995 et a compris notamment :

- la création d'une tranchée drainante autour de la digue d'une longueur de 580 m ;
- la mise en place de 150 tonnes de blocs pour l'enrochement du pied est de la digue ;
- le reprofilage du plateau du dépôt : amenée et épandage de 15 000 m<sup>3</sup> de terre sur son ensemble (soit une épaisseur annoncée comprise entre 30 cm et 50 cm) ;
- la plantation d'arbres et l'ensemencement.

Une seconde phase de travaux a été effectuée en 1996 avec :

- l'apport et la mise en place de 7 000 m<sup>3</sup> de terre pour combler les ravines ;
- la mise en place de 16 850 m<sup>2</sup> de biojute pré-ensemencé sur les flancs de la digue ;
- la mise en place d'une plantation sur le restant toujours à une densité de 2 500 plants à l'hectare.

La position de la tranchée drainante et des travaux d'enrochement est indiquée sur la Figure 20.



**Figure 20 : Travaux réalisés au niveau du dépôt de résidus de traitement (source : Union Minière et BUGECO, 1998)**

Ce dépôt fait actuellement l'objet d'une étude de stabilité par l'ancien exploitant.

## 2.2 Concession de Valensole

Les anciens travaux miniers connus en lien avec la concession de Valensole concernent les communes de Saint-Félix-de-Pallières, Tornac et Durfort.

Le périmètre de la concession est indiqué sur la Figure 21.

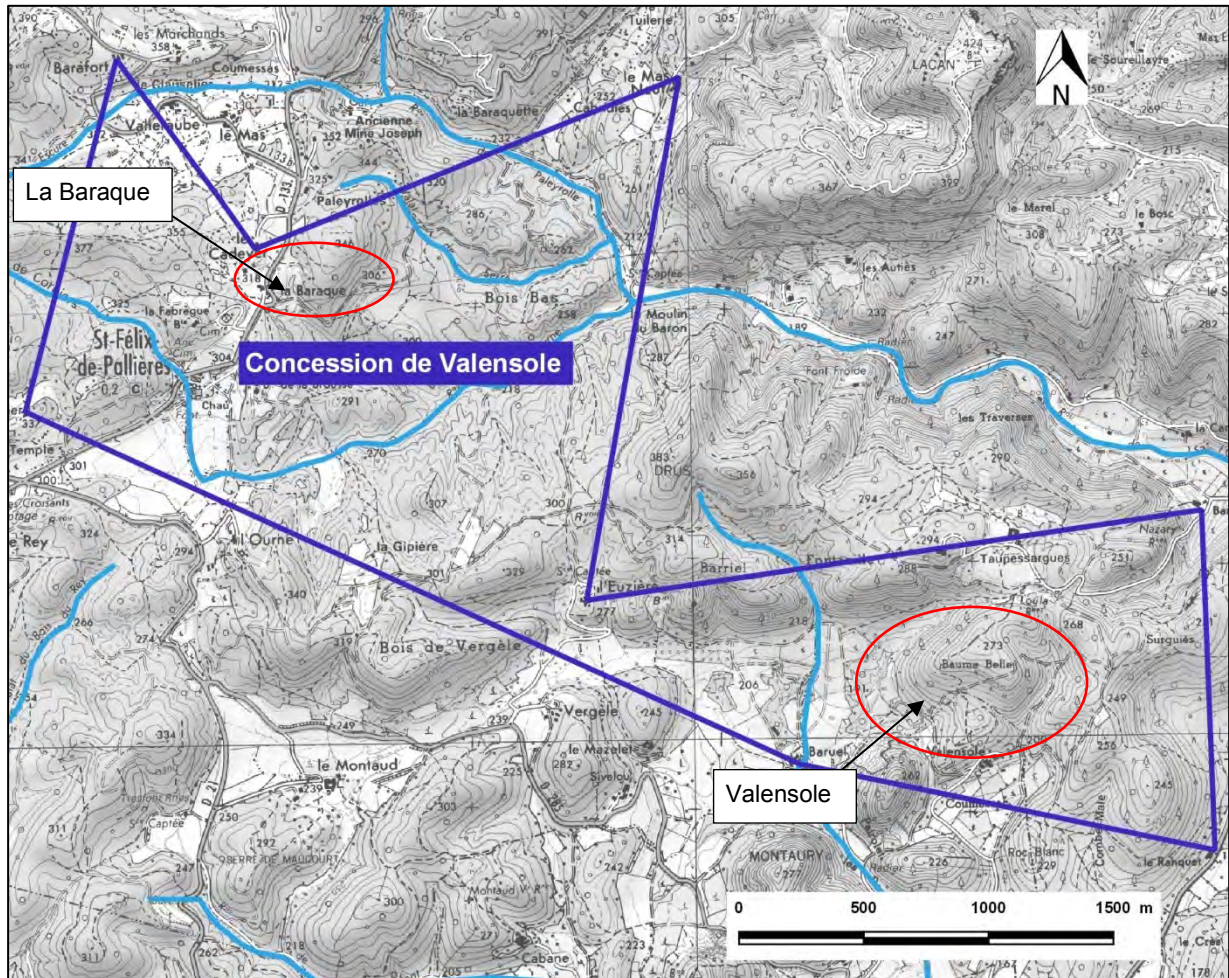


Figure 21 : Localisation de la concession de Valensole (source : SCAN 25<sup>®</sup> de l'IGN)

### 2.2.1 Historique succinct des travaux

Une synthèse de l'historique des travaux est indiquée dans le Tableau 15 ci-après.

Localisation	Informations historiques
<p><b>Nord du hameau de Valensole</b></p>	<p>L'ancienne mine se trouve à environ 400 m au nord du hameau de Valensole (Figure 22). Titre minier attribué pour le zinc, le plomb, le cuivre et les métaux associés, le fer excepté.</p> <p>Depuis un temps immémorial, les habitants du pays exploitaient et vendaient l'alquifoux (sulfure de plomb) aux potiers d'Anduze pour la fabrication du vernis servant à imperméabiliser les pots de terre cuite. La calamine et la blende étaient laissées sur place.</p> <p>Les travaux de grattages de surface, galeries et petites chambres ne semblent pas présenter de développements importants.</p> <p>1858 : institution de la concession.</p> <p>Entre 1858 et 1861 : travaux miniers du concessionnaire au nord du hameau de Valensole.</p> <p>Aucun plan de travaux miniers n'a été retrouvé dans les archives consultées.</p>
<p><b>La Baraque</b></p>	<p>1901 : creusement d'un travers banc de 50 m de longueur par les concessionnaires de Valensole destiné à retrouver la continuité du gîte Joseph au nord-est du village de Saint-Félix-de-Pallières (Figure 23). La minéralisation étant très faible, le minerai très pyriteux, les travaux ont été rapidement abandonnés.</p>

Tableau 15 : Données historiques concernant les travaux de la concession de Valensole

De très anciennes exploitations d'un gisement d'alquifoux se trouvaient dans le premier périmètre de la concession, au sud-ouest de Saint-Félix-de-Pallières, dans les environs du Mas Rey. Aucune trace ne semble subsister de ces travaux.

Il est également mentionné dans la bibliographie d'anciens travaux sur mine de plomb et d'alquifoux sur une zone appelée « Barbusse » ou « Baumbelle ».

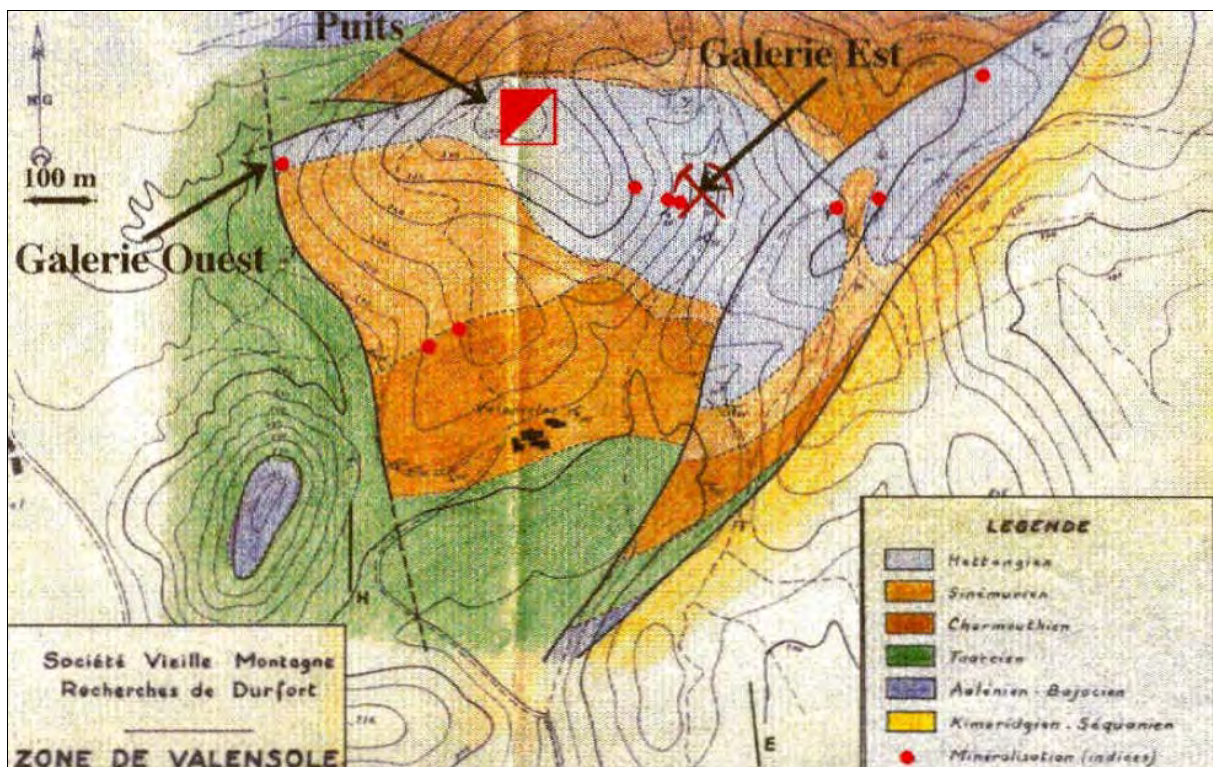


Figure 22 : Localisation des travaux miniers au nord du hameau de Valensole (source : rapport Union Minière et BUGEKO, 1998)

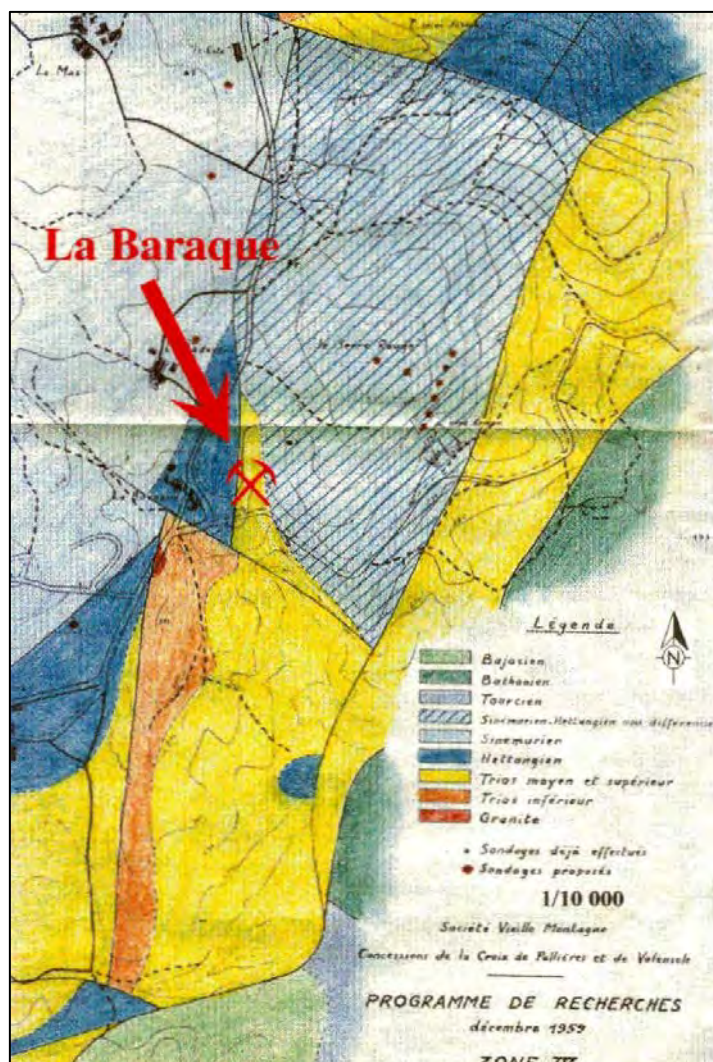


Figure 23 : Localisation des travaux miniers au lieu-dit La Baraque (source : rapport Union Minière et BUGECO, 1998)

## 2.2.2 Données de production

Les données de production connues sont indiquées dans le Tableau 16.

Localisation	Données de production
<b>Valensole</b>	<p>Entre 1858 et 1861 : environ 120 tonnes de calamine (oxyde de zinc) et quelques tonnes d'alquifoux (sulfure de plomb).</p> <p>1901 : extraction de 50 t de blende (sulfure de zinc) lors du creusement du travers-banc de La Baraque.</p> <p>Aucune donnée n'est indiquée concernant le traitement du minerai.</p>

Tableau 16 : Données de production de la concession de Valensole

### 2.2.3 Bâtiments et installations de surface

Aucun plan minier n'a été retrouvé dans les archives consultées, et aucune trace de construction ne semble visible en surface.

## 2.3 Laverie des Autiés

En 1858, la Préfecture du Gard a accordé l'autorisation d'occupation d'une parcelle (actuellement n°556 du lieu-dit Paleyrolles) pour l'établissement d'une voie charretière, destinée à relier la mine Joseph aux futurs ateliers de préparation mécanique que la compagnie allait établir en bordure de la rivière Ourne (Figure 24). Il s'agit de la laverie Joseph ou dite des Autiés, située à 1 600 m en aval de la mine Joseph, et exploitée jusqu'en 1875. Cette ancienne laverie est indiquée sur les Photographies 3 et 4.

Une ancienne installations et bâtiments de surface recensés au niveau de la mine Joseph sont indiqués dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**



Photographies 3 et 4 : Ancienne laverie des Autiés (source : GEODERIS)



Figure 24 : Localisation de la laverie des Autiés et de la voie charretière reliant la mine Joseph à cette installation (source : archives DREAL 6.5.4)

## 2.4 Concession des Adams

Les anciens travaux miniers en lien avec la concession des Adams concernent les communes de Générargues, Mialet et Corbès.

Le périmètre de la concession est indiqué sur la Figure 25.

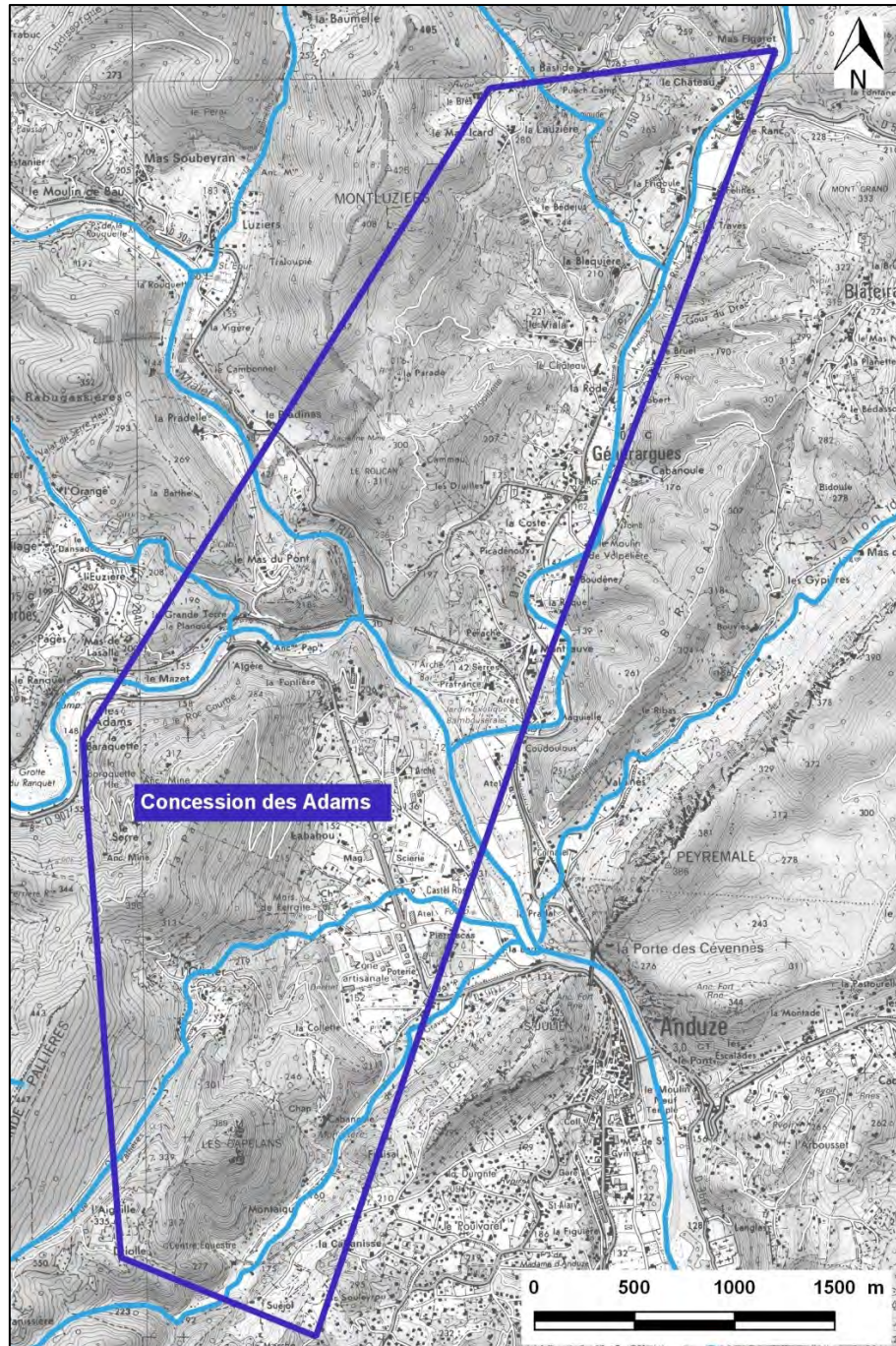


Figure 25 : Localisation de la concession des Adams (source : SCAN 25<sup>®</sup> de l'IGN)

### 2.4.1 Historique succinct des travaux

Une synthèse de l'historique des travaux est indiquée dans le Tableau 17 ci-après.

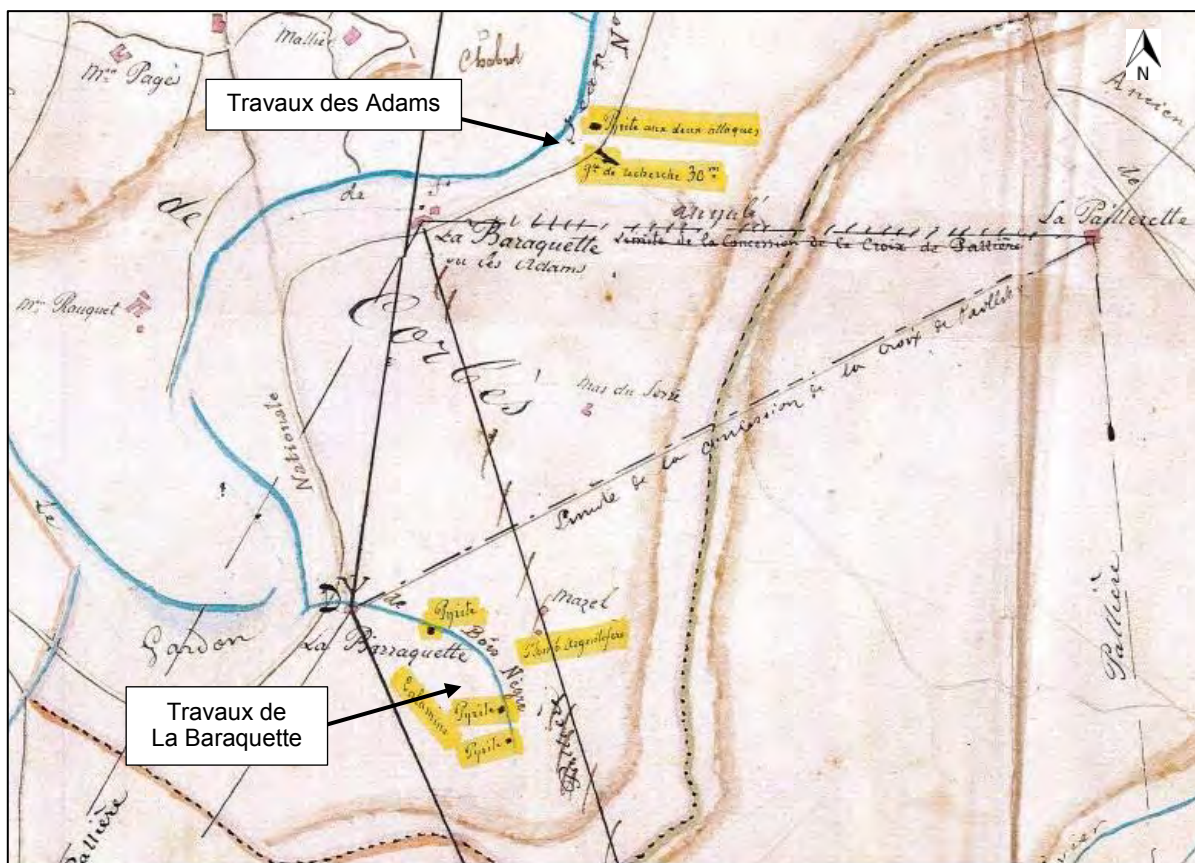


Concession	Informations historiques
<p><b>Adams</b></p>	<p>05 mai 1855, institution de la concession des mines de pyrite de fer des Adams.</p> <p>À partir de 1857, le gisement de pyrite est exploité en galeries et grattages de surface sur les sites de Pradinas (Figure 26) et de La Baraquette (Figure 27).</p> <p>1863 : la concession des Adams est cédée à la Société des Mines et Usines de Pallières, qui transforme le moulin des Adams en « soufflerie pour l'aérage des travaux souterrains et installation de broyage du minerai ».</p> <p>Entre 1879 et 1883 : travaux souterrains sur le secteur de Pradinas.</p> <p>1898 : tentative d'exploitation à Pradinas par la Société Austro-Belge. Non concluante.</p> <p>Travaux exécutés entre 1951 et 1955 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ la Parade : un travers banc et une galerie en direction ont été ouverts pour rechercher la pyrite dans le Trias. Ces travaux n'ont rien donné ;</li> <li>○ Pradinas : sur le versant opposé de la montagne de La Parade, à 200 m environ du mas de Pradinas, une tranchée a été creusée en rive gauche du Valat ;</li> <li>○ les Adams : sur la route d'Anduze à Saint-Jean-du-Gard, une galerie fut ouverte près de la rivière et une autre au niveau de la route, sans pouvoir être exploitées ;</li> <li>○ la Baraquette / le Serre : à 500 m du moulin des Adams, le long de la RD 907, dans un ravin, une galerie de 5 m et deux attaques à ciel ouvert ont été réalisées.</li> </ul>

**Tableau 17 : Données historiques concernant les travaux de la concession des Adams**



**Figure 26 : Localisation des travaux à La Parade et au Pradinas (source : archives DREAL 6.5.5)**



**Figure 27 : Localisation des travaux des Adams et de La Baraquette**  
(source : archives DREAL 6.5.5)

## 2.4.2 Données de production

Les données de production connues sont indiquées dans le Tableau 18.

Concession	Données de production
<b>Adams</b>	Entre 1857 et 1862 : 1 750 tonnes de pyrite de fer pour les mines de Pradinas et Baraquette. Entre 1879 et 1880 : 150 t de blende à 40% de zinc, 510 t de blende tout venant et environ 1 800 t de calamine pauvre laissées sur place pour la mine de Pradinas.

**Tableau 18 : Données de production de la concession des Adams**

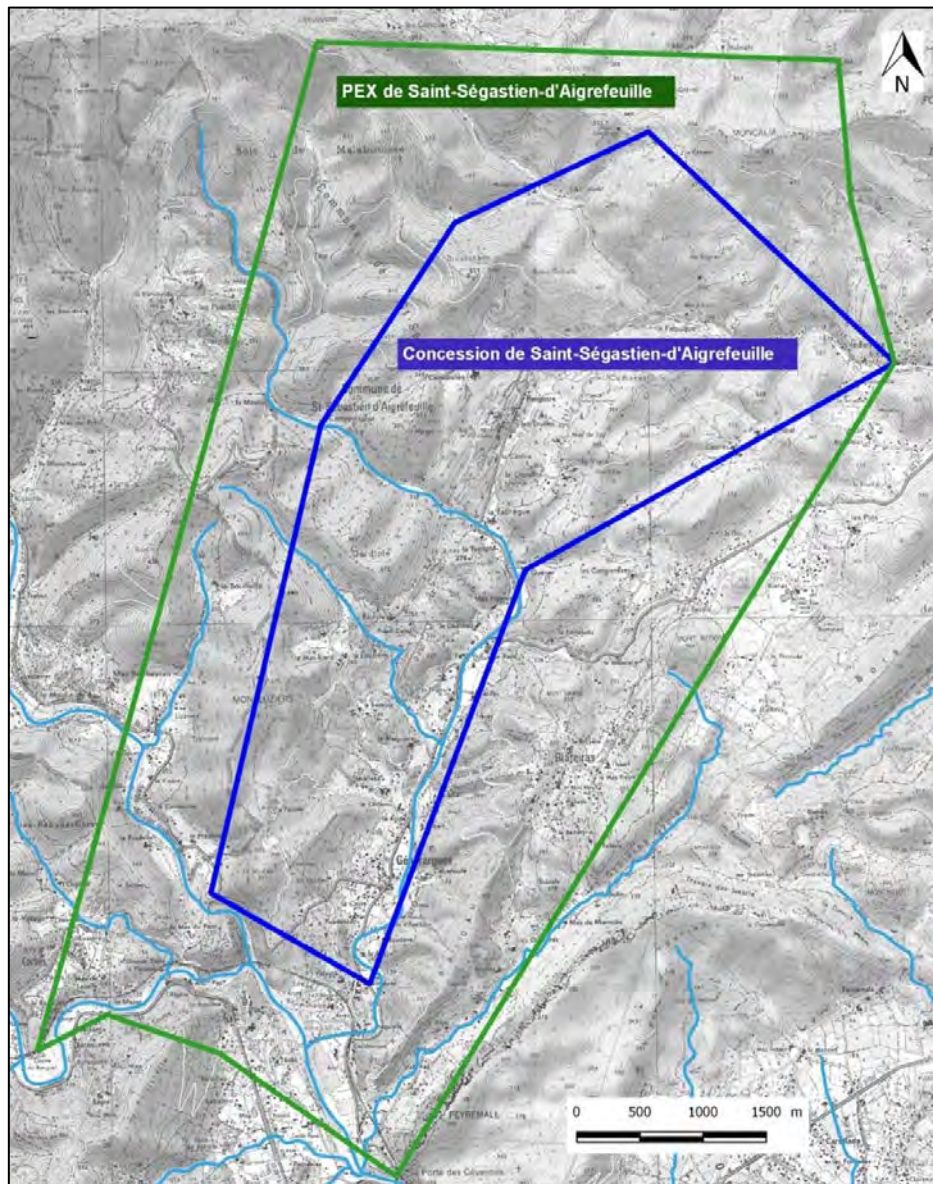
## 2.4.3 Bâtiments et installations de surface

Aucun plan minier n'a été retrouvé dans les archives consultées, et aucune trace de construction ne semble visible en surface.

## 2.5 Concession et PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille

Les anciens travaux miniers en lien avec la concession et le Permis d'EXploitation (PEX) de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille concernent les communes de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille, Générargues, Saint-Jean-du-Pin et Mialet.

Le périmètre des concessions est indiqué sur la Figure 28.



**Figure 28 : Localisation de la concession et du Permis d'EXploitation de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (source : SCAN 25  de l'IGN)**

### 2.5.1 Historique succinct des travaux

Une synthèse de l'historique des travaux est indiquée dans le Tableau 19 ci-après.

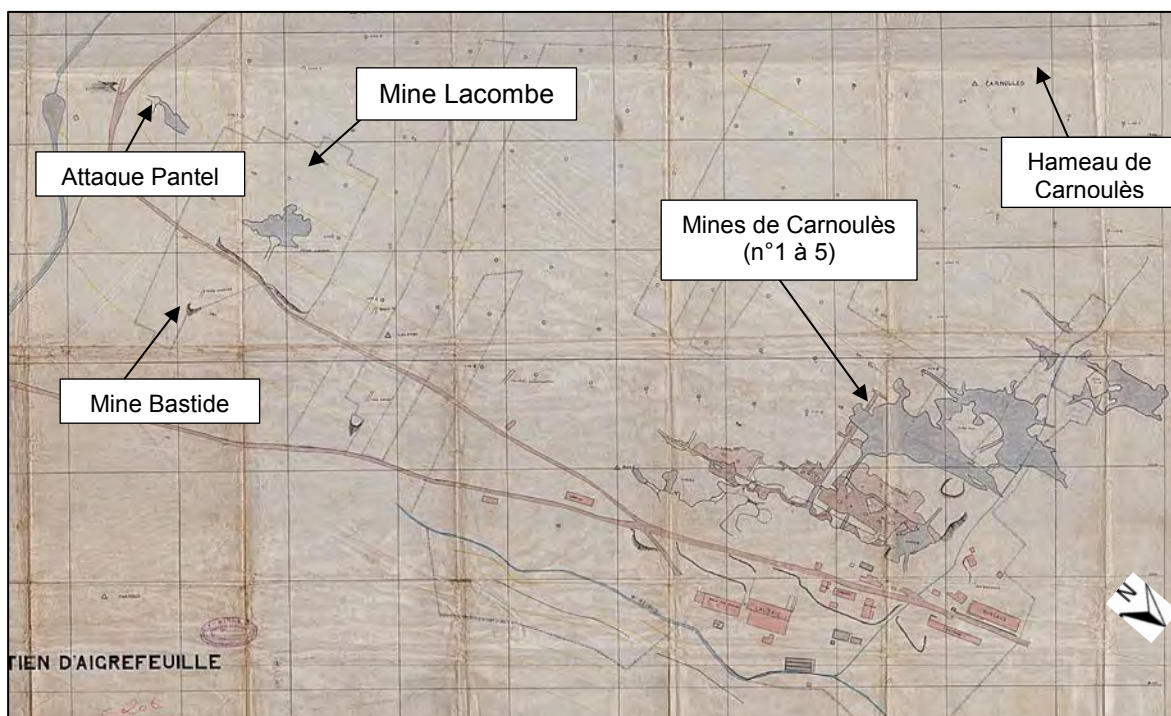
Période de travaux	Informations historiques
<b>Antérieurs à la concession</b>	<p>L'existence de travaux très anciens est confirmée par la présence :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ d'une affinerie d'argent (moulin de l'Argent) dans le hameau de La Fabrègue ;</li> <li>○ des ruines d'anciennes laveries ou fonderies datant du XVII<sup>ème</sup> siècle relevées en 1876 à proximité du ruisseau de l'Amous.</li> </ul>
<b>Sous concession</b>	<p>Travaux souterrains du secteur Carnoulès : méthode des chambres et piliers abandonnés.</p> <p>1852 : amodiation de la concession. Date d'attribution de la concession non retrouvée.</p> <p>Entre 1833 et 1835 : exploitation de la concession. Arrêt et reprise en 1852.</p> <p>1854 : construction d'une usine de préparation mécanique, à proximité des principaux travaux souterrains. Elle est complétée la décennie suivante par une laverie et une fonderie.</p> <p>1862 : création de la Société des Mines de plomb argentifère de Carnoulès.</p> <p>1901 : extension de l'exploitation au zinc et autres métaux connexes.</p> <p>1902 : installation d'une laverie et d'un dépôt de dynamites sur le secteur de Carnoulès.</p> <p>1909 : essai d'exploitation à ciel ouvert par fronts de taille sur le secteur de Carnoulès, peu concluants. Reprise des travaux souterrains par chambres et piliers abandonnés.</p> <p>1906 : constitution de la Société Anonyme des Mines de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille.</p> <p>1912 : abandon de l'exploitation.</p> <p>1926 : exploitation par la Société des mines de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille. Initiation d'un programme de prospection méthodique de « 114 puits foncés à Saint-Sébastien, Générargues et au Mas Icard, couvrant une surface de 2,75 km<sup>2</sup> environ ». L'utilisation d'un nouveau procédé de traitement par flottation permet de récupérer jusqu'à 80% de métal.</p> <p>Entre 1927 et 1928 : mise en service d'une nouvelle laverie avec préparation mécanique et flottation. Productivité : 100 tonnes par jour.</p> <p>De 1927 à 1930 : exploitation à ciel ouvert et par chambres et piliers abandonnés.</p> <p>1er mars 1930 : arrêt définitif des travaux.</p> <p>1936 : Vente des bâtiments et renonciation de la concession.</p>
<b>Sous PEX</b>	<p>12 août 1953 : arrêté ministériel accordant à la Société Minière et Métallurgique Peñarroya (SMMP) le Permis d'Exploitation (PEX) de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (3 700 ha).</p> <p>Changement d'échelle de l'exploitation : extraction réalisée en Mines à Ciel Ouvert (MCO) avec des moyens modernes de terrassement.</p> <p>1955 : construction d'une première laverie pilote en face des nouvelles pistes d'accès à la découverte, à 700 m au nord-est de l'ancienne laverie. L'usine définitive est installée en 1957 à côté de la laverie pilote, avec une capacité de 800 t/j.</p> <p>En moins de six ans, traitement de 1 300 000 t de minerai, soit plus de dix fois la production réalisée depuis l'institution de la concession en 1833.</p> <p>1962 : courte exploitation des gisements de moindre importance (mine Lacoste, Mas Icard).</p> <p>06 septembre 1962 : abandon des travaux du PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille.</p> <p>24 octobre 1963 : un arrêté préfectoral donne acte à la Société Minière et Métallurgique de Peñarroya de sa déclaration d'abandon des travaux. La laverie est démantelée.</p> <p>Entre 1980 et 2000 : travaux de sécurisation par l'ancien exploitant.</p> <p>2010 : l'ADEME s'est vue confier par le Ministère en charge de l'Environnement la mise en sécurité du dépôt de résidus de traitement (suite à l'arrêt n°07MA03157 du 3 décembre 2009 rendu par la Cour Administrative d'appel de MARSEILLE estimant que le dépôt de résidus relevait de la législation des installations classées).</p>

Tableau 19 : Données historiques concernant les travaux de la concession et du PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille

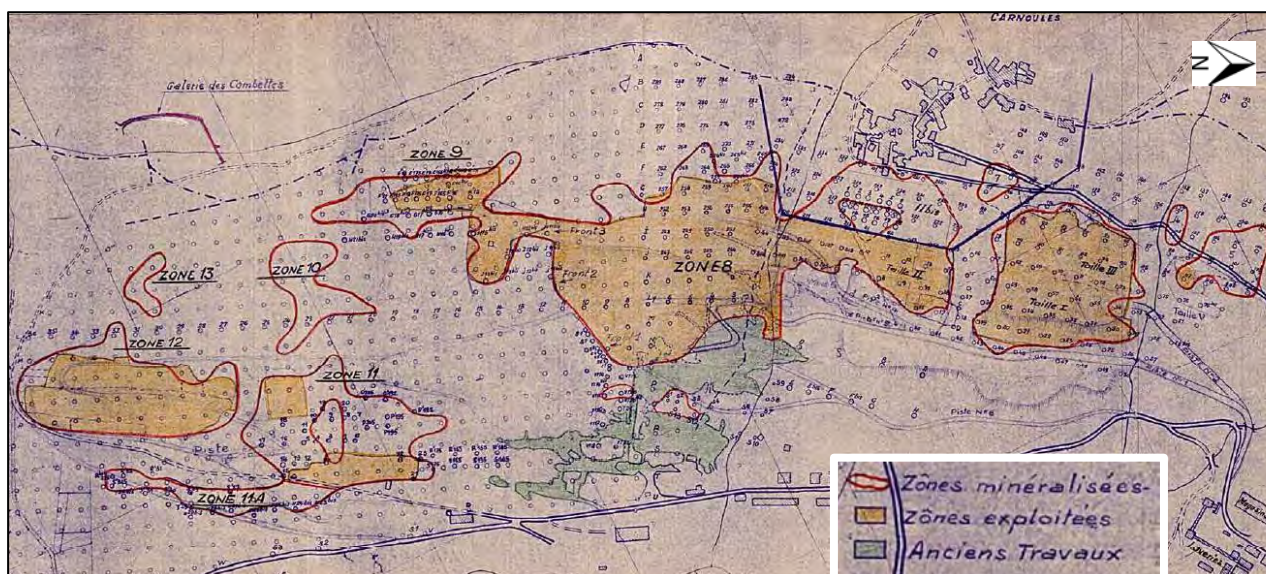
Une synthèse des secteurs de travaux est présentée dans le Tableau 20 suivant.

Localisation	Description
Secteur Carnoulès	<p>Localisation : secteur au sud-est du hameau de Carnoulès.</p> <p>Exploitation menée soit par la méthode des chambres et piliers abandonnés, soit à ciel ouvert après décapage du recouvrement, soit par tranchées ouvertes.</p> <p>Extension nord/sud, longueur de 1 000 m et largeur pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres. La surface dépilée en souterrain représente environ 4 hectares.</p> <p>Secteurs exploités et cartographiés sur plans (Figure 29) : mines n°1 à 5, mine Constantin, mine Lacombe à La Fabrègue, mine Bastide, attaque Méjean, mine Maffre, mine Breton, mine Boisset, attaque Durand, attaque Pantel près de la rivière Amous.</p> <p>Quelques vieux travaux ont également été conduits sous le hameau de Carnoulès.</p> <p>En surface, le secteur exploité le plus vaste correspond aux mines à ciel ouvert de Carnoulès (Figure 30).</p>
Secteur Pradinas	<p>Travaux antérieurs réalisés sous couvert de la concession des Adams.</p> <p>Travaux de recherche sous PEX : réouverture de 274 m de galeries par la Société des Mines de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille et creusement de 60 m de nouvelles galeries.</p>
Ravin des Combettes	<p>Travaux artisanaux très anciens par galeries sur la faille des Combettes.</p> <p>Entre 1883 et 1908 : travaux de recherche le long du ravin (Figure 31).</p> <p>Creusement d'une galerie de reconnaissance d'environ 160 m de long sous PEX.</p>
Voisinage de Générargues - mine Lacoste	<p>À environ 500 m à l'ouest du village de Générargues, au bord de la route de Mialet, a eu lieu autrefois un début d'exploitation. Il s'agit d'une tranchée d'une dizaine de mètres de long et de 3 mètres de profondeur, avec deux amorces de galeries sur les parois (Figure 32 et Figure 33).</p> <p>1960 : programme de recherche par 966 m de sondages linéaires cumulés.</p> <p>Entre décembre 1961 et mai 1962 : exploitation à ciel ouvert.</p>
Secteur Mas Icard	<p>1926 : campagne de prospection par puits foncé</p> <p>1960 : forage de 21 puits de recherche d'une profondeur de l'ordre de 10 m au voisinage d'un affleurement de conglomérat présentant une minéralisation hétérogène (3 à 4% de plomb).</p> <p>1961 : création d'une piste d'accès en vue de l'exploitation du secteur (Figure 34).</p> <p>1962 : Travaux de décapage sur le secteur (Figure 35). Abandon la même année : transport du minerai vers la laverie de Carnoulès trop onéreux. Le décapage a de plus révélé la présence abondante de minerai oxydé non récupérable en laverie.</p>
Travaux au nord-est de Carnoulès	<p>Travaux anciens signalés dans la carte géologique du département du Gard, arrondissement d'Alais établie par Emilien Dumas en 1845 (Figure 36).</p> <p>Secteur Mas d'Alzon / Sognes : 5 attaques d'une quinzaine de mètres ainsi qu'un puits.</p> <p>Entre 1951 et 1954 : à la Fabrique, travaux de recherche par la SVM.</p>

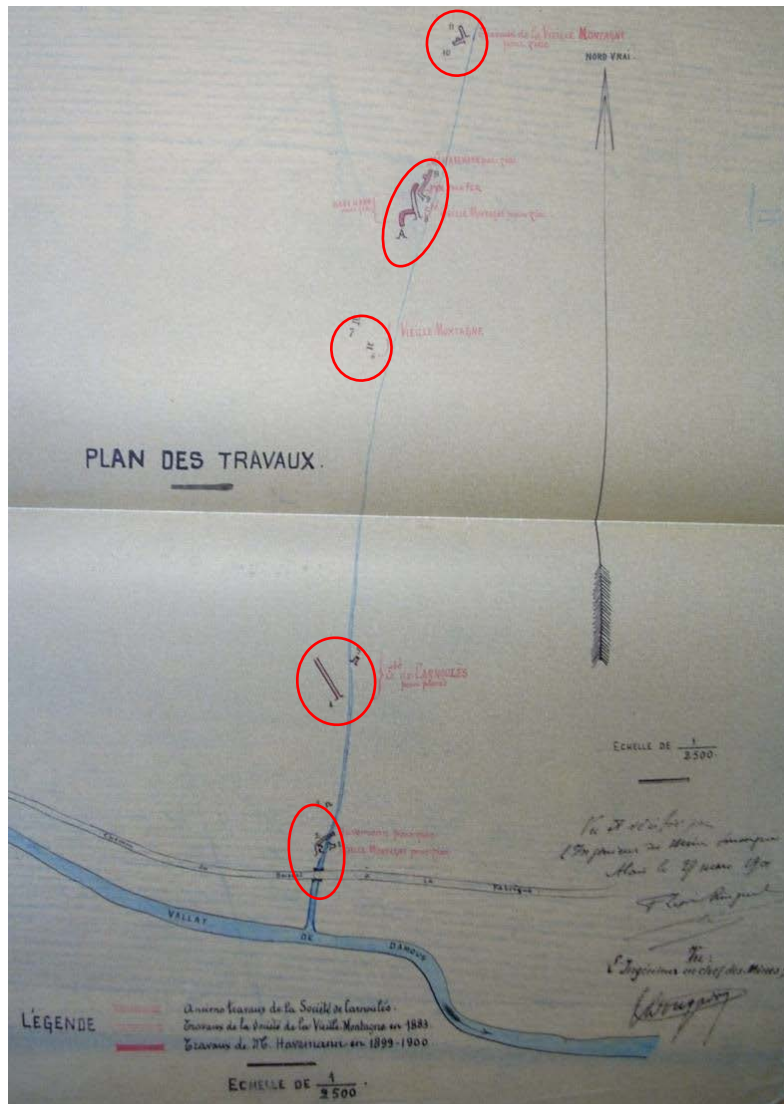
Tableau 20 : Secteurs de travaux de la concession et du PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille



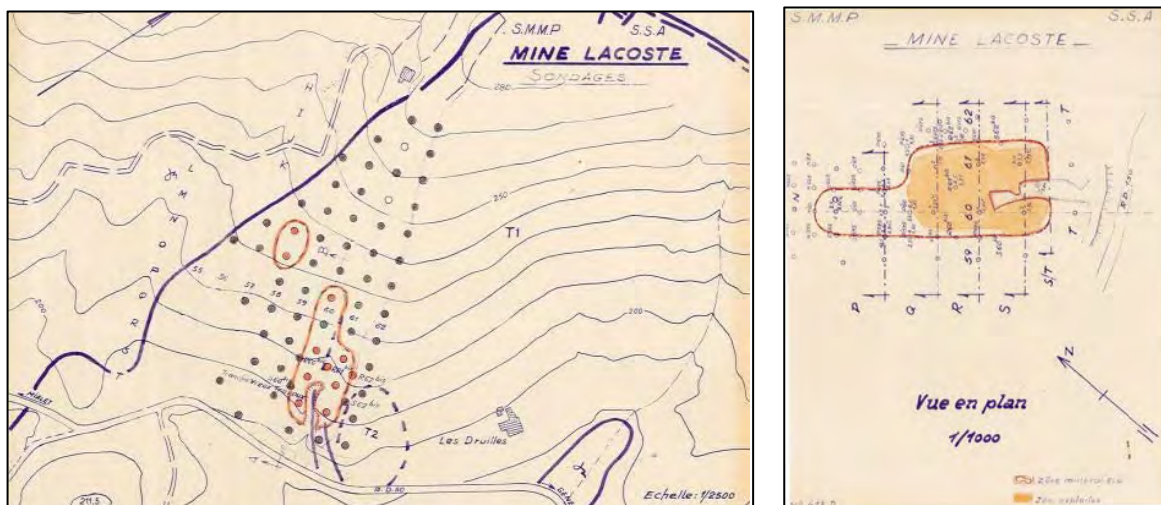
**Figure 29 : Extrait du plan des anciens travaux et des travaux réalisés de 1928 à 1930 (source : plan SSA du 1<sup>er</sup> juillet 1929, archives DREAL 5.4.7)**



**Figure 30 : Localisation des mines à ciel ouvert exploitées par la SMMP sur le secteur de Carnoulès (source : plan d'ensemble de la carrière en 1962, archives DREAL 5.5.4)**



**Figure 31 : Plan des travaux de recherche dans le ravin des Combettes**  
(source : plan SDM d'avril 1901, Archives Nationales - 1901-04-29 rapport SdM Chabaud)



**Figure 32 : Plan des sondages et travaux de la mine Lacoste à Générargues entre 1960 et 1962**  
(source : archives DREAL 5.5.4)

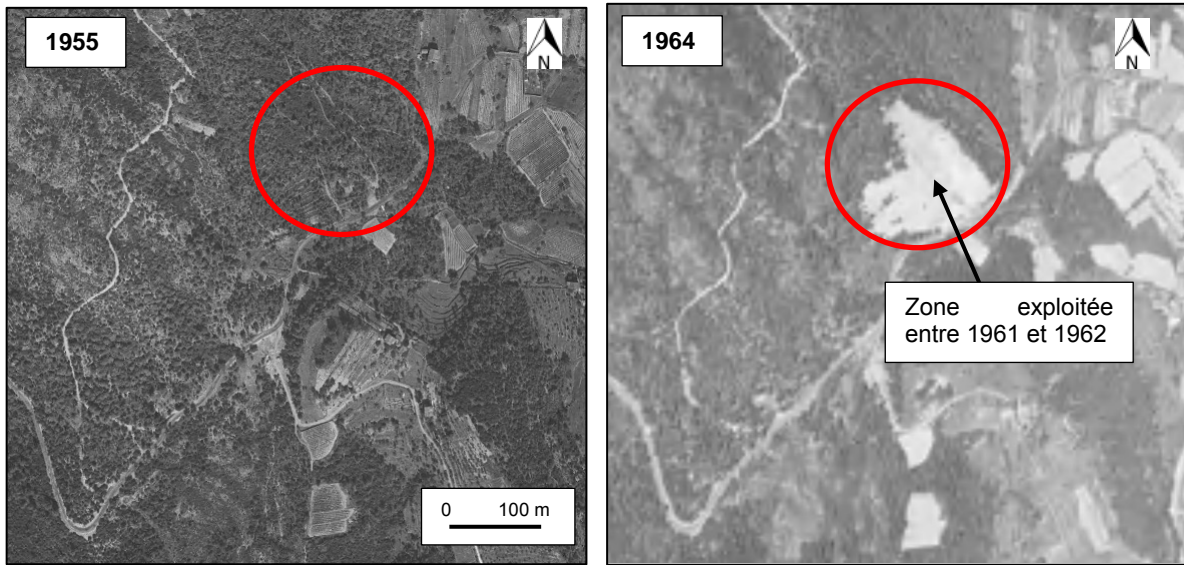


Figure 33 : Secteur mine Lacoste à Générargues. Photographies aériennes de 1955 et 1964 (fond : Orthophoto IGN)

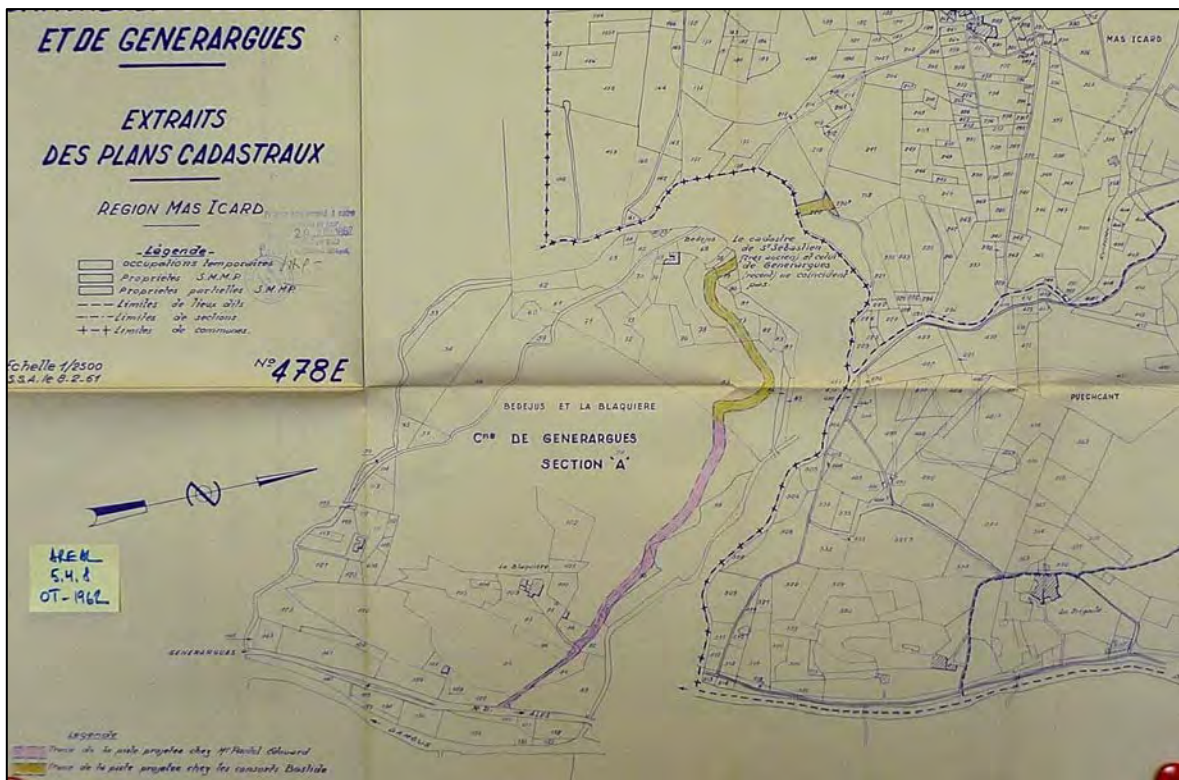
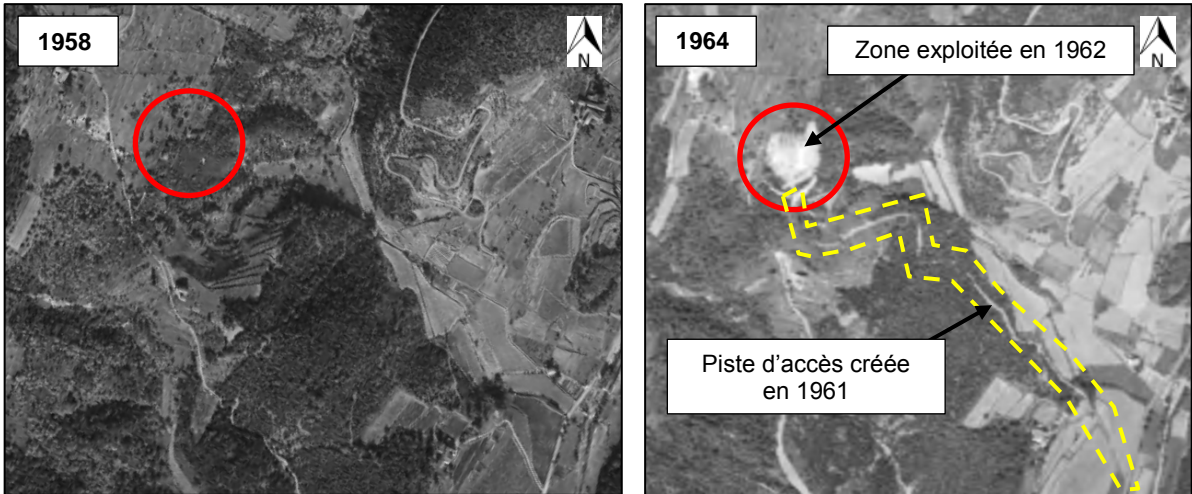
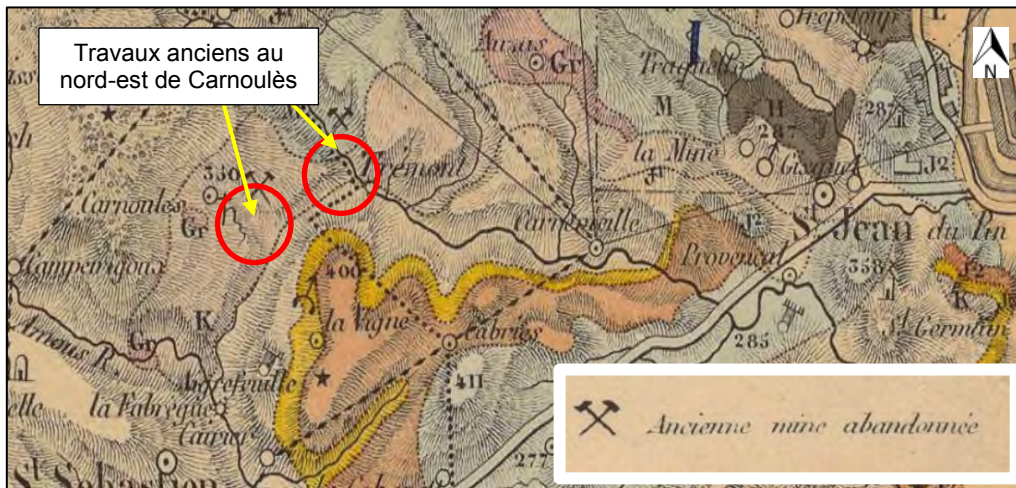


Figure 34 : Plan de la piste d'accès projetée au Mas Icard (source : plan SSA de février 1961, archives DREAL 5.4.8)





**Figure 35 : Secteur Mas Icard. Photographies aériennes de 1958 et 1964 (source : Orthophoto IGN)**



**Figure 36 : Travaux anciens au nord-est de Carnoulès.  
Extrait de la carte géologique du département du Gard, arrondissement d'Alais en 1845  
(source : <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b530231041/f1.item.zoom>)**

## 2.5.2 Données de production

Les données de production connues sont indiquées dans le Tableau 21.

Période de travaux	Données de production
<b>Sous concession</b>	Entre 1833 et 1930 : extraction de 100 000 tonnes de minerai à 4% de plomb et 2% de zinc (dont 61 000 t entre 1926-1931). La production s'élèverait donc pour ces périodes à 4 000 t de plomb et 2 000 t de zinc. Une dizaine de tonnes d'argent aurait également été extraite.
<b>Sous PEX</b>	Entre 1957 à 1962 : extraction de 1 278 000 t de minerai. Production post traitement : 42 500 t de plomb, 3 500 t de zinc et environ 60 t d'argent.

Tableau 21 : Données de production de la concession et du PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille

L'évolution de la production par période d'exploitation est retranscrite dans la Figure 37.

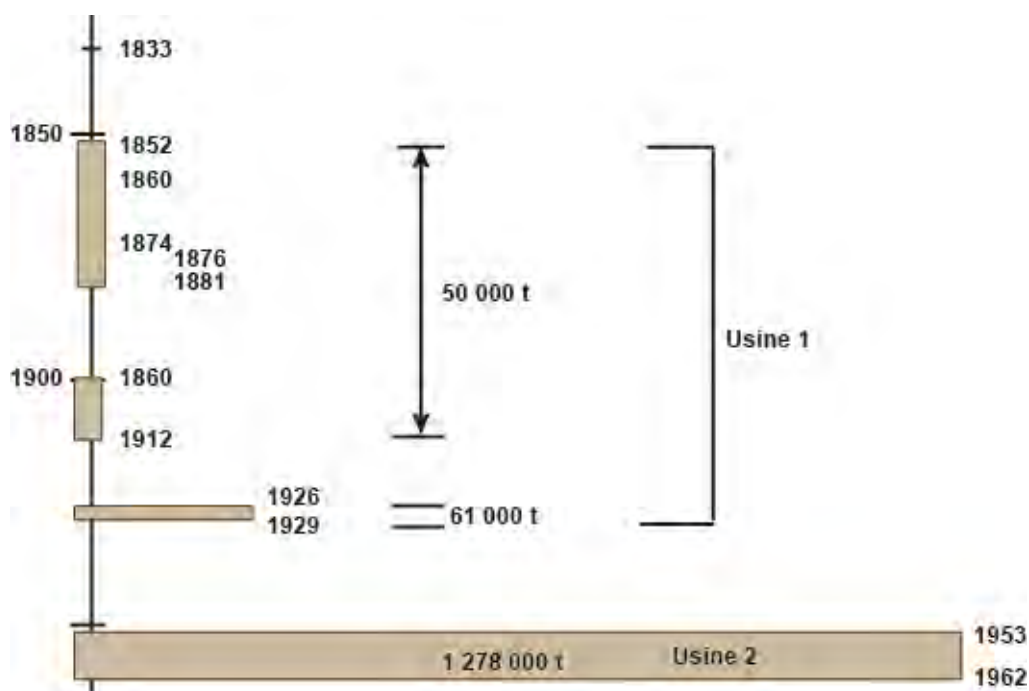


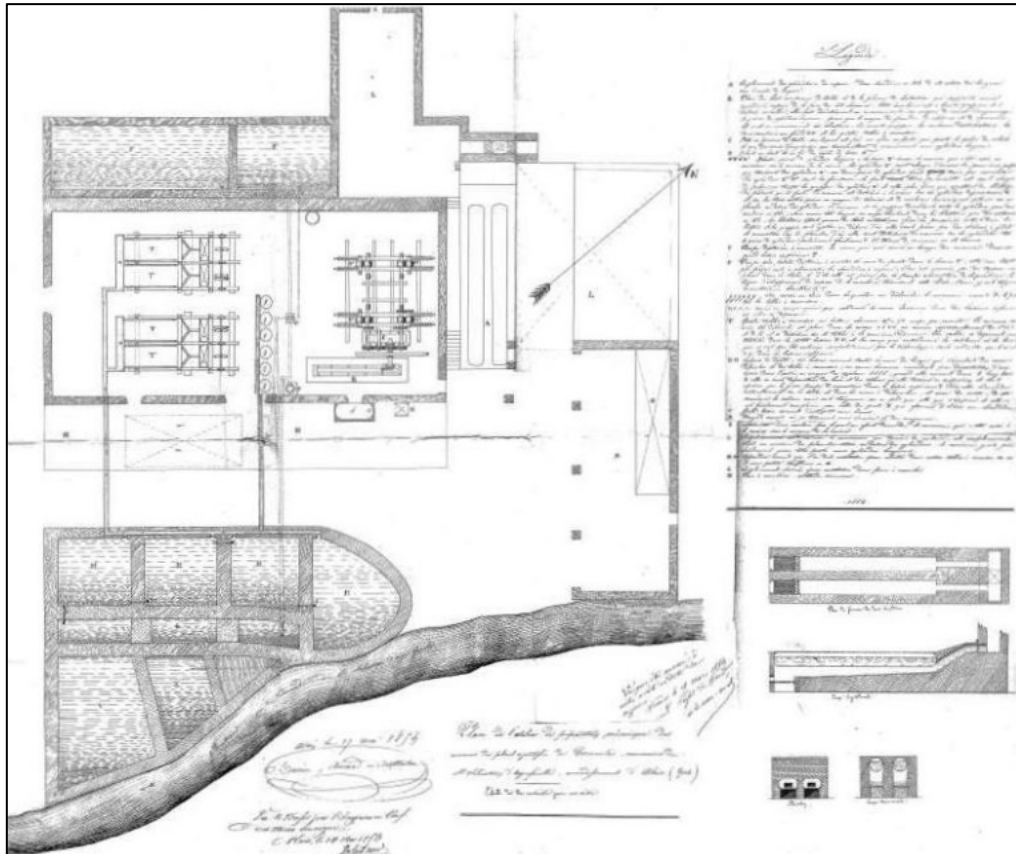
Figure 37 : Evolution de la production de minerai selon les périodes d'exploitation de la concession et du PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille.

## 2.5.3 Bâtiments et installations de surface sur le secteur Carnoulès

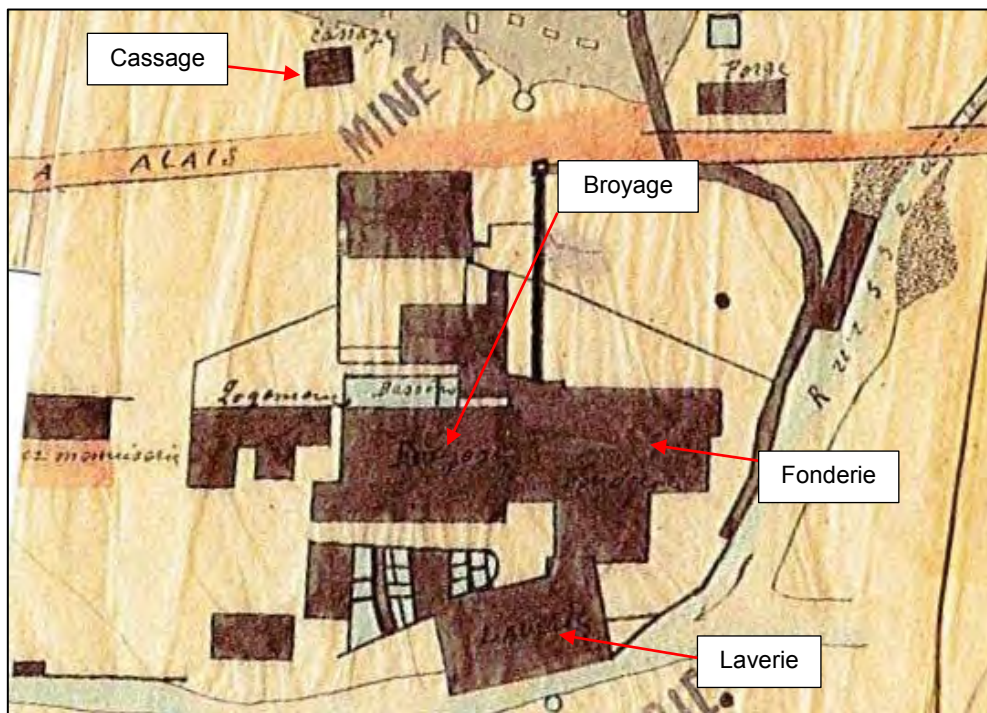
Les installations et bâtiments de surface recensés au niveau de la mine de Carnoulès sont indiqués dans le Tableau 22.

Période de travaux	Bâtiments et installations de surface
Moulin de l'Argent	Affinerie d'argent au hameau de la Fabrègue au XVIII <sup>ème</sup> siècle.
Usine de préparation mécanique (1852-1857)	1852 : construction du premier atelier de préparation mécanique accueillant les installations ultérieures jusqu'en 1955 (Figure 38).
Usine de préparation mécanique et fonderie (1857-1874)	Période 1857-1874 : ajout d'une laverie et d'une fonderie (Figure 39). 1867 : premières prescriptions de la Société des mines de plomb argentifère de Carnoulès concernant le stockage des résidus et la décantation avant rejet des eaux de la laverie. Septembre 1874 : Arrêt des machines en raison des teneurs insuffisantes du minerai.
Usine de préparation mécanique et flottation (1907-1912)	Installation d'une nouvelle laverie de « sables et de schlamms » dans l'emprise de la première usine pour améliorer le broyage et les procédés de séparation. Laverie divisée en trois groupes comprenant chacun : concasseur à mâchoires, broyeurs à cylindres, tamis vibrants, bacs à pistons et deux tables de Wilfley et une de Linkenbach pour le traitement des schlamms. 1910 : modification complète de la laverie. Suppression des classements par voie sèche au moyen de tamis et mise en place de séparations par des appareils à courant d'eau.
Usine de préparation mécanique et flottation (1926-1931)	Installation dans l'ancienne usine d'un procédé de séparation du minerai par flottation (Figure 40). 1927 : capacité des installations de traitement 100 t/j. Équipement de l'atelier de flottation : un concasseur à mâchoires, un broyeur à disques, deux broyeurs Harding six pieds, un classificateur Dorr, deux tables Callow modifiées suivant le système Forester (arrivée d'air par en haut afin d'éviter la formation d'une couche étanche de pyrite dans le bac) et des filtres américains. 1930 : fermeture de la laverie de par les capacités de traitement insuffisantes. Volume de résidus produits : 30 000 m <sup>3</sup> , stockés sous l'usine le long du Reigous.
Usine 2 - préparation mécanique et flottation (1953-1963)	1955 : laverie pilote construite à 700 m au nord-est de la précédente, en amont du Reigous (Figure 41). Utilisation du talweg du ruisseau pour établir un nouveau dépôt de résidus de traitement (dite ouvrage n°1). Transformation du dépôt situé en aval de l'ancienne laverie en barrage (dit ouvrage n°3) afin de créer un bassin de décantation "complémentaire". 1957 : construction de l'usine définitive à côté de la laverie pilote qui traitera près de 1 300 000 t en six ans (Figure 41 et Photographie 5). Rejet de la laverie : 2 000 m <sup>3</sup> d'eau par jour. Réactifs utilisés pour la flottation : tricrésol, xanthate et cyanure. Le premier dépôt ayant atteint la cote de l'usine, l'exploitant ouvre un deuxième dépôt à résidus (dit ouvrage n°2) en aval du premier.

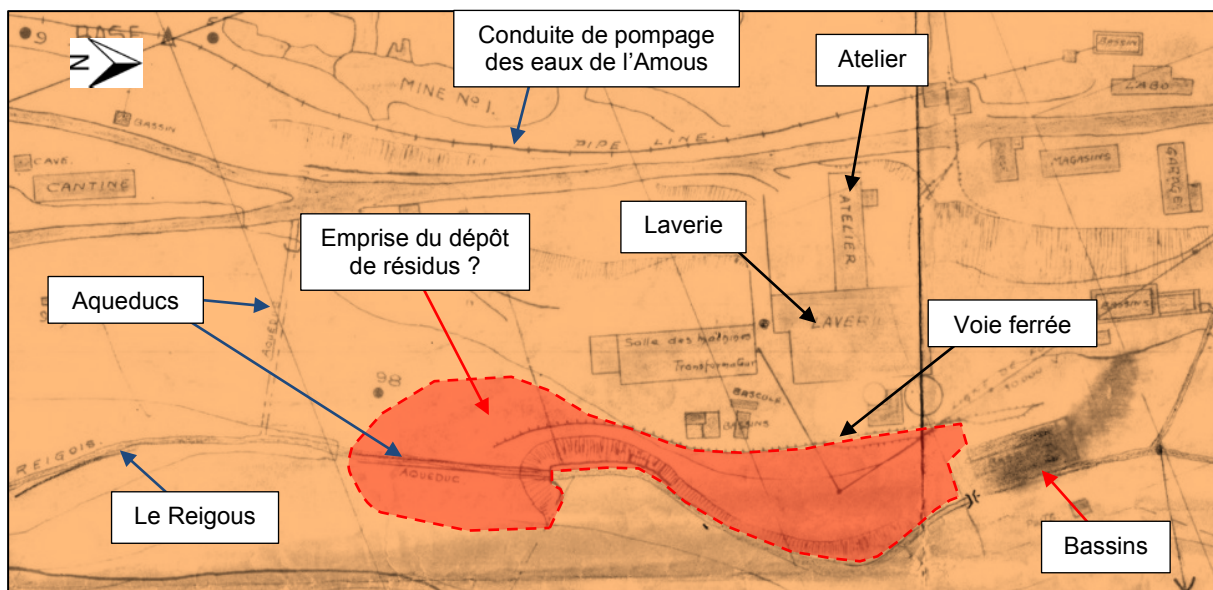
**Tableau 22 : Recensement des bâtiments et installations de surface de la mine de Carnoulès**



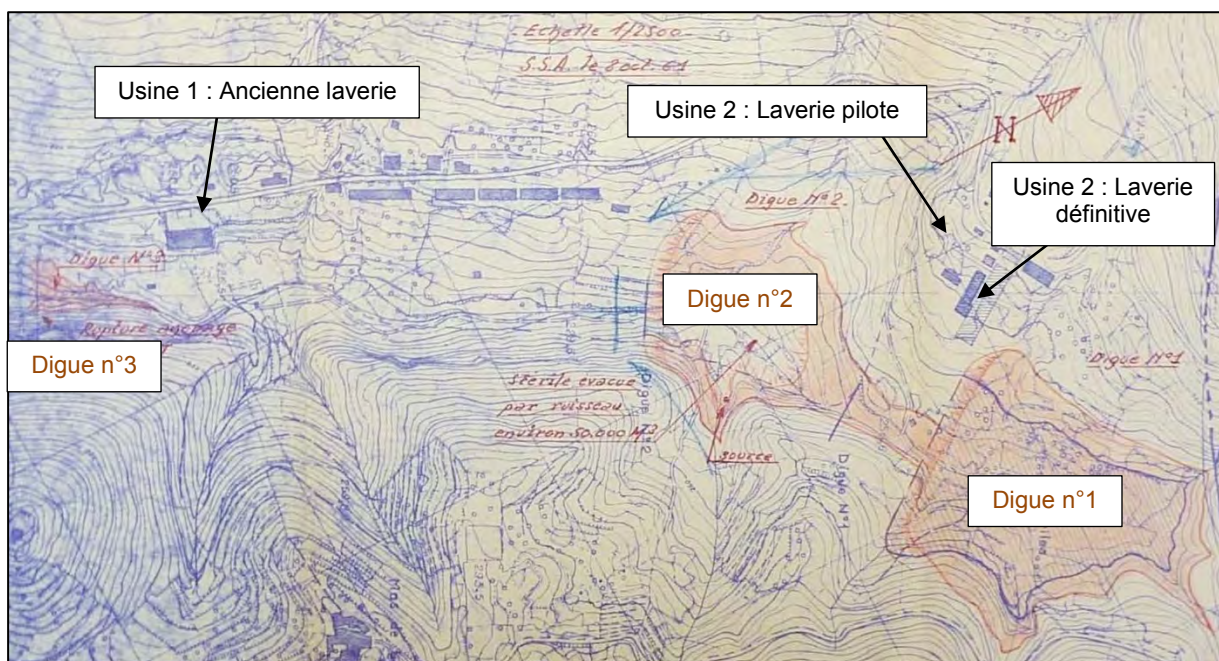
**Figure 38 : atelier de préparation mécanique des minerais de plomb argentifère de Carnoulès, 1854 (source : collection Particulière)**



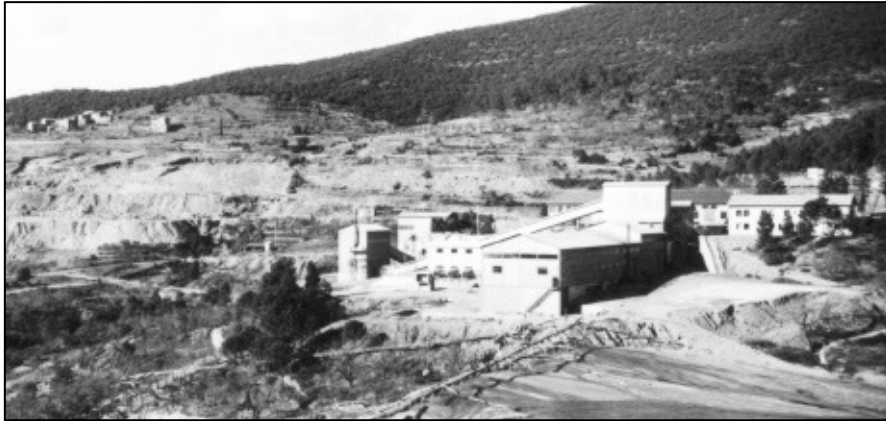
**Figure 39 : atelier de préparation mécanique et fonderie de l'usine 1bis, période 1857-1874 (source : extrait de plan de 1877, doc ADEME)**



**Figure 40 : Installations de surface des mines de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (source : extrait de plan de 1930, archives DREAL 5.4.7, modifié GEODERIS)**



**Figure 41 : Localisation des laveries et bassins de décantation des mines de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille en 1961 (source : plan SMMP, archives DREAL 5.4.10)**



*Photographie 5 : Vue sur l'usine définitive et la mine à ciel ouvert de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille en 1959 (source : archives DREAL 5.4.9)*

### Dépôt de résidus de traitement de la mine de Carnoulès

Afin de satisfaire aux prescriptions de l'instruction du Ministre du Commerce du 6 juin 1953, relatives à "l'évacuation des eaux résiduaires des établissements dangereux, insalubres ou incommodes", l'exploitant demande l'autorisation de construire, sur le cours supérieur du ruisseau du Reigous, les ouvrages nécessaires à la décantation des eaux issues de la laverie.

Des bassins de décantation sont ainsi aménagés comme suit (Figure 42) :

- construction d'un premier barrage de retenue à la hauteur de la laverie (barrage n°1) et d'un petit barrage en terre, en aval à la hauteur de l'ancienne laverie. Ce barrage n°3 correspond à un bassin de décantation complémentaire dans le cas d'un « mauvais réglage éventuel de la décantation au barrage n°1 ». Un aqueduc passe sous le barrage n°1 et communique avec plusieurs cheminées servant à évacuer les eaux décantées ainsi que les eaux pluviales provenant du bassin versant amont ;
- les résidus de laverie (contenant environ 1/3 de solides) ont été déposés derrière le barrage n°1 et, après décantation ont formé un barrage complémentaire montant au fur et à mesure des dépôts ;
- lorsque le niveau des résidus décantés au barrage n°1 est arrivé au niveau de l'usine, l'exploitant a construit un 2<sup>ème</sup> ouvrage, le barrage n°2, selon les mêmes conditions. L'aqueduc a été prolongé sous le barrage n°2 par une conduite forcée (Figure 43).

Une note de la SSMP<sup>16</sup> présente ainsi le mode de construction des dépôts :

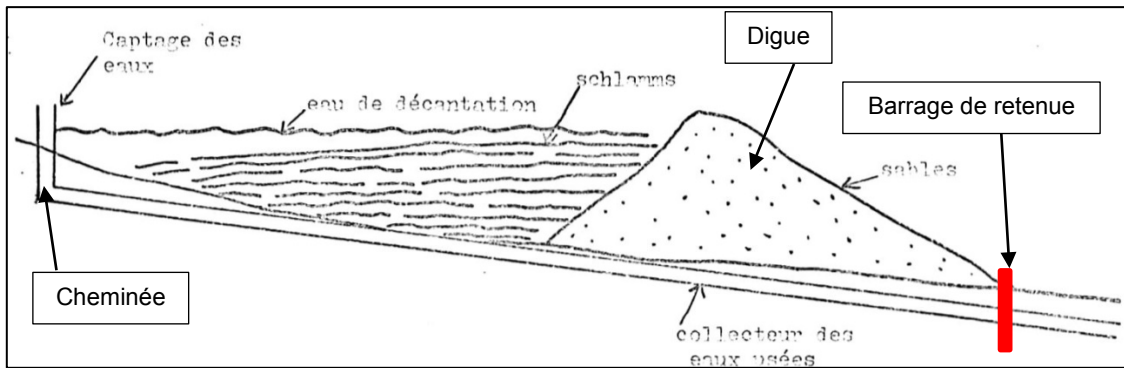
*« Les aires d'épandage des rejets de flottation sont des ouvrages dans lesquels les parties les plus fines du minerai ainsi que les eaux de décantation sont retenues par une digue composée des particules les plus grenues du minerai broyé.*

*[...]*

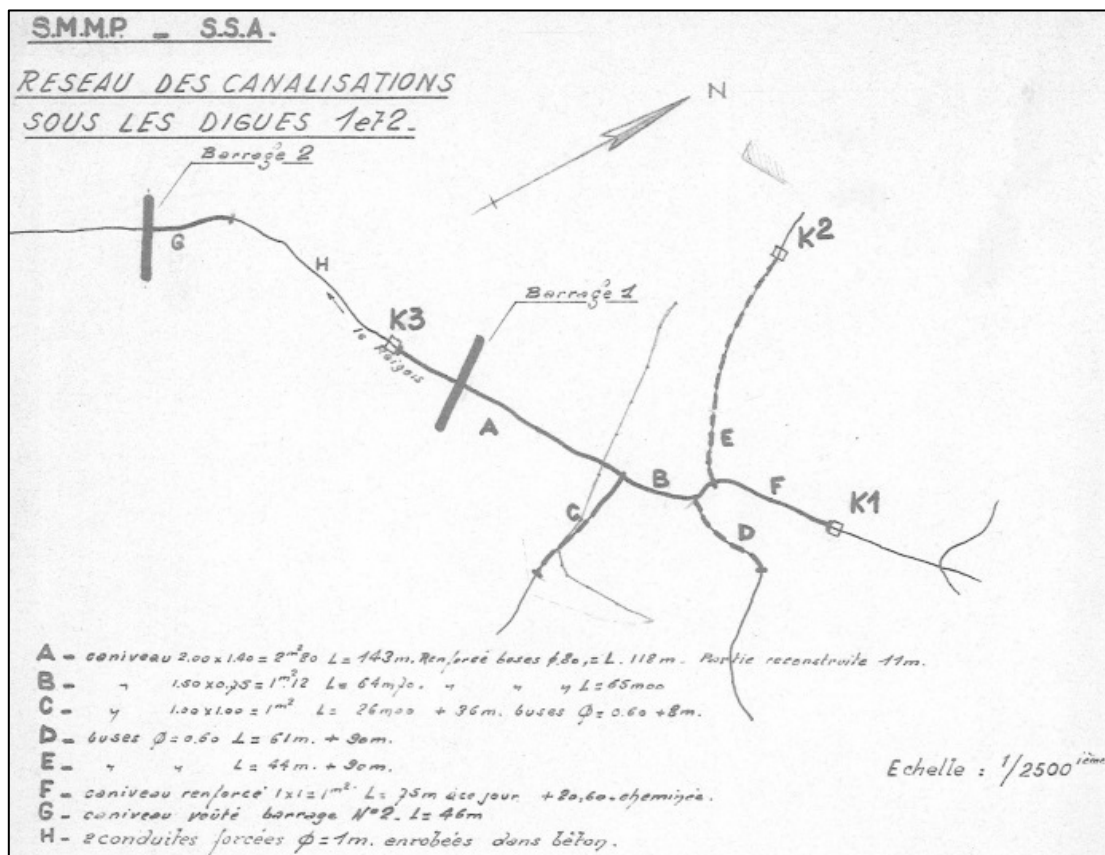
*Actuellement les digues sont élevées par dépôt hydraulique des sables obtenus par un classement dimensionnel rigoureux des rejets de flottation. À l'amont de cette digue, on laisse décanter les particules les plus ténues du minerai qui sont entraînées par la presque totalité des eaux contenues dans les rejets de flottation. Il se forme un lac dans lequel s'opère la précipitation des schlamms. Les eaux surnageantes se clarifient et sont captées pour être rendues au réseau hydrographique ».*

---

<sup>16</sup> Document non daté, mentionnant des problèmes rencontrés dans la construction de l'aire d'épandage des rejets de la Mine des Malines, archives DREAL, SSA-058, p. 1.



**Figure 42 : Schéma de fonctionnement des bassins de décantation (source : schéma SSMP non daté, archives DREAL)**



**Figure 43 : Réseau des canalisations sous les barrages n°1 et n°2 (source : plan SMMP, archives DREAL 5.4.10)**

Le 6 octobre 1961, suite à un orage violent, une brèche s'est ouverte dans la digue du barrage n°2, laissant s'écouler 50 000 m<sup>3</sup> de fines qui ont traversé le barrage n°3 et se sont répandus dans le cours aval du ruisseau du Reigous.

À la suite de cet évènement, les réparations suivantes (toutes approuvées par le Service Hydraulique) ont été effectuées par l'exploitant :

- remise en service du dépôt n°1 (non affectée par l'orage) grâce à l'installation d'une pompe de relevage des pulpes ;
- renforcement, en aval, du dépôt n°2 par la construction d'un barrage "perméable" en terre. Un déversoir pour les eaux pluviales est prévu ;

- réparation du barrage n°3 ;
- canalisation des eaux de pluie et collecte des sources se déversant entre les dépôts n°1 et n°2 pour les amener en aval du dépôt n°2 ;
- protection de la cheminée principale du dépôt n°1 ;
- nettoyage des terrains des riverains envahis par les résidus provenant du dépôt n°2.

Le 21 septembre 1970, l'Association syndicale de lutte contre la pollution de l'Amous signale que des travaux d'extraction des "sables" ont créé une brèche dans la digue de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille, dont les résidus se sont à nouveau répandus dans la vallée à la suite d'un orage le 15 septembre 1970. Des travaux d'entretien ont ensuite été réalisés.

Le 11 septembre 1976, suite à un épisode orageux particulièrement marqué, une partie des digues n°1 et n°2 s'effondre. Un volume important de matériaux est emporté, estimé entre un à deux tiers du dépôt en amont de la digue n°1. Une poche d'eau d'environ 100 000 m<sup>3</sup> remplit une crevasse qui s'est formée dans le dépôt amont en raison de l'effondrement d'une cheminée d'évacuation et du colmatage du collecteur souterrain. La Direction Départementale de l'Agriculture (DDA) décide d'engager des travaux d'urgence : pompage de la poche d'eau, reconstitution des canaux de drainage latéral.

Le 25 octobre 1976, un nouvel épisode cévenol affecte le site. Des brèches se creusent dans les digues (Photographies 6 et 7), entraînant une très forte érosion du dépôt.



*Photographies 6 et 7: Vues de la crevasse principale et d'une crevasse latérale apparue suite aux épisodes cévenols de l'automne 1976 (archives DREAL 5.4.10)*

Au final, à la suite de forts orages survenus en septembre et octobre 1976, environ 300 000 t de résidus de traitement ont été emportés dans un torrent de boue recouvrant de sables à sulfures les prairies en bordure de l'Amous.

La comparaison des photographies aériennes disponibles de 1973 et 1978 fait apparaître l'importance du volume de résidus de traitement répandus sur les berges du ruisseau du Reigous et de l'Amous, jusqu'à la confluence avec le Gardon d'Anduze (Figure 44).



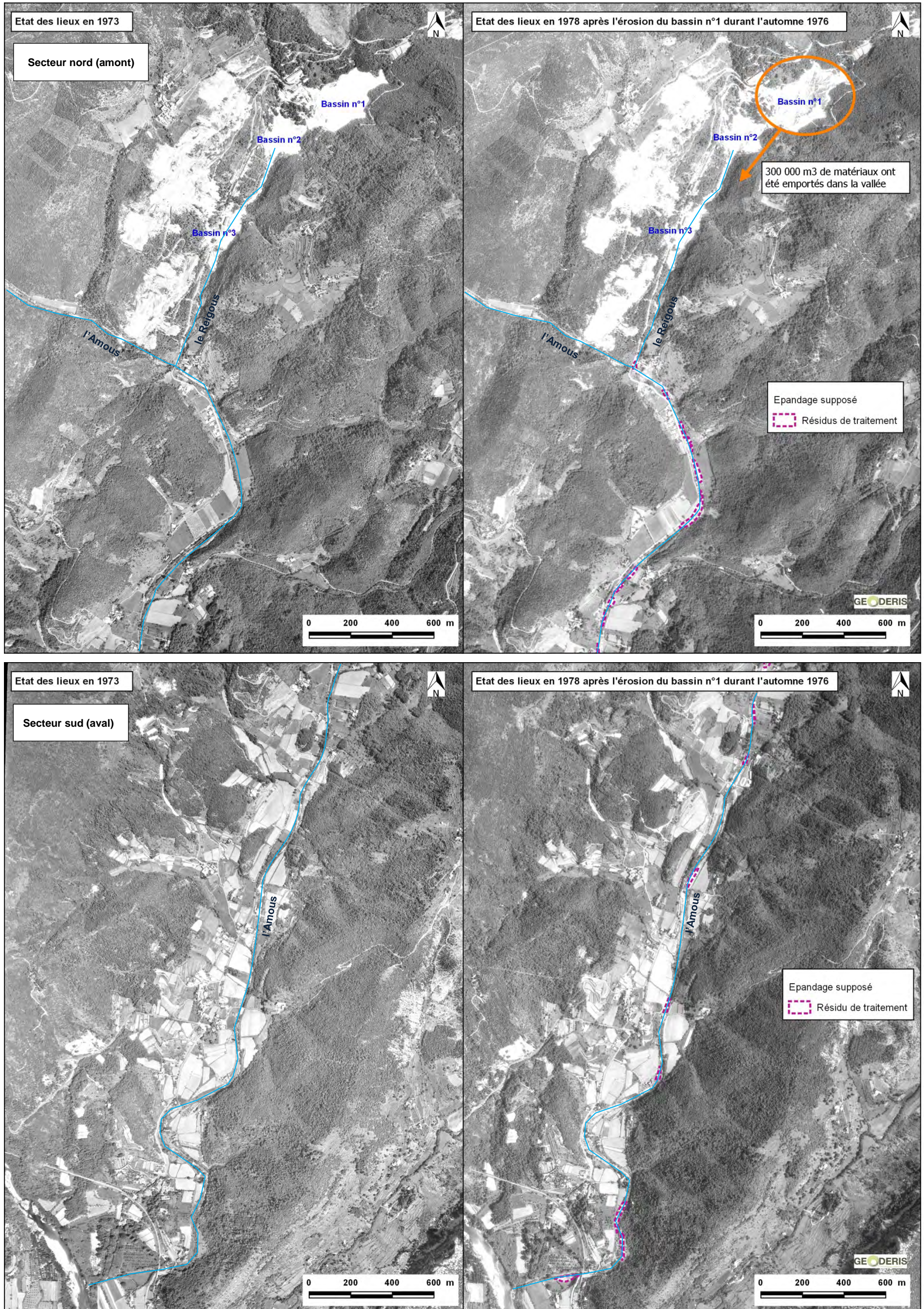


Figure 44 : Epandage de résidus de traitement sur les berges du ruisseau du Reigous et de la rivière Amous suite à l'érosion survenue lors des épisodes pluvieux de l'automne 1976 (source : IGN)



En 1982, la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) et le département du Gard ont conduit, avec la participation de METALEUROP, des travaux de remodelage, de protection et de drainage du dépôt de résidus dans le but de stabiliser physiquement la masse des sables, de limiter les quantités d'eau percolant à travers, et de limiter les quantités de polluants émis en aval du dépôt. Les lits du ruisseau du Reigous et de la rivière Amous ont également été nettoyés.

Les précipitations exceptionnelles des 8 et 9 septembre 2002 ont provoqué plusieurs dégradations brutales dans les ouvrages de protection du dépôt.

Des travaux de mise en sécurité et de restauration des protections hydrauliques détruites par les inondations de septembre 2002 ont été réalisés en 2004 par le SMAGE des Gardons avec la participation de METALEUROP.

Des travaux de protection à court terme du dépôt ont été réalisés par l'ADEME en 2012 :

- création d'une piste d'accès au mur de soutènement ;
- au niveau du mur de la digue, installation d'une clôture, d'un portail et de panneaux d'information ;
- entretien des fossés ;
- installation d'éléments provisoires de suivi et de gestion des eaux.

Par lettre du 13 décembre 2013, le ministre de l'écologie a donné son accord au préfet du Gard pour une nouvelle intervention de l'ADEME. Il était notamment prévu la mise en sécurité à long terme du dépôt de résidus par confortement du mur de soutènement, la remise en état et réalisation d'ouvrages complémentaires de collecte des eaux et l'institution de servitudes de restriction d'usage. Ces travaux sont actuellement en cours.

### 3 PHASE INFORMATIVE - ÉTUDE DE VULNERABILITE

#### 3.1 Usage des eaux souterraines et superficielles

##### 3.1.1 Données BSS (hors captage AEP)

La consultation de la banque du sous-sol (BSS) a permis de relever 38 points d'eau sur la zone d'étude (hors usage d'Alimentation en Eau Potable). Ces points sont localisés sur la Figure 45 suivante.

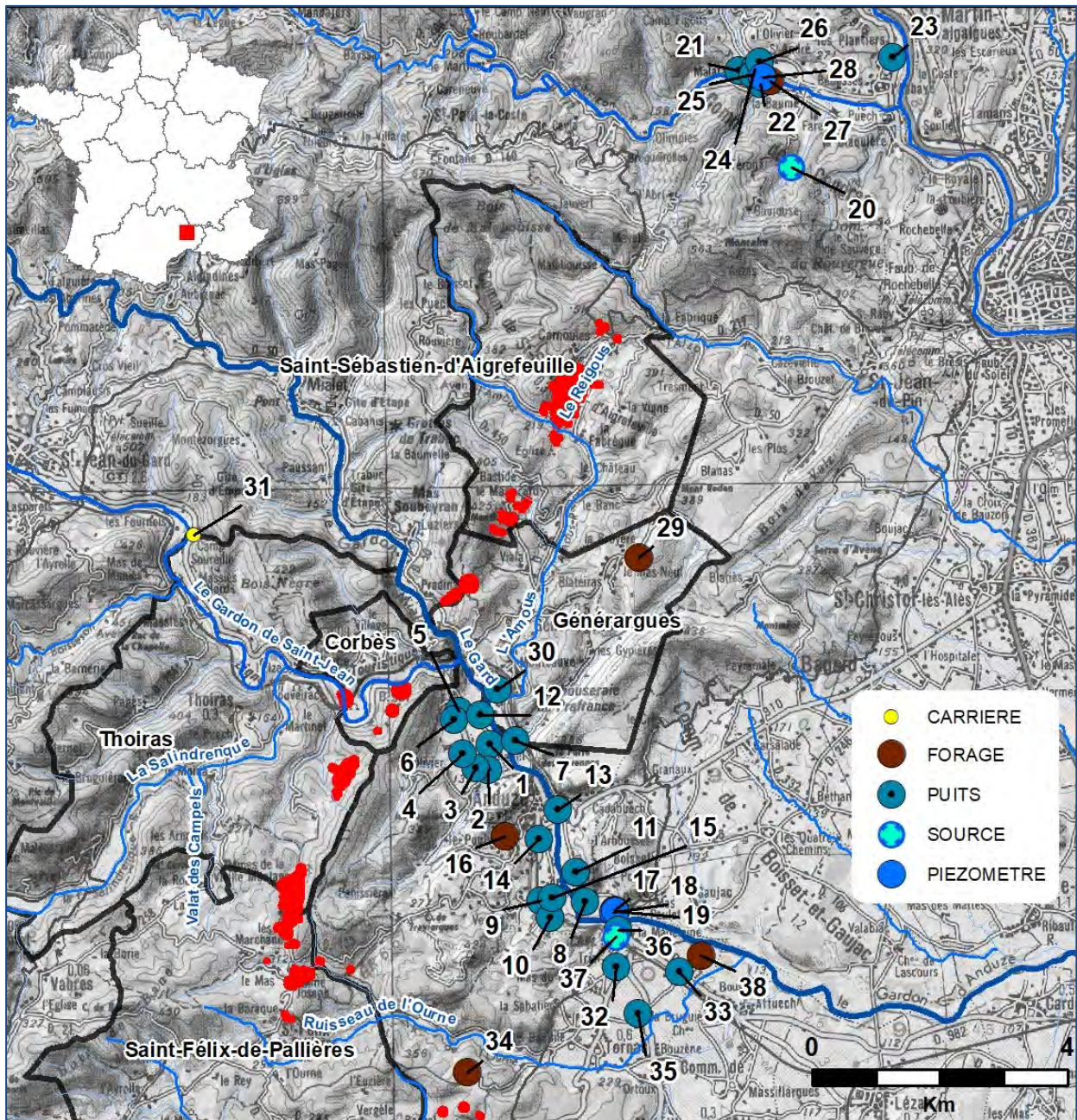


Figure 45 : Localisation des points d'eau enregistrés en BSS (hors AEP) sur la zone d'étude. Les anciens secteurs miniers exploités sont en couleur rouge

Le Tableau 23 synthétise pour chaque point d'eau les données inscrites dans la BSS.

Les usages de l'eau suivants sont relevés sur le secteur d'étude :

- eau individuelle pour l'usage domestique (14 puits, 1 forage et 1 source), collectif (2 puits) ou industriel (1 puits) ;
- eau d'irrigation (10 puits dont un servant également pour l'usage domestique, 2 forages et 1 source) ;
- chauffage par géothermie (1 forage) ;
- eau industrielle (1 puits et 1 carrière).

À noter la présence de 4 forages piézométriques pour des mesures de la hauteur d'eau dans la nappe et le suivi de la qualité des eaux souterraine.

N°	Code national (BSS)	Commune	Situation (lieu-dit)	Coordonnées (WGS84)		Altitude (m)	Nature Ouvrage	Profondeur		Utilisation	Propriétaire
				Longitude	Latitude			ouvrage (m)	eau/sol (m)		
1	09381X0015/LAFONT	ANDUZE	PUITS DE MR LAFONT	3,976779	44,063918	131,45	PUITS	9,7	6,4	EAU-Individuelle et irrigation	PARTICULIER (MR LAFONT A ANDUZE)
2	09381X0017/PIERRA	ANDUZE	PUITS DE PIERRASCAS	3,976307	44,060414	131,17	PUITS	7,45	5,5	EAU-INDIVIDUELLE.	PARTICULIER (MR IGOU A ANDUZE)
3	09381X0019/RASCAS	ANDUZE	PIERRASCAS	3,973941	44,060628	137,49	PUITS	5,1	4,1	EAU-INDIVIDUELLE.	PARTICULIER
4	09381X0020/AVICOL	ANDUZE	PUITS DE LA FERME AVICOLE	3,971502	44,062733	137,65	PUITS	1,77	0,1	EAU-INDIVIDUELLE.	PARTICULIER (SCHAFF ROBERT ANDUZE)
5	09381X0021/SOUGN	ANDUZE	PUITS DE MONSIEUR SOUGNAC	3,970792	44,068685	152,34	PUITS	5,4	4,4	EAU-INDIVIDUELLE.	PARTICULIER (MR SOUGNAC ANDUZE)
6	09381X0022/HOTRES	ANDUZE	PUITS DE L'HOTEL RESTAURANT	3,969884	44,067438	147,53	PUITS	8,2	5,4	EAU-INDIVIDUELLE.	PARTICULIER (MR WEBER A ANDUZE)
7	09381X0023/SNCF	ANDUZE	STATION SNCF	3,981786	44,064386	142,36	PUITS	13	11,8	EAU-INDIVIDUELLE.	SNCF
8	09381X0028/MOULIN	ANDUZE	PUITS DE MONSIEUR MOULINE	3,995013	44,041778	124,06	PUITS	6,4	5,3	EAU-INDIVIDUELLE.	PARTICULIER (MR MOULINE A ANDUZE)
9	09381X0035/MOLES	ANDUZE	PUITS DE MONSIEUR CLUGEL PLAN DES MOLES	3,986407	44,041993	129,44	PUITS	2,3	1,2	EAU-INDIVIDUELLE.	PARTICULIER (MR CLUGEL A ANDUZE)
10	09381X0036/PONTIE	ANDUZE	PUITS PARTICULIER LA PONTIERE	3,988211	44,039536	133,34	PUITS	0	4,1	EAU-INDIVIDUELLE.	PARTICULIER
11	09381X0037/CABOTE	ANDUZE	PUITS PARTICULIER LA CABOTTE	3,993255	44,045855	130,81	PUITS	3,9	3,7	EAU-INDIVIDUELLE.	PARTICULIER
12	09381X0016/PTSBAS	ANDUZE	PUITS DE MR LAFONT OU PUIITS DU BAS	3,975021	44,068084	132,7	PUITS	6,2	4,2	EAU-IRRIGATION.	PARTICULIER (MR LAFONT A ANDUZE)
13	09381X0027/MLNEUF	ANDUZE	MOULIN NEUF	3,989879	44,054636	128,05	PUITS	5,9	4,2	EAU-IRRIGATION.	PARTICULIER (MR FAYET A ANDUZE)
14	09381X0033/SANTE	ANDUZE	MAISON DE SANTE	3,986148	44,050639	127,34	PUITS	6,6	6,6	EAU-IRRIGATION.	Particulier M. J. Gounelle - Boulogne-Billancourt
15	09381X0034/CLUGEL	ANDUZE	PUITS DE MONSIEUR CLUGEL PLAN DES MOLES	3,988538	44,042322	124,85	PUITS	5,2	2,4	EAU-IRRIGATION.	PARTICULIER (MR CLUGEL A ANDUZE)
16	09381X0119/4VENTS	ANDUZE	IMPASSE DES 4 VENTS	3,97949	44,051086	185	FORAGE	40		EAU-IRRIGATION.	
17	09381X0120/P2C	ANDUZE	LA MADELEINE	4,000729	44,040441	122	FORAGE	36	5,71	PIEZOMETRE.	
18	09381X0121/PZAMON	ANDUZE	LA MADELEINE	4,000513	44,040258	121	PIEZOMETRE	8,6	5,63	PIEZOMETRE.	
19	09381X0123/P1	ANDUZE	MAS DE PAULET	4,000902	44,040373	124	PIEZOMETRE	11		PIEZOMETRE.	
20	09125X0032/S	CENDRAS	ferme de la Fure ou source de Goujoure	4,03726	44,144238	185	SOURCE	0		EAU-DOMESTIQUE.	M. DUMOULIN
21	09125X0028/RATIN	CENDRAS	MAISON NEUVE - PUIITS RATIN	4,027023	44,157893	159	PUITS	5,5	5,5	EAU-INDIVIDUELLE.	PARTICULIER (M. RATIN - CENDRAS)
22	09125X0030/SPSNCF	CENDRAS	STATION DE POMPAGE SNCF	4,031346	44,156029	152	PUITS	6,6		EAU-INDIVIDUELLE.	SNCF
23	09126X0096/NOGARE	CENDRAS	SCIERIE NOGARET	4,057207	44,159514	150	PUITS	7,05	6,4	EAU-INDIVIDUELLE.	DDE
24	09125X0025/CENTRE	CENDRAS	MALATAVERNE CENTRE HAMEAU	4,030156	44,158117	155	PUITS	8,21	5,8	EAU-IRRIGATION.	PARTICULIER (M. BOUCHET)
25	09125X0026/HAUT	CENDRAS	MALATAVERNE HAUT DU VILLAGE	4,02976	44,157403	55	PUITS	9,17	5,7	EAU-IRRIGATION.	PARTICULIER (M. CHAMBAREDON EMILE)
26	09125X0027/ANDRE	CENDRAS	SAINT-ANDRE	4,031184	44,159092	159	PUITS	10,1		EAU-IRRIGATION.	PARTICULIER (M. ROUSTAN - CENDRAS)
27	09125X0070/MALATA	CENDRAS	MALATAVERNE	4,033109	44,156453	153	FORAGE	22	3	EAU-IRRIGATION.	ASSOCIATION D'IRRIGANTS
28	BSS002PTFR/MALATA	CENDRAS	MALATAVERNE	4,031715	44,156977	156	PIEZOMETRE	36		PIEZOMETRE.	COMMUNE DE CENDRAS
29	09381X0116/11247	GENERARGUES	MAS DE L'ISCANT	4,0063	44,089834	280	FORAGE	70	10	CHAUFFAGE.	
30	09381X0026/BAMBUS	GENERARGUES	BAMBUSERAIE PRAFRANCE	3,978365	44,071637	133,82	PUITS	5,35	5	EAU-INDIVIDUELLE.	PARTICULIER
31	09374X0073/C	THOIRAS	VALAT DE ROUBESCUT. LE CAMPSOUREILLE. D 90	3,91952	44,093804	210	CARRIERE	50		EAU-INDUSTRIELLE.	RUAS EMILE A THOIRAS
32	09381X0040/ROUX	TORNAC	LE MAS NEUF	4,000994	44,032508	131,08	PUITS	15	13,9	EAU-INDIVIDUELLE.	PARTICULIER (MR ROUX FRANCK A TORNAC)
33	09381X0041/BEAU	TORNAC	MAS DE BEAU	4,0132	44,0317	119	PUITS	5	4,6	EAU-INDIVIDUELLE.	MR BASTIDE MAS DE BEAU A TORNAC
34	09381X0064/F	TORNAC	DOMAINE DE TAUPESSARGUES	3,971646	44,018078	265	FORAGE	60	19,6	EAU-INDIVIDUELLE.	DOMAINE DE TAUPESSARGUE A TORNAC
35	09381X0059/CAVINI	TORNAC	CAVE COOPERATIVE VINICOLE	4,005053	44,025967	130,15	PUITS	15,27	11,9	EAU-INDUSTRIELLE.	COOP-AGRICOLE (CAVE COOPERATIVE VENICOLE)
36	09381X0038/MAURIN	TORNAC	PUITS DE MONSIEUR MAURIN LA MADELEINE	4,001389	44,037724	122,96	PUITS	5,2	5,1	EAU-IRRIGATION.	PARTICULIER (MR MAURIN TORNAC)
37	09381X0039/MADELE	TORNAC	SOURCE DE LA MADELEINE	4,000987	44,03674	125	SOURCE	0		EAU-IRRIGATION.	PARTICULIER
38	09381X0071/FP	TORNAC	FORAGE PARTICULIER	4,017507	44,033977	118	FORAGE	5,3	3,9	EAU-IRRIGATION.	PARTICULIER

**Tableau 23 : Points d'eau souterraine enregistrés en BSS hors usage AEP (source : <http://infoterre.brgm.fr>)**

De nombreux points d'eau recensés en BSS font état d'un usage sensible (domestique et d'irrigation) en aval des anciens travaux miniers.

### 3.1.2 Données autres

Les informations relevées par GEODERIS lors d'échanges avec les locaux (particuliers, associations, mairies, etc.) attestent de l'utilisation des eaux souterraines pour des usages domestiques et d'irrigation à proximité immédiate d'anciennes zones de travaux miniers. Ces points de captage privés, non déclarés en mairie, n'ont pas pu être précisément identifiés et localisés.

Toutefois lors des campagnes d'investigations de terrain, plusieurs points de captages d'eau souterraine ont pu être observés. Il s'agit de puits privés ou de tuyaux d'arrosage positionnés sur des sources ou des émergences minières. Ces points de prélèvement se trouvent :

- au niveau des anciens corons de la mine de Carnoulès (puits) ;
- à la Baraquette sur la commune de Corbès (source et émergence minière) ;
- au lieu-dit Paleyrolle (émergence au niveau du Valat de Serre) ;
- sur le versant au nord-est du hameau Carnoulès (émergence minière) ;
- au Mas d'Alzon / Les Sognes (émergence minière).

Les tuyaux d'arrosage rejoignent des habitations. L'usage de l'eau sur ces points peut donc être considéré comme sensible, car à vocation domestique et/ou d'irrigation.

Au regard de tous ces éléments, les eaux souterraines du secteur sont utilisées pour des usages considérés comme sensibles (domestique et irrigation) notamment en aval des anciens travaux miniers.

### 3.1.3 Captages AEP

L'ARS (Agence Régionale de Santé Occitanie – délégation départementale du Gard) a été sollicitée par le BRGM dans le cadre du volet hydrogéologique de la présente étude sanitaire et environnementale.

L'ARS a transmis un rapport intitulé « *Note sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine sur les zones impactées par les anciens sites miniers de Carnoulès et la Croix-Pallières* » en date de 2016. Ce rapport est indiqué en **annexe 2**.

Le rapport ARS permet d'apprécier la situation sanitaire de 13 points de captage AEP du secteur étudié. Les communes concernées sont ;

- Saint-Félix-de-Pallières ;
- Thoiras ;
- Tornac ;
- Générargues ;
- Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille.

Compte tenu de leur proximité avec les secteurs investigués, les ressources situées sur les communes de Corbès, Anduze et Mialet ont également été intégrées.

La localisation des captages AEP se trouve sur la Figure 46 suivante.



Figure 46 : Localisation des captages AEP du secteur (source : document ARS30)

Des analyses sont effectuées au niveau des ressources, des installations de traitement et de production et des réseaux de distribution. À chaque type d'analyse correspondent différents paramètres, dont certains métaux.

Les fréquences de contrôle, fixées par le code de la santé publique, dépendent des débits produits et des populations desservies.

Les installations des communes citées plus haut font l'objet des analyses de métaux (ou éléments métalliques) suivantes :

- au niveau des ressources (analyse tous les 1, 2, ou 5 ans) avec les paramètres antimoine, arsenic, bore, cadmium, fer, manganèse, nickel, sélénium ;
- au niveau des installations de traitement et de production (analyse tous les 1 ou 2 ans) avec les paramètres aluminium, arsenic, baryum, bore, fer, manganèse, mercure, sélénium ;
- au niveau des réseaux de distribution (1 à 2 analyses par an) avec les paramètres antimoine, cadmium, chrome, cuivre, fer, nickel, plomb, zinc.

Certaines installations ou réseaux font l'objet, en plus de ces analyses, d'un suivi renforcé pour certains paramètres (cas de l'arsenic, par exemple).

Par ailleurs, afin de compléter l'état des lieux de la qualité des différentes ressources du secteur, l'ARS a réalisé, fin octobre 2015, une campagne spécifique d'analyses portant sur la recherche de 13 métaux (antimoine, arsenic, baryum, cadmium, chrome, cuivre, fer, manganèse, mercure, nickel, plomb, sélénium, zinc) au niveau des captages d'eau brute.

Le Tableau 24 synthétise les observations formulées par l'ARS dans sa note.

Syndicat	Nom du captage	Localisation du captage	Observations de l'ARS
SIAEP de Tornac-Massillargues-Atuech	Forage d'Atuech	Massillargues-Atuech	Alimente les communes de Tornac et Massillargues-Atuech. Captage situé hors influence des anciens sites miniers. Eau de bonne qualité.
	Source du Moulin de Baron	Saint-Félix-de-Pallières	Mélange des sources au décanteur du Moulin Baron. Plomb : concentration maximum de 8 µg/l observée en mars 1998. Absence d'arsenic et d'antimoine.
	Source du Bois de Bourguet		Risque ponctuel de pollution du captage du Moulin de Baron par les eaux du ruisseau de Paleyrolle en cas de forte crue : supprimé par des travaux d'étanchéisation et de rehaussement des aérations du captage.
Syndicat de l'Avène	Champ captant de Tornac	Tornac	Alimente une partie d'Anduze via l'unité de distribution d'Avène-Boisset.
	Captages des Plantiers et des Dauthunes	Cendras et Les Salles du Gardon (hors influence des anciens sites miniers)	Alimente entre autre Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille via l'unité de distribution d'Avène/Saint-Etienne en mélange avec d'autres ressources. Concentrations en arsenic : - proche de la limite de qualité de 10 µg/l ; - dépassements ponctuels relevés en 2013 avec 11,2 µg/l à la ressource et 13,8 µg/l en distribution. Concentrations en antimoine : - dépassement de la limite de qualité fixée à 5 µg/l entre 2012 et 2014 (concentration maximum de 6,5 µg/l) mais provenant des captages éloignés du secteur minier. Suivi renforcé pour l'antimoine et l'arsenic (30 à 40 analyses par an) sur l'ensemble des réseaux desservis.
Syndicat de Lasalle	Source du Pont de Salindre	Thoiras	Alimente les communes de Thoiras et Saint-Félix-de-Pallières. Arsenic : concentration relativement stable, variant entre 4 et 6 µg/l. Absence d'antimoine. Plomb : concentration maximale observée de 2,4 µg/l.
	Source Montaud ou Tresfont	Saint-Félix-de-Pallières	Alimente la commune de Durfort. Présence de métaux non observée en octobre 2015.
	Source du Moulin d'Arnaud	Thoiras	Alimente la commune de Fressac. Arsenic : concentration maximale de 7,7 µg/l observée en 2012.
-	Puits de Cornadel (ou Coudoulous)	Généralgues	Alimente la commune de Généralgues. Arsenic : concentration stable de 2 µg/l. Antimoine : concentration stable de 2 µg/l relevée en octobre 2015.
-	Captage de la Ranque	Corbès	Arsenic : dépassement ponctuel de la limite de qualité (en aout 2015). Contrôle sanitaire renforcé du réseau pour l'arsenic (8 analyses par an).
-	Champ captant Plaine Labahou	Anduze	Alimente une partie de la commune d'Anduze. Concentrations relevées en octobre 2015 : - 1,6 µg/l en arsenic ; - 7 µg/l en plomb (limite de qualité fixée à 10 µg/l) ; - 13 µg/l en nickel (limite de qualité fixée à 20 µg/l).
-	Captage de Mas Raymon	Mialet	Captage éloigné des anciens sites miniers.
-	Captage de Lestanier		Concentration ponctuelle en arsenic et en plomb (uniquement pour celui de Lestanier), à des niveaux toujours inférieurs aux limites de qualité.
-	Captage des Camisards		Concentrations en octobre 2015 : - Lestanier : 7 µg/l en arsenic, 4 µg/l en plomb ; - Camisards : 4 µg/l en arsenic.

**Tableau 24 : Synthèse des observations formulées par l'ARS dans la « Note sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine sur les zones impactées par les anciens sites miniers de Carnoulès et La-Croix-Pallières »**



### 3.1.4 Volumes captés dans les ouvrages de prélèvements

Le système d'information sur l'eau SIE du bassin Rhône-Méditerranée donne une estimation des volumes annuels captés dans les ouvrages de prélèvement par usage de l'eau au niveau de la zone d'étude pour l'année 2016 indiqué dans le Tableau 25.

Les ouvrages avec un faible volume prélevé (usagers non redevables) ne sont plus recensés dans la base depuis 2012.

Commune	Nom de l'ouvrage	Volume annuel capté (milliers de m <sup>3</sup> )	Usage	Milieu prélevé	Libellé masse d'eau
Anduze	Puits dans nappe - station d'épuration	24	Autre usage économique	Eau souterraine	Alluvions du moyen Gardon + Gardons d'Alès et d'Anduze
	Puits Labahou - puits P2	273	Eau potable	Eau souterraine	
	Forage Labahou - forage F2	90			
Généralgues	Puits dans nappe Cornadel	72	Eau potable	Eau souterraine	
Tornac	Puits dans nappe Tornac - usine de Boisset	3 685	Eau potable	Eau souterraine	
Boisset et Gaujac	Forage n°1 camping domaine de Gaujac	3,1	Eau potable	Eau souterraine	
	Forage n° 3 piscine domaine de Gaujac	0	Eau potable		
	Forage n°2 camping domaine de Gaujac	5	Eau potable		
Massillargues Attuech	Forage dans nappe lieu-dit Boussois nord	6	Irrigation non gravitaire	Eau souterraine	
	Puits de la plaine	92	Eau potable	Eau souterraine	
Thoiras	Prise d'eau dans le gardon canal de Massies	0	Canal	Eau superficielle	Le Gard de sa source au Gardon de Saint-Jean inclus et le Gardon de Sainte-Croix
		55	Irrigation non gravitaire		
	Prise dans la Salendrenque lieu-dit la Montée	0	Irrigation non gravitaire	Eau superficielle	Rivière la Salindrenque
		0	Canal		
	Prise dans la Salindrenque	9	Autre usage économique		
		58	Canal		
Source Pont de Salindres	148	Eau potable	Eau souterraine		
Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Forage LD la Vernède	4	Irrigation non gravitaire	Eau souterraine	Formations sédimentaires variées de la bordure cévenole
	Forage dans nappe lieu-dit le Ranc	2	Irrigation non gravitaire	Eau souterraine	
Corbès	Source la Ranque	17	Eau potable	Eau souterraine	
Saint-Félix-de-Pallières	Source Moulin du Baron	74,3	Eau potable	Eau souterraine	
Généralgues	Prise dans le Gardon seuil du Mas du Pont	17	Autre usage économique	Eau superficielle	
		2371	Canal		
	Pompages dans le canal de la Bambouseraie	35	Autre usage économique	Eau superficielle	Le Gard du Gardon de Saint-Jean au Gardon d'Alès

**Tableau 25 : Volume annuel capté par ouvrage de prélèvement et par usage de l'eau (source : <http://sierm.eaurmc.fr/telechargements/telechargement/telechargement.php>)**

### 3.1.5 Périmètres de protection des captages AEP

Les périmètres de protection de captage sont établis autour des sites de captages d'eau destinée à la consommation humaine, en vue d'assurer la préservation de la ressource. Cette protection mise en œuvre par les ARS comporte trois niveaux établis à partir d'études réalisées par des hydrogéologues agréés en matière d'hygiène publique :

- **Le périmètre de protection immédiate** : site de captage clôturé appartenant à une collectivité publique. Toutes les activités y sont interdites hormis celles relatives à l'exploitation et à l'entretien de l'ouvrage de prélèvement de l'eau et au périmètre lui-même. Son objectif est d'empêcher la détérioration des ouvrages et d'éviter le déversement de substances polluantes à proximité immédiate du captage.
- **Le périmètre de protection rapprochée** : secteur plus vaste pour lequel toute activité susceptible de provoquer une pollution y est interdite ou est soumise à prescription particulière (construction, dépôts, rejets, etc.). Son objectif est de prévenir la migration des polluants vers l'ouvrage de captage.
- **Le périmètre de protection éloignée** : facultatif, ce périmètre est créé si certaines activités sont susceptibles d'être à l'origine de pollutions importantes. Ce secteur correspond généralement à la zone d'alimentation du point de captage, voire à l'ensemble du bassin versant.

La consultation de la base de données PICTO (Portail Interministériel de la Connaissance du Territoire en Occitanie) montre que 2 périmètres de protection couvrent des zones d'anciens travaux miniers : sources du Moulin de Baron et du Pont de Salindre (Figure 47).



Figure 47 : Localisation des périmètres de protection des captages AEP du secteur d'étude (source : <https://carto.picto-occitanie.fr>)

Les caractéristiques de ces périmètres sont synthétisées dans le Tableau 26 suivant.

Nom du captage	Périmètre de protection	Arrêté Préfectoral portant DUP <sup>17</sup>	Aquifère exploité	Volume AEP autorisé	Observations
<b>Moulin du Baron</b>	<u>Rapproché</u> (parcelles 438 et 438 section B1 de Saint-Félix-de-Pallières)	2002-29-4	Dolomies du Bajocien	8 m <sup>3</sup> /h 192 m <sup>3</sup> /jour	<p>Extraits du rapport « Détermination des périmètres de protection », J-L. Reille, juillet 1998 :</p> <p>« L'eau circule dans le maillage d'un réseau karstique originel, mais fortement colmaté par le sable dolomitique. [...] »</p> <p>Les points d'émergence de l'eau sont situés notablement plus hauts que le fil d'eau du ruisseau de Paleyrolle en hautes-eaux, hors période d'inondation [...]</p> <p>L'origine de l'eau est à rechercher essentiellement dans les infiltrations pluviales au niveau des affleurements de la roche magasin, notamment dans le bassin versant superficiel situé à l'amont du captage, au niveau des collines du Bois-Bas ».</p> <p><b>Remarques formulées par GEODERIS :</b></p> <p>Le périmètre de protection rapproché comprend une partie des anciens travaux miniers de la Baraque dont des dépôts de matériaux de creusement.</p> <p>En partie amont du ruisseau de Paleyrolle sont situés les travaux et haldes de la mine Joseph.</p> <p>La source du Valat de Serre est une émergence minière qui rejoint le Paleyrolle en amont du captage du Moulin de Baron.</p>
<b>Pont de Salindre</b>	<u>Eloigné</u>	9009-073	Calcaires et dolomies de l'Hettangien et du Sinémurien	700 m <sup>3</sup> /jour	<p>Extraits du document « Enquête géologique réglementaire relative à l'établissement des périmètres de protection du captage de Thoiras », C. Sauvel, BRGM, rapport 84LRO27ER, septembre 1984 :</p> <p>« La source captée peut être considérée comme une source de déversement, l'eau provient du système karstique développé dans les calcaires et dolomies de l'Hettangien et du Sinémurien qui affleurent largement vers le SW jusqu'à Saint-Félix-de-Pallières en formant les reliefs du Bois Durant, du Mont Cerviers et du Bois de Barre [...] »</p> <p>Contamination de l'eau souterraine : le bassin d'alimentation est assez peu habité et il y a peu de risques de pollution. On signalera toutefois [...] les stockages de stériles et les bassins des mines de la Vieille Montagne [...] qui constituent des foyers possibles de contamination. En ce qui concerne les mines de Saint-Félix-de-Pallières, c'est surtout une contamination chimique qu'il faut craindre et à ce titre une analyse physico-chimique complète de l'eau avec recherche des toxiques peut être préconisée ».</p> <p><b>Remarques formulées par GEODERIS :</b></p> <p>Le périmètre de protection éloigné comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- le carreau de mine et les travaux de Croix-de-Pallières ;</li> <li>- le dépôt de résidus de traitement ;</li> <li>- l'ancienne Fabrique (usine à vitriol) au sud du hameau de Pallières ;</li> <li>- une partie des travaux de Pallières et Gravouillère ;</li> <li>- une partie des travaux des Adams.</li> </ul> <p>De nombreux dépôts de matériaux de creusement, d'extraction, et des résidus de traitement chargés en métaux et métalloïdes (notamment plomb, zinc, arsenic, cuivre, cadmium, antimoine) se trouvent sur les secteurs précités.</p>

**Tableau 26 : Caractéristiques des captages AEP du Moulin de Baron et du Pont de Salindre**

Les rapports hydrogéologiques et les arrêtés préfectoraux de ces deux captages AEP sont indiqués en **annexe 3**.

<sup>17</sup> DUP = Déclaration d'Utilité Publique

### 3.2 Aléa inondation

La zone d'étude est concernée par plusieurs Plans de Prévention des Risques naturels (PPRn) pour l'aléa inondation (Tableau 27).

Commune	PPRn	Aléa	Prescrit	Approuvé
Anduze	30DDTM20140029 - PPRi Communal	Par une crue torrentielle ou à montée rapide de cours d'eau	26/12/2012	28/02/2014
Thoiras Corbès Saint-Sébastien- d'Aigrefeuille	30DDTM20130107 - St Jean de Mialet, Salendrique	Par une crue torrentielle ou à montée rapide de cours d'eau	17/09/2002	-
Saint-Félix-de-Pallières	30DDTM20130032 - Haut Vidourle (extension 1)	Par une crue torrentielle ou à montée rapide de cours d'eau	17/09/2002	-
Tornac Généralgues	30DDTM20130116 - R111-3 Gardon d'Anduze	Par une crue torrentielle ou à montée rapide de cours d'eau	-	27/04/1995

**Tableau 27 : Plans de Préventions des Risques inondation prescrits et approuvés sur le secteur d'étude (source : <http://www.georisques.gouv.fr>)**

### 3.3 Zonage sismique

Toutes les communes du secteur étudié se trouvent en zone de sismicité faible (niveau 2).

### 3.4 Aléa retrait-gonflement des argiles

L'aléa retrait-gonflement des argiles est découpé en quatre niveaux d'aléa (fort, moyen, faible et *a priori* nul).

Le secteur étudié est concerné par les zonages d'aléa faible et d'aléa *a priori* nul.

### 3.5 Espaces naturels sensibles

D'après la base de données PICTO le secteur d'étude est inclus au sein des espaces naturels sensibles suivants :

- Inventaire des zones humides (SMAGE des gardons) ;
- ZNIEFF de type I : Massif du Bois Nègre et de Bois de Rouville (identifiant national 910011801) ;
- ZNIEFF de type I : Vallons autour du ruisseau de Roquefeuil (identifiant national 910011786) ;
- Parc national des Cévennes (FR 3400004) ;
- ZNIEFF de type II : Hautes vallées des Gardons (Identifiant national : 910014075) ;
- Natura 2000 : Directive habitat : Vallée du Gardon de Mialet (FR9101367) ;
- Natura 2000 : Directive habitat : Vallée du Gardon de Saint-Jean (FR9101368).

### 3.6 Installations classées

La base de données sur les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) du Ministère en charge de l'Environnement recense les activités et installations soumises à autorisation ou enregistrement (en construction, fonctionnement ou cessation d'activité).

Les établissements ICPE du secteur d'étude sont indiqués dans le Tableau 28 suivant.

Commune	Exploitation	Activité	Régime	Etat
Anduze	ANDRE Jean-Paul	Travaux de terrassement	Enregistrement	En activité
Anduze	Comptoir Cévenol du bois	Travail du bois	Autorisation	En activité
Anduze	Gc conseil	Installation de stockage de déchets inertes	Enregistrement	En activité
Thoiras	Leygue Henry SARL	Exploitation de carrière	Enregistrement	En activité
Tornac	ANDRE Jean-Paul	Exploitation de carrière	Autorisation	En activité
Tornac	Cc autour d'Anduze	Centre d'ordures ménagères	Autorisation	En cessation d'activité
Tornac	Vignerons de Tornac SCA	Préparation et conditionnement de vin	Enregistrement	En activité
Saint-Félix-de-Pallières	MARTIN André	Exploitation de carrière	Autorisation	En cessation d'activité

Tableau 28 : Etablissements ICPE recensés sur la zone d'étude (source : <http://www.installationsclassées.developpement-durable.gouv.fr/>)

Aucune activité ou installation classée ICPE n'est recensée sur les communes de Corbès, Générargues et Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille.

### 3.7 Base de données BASOL

La base de données BASOL répertorie les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant à une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif.

Deux fiches BASOL sont relevées sur le secteur d'étude :

- la mine de la Croix-de-Pallières sous l'identifiant 30.0031 ;
- le dépôt de résidus de traitement de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille sous l'identifiant 30.0012.

#### Fiche BASOL 30.0031

La fiche BASOL consultée a été publiée le 26 mai 2016. Les éléments suivants y sont indiqués.

« La zone d'étude comprend deux anciens sites miniers :

- 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.

[..]

*La mine Joseph fut exploitée dès l'époque romaine pour la galène argentifère. Elle a été exploitée de manière conséquente avant 1907 (pas d'indication connue de la production). Entre 1948 et 1955, 24 000 t de minerai renfermant 4,5 % de plomb métal environ auraient été extraits. En 1955, la mine Joseph est abandonnée.*

*L'activité en surface semblait limitée à quelques bâtiments et aucun traitement de minerai n'aurait été réalisé sur site.*

*[...]*

*Le gisement de La-Croix-De-Pallières, connu depuis l'époque romaine, a donné lieu à trois grandes périodes d'exploitation dès 1844 (année de découverte du gisement de minerai de zinc et de galène argentifère), à savoir 1844 - 1888 ; 1911 - 1931 et enfin 1948 - 1971.*

*[...]*

*La mine a produit, lors de son exploitation, 80 000 t de zinc, 34 000 t de plomb, 30 t d'argent, 520 t de cadmium et 28 t de germanium.*

*La zone d'étude comprend un habitat dispersé ou hameau ainsi qu'un dépôt occupé par une association "La Mine, espace temporaire d'accueil". Ce dépôt, situé sur le territoire communal de Thoiras, présente de fortes marques d'érosion.*

*[...]*

*À noter la présence - côté THOIRAS - d'un dépôt de résidus de laverie résultant de l'activité industrielle connexe à l'activité minière de l'époque ; les minerais extraits y étaient concentrés par flottation. Ce dépôt est aujourd'hui totalement végétalisé, et sa gestion est assurée par l'ancien exploitant minier UMICORE. [...]* »

#### Fiche BASOL 30.0012

La fiche BASOL consultée a été publiée le 27 juillet 2015. Les éléments suivants y sont indiqués.

*« Il s'agit d'un dépôt de sables et de boues riches en sulfures (pyrite arséniée et galène) issus d'une installation de traitement de minerais de plomb et de zinc (résidus de flottation) qui a cessé son activité en 1963.*

*Le dépôt de 500 000 m<sup>3</sup> environ, est constitué au milieu et en travers de la partie amont du bassin versant du ruisseau Reigous sur l'emplacement d'une ancienne source.*

*Un filet d'eau polluée surgit à la base en aval du dépôt qui fonctionne comme un réacteur hydrogéochimique "naturel" produisant des eaux acides, sulfatées et riches en métaux par oxydation des sulfures. Cette « source » forme le Reigous qui s'écoule en aval du dépôt sur 1,5 km dans une zone rocheuse non occupée, avant de rejoindre la rivière Amous qui elle-même rejoint le Gardon d'Anduze 5 km plus loin. [...]*».

### **3.8 Base de données BASIAS**

La base de données BASIAS (Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Services) développée par le BRGM recense les sites industriels, en activité ou non, susceptibles d'engendrer une pollution de l'environnement.

Les sites BASIAS référencés au niveau de la zone d'étude sont indiqués dans le Tableau 29 suivant.

REFERENCE	COMMUNE	NOM	ACTIVITE	ETAT
LRO3000138	Thoiras	Usine Mirial	Usine de vitriol faisant partie de l'ensemble d'industrie extractive des mines de Pallières, construite en 1812. Autorisation impériale de fonctionnement en 1813. Arrêt de la production en 1856. Elevage porcin par la suite.	Activité terminée
LRO3000137	Thoiras	Société des Mines de la Vieille Montagne	Concession de pyrite de fer rendue perpétuelle en 1812 et agrandie en 1822 par celle de la Gravouillère. L'exploitation reste artisanale et alimente principalement l'usine de vitriol Mirial.	Activité terminée
LRO3002037	Saint-Félix-de-Pallières	UMICORE, ex UNION MINIERE, ex Vieille Montagne	Découverte de la présence en profondeur de blende et de galène en 1844. L'usine de traitement du minerai (broyage et concentration) est créée en 1926. Le site est exploité jusqu'à sa fermeture en 1971. Les bâtiments du carreau sont détruits en 1991.	
LRO3000139	Tornac	Usine des mines de Pallières	Usine faisant partie de l'ensemble d'industrie extractive des mines de Pallières. Usine à enrichir le minerai de zinc et de plomb des mines de Pallières (concession de 1848), Valensole (1858) et La Coste (1839). Fin probable vers 1875. Une partie des bâtiments a été conservée comme habitation et réhabilitée.	Activité terminée
LRO3000070	Mialet	Mine du Pradinas	Mine faisant partie de la concession des Adams. Créée en mai 1855 et exploitée assez sommairement. Vente à la Société des Mines et Usines de Pallières en 1863 qui exploite la pyrite. Activités cessées en 1883. Vente à la société des Mines de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille en 1908 pour des travaux de recherche (plomb argentifère). Abandon et renonciation à la concession en 1924.	Activité terminée
LRO3000043	Corbès	Mine des Adams	Moulin des Adams attesté vers 1820. Concession pour la pyrite créée en mai 1855 exploitée d'abord un peu en aval du moulin puis autour du Serre jusqu'en 1862. Production de 1750 tonnes en 5 ans. Cession à la Société des Mines et Usines de Pallières en 1863. Le moulin des Adams est transformé en soufflerie pour l'aérage des travaux souterrains et installation de broyage du minerai. Arrêt des travaux en 1883. Vente à la Société des Mines de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille en 1903. Concession renoncée en 1924. Les bâtiments du moulin ont été réhabilités en habitation.	Activité terminée
LRO3000042	Corbès	Papèterie Pique, moulin Baron	Moulin à foulon créé en 1791 en aval d'un autre moulin. Transformation en papèterie en 1838. Installation d'un atelier de tournage de manches d'outils début 1900. En 1960 les bâtiments servent de magasin de vente en gros de papier puis deviennent une habitation.	Activité terminée

REFERENCE	COMMUNE	NOM	ACTIVITE	ETAT
LRO3000304	Anduze	Comptoir cévenol du bois	Atelier de fabrication de produits de réfection de carrosserie et produits se rapportant à la peinture et ses dérivés. Produits d'agriculture.	Activité terminée
LRO3000129	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Moulin de l'Argent	L'exploitation du gisement de plomb argentifère de Carnoulès est attestée dans le 4 <sup>ème</sup> quart du 17 <sup>ème</sup> siècle et s'arrête en 1738. La reprise de la mine de Carnoulès s'effectuera en 1833.	Activité terminée
LRO3000130	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Société Minière et Métallurgique de Peñarroya (SMMP)	Gisement exploité à plusieurs reprises avant 1740. Ouverture de la concession en 1833. Création en 1862 de la Société des Mines de plomb argentifère de Carnoulès. Constitution de la Société Anonyme des Mines de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille en 1906. Les travaux sont arrêtés en 1918, repris en 1926 et de nouveau arrêtés en 1934. Les bâtiments sont vendus et la concession renoncée en 1936. Un permis d'exploitation est accordé à la SMMP en 1953. Cessation de toute activité minière en 1962. Désarmement et démolition de la plupart des bâtiments. Production en 1865 : 5 800 t de galène argentifère ; en 1928, 1 500 t et en 1957, 4190 t.	Activité terminée
LRO3002072	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	SMMP	Dépôt de résidus miniers.	Activité terminée
LRO3002383	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	METALEURO P (ex SMMP)	Un dépôt issu du traitement de minerais de plomb et de zinc est constitué dans le talweg d'un cours d'eau par la société SMMP (devenue METALEURO P). Son exploitation a été arrêtée en 1962.	Activité terminée

Tableau 29 : Sites BASIAS recensés sur le secteur d'étude (source : <http://www.georisques.gouv.fr>)

Les fiches BASOL et BASIAS sont indiquées en annexe du rapport sur la cartographie des sources de contamination référencé GEODERIS S2018-117DE.



## 4 SCHEMA CONCEPTUEL PRELIMINAIRE

À l'issue de l'étude historique, documentaire et de vulnérabilité, un schéma conceptuel préliminaire peut être établi.

Ce schéma conceptuel correspond à un état des lieux des différents milieux d'exposition et les voies d'exposition aux pollutions au regard des activités et des usages constatés.

À ce titre, le schéma conceptuel doit permettre de préciser les relations entre :

- les sources de pollution ;
- les différents milieux de transfert et leurs caractéristiques, ce qui détermine l'étendue des pollutions ;
- les enjeux à protéger : les populations riveraines, les usages des milieux et de l'environnement, les milieux d'exposition, et les ressources naturelles à protéger.

Le schéma conceptuel préliminaire établit donc un certain nombre d'hypothèses que les investigations de terrain doivent permettre de confirmer ou d'infirmer. Il constitue un guide pour la conduite de ces investigations.

### 4.1 Sources potentielles de pollution

Compte tenu des activités minières mises en œuvre sur le secteur d'étude, les « milieux source » de pollution suivants peuvent être retenus :

- les anciennes installations présentes sur les carreaux de mines et à proximité des zones d'exploitation (broyeur, concasseurs, etc.), de traitement ou de transformation du minerai (laveries, fours de calcination, unités gravimétriques, usines de flottation, etc.) ;
- les dépôts de résidus de traitement et bassins de décantation ;
- les dépôts de matériaux disséminés sur le secteur et issus des opérations de scheidage, creusement ou exploitation ;
- les aquifères miniers, avec par extension les émergences minières.

### 4.2 Cibles identifiées

La population présente sur le territoire est de fait exposée à des sources potentielles de contamination. Il s'agit d'adultes et d'enfants (riverains, travailleurs, touristes) qui peuvent être :

- usagers des sols (activité de jardinage, de jeux, industrielle, d'élevage, de culture et de randonnée) ;
- usagers de l'eau (activité domestique, d'élevage, de culture, industrielle ou de baignade) ;
- producteurs et/ou consommateurs de produits alimentaires cultivés, ramassés, cueillis (plantes, légumes, fruits, champignons, œufs) et dérivés de la pêche et de la chasse, en provenance de secteurs contaminés.

En fonction de leur sensibilité, des ressources locales (eau, faune et flore) peuvent également être retenues comme cibles potentielles.

### 4.3 Voies d'exposition potentielles

Au regard des usages recensés, les voies d'exposition potentielles pour les populations humaines précédemment ciblées, comprennent :

- pour les voies d'exposition directe :
  - l'ingestion et le contact direct avec la terre et les particules issues du sol ;
  - l'ingestion d'eau ;
  - l'inhalation et l'ingestion de poussières.
- pour les voies d'exposition indirecte :
  - la consommation de fruits et légumes potagers ;
  - la consommation d'œufs et de produits issus de la pêche et de la chasse ;
  - la consommation de produits issus de la cueillette (champignons, plantes, etc.).

Les voies de transferts suivantes sont identifiées :

- le ruissellement des eaux de pluie sur les sources de contamination entraînant un transfert de métaux et métalloïdes sous forme particulaire ou dissoute vers les eaux superficielles ;
- le lessivage des sources de contamination par les eaux de pluie entraînant un transfert de contamination par percolation vers les eaux souterraines ;
- l'envol et la retombée de poussières chargées en éléments métalliques et métalloïdes ;
- la bioaccumulation dans les espèces végétales ou animales depuis des sols et des eaux chargés en éléments métalliques et métalloïdes.
-

**C**

**INVESTIGATIONS ENVIRONNEMENTALES**



# 1 INVESTIGATIONS DE TERRAIN

## 1.1 Organisation des investigations de terrain

Afin de caractériser l'état des milieux, plusieurs campagnes d'investigations ont été conduites entre 2016 et 2018. Elles ont consisté en des prélèvements dans les différents milieux source, milieux de transfert et milieux d'exposition identifiés dans le schéma conceptuel préliminaire établi à l'issue de la phase informative.

Dans le cadre des volets « **Environnement Local témoin** » et « **géologie, reconnaissance des minéralisations** » le BRGM a effectué des missions de reconnaissance :

- du 06 au 10 juin 2016 ;
- du 27 juin au 08 juillet 2016 ;
- du 18 juillet au 02 août 2016 ;
- et du 12 au 23 septembre 2016.

Dans le cadre du volet « **source de contamination** » GEODERIS accompagné par le BRGM a effectué des missions de reconnaissance :

- du 09 au 12 mai 2017 ;
- du 05 au 14 septembre 2017 ;
- du 17 au 19 octobre 2017 ;
- et du 26 au 30 mars 2018.

Dans le cadre du volet « **hydrogéologie** » GEODERIS accompagné par le BRGM a effectué des missions de reconnaissance :

- du 09 au 13 octobre 2017 (en période de basses-eaux) ;
- du 12 au 16 mars 2018 (en période de hautes-eaux).

Enfin, des campagnes dédiées aux mesures de flux atmosphériques (retombées de poussières) ont été menées par l'INERIS :

- du 09 août au 08 septembre 2016 pour Saint-Félix-de-Pallières ;
- du 13 septembre au 11 octobre 2016 pour Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille ;
- du 24 juillet au 31 août 2017, concomitamment sur les deux communes.

Les investigations de terrain ont consisté en :

- pour la matrice sol, des prélèvements d'échantillons avec analyses en laboratoire et des mesures *in situ* par fluorescence X portable (pXRF) ;
- pour la matrice sédiment, des prélèvements d'échantillons avec analyses en laboratoire ;
- pour la matrice eau, des mesures de débits, paramètres physico-chimiques *in situ*, et des prélèvements d'échantillons avec analyses en laboratoire ;
- pour les flux de poussières, des mesures de particules en suspension PM<sub>10</sub><sup>18</sup> et de retombées atmosphériques avec analyses en laboratoire.

---

<sup>18</sup> L'appellation "PM10" désigne les particules en suspension dans l'air dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres

## Campagnes de prélèvements d'eau

Deux campagnes d'investigations ont été réalisées pour la période 2017-2018. Le choix des dates de réalisation des campagnes de prélèvement a été guidé par des critères hydrologiques. En effet, pour appréhender les différents modes de fonctionnement des bassins versants sur un cycle hydrologique complet, les prélèvements d'eau doivent être réalisés en période de hautes-eaux et en période de basses-eaux.

Une première campagne de mesures et prélèvements, dite « de basses-eaux », a été conduite du 09 au 13 octobre 2017. Les prélèvements ont été réalisés en période d'étiage, installé depuis plusieurs mois, et visible sur l'histogramme des débits relevés à la station V7144010 – Gardon d'Anduze située à Anduze sous le pont du train (Figure 48).

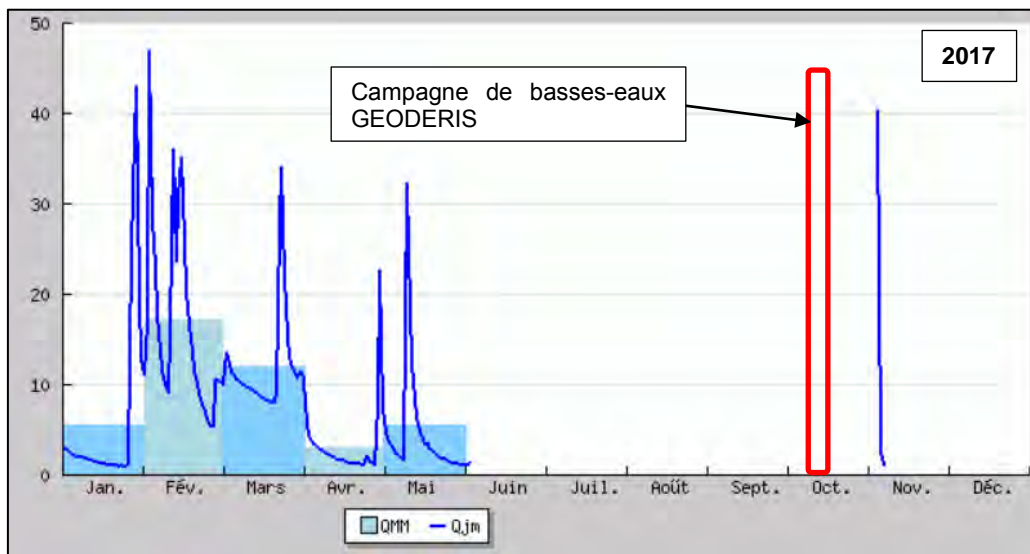


Figure 48 : Débits journaliers moyens (Qjm) et débits mensuels moyens (QMM) en  $m^3/s$  pour l'année 2017 à la station V7144010 - Gardon d'Anduze (source : <http://www.hydro.eaufrance.fr>)

La seconde campagne, dite « de hautes-eaux », s'est déroulée du 12 au 16 mars 2018. Les prélèvements ont été réalisés en période de forte pluviométrie (Figure 48).

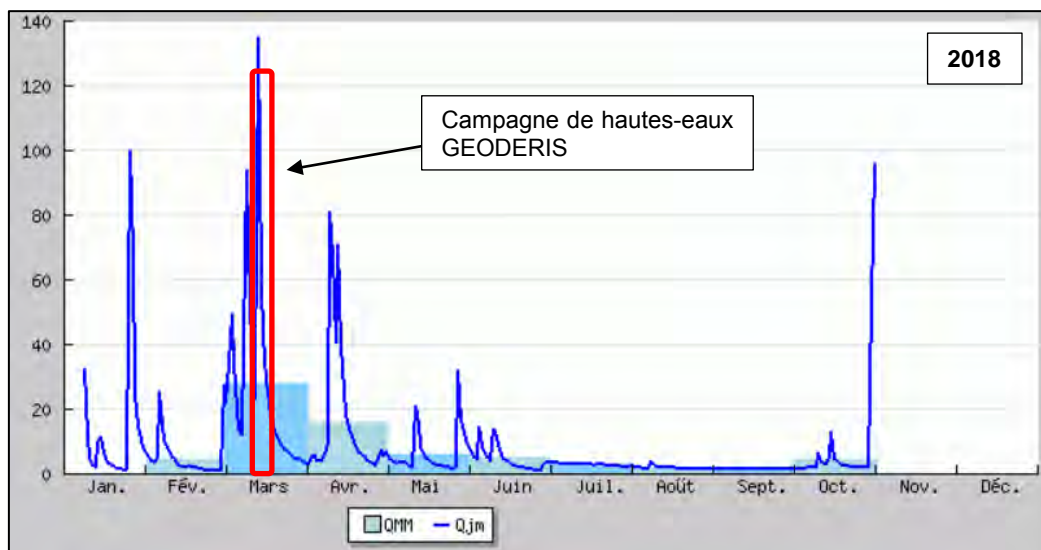


Figure 49 : Débits journaliers moyens (Qjm) et débits mensuels moyens (QMM) en  $m^3/s$  pour l'année 2018 à la station V7144010 - Gardon d'Anduze (source : <http://www.hydro.eaufrance.fr>)

La chronique de débits journaliers pour la période 2006-2018 met en lumière que lors des campagnes de prélèvements, les volumes d'écoulements correspondaient aux limites supérieures et inférieures du système hydrologique.

La représentativité des campagnes de prélèvements « basses-eaux » et « hautes-eaux » est donc considérée comme bonne.

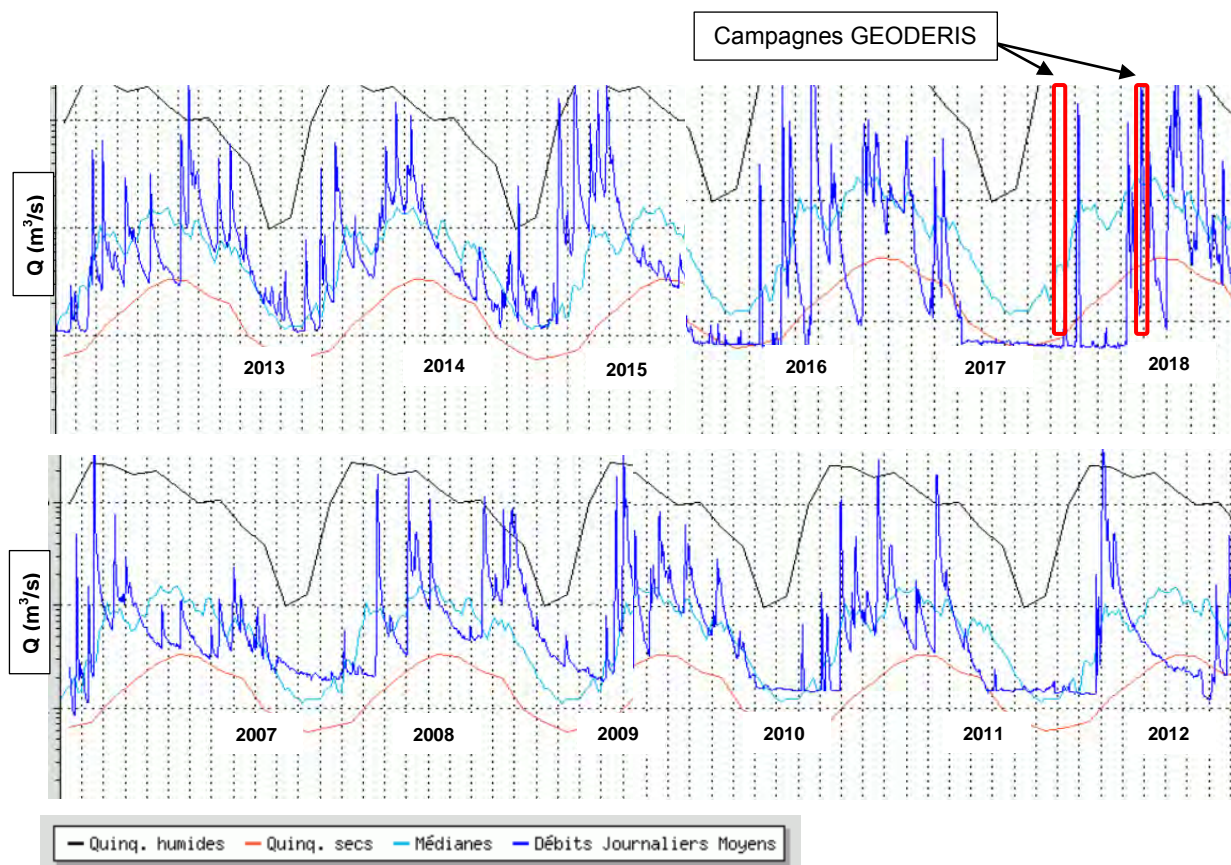


Figure 50 : Débits journaliers moyens en  $m^3/s$  pour la période 2006-2018 à la station V7144010 - Gardon d'Anduze (source : <http://www.hydro.eaufrance.fr>)

### ➤ Campagne de mesure des flux de poussières

En hypothèse majorante, les conditions météorologiques les plus favorables aux envols de poussières de sols ont été recherchées. C'est pourquoi la période la plus sèche et ventée de l'année a été choisie pour la mise en œuvre des prélèvements. D'après les données Météo France<sup>19</sup>, la période la plus sèche pour le département du Gard est comprise entre juin et août.

En fin de chacune des campagnes 2016 et 2017, cinq journées pénalisantes (vent fort et températures élevées) ont été identifiées par l'INERIS sur la base des données météorologiques enregistrées sur site. Pour chaque emplacement, seuls les filtres correspondant à ces journées ont été analysés.

<sup>19</sup> "Statistiques climatiques de la France 1971-2000" Météo France

## **1.2 Méthodes de prélèvements et mesures**

### **1.2.1 Protocole de prélèvement et mesures *in situ***

#### **1.2.1.1 Eaux de surface**

Les prélèvements d'eau en rivière mis en œuvre dans le cadre de cette étude ont été réalisés conformément aux protocoles en vigueur. Une attention particulière a été accordée aux points suivants :

##### **Localisation du prélèvement**

L'emplacement du point de prélèvement sur le linéaire du cours d'eau est défini par le plan d'échantillonnage prévisionnel, établi à partir du schéma conceptuel préliminaire. Une certaine latitude sur l'emplacement précis du prélèvement a été conservée pour s'adapter aux conditions d'accès et à d'éventuelles perturbations constatées sur place : dépôts de matériaux dans le lit du cours d'eau, rejets temporaires ou permanents, activités dans le lit du cours d'eau (passage à gué de véhicules ou de bétail, etc.).

Sur le site d'échantillonnage, l'opérateur veille à réaliser le prélèvement tant que possible au centre du cours d'eau, dans l'axe d'écoulement principal. Il évite les zones d'eaux mortes et toute autre zone de particularité hydrodynamique. Il veille également à réaliser le prélèvement à une profondeur suffisante afin d'éviter de prélever les éventuelles particules flottant en surface. Enfin l'opérateur s'assure de ne pas créer de perturbation par ses déplacements dans le lit du cours d'eau et se positionne en aval du point de prélèvement.

La description précise de la localisation du prélèvement ainsi que toute source éventuelle de perturbation sont consignées sur une fiche de prélèvement par échantillon.

La position du site est levée au GPS, et des photographies sont prises sur chaque point de prélèvement.

##### **Conditions de prélèvement**

Les conditions de prélèvement (date, période de la journée, conditions météorologiques, etc.) et les paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité) sont consignées dans la fiche de prélèvement associée à chaque échantillon.

##### **Manipulation et conditionnement des échantillons**

Une mesure de débit a été réalisée, soit par jaugeage à l'aide d'un micromoulinet muni d'une perche intégratrice, soit au seau, ou encore par estimation visuelle si le débit était trop faible. Pour les cours d'eau à débit trop important, comme par exemple pour le Gardon d'Anduze en mars 2018, les valeurs de débits ont été recueillies sur la Banque Hydro (<http://hydro.eaufrance.fr/>).

Une mesure des paramètres physico-chimiques (température, pH et conductivité) est effectuée sur place avant la prise des échantillons.

Les prélèvements sont ensuite effectués, dans la mesure du possible, par immersion directe des flacons fournis par le laboratoire au sein du flux. Les flacons et leurs bouchons sont préalablement rincés avec l'eau à prélever.



Certains flacons contiennent un acide ( $\text{HNO}_3$  par exemple pour l'analyse des métaux). Dans ce cas le prélèvement est réalisé à l'aide d'un autre flacon ou tout autre récipient inerte et préalablement rincé qui sera utilisé pour remplir le flacon contenant l'acide

Chaque prélèvement d'eau fait l'objet d'un échantillon d'eau brute et d'un échantillon d'eau filtrée à  $0,45 \mu\text{m}$ . Dans le cas des échantillons filtrés le prélèvement est réalisé à l'aide d'une seringue préalablement rincée. Les flacons fournis par le laboratoire sont remplis à l'aide de la seringue munie d'un filtre adapté sur son embout.

### **1.2.1.2 Eaux souterraines**

Les prélèvements d'eaux souterraines sont réalisés selon une méthodologie similaire aux prélèvements d'eaux de surface. Aucun prélèvement d'eau souterraine n'a été réalisé en forage ou en puits. Dans le cas spécifique des prélèvements d'eaux de sources, une attention particulière est portée à l'observation et à la compréhension du contexte d'émergence : contexte géologique et géomorphologique, existence d'aménagements, sources de contamination potentielles à proximité, etc.

Une mesure de débit (par jaugeage au seau ou estimation visuelle) et des paramètres physico-chimiques (température, pH et conductivité) est effectuée sur place avant la prise des échantillons.

Dans la mesure du possible, les flacons sont remplis soit directement dans le jet de la source si celle-ci est aménagée, soit par immersion dans un bassin aménagé ou toute autre zone la plus proche possible de l'émergence et où la hauteur d'eau est suffisante. Si le débit et/ou la configuration de l'émergence ne permettent pas un remplissage direct des flacons, un autre récipient inerte et préalablement rincé avec l'eau à prélever est utilisé pour remplir les flacons.

Comme pour les eaux de surface, chaque prélèvement fait l'objet d'un échantillon d'eau brute et d'un échantillon d'eau filtrée à  $0,45 \mu\text{m}$ . Le prélèvement des échantillons filtrés est réalisé dans les mêmes conditions que pour les eaux superficielles.

### **1.2.1.3 Sédiments**

Pour les prélèvements de sédiments, une attention particulière a été accordée aux points suivants :

#### **Localisation du prélèvement**

Les analyses physico-chimiques des sédiments étant réalisées sur la fraction fine (inférieure à  $2 \text{ mm}$ ) la plus à même de fixer les éléments métalliques, les prélèvements de sédiments se concentrent sur ce type de matériau. De ce fait, les zones de faible vitesse d'écoulement sont privilégiées : berges internes des méandres, atterrissements, bras morts, etc. Les prélèvements de sédiments sont, dans la mesure du possible, mis en œuvre à proximité des points de prélèvement d'eaux de surface.

#### **Conditions de prélèvement**

À l'instar des prélèvements d'eaux superficielles, une attention particulière est apportée aux conditions hydrologiques existant au moment du prélèvement et des jours précédents. Les conditions de prélèvement et les caractéristiques du site d'échantillonnage et du matériau prélevé sont consignées dans une fiche de prélèvement.

- **Manipulation et conditionnement des échantillons**

Les prélèvements sont réalisés à l'aide d'une petite pelle inox et sont conditionnés dans un flacon en verre fourni par le laboratoire. L'opérateur veille, dans la mesure du possible, à retirer les éléments grossiers et les débris organiques de l'échantillon. Il veille également à éliminer au maximum l'eau de l'échantillon.

#### **1.2.1.4 Sols et autres matériaux solides**

##### **Localisation du prélèvement et horizon prélevé pour les aspects environnementaux**

Le positionnement des prélèvements de sols et autres matériaux solides est déterminé en fonction de la localisation des sources de contamination et des voies de transfert présumées ainsi que du contexte géologique. Ces prélèvements sont positionnés indépendamment des usages constatés sur le site. Pour ces prélèvements, les horizons de sol 0-5 ou 0-10 cm sont considérés. Sur les dépôts et berges, des prélèvements à plus grande profondeur ont parfois été réalisés à la tarière.

##### **Prélèvement et conditionnement**

Suivant les caractéristiques du matériau échantillonné et la profondeur investiguée, les sols et autres matériaux solides sont prélevés soit à l'aide d'une petite pelle de jardinage, soit à la bêche, soit à la tarière. Les outils sont soigneusement nettoyés entre chaque prélèvement.

Les prélèvements se font sur matériaux brut ou tamisé à la fraction inférieure à 2 mm.

Dans le cas de prélèvements composites, l'opérateur veille à prélever la même quantité de matière en chaque point. Le matériau est ensuite déposé sur une bâche en plastique où il est homogénéisé avant d'être conditionné.

Les échantillons sont conditionnés dans des bocaux en verre fournis par le laboratoire d'analyse.

Chaque échantillon fait l'objet d'une fiche de prélèvement dans laquelle sont consignés notamment la localisation du prélèvement, les usages recensés sur la parcelle et les caractéristiques macroscopiques (couleur, granulométrie, humidité, etc...) du matériau prélevé.

#### **1.2.1.5 Mesures pXRF**

Les mesures pXRF ont été réalisées à l'aide d'un spectromètre de fluorescence X portable de marque NITON par un opérateur du BRGM formé et habilité à l'utilisation de l'appareil.

La localisation des points de mesure répond à un double objectif :

- effectuer une reconnaissance permettant de guider l'implantation des points de prélèvement ;
- fournir un complément aux prélèvements de sols en investiguant des zones plus étendues de façon rapide.

Les mesures pXRF ont été réalisées sur du matériau prélevé sur une profondeur de quelques centimètres et tamisé à 2 mm. Les mesures ont été réalisées en mode « Sol » ou « Minerai »<sup>20</sup> avec un temps de mesure identique de 2 min sur chaque point.

Une fois la mesure pXRF effectuée, certains échantillons tamisés ont été prélevés afin d'être analysés par ICP-AES dans les laboratoires du BRGM. Cette démarche permet d'établir des droites de calibration entre les résultats des analyses de laboratoire et ceux des mesures pXRF.

Dans le cadre de l'étude des sources de contamination, les mesures pXRF sont utilisées comme des analyses semi-quantitatives permettant d'estimer des ordres de grandeurs des teneurs dans les sols et les matériaux composant les dépôts miniers.

### 1.2.1.6 Mesures des dépôts atmosphériques

Les particules PM<sub>10</sub> en suspension dans l'air ambiant extérieur ont été prélevées sur filtres selon la norme NF EN 12341. Chaque filtre correspond à un prélèvement cumulé sur une durée de 24 heures.

Chaque préleveur est équipé d'une turbine qui aspire l'air (Photographie 8). L'air passe au travers d'une tête de coupure PM<sub>10</sub>, qui est un système ne laissant passer que les particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 µm. Les particules sont ensuite piégées sur un filtre en quartz taré au préalable au laboratoire de l'INERIS.



*Photographie 8 : Exemple de préleveurs PM<sub>10</sub> - Air ambiant extérieur (source : rapport INERIS DRC-18-162397-00395A)*

La collecte des dépôts atmosphériques totaux (secs et humides) a été réalisée à l'aide de jauges de type « Bergerhoff » (Photographie 9) selon la norme NF EN 15841. Ces collecteurs sont positionnés sur des supports à 1,5 m du sol dans des zones bien dégagées pendant 30 jours (± 2 jours).

---

<sup>20</sup> Mode Sols : une trentaine d'éléments du S à U sont analysés dans les gammes de teneurs en traces : depuis la limite inférieure (LOD), qui varie entre 5 et 500 mg/kg selon l'élément et la matrice, et la limite supérieure, qui varie de l'ordre du % à quelques %,  
Mode Minerai : plus adapté aux teneurs majeures entre quelques % et quelques dizaines de %. Ce mode est utilisé aussi pour les traces de quelques éléments non analysés en mode sols (Bi, Nb, etc.).



*Photographie 9 : Collecteur en PEHD<sup>21</sup> pour les métaux (source : rapport INERIS DRC-18-162397-00395A)*

Enfin, au moins une station météorologique répondant aux standards Météo France pour la mesure du vent a été mise en place sur le site pendant toute la durée des campagnes de mesures (Photographie 10). Ceci a permis le suivi en continu des conditions météorologiques locales : vent (direction et vitesse à 10 m), pluviométrie, température, pression et humidité relative.



*Photographie 10 : Exemple d'implantation de station météorologique (source : rapport INERIS DRC-18-162397-00395A)*

---

<sup>21</sup> PEHD : Polyéthylène Haute Densité

## 1.2.2 Stockage et transport des échantillons d'eau

Durant les deux campagnes de prélèvements, tous les échantillons d'eau ont été stockés au frais dans des glacières équipées de pains de glace immédiatement après prélèvement. Ces dernières ont été collectées par un transporteur de manière à parvenir au possible au laboratoire dans les 24h suivant le prélèvement. Une plateforme internet mise en place par le laboratoire permettait de gérer les expéditions quotidiennes et d'assurer la traçabilité des échantillons.

## 1.2.3 Méthodes d'analyses de laboratoire

Les échantillons de sols, de matériaux issus de l'extraction et du traitement du minerai, d'eau et de sédiments prélevés au cours des investigations sur site ont été analysés par le laboratoire EUROFINS.

Les dépôts atmosphériques ont été analysés par les laboratoires EUROFINS et de l'INERIS.

Les paramètres chimiques et physiques analysés pour chaque matrice ainsi que les techniques analytiques utilisées par les laboratoires sont mentionnés dans les bordereaux analytiques indiqués :

- pour les eaux et les sédiments prélevés dans le cadre de l'étude hydrogéologique, en **annexe 4** ;
- pour les sols et les matériaux solides prélevés dans le cadre de l'étude des sources de contamination, en annexe du rapport GEODERIS référencé S2018-117DE.

## **2 RESULTATS DES INVESTIGATIONS ET INTERPRETATION EN MATIERE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL**

### **2.1 Caractérisation des sources de contamination**

Une caractérisation détaillée des sources de contamination du secteur a été réalisée dans le cadre du volet « recensement et caractérisation des sources de contamination » de l'étude sanitaire et environnementale. Cette phase de caractérisation correspond au chapitre C du rapport GEODERIS référencé S2018-117DE<sup>22</sup>.

Les sources potentielles de contamination du secteur d'étude concernent principalement :

- des dépôts de déchets constitués par des résidus de traitement ou de transformation de minerais, de déblais de creusement et d'exploitation, et que l'on retrouve déposés dans des bassins ou en haldes (tas, verse, terrasse, etc.) ;
- des zones exploitées en surface (mines à ciel ouvert, grattages, etc.) ;
- des émergences minières<sup>23</sup>.

La synthèse cartographique des sources de contamination est indiquée en annexe du rapport GEODERIS S2018-117DE.






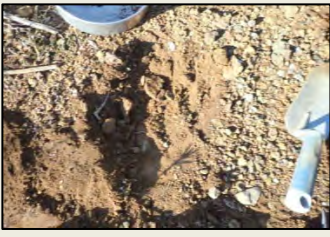








#### **2.1.1 Concessions de Croix-de-Pallières, Pallières-et-Gravouillère, et Valleraube**

Les sources de contamination identifiées dans le périmètre de ces trois concessions sont synthétisées dans le Tableau 30.

---














<sup>22</sup> Rapport disponible sur le CD-ROM joint à la présente étude.

<sup>23</sup> Depuis l'arrêt des exhaures, une grande partie des anciens travaux souterrains est noyée et constitue des aquifères à grande perméabilité, dont les exutoires correspondent à des émergences minières. À ce titre, ces émergences sont considérées par extension des galeries envoyées comme des sources potentielles de contamination.

SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	PHOTOGRAPHIES
Mine Joseph	Saint-Félix-de-Pallières	Haldes	V09	<p>Déblais de creusement et d'extraction, résidus de traitement physique en verse depuis le carreau de la mine jusqu'au ruisseau de Paleyrolle en contrebas.</p> <p>Couleur et granulométrie hétérogène (fins à grossier). Matériaux à nu.</p> <p>Surface cumulée des dépôts : 1 hectare.</p> <p>Dépôts sensibles à l'érosion par la pluie et le sapement hydraulique.</p> <p>Teneurs modérées à fortes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 1 500 mg/kg à 12% en plomb ;</li> <li>o 600 à 1 600 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 250 à 500 mg/kg en zinc ;</li> <li>o 1 à 10 mg/kg en mercure ;</li> <li>o 50 à 350 mg/kg en cuivre ;</li> <li>o 3 à 20% en fer</li> <li>o 850 mg/kg en antimoine</li> </ul> <p>Des lixiviats et matériaux chargés en métaux et métalloïdes rejoignent directement le ruisseau du Paleyrolle par gravité.</p>	   
Mine Curnier	Tornac	Travaux de surface et dépôts de matériaux	V78	<p>Indices de travaux : grattage de surface (bosses et creux topographiques), galeries et dépôts de matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu.</p> <p>Surface de la zone de travaux et dépôts : 7 000 m².</p> <p>Dépôts sensibles à l'érosion par la pluie.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 500 à 1 600 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 500 à 3 000 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 2% à 80% en fer.</li> </ul>	 
Lieu-dit Paleyrolles	Saint-Félix-de-Pallières	Dépôts de matériaux	V65, V66, V67, V68, V69	<p>Présence d'habitations et zone boisée.</p> <p>Indices de travaux : creux topographiques, galeries et dépôts de creusement et d'extraction. Matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu.</p> <p>Surface cumulée des dépôts : 1 200 m².</p> <p>Surface de travaux potentiels : 10 hectares.</p> <p>Teneurs modérées à fortes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 450 mg/kg à 5% en plomb ;</li> <li>o 80 à 1 700 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 70 mg/kg à 1,5% en zinc ;</li> <li>o 45 à 650 mg/kg en cuivre ;</li> </ul> <p>Teneurs modérées à fortes : antimoine (300 mg/kg), cadmium (35 mg/kg) et mercure (10 mg/kg).</p>	 
		Travaux de surface	-		
		Emergence minière	-		
Saint-Félix-de-Pallières Thoiras	Bâtiments	-	Vestiges de bâtiments et galeries liés à l'activité minière.	-	
Carreau de mine de Pallières	Thoiras	Dépôts de matériaux	V10, V49	Dépôt de résidus de traitement (4 hectares) et anciens bassins de décantation. Matériaux fins et à nu par endroit. Lixiviats rejoignent le ruisseau d'Aiguesmortes.	
			V20	Haldes dits du GFA Dépôts de matériaux de creusement et d'extraction (surface 2 hectares). Matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux à nu.	
	Saint-Félix-de-Pallières Thoiras	Dépôts de matériaux	V13, V11, V12	Haldes de matériaux de creusement et d'extraction et résidus de traitement physique (surface cumulée > 4 hectares). Matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux à nu.	 
			V11 (pointe ouest)	Dépôt circulaire dit des Issarts Dépôt de résidus de traitement de 400 m². Matériaux à nu.	 





SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	PHOTOGRAPHIES
Carreau de mine de Pallières	Saint-Félix-de-Pallières Thoiras	Dépôts de matériaux	-	Des fossés relient les dépôts aux ruisseaux du Paleyrolle et d'Aiguesmortes. Dépôts sensibles à l'érosion par la pluie. Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 900 mg/kg à 15% en plomb ;</li> <li>○ 110 à 4 500 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ 500 mg/kg à 5% en zinc ;</li> <li>○ 60 à 1 200 mg/kg en cuivre ;</li> <li>○ 3 à 18% en fer ;</li> <li>○ jusqu'à 180 mg/kg de cadmium.</li> </ul>	
	Saint-Félix-de-Pallières	Emergence minière	-	Puits/galerie Pastré. Caractéristiques : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ aucun écoulement en étiage, et débit inférieur à 1m<sup>3</sup>/h en hautes-eaux ;</li> <li>○ pH de 2,6 et conductivité élevée ;</li> <li>○ concentrations très élevées sur eaux brutes (1 640 µg/l en plomb, 105 µg/l en cadmium, 16 µg/l en arsenic et 19 mg/l en zinc) qui restent identiques sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments sous forme de dissoute.</li> </ul>	
Flanc ouest de Pallières	Saint-Félix-de-Pallières Thoiras	Travaux de surface et dépôts de matériaux	-	Indices de travaux : grattage de surface (bosses et creux topographiques), dépôts de matériaux fins à grossiers. Matériaux en partie à nu. Surface de la zone de travaux estimée à 5 hectares. Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 73 mg/kg à 8% en plomb ;</li> <li>○ 40 à 940 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ 470 mg/kg à 6% en zinc ;</li> <li>○ jusqu'à 90 mg/kg en mercure (origine naturelle liée à la minéralisation) ;</li> <li>○ 6 à 27% en fer.</li> </ul> Teneurs modérées à fortes : antimoine (450 mg/kg) et cadmium (227 mg/kg).	 
La Fabrique	Thoiras	Bâtiment et dépôts de matériaux	V71, V72, V73, V74, V75	Dépôt de matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux en partie à nu. Surface cumulée des dépôts : 3 000 m <sup>2</sup> . Surface de travaux potentiels : 1 hectare. Teneurs modérées à élevées en métaux et métalloïdes, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 115 à 4 200 mg/kg en plomb ;</li> <li>○ 100 à 2 450 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ 40 à 460 mg/kg en zinc ;</li> <li>○ jusqu'à 10 mg/kg en mercure ;</li> <li>○ 1 à plusieurs dizaines de % en fer.</li> </ul>	 
Flanc est de Pallières – Terres Rouges	Anduze Tornac	Dépôts de matériaux	V56, V57, V79, V80, V81	Indices de travaux : grattage de surface (bosses et creux topographiques), dépôts de matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux à nu. Présence d'encroûtements ferriques type chapeau de fer. Surface de la zone de travaux potentiels : 15 hectares. Dépôts sensibles à l'érosion par la pluie. Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 400 mg/kg à 3% en plomb ;</li> <li>○ 40 à 2 300 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ 70 à 3 400 mg/kg en zinc ;</li> <li>○ 1,5 à 90% en fer.</li> </ul> Teneurs modérées en antimoine (200 mg/kg).	 
	Saint-Félix-de-Pallières	Travaux de surface	-	Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 400 mg/kg à 3% en plomb ;</li> <li>○ 40 à 2 300 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ 70 à 3 400 mg/kg en zinc ;</li> <li>○ 1,5 à 90% en fer.</li> </ul> Teneurs modérées en antimoine (200 mg/kg).	
Mine de Gravouillère	Thoiras	Travaux de surface et dépôts de matériaux	V14, V15, V16, V25, V70	Indices de travaux : grattage de surface (bosses et creux topographiques), dépôts de matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux à nu. Surface cumulée des dépôts : 11 000 m <sup>2</sup> . Dépôts sensibles à l'érosion par la pluie et le sapement hydraulique. Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 190 à 2 500 mg/kg en plomb ;</li> <li>○ 260 à 2 800 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ jusqu'à 3 600 mg/kg en zinc ;</li> <li>○ 5 à plusieurs dizaines de % en fer.</li> </ul> Teneurs modérées à fortes : antimoine (150 mg/kg) et thallium (700 mg/kg).	 
		Emergence minière	-	Galerie du Travers-Banc de la Poudrière. Caractéristiques : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ écoulements réguliers toute l'année ;</li> <li>○ pH de 7,8 et conductivité modérée ;</li> <li>○ Etiage : concentrations faibles à modérées sur eaux brutes (5 µg/l en plomb et 9 µg/l en arsenic) qui diminuent sur eaux filtrées à 0,45 µm ;</li> <li>○ Hautes-eaux : concentrations modérées à fortes sur eaux brutes (20 µg/l en plomb et 17 µg/l en arsenic) qui diminuent sur eaux filtrées à 0,45 µm (&lt;0,5 µg/l en plomb et 4 µg/l en arsenic) → éléments surtout sous forme particulaire.</li> </ul>	 




SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	PHOTOGRAPHIES
la Baraque et Mine Roiman	Saint-Félix-de-Pallières	Dépôts de matériaux	V61, V62, V63, V64	<p>Dépôts de matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux en partie à nu.</p> <p>Surface cumulée des dépôts estimée à 6 000 m<sup>2</sup>.</p> <p>La Baraque, teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 700 mg/kg à 6% en plomb ;</li> <li>○ 100 à 2 500 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ 3 200 mg/kg à 3,7% en zinc ;</li> <li>○ 18 à 183 mg/kg en mercure (origine naturelle liée à la minéralisation) ;</li> <li>○ plusieurs dizaines de % en fer.</li> </ul> <p>Mine Roman, teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 70 mg/kg à 3,6% en plomb ;</li> <li>○ 790 à 1 700 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ 30 mg/kg à 1,5% en zinc ;</li> <li>○ 28 mg/kg en mercure (teneur naturelle liée à la minéralisation) ;</li> <li>○ plusieurs dizaines de % en fer ;</li> <li>○ teneurs modérées à fortes : antimoine (575 mg/kg) et thallium (150 mg/kg).</li> </ul>	

Tableau 30 : Sources de contamination identifiées au niveau des concessions de Croix-de-Pallières, Pallières-et-Gravouillère, et Valleraube



À l'issue des investigations de terrain, deux secteurs n'ont pas été retenus comme source de contamination au niveau des concessions de Croix-de-Pallières, Pallières-et-Gravouillère, et Valleraube. Il s'agit de la galerie Cabridiès et de la mine Baudoin. Sur ces secteurs, bien que des travaux aient été réalisés, les teneurs en métaux et métalloïdes dans les sols mesurées restent faibles (< 300 mg/kg en plomb, arsenic et zinc).

En l'absence d'information permettant de localiser les très anciens travaux relevés en bibliographie sur les secteurs des hameaux de Panissière et de l'Olivier, ceux-ci n'ont pas fait l'objet de campagne d'investigation de terrain.

### **2.1.2 Concessions de Valensole**

Les sources de contamination identifiées dans le périmètre de cette concession sont synthétisées dans le Tableau 31.








SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	PHOTOGRAPHIES
Mine de Valensole - Est du hameau	Tornac Hameau de Valensole	Travaux de surface et dépôts de matériaux	V07, V08	<p><u>Déchets de creusement et d'extraction :</u> Matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux à nu. Surface du dépôt : environ 500 m<sup>2</sup>. Hauteur &lt; à 2 mètres. Dépôt sensible à l'érosion par la pluie.</p> <p><u>Zone grattée avec dépôt au sein d'une petite clairière :</u> Matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux à nu. Surface de la zone de travaux et du dépôt : environ 300 m<sup>2</sup>. Zone sensible à l'érosion par la pluie.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 160 à 8 750 mg/kg de plomb ;</li> <li>○ 66 à 400 mg/kg d'arsenic ;</li> <li>○ 380 mg/kg à 5% de zinc.</li> </ul>	   
Mine de Valensole - Ouest du hameau	Tornac Hameau de Valensole	Dépôts de matériaux	V77	<p>Matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux à nu. Dépôt sensible à l'érosion par la pluie. Surface du dépôt : environ 250 m<sup>2</sup>.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 100 à 2 300 mg/kg en plomb ;</li> <li>○ 140 à 250 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ 2 600 à 8 500 mg/kg de zinc.</li> </ul>	 

Tableau 31 : Sources de contamination identifiées au niveau de la concession de Valensole

### **2.1.3 Laverie des Autiés**

Les sources de contamination identifiées au niveau de l'ancienne laverie des Autiés sont synthétisées dans le Tableau 32.

SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	PHOTOGRAPHIES
Laverie des Autiés	Tornac	Résidus de traitement	V76	Présence de résidus depuis le premier niveau de restanques au-dessus du bassin de la source jusqu'à la ruine en bord de route. Anciens bassins de décantation. Teneurs très importantes en plomb et en arsenic (plusieurs %). Surface impactée : 1 200 m <sup>2</sup> .	 






*Tableau 32 : Sources de contamination identifiées au niveau de l'ancienne laverie des Autiés*



#### **2.1.4 Concession des Adams**

Les sources de contamination identifiées dans le périmètre de cette concession sont synthétisées dans le Tableau 33.



SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	PHOTOGRAPHIES
Mine de la Baraquette	Corbès	Travaux miniers	-	<p><u>Indice de travaux</u> : galeries signalées en bibliographie (non retrouvées sur le terrain).</p> <p>Du fait d'une topographie chahutée et d'une végétation dense et impénétrable, aucun dépôt franc de matériaux ou de zone de grattage de surface n'a pu être repéré.</p> <p>Zone de travaux potentiels : 1 hectare.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 410 à 2 370 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 120 à 674 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 240 à 7 740 mg/kg en zinc ;</li> <li>o 4 à 30% en fer.</li> </ul> <p>Teneurs modérées : cadmium (27 mg/kg) et antimoine (97 mg/kg).</p>	
Mine du Serre	Corbès	Travaux miniers et dépôt de matériaux	V59	<p><u>Indice de travaux</u> :</p> <p>Dépôt de matériaux de creusement dans un ravin, en contrebas immédiat d'une galerie.</p> <p>Dépôt en grande partie emporté lors de l'épisode pluvieux de 2002.</p> <p>Matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu. Pente très forte.</p> <p>Surface : 500 m<sup>2</sup>, épaisseur de plusieurs mètres.</p> <p>Dépôt sensible à l'érosion par la pluie et le sapement hydraulique (départ constaté de matériaux dans le ravin).</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 200 à 4 000 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 150 à 1 300 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 150 mg/kg à 1% en zinc ;</li> <li>o 10 mg/kg en mercure ;</li> <li>o 2 à 15% en fer.</li> </ul> <p>Teneur modérée : antimoine (162 mg/kg).</p>	
		Plateforme devant galerie	-	<p><u>Indice de travaux</u> : galerie</p> <p>Aucun dépôt de matériaux de creusement, ou zone d'anciens travaux de surface, n'ont pu être repérés sur cette zone.</p> <p>Sols hétérogènes grossiers à fins.</p> <p>Teneurs faibles à fortes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 380 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 185 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 1 800 mg/kg en zinc ;</li> <li>o 7% en fer.</li> </ul>	
Mine du Serre	Corbès	Emergence minière	-	<p>Galerie aval du Serre.</p> <p>Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o débit inférieur à 0,1 m<sup>3</sup>/h en étiage, et inférieur à 2 m<sup>3</sup>/h en hautes-eaux ;</li> <li>o pH variant de 7 à 8,2 et conductivité modérée ;</li> <li>o présence d'oxyhydroxydes ;</li> <li>o concentrations faibles sur eaux brutes (maximum 2 µg/l en plomb et 2,4 µg/l en arsenic) qui diminuent encore sur eaux filtrées à 0,45 µm.</li> </ul> <p>Teneurs modérées à élevées dans les sédiments, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 360 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 530 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 1 % en zinc ;</li> <li>o 50% en fer.</li> </ul>	
				<p>Galerie en amont dans le versant</p> <p>Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o débit quasi nul en étiage, et inférieur à 1 m<sup>3</sup>/h en hautes-eaux ;</li> <li>o pH de 4 en période pluvieuse et conductivité modérée ;</li> <li>o présence d'oxyhydroxydes ;</li> <li>o concentrations élevées sur eaux brutes (11 µg/l en plomb et 19 µg/l en arsenic) qui diminuent sur eaux filtrées à 0,45 µm (4 µg/l en plomb et 1 µg/l en arsenic) → éléments surtout sous forme particulaire ;</li> <li>o concentration élevée en cadmium sur eaux brutes (8 µg/l) qui restent identiques sur eaux filtrées à 0,45 µm → cadmium sous forme dissoute.</li> </ul> <p>Drainage minier acide expliqué par la présence de sulfures (pyrite) liée à la minéralisation jointe au caractère non carbonaté des eaux.</p>	









SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	PHOTOGRAPHIES
Mine du Pradinas		Travaux miniers et haldes	V26, V27, V28	<p><u>Au niveau de la plateforme en pied de versant :</u> Haldes de matériaux de creusement et d'exploitation de granulométrie hétérogène. Matériaux à nu. Surface (dépôt et plateforme) estimée : 2 000 à 3 000 m<sup>2</sup>. Dépôt sensible à l'érosion par la pluie.</p> <p><u>En amont dans le versant :</u> Haldes de matériaux de creusement et d'exploitation de granulométrie hétérogène. Matériaux à nu. Surface (dépôt et plateforme) estimée : 500 à 800 m<sup>2</sup>. Dépôt sensible à l'érosion par la pluie.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 6 300 mg/kg à 6% en plomb ;</li> <li>○ 540 à 6 800 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ 5 100 mg/kg à 5% en zinc ;</li> <li>○ 13 mg/kg en mercure ;</li> <li>○ 6 à 13% en fer.</li> </ul> <p>Teneur modérée : antimoine (138 mg/kg).</p>	   
		Emergence minière	-	<p>Galerie aval du Pradinas. Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ débit inférieur à 0,1 m<sup>3</sup>/h en étiage, et inférieur à 2 m<sup>3</sup>/h en hautes-eaux ;</li> <li>○ pH variant de 6,3 à 8 et conductivité modérée ;</li> <li>○ en étiage, concentrations très élevées sur eaux brutes (460 µg/l en plomb, 35 µg/l en cadmium, 40 µg/l en arsenic, 10 mg/l en fer et en zinc) qui restent élevées sur eaux filtrées à 0,45 µm (25 µg/l en arsenic, 20 µg/l en cadmium et 5 mg/l en zinc) → éléments sous forme particulaire et dissoute ;</li> <li>○ en hautes-eaux, concentrations élevées sur eaux brutes (45 µg/l en plomb, 21 µg/l en cadmium et 7 mg/l en zinc) qui décroissent sur eaux filtrées à 0,45 µm (3 µg/l en plomb, 17 µg/l en cadmium et 5 mg/l en zinc). Teneurs faibles en arsenic sur brut et filtré.</li> </ul> <p>Le caractère carbonaté des eaux peut expliquer la neutralité du pH par effet tampon.</p> <p>Teneurs élevées dans les sédiments, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2 000 mg/kg en plomb ;</li> <li>○ 400 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ 77 mg/kg de cadmium ;</li> <li>○ 4 % en zinc ;</li> <li>○ 10% en fer.</li> </ul>	 

Tableau 33 : Sources de contamination identifiées au niveau de la concession des Adams

















À l'issue des investigations de terrain, deux secteurs n'ont pas été retenus comme source de contamination au niveau de la concession des Adams. Il s'agit du Moulin des Adams et d'une galerie signalée en bibliographie sur le secteur du Serre mais non retrouvée sur site. Sur ces secteurs, les teneurs en métaux et métalloïdes mesurées sont faibles (>150 mg/kg en plomb, <100 mg/kg en arsenic et <200 mg/kg en zinc).

### **2.1.5 Concession et PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille**







Les sources de contamination identifiées dans le périmètre de cette concession sont synthétisées dans le Tableau 34.





SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	PHOTOGRAPHIES
Carnoulès	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Dépôt de résidus de traitement	V17, V18	<p>Matériau constitué de sables fins issus de flottation du minéral.</p> <p>Ouvrages de retenue dégradés lors d'épisodes pluvieux intenses (1961, 1976, 2002), entraînant un dépôt de sédiments dans le lit et sur certaines parties des plaines alluviales du Reigous et de l'Amous.</p> <p>Travaux par l'ancien exploitant de mise en sécurité (recouvrement du dépôt par une couche de terre argileuse sur 50 cm).</p> <p>Depuis 2016, travaux de remise en état par l'ADEME.</p> <p>Surface du dépôt : 6 hectares.</p> <p>En 2008, les mesures environnementales GEODERIS indiquaient de très fortes teneurs en plomb (8%) et en zinc (7%).</p> <p>Les lixiviats du dépôt donnent naissance au ruisseau du Reigous.</p>	
		Lixiviats du dépôt de résidus de traitement	-	<p>Source du ruisseau du Reigous.</p> <p>Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ débit inférieur à 1 m<sup>3</sup>/h en étiage et entre 2 et 5 m<sup>3</sup>/h en période pluvieuse (mars 2018) ;</li> <li>○ pH de 3,5 et conductivité très élevée ;</li> <li>○ en étiage, concentrations très élevées sur eaux brutes (1,5 g/l en sulfates, 112 mg/l en arsenic, 875 µg/l en plomb, 70 µg/l en cadmium, 1 g/l en fer et 17 mg/l en zinc) qui diminuent mais restent très élevées sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments surtout sous forme dissoute mais aussi particulaire ;</li> <li>○ en hautes-eaux, concentrations très élevées sur eaux brutes (3 g/l en sulfates, 25 mg/l en arsenic, 670 µg/l en plomb, 41 µg/l en cadmium, 350 mg/l en fer et 10 mg/l en zinc) qui diminuent mais restent très élevées sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments surtout sous forme dissoute mais aussi particulaire ;</li> <li>○ présence d'oxyhydroxydes.</li> </ul> <p>Teneurs élevées dans les sédiments, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2 330 mg/kg en plomb ;</li> <li>○ 3% en arsenic.</li> </ul>	 
		Dépôt de résidus de traitement – ancienne laverie	V29	<p>Dépôt de matériaux hétérogènes très fins à grossiers. Matériaux à nu.</p> <p>Dépôt sensible à l'érosion par la pluie et au sapement hydraulique.</p> <p>Volume résiduel de quelques centaines de mètres cubes.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1,2% en plomb ;</li> <li>○ 2 000 à 3 000 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ 450 à 2 600 mg/kg en zinc.</li> </ul>	 
		Travaux de surface et dépôts de matériaux	V39, V40, V41, V43, V44, V52, V53, V54, V55	<p>Indices de travaux : plateformes, fronts de taille, galeries, zones de grattages et dépôts de matériaux de creusement et d'extraction.</p> <p>Matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu.</p> <p>Surface de la zone des travaux et dépôts : 40 hectares.</p> <p>Dépôt sensible à l'érosion par la pluie.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 300 mg/kg à 20% en plomb ;</li> <li>○ 100 mg/kg à 1,3% en arsenic ;</li> <li>○ 50 à 4 200 mg/kg en zinc ;</li> <li>○ 15 mg/kg en mercure ;</li> <li>○ 1 à 17% en fer.</li> </ul> <p>Teneur modérée en antimoine (137 mg/kg).</p>	   
		Emergence minière	-	<p>Perte et résurgence au niveau des anciennes MCO.</p> <p>Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ aucun écoulement en étiage, et débit estimé entre 5 et 10 m<sup>3</sup>/h en période pluvieuse (mars 2018) ;</li> <li>○ pH très acide (2,6 à 3,6) et conductivité très élevée ;</li> <li>○ concentrations très élevées sur eaux brutes (422 µg/l en plomb, 77 µg/l en cadmium, 645 µg/l en arsenic, 14 mg/l en zinc) qui restent similaires sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments essentiellement sous forme dissoute ;</li> <li>○ phénomène de drainage minier acide.</li> </ul> <p>Teneurs élevées dans les sédiments, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 4 600 mg/kg en plomb ;</li> <li>○ 4 110 mg/kg en arsenic.</li> </ul>	  
Nord-est Carnoulès	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Travaux miniers et dépôts de matériaux	V32, V33, V34, V35, V36	<p>Indices de travaux : galeries, dépôt de matériaux.</p> <p>Matériaux fins et à nu sur le dépôt.</p> <p>Surface du dépôt : environ 100 m<sup>2</sup>.</p> <p>Teneurs modérées à très élevées en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 5,6% en plomb ;</li> <li>○ 1 200 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ 830 mg/kg en zinc.</li> </ul>	 



SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	PHOTOGRAPHIES
Nord-est Carnoulès	Saint- Sébastien- d'Aigrefeuille	Emergences minières (exutoire : ruisseau du Reigous)	-	<p><u>Emergence 1 :</u> Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ écoulement en étiage inférieur à 0,1 m<sup>3</sup>/h, et débit inférieur à 2 m<sup>3</sup>/h en période pluvieuse (mars 2018) ;</li> <li>○ pH de 4,9 et conductivité élevée en étiage, pH de 5,5 et conductivité faible en hautes-eaux ;</li> <li>○ en étiage, concentrations faibles sur eaux brutes (1 µg/l en plomb, 1 µg/l en cadmium et 4 µg/l en arsenic) qui diminuent sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments surtout sous forme particulaire ;</li> <li>○ en hautes-eaux, concentrations faibles à modérées sur eaux brutes (7 µg/l en plomb, 1 µg/l en cadmium et 10 µg/l en arsenic) qui diminuent en partie sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments sous forme particulaire et dissoute.</li> </ul>	
				<p><u>Emergence 3 :</u> Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ aucun écoulement en étiage, et débit inférieur à 2 m<sup>3</sup>/h en période pluvieuse (mars 2018) ;</li> <li>○ pH de 4,2 et conductivité faible ;</li> <li>○ concentrations très élevées sur eaux brutes (200 µg/l en plomb, et 5 µg/l en arsenic) qui restent similaires sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments surtout sous forme dissoute.</li> </ul>	
				<p><u>Emergence 2 :</u> Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ aucun écoulement en étiage, et débit inférieur à 1 m<sup>3</sup>/h en période pluvieuse (mars 2018) ;</li> <li>○ pH très acide de 3,2 et conductivité modérée ;</li> <li>○ concentrations faibles à élevées sur eaux brutes (6 µg/l en plomb, 3 µg/l en cadmium, 19 µg/l en arsenic et 3 mg/l en cuivre) qui restent similaires sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments essentiellement sous forme dissoute ;</li> <li>○ présence d'oxyhydroxydes.</li> </ul> <p>Teneurs modérées à élevées dans les sédiments, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 260 mg/kg en plomb ;</li> <li>○ 2 100 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ 100 mg/kg en antimoine ;</li> <li>○ 910 mg/kg en cuivre ;</li> <li>○ 33% en fer.</li> </ul>	
Les Sognes - Mas d'Alzon	Saint-Jean- du-Pin	Emergence minière (exutoire le ruisseau de l'Alzon)	-	<p>Galerie la plus en aval du versant Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ aucun écoulement en étiage (eau dans bassin uniquement) et débit inférieur à 2 m<sup>3</sup>/h en période pluvieuse (mars 2018) ;</li> <li>○ pH de 3,2 et conductivité très élevée en étiage, pH de 3,2 et conductivité modérée en hautes-eaux ;</li> <li>○ en étiage, concentration très élevée sur eaux brutes en plomb (1 mg/l) et faible en arsenic (1 µg/l). La concentration en plomb ne diminue pas sur eau filtrée à 0,45 µm → éléments surtout sous forme dissoute ;</li> <li>○ en hautes-eaux, concentrations très élevées sur eaux brutes (1,3 mg/l en plomb et 77 µg/l en arsenic) qui restent similaires sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments surtout sous forme dissoute.</li> </ul> <p>Teneurs élevées dans les sédiments, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2 000 mg/kg en plomb ;</li> <li>○ 700 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ 182 mg/l en antimoine ;</li> <li>○ 3 g/kg de soufre total.</li> </ul>	
Ravin des Combettes	Saint- Sébastien- d'Aigrefeuille	Travaux miniers et dépôts de matériaux	V38, V42	<p>Indices de travaux : galeries et dépôts de matériaux de creusement et d'extraction. <u>Dépôt localisé en partie aval du ravin :</u> Matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu. Surface du dépôt : 1 000 m<sup>2</sup>. Dépôt sensible à l'érosion par la pluie. Teneurs modérées à élevées en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 400 mg/kg en plomb ;</li> <li>○ 500 mg/kg arsenic ;</li> <li>○ 1 000 mg/kg en zinc.</li> </ul> <p><u>Dépôts localisés en partie amont du ravin :</u> Matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu. Zone concernée par les dépôts : 3 000 m<sup>2</sup> Dépôts sensibles à l'érosion par la pluie. Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2 850 mg/kg à 4% en plomb ;</li> <li>○ 1 100 à 3 200 mg/kg en arsenic ;</li> <li>○ 28 à 460 mg/kg en cadmium ;</li> <li>○ 40 à 130 mg/kg en mercure (origine naturelle liée à la minéralisation) ;</li> <li>○ 400 mg/kg à 6% en zinc ;</li> <li>○ 410 mg/kg en antimoine.</li> </ul>	 








SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	PHOTOGRAPHIES
Mine Lacoste	Généralgues	Travaux de surface et dépôts de matériaux	V60	<p>Indices de travaux : plateforme, zone de creusement et dépôt de matériaux de creusement et d'extraction.</p> <p>Matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu.</p> <p>Surface concernée par les travaux et dépôt : 11 000 m<sup>2</sup>.</p> <p>Teneurs faibles à élevées en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 380 à 6 300 mg/kg en plomb ;</li> <li>○ 200 à 985 mg/kg arsenic ;</li> <li>○ 70 à 470 mg/kg en zinc ;</li> <li>○ 17 mg/kg en mercure.</li> </ul> <p>Teneur modérée : antimoine (250 mg/kg).</p>	 
Mas Icard	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Travaux de surface et dépôt de matériaux	-	<p>Indices de travaux : plateforme, front de taille et dépôt de matériaux de creusement et d'extraction.</p> <p>Matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu.</p> <p>Surface concernée par les travaux et dépôt: 4 000 m<sup>2</sup></p> <p>Teneurs faibles à élevées en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1 350 mg/kg à 15% en plomb ;</li> <li>○ 80 à 6 000 mg/kg arsenic ;</li> <li>○ 55 à 600 mg/kg en zinc.</li> </ul>	  

Tableau 34 : Sources de contamination identifiées au niveau de la concession et du PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille



## 2.2 Impacts sur les eaux souterraines

### 2.2.1 Points d'eau investigués

Les sources, lixiviats et émergences investigués dans le cadre des campagnes hautes-eaux et basses-eaux sont indiqués dans le Tableau 35 suivant. Les fiches de prélèvements se trouvent en **Annexe 5**.

Ces points ont été regroupés en quatre secteurs :

- le « **Secteur Reigous** », qui draine les travaux miniers de Carnoulès dont le dépôt de résidus de traitement et le ravin des Combette ;
- le « **Secteur Gardon de Saint-Jean** », qui draine la partie nord des travaux de la mine de Pallières dont le dépôt de résidus de traitement, le flanc ouest de Pallières, ainsi que les travaux de Pallières-Gravouillère, des Adams et du Pradinas ;
- le « **Secteur Ourne** », qui draine la partie sud de la mine de Pallières, mine Joseph, mine Curnier, flanc-est de Pallières, Naville, mine Roman et la Baraque ;
- enfin, l'aval du système hydrographique, nommé « **Secteur Gardon d'Anduze** ».

Secteur	Point de prélèvement	Typologie et localisation
Secteur Reigous	ESO_03	Lixiviats – dépôt de résidus de traitement de Carnoulès
	ESO_13	Emergence Carnoulès - face Services Techniques
	ESO_02	Emergence 1 - Nord-est Carnoulès
	ESO_10	Emergence 2 - Nord-est Carnoulès
	ESO_11	Emergence 3 - Nord-est Carnoulès
	ESO_01	Emergence - Mas d'Azon
Secteur Gardon de Saint-Jean	ESO_15	Lixiviats - dépôts résidus de traitement de Pallières
	ESO_16	Fossé - haldes face au dépôt de résidus de traitement (mélange de lixiviats et d'eaux superficielles)
	ESO_07	Source du Bijournet
	ESO_09	Emergence - Carrière la Ferrière
	ESO_04	Emergence - Pradinas
	ESO_05	Source aménagée en bassin
	ESO_06	Emergence aval - le Serre
	ESO_14	Emergence en amont - le Serre
	ESO_18	Ruisseau de Pallières (mélange de lixiviats et d'eaux superficielles)
	ESO_20	Source - affluent du ruisseau de Graviès
Secteur Ourne	ESO_08	Lixiviats - haldes Mine Joseph
	ESO_17	Emergence - puits Pastré
	ESO_21	Emergence - lieu-dit Paleyrolle
	ESO_19	Amont ruisseau de Naville
	ESO_22	Source - proximité cimetière Saint-Félix-de-Pallières
Secteur Gardon d'Anduze	-	-

Tableau 35 : Points de prélèvements d'eaux souterraines durant les campagnes hautes-eaux et basses-eaux selon les secteurs

Au final, 21 échantillons d'eaux souterraines ont été prélevés, répartis sur 11 émergences, 3 lixiviats issus de dépôts de matériaux, 4 sources et enfin 3 points pour lesquels les écoulements souterrains et superficiels n'ont pas pu être clairement dissociés (amont des ruisseaux de Pallières et de Naville, haldes en face du dépôt de résidus de traitement).

Leur localisation est précisée sur les Figues 51 et 52.

Aucun puits ou forage n'a été prélevé dans le cadre des investigations environnementales.

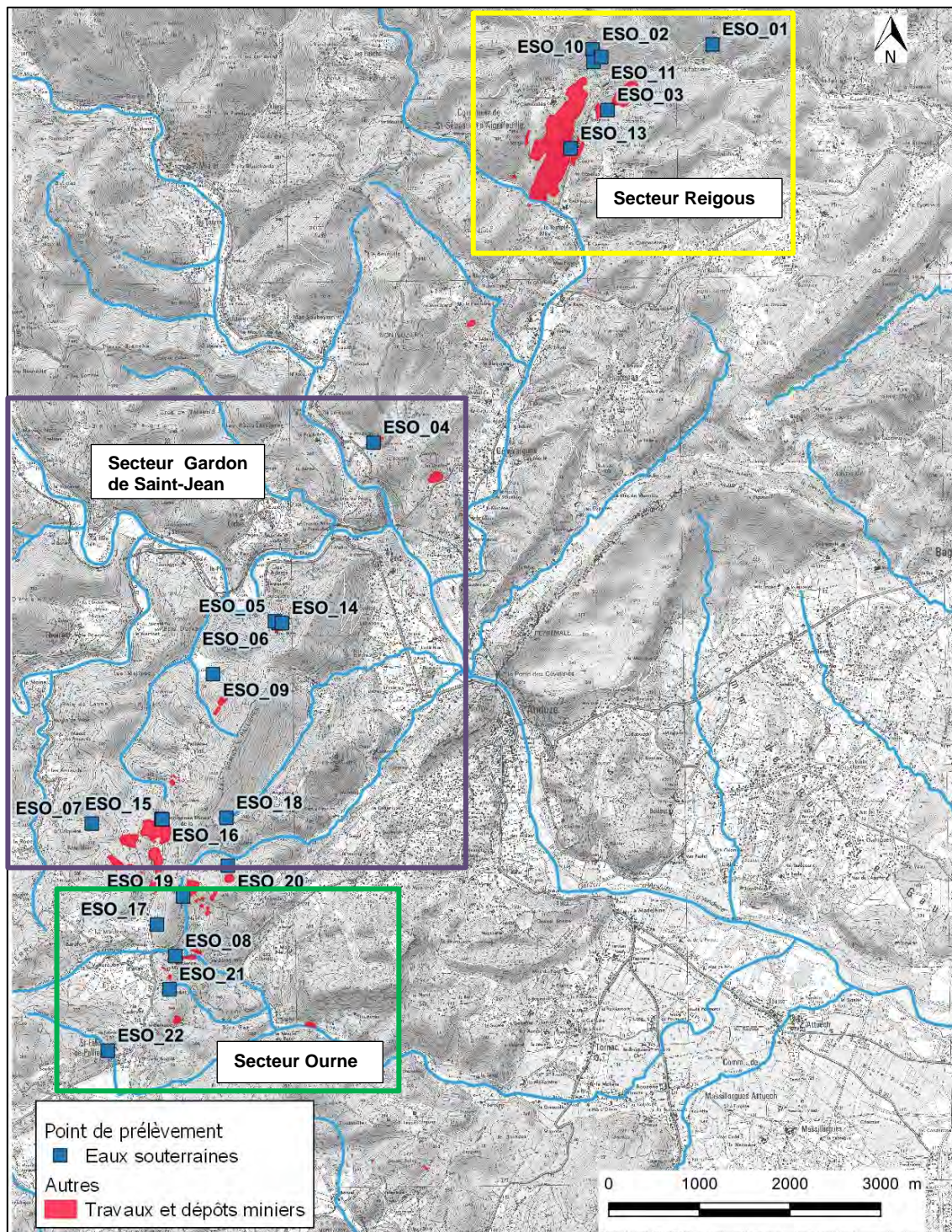


Figure 51 : Localisation des points de prélèvements d'eaux souterraines selon les secteurs – carte d'ensemble



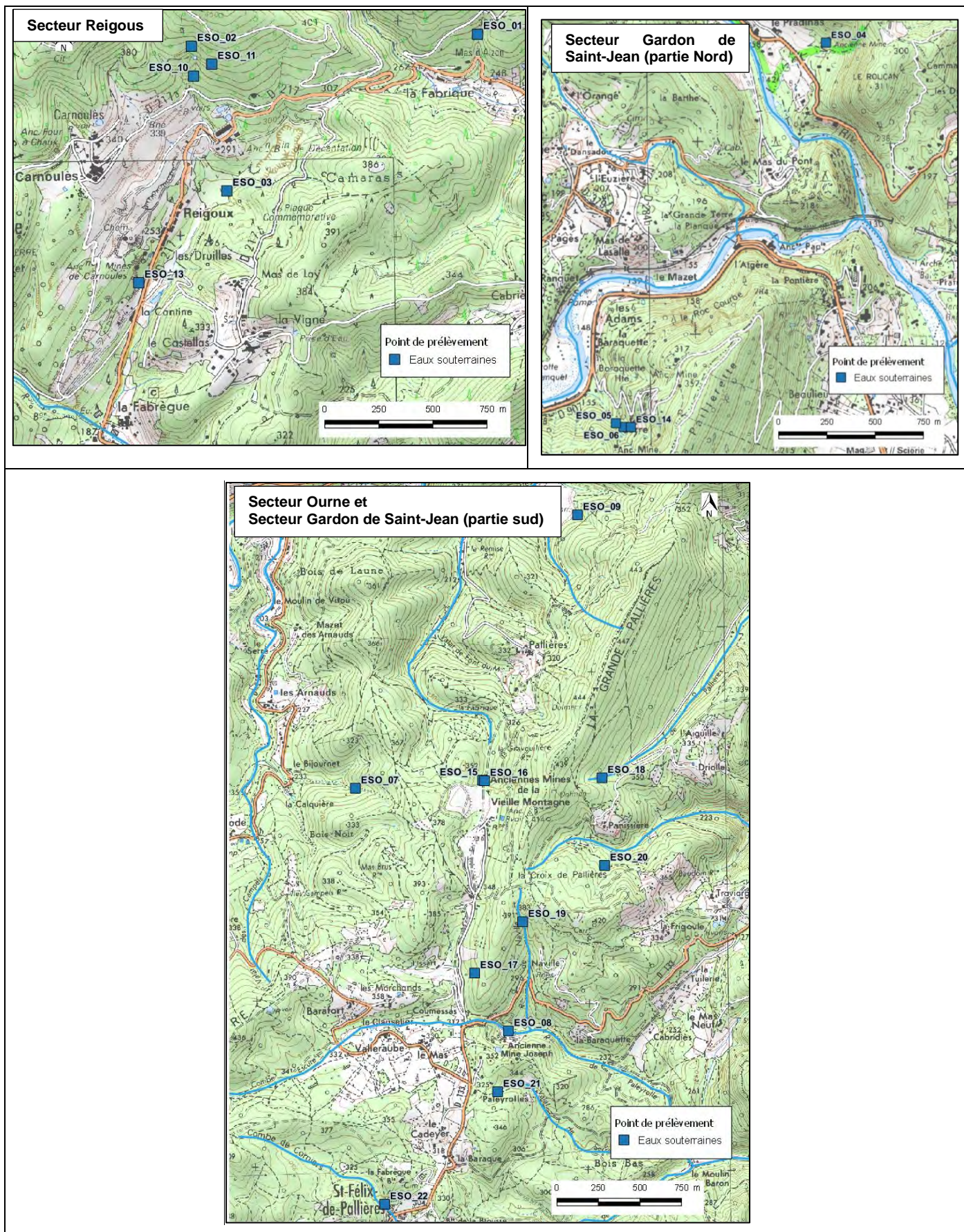


Figure 52 : Localisation des points de prélèvements d'eaux souterraines selon les secteurs - Cartes détaillées

## 2.2.2 Paramètres physico-chimiques

Lors des campagnes de prélèvements, des estimations de débits et des mesures des paramètres physico-chimiques ont été effectuées sur les points d'eau présentant des écoulements visibles depuis la surface, lorsque le volume était suffisant.

### 2.2.2.1 Période de basses-eaux

La synthèse des paramètres physico-chimiques mesurés lors de la campagne d'octobre 2017 est reportée dans le Tableau 36.

Point de prélèvement	Localisation	Débit (m <sup>3</sup> /h)	pH	Cond. (µS/cm)	T°C	Remarque
<b>Secteur Reigous</b>						
PAL17_BE_ESO_03	Lixiviats – dépôt de résidus de traitement de Carnoulès	< 1	3,5	4 020	16,2	Précipitation d'oxyhydroxydes Eau turbide et orange
PAL17_BE_ESO_13	Emergence Carnoulès - face aux Services Techniques	nul	-	-	-	-
PAL17_BE_ESO_02	Emergence 1 - nord-est Carnoulès	non évalué	4,9	1 300	16,1	Eau stagnante dans bassin
PAL17_BE_ESO_10	Emergence 2 - Nord-est Carnoulès	nul	-	-	-	-
PAL17_BE_ESO_11	Emergence 3 - Nord-est Carnoulès	nul	-	-	-	-
PAL17_BE_ESO_01	Emergence - Mas d'Alzon	nul	3,2	2 960	14,2	Suintements des parois
<b>Secteur Gardon de Saint-Jean</b>						
PAL17_BE_ESO_15	Lixiviats - dépôts résidus de traitement	nul	-	-	-	-
PAL17_BE_ESO_16	Fossé - haldes face au dépôt de résidus de traitement de Pallières (mélange de lixiviats et d'eaux superficielles)	nul	-	-	-	-
PAL17_BE_ESO_07	Source du Bijournet	2	6,9	1 650	14,4	Précipitation d'oxyhydroxydes
PAL17_BE_ESO_09	Emergence - Carrière la Ferrière	1	7,9	660	11,9	Précipitation d'oxyhydroxydes
PAL17_BE_ESO_04	Emergence - Pradinas	< 0,1	6,3	820	11,9	-
PAL17_BE_ESO_05	Source, bassin aménagé – le Serre	< 0,1	7,5	586	13,9	-
PAL17_BE_ESO_06	Emergence aval – le Serre	< 0,1	7,3	571	13,9	-
PAL17_BE_ESO_14	Emergence amont - le Serre	nul	-	-	-	-
PAL17_BE_ESO_18	Ruisseau de Pallières (mélange de lixiviats et d'eaux superficielles)	nul	-	-	-	-
PAL17_BE_ESO_20	Source affluent ruisseau de Graviès	nul	-	-	-	-
<b>Secteur Ourne</b>						
PAL17_BE_ESO_08	Lixiviats - haldes Mine Joseph	< 0,1	3,4	2 550	15,4	Précipitation d'oxyhydroxydes Eau turbide et orange
PAL17_BE_ESO_17	Emergence - puits Pastré	nul	-	-	-	-
PAL17_BE_ESO_21	Emergence - lieu-dit Paleyrolle	nul	-	-	-	-
PAL17_BE_ESO_19	Amont ruisseau de Naville	nul	-	-	-	-
PAL17_BE_ESO_22	Source – proximité cimetière Saint-Félix-de-Pallières	nul	-	-	-	-

Tableau 36 : Débit et paramètres physico-chimiques mesurés sur les points de prélèvements d'eaux souterraines en période de basses-eaux (octobre 2017)

En période d'étiage, de nombreux points d'eaux ne présentent aucun écoulement visible en surface.

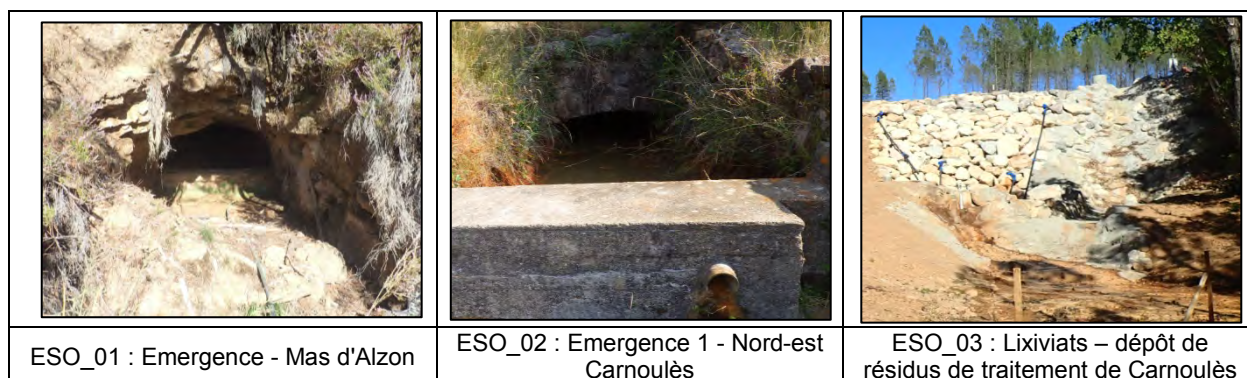
## **Secteur Reigous**

En période d'étiage, les lixiviats issus du dépôt de résidus de traitement de Carnoulès (ESO\_03) ont un débit très faible, un pH très acide de 3,5 et une conductivité très élevée de 4 020  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

L'émergence 1 du versant au nord-est de Carnoulès (ESO\_02) présente un débit nul. L'eau contenue dans le bassin aménagé a un pH acide de 4,9, et une conductivité élevée (valeur).

Ces deux points d'eaux alimentent le ruisseau du Reigous. Des précipitations d'oxydes de fer sont relevées le long du ruisseau du Reigous à l'aval du dépôt de résidus de traitement.

Plus à l'est, l'émergence sur le secteur Mas d'Alzon (ESO\_01) a un débit nul. L'eau contenue dans le bassin aménagé à l'intérieur de la galerie a un pH acide de 3,2, et une conductivité élevée (2 960  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Cette émergence alimente le ruisseau de l'Alzon, affluent du Gardon d'Alès.



*Photographies 11, 12 et 13 : Points de prélèvements d'eaux souterraines sur le secteur hydrographique Reigous en période d'étiage (source : GEODERIS, octobre 2017)*

Les autres points sont à sec (ESO\_10, ESO\_11 et ESO\_13).

## **Secteur Gardon de Saint-Jean**

En période d'étiage, le dépôt de résidus de traitement du carreau de la mine de Pallières ne présente aucun écoulement visible.

La source du Bijournet (ESO\_07) a le débit le plus important des points investigués (2 m<sup>3</sup>/h), un pH de 6,9 et une conductivité élevée. Des précipitations d'oxyhydroxydes sont relevées sur ce point. Les eaux de cette source rejoignent à l'aval le Valat des Campels, affluent de la Salindrenque.

Sur le secteur Gravouillère, l'émergence du TB de la Poudrière (ESO\_09) présente un débit de 1 m<sup>3</sup>/h, un pH de 7,9 et une conductivité modérée. Des précipitations d'oxyhydroxydes sont relevées sur ce point. Ce point d'eau alimente le ruisseau d'Aiguesmortes, quelques centaines de mètres avant sa confluence avec le Gardon de Saint-Jean.

L'émergence du Pradinas (ESO\_04) a un débit quasi nul, un pH de 6,3 et une conductivité modérée. Les eaux de cette émergence alimentent le Gardons de Mialet.

Sur le secteur du Serre, l'émergence (ESO\_06) et la source aménagée (ESO\_05) ont un débit quasi nul, un pH compris entre 7,3 et 7,5, et une conductivité modérée.

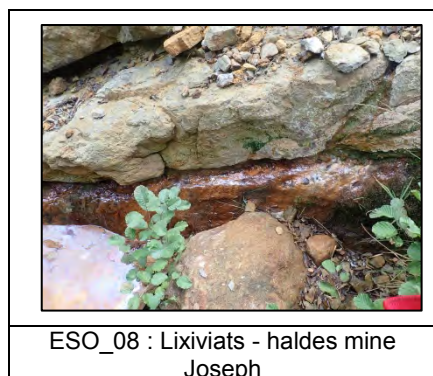
ESO_07 : Source du Bijoumet	ESO_09 : Emergence du TB de la Poudrière - Carrière la Ferrière	ESO_04 : Emergence - Pradinas
ESO_06 : Emergence - le Serre	ESO_05 : Source - bassin aménagé - le Serre	

*Photographies 14 et 15 : Points de prélèvements d'eaux souterraines sur le secteur Gardon de Saint-Jean en période d'étiage (source : GEODERIS, octobre 2017)*

Les autres points sont à sec (ESO\_14, ESO\_15, ESO\_16, ESO\_18 et ESO\_20).

### **Secteur Ourne**

En étiage, les lixiviats issus des haldes de la mine Joseph (ESO\_08) sont quasi nuls. Ils présentent un pH très acide de 3,4 et une conductivité élevée de 2 550  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Des précipitations d'oxydes de fer (coloration orangée et irisation des eaux) ont été observées au niveau du ruisseau du Paleyrolle, à la base des haldes.



ESO\_08 : Lixiviats - haldes mine Joseph

*Photographie 16 : Points de prélèvements d'eaux souterraines sur le secteur Ourne en période d'étiage (source : GEODERIS, octobre 2017)*

Les autres points sont à sec (ESO\_17, ESO\_19, ESO\_21 et ESO\_22).

## 2.2.2.2 Période de hautes-eaux

La synthèse des paramètres physico-chimiques mesurés lors de la campagne de mars 2018 est reportée dans le Tableau 37.

Point de prélèvement	Localisation	Débit (m <sup>3</sup> /h)	pH	Cond. (µS/cm)	T°C	Remarque
<b>Secteur Reigous</b>						
PAL18_HE_ESO_01	Emergence - Mas d'Alzon	< 2	3,2	450	10,9	Suintements permanents des parois
PAL18_HE_ESO_02	Emergence 1 - Nord-est Carnoulès	< 2	5,5	80	12,3	-
PAL18_HE_ESO_03	Lixiviats – dépôt de résidus de traitement de Carnoulès	2 à 5	3,7	2 300	11,9	Présence d'oxyhydroxydes Eau turbide et orange
PAL18_HE_ESO_10	Emergence 2 - Nord-est Carnoulès	<2	4,2	110	10,5	-
PAL18_HE_ESO_11	Emergence 3 - Nord-est Carnoulès	< 1	3,2	445	13,2	Présence d'oxyhydroxydes
PAL18_HE_ESO_13	Emergence Carnoulès - face aux Services Techniques	5 à 10	2,6	1 820	10	-
<b>Secteur Gardon de Saint-Jean</b>						
PAL18_HE_ESO_15	Lixiviats - dépôts résidus de traitement	< 1	6,9	3 470	11,2	-
PAL18_HE_ESO_16	Fossé - haldes face au dépôt de résidus de traitement de Pallières (mélange de lixiviats et d'eaux superficielles)	< 2	3,3	1 700	10,9	-
PAL18_HE_ESO_07	Source du Bijournet	<i>non mesuré</i>	6,7	955	13,2	Présence d'oxyhydroxydes
PAL18_HE_ESO_09	Emergence - Carrière la Ferrière	<5	7,7	580	8,5	Présence d'oxyhydroxydes
PAL18_HE_ESO_04	Emergence - Pradinas	< 2	7,8	583	11,5	-
PAL18_HE_ESO_05	Source – bassin aménagé – le Serre	< 2	7,7	741	12	-
PAL18_HE_ESO_06	Emergence aval – le Serre	< 2	8,2	570	9,5	-
PAL18_HE_ESO_14	Emergence amont - le Serre	< 1	4,2	560	12,5	Présence d'oxyhydroxydes
PAL18_HE_ESO_18	Ruisseau de Pallières (mélange de lixiviats et d'eaux superficielles)	< 1	7,1	99	7	-
PAL18_HE_ESO_20	Source affluent ruisseau de Graviès	< 2	7,5	555	8,9	-
<b>Secteur Ourne</b>						
PAL18_HE_ESO_08	Lixiviats - haldes mine Joseph	<i>non mesuré</i>	2,3	6 040	9,8	Présence d'oxyhydroxydes Eau turbide et orange
PAL18_HE_ESO_17	Emergence - puits Pastré	< 1	2,6	1 620	10,8	-
PAL18_HE_ESO_21	Emergence - lieu-dit Paleyrolle	< 1	7	987	10,7	Couleur orange
PAL18_HE_ESO_19	Amont ruisseau de Naville	< 1	2,2	4 350	9,2	Couleur orange
PAL18_HE_ESO_22	Source – proximité cimetière Saint-Félix-de-Pallières	<i>non mesuré</i>	8	398	10,6	-

Tableau 37 : Valeurs de débit et paramètres physico-chimiques mesurés sur les points de prélèvements d'eaux souterraines en période de hautes-eaux (mars 2018)

En période de hautes-eaux, les écoulements sont systématiquement plus importants qu'en période d'étiage.







## Secteur Reigous

En hautes-eaux, les lixiviats du dépôt de résidus de traitement de Carnoulès (ESO\_03) ont un débit compris entre 2 et 5 m<sup>3</sup>/h. Le pH est acide et la conductivité très élevée comme en étiage. Des précipitations d'oxydes de fer sont relevées le long du Reigous à l'aval du dépôt.

Au niveau des anciennes MCO de Carnoulès, en face du bâtiment des Services Techniques, une émergence (ESO\_13) a un débit compris entre 5 et 10 m<sup>3</sup>/h, un pH très acide de 2,6 et une conductivité élevée de 1 820 µS/cm. Après leur émergence, les eaux transitent via un fossé avant de rejoindre le ruisseau du Reigous.

Les émergences du versant au nord-est de Carnoulès (ESO\_02, ESO\_10 et ESO\_11) ont chacune un débit inférieur à 2 m<sup>3</sup>/h, un pH acide compris entre 3,2 et 5,5, et une conductivité faible ou modérée comprise entre 80 et 450 µS/cm.

Plus à l'est, l'émergence au Mas d'Alzon (ESO\_01) a un débit inférieur à 2m<sup>3</sup>/h. Le pH acide relevé est du même ordre de grandeur qu'en étiage et la conductivité est plus modérée.

		
ESO_03 : Lixiviats – dépôt de résidus de traitement de Carnoulès	ESO_13 : Emergence – travaux MCO Carnoulès	ESO_02 : Emergence 1 - Nord-est Carnoulès
		
ESO_10 : Emergence 2 - Nord-est Carnoulès	ESO_11 : Emergence 3 - Nord-est Carnoulès	ESO_01 : Emergence – Mas d'Alzon

*Photographies 17, 18, 19, 20, 21 et 22 : Points de prélèvements d'eaux souterraines sur le secteur Reigous en période de hautes-eaux (source : GEODERIS, mars 2018)*

## Secteur Gardon de Saint-Jean

En période de hautes-eaux, les lixiviats du dépôt de résidus de traitement (ESO\_15) ont un débit inférieur à 1m<sup>3</sup>/h, un pH proche de 7 et une conductivité très élevée de 3 470 µS/cm. Face au dépôt de résidus, les eaux prélevées dans un fossé au pied des halles (ESO\_16) atteignent un débit de 2 m<sup>3</sup>/h, un pH acide de 3,3 et une conductivité élevée de 1 700 µS/cm. Ces lixiviats s'écoulent vers le nord et constituent la partie amont du ruisseau d'Aiguesmortes.










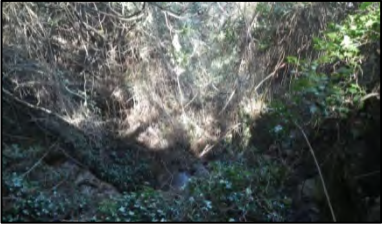
Au niveau de la source du Bijournet (point ESO\_07), aucune mesure de débit n'a pu être réalisée sur ce point car l'eau de la source était mélangée avec les écoulements superficiels provenant de l'amont du versant. Les eaux ont un pH proche de 7 et une conductivité légèrement moindre qu'en étiage. Des précipitations d'oxyhydroxydes sont encore relevées sur ce point.

Sur le secteur Gravouillère, l'émergence du TB de la Poudrière (ESO\_09) présente un débit estimé entre 3 et 5 m<sup>3</sup>/h, un pH supérieur à 7 et une conductivité modérée du même ordre qu'en étiage. Des précipitations d'oxyhydroxydes sont encore relevées sur ce point.

L'émergence du Pradinas (ESO\_04) a un débit inférieur à 2m<sup>3</sup>/h, un pH de 7,8 et une conductivité modérée.

Sur le secteur du Serre, l'émergence aval (ESO\_06) et la source aménagée (ESO\_05) ont un débit inférieur à 2m<sup>3</sup>/h et un pH compris entre 7 et 8. L'émergence amont (ESO\_14) a un débit inférieur à 1m<sup>3</sup>/h, un pH acide de 4,2. Les conductivités restent modérées.

Enfin, les sources des ruisseaux de Pallières (ESO\_18) et Graviès (ESO\_20) ont un débit mesuré entre 1 et 2 m<sup>3</sup>/h, un pH supérieur à 7 et des conductivités faibles à modérées.

		
ESO_15 : Lixiviats - dépôts résidus de traitement	ESO_16 : Fossé - haldes face au dépôt de résidus de traitement	ESO_07 : Source du Bijoumet
		
ESO_09 : Emergence du TB de la Poudrière- Carrière la Ferrière	ESO_04 : Emergence - Pradinas	ESO_05 : Source - bassin aménagé - le Serre
		
ESO_06 : Emergence aval - le Serre	ESO_14 : Emergence amont - le Serre	ESO_18 : Ruisseau de Pallières
		
ESO_20 : Source affluent ruisseau de Graviès		

*Photographies 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 à 32 : Points de prélèvements d'eaux souterraines sur le secteur Gardon de Saint-Jean en période de hautes-eaux (source : GEODERIS, mars 2018).*

## Secteur Ourne

En période de hautes-eaux, les lixiviats issus des haldes de la mine Joseph (ESO\_08) ont un pH très acide de 2,3 et une conductivité très élevée de 6 040  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dépassant les valeurs mesurées en période d'été. La présence d'oxyhydroxydes (coloration orangée et l'irisation des eaux) au niveau du ruisseau du Paleyrolle a encore été observée. Le débit des lixiviats n'a pas pu être évalué en raison du linéaire important (plusieurs dizaines de mètres) affecté par les suintements et les écoulements à la base des haldes.

En partie sud du carreau de la mine de Pallières, l'émergence du puits Pastré (ESO\_17) a un débit inférieur à 1  $\text{m}^3/\text{h}$ , un pH très acide de 2,6 et une conductivité élevée de 1 620  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Les eaux s'infiltrent progressivement dans les sols sur quelques dizaines de mètres.

Au lieu-dit Paleyrolle, l'émergence du Valat de Serre (ESO\_21), affluent du ruisseau du Paleyrolle, a un débit inférieur à 1  $\text{m}^3/\text{h}$ , un pH de 7 et une conductivité modérée.

Sur le flanc est de Pallières, les eaux provenant de la zone des Terres Rouges en partie amont du ruisseau de Naville (ESO\_19) ont un débit inférieur à 1  $\text{m}^3/\text{h}$ , un pH très acide de 2,2 et une conductivité très élevée de 4 350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ce ruisseau rejoint celui du Paleyrolle.

Pour les eaux de la source en amont du cimetière de Saint-Félix-de-Pallières (ESO\_22), un pH de 8 et une conductivité modérée ont été mesurés. La représentativité de ces mesures par rapport à la qualité des eaux de la source reste toutefois incertaine du fait d'un mélange des eaux de cette source avec les eaux superficielles de la rivière Ourne. Ce mélange n'a d'ailleurs pas permis d'estimer le débit réel de la source.

		
ESO_08 : Lixiviats - haldes Mine Joseph	ESO_17 : Emergence - puits Pastré	ESO_21 : Emergence - lieu-dit Paleyrolle
		
ESO_19 : Amont ruisseau de Naville	ESO_22 : Source – proximité cimetière Saint-Félix-de-Pallières	

*Photographies 33, 34, 35, 36 et 37 : Points de prélèvements d'eaux souterraines sur le secteur Ourne en période de hautes-eaux (source : GEODERIS, mars 2018)*



### 2.2.2.3 Synthèse des paramètres physico-chimiques

Sur l'ensemble des points d'eaux souterraines investigués, neuf points semblent particulièrement impactés par les anciens travaux miniers au regard des paramètres physico-chimiques. Il s'agit de lixiviats, d'émergences ou encore d'eaux s'infiltrant et circulant rapidement à travers des galeries ou des zones de travaux de surface.

Sur ces points considérés comme remarquables, huit d'entre-deux sont sujet au drainage minier acide (DMA)<sup>24</sup>. Ces points présentent des pH très acides, compris entre 2 et 3,5, et sont fortement minéralisés.

Le dernier point remarquable correspond aux lixiviats du dépôt de résidus de traitement de Carnoulès. Bien que les eaux circulant à travers le dépôt n'indiquent pas de drainage minier acide (le pH relevé est proche de 7), elles restent néanmoins fortement minéralisées et sont de fait vecteur de transfert d'éléments traces métalliques et métalloïdes.

Ces points sont synthétisés dans le Tableau 38 et sur la Figure 53.

Secteur hydrographique	Point de prélèvement	Libellé	Débit (m <sup>3</sup> /h)	pH	Cond. (µS/cm)	Exutoire	Commentaire
Reigous	ESO_01	Emergence - Mas d'Azon	< 2	3,2	2 960	Ruisseau de l'Alzon	Drainage minier acide observé
	ESO_03	Lixiviats – dépôt de résidus de traitement de Carnoulès	< 5	3,5	4 000	Ruisseau du Reigous	Drainage minier acide observé
	ESO_11	Emergence 3 – Nord-est Carnoulès	< 0,1	3,2	445	Ruisseau du Reigous	Drainage minier acide observé
	ESO_13	Emergence Carnoulès - face aux Services Techniques	< 10	2,6	1 820	Ruisseau du Reigous	Drainage minier acide observé
Gardon de Saint-Jean	ESO_15	Lixiviats - dépôts résidus de traitement	< 1	6,9	3 470	Ruisseau d'Aiguesmortes	Très forte minéralisation
	ESO_16	Fossé - haldes face au dépôt de résidus de traitement	< 2	3,3	1 700	Ruisseau d'Aiguesmortes	Drainage minier acide observé
Ourne	ESO_08	Lixiviats - haldes Mine Joseph	?	2,3	6 000	Ruisseau du Paleyrolle	Drainage minier acide observé
	ESO_17	Emergence - puits Pastré	< 1	2,6	1 620	Infiltration dans le sol	Drainage minier acide observé
	ESO_19	Amont ruisseau de Naville	< 1	2,2	4 350	Ruisseau du Paleyrolle	Drainage minier acide observé

Tableau 38 : Synthèse des points de prélèvements d'eaux souterraines considérés comme remarquables

<sup>24</sup> Lors de l'ouverture des galeries ou les excavations de surface, la roche est brutalement mise en contact avec l'oxygène de l'air qui circule dans les travaux miniers. Des réactions d'oxydation des sulfures contenus dans la roche (comme la pyrite) se produisent alors avec production d'acide sulfurique. Ce type de réactions produit les effluents acides des mines, connus sous le nom de drainage minier acide (DMA).

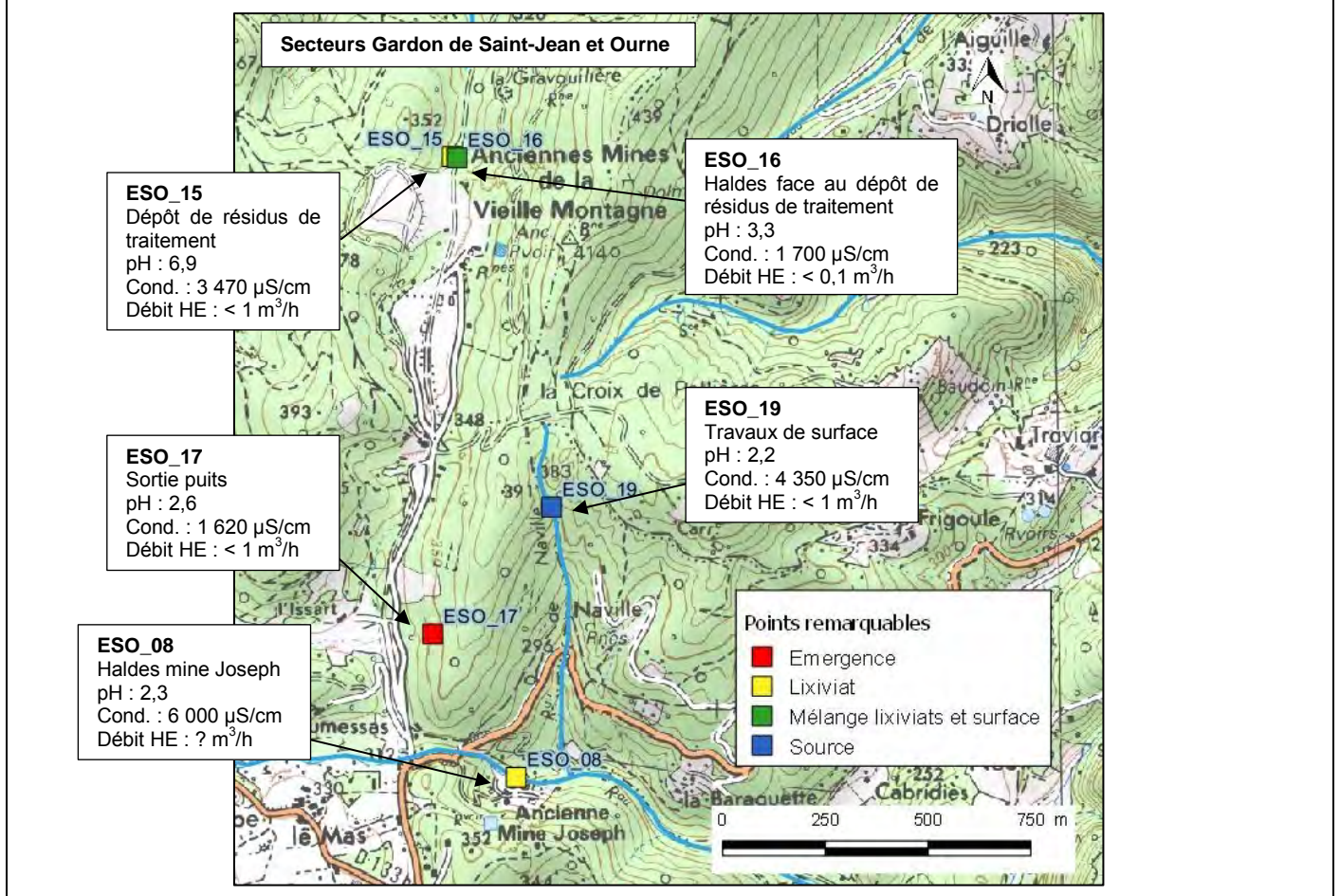
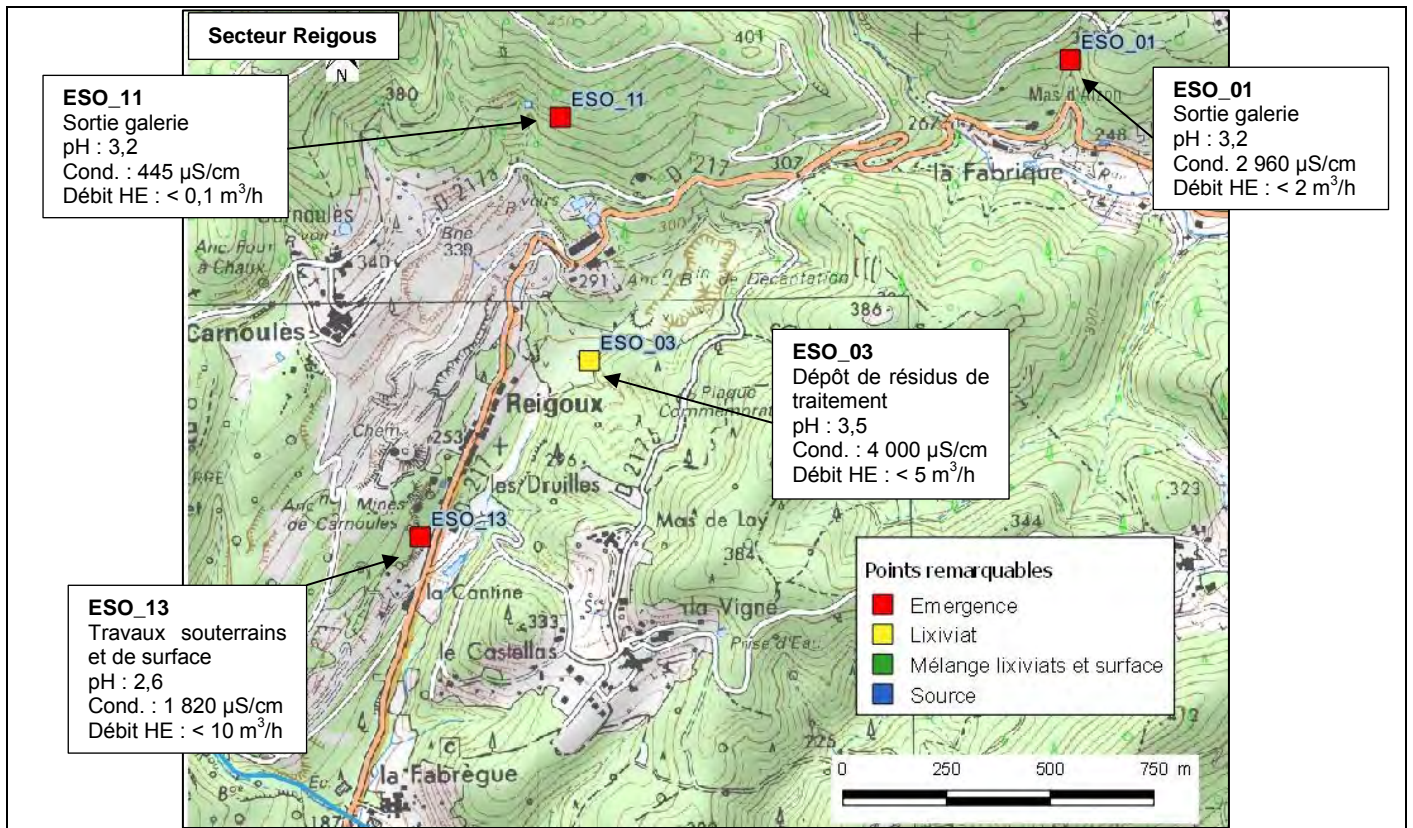


Figure 53 : Localisation des points de prélèvements d'eaux souterraines considérés comme remarquables au regard des paramètres physico-chimiques

## 2.2.3 Hydrogéochimie des points de prélèvement d'eaux souterraines

L'examen de l'hydrogéochimie a été réalisé avec le logiciel DIAGRAMMES disponible sur le site Internet du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon<sup>25</sup>.

Le diagramme de Piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eau. Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global des ions majeurs

Un diagramme de Piper a été réalisé pour les points de prélèvement d'eaux souterraines (Figure 54).

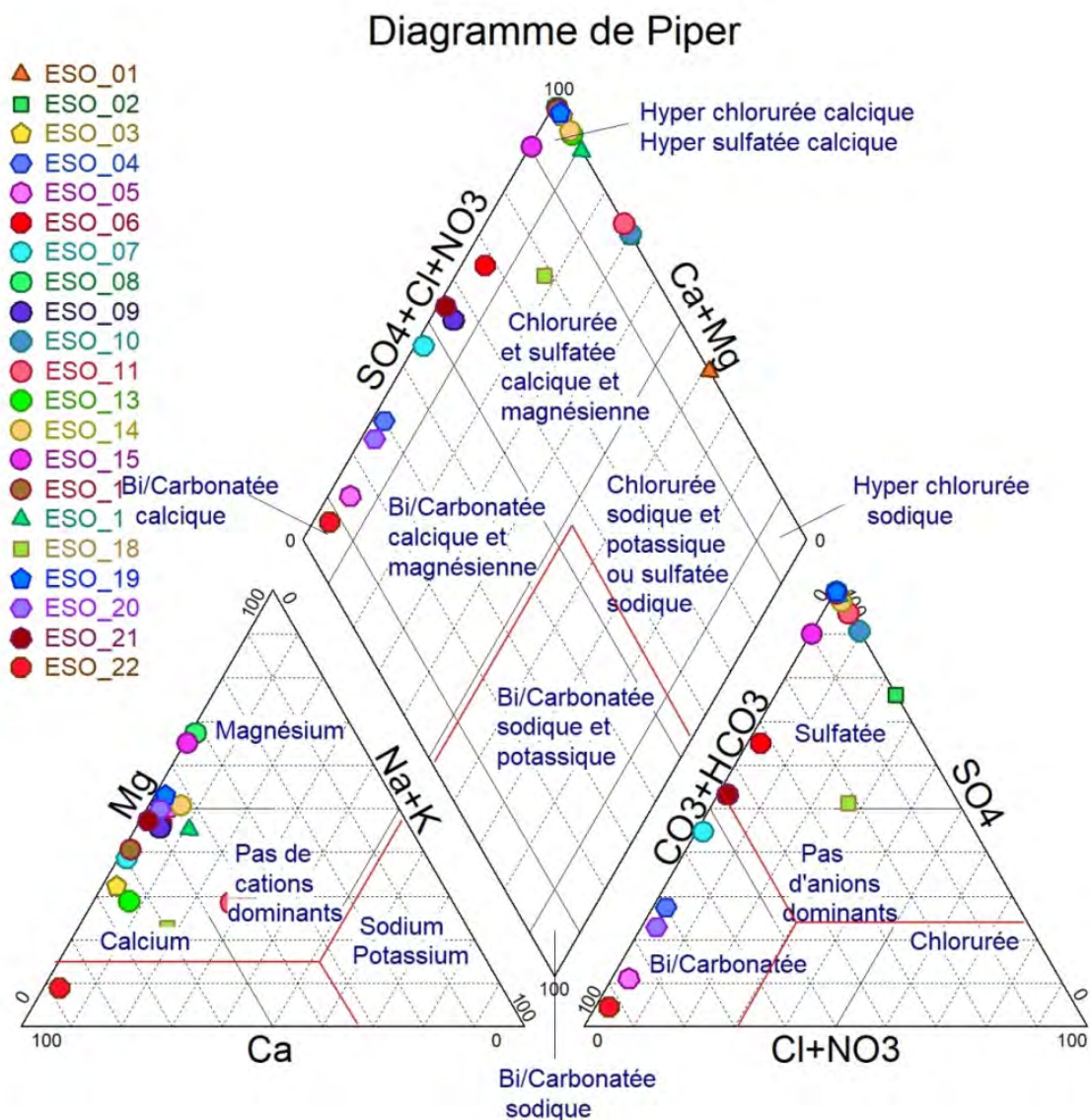


Figure 54 : Diagrammes de Piper pour les eaux souterraines prélevées en période de hautes-eaux (mars 2018)

<sup>25</sup> <http://www.lha.univ-avignon.fr/LHA-Logiciels.htm>

La majorité des points d'eaux se répartit entre les faciès bicarbonaté calcique/magnésien, et chloruré/sulfaté calcique/magnésien. Ces faciès correspondent aux eaux ayant circulé au sein des lithologies sédimentaires de type calcaires et dolomies observées sur la zone d'étude ainsi qu'aux eaux riches en sulfates et issues de l'altération des sulfures (pole sulfaté calcique).

#### **2.2.4 Concentrations en métaux et métalloïdes dans les eaux souterraines**

Les résultats analytiques des différents prélèvements d'eaux souterraines sont présentés dans les Tableau 39 à Tableau 41.

Ces résultats analytiques sont comparés aux limites et/ou références de qualité pour les substances chimiques dans les eaux destinées à la consommation humaine définis dans l'arrêté du 11 janvier 2007 indiquées en Figure 55.

**LIMITES ET REFERENCES DE QUALITE DES EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION HUMAINE  
POUR LES ELEMENTS METALLIQUES**

**Limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine** (fixées pour l'application des dispositions prévues aux articles R.1321-7 (II), R.1321-17 et R.1321-42 du code de la santé publique (Arrêté du 11/01/2007))

Paramètre	Limite	Unité
Arsenic	100	µg/L
Baryum (pour les eaux superficielles)	1,0	mg/L
Cadmium	5	µg/L
Chrome total	50	µg/L
Cyanures	50	µg/L
Mercure	1,0	µg/L
Plomb	50	µg/L
Sélénium	10	µg/L
Zinc	5,0	mg/L

**Limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine** (Arrêté du 11/01/2007 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. 1321-38 du code de la santé publique)

Paramètre	Limite <sup>5</sup>	Référence <sup>6</sup>	Unité
Aluminium total	-	200	µg/L
Antimoine	5,0		µg/L
Arsenic	10		µg/L
Baryum	0,7		mg/L
Bore	1,0		mg/L
Cadmium	5,0		µg/L
Chrome	50		µg/L
Cuivre	2,0	1,0	mg/L
Cyanures totaux	50		µg/L
Fer total	-	200	µg/L
Fluorures	1,50		mg/L
Manganèse	-	50	µg/L
Mercure	1,0		µg/L
Nickel	20		µg/L
Plomb	10		µg/L
Sélénium	10		µg/L

<sup>5</sup> **Limite de qualité** : valeur réglementaire fixée pour les paramètres dont la présence dans l'eau induit des risques immédiats ou à plus ou moins long terme pour la santé du consommateur. Ces limites de qualité garantissent, au vu des connaissances scientifiques et médicales disponibles, un haut niveau de protection sanitaire aux consommateurs. Les eaux doivent respecter les valeurs inférieures ou égales aux limites de qualité.

<sup>6</sup> **Référence de qualité** : valeur réglementaire fixée pour une vingtaine de paramètres indicateurs de qualité qui constituent des témoins du fonctionnement des installations de production et de distribution d'eau. Ces substances *n'ont pas d'incidence directe sur la santé* mais peuvent mettre en évidence un dysfonctionnement des installations de traitement, ou être à l'origine de désagrément pour le consommateur.

*Figure 55 : Limites et références de qualité des eaux brutes destinées à la consommation humaine pour les éléments métalliques (source : arrêté du 11 janvier 2007)*

Les valeurs surlignées en jaune dans les tableaux de synthèse correspondent à des dépassements des valeurs de l'arrêté du 11 janvier 2007 pour les eaux brutes.

Paramètres	Unités	LQ	Limite et référence de qualité (arrêté du 11 janvier 2007)	PAL17_BE																		
				Secteur REIGOUS						Secteur GARDON DE SAINT-JEAN										Secteur OURNE		
				ESO_01	ESO_01-F	ESO_02	ESO_02-F	ESO_03	ESO_03-F	ESO_04	ESO_04-F	ESO_05	ESO_05-F	ESO_06	ESO_06-F	ESO_07	ESO_07-F	ESO_09	ESO_09-F	ESO_08	ESO_08-F	
Matières en suspension	mg/l	-	-	<2,0	-	5	-	96	-	24	-	<2,0	-	24	-	3	-	11	-	-	-	
Titre Alcalimétrique complet	°F	2	-	<2,00	-	<2,00	-	<2,00	-	7	-	27	-	18	-	25	-	17	-	<2,00	-	
Carbonates	mg CO3/l	-	-	0	-	0	-	0	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-	0	-	
Hydrogencarbonates	mg HCO3/l	-	-	0	-	0	-	0	-	35	-	280	-	167	-	261	-	156	-	0	-	
Nitrates	mg NO3/l	1	-	<1,00	-	<1,00	-	<8,86	-	<1,00	-	4	-	<1,00	-	<1,00	-	<1,00	-	<1,00	-	
Azote nitrique	mg N-NO3/l	0,2	-	<0,20	-	<0,20	-	<2,00	-	<0,20	-	1	-	<0,20	-	<0,20	-	<0,20	-	<0,20	-	
Chlorures	mg/l	1	-	6	-	5	-	8	-	4	-	7	-	5	-	6	-	5	-	9	-	
Sulfates	mg/l	5	-	42	-	42	-	3 090	-	342	-	43	-	131	-	756	-	200	-	2 040	-	
Carbone Organique par oxydation	mg C/l	0,5	-	1	-	1	-	3	-	1	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	1	-	
Fluorures	mg/l	0,5	2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-
Aluminium (Al)	mg/l	0,05	0,2	4	4	0,11	0,08	38	38	2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	36	0,1
Calcium (Ca) soluble	mg/l	1	-	1	-	10	-	325	-	91	-	2	-	61	-	210	-	75	-	247	-	
Fer (Fe)	mg/l	0,01	0,2	0,3	0,3	2	0,05	1 050	1 060	10	<0,01	<0,01	<0,01	0,5	0,1	0,4	<0,01	3,6	<0,01	14	3	
Magnésium dissous	mg/l	0,01	-	1	-	5	-	108	-	55	-	0	-	35	-	96	-	44	-	298	-	
Potassium (K) soluble	mg/l	0,1	-	4	-	2	-	24	-	4	-	4	-	2	-	4	-	2	-	3	-	
Sodium soluble	mg/l	0,05	-	2	-	2	-	8	-	3	-	6	-	6	-	6	-	7	-	6	-	
Thallium (Tl)	mg/l	0,02	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,1	0,3	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02
Antimoine (Sb)	µg/l	0,2	5	0,3	0,3	0,2	<0,20	10	6,3	2,2	0,5	0,2	0,2	<0,20	<0,20	0,4	0,4	0,5	0,3	<0,20	<0,20	
Argent (Ag)	µg/l	0,5	-	1	1	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Arsenic (As)	µg/l	0,2	10	1	1	4	1	112 000	112 000	37	24	4	3	2	1	7	2	9	3	1	1	
Baryum (Ba)	µg/l	0,2	700	54	52	51	51	12	12	28	23	59	59	29	27	12	12	26	24	7	13	
Cadmium (Cd)	µg/l	0,2	5	0,5	0,5	1,1	1,0	71	70	35	22	1,9	1,9	0,7	0,4	0,9	0,8	<0,20	<0,20	27	10	
Chrome (Cr)	µg/l	0,5	50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	29	26	1	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	10	<0,50	
Cobalt (Co)	µg/l	0,2	-	4	4	13	11	242	225	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	123	66	
Cuivre (Cu)	µg/l	0,5	1 000	162	164	56	47	33	31	15	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	280	1	
Manganèse (Mn)	µg/l	0,5	50	11	11	468	406	6 780	6 890	124	86	<0,50	<0,50	74	26	342	340	309	305	3 640	1 240	
Nickel (Ni)	µg/l	2	20	8	8	25	22	425	409	38	29	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	12	12	4	3	66	24	
Plomb (Pb)	µg/l	0,5	10	1 010	1 010	1	<0,50	875	831	463	1	12	11	2	<0,50	1	<0,50	5	<0,50	5	4	
Uranium (U)	µg/l	2	-	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	17	17	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	3	<2,00	
Zinc (Zn)	µg/l	5	5 000	24	26	143	130	16 700	19 300	11 200	5 860	388	372	136	98	2 220	2 020	117	58	3 280	573	
Mercure (Hg)	µg/l	0,2	1	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	-	
Thorium (Th)	µg/l	1	-	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	

Légende  
ESO\_01 : échantillon d'eau brute  
ESO\_01-F : échantillon d'eau filtrée

Tableau 39 : Résultats d'analyses sur les eaux souterraines prélevées en période d'étiage (octobre 2017)

Paramètres	Unités	LQ	Limite et référence de qualité (arrêté du 11 janvier 2007)	PAL18_HE																					
				Secteur REIGOUS										Secteur GARDON DE SAINT-JEAN											
				ESO_01	ESO_01-F	ESO_02	ESO_02-F	ESO_03	ESO_03-F	ESO_10	ESO_10-F	ESO_11	ESO_11-F	ESO_13	ESO_13-F	ESO_04	ESO_04-F	ESO_05	ESO_05-F	ESO_06	ESO_06-F	ESO_07	ESO_07-F	ESO_09	ESO_09-F
Matières en suspension	mg/l	-	-	<2,0	-	6	-	130	-	<2,0	-	<2,0	-	3	-	5	-	<2,0	-	5	-	<9,1	-	15	-
Titre Alcalimétrique complet	°F	2	-	<10,0	-	<0,50	-	<7,50	-	<1,00	-	<5,00	-	<25,0	-	22	-	36	-	9	-	30	-	16	-
Carbonates	mg CO3/l	-	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-
Hydrogénocarbonates	mg HCO3/l	-	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	231	-	384	-	63	-	321	-	141	-	-	-
Nitrates	mg NO3/l	1	-	<1,00	-	<1,00	-	2	-	<1,00	-	<1,00	-	<1,00	-	<1,00	-	4	-	<1,00	-	<1,00	-	<1,00	-
Azote nitrique	mg N-NO3/l	0,2	-	<0,20	-	<0,20	-	1	-	<0,20	-	<0,20	-	<0,20	-	<0,20	-	1	-	<0,20	-	<0,20	-	<0,20	-
Chlorures	mg/l	1	-	5	-	5	-	10	-	3	-	4	-	8	-	6	-	10	-	5	-	6	-	4	-
Sulfates	mg/l	5	-	73	-	19	-	1 540	-	33	-	90	-	645	-	86	-	44	-	176	-	241	-	177	-
Carbone Organique par oxydation	mg C/l	0,5	-	1	-	3	-	3	-	-	-	2	-	3	-	1	-	1	-	1	-	1	-	<0,5	-
Fluorures	mg/l	0,5	2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	
Aluminium (Al)	mg/l	0,05	0,2	5	5	0,30	0,22	18	18	3	3	8	8	52	51	0,17	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Calcium (Ca) soluble	mg/l	1	-	2	-	4	-	255	-	4	-	4	-	41	-	65	-	79	-	60	-	145	-	66	-
Fer (Fe)	mg/l	0,01	0,2	7,62	7,59	1,3	0,89	347	319	0,08	0,06	5,66	5,56	66	66	0,58	0,02	<0,01	<0,01	0,20	0,05	0,5	0,08	5,27	0,84
Magnésium dissous	mg/l	0,01	-	1	-	2	-	77	-	2	-	2	-	11	-	43	-	54	-	35	-	57	-	37	-
Potassium (K) soluble	mg/l	0,1	-	4	-	1	-	10	-	1	-	1	-	0,8	-	1	-	3	-	2	-	1	-	2	-
Sodium soluble	mg/l	0,05	-	4	-	3	-	8	-	2	-	2	-	4,7	-	3	-	7	-	5	-	4	-	6	-
Thallium (Tl)	mg/l	0,02	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Antimoine (Sb)	µg/l	0,2	5	0,8	0,8	0,9	0,7	17	4	0,5	0,5	1,4	1,4	11	11	1,1	1,0	0,3	0,3	<0,20	<0,20	0,3	0,2	1,2	0,6
Argent (Ag)	µg/l	0,5	-	0,7	0,8	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	1,3	1,4	1,0	1,0	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	
Arsenic (As)	µg/l	0,2	10	77	73	10	3	25 400	19 600	5	1,5	19	17	645	629	2,3	0,6	0,6	0,6	0,9	0,5	8	5	17	4
Baryum (Ba)	µg/l	0,2	700	49	50	93	93	22	18	85	85	52	54	10	11	62	59	69	65	48	46	6	7	30	27
Cadmium (Cd)	µg/l	0,2	5	0,4	0,4	0,9	0,9	41	39	1,2	1,2	2,9	3,2	78	79	21	17	2,8	2,3	2,1	2,0	2,0	2,0	0,4	<0,20
Chrome (Cr)	µg/l	0,5	50	0,6	0,6	<0,50	<0,50	22	18	<0,50	<0,50	3	3	7	7	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	
Cobalt (Co)	µg/l	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cuivre (Cu)	µg/l	0,5	1 000	320	321	138	119	401	399	512	504	3 240	3 240	479	490	4	1	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	1	<0,50	
Manganèse (Mn)	µg/l	0,5	50	19	19	169	163	3 110	3 180	153	153	226	231	2 520	2 470	25	24	2	2	17	11	103	100	422	403
Nickel (Ni)	µg/l	2	20	11	11	21	18	202	204	65	64	290	288	181	186	13	13	<2,00	<2,00	2	<2,00	3	3	5	4
Plomb (Pb)	µg/l	0,5	10	1 130	1 080	7	3	673	567	200	207	5	6	422	432	45	3	14	12	<0,50	<0,50	1	<0,50	20	<0,50
Uranium (U)	µg/l	2	-	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	8	8	<2,00	<2,00	8	10	10,1	10,4	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Zinc (Zn)	µg/l	5	5 000	90	70	90	90	9 270	9 340	100	100	240	240	13 800	15 100	6 550	5 740	640	630	340	340	830	780	130	80
Mercure (Hg)	µg/l	0,2	1	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,6
Thorium (Th)	µg/l	1	-	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	16	11	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	8,5	8,6	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00

Légende  
ESO\_01 : échantillon d'eau brute  
ESO\_01-F : échantillon d'eau filtrée

Tableau 40 : Résultats d'analyses sur les eaux souterraines prélevées en période de hautes-eaux (mars 2018) – 1/2

Paramètres	Unités	LQ	Limite et référence de qualité (arrêté du 11 janvier 2007)	PAL18_HE																			
				Secteur GARDON DE SAINT-JEAN										Secteur OURNE									
				ESO_14	ESO_14-F	ESO_15	ESO_15-F	ESO_16	ESO_16-F	ESO_18	ESO_18-F	ESO_20	ESO_20-F	ESO_08	ESO_08-F	ESO_17	ESO_17-F	ESO_19	ESO_19-F	ESO_21	ESO_21-F	ESO_22	ESO_22-F
Matières en suspension	mg/l	-	-	31	-	11	-	93	-	<2,0	-	<2,0	-	3	-	76	-	<2,0	-	12	-	4	-
Titre Alcalimétrique complet	°F	2	-	<0,50	-	23	-	<5,00	-	2	-	22	-	<100	-	<25,0	-	<22,5	-	25	-	19	-
Carbonates	mg CO3/l	-	-	0	-	<24,0	-	0	-	<3,96	-	<24,0	-	0	-	0	-	0	-	<24,0	-	<24,0	-
Hydrogénocarbonates	mg HCO3/l	-	-	0	-	238	-	0	-	0	-	238	-	0	-	0	-	0	-	254	-	188	-
Nitrates	mg NO3/l	1	-	<1,00	-	<1,00	-	4	-	<1,00	-	<1,00	-	<1,00	-	<1,00	-	<4,43	-	<1,00	-	<1,00	-
Azote nitrique	mg N-NO3/l	0,2	-	<0,20	-	<0,20	-	1	-	<0,20	-	<0,20	-	<0,20	-	<0,20	-	<1,00	-	<0,20	-	<0,20	-
Chlorures	mg/l	1	-	5	-	6	-	6	-	6	-	7	-	8	-	4	-	5	-	8	-	4	-
Sulfates	mg/l	5	-	258	-	2 110	-	995	-	15	-	70	-	3 830	-	401	-	1 740	-	283	-	9	-
Carbone Organique par oxydation	mg C/l	0,5	-	1	-	1	-	2	-	3	-	1	-	1	-	4	-	3	-	<0,5	-	4	-
Fluorures	mg/l	0,5	2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Aluminium (Al)	mg/l	0,05	0,2	2	1,1	<0,05	<0,05	20	20	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	38	39	21	21	39	40	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Calcium (Ca) soluble	mg/l	1	-	42	-	342	-	194	-	12	-	60	-	281	-	14	-	66	-	116	-	75	-
Fer (Fe)	mg/l	0,01	0,2	34	16,6	0,15	<0,01	10	8,4	0,02	0,02	0,01	0,04	231	227	37	37	501	509	5,3	0,13	0,05	<0,01
Magnésium dissous	mg/l	0,01	-	30	-	390	-	82	-	2,7	-	38	-	363	-	9	-	47	-	65	-	5	-
Potassium (K) soluble	mg/l	0,1	-	1,7	-	2,6	-	2,4	-	1,0	-	0,4	-	7	-	1,4	-	0,8	-	0,2	-	0,9	-
Sodium soluble	mg/l	0,05	-	6,4	-	3,4	-	4,0	-	3,4	-	3,8	-	5	-	3,2	-	3,1	-	4,4	-	2,7	-
Thallium (Tl)	mg/l	0,02	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Antimoine (Sb)	µg/l	0,2	5	0,4	<0,20	1,7	1,2	0,7	0,4	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,4	0,3	3,1	2,6	0,6	0,4	5,8	5,1	<0,20	<0,20
Argent (Ag)	µg/l	0,5	-	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	3,7	3,1	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Arsenic (As)	µg/l	0,2	10	19	1,3	3,7	0,8	7,9	1,9	0,6	0,6	0,4	0,5	7	7	16	11	47	32	16	0,4	0,4	<0,20
Baryum (Ba)	µg/l	0,2	700	79	79	20	20	20	21	102	94	123	129	2	2	19	17	11	10	6,7	6,5	4,1	3,7
Cadmium (Cd)	µg/l	0,2	5	8	9	83	79	210	202	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	59	59	105	107	14	15	21	18	<0,20	<0,20
Chrome (Cr)	µg/l	0,5	50	1	<0,50	<0,50	<0,50	4	4	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	27	27	5	5	45	45	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Cobalt (Co)	µg/l	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cuivre (Cu)	µg/l	0,5	1 000	35	28	11	7	541	549	<0,50	0,6	<0,50	<0,50	1 300	1 280	305	291	297	298	57	10,3	0,8	<0,50
Manganèse (Mn)	µg/l	0,5	50	356	358	158	149	1 250	1 300	7,1	7,0	<0,50	1,8	3 300	3 350	1 980	1 960	2 720	2 870	149	150	3,0	1,2
Nickel (Ni)	µg/l	2	20	29	28	19,6	19	67	69	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	115	112	67	65	114	117	18	17	<2,00	<2,00
Plomb (Pb)	µg/l	0,5	10	11	4,4	139	82	742	754	<0,50	1,3	0,5	<0,50	42	41	1 640	1 610	335	345	12	<0,50	1,7	<0,50
Uranium (U)	µg/l	2	-	2,9	2,1	2,5	2,3	4,9	4,7	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	6	6	4,2	4,2	14	14	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Zinc (Zn)	µg/l	5	5 000	1 220	1 290	21 300	19 500	36 200	36 500	<200	<200	<200	<200	8 500	8 500	19 200	19 300	810	800	6 830	5 840	<200	<200
Mercurure (Hg)	µg/l	0,2	1,0	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Thorium (Th)	µg/l	1	-	2,8	<1,00	<1,00	<1,00	2,9	3,0	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	20	16	8,7	10,4	30,4	36	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00

Légende  
ESO\_01 : échantillon d'eau brute  
ESO\_01-F : échantillon d'eau filtrée

Tableau 41 : Résultats d'analyses sur les eaux souterraines prélevées en période de hautes-eaux (mars 2018) – 2/2



De nombreux points d'eaux souterraines dépassent les limites et/ou les références de qualité des eaux brutes destinées à la consommation humaine définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007 pour les éléments métalliques, en étiage comme en hautes-eaux.

### **Secteur Reigous**

Sur le secteur des anciennes mines de Carnoulès, les concentrations sont très importantes. Elles sont présentes essentiellement sous forme dissoute et atteignent sur eaux brutes comme sur eaux filtrées à 0,45 µm :

- au niveau des lixiviats du dépôt de résidus de traitement (ESO\_03), jusqu'à 112 mg/l d'arsenic, 875 µg/l de plomb, 17 mg/l de zinc, 17 µg/l d'antimoine, 425 µg/l de nickel, 70 µg/l de cadmium, 7 mg/l de manganèse, 1 g/l de fer et 38 mg/l d'aluminium ;
- sur l'émergence des travaux souterrains (ESO\_13), jusqu'à 650 µg/l d'arsenic, 420 µg/l de plomb, 13 mg/l de zinc, 10 µg/l d'antimoine, 80 µg/l de cadmium, 180 µg/l de nickel, 2,5 mg/l de manganèse, 66 mg/l de fer et 50 mg/l d'aluminium.

Sur les versants au nord-est de Carnoulès, les concentrations en métaux atteignent :

- pour l'émergence n°1 (ESO\_02), une concentration en arsenic sur eaux brutes proche de 10 µg/l en période de hautes-eaux, qui diminue fortement après filtration à 0,45 µm indiquant la présence d'éléments sous forme particulaire ;
- pour l'émergence n°2 (ESO\_10), une concentration en plomb sur eaux brutes et filtrées à 0,45 µm de 200 µg/l, indiquant la présence d'éléments essentiellement sous forme dissoute ;
- pour l'émergence n°3 (ESO\_11), des concentrations en arsenic et cuivre respectives de 20 et 3 000 µg/l sur eaux brutes et filtrées à 0,45 µm ;

Les résultats en période de basses-eaux ne sont pas interprétables pour l'émergence du Mas d'Alzon (ESO\_01) du fait de la présence d'eau stagnante.

### **Secteur Gardon de Saint-Jean**

Sur la partie nord des anciennes mines de Pallières, les concentrations sont présentes essentiellement sous forme dissoute et atteignent des valeurs faibles à très élevées sur eaux brutes et filtrées à 0,45 µm :

- au niveau des lixiviats du dépôt de résidus de traitement (ESO\_15), 4 µg/l d'arsenic, 140 µg/l de plomb, 21 mg/l de zinc, 85 µg/l de cadmium et 160 µg/l de manganèse. À noter la forte concentration en sulfates de 2 g/l ;
- au niveau des lixiviats des haldes face au dépôt de résidus (ESO\_16), jusqu'à 8 µg/l d'arsenic, 740 µg/l de plomb, 36 mg/l de zinc, 67 µg/l de nickel, 210 µg/l de cadmium, 1,3 mg/l de manganèse, 10 mg/l de fer et 20 mg/l d'aluminium. À noter la forte concentration en sulfates de 1 g/l ;

Au droit de l'émergence du Pradinas (ESO\_04) les concentrations sur eaux brutes atteignent en étiage 37 µg/l d'arsenic, 463 µg/l de plomb, 11 mg/l de zinc et 35 µg/l de cadmium. Ces éléments sont présents sous forme dissoute et particulaire. En hautes-eaux, les concentrations en arsenic sont plus faibles (2 µg/l) et restent élevées pour le plomb, le cadmium et le zinc.

L'émergence amont du Serre (ESO\_14) présente en période de hautes-eaux des concentrations importantes sur eaux brutes en arsenic (20 µg/l) qui diminuent fortement après filtration à 0,45 µm, et en cadmium (8 µg/l) qui restent élevée sur eau filtrée. La

concentration en plomb dépasse faiblement la valeur de référence pour le plomb de 10 µg/l, uniquement sur échantillon d'eau brute.

Pour la source du Bijounet (ESO\_07) dont le débit est important et l'origine hydrogéologique méconnue, des concentrations non négligeables sont observées en fer (0,5 mg/l), en arsenic (7 µg/l), en manganèse (342 µg/l) et en zinc (2 mg/l).

Pour l'émergence du TB de la Poudrière (ESO\_09), les concentrations en hautes-eaux peuvent atteindre 17 µg/l d'arsenic, 20 µg/l de plomb et 5 mg/l de fer sur échantillon d'eau brute. Ces concentrations baissent fortement après filtration à 0,45 µm.

Aucune teneur élevée n'a été relevée sur les sources des ruisseaux de Pallières (ESO\_18) et de Graviès (ESO\_20).

### **Secteur Ourne**

Pour les lixiviats de la mine Joseph (ESO\_08), les concentrations en métaux sont très élevées en hautes-eaux et basses-eaux. Elles atteignent en hautes-eaux 42 µg/l de plomb, 9 mg/l de zinc, 60 µg/l de cadmium, 230 mg/l de fer, 3 g/l de manganèse, 60 µg/l d'aluminium et 115 µg/l de nickel. La concentration en arsenic est faible avec 7 µg/l. Ces éléments sont présents sous forme dissoute et particulaire.

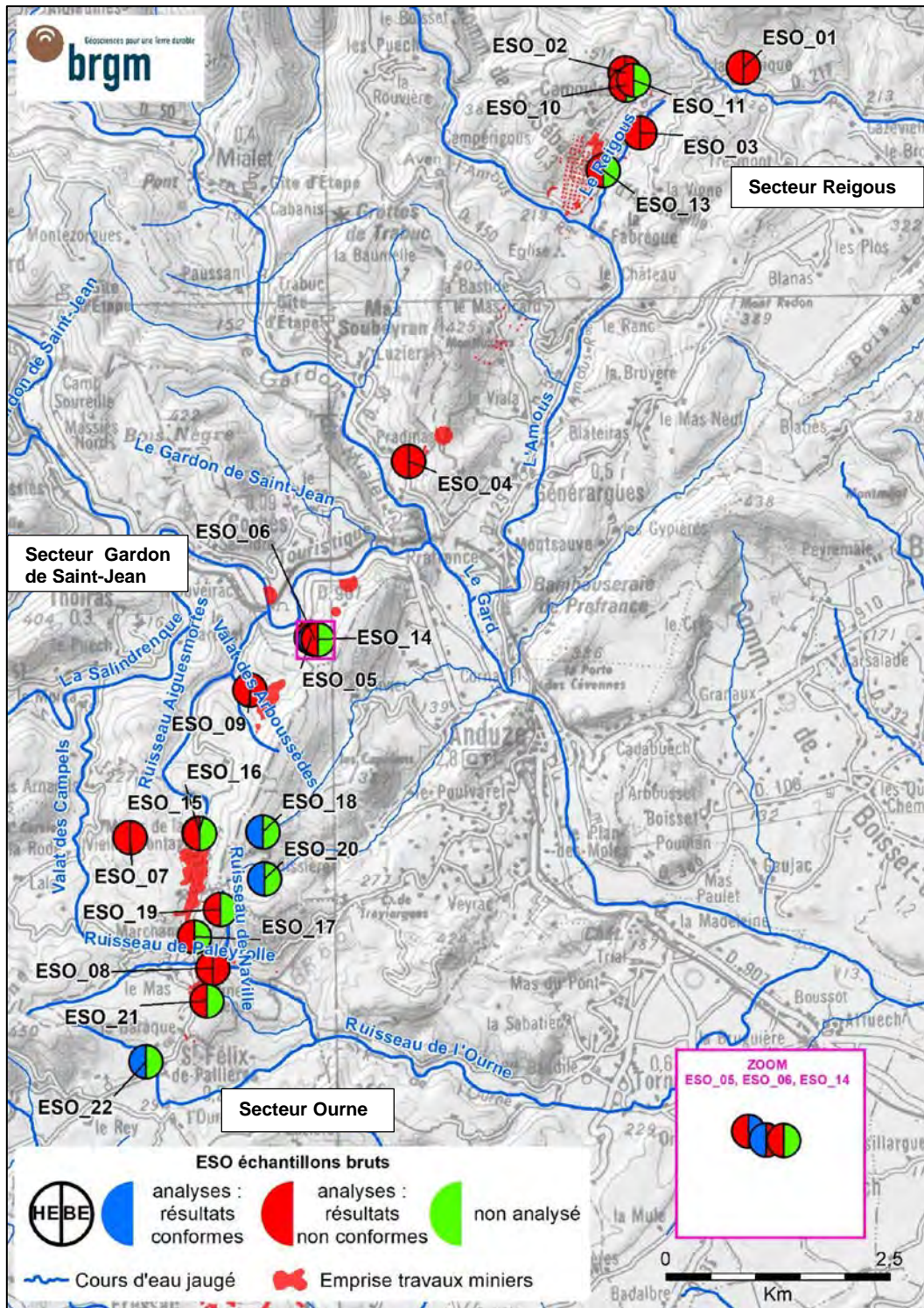
Sur la partie sud des anciennes mines de Pallières, les concentrations sont présentes essentiellement sous forme dissoute et atteignent des valeurs très élevées au niveau du puits Pastré (ESO\_17), 1 650 µg/l de plomb, 20 mg/l de zinc, 67 µg/l en nickel, 105 µg/l de cadmium, 2 mg/l de manganèse, 37 mg/l de fer et 20 mg/l d'aluminium. La concentration en arsenic est plus faible avec 16 µg/l.

Sur le secteur du flanc est au niveau des Terres-Rouges (ESO\_19), les concentrations en éléments traces métalliques sont très élevées et atteignent 47 µg/l d'arsenic, 340 µg/l de plomb, 15 µg/l de cadmium, 115 µg/l de nickel, 2,7 g/l de manganèse, 500 mg/l de fer et 40 mg/l d'aluminium. Les éléments sont présents essentiellement sous forme dissoute.

Au niveau de l'émergence du Valat de Serre (ESO\_21), les concentrations atteignent 16 µg/l d'arsenic, 12 µg/l de plomb, 7 mg/l de zinc, 20 µg/l de cadmium, 5 mg/l de fer et 6 µg/l d'antimoine. Ces éléments sont présents sous forme dissoute et particulaire.

Enfin, les eaux prélevées au niveau de la source située à proximité du cimetière de Saint-Félix-de-Pallières (ESO\_22) ne dépassent pas les valeurs de référence. Toutefois, de par les conditions de prélèvement défavorables sur le terrain (source tarie en étiage, et submergée par les eaux du réseau superficiel en hautes-eaux) le prélèvement est considéré peu fiable et les résultats d'analyses peu représentatifs de la qualité réelle des eaux de cette source.

La Figure 56 met en lumière les dépassements des valeurs de référence pour les eaux brutes en fonction de la période hydrologique.



**Figure 56 : Comparaison des résultats d'analyses des points de prélèvements d'eaux souterraines au regard des limites et/ou références de qualité des eaux brutes destinées à la consommation humaine en fonction de la période hydrologique**

## 2.3 Impacts sur les eaux superficielles

### 2.3.1 Points d'eaux superficielles investigués

Les cours d'eau superficiels investigués dans le cadre des campagnes hautes-eaux et basses-eaux sont indiqués dans le Tableau 42 suivant et sur la Figure 11. Les fiches de prélèvements se trouvent en **Annexe 5**.

Ces points ont été regroupés en quatre secteurs hydrographiques :

- le ruisseau du Reigous et, à l'aval, la rivière Amous, nommé « **Secteur Reigous** », qui draine les travaux miniers de Carnoulès, le dépôt de résidus de traitement et le ravin des Combette ;
- le Valat des Campels, le ruisseau Aiguesmortes et le Valat des Arboussèdes, La Salindrenque, puis, à l'aval le Gardon de Saint-Jean, nommé « **Secteur Gardon de Saint-Jean** », qui draine la partie nord des travaux de la mine de Pallières (dont le dépôt de résidus de traitement), le flanc ouest de Pallières, ainsi que les travaux de Pallières-Gravouillère, des Adams et du Pradinas ;
- le ruisseau de Paleyrolle, le ruisseau de Naville puis, à l'aval, le ruisseau de l'Ourne, nommé « **Secteur Ourne** », qui draine la partie sud des travaux du secteur de Croix-de-Pallières, ainsi que les secteurs mine Joseph, Curnier, flanc-est de Pallières, mine Roman et la Baraque ;
- la partie aval du système hydrographique, nommée « **Secteur Gardon d'Anduze** ».

Secteur hydrographique	Point de prélèvement	Cours d'eau
Secteur Reigous	ESU_13	Le ruisseau du Reigous avant sa confluence avec la rivière Amous
	ESU_18	Le ruisseau des Combettes - partie aval
	ESU_16	La rivière Amous après sa confluence avec le ruisseau des Combettes mais avant sa confluence avec le ruisseau du Reigous
	ESU_17	La rivière Amous après sa confluence avec le ruisseau du Reigous
Secteur Gardon de Saint-Jean	ESU_08	Le Valat des Campels après sa confluence avec les eaux de la source du Bijournet
	ESU_07	La rivière Salindrenque après sa confluence avec le Valat des Campels
	ESU_04	Le Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec la rivière Salindrenque
	ESU_06	Le ruisseau d'Aiguesmortes - partie médiane
	ESU_09	Le Valat des Arboussèdes - partie aval
	ESU_05	Le Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec le ruisseau d'Aiguesmortes
	ESU_01	Le Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec le Gardon de Mialet, et avant sa confluence avec la rivière Amous
Secteur Ourne	ESU_12	Le ruisseau de Naville - partie aval
	ESU_10	Le ruisseau du Paleyrolle en aval des haldes de la mine Joseph
	ESU_15	Le ru du Mas Neuf
	ESU_11	La rivière Ourne après sa confluence avec le ruisseau du Paleyrolle et en aval du Moulin des Autiés
Secteur aval - Gardon d'Anduze	ESU_03	Le Gardon d'Anduze après la confluence entre le Gardon de Saint-Jean et la rivière Amous
	ESU_02	Le Gardon d'Anduze après sa confluence avec la rivière Ourne

Tableau 42 : Points de prélèvements d'eaux superficielles durant les campagnes hautes-eaux et basses-eaux

Au final, 18 échantillons d'eaux superficielles ont été prélevés.

Leur localisation est précisée sur la Figure 57.

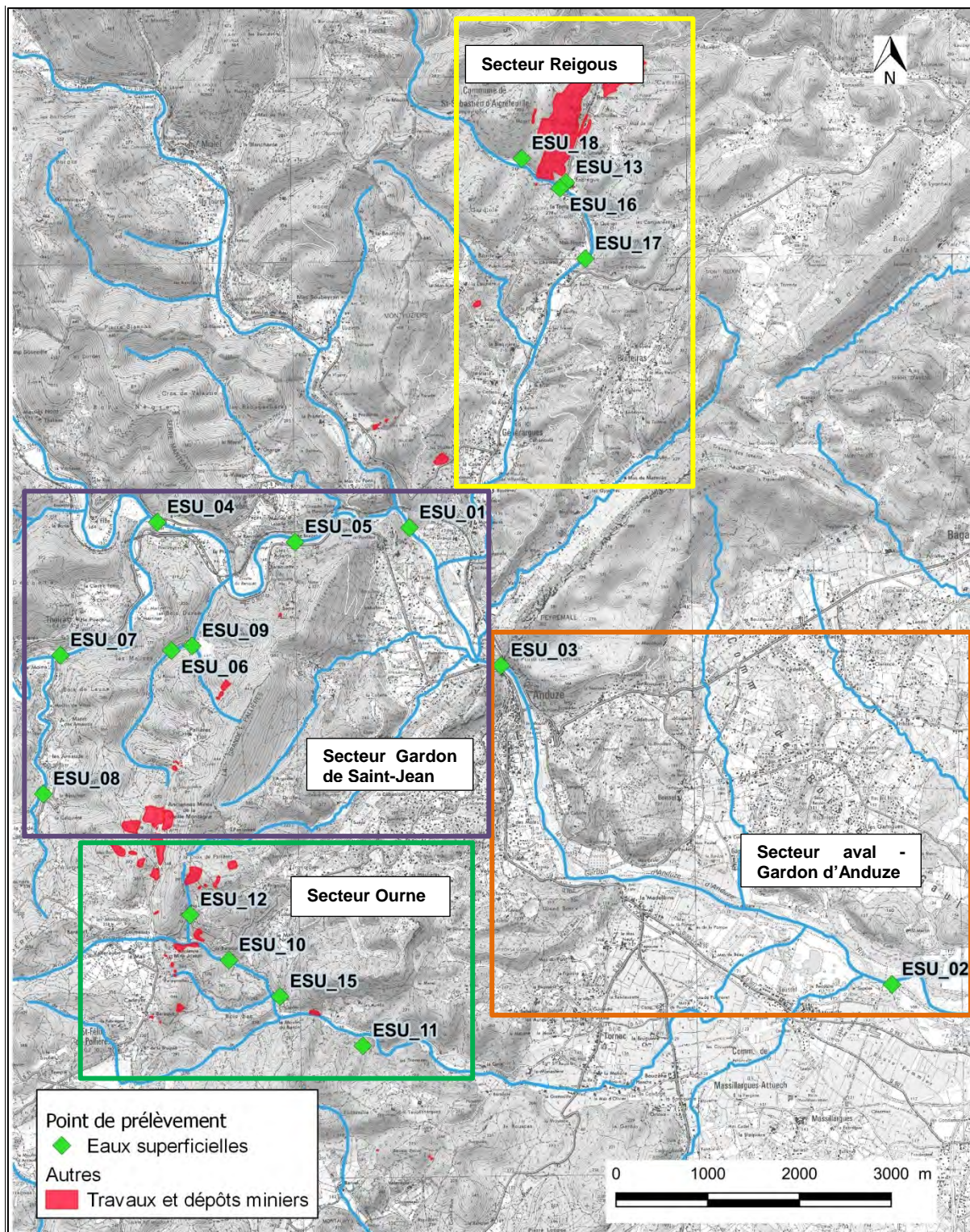


Figure 57 : Localisation des points de prélèvement d'eaux superficielles selon les secteurs hydrographiques

## 2.3.2 Paramètres physico-chimiques

Lors des campagnes de prélèvements, des estimations de débits et des mesures des paramètres physico-chimiques ont été effectuées lorsque le volume d'eau était suffisant.

### 2.3.2.1 Période de basses-eaux

La synthèse des paramètres physico-chimiques mesurés lors de la campagne d'octobre 2017 est reportée dans le Tableau 43.

Point de prélèvement	Localisation	Débit (m <sup>3</sup> /h)	pH	Cond. (µS/cm)	T°C	Remarque
<b>Secteur du Reigous</b>						
PAL17_BE_ESU_13	Le ruisseau du Reigous avant sa confluence avec la rivière Amous	0,5	5,8	1 740	15,3	-
PAL17_BE_ESU_18	Le ruisseau des Combettes - partie aval	<i>nul</i>	-	-	-	-
PAL17_BE_ESU_16	La rivière Amous après sa confluence avec le ruisseau des Combettes mais avant sa confluence avec le ruisseau du Reigous	8	8,1	515	17,3	-
PAL17_BE_ESU_17	La rivière Amous après sa confluence avec le ruisseau du Reigous	16	7,8	632	13,9	-
<b>Secteur du Gardon de Saint-Jean</b>						
PAL17_BE_ESU_08	Le Valat des Campels après sa confluence avec les eaux de la source du Bijournet	18	8,2	899	14	-
PAL17_BE_ESU_07	La rivière Salindrenque après sa confluence avec le Valat des Campels	270	8	526	12,9	-
PAL17_BE_ESU_04	Le Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec la rivière Salindrenque	315	8,6	345	16,5	-
PAL17_BE_ESU_06	Le ruisseau d'Aiguesmortes - partie médiane	2	8	528	15,1	-
PAL17_BE_ESU_09	Le Valat des Arboussèdes - partie aval	<i>nul</i>	-	-	-	-
PAL17_BE_ESU_05	Le Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec le ruisseau d'Aiguesmortes	1 000	7,9	384	16,3	-
PAL17_BE_ESU_01	Le Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec le Gardon de Mialet, et avant sa confluence avec la rivière Amous	2 030	8,3	312	0	-
<b>Secteur de l'Ourne</b>						
PAL17_BE_ESU_12	Le ruisseau de Naville - partie aval	<i>nul</i>	-	-	-	-
PAL17_BE_ESU_10	Le ruisseau du Paleyrolle en aval des haldes de la Mine Joseph	2	7,6	1 463	12,1	-
PAL17_BE_ESU_15	Le ru du Mas Neuf	1	8	620	12,6	-
PAL17_BE_ESU_11	La rivière Ourne après sa confluence avec le Paleyrolle et en aval du Moulin des Autiés	17	8,1	595	12,8	-
<b>Secteur aval - Gardon d'Anduze</b>						
PAL17_BE_ESU_03	Le Gardon d'Anduze après la confluence entre le Gardon de Saint-Jean et la rivière Amous	2 450	8,2	398	16,7	-
PAL17_BE_ESU_02	Le Gardon d'Anduze après sa confluence avec la rivière Ourne	<i>non mesuré</i>	8,1	400	19,4	Débit important – matériel de jaugeage inadapté

Tableau 43 : Débit et paramètres physico-chimiques mesurés sur les points de prélèvements d'eaux superficielles en période de basses-eaux (octobre 2017)

## **Secteur Reigous**

En période d'étiage, le ruisseau du Reigous en amont de sa confluence avec l'Amous (ESU\_13) a un débit très faible, un pH 5,5 et une conductivité élevée de 1 740  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

La rivière Amous présente :

- après sa confluence avec le ruisseau des Combettes mais avant sa confluence avec le Reigous, un débit de 8  $\text{m}^3/\text{h}$ , un pH de 8,1 et une conductivité modérée (ESU\_16) ;
- après sa confluence avec le Reigous et d'autres sources issues du versant en rive gauche, elle présente un débit de 15  $\text{m}^3/\text{h}$ , un pH de 7,8 et une conductivité modérée (ESU\_17).

Le ruisseau des Combettes (ESU\_18) était à sec durant toutes les campagnes de terrain.









*Photographie 38 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur Reigous en période d'étiage (source : GEODERIS, octobre 2017)*

## **Secteur Gardon de Saint-Jean**

En période d'étiage, les eaux superficielles prélevées sur le secteur présentent des pH de 8 et des conductivités modérées. Les débits suivants sont enregistrés :

- 270  $\text{m}^3/\text{h}$  pour la rivière Salindenque (ESU\_07), dont 20  $\text{m}^3/\text{h}$  provenant du Valat des Campels (ESU\_08) dans lequel se jettent les eaux de la source du Bijournet. Bien que modérée, la conductivité des eaux du Valat des Campels après la confluence avec la source du Bijournet est la plus importante du secteur, avec 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (les eaux minéralisées de la source du Bijournet affichaient une conductivité de 1 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$  lors de la campagne de prélèvement) ;
- après sa confluence avec la Salindenque, le Gardon de Saint-Jean a un débit de 315  $\text{m}^3/\text{h}$  au pont de Salindres (ESU\_04) ;
- le ruisseau d'Aiguesmortes, qui draine la partie nord de l'ancienne mine de Pallières, et notamment le dépôt de résidus de traitement (à sec en étiage), affiche un débit faible de 2  $\text{m}^3/\text{h}$  en amont de la carrière la Ferrière (ESU\_06) ;
- plus à l'aval, le Gardon de Saint-Jean a un débit de 1 000  $\text{m}^3/\text{h}$  au niveau du moulin des Adams (ESU\_05). À ce niveau, le Gardon de Saint-Jean a récupéré les eaux drainant les anciens travaux miniers du Serre ;
- après sa confluence avec le Gardon de Mialet qui draine les eaux de l'émergence du Pradinas, le Gardon de Saint-Jean a un débit de 2 000  $\text{m}^3/\text{h}$  (ESO\_01).

Enfin, le Valat des Arboussèdes (ESU\_09) qui longe la carrière de la Ferrière sur sa partie sud et se jette dans le ruisseau d'Aiguesmortes est à sec en période d'étiage.

		
ESU_08 : Le Valat des Campels après sa confluence avec les eaux de la source du Bijournet	ESU_07 : La rivière Salindrenque après sa confluence avec le Valat des Campels	ESU_04 : La Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec la rivière Salindrenque
		
ESU_06 : Le ruisseau d'Aiguesmortes - partie médiane	ESU_05 : Le Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec le ruisseau d'Aiguesmortes	ESU_01 : Le Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec le Gardon de Mialet, et avant sa confluence avec la rivière Amous

*Photographies 39, 40, 41, 42, 43 et 44 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur Gardon de Saint-Jean en période d'étiage (source : GEODERIS, octobre 2017)*


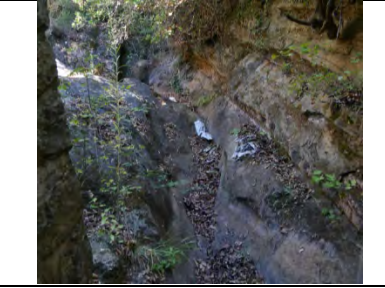

### **Secteur Ourne**

En période d'étiage, le ruisseau du Paleyrolle à 600 m en aval des haldes de la mine Joseph a un débit de 2 m<sup>3</sup>/h, un pH de 7,6 et une conductivité élevée de 1 500 µS/cm (ESU\_10).

Le ru du Mas Neuf, affluent du Paleyrolle, a un débit faible, un pH de 8 et une conductivité modérée (ESU\_15).

À l'aval de sa confluence avec le Paleyrolle et de l'ancienne laverie des Autiés, la rivière Ourne a un débit de 17 m<sup>3</sup>/h, un pH de 8 et une conductivité modérée de 600 µS/cm (ESU\_11).

Le ruisseau de Naville (ESU\_12) qui se jette dans le Paleyrolle était à sec lors de la campagne de prélèvement.

		
ESU_10 : Le ruisseau du Paleyrolle en aval des haldes de la Mine	ESU_12 : Le ruisseau de Naville - partie aval	ESU_11 : La rivière Ourne en aval de sa confluence avec le ruisseau du Paleyrolle et de la laverie des Autiés

*Photographies 45, 46 et 47 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur Ourne en période d'étiage (source : GEODERIS, octobre 2017)*



## **Secteur aval - Gardon d'Anduze**

La confluence du Gardon de Saint-Jean, de la rivière Amous, et des ruisseaux de Pallières et de Graviès qui se rejoignent au niveau de la clue d'Anduze, dite « Porte des Cévennes » donne naissance au Gardon d'Anduze.

Ce cours d'eau correspond à l'exutoire superficiel du système hydrographique de la zone d'étude.

Le Gardon d'Anduze traverse la commune d'Anduze, avant d'être rejoint par d'autres rivières, dont l'Ourne.

Deux points de prélèvements d'eaux superficielles ont été effectués sur le Gardon d'Anduze :

- le premier en aval immédiat de la confluence des quatre cours d'eau précédemment cités (ESU\_03), à proximité du pont de chemin de fer ;
- le second à quelques kilomètres en aval, sur la commune d'Atuech, en aval de la confluence avec la rivière Ourne (ESU\_02).

En période d'étiage, le Gardon d'Anduze présente au droit des deux points de prélèvements un pH supérieur à 8 et une conductivité modérée de 400 µS/cm.

Un débit de 2 450 m<sup>3</sup>/h a été mesuré au niveau du point ESU\_03.

Après la confluence avec la rivière Ourne, le débit trop important du Gardon d'Anduze n'a pas pu être mesuré (ESU\_02), car la section en eau était trop large et le matériel de jaugeage disponible était sous-dimensionné.



*Photographies 48 et 49 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur aval - Gardon d'Anduze en période d'étiage (source : GEODERIS, octobre 2017)*

### 2.3.2.2 Période de hautes-eaux

La synthèse des paramètres physico-chimiques mesurés lors de la campagne de mars 2018 est reportée dans le Tableau 44.

Point de prélèvement	Localisation	Débit (m <sup>3</sup> /h)	pH	Cond. (µS/cm)	T°C	Remarque
<b>Secteur du Reigous</b>						
PAL18_HE_ESU_13	Le ruisseau du Reigous avant sa confluence avec la rivière Amous	95	3,5	866	10,5	-
PAL18_HE_ESU_18	Le ruisseau des Combettes - partie aval	5 à 10	7,3	341	9,4	-
PAL18_HE_ESU_16	La rivière Amous après sa confluence avec le ruisseau des Combettes mais avant sa confluence avec le ruisseau du Reigous	770	8,6	480	12,3	-
PAL18_HE_ESU_17	La rivière Amous après sa confluence avec le ruisseau du Reigous	4 900	8,1	470	11,7	-
<b>Secteur du Gardon de Saint-Jean</b>						
PAL18_HE_ESU_08	Le Valat des Campels après sa confluence avec les eaux de la source du Bijournet	160	8,3	725	11,8	-
PAL18_HE_ESU_07	La rivière Salindrenque après sa confluence avec le Valat des Campels	<i>non mesuré</i>	8,1	125,6	9,8	-
PAL18_HE_ESU_04	Le Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec la rivière Salindrenque	<i>non mesuré</i>	8,4	127,9	9,9	Crue – matériel de jaugeage inadapté
PAL18_HE_ESU_06	Le ruisseau d'Aiguesmortes - partie médiane	165	8,4	591	10,2	-
PAL18_HE_ESU_09	Le Valat des Arboussèdes - partie aval	20	8,3	393	10,6	-
PAL18_HE_ESU_05	Le Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec le ruisseau d'Aiguesmortes	<i>non mesuré</i>	8,1	121,6	10,2	Donnée <a href="https://www.rdbmrc.com">https://www.rdbmrc.com</a> : 50 m <sup>3</sup> /sec
PAL18_HE_ESU_01	Le Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec le Gardon de Mialet, et avant sa confluence avec la rivière Amous	<i>non mesuré</i>	8,1	127,1	9,8	Crue – matériel de jaugeage inadapté
<b>Secteur de l'Ourne</b>						
PAL18_HE_ESU_12	Le ruisseau de Naville - partie aval	30	8,1	267	8,5	-
PAL18_HE_ESU_10	Le ruisseau du Paleyrolle en aval des haldes de la Mine Joseph	420	8,4	525	10	-
PAL18_HE_ESU_15	Le ru du Mas Neuf	105	8,3	522	11,2	-
PAL18_HE_ESU_11	La rivière Ourne après sa confluence avec le ruisseau du Paleyrolle et en aval de la laverie des Autiés	1 060	8,4	597	9,2	-
<b>Secteur aval - Gardon d'Anduze</b>						
PAL18_HE_ESU_03	Le Gardon d'Anduze après la confluence entre le Gardon de Saint-Jean et la rivière Amous	<i>non mesuré</i>	8,1	177	10,1	Crue – matériel de jaugeage inadapté Donnée Vigicrue : 260 m <sup>3</sup> /sec le 15 mars 2018
PAL18_HE_ESU_02	Le Gardon d'Anduze après sa confluence avec la rivière Ourne	<i>non mesuré</i>	8,6	127,7	10,4	Crue – matériel de jaugeage inadapté

Tableau 44 : Valeurs de débit et paramètres physico-chimiques mesurés sur les points de prélèvements d'eaux superficielles en période de hautes-eaux (mars 2018)

En période de hautes-eaux, les écoulements sont systématiquement plus importants qu'en période d'étiage.

## Secteur Reigous

En période de hautes-eaux, le ruisseau du Reigous en amont de sa confluence avec la rivière Amous (ESU\_13) a un débit de 95 m<sup>3</sup>/h, un pH acide de 3,5 et une conductivité modérée de 650 µS/cm.

La rivière Amous, dont la conductivité est modérée, présente :

- après sa confluence avec le ruisseau des Combettes mais avant sa confluence avec le Reigous, un débit de 770 m<sup>3</sup>/h et un pH de 8,6 (ESU\_16) ;
- plus à l'aval, après sa confluence avec le Reigous et d'autres sources provenant du versant en rive gauche, un débit de 5 000 m<sup>3</sup>/h et un pH de 8,1 (ESU\_17).

Le ruisseau des Combettes (ESU\_18) avant sa confluence avec l'Amous a un débit compris entre 5 et 10 m<sup>3</sup>/h, un pH de 7,3 et une conductivité faible.









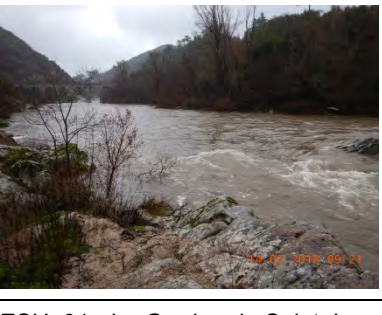
*Photographies 50, 51 et 52 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur Reigous en période de hautes-eaux (source : GEODERIS, mars 2018)*

## Secteur Gardon de Saint-Jean

En période de hautes-eaux, les eaux superficielles présentent, comme en étiage, des pH de 8 et des conductivités faibles à modérées. Les débits suivants ont été enregistrés :

- pour la rivière Salindrenque au point ESU\_07, un débit important qui n'a pu être mesuré par jaugeage du fait de la configuration locale défavorable (végétation dense et présence de nombreux bras de ramification) ;
- affluent de la Salindrenque, le Valat des Campels affiche en aval de sa confluence avec la source du Bijournet (ESU\_08) un débit de 160 m<sup>3</sup>/h. La conductivité des eaux du Valat des Campels après la confluence avec la source du Bijournet est la plus importante du secteur, avec 725 µS/cm (les eaux minéralisées de la source du Bijournet affichaient une conductivité de 955 µS/cm en mars 2018) ;
- après sa confluence avec la Salindrenque, le débit trop important du Gardon de Saint-Jean en crue au pont de Salindres (ESU\_04) n'a pu être mesuré par jaugeage ;
- le ruisseau d'Aiguesmortes, qui draine la partie nord de l'ancienne mine de Pallières, a un débit de 165 m<sup>3</sup>/h en amont de la carrière de la Ferrière (ESU\_06) ;
- plus à l'aval, d'après les données récoltées sur le serveur de données hydrométriques en temps réel (<http://www.rdbmrc.com>) le Gardon de Saint-Jean présente un débit de 180 000 m<sup>3</sup>/h au niveau du moulin des Adams (ESU\_05). À ce niveau, le Gardon de Saint-Jean a récupéré les eaux drainant les anciens travaux miniers du Serre ;
- après sa confluence avec le Gardon de Mialet qui draine les eaux du Pradinas, le débit trop important du Gardon de Saint-Jean n'a pu être mesuré (ESO\_01).

Enfin, le Valat des Arboussèdes (ESU\_09) qui longe la carrière de la Ferrière sur sa partie sud indique un débit de 20 m<sup>3</sup>/h.

		
ESU_08 : Le Valat des Campels après sa confluence avec les eaux de la source du Bijournet	ESU_07 : La rivière Salindrenque après sa confluence avec le Valat des Campels	ESU_04 : La Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec la rivière Salindrenque
		
ESU_06 : Le ruisseau d'Aiguesmortes - partie médiane	ESU_09 : Le Valat des Arboussèdes - partie aval	ESU_05 : Le Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec le ruisseau d'Aiguesmortes
		
ESU_01 : Le Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec le Gardon de Mialet, et avant sa confluence avec la rivière Amous		

*Photographies 53, 54, 55, 56, 57, 58 et 59 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur Gardon de Saint-Jean en période de hautes-eaux (source : GEODERIS, mars 2018)*

### **Secteur Ourne**


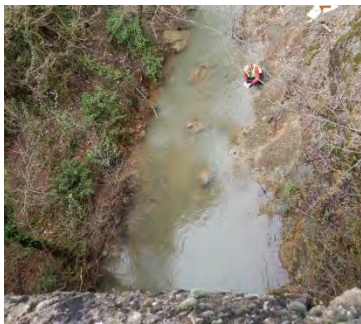

En période de hautes-eaux, le pH des eaux du secteur est proche de 8, comme en étiage.

Le ruisseau du Paleyrolle en aval des haldes de la mine Joseph a un débit de 420 m<sup>3</sup>/h, et sa conductivité qui était élevée en étiage (1463 µS/cm) devient modérée (525 µS/cm) qui traduit une baisse de la charge minérale par effet de dilution (ESU\_10).

Plus à l'aval, le ru du Mas Neuf a un débit de 105 m<sup>3</sup>/h, et sa conductivité reste modérée (ESU\_15).

À l'aval de sa confluence avec le Paleyrolle et de l'ancienne laverie des Autiés, la rivière Ourne indique un débit élevé de 1 060 m<sup>3</sup>/h, et sa conductivité reste modérée (ESU\_11).

Le ruisseau de Naville (ESU\_12) qui était à sec en étiage, affiche un débit de 30 m<sup>3</sup>/h, et une conductivité modérée.

		
<p>ESU_12 : Le ruisseau de Naville - partie aval</p>	<p>ESU_10 : Le ruisseau du Paleyrolle en aval des haldes de la Mine</p>	<p>ESU_11 : La rivière Ourne en aval de sa confluence avec le ruisseau du Paleyrolle et de la laverie des Autiés</p>



*Photographies 60, 61 et 62 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur Ourne en période de hautes-eaux (source : GEODERIS, mars 2018)*

### **Secteur aval - Gardon d'Anduze**

En période de hautes-eaux, le Gardon d'Anduze présente un pH supérieur à 8 et une conductivité plus faible qu'en étiage (inférieure à 200 µS/cm).

Les débits trop importants n'ont pas permis la réalisation de mesures par jaugeage.

Les données disponibles sur le site VIGICRUE indiquent un débit de 260 m<sup>3</sup>/seconde (soit 936 000 m<sup>3</sup>/h) le 15 mars 2018, sur le Gardon d'Anduze après la confluence entre la rivière Amous et le Gardon de Saint-Jean (ESU\_03).

	
<p>ESU_03 : Le Gardon d'Anduze après la confluence entre la rivière Amous et le Gardon de Saint-Jean</p>	<p>ESU_02 : Le Gardon d'Anduze après sa confluence avec la rivière Ourne</p>

*Photographies 63 et 64 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur aval - Gardon d'Anduze en période de hautes-eaux (source : GEODERIS, mars 2018)*

### **2.3.2.3 Synthèse des paramètres physico-chimiques**

Sur l'ensemble des points d'eaux superficielles investigués, deux points semblent particulièrement impactés par les anciens travaux miniers au regard des paramètres physico-chimiques :

- le ruisseau du Reigous, depuis le dépôt de résidus de traitement de Carnoulès, et jusqu'à sa confluence avec la rivière Amous. Le pH relevé à l'aval de ce cours d'eau (ESU\_13) est très acide en période de hautes-eaux (3,5) ; et sa minéralisation est parfois importante (1740  $\mu\text{S}/\text{cm}$  relevés en étiage) ;
- le ruisseau du Paleyrolle, à l'aval des haldes de la mine Joseph (ESU\_10). L'acidité des lixiviats en provenance des haldes est rapidement tamponnée dans le ruisseau du Paleyrolle par le contexte carbonaté. Le pH devient neutre, mais la charge minérale de ce ruisseau reste élevée, notamment en période d'étiage (1 463  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Il convient également de signaler la minéralisation modérée du Valat des Campels en période d'étiage (900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sur le point ESU\_08) dont l'origine semble provenir en grande partie des eaux de la source du Bijournet.

### **2.3.3 Hydrogéochimie des points de prélèvement d'eaux superficielles**

Un diagramme de Piper a été réalisé pour les points de prélèvement d'eaux superficielles (Figure 58).

## Diagramme de Piper

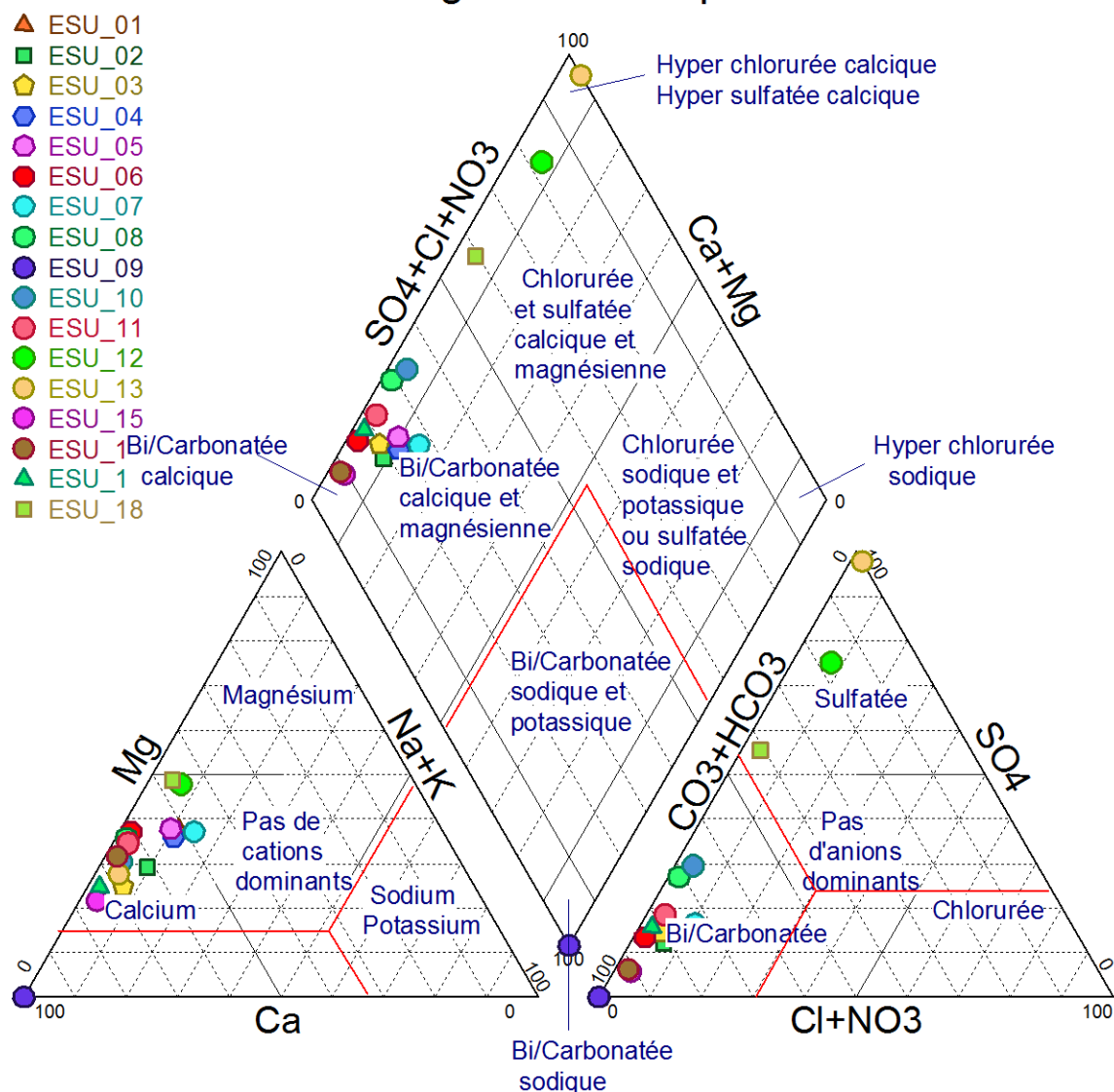


Figure 58 : Diagrammes de Piper pour les eaux superficielles prélevées en période de hautes-eaux (mars 2018)

La majorité des points d'eaux se trouve sur le faciès bicarbonaté calcique et magnésien, typique du contexte carbonaté du secteur.

### 2.3.4 Concentrations en éléments traces dans les eaux superficielles

Les résultats analytiques des différents prélèvements d'eaux superficielles sont présentés dans les Tableaux 45 à 48.

Ces résultats analytiques sont comparés aux limites et/ou références de qualité pour les substances chimiques dans les eaux destinées à la consommation humaine définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007 indiquées en Figure 55.

Les valeurs surlignées en jaune dans les tableaux de synthèse correspondent à des dépassements des valeurs de l'arrêté du 11 janvier 2007 pour les eaux brutes.

Paramètres	Unités	LQ	Limite et référence de qualité (arrêté du 11 janvier 2007)	PAL17_BE													
				Secteur REIGOUS						Secteur GARDON DE SAINT-JEAN							
				ESU_13	ESU_13-F	ESU_16	ESU_16-F	ESU_17	ESU_17-F	ESU_01	ESU_01-F	ESU_04	ESU_04-F	ESU_05	ESU_05-F	ESU_06	ESU_06-F
Matières en suspension	mg/l	2	-	50	-	<2.0	-	<2.0	<7.7	<2.0	-	<2.0	-	23	-	<2.0	-
Titre Alcalimétrique complet	°F	2	-	<2.00	-	27	-	27	20	10	-	11	-	13	-	22	-
Carbonates	mg CO3/l	-	-	0	-	<24.0	-	<24.0	<48.0	<24.0	-	<24.0	-	<24.0	-	<24.0	-
Hydrogénocarbonates	mg HCO3/l	-	-	0	-	274	-	283	151	78	-	90	-	112	-	220	-
Nitrates	mg NO3/l	1	-	83	-	<1.00	-	<1.00	<1.00	<1.00	-	<1.00	-	<1.00	-	<1.00	-
Azote nitrique	mg N-NO3/l	0,2	-	19	-	<0.20	-	0	<0.20	<0.20	-	<0.20	-	<0.20	-	<0.20	-
Chlorures	mg/l	1	-	34	-	5	-	7	7	7	-	7	-	7	-	5	-
Sulfates	mg/l	5	-	898	-	26	-	65	67	42	-	57	-	57	-	60	-
Carbone Organique par oxydation	mg C/l	0,5	-	1,1	-	0,9	-	0,6	1,1	1	-	1	-	1	-	1	-
Fluorures	mg/l	0,5	2	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Aluminium (Al)	mg/l	0,05	0,2	3,1	0,36	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Calcium (Ca) soluble	mg/l	1	-	245	-	64	-	102	102	35	-	36	-	44	-	63	-
Fer (Fe)	mg/l	0,01	0,2	8,2	7,6	0,0	<0.01	0,01	<0.01	0,01	<0.01	0,02	<0.01	0,01	<0.01	0,01	<0.01
Magnésium dissous	mg/l	0,01	-	75	-	36	-	24	14	16	-	15	-	20	-	28	-
Potassium (K) soluble	mg/l	0,1	-	15	-	0,6	-	1,4	1,4	1,1	-	1,5	-	1,3	-	0,9	-
Sodium soluble	mg/l	0,05	-	28	-	3,1	-	4,6	4,6	7	-	8	-	7	-	5	-
Thallium (Tl)	mg/l	0,02	-	0,03	0,03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Antimoine (Sb)	µg/l	0,2	5	0,6	0,6	0,4	0,4	1,1	1,1	0,4	0,5	<0.20	0,2	<0.20	0,2	1,1	1,1
Argent (Ag)	µg/l	0,5	-	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
Arsenic (As)	µg/l	0,2	10	16,7	2,2	4,7	4,9	16,9	15,5	6,8	6,3	12,9	10,9	8,3	7,8	2,2	2,3
Baryum (Ba)	µg/l	0,2	700	13	14	36	36	68	69	39	38	37	38	41	41	40	41
Cadmium (Cd)	µg/l	0,2	5	38	39	<0.20	<0.20	0,2	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	1,0	0,7
Chrome (Cr)	µg/l	0,5	50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
Cobalt (Co)	µg/l	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.20	<0.20	-	-	<0.20	<0.20
Cuivre (Cu)	µg/l	0,5	1 000	99	96	<0.50	0,7	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0,7	<0.50	<0.50	<0.50	1,0	0,8
Manganèse (Mn)	µg/l	0,5	50	15 500	59	2,7	28	16	9	3,5	3,1	4,8	1,9	3,9	13,7	1,4	1,1
Nickel (Ni)	µg/l	2	20	345	360	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00
Plomb (Pb)	µg/l	0,5	10	391	321	0,7	1,3	2,2	1,2	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	3,9	2,7
Uranium (U)	µg/l	2	-	15	7	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	3	3	2	2	<2.00	<2.00
Zinc (Zn)	µg/l	5	5 000	9 450	10 600	12	30	41	39	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	5	17	199	178
Mercure (Hg)	µg/l	0,2	1	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Thorium (Th)	µg/l	1	-	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00

Légende  
ESU\_01 : échantillon d'eau brute  
ESU\_01-F : échantillon d'eau filtrée

Tableau 45 : Résultats d'analyses sur les eaux superficielles prélevées en période d'étiage (octobre 2017) – 1/2



Paramètres	Unités	LQ	Limite et référence de qualité (arrêté du 11 janvier 2007)	PAL17_BE													
				Secteur GARDON DE SAINT-JEAN				Secteur OURNE						Secteur GARDON D'ANDUZE			
				ESU_07	ESU_07-F	ESU_08	ESU_08-F	ESU_10	ESU_10-F	ESU_11	ESU_11-F	ESO_15	ESO_15-F	ESU_02	ESU_02-F	ESU_03	ESU_03-F
Matières en suspension	mg/l	2	-	3	-	<2.0	-	10	-	<2.9	-	<3.5	-	<2.0	-	<2.0	-
Titre Alcalimétrique complet	°F	2	-	18	-	32	-	11	-	31	-	28	-	12	-	13	-
Carbonates	mg CO3/l	-	-	<24.0	-	<24.0	-	<24.0	-	<24.0	-	<24.0	-	<24.0	-	<24.0	-
Hydrogénocarbonates	mg HCO3/l	-	-	175	-	342	-	84	-	324	-	296	-	97	-	106	-
Nitrates	mg NO3/l	1	-	<1.00	-	<1.00	-	<1.00	-	<1.00	-	<1.00	-	<1.00	-	<1.00	-
Azote nitrique	mg N-NO3/l	0,2	-	<0.20	-	<0.20	-	<0.20	-	<0.20	-	<0.20	-	<0.20	-	<0.20	-
Chlorures	mg/l	1	-	9	-	6	-	10	-	6	-	7	-	9	-	8	-
Sulfates	mg/l	5	-	92	-	194	-	753	-	24	-	35	-	69	-	74	-
Carbone Organique par oxydation	mg C/l	0,5	-	1	-	<0.5	-	1,7	-	0,9	-	1,1	-	1	-	1	-
Fluorures	mg/l	0,5	2	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Aluminium (Al)	mg/l	0,05	0,2	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,06	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Calcium (Ca) soluble	mg/l	1	-	61	-	121	-	178	-	66	-	86	-	50	-	50	-
Fer (Fe)	mg/l	0,01	0,2	0,01	<0.01	0,03	<0.01	0,2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0,05	<0.01	0,01	<0.01
Magnésium dissous	mg/l	0,01	-	28	-	5	-	106	-	41	-	34	-	18	-	18	-
Potassium (K) soluble	mg/l	0,1	-	1,4	-	3,9	-	4,3	-	0,6	-	0,8	-	1,7	-	1,4	-
Sodium soluble	mg/l	0,05	-	7	-	16	-	7,6	-	3,4	-	2,8	-	10	-	9	-
Thallium (Tl)	mg/l	0,02	-	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Antimoine (Sb)	µg/l	0,2	5	<0.20	<0.20	0,3	0,3	0,9	0,8	0,4	0,4	<0.20	<0.20	0,6	0,6	0,5	0,5
Argent (Ag)	µg/l	0,5	-	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
Arsenic (As)	µg/l	0,2	10	5,4	5,3	1,0	2,4	1,1	0,4	0,4	0,5	0,3	0,2	9,0	5,9	6,3	5,7
Baryum (Ba)	µg/l	0,2	700	63	62	12	12	39	38	22	23	5	5	63	58	45	46
Cadmium (Cd)	µg/l	0,2	5	<0.20	<0.20	0,2	<0.20	2,9	2,6	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Chrome (Cr)	µg/l	0,5	50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
Cobalt (Co)	µg/l	0,2	-	<0.20	<0.20	-	-	0,8	<0.20	-	-	<0.20	<0.20	-	-	-	-
Cuivre (Cu)	µg/l	0,5	1 000	<0.50	<0.50	<0.50	0,8	1,9	1,3	<0.50	1,1	<0.50	<0.50	0,7	0,6	<0.50	<0.50
Manganèse (Mn)	µg/l	0,5	50	10,8	9,0	14,8	11,7	22	9	2,2	2,4	0,8	0,8	9,0	3,2	4,5	3,4
Nickel (Ni)	µg/l	2	20	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	4	4	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00
Plomb (Pb)	µg/l	0,5	10	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	8,3	0,9	1,5	1,0	<0.50	<0.50	0,9	<0.50	<0.50	<0.50
Uranium (U)	µg/l	2	-	4	5	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00
Zinc (Zn)	µg/l	5	5 000	<5.00	<5.00	311	288	364	312	8	15	<5.00	5	<5.00	<5.00	<5.00	7
Mercurure (Hg)	µg/l	0,2	1	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Thorium (Th)	µg/l	1	-	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00

Légende

ESU\_01 : échantillon d'eau brute  
ESU\_01-F : échantillon d'eau filtrée

Tableau 46 : Résultats d'analyses sur les eaux superficielles prélevées en période d'étiage (octobre 2017) – 2/2

Paramètres	Unités	LQ	Limite et référence de qualité (arrêté du 11 janvier 2007)	PAL18_HE																
				Secteur REIGOUS								Secteur GARDON DE SAINT-JEAN								
				ESU_13	ESU_13-F	ESU_16	ESU_16-F	ESU_17	ESU_17-F	ESU_18	ESU_18-F	ESU_01	ESU_01-F	ESU_04	ESU_04-F	ESU_05	ESU_05-F	ESU_06	ESU_06-F	
Matières en suspension	mg/l	2	-	45	-	<2,0	-	8	-	9	-	110	-	160	-	6	-	<2,0	-	
Titre Alcalimétrique complet	°F	2	-	<7,50	-	24	-	20	-	9	-	5	-	5	-	4	-	26	-	
Carbonates	mg CO3/l	-	-	0	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-	
Hydrogénocarbonates	mg HCO3/l	-	-	0	-	228	-	206	-	53	-	12	-	13	-	7	-	294	-	
Nitrates	mg NO3/l	1	-	2	-	<1,00	-	<1,00	-	<1,00	-	1	-	2	-	2	-	<1,00	-	
Azote nitrique	mg N-NO3/l	0,2	-	0	-	<0,20	-	0	-	<0,20	-	0	-	1	-	0	-	<0,20	-	
Chlorures	mg/l	1	-	7	-	5	-	4	-	5	-	3	-	4	-	4	-	5	-	
Sulfates	mg/l	5	-	394	-	15	-	39	-	108	-	9	-	9	-	8	-	43	-	
Carbone Organique par oxydation	mg C/l	0,5	-	2	-	1	-	2	-	1	-	3	-	4	-	2	-	1	-	
Fluorures	mg/l	0,5	2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	
Aluminium (Al)	mg/l	0,05	0,2	10	10	<0,05	<0,05	0,77	0,12	0,15	0,08	0,5	0,1	0,9	0,1	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	
Calcium (Ca) soluble	mg/l	1	-	80	-	71	-	79	-	39	-	14	-	14	-	13	-	80	-	
Fer (Fe)	mg/l	0,01	0,2	30	19	<0,01	0,00	1,1	<0,01	0,11	0,0	0,5	0,04	0,8	0,05	0,03	<0,01	0,02	<0,01	
Magnésium dissous	mg/l	0,01	-	20	-	21	-	16	-	25	-	6	-	6	-	6	-	30	-	
Potassium (K) soluble	mg/l	0,1	-	2	-	0	-	1	-	2	-	1	-	1	-	1	-	1	-	
Sodium soluble	mg/l	0,05	-	5	-	3	-	2	-	3	-	3	-	3	-	2	-	3	-	
Thallium (Tl)	mg/l	0,02	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Antimoine (Sb)	µg/l	0,2	5	3,3	1,1	<0,20	0,2	0,5	0,3	0,8	0,8	0,2	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,4	0,4
Argent (Ag)	µg/l	0,5	-	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	
Arsenic (As)	µg/l	0,2	10	1 480	264	1,0	0,9	60	10	4,8	3,1	8,4	4,7	7,0	2,6	5,8	5,5	1,2	1,2	
Baryum (Ba)	µg/l	0,2	700	53	53	8	8	27	21	41	41	28	15	46	21	17	16	24	23	
Cadmium (Cd)	µg/l	0,2	5	28	28	<0,20	<0,20	2,2	1,2	9	9	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	3,2	2,8
Chrome (Cr)	µg/l	0,5	50	3	2	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	1	<0,50	1	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	
Cobalt (Co)	µg/l	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cuivre (Cu)	µg/l	0,5	1 000	153	134	<0,50	1	9	2	6	4	2,9	2,3	4,4	2,0	0,7	0,8	2,6	2,6	
Manganèse (Mn)	µg/l	0,5	50	1 540	1 520	2	2	80	79	17	17	68	4	150	6	6	3	5	5	
Nickel (Ni)	µg/l	2	20	77	76	<2,00	<2,00	3	3	4	4	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	
Plomb (Pb)	µg/l	0,5	10	338	277	1	1	30	<0,50	4	1	9	<0,50	8	<0,50	1	<0,50	7	4	
Uranium (U)	µg/l	2	-	3	3	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	2	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	
Zinc (Zn)	µg/l	5	5 000	5 450	5 730	20	30	370	150	1 050	1 020	20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	390	350
Mercurure (Hg)	µg/l	0,2	1	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	
Thorium (Th)	µg/l	1	-	2	1	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	

Légende

ESU\_01 : échantillon d'eau brute

ESU\_01-F : échantillon d'eau filtrée

Tableau 47 : Résultats d'analyses sur les eaux superficielles prélevées en mars 2018 (période de hautes-eaux) – 1/2

Paramètres	Unités	LQ	Limite et référence de qualité (arrêté du 11 janvier 2007)	PAL18_HE																	
				Secteur GARDON DE SAINT-JEAN						Secteur OURNE						Secteur GARDON D'ANDUZE					
				ESU_07	ESU_07-F	ESU_08	ESU_08-F	ESU_09	ESU_09-F	ESU_10	ESU_10-F	ESU_11	ESU_11-F	ESU_12	ESU_12-F	ESU_15	ESU_15-F	ESU_02	ESU_02-F	ESU_03	ESU_03-F
Matières en suspension	mg/l	2	-	<2,0	-	4	-	4	-	7	-	3	-	19	-	<2,0	-	110	-	250	-
Titre Alcalimétrique complet	°F	2	-	4	-	30	-	-	-	19	-	26	-	3	-	24	-	5	-	8	-
Carbonates	mg CO3/l	-	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-	<12,0	-	<24,0	-	<24,0	-	<24,0	-
Hydrogencarbonates	mg HCO3/l	-	-	7	-	310	-	195	-	187	-	273	-	0	-	254	-	17	-	43	-
Nitrates	mg NO3/l	1	-	2	-	<1,00	-	-	-	<1,00	-	<1,00	-	<1,00	-	<1,00	-	2	-	5	-
Azote nitrique	mg N-NO3/l	0,2	-	0	-	<0,20	-	-	-	<0,20	-	<0,20	-	<0,20	-	0	-	0	-	1	-
Chlorures	mg/l	1	-	5	-	6	-	-	-	8	-	9	-	6	-	7	-	3	-	3	-
Sulfates	mg/l	5	-	10	-	107	-	-	-	82	-	60	-	83	-	15	-	8	-	13	-
Carbone Organique par oxydation	mg C/l	0,5	-	1	-	1	-	2	-	2	-	2	-	3	-	1	-	4	-	4	-
Fluorures	mg/l	0,5	2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Aluminium (Al)	mg/l	0,05	0,2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,27	0,08	0,05	<0,05	0,99	<0,05	<0,05	<0,05	0,5	<0,05	0,6	<0,05
Calcium (Ca) soluble	mg/l	1	-	13	-	111	-	79	-	85	-	25	-	86	-	17	-	25	-	25	-
Fer (Fe)	mg/l	0,01	0,2	0,02	<0,01	0,05	<0,01	0,02	<0,01	2,4	<0,01	0,3	<0,01	7,2	0,1	<0,01	<0,01	0,6	0,03	0,9	0,03
Magnésium dissous	mg/l	0,01	-	6	-	39	-	-	-	22	-	29	-	16	-	15	-	5	-	6	-
Potassium (K) soluble	mg/l	0,1	-	1	-	1	-	-	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-
Sodium soluble	mg/l	0,05	-	4	-	4	-	-	-	4	-	4	-	4	-	4	-	2	-	2	-
Thallium (Tl)	mg/l	0,02	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Antimoine (Sb)	µg/l	0,2	5	<0,20	<0,20	0,2	0,2	<0,20	<0,20	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	<0,20	<0,20	<0,20	0,2	0,2	0,4	0,3
Argent (Ag)	µg/l	0,5	-	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Arsenic (As)	µg/l	0,2	10	2,8	2,7	1,5	1,2	0,3	<0,20	2,2	0,4	0,7	0,3	2,3	0,2	0,2	<0,20	11	4,1	60	5,5
Baryum (Ba)	µg/l	0,2	700	23	21	6	7	3	2	23	22	25	25	71	66	5	6	30	15	36	17
Cadmium (Cd)	µg/l	0,2	5	<0,20	<0,20	0,5	0,5	<0,20	<0,20	2,3	0,9	0,5	0,4	0,6	0,3	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,4	<0,20
Chrome (Cr)	µg/l	0,5	50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	1	<0,50	<0,50	<0,50	1	<0,50	1	<0,50
Cobalt (Co)	µg/l	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cuivre (Cu)	µg/l	0,5	1 000	<0,50	0,8	<0,50	0,8	<0,50	<0,50	9	5	2	1	8	1	1	1	3,3	1,3	4,3	1,5
Manganèse (Mn)	µg/l	0,5	50	4	2	21	19	5	<0,50	32	29	7	6	101	100	1	1	86	5	121	7
Nickel (Ni)	µg/l	2	20	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	4	3	<2,00	<2,00	2	<2,00	3	<2,00
Plomb (Pb)	µg/l	0,5	10	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	1	<0,50	22	<0,50	5	<0,50	61	<0,50	<0,50	<0,50	10,3	<0,50	38	1
Uranium (U)	µg/l	2	-	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Zinc (Zn)	µg/l	5	5 000	<20	<20	210	180	<20	<20	290	60	60	30	30	<20	<20	<20	20	<20	70	<20
Mercure (Hg)	µg/l	0,2	1	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Thorium (Th)	µg/l	1	-	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00

Légende  
ESU\_01 : échantillon d'eau brute  
ESU\_01-F : échantillon d'eau filtrée

Tableau 48 : Résultats d'analyses sur les eaux superficielles prélevées en mars 2018 (période de hautes-eaux) – 2/2

Plusieurs points d'eaux souterraines dépassent les limites et/ou les références de qualité des eaux brutes destinées à la consommation humaine définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007 pour les éléments métalliques, en étiage comme en hautes-eaux.

### **Secteur Reigous**

Le ruisseau du Reigous est le point le plus impacté en métaux et métalloïdes de l'ensemble des points de prélèvements d'eau (ESU\_13). Les concentrations en aluminium, fer, cadmium, arsenic, manganèse, nickel, plomb et zinc sur ce ruisseau dépassent les valeurs de référence. Selon le cycle hydrologique les concentrations varient peu ou fortement en fonction des éléments. À l'aval de ce ruisseau, juste avant sa confluence avec la rivière Amous, les concentrations suivantes ont été relevées :

- l'arsenic, dont la valeur de référence est de 10 µg/l, passe de 16 µg/l sur brut en étiage (2 µg/l sur filtré à 0,45 µm) à près de 1 500 µg/l en période de hautes-eaux (260 µg/l sur filtré à 0,45 µm) ;
- le plomb, dont la valeur de référence est également de 10 µg/l, varie de 250 à 400 µg/l, sur échantillon brut comme filtré ;
- le zinc varie de 5 à 10 mg/l pour une valeur de référence de 5 mg/l ;
- l'aluminium varie de 3 à 10 mg/l pour une valeur de référence de 0,2 mg/l ;
- le fer varie de 8 à 30 mg/l pour une valeur de référence de 0,2 mg/l ;
- le cadmium varie de 28 à 40 µg/l pour une valeur de référence de 5 µg/l ;
- le manganèse varie de 1 500 à 15 000 µg/l pour une valeur de référence de 50 µg/l ;
- le nickel varie de 70 à 400 µg/l pour une valeur de référence de 20 µg/l.

Le pH acide des eaux du Reigous en hautes-eaux (3,5), la présence de sulfate en concentration significative en période de basses-eaux (900 mg/l) et les fortes valeurs en métaux et métalloïdes proviennent du drainage minier acide observé sur les lixiviats du dépôt de résidus de traitement (ESO\_03) et de l'émergence ponctuelle au niveau des travaux souterrains (ESO\_13).

**Le ruisseau du Reigous est donc un vecteur de transfert important des contaminants depuis les sources de contamination (dépôt de résidus de traitement, anciens travaux miniers souterrains et MCO) vers le milieu naturel.** Le ruisseau du Reigous rejoint à l'aval la rivière Amous.

En amont de sa confluence avec le Reigous, la rivière Amous ne présente aucun dépassement des valeurs de références pour les paramètres analysés, en étiage comme en hautes-eaux (ESU\_16). Les eaux du ravin des Combettes (ESU\_18, qui alimentent l'Amous, affichent toutefois une concentration en cadmium sur échantillon brut et filtré à 0,45 µm de 9 µg/l, qui dépasse la valeur de référence fixée à 5 µg/l). À noter la présence de zinc en concentration non négligeable sur ce point (1 mg/l sur brut et filtré) qui reste inférieure à la valeur de référence.

À la confluence entre le Reigous et l'Amous, les eaux de l'Amous se chargent en éléments métalliques (ESU\_17). Les dépassements des valeurs de référence suivants sont relevés à l'aval :

- en étiage, l'arsenic est sous forme dissoute avec 17 µg/l sur brut et filtré à 0,45 µm. Le plomb est faiblement détecté avec 2 µg/l ;
- en hautes-eaux, l'arsenic atteint 60 µg/l sur brut et 10 µg/l sur filtré à 0,45 µm. Le plomb est quant à lui uniquement détecté sur brut avec 30 µg/l, ce qui indique sa présence essentiellement sous forme particulaire.

Le débit de l'Amous étant plusieurs dizaines de fois supérieur à celui du Reigous, il favorise la remontée du pH et tend à réduire les concentrations en éléments traces par effet de dilution. Toutefois, certaines concentrations (plomb et arsenic notamment) restent élevées en période de hautes-eaux.

En période d'étiage, les teneurs en arsenic mesurées sur eau brute sont identiques dans le Reigous et dans l'Amous en aval de leur confluence. Dans le Reigous, l'arsenic est essentiellement sous forme particulaire alors qu'il est présent sous forme dissoute dans l'Amous (après la confluence avec le Reigous). Sur échantillon filtré à 0,45 µm, la concentration relevée en arsenic sur l'Amous (15,5 µg/l sur le point ESU\_17) est plus élevée après la confluence avec le ruisseau du Reigous qu'au niveau du Reigous lui-même (2,2 µg/l sur le point ESU\_13). Cet écart pourrait être expliqué par un relargage progressif depuis les sédiments du Reigous, chargés en arsenic, et en transit dans l'Amous.

En période de hautes-eaux, l'arsenic est observé essentiellement sous forme particulaire dans le Reigous et l'Amous à l'aval de leur confluence. L'origine est probablement liée à l'entraînement massif des oxyhydroxydes de fer chargés en arsenic.

### **Secteur Gardon de Saint-Jean**

D'une manière générale, les concentrations en éléments traces restent faibles à modérées sur ce secteur.

Les concentrations en arsenic et plomb varient entre 1 et 10 µg/l au droit des points ESU\_01, ESU\_05, ESU\_06, ESU7, ESU\_08 et ESU\_09.

En période d'étiage, la concentration en arsenic relevée au niveau du Gardon de Saint-Jean après sa confluence avec la rivière Salindrenque (ESU\_04) reste proche de la valeur de référence de 10 µg/l pour les eaux brutes et filtrées.

Quelques légers dépassements ponctuels des valeurs de référence sont à signaler :

- en période de hautes-eaux, dépassements en aluminium, fer, manganèse sur le même point (ESU\_04) et plus en aval (ESU\_01). Ces éléments sont ici surtout présents sous forme dissoute.

Enfin, les concentrations en zinc se démarquent des autres points au niveau :

- du Valat des Campels (ESU\_08), en aval de la confluence avec les eaux de la source du Bijournet chargée en zinc (ESO\_07), avec des valeurs comprises entre 180 et 315 µg/l ;
- du ruisseau d'Aiguesmortes (ESU\_06), en aval des lixiviats en provenance des dépôts de la mine de Pallières, avec des valeurs comprises entre 180 et 400 µg/l.

### **Secteur Ourne**

En période d'étiage, les concentrations en éléments traces restent faibles et inférieures aux valeurs de référence au droit des points ESU\_10, ESU\_11 et ESU\_15.

Le ruisseau de Naville (ESU\_12) était à sec lors de la campagne de prélèvement.

En période de hautes-eaux, le ruisseau de Naville présente des valeurs de 61 µg/l en plomb (valeur de référence fixée à 10 µg/l), 1 mg/l en aluminium et 7,2 mg/l en fer (valeurs de référence respectives de 0,2 mg/l). Ces éléments sont ici présents essentiellement

sous forme particulières. Le ruisseau de Naville se jette dans le ruisseau du Paleyrolle au niveau de la mine Joseph.

Ces concentrations baissent progressivement par effet de dilution. On relève ainsi :

- dans les eaux du Paleyrolle, à quelques centaines de mètres en aval (ESU\_10), 22 µg/l en plomb, 0,3 mg/l en aluminium et 2,4 mg/l en fer ;
- encore plus à l'aval (ESU\_11), les eaux de l'Ourne présentent des concentrations de 5 µg/l en plomb, 0,05 mg/l en aluminium et 0,3 mg/l en fer.

Toutes les concentrations en arsenic restent inférieures à 3 µg/l.

### **Secteur aval - Gardon d'Anduze**

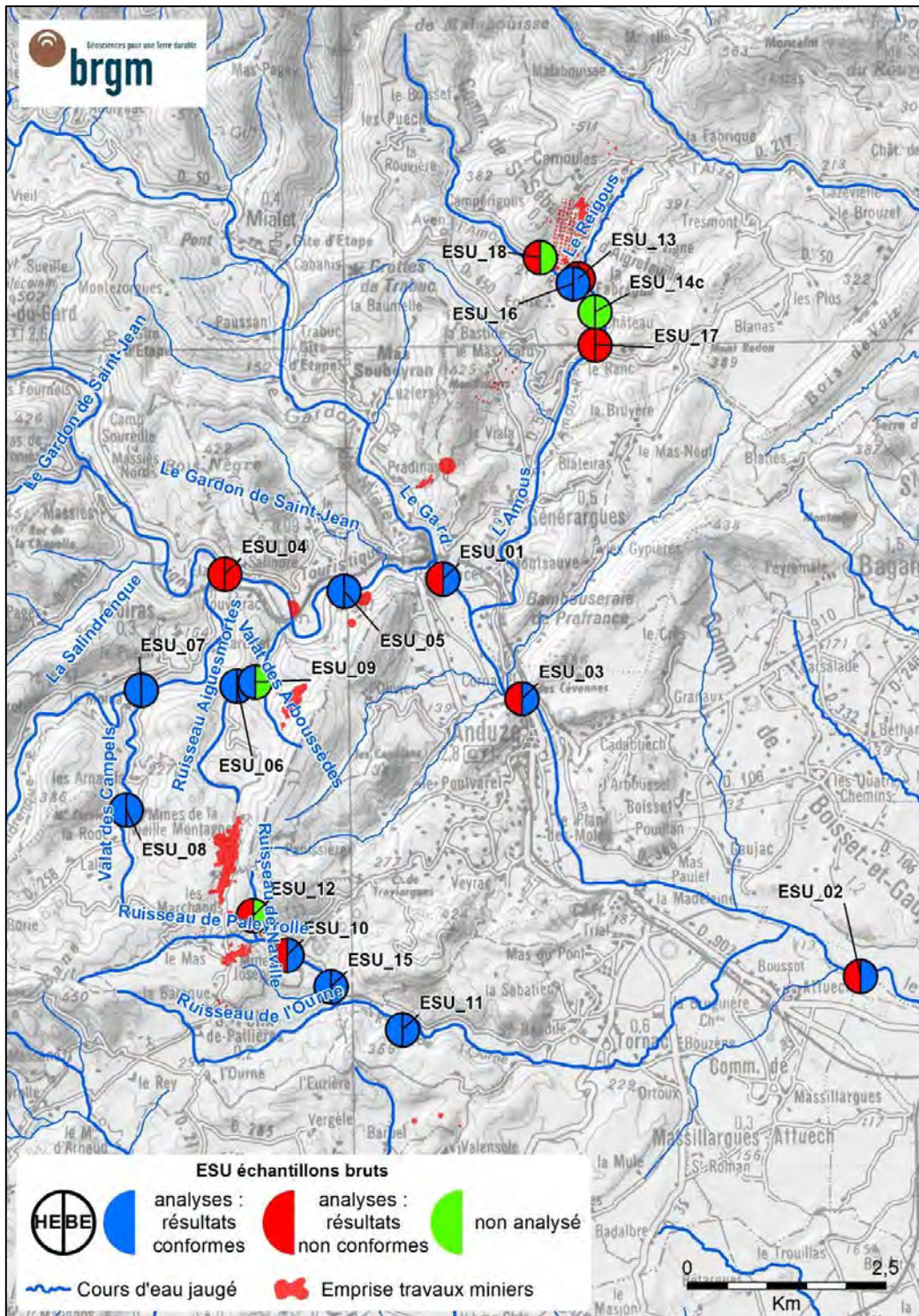
En période d'étiage, les concentrations en éléments traces restent faibles et inférieures aux valeurs de référence. Les concentrations en arsenic varient entre 5 et 9 µg/l au droit des points ESU\_02 et ESU\_03.

En période de hautes-eaux, les dépassements des valeurs de référence identifiés sur les secteurs Reigous et Gardon de Saint-Jean sont toujours observés :

- à l'entrée de la commune d'Anduze, le Gardon d'Anduze, composé de la rivière Amous et du Gardon de Saint-Jean, présente des concentrations de l'ordre de 38 µg/l en plomb, 60 µg/l en arsenic, 0,6 mg/l en aluminium, 121 µg/l en manganèse et 1 mg/l en fer ;
- 6 km plus à l'aval, après sa confluence avec la rivière Ourne, le Gardon d'Anduze indique des teneurs plus faibles de 10 µg/l en plomb, 11 µg/l en arsenic, 0,5 mg/l en aluminium, 86 µg/l en manganèse et 0,6 mg/l en fer.

Les éléments se trouvent essentiellement sous forme dissoute.

La Figure 59 met en lumière les dépassements des valeurs de référence pour les eaux superficielles brutes en fonction de la période hydrologique.



**Figure 59 : Comparaison des résultats d'analyses des points d'eaux superficielles au regard des limites et/ou références de qualité des eaux brutes destinées à la consommation humaine en fonction de la période hydrologique**

### 2.3.5 Comparaison aux NQE

Les Normes de Qualité Environnementale (NQE) sont définies dans le contexte réglementaire de la Directive Cadre sur l'Eau, ou DCE (2000/60/EC) qui établit une politique communautaire pour la gestion des eaux intérieures de surface, des eaux souterraines, des eaux de transition (eaux estuariennes) et des eaux côtières, afin de prévenir et de réduire leur pollution, de promouvoir leur utilisation durable, de protéger leur environnement, d'améliorer l'état des écosystèmes aquatiques et d'atténuer les effets des inondations et des sécheresses.

Les NQE sont considérées comme la « concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement ». Elles servent à la classification des états chimiques et écologiques des eaux de surface.

Dans l'eau, les normes sont établies en concentration moyenne annuelle (NQE-MA) et, pour certaines substances également en concentration maximale admissible (NQE-CMA).

Les NQE indiquées dans le Tableau 49 sont issues de l'arrêté du 27 juillet 2015<sup>26</sup>.

Les normes s'appliquent sur eau brute (non filtrée), à l'exception des métaux pour lesquels elles se rapportent à la fraction dissoute obtenue par filtration de l'eau brute à travers un filtre de porosité 0,45 micromètre ou par tout autre traitement préliminaire équivalent.

Pour les métaux et leurs composés, l'arrêté indique la possibilité de tenir compte des concentrations de fonds géochimiques naturelles lors de l'évaluation des résultats obtenus au regard des NQE. Toutefois, les fonds géochimiques étant difficilement évaluables sur le secteur d'étude (géologie complexe et présence de travaux miniers parfois jusqu'à l'amont des bassins), les concentrations observées dans les eaux sont directement comparées aux NQE.

Paramètre	Norme de Qualité Environnementale (NQE)	
	NQE-MA Moyenne annuelle (µg/l)	NQE-CMA Concentration Maximale Admissible (µg/l)
Arsenic (As)	0,83	-
Cadmium (Cd)	0,08 à 0,25	0,45 à 1,5
Cuivre (Cu)	1,0	-
Nickel (Ni)	4	34
Plomb (Pb)	1,2	14,0
Zinc (Zn)	8	-

Tableau 49 : Normes de Qualité Environnementale - eaux de surface intérieures pour les substances considérées (source : arrêté du 27 juillet 2015)

La comparaison des résultats d'analyses sur les points d'eaux superficielles aux NQE est indiquée dans le Tableau 50.

<sup>26</sup> Arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'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



Echantillon PAL17_BE																				
Octobre 2017 : période d'étiage				Secteur REIGOUS				Secteur GARDON DE SAINT-JEAN						Secteur OURNE				Secteur GARDON D'ANDUZE		
Paramètre	Unité	NQE-MA	NQE-CMA	ESU_13-F	ESU_16-F	ESU_17-F	ESU_18-F	ESU_01-F	ESU_04-F	ESU_05-F	ESU_06-F	ESU_07-F	ESU_08-F	ESU_09-F	ESU_10-F	ESU_11-F	ESU_12-F	ESO_15-F	ESU_02-F	ESU_03-F
Arsenic	µg/l	0,83	-	2,2	4,9	15,5	à sec	6,3	10,9	7,8	2,3	5,3	2,4	à sec	0,4	0,5	à sec	0,2	5,9	5,7
Cadmium	µg/l	0,08 à 0,25	0,45 à 1,5	39	<0,2	<0,2	à sec	<0,2	<0,2	<0,2	0,7	<0,2	<0,2	à sec	2,6	<0,2	à sec	<0,2	<0,2	<0,2
Cuivre	µg/l	1,0	-	96	0,7	<0,50	à sec	<0,5	<0,5	<0,5	0,8	<0,5	0,8	à sec	1,3	1,1	à sec	<0,5	0,6	<0,5
Nickel	µg/l	4	34	360	<2	<2	à sec	<2	<2	<2	<2	<2	<2	à sec	3,9	<2	à sec	<2	<2	<2
Plomb	µg/l	1,2	14,0	321	1,3	1,21	à sec	<0,5	<0,5	<0,5	2,7	<0,5	<0,5	à sec	0,9	1,0	à sec	<0,5	<0,5	<0,5
Zinc	µg/l	7,8	-	10 600	30	39	à sec	<5	<5	17	178	<5	288	à sec	312	15	à sec	5	<5	7

Echantillon PAL18_HE																				
Mars 2018 : période de hautes-eaux				Secteur REIGOUS				Secteur GARDON DE SAINT-JEAN						Secteur OURNE				Secteur GARDON D'ANDUZE		
Paramètre	Unité	NQE-MA	NQE-CMA	ESU_13-F	ESU_16-F	ESU_17-F	ESU_18-F	ESU_01-F	ESU_04-F	ESU_05-F	ESU_06-F	ESU_07-F	ESU_08-F	ESU_09-F	ESU_10-F	ESU_11-F	ESU_12-F	ESO_15-F	ESU_02-F	ESU_03-F
Arsenic	µg/l	0,83	-	264	0,9	10	3,1	4,7	2,6	5,5	1,2	2,7	1,2	<0,20	0,4	0,3	0,2	<0,20	4,1	5,5
Cadmium	µg/l	0,08 à 0,25	0,45 à 1,5	28	<0,20	1,2	9	<0,20	<0,20	<0,20	2,8	<0,20	0,5	<0,20	0,9	0,4	0,3	<0,20	<0,20	<0,20
Cuivre	µg/l	1,0	-	134	0,8	2	4	2,3	2,0	0,8	2,6	0,8	0,8	<0,50	5	1,5	1,4	0,5	1,3	1,5
Nickel	µg/l	4	34	76	<2,00	3	4,0	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	3	<2,00	<2,00	<2,00
Plomb	µg/l	1,2	14,0	277	0,5	<0,50	1,1	<0,50	<0,50	<0,50	4	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	0,6
Zinc	µg/l	7,8	-	5 730	30	150	1 020	<20	<20	<20	350	<20	180	<20	60	30	<20	<20	<20	<20

Légende

- Dépassement de la valeur NQE-MA (concentration moyenne annuelle)
- 10 µg/l Dépassement de la valeur NQE-CMA (concentration maximale admissible)

Tableau 50 : Comparaison des résultats d'analyses des points d'eaux superficielles aux NQE pour les substances considérées - échantillons filtrés à 0,45 µm

Les NQE des éléments arsenic, cadmium, cuivre, plomb et zinc sont dépassées pour la majeure partie des cours d'eau du secteur. Pour le cadmium, les NQE dépendent de la dureté de l'eau.

Le ruisseau du Reigous (ESU\_13-F) présente les dépassements les plus importants, à savoir plusieurs dizaines de fois les NQE-MA du cadmium, du cuivre et du nickel, et jusqu'à plusieurs centaines de fois les NQE-MA de l'arsenic, du plomb et du zinc.

La NQE-MA pour le zinc fixée à 7,8 µg/l est significativement dépassée sur les cours d'eau suivants :

- le ruisseau s'écoulant dans le ravin des Combettes (ESU\_18-F) avec 1 020 µg/l en période de hautes-eaux ;
- en aval du ravin des Combettes et du Reigous (ESU\_17-F), une concentration de 150 µg/l est encore observée sur la rivière Amous en période de hautes-eaux;
- le ruisseau d'Aiguesmortes (ESU\_06-F) avec respectivement 178 µg/l et 350 µg/l en étiage et en hautes-eaux ;
- le ruisseau du Paleyrolle en aval des haldes de la mine Joseph (ESU\_10-F) avec respectivement 310 µg/l et 60 µg/l en étiage et en hautes-eaux ;
- le Valat des Campels après sa confluence avec la source du Bijournet (ESU\_08-F) avec respectivement 288 µg/l et 180 µg/l en étiage et en hautes-eaux.

Les eaux du Valat des Arboussèdes (ESU\_09-F) et du ru du Mas Neuf (ESU\_15-F) restent inférieures aux NQE sur la base des paramètres considérés.

### **2.3.6 Eaux destinées à l'abreuvement des animaux d'élevage**

Dans une démarche préventive et en première approche, les cours d'eau sont jugés susceptibles d'être utilisés pour l'abreuvement des animaux d'élevage.

À ce titre, les concentrations mesurées dans les eaux brutes sont comparées aux seuils du Système d'Evaluation de la Qualité de l'eau d'abreuvement (SEQ-eau abreuvement) ainsi qu'aux critères de qualité de l'eau d'abreuvement retenus par l'ANSES (ANSES, 2010).

Les critères de qualité retenus correspondent aux concentrations maximales recommandées par l'ANSES pour l'abreuvement des bovins et les limites de qualité des eaux définies par le SEQ-eau permettant l'abreuvement de tous les animaux, et notamment pour les animaux les plus sensibles (animaux « adolescents », en gestation ou allaitants).

Les résultats d'analyses des eaux utilisées, ou susceptibles de l'être, pour l'abreuvement des animaux d'élevage sont présentés dans le Tableau 51.

#### **Quatre cours d'eau dépassent les critères de qualité retenus pour l'abreuvement des animaux d'élevage.**

Le plus sensible est le ruisseau du Reigous, où des dépassements sur plusieurs paramètres (arsenic, cadmium, plomb et zinc) sont observés en période de basses et hautes-eaux, pour le SEQ-eau ainsi que les critères de qualité de l'eau d'abreuvement retenus par l'ANSES.

Dans une moindre mesure, le ruisseau des Combettes, la rivière Amous et le Gardon d'Anduze présentent ponctuellement un dépassement du SEQ-eau pour un seul paramètre.

Paramètres		Résultats d'analyses (µg/l)					
		Arsenic	Cadmium	Cuivre	Plomb	Zinc	
Critères de qualité	Critères eau d'abreuvement (ANSES)	60	10	1 000	100	12 500	
	SEQ-eau abreuvement <sup>27</sup>	50	5	500	50	5 000	
Données laboratoire		Limite de quantification	0,2	0,2	0,5	0,5	5

Point d'eau	Localisation	Période					
ESU_13	Le ruisseau du Reigous avant sa confluence avec la rivière Amous	Hautes eaux	1 480	28	153	338	5 450
		Basses eaux	16,7	38	99	391	9 450
ESU_17	La rivière Amous après sa confluence avec le ruisseau du Reigous	Hautes eaux	60	2,2	9	30	370
		Basses eaux	16,9	0,2	<0,5	2,2	41
ESU_18	Le ruisseau des Combettes - partie aval	Hautes eaux	4,8	9	6	4	1 050
		Basses eaux	Cours d'eau à sec				
ESU_03	Le Gardon d'Anduze après la confluence entre le Gardon de Saint-Jean et la rivière Amous	Hautes eaux	60	0,4	4,3	38	70
		Basses eaux	6,3	<0,2	<0,5	<0,5	<5

Teneur supérieure au critère de qualité des eaux d'abreuvement défini par l'ANSES

Teneur supérieure à la valeur SEQ-eau abreuvement

Tableau 51 : Dépassements des valeurs limites de qualité des eaux permettant l'abreuvement des animaux sur les cours d'eau du secteur d'étude

<sup>27</sup> Les valeurs du SEQ-eau abreuvement prises en compte sont les limites de qualité des eaux permettant l'abreuvement de tous les animaux, y compris les plus sensibles (animaux « adolescents », en gestation ou allaitant).

## 2.4 Impacts sur les sédiments

### 2.4.1 Points de sédiments investigués

Les sédiments prélevés sont indiqués dans le Tableau 52 suivant.

Secteur hydrographique	Point de prélèvement	Localisation des sédiments prélevés
Secteur Reigous	SED_03	Ruisseau du Reigous au niveau du dépôt de résidus de traitement
	SED_13	Emergence des travaux souterrains
	SED_122	Rivière Amous en amont des zones de travaux
	SED_115	Rivière Amous en aval du ravin des Combettes et en amont du Reigous
	SED_101, SED_120	Rivière Amous en aval du Reigous
	SED_11	Emergence 3 - Nord-est Carnoulès
	SED_121	Ruisseau du Mas d'Alzon
Secteur Gardon de Saint-Jean	SED_103	Gardon de Mialet en amont du Pradinas
	SED_04, SED_102	Emergence du Pradinas
	SED_123	Valat de Fontlongue
	SED_06	Emergence aval - le Serre
	SED_15	Dépôt de résidus de traitement
	SED_16	Haldes face au dépôt de résidus de traitement
	SED_106	Ruisseau de l'Aiguesmortes - partie aval
	SED_105	Gardon de Saint-Jean en amont de la confluence avec la Salindrenque
	SED_125	Valat de Serre en aval de la source du Bijournet
	SED_104, SED_124	Rivière Salindrenque en amont et en aval de la confluence avec le Valat de Serre
	SED_108	Ruisseau de Graviès - partie aval
SED_109	Ruisseau de Pallières - partie aval	
Secteur Ourne	SED_110	Ruisseau de Naville - partie aval
	SED_111	Rivière Ourne en aval de la confluence avec le Paleyrolle et de la laverie des Autiés
Secteur aval - Gardon d'Anduze	SED_107	Gardon d'Anduze à la confluence du Gardon de St Jean, de l'Amous et des ruisseaux de Pallières et Graviès
	SED_113	Gardon d'Anduze après sa confluence avec l'Ourne

Tableau 52 : Sédiments prélevés durant la campagne de prélèvements en période de hautes-eaux (mars 2018)

Au final, 27 échantillons de sédiments ont été prélevés lors de la campagne de prélèvements en période de hautes-eaux.

Leur localisation est précisée sur la Figure 60.

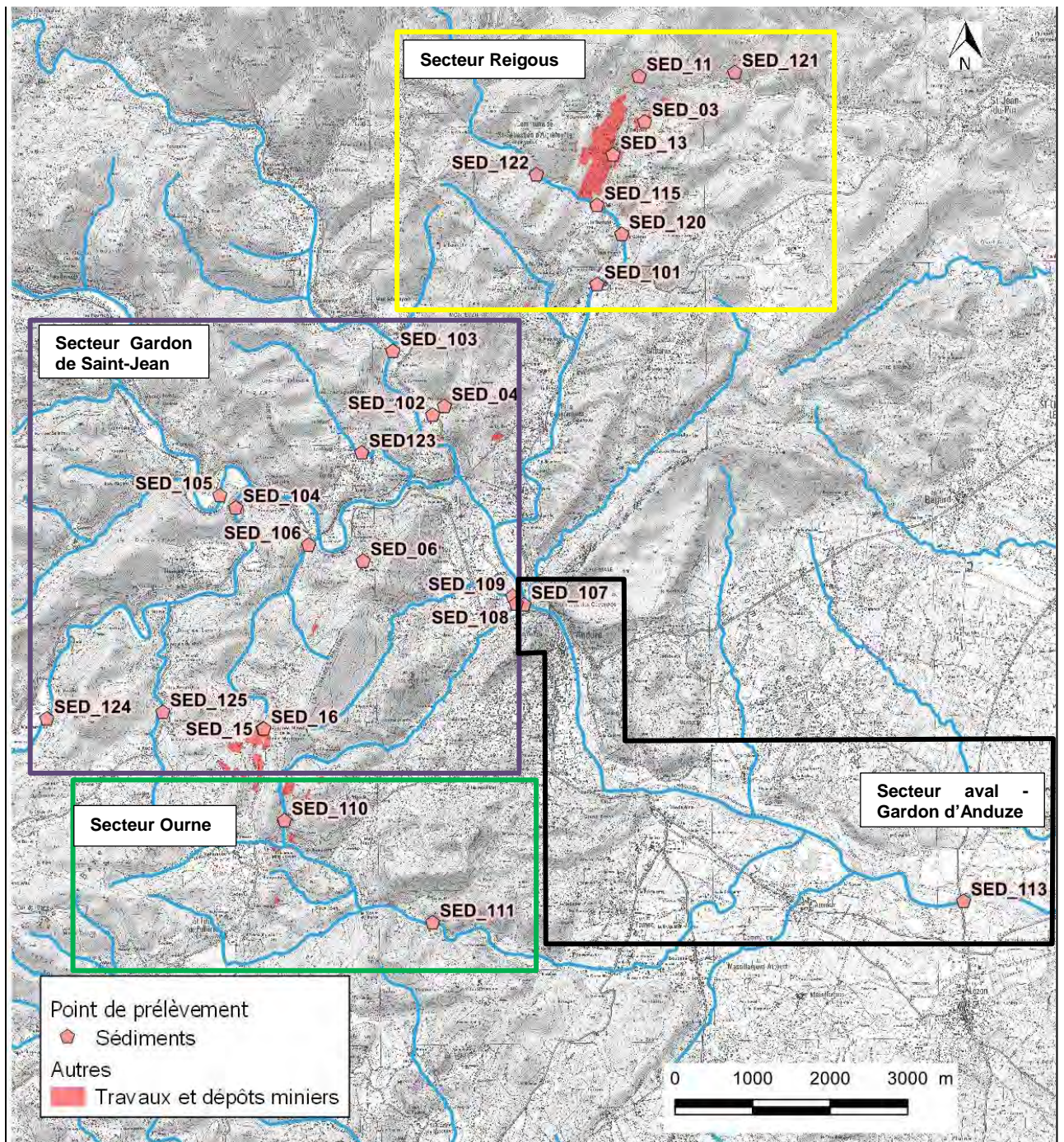


Figure 60 : Localisation des points de prélèvements de sédiments selon les secteurs hydrographiques

## 2.4.2 Concentrations en éléments traces dans les sédiments

Les résultats analytiques des prélèvements de sédiments sont reportés dans le Tableau 53.

		PAL18_HE														
		SED_03	SED_11	SED_13	SED_101	SED_115	SED_120	SED_121	SED_122	SED_04	SED_06	SED_15	SED_16	SED_102		
Paramètres	Unités	LQ	Secteur REIGOUS							Secteur GARDON DE SAINT-JEAN						
Matière sèche	% P.B.	0	56	48	47	51	62	1	96	56	66	4	81	70	73	
Refus pondéral à 2 mm	% P.B.	1	13	14	11	13	13	15	81	10	26	10	2	4	14	
Fluorures	mg/kg MS	20	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<736	<20,0	<20,0	<20,0	<154	<20,0	<20,0	<20,0	
Chrome VI	mg/kg MS	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,7	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	
Cyanures totaux	mg/kg MS	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<24	<0,5	<0,5	<0,5	<4,7	1	<0,5	<0,5	
Aluminium (Al)	mg/kg MS	5	3 120	4 030	7 260	5 970	8 370	65 600	12 600	2 250	12 400	291	688	9 430	12 500	
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	1	42	98	69	9	5	2	82	<1,00	15	30	96	118	52	
Argent (Ag)	mg/kg MS	5	5	24	12	<5,00	<5,00	<5,00	16	<5,00	<5,00	<5,24	15	12	7	
Arsenic (As)	mg/kg MS	1	30 800	2 100	4 110	1 570	123	12 200	706	17	399	535	1 260	886	462	
Baryum (Ba)	mg/kg MS	1	426	293	121	222	152	157	666	33	182	307	39	120	465	
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0	3,5	2,6	1,6	6,0	3,7	66,9	0,8	0,6	77,1	32,6	87,4	15,2	27,7	
Calcium	mg/kg MS	50	7 430	173	491	195 000	147 000	37 200	449	252 000	60 900	10 700	115 000	22 200	13 300	
Chrome (Cr)	mg/kg MS	5	21	35	11	7	12	18	17	11	10	<5,24	<5,00	16	18	
Chrome VI	mg/kg MS	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,7	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	
Chrome trivalent	mg/kg MS	5	21	35	11	7	12	18	17	11	10	<5,2	<5,000	16	18	
Cobalt (Co)	mg/kg MS	1	<1,00	3	<1,00	24	6	35	7	1	56	83	5	<1,00	16	
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	5	57	912	53	46	31	727	53	21	79	<5,24	103	246	40	
Fer (Fe)	mg/kg MS	5	29 600	332 000	91 500	29 000	17 000	258 000	59 200	7 090	96 800	502 000	144 000	150 000	48 100	
Magnésium (Mg)	mg/kg MS	5	2 230	369	442	16 700	18 700	4 200	4 050	24 600	40 200	1 580	81 800	13 100	11 800	
Manganèse (Mn)	mg/kg MS	1	174	20	53	1 570	774	474	413	382	1 850	11 400	525	685	1 030	
Nickel (Ni)	mg/kg MS	1	11	4	4	25	16	49	20	9	85	104	7	10	35	
Plomb (Pb)	mg/kg MS	5	2 330	258	4 600	1 310	437	1 980	1 980	82	2 040	356	18 500	15 900	3 900	
Potassium	mg/kg MS	20	1 020	1 130	1 520	1 170	2 400	445	1 320	726	2 060	159	303	1 440	2 240	
Silicium	mg/kg MS	10	625	569	522	541	874	1 630	457	683	2 500	657	102	621	521	
Sodium (Na)	mg/kg MS	20	39	<20,8	160	121	158	589	156	157	102	157	153	85	61	
Thallium (Tl)	mg/kg MS	1	14	<5,21	10	6	<4,66	<4,77	<4,94	7	7	35	102	63	<4,75	
Soufre (S)	mg/kg MS	20	5 880	14 500	9 200	1 740	780	5 320	2 940	711	1 830	1 070	87 000	16 500	2 640	
Zinc (Zn)	mg/kg MS	5	401	25	258	1 400	697	21 400	95	110	42 700	9 650	16 900	4 170	14 400	
Mercure (Hg)	mg/kg MS	0	0,7	3,8	0,8	0,5	0,3	0,2	0,6	<0,10	1,0	0,1	5,4	6,2	2,1	
Uranium (U)	mg/kg MS	0	6,1	6,2	0,7	1,1	0,8	14,0	1,4	0,4	4,3	4,1	1,1	2,2	2,8	

		PAL18_HE													
			SED_103	SED_104	SED_105	SED_106	SED_108	SED_109	SED_123	SED_124	SED_125	SED_110	SED_111	SED_107	SED_113
Paramètres	Unités	LQ	Secteur GARDON DE SAINT-JEAN									Secteur OURNE		Secteur GARDON D'ANDUZE	
Matière sèche	% P.B.	0	72	72	73	75	69	48	85	79	73	55	59	71	69
Refus pondéral à 2 mm	% P.B.	1	<1,00	<1,00	<1,00	4	<1,00	7	24	8	27	4	2	2	<1,00
Fluorures	mg/kg MS	20	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0
Chrome VI	mg/kg MS	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cyanures totaux	mg/kg MS	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Aluminium (Al)	mg/kg MS	5	7 380	3 160	8 880	520	7 290	17 600	2 570	12 500	3 870	7 110	3 050	7 260	6 980
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	1	<1,00	<1,00	<1,00	8	1	<1,00	5	<1,00	5	26	8	<1,00	<1,00
Argent (Ag)	mg/kg MS	5	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,01
Arsenic (As)	mg/kg MS	1	28	41	71	88	34	45	58	48	247	335	80	44	37
Baryum (Ba)	mg/kg MS	1	75	114	42	16	343	97	13	127	49	116	42	80	65
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0	<0,40	<0,40	0,6	2,5	<0,40	0,8	1,2	0,9	13,2	2,7	3,5	0,4	0,4
Calcium	mg/kg MS	50	2 970	9 230	4 310	228 000	28 400	8 580	175 000	4 170	205 000	6 190	179 000	7 430	12 700
Chrome (Cr)	mg/kg MS	5	10	36	17	<5,00	15	22	11	45	11	10	6	12	11
Chrome VI	mg/kg MS	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Chrome trivalent	mg/kg MS	5	10	36	17	<5,000	15	22	11	45	11	10	6	12	11
Cobalt (Co)	mg/kg MS	1	6	6	6	2	6	17	<1,00	7	46	<1,00	5	6	6
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	5	15	12	16	10	20	39	5	11	16	17	23	14	14
Fer (Fe)	mg/kg MS	5	27 400	12 800	18 800	17 300	16 600	37 700	42 000	19 300	66 900	75 800	17 200	23 900	18 200
Magnésium (Mg)	mg/kg MS	5	4 400	8 420	5 790	110 000	13 200	9 330	59 600	8 070	18 300	5 980	54 900	6 960	6 470
Manganèse (Mn)	mg/kg MS	1	245	332	236	957	272	479	574	277	4 450	565	346	266	218
Nickel (Ni)	mg/kg MS	1	16	14	16	3	13	36	6	16	31	13	9	15	14
Plomb (Pb)	mg/kg MS	5	18	38	66	242	278	54	126	49	397	953	685	40	75
Potassium	mg/kg MS	20	431	2 010	849	262	1 130	1 200	708	2 170	1 040	1 150	910	597	601
Silicium	mg/kg MS	10	371	391	418	457	469	1 040	563	267	1 710	360	750	120	253
Sodium (Na)	mg/kg MS	20	<20,0	64	28	243	69	72	192	79	136	33	198	32	29
Thallium (Tl)	mg/kg MS	1	<4,37	<4,83	<4,72	8	<4,22	<4,83	<4,61	<4,93	26	27	8	<4,84	<5,01
Soufre (S)	mg/kg MS	20	122	199	130	3 010	399	401	469	185	940	507	1 380	183	143
Zinc (Zn)	mg/kg MS	5	68	66	153	342	84	136	359	291	10 500	319	551	86	93
Mercure (Hg)	mg/kg MS	0	<0,10	<0,10	<0,10	0,3	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,3	0,5	0,3	<0,10	<0,10
Uranium (U)	mg/kg MS	0	1,2	7,3	3,0	1,0	1,8	2,5	1,2	7,5	1,4	1,5	0,7	1,8	1,3

Tableau 53 : Résultats d'analyses sur les sédiments prélevés en période de hautes-eaux (octobre 2018)

## **Secteur Reigous**

D'une manière générale, les sédiments du Reigous ont une granulométrie hétérogène. On y relève la présence importante de fines grises à rougeâtres et des précipitations d'oxyhydroxydes. Les teneurs en arsenic et plomb mesurées dans ces sédiments fins sont très élevées et proviennent principalement des zones impactées situées en amont :

- le dépôt de résidus de traitement de Carnoulès (SED\_03 avec 30 800 mg/kg d'arsenic, 2 330 mg/kg de plomb et 401 mg/kg de zinc) ;
- le dépôt résiduaire de résidus de traitement en contrebas du bâtiment des Services Techniques Communaux ;
- la zone des anciens travaux souterrains et MCO (SED\_13 au niveau de l'émergence minière avec 4 110 mg/kg d'arsenic, 4 600 mg/kg de plomb et 258 mg/kg de zinc).

En amont de la confluence avec le Reigous, les sédiments prélevés sur l'Amous (SED\_122) ont des teneurs faibles en arsenic (17 mg/kg), plomb (82 mg/kg) et zinc (110 mg/kg).

À l'aval de la confluence avec le Reigous, les teneurs mesurées dans les sédiments de l'Amous (SED\_120 et SED\_101) restent très élevées, indiquant la présence de matériaux en transit, en provenance directe des zones impactées en amont. Les teneurs atteignent respectivement 1 980 et 1 310 mg/kg pour le plomb, 12 200 et 1 570 g/kg pour l'arsenic et 21 400 et 1 400 mg/kg pour le zinc.

Il convient de signaler que depuis la partie amont, les sédiments de la rivière Amous présente des teneurs importantes en calcium et magnésium. Le caractère carbonaté des eaux favorise la remontée rapide du pH observé dans les eaux de la rivière Amous après leur confluence avec les eaux acides du ruisseau du Reigous.

Les sédiments prélevés sur le versant situé au nord-est de Carnoulès (SED\_11 au niveau du point ESO\_11 et SED\_121 sur le ruisseau de l'Alzon) présentent des teneurs élevées en arsenic et en plomb (jusqu'à environ 2 000 mg/kg).

## **Secteur Gardon de Saint-Jean**

Comme pour les eaux, les sédiments sont chargés en éléments traces métalliques sur plusieurs points de prélèvements.

La granulométrie des sédiments est hétérogène, combinant sables et graviers de rivières de couleur gris-beige provenant de massifs localisés en amont, et limons bruns à rougeâtres.

Au nord de la mine de Pallières, les sédiments prélevés atteignent :

- au pied du dépôt de résidus de traitement (SED\_15), des teneurs de 1 260 mg/kg en arsenic, 18 500 mg/kg en plomb, 16 900 mg/kg en zinc, 96 mg/kg en antimoine et 87 mg/kg en cadmium ;
- dans le fossé à la base de la halde en face du dépôt de résidus de traitement (SED\_16), des teneurs de 886 mg/kg en arsenic, 15 900 mg/kg en plomb, 4 170 mg/kg en zinc, 118 mg/kg en antimoine et 15 mg/kg en cadmium.

Au niveau de l'émergence du Pradinas (SED\_04), les teneurs dans les sédiments prélevés avoisinent 399 mg/kg en arsenic, 2 040 mg/kg en plomb, 42 700 mg/kg en zinc,



15 mg/kg en antimoine et 80 mg/kg en cadmium. Plus en aval, avant la confluence avec le Gardon de Mialet (SED\_102), les teneurs baissent légèrement mais restent du même ordre de grandeur.

Deux autres points de prélèvements de sédiments sont à signaler, au droit desquels des teneurs modérées à élevées ont été relevées :

- l'émergence aval du Serre (SED\_06) avec 535 mg/kg en arsenic, 356 mg/kg en plomb, 9 650 mg/kg en zinc et 32 mg/kg en cadmium ;
- le Valat de Campels à l'aval de la source du Bijournet (SED\_125), avec 247 mg/kg en arsenic, 397 mg/kg en plomb et 10 500 mg/kg en zinc.

Les teneurs restent faibles sur les points suivants :

- le Gardon de Saint-Jean en amont de la confluence avec la Salindrenque (SED\_105) ;
- la rivière Salindrenque en amont et en aval de la confluence avec le Valat de Serre (SED\_104 et SED\_124) ;
- le Gardon de Mialet en amont du Pradinas (SED\_103) ;
- le Valat de Fontlongue (SED\_123) ;
- le ruisseau d'Aiguesmortes - partie aval (SED\_106) ;
- les ruisseaux de Graviès et de Pallières (SED\_108 et SED\_109).

### **Secteur Ourne**

Deux prélèvements de sédiments ont été effectués sur ce secteur.

Le premier a été réalisé dans le ruisseau de Naville, en amont immédiat du pont de la route départementale 133 (SED\_110). Les matériaux prélevés sont fins, rougeâtres et sont charriés par les eaux de pluie depuis le flanc est de Pallières (Terres Rouges). Les teneurs atteignent 335 mg/kg en arsenic, 953 mg/kg en plomb et 319 mg/kg en zinc. Le ruisseau de Naville conflue ensuite avec le Paleyrolle à proximité des haldes de la mine Joseph.

Environ 3 kilomètres en contrebas, un second prélèvement de sédiment a été mené dans la rivière Ourne, après sa confluence avec le ruisseau du Paleyrolle et en aval de la laverie des Autiés (SED\_111). Sur ce point, les teneurs sont plus faibles pour l'arsenic et le plomb (respectivement 80 et 685 mg/kg) et augmentent légèrement pour le zinc (551 mg/kg).

L'Ourne rejoint le gardon d'Anduze à environ 6 kilomètres en aval.

### **Secteur aval - Gardon d'Anduze**

En aval hydrographique du système, deux points de prélèvements ont été effectués :

- au niveau de la cluie d'Anduze (SED\_107), correspondant à la confluence du Gardon de Saint-Jean, de l'Amous et des ruisseau de Graviès et de Pallières ;
- au niveau du pont de Lézan (SED\_113), soit environ 2,5 kilomètres en aval de la confluence avec l'Ourne.

Les matériaux prélevés correspondant à des sables et graviers de rivière. Aucune fine n'a pu être échantillonnée.

Aucun impact n'est observé sur ces sédiments, les teneurs étant toutes inférieures à :

- 45 mg/kg pour l'arsenic ;
- 80 mg/kg pour le plomb ;
- 100 mg/kg pour le zinc.

### 2.4.3 Synthèse et interprétation pour les eaux et les sédiments

Les concentrations en éléments traces métalliques dans les eaux et les sédiments sont parfois très élevées au droit des lixiviats issus de dépôts miniers et des émergences minières.

D'une manière générale, les valeurs diminuent en s'éloignant des sources de pollution, mais sont encore significatives dans les cours d'eau plusieurs centaines de mètres, voire kilomètres en aval.

#### Synthèse pour le secteur du Reigoux

Le ruisseau du Reigoux prend sa source au pied du dépôt de résidus de traitement de Carnoulès. En période pluvieuse, il récolte les eaux de ruissellement et des eaux souterraines drainant les anciens travaux souterrains et MCO (Figure 61). Il rejoint ensuite à l'aval la rivière Amous.

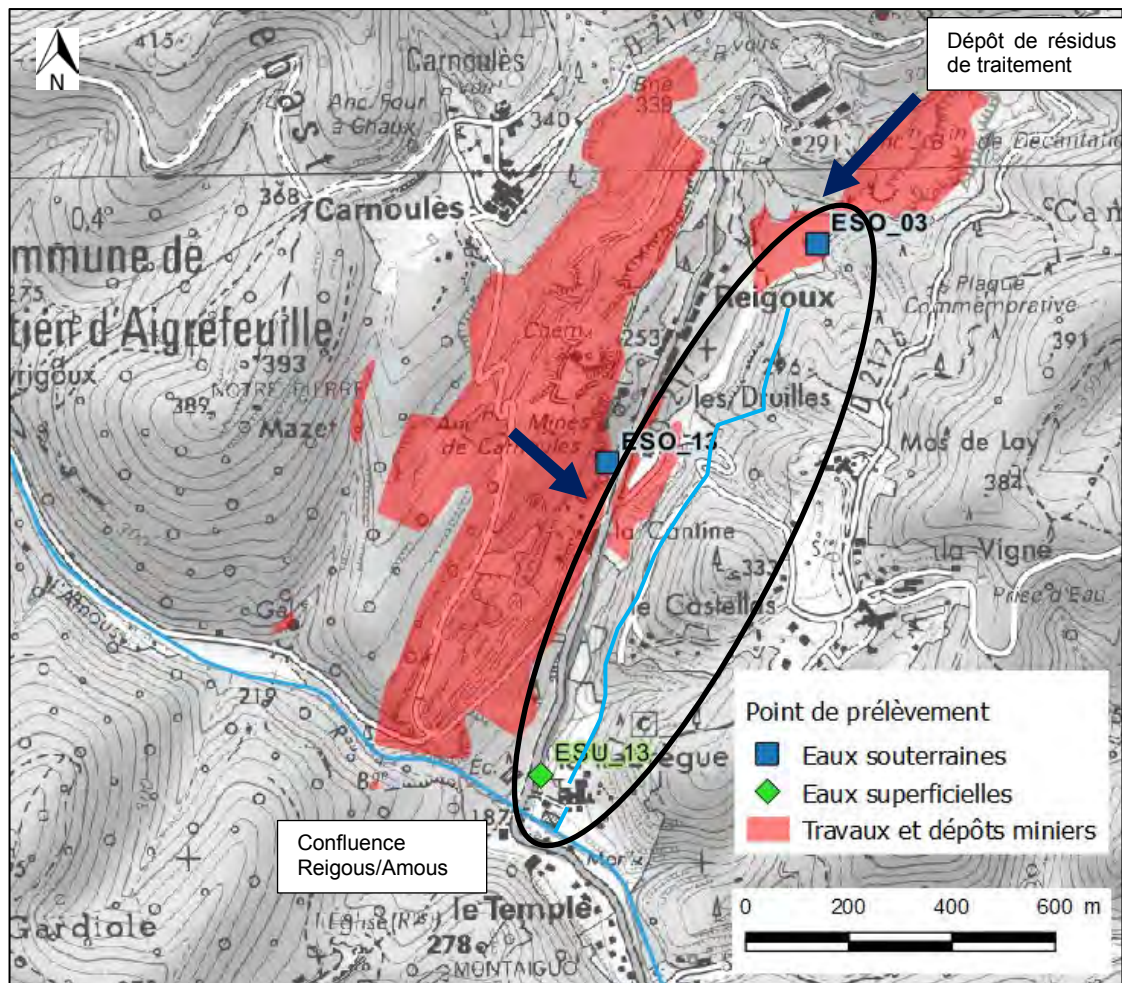


Figure 61 : Direction des écoulements d'eaux en provenance des anciens travaux et dépôts miniers dans le ruisseau du Reigoux

Entre le dépôt de résidus de traitement et la confluence avec la rivière Amous, les concentrations très élevées en éléments traces dans les eaux chutent drastiquement (Figure 62). À noter que le secteur des anciens travaux souterrains et MCO apporte également de fortes concentrations en métaux, notamment au niveau d'une émergence (ESO\_13).

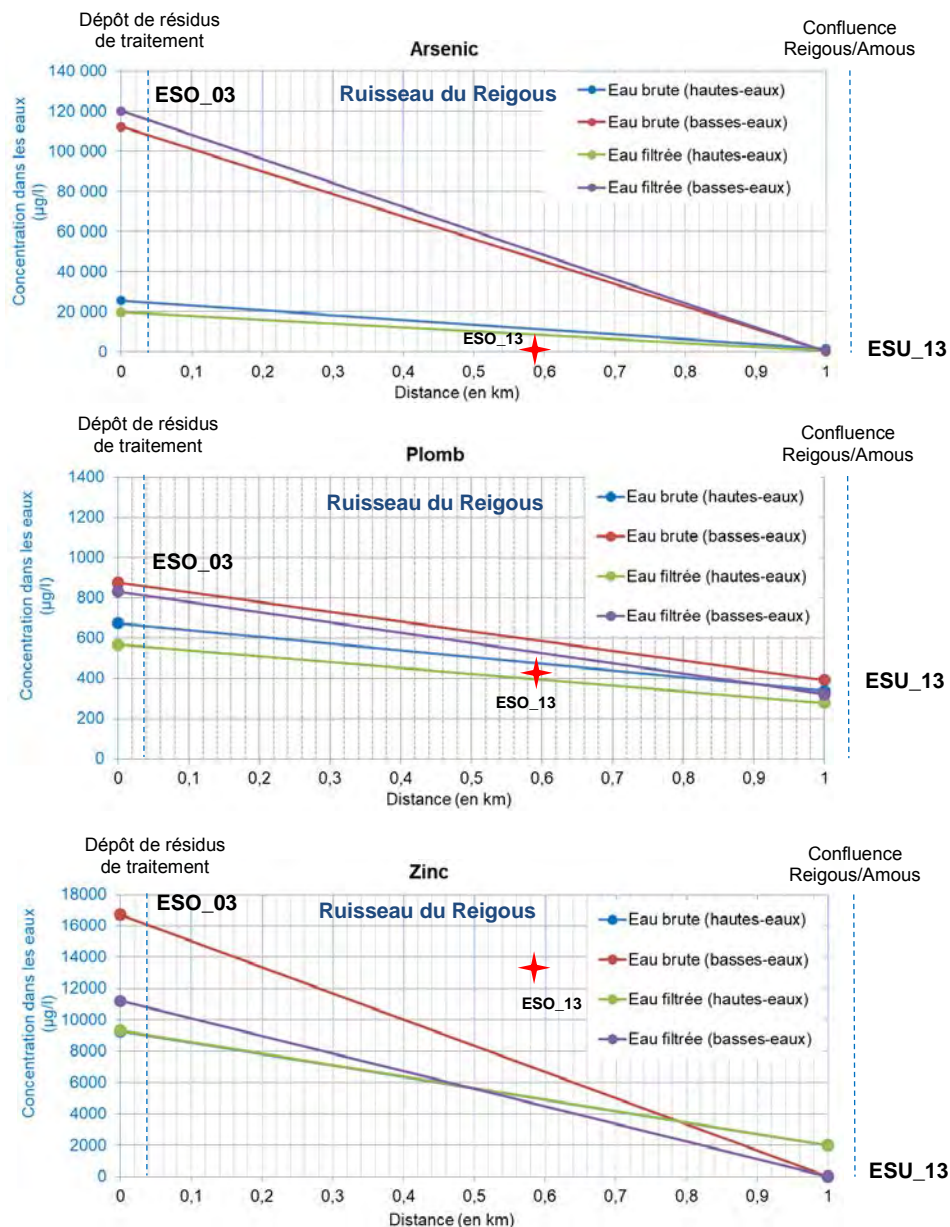


Figure 62 : Evolution des concentrations en éléments traces métalliques dans les eaux du Reigous entre le dépôt de résidus de traitement de Carnoulès et la confluence avec l'Amous

D'une manière générale, en aval de la confluence, les concentrations en métaux et métalloïdes dans les eaux de l'Amous diminuent par effet de dilution et tamponnage par le contexte carbonaté (Figure 63).

Elles restent néanmoins supérieures aux limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007 en

fonction des périodes hydrologiques pour l'arsenic et le plomb (10 µg/l), et aux NQE pour l'arsenic, le plomb et le zinc.

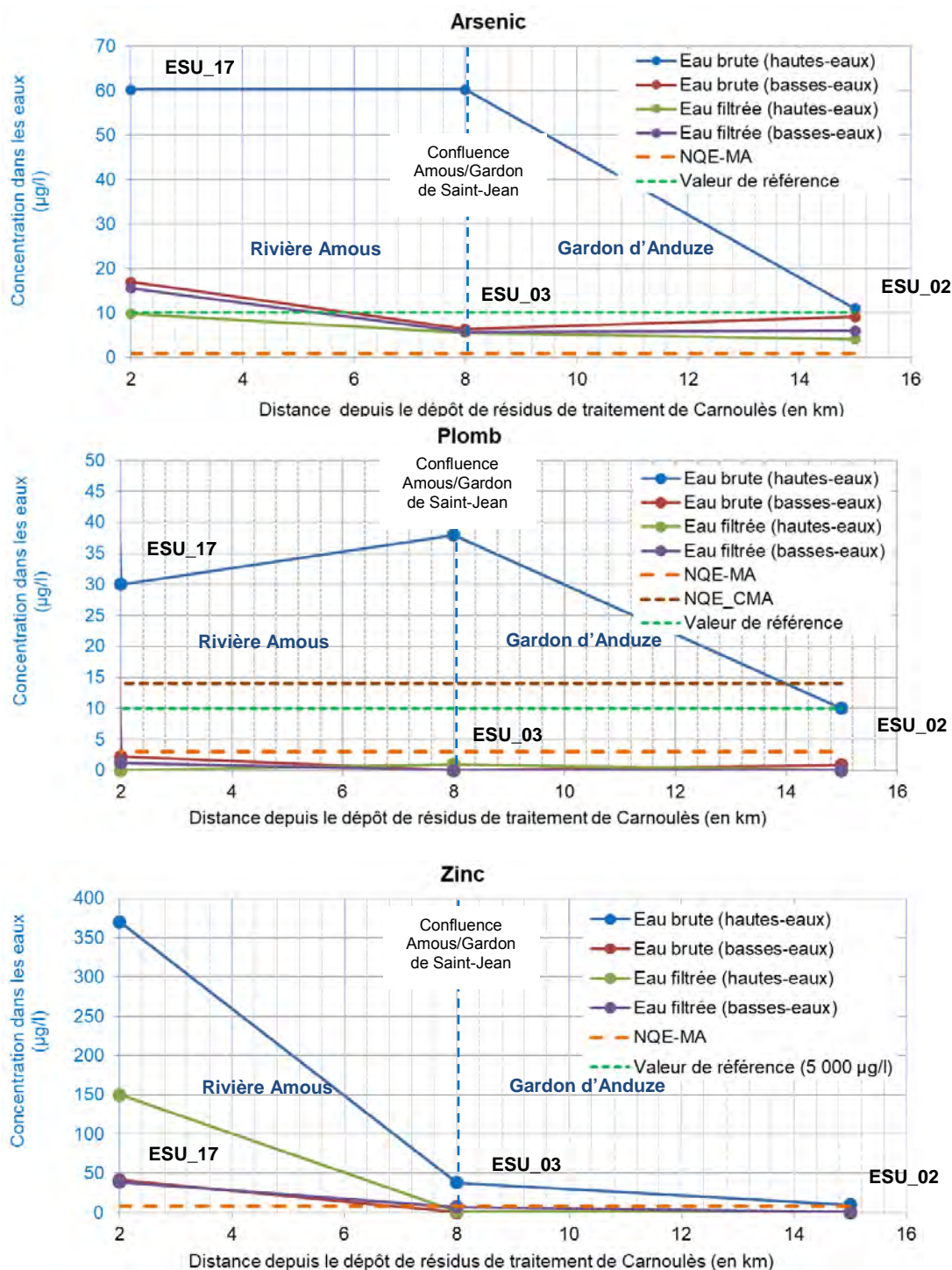


Figure 63 : Evolution des concentrations en éléments traces métalliques dans les eaux de la rivière Amous et du Gardon d'Anduze

La tendance est globalement la même pour les sédiments (Figure 64), dont les teneurs très fortes en métaux et métalloïdes mesurées sur le ruisseau du Reigous (SED\_03) diminuent sur l'Amous (SED\_101 et SED\_120) et le Gardon d'Anduze (SED\_107).

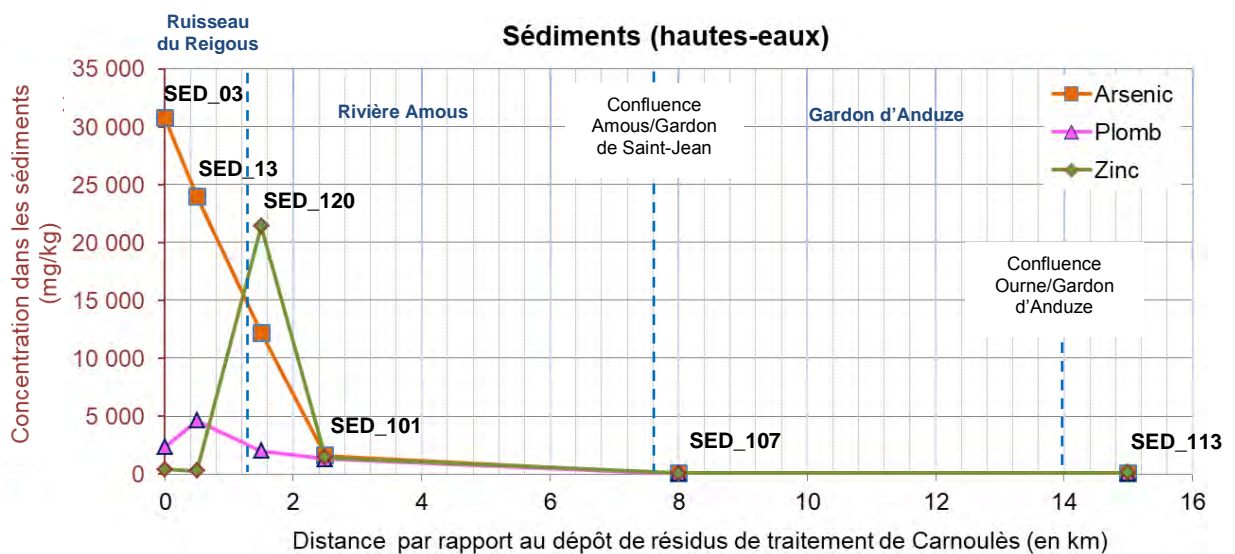


Figure 64 : Evolution des teneurs en éléments traces métalliques dans les sédiments du ruisseau du Reigous, de la rivière Amous et du Gardon d'Anduze

Cette observation reste toutefois à nuancer.

En effet, la fraction la plus fine des sédiments, qui correspond en grande partie à la granulométrie des résidus de traitement, la plus chargée en éléments métalliques, se retrouve moins dans les échantillons de sédiments prélevés dans l'Amous et le Gardon d'Anduze.

Une hypothèse est que ces fines sont rapidement transportées et diluées dans les rivières à débits importants, ce qui rend difficile leur échantillonnage. Leur présence dans les cours d'eau encore plus en aval de la zone d'étude n'est donc pas à exclure.

À noter qu'un pic en zinc (21 400 mg/kg) est observé à l'aval de la confluence entre l'Amous et le Reigous. Ces teneurs peuvent provenir du ravin des Combettes, où des matériaux d'extraction fins et à très fortes teneurs en zinc (plusieurs %) ont été identifiés dans les dépôts traversés par le ruisseau des Combettes.

Afin de vérifier la qualité environnementale des berges de l'Amous suite aux épandages de résidus de traitement survenus lors de la rupture des digues en 1976, des investigations ont été menées sur les berges de l'Amous depuis sa confluence avec le Reigous et jusqu'à la confluence avec le Gardon d'Anduze.

Elles ont consisté en des mesures *in situ* par fluorescence X portable (pXRF), et des prélèvements de sols avec analyses en laboratoire.

Différentes profondeurs de sols ont été investiguées, afin de retrouver la trace potentielle des résidus de traitement.

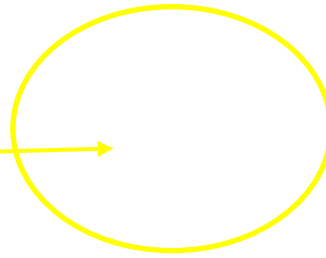
Les résultats des mesures et prélèvements effectués en mars 2018 par GEODERIS sont retranscrits dans le Tableau 54 suivant.

Commune	Lieu-dit	Distance depuis la confluence avec le Reigous	Point de mesure / prélèvement	Tranche de sol (cm)	Teneurs max en métaux et métalloïdes (en mg/kg)				
					Plomb	Arsenic	Cadmium	Fer	Zinc
Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Le Temple	145 m	N820	0-5	2 331	1 305	<i>non détecté</i>	31 277	1 038
				30 à 40	2 797	833	<i>non détecté</i>	30 831	599
			N821	0 à 5	2 112	211	<i>non détecté</i>	23 010	684
				40 à 50	2 449	163	<i>non détecté</i>	26 051	556
	Le Quérier	400 m	N822	0 à 5	2 337	692	<i>non détecté</i>	23 863	480
			N823	0 à 5	1 711	461	<i>non détecté</i>	23 941	365
			N824 (talus berge)	90 - 100	17 054	3 379	22	35 647	1 112
				140	4 555	987	<i>non détecté</i>	30 595	1 532
				160 à 170	10 485	595	<i>non détecté</i>	16 693	479
				170 à 200	319	172	<i>non détecté</i>	32 949	249
			N825	0 à 10	3 460	1 027	<i>non détecté</i>	29 724	629
				40	326	124	<i>non détecté</i>	22 303	123
	60 à 80	247		97	<i>non détecté</i>	18 417	69		
	Mas Figaret	650 m	N826	0 à 10	2 669	1 111	<i>non détecté</i>	21 818	418
			N827	10 à 20	4 777	1 595	<i>non détecté</i>	20 121	136
Félines	1,5 km	N828	0 à 10	3 946	852	<i>non détecté</i>	24 245	421	
			10 à 20	3 370	900	<i>non détecté</i>	30 660	374	
			40 à 50	1 957	175	<i>non détecté</i>	31 435	958	
Généragues	Montsauve	4 km	N829	0 à 10	2 602	788	<i>non détecté</i>	22 397	625
			N830	0 à 10	1 801	705	<i>non détecté</i>	26 118	655
			N831	0 à 10	2 532	1 454	<i>non détecté</i>	42 022	2 854
			SOL_831	0 à 10	4 090	1 790	10	37 000	2 520
			N832	0 à 10	2 613	648	<i>non détecté</i>	20 325	599
				30 à 35	185	82	<i>non détecté</i>	21 410	111

Tableau 54 : Mesures pXRF et prélèvements de sols effectués sur les berges de l'Amous en mars 2018

Les résultats des investigations montrent que les berges de l'Amous présentent des teneurs élevées en métaux et métalloïdes jusqu'à la confluence avec le gardon d'Anduze.

Par exemple, dans un talus de berge de la rivière Amous, le point de prélèvement N824 atteint 17 000 mg/kg en plomb, 3 400 mg/kg en arsenic et 1 100 mg/kg en zinc sur la tranche de sol comprise entre 90 et 100 cm de profondeur (Photographies 65 et 66). Les teneurs élevées en métaux et métalloïdes ainsi que la couleur et la granulométrie des matériaux observés laissent supposer qu'il s'agit très vraisemblablement de résidus de traitement. Sur ce point, ils forment une couche de plusieurs centimètres d'épaisseur.



*Photographies 65 et 66 : matériaux observés dans les sols de berge de la rivière Amous au niveau du Temple - point N824 (source : GEODERIS, mars 2018)*

Quelques centaines de mètres avant la confluence avec le gardon d'Anduze, les teneurs observées sont toujours très importantes et atteignent 4 000 mg/kg en plomb, 1 800 mg/kg en arsenic et 2 500 mg/kg en zinc au niveau du point N831.

L'extension géographique et la profondeur des sols de berges réellement impactés n'ont pas été délimitées.

Enfin, les émergences situées sur le versant au nord-est de Carnoulès qui présentent des concentrations en éléments métalliques importantes, associées à des pH faibles, ont des débits très faibles. Ces émergences contribuent à la contamination du secteur mais dans une très faible proportion.

### **Synthèse pour le secteur du Gardon de Saint-Jean**

Le point le plus problématique du secteur correspond à la partie nord du carreau de mine de Pallières. En période pluvieuse, le ruisseau d'Aiguesmortes récolte les eaux de ruissellement et les lixiviats drainant notamment les dépôts de matériaux (résidus de traitements et haldes) et les zones de travaux de surface, notamment le flanc ouest de Pallières (Figure 65). Le ruisseau d'Aiguesmortes rejoint ensuite à l'aval le Gardon de Saint-Jean.

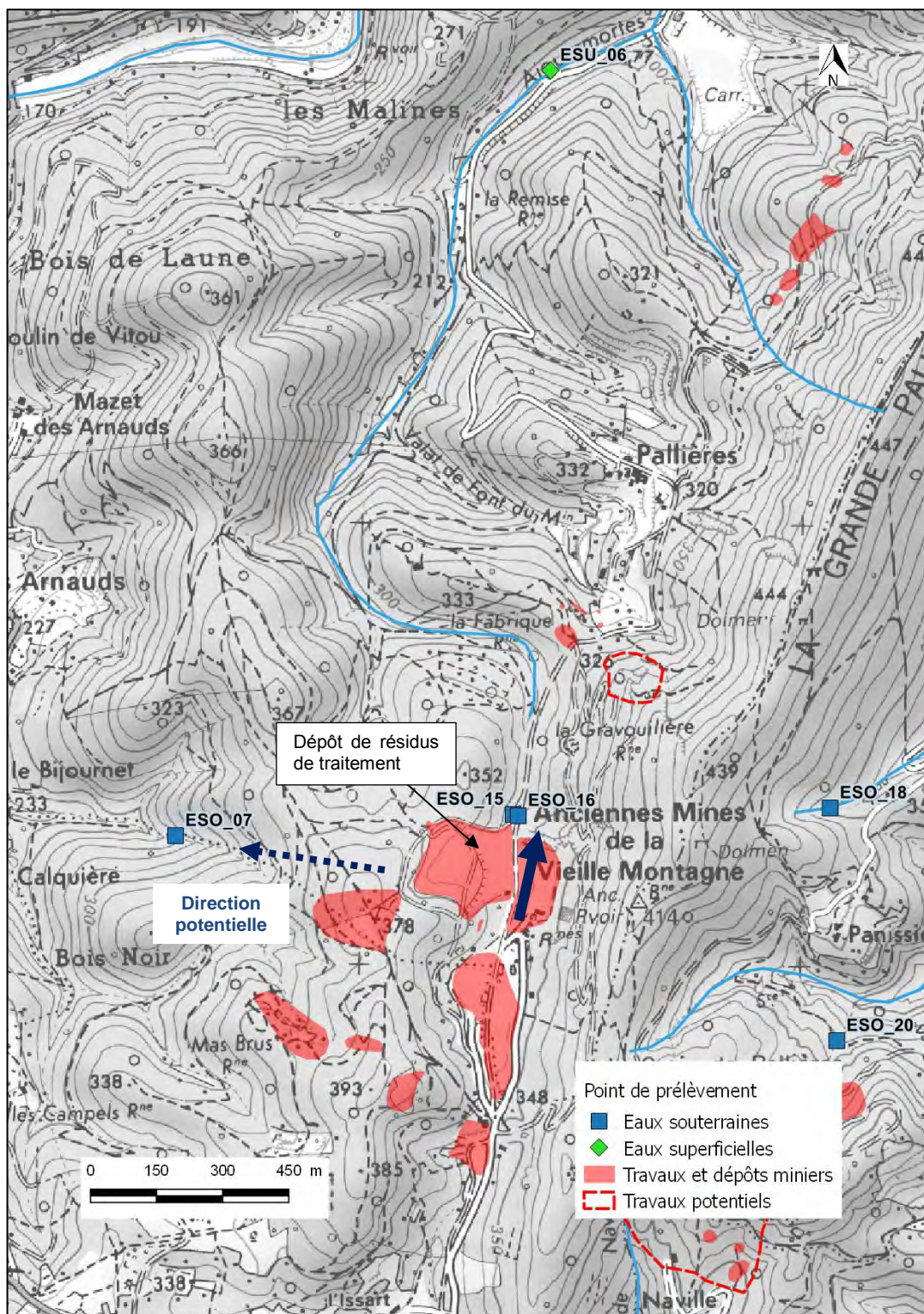


Figure 65 : Direction des écoulements d'eaux (souterraines et superficielles) pour la partie nord des anciens travaux et dépôts miniers de Pallières

Entre la zone des dépôts (ESU\_15) et la confluence avec le Gardon de Saint-Jean (ESU\_06) les concentrations très élevées en éléments traces (notamment plomb et zinc) dans les eaux diminuent fortement en aval des dépôts (Figure 66).

Les concentrations en arsenic sur le Gardon de Saint-Jean (ESU\_05) sont légèrement plus élevées que sur l'aval du ruisseau d'Aiguesmortes (ESU\_06).



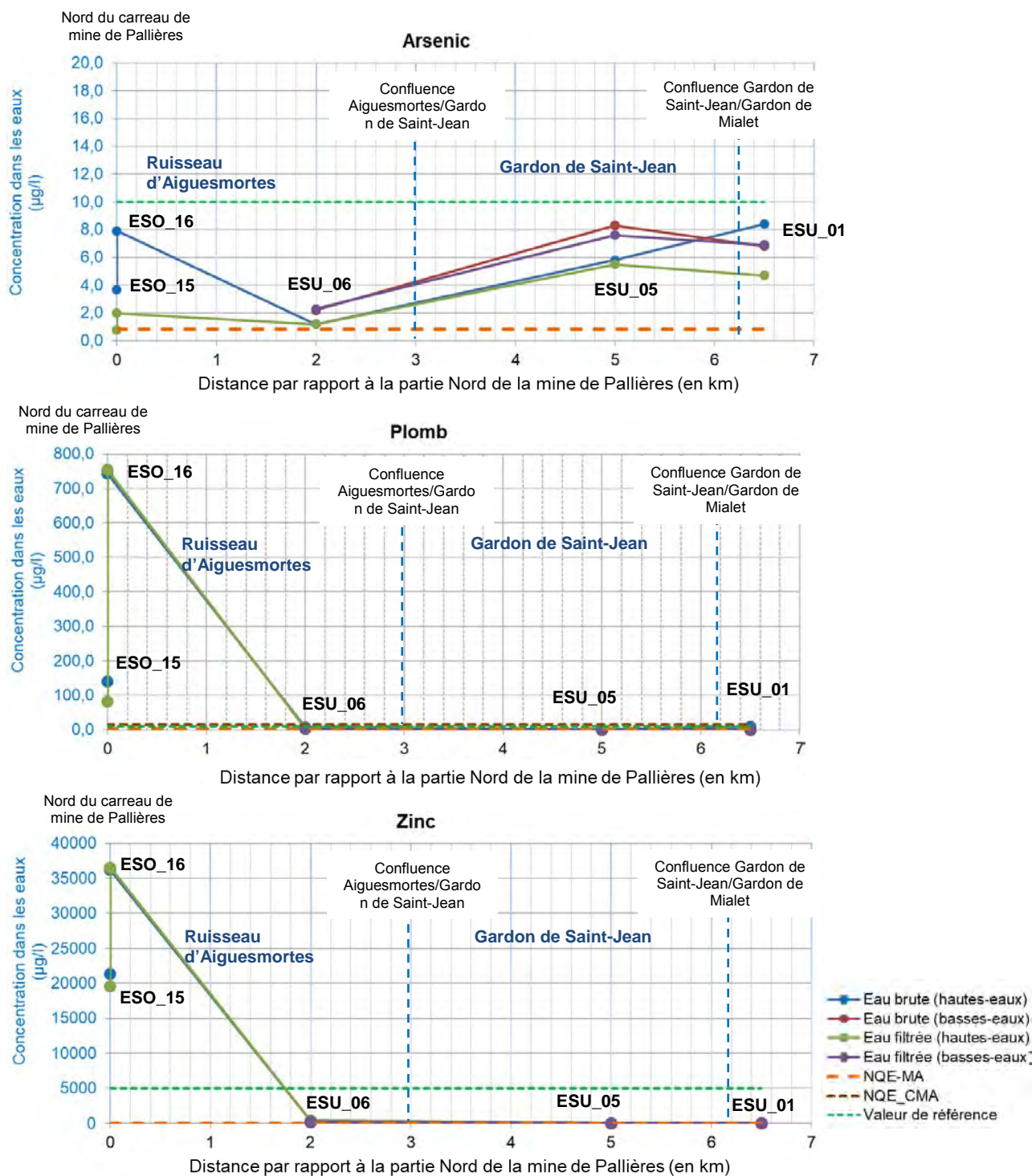


Figure 66 : Evolution des concentrations en éléments traces métalliques dans les eaux de l'Aiguesmortes et du Gardon de Saint-Jean depuis la partie nord de la mine de Pallières

Sur le Gardon de Saint-Jean, les concentrations en métaux et métalloïdes ont tendance est à diminuer entre l'amont (ESU\_05) et l'aval de la confluence avec le Gardon de Mialet (ESU\_01). Pour rappel, ce dernier draine les eaux chargées en métaux de l'émergence de Pradinas dont le débit est très faible toute l'année ( $< 2 \text{ m}^3/\text{h}$  en période de hautes-eaux).

Une légère augmentation des concentrations en arsenic est toutefois à signaler en période de hautes-eaux uniquement sur eaux brutes.

Les concentrations relevées sur le Gardon de Saint-Jean restent inférieures :

- aux valeurs de référence définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007 pour les eaux brutes, à savoir 10 µg/l pour l'arsenic et le plomb, et 5 000 µg/l pour le zinc ;
- aux NQE sur eaux filtrées pour le plomb et le zinc (la NQE de l'arsenic fixée à 0,83 µg/l est dépassée).

La tendance est globalement la même pour les sédiments, dont les teneurs très fortes au pied des haldes et du dépôt de résidus de traitement (SED\_15) diminuent rapidement sur le ruisseau d'Aiguesmortes au niveau du point SED\_106 (Figure 67).

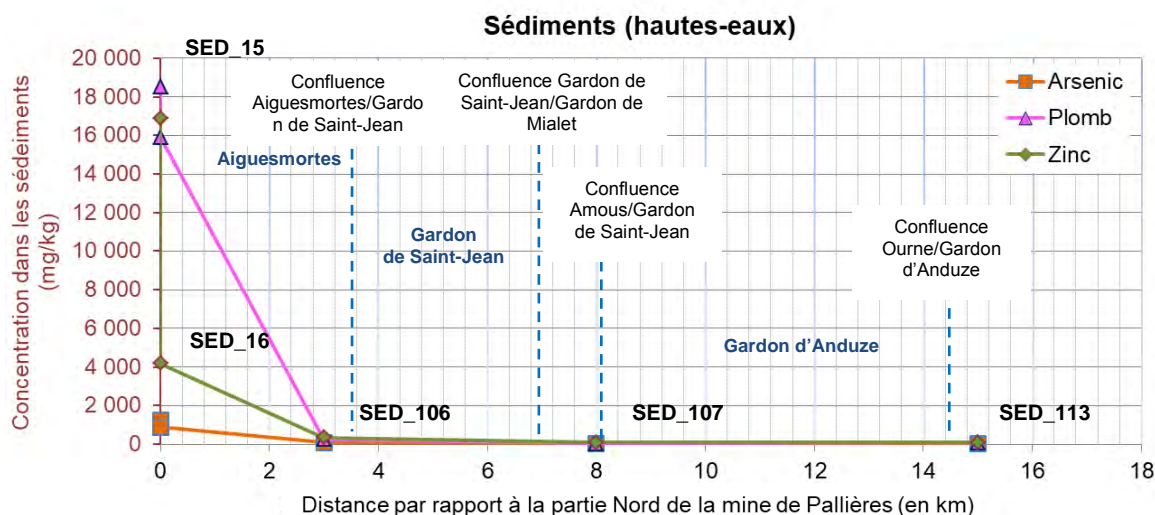


Figure 67 : Evolution des teneurs en éléments traces métalliques dans les sédiments du ruisseau du Reigous, de la rivière Amous et du Gardon d'Anduze

Comme pour le secteur du Reigous, cette observation reste toutefois à nuancer. En effet, la fraction la plus fine des sédiments, qui correspond en grande partie à la granulométrie des résidus de traitement, la plus chargée en éléments métalliques, se retrouve moins dans les échantillons de sédiments prélevés dans l'Aiguesmortes et le Gardon d'Anduze.

Une hypothèse est que ces fines sont rapidement transportées et diluées dans les rivières à débits importants, ce qui rend difficile leur échantillonnage. Leur présence dans les cours d'eau plus en aval de la zone d'étude n'est donc pas à exclure.

Concernant la source du Bijournet, l'étude hydrogéologique et les prélèvements réalisés par GEODERIS ne permettent pas de conclure sur le potentiel lien de cette source avec les zones de travaux et dépôts miniers. Toutefois, au vu des concentrations importantes en éléments traces métalliques et les teneurs observées dans les sédiments, et de l'importance des écoulements relevés à chaque cycle hydrologique, deux hypothèses sont avancées :

- les eaux de la source circulent à travers des couches géologiques, potentiellement fracturées et remplies de poches naturellement minéralisées, dont le volume et la configuration permettent de soutenir les écoulements supérieurs à 2m<sup>3</sup>/h observés en période d'étiage sévère ;
- la source est en lien avec les aquifères miniers. Les eaux se chargent en métaux et métalloïdes à travers les aquifères miniers, et transitent par un réseau de fracture jusqu'à la source, s'affranchissant ainsi d'éventuelles barrières topographiques.

Les émergences sur le versant du Serre qui présentent des concentrations en éléments métalliques importantes, associées à des pH faibles, ont des débits très faibles. Ces émergences contribuent à la contamination du secteur mais dans une très faible proportion.

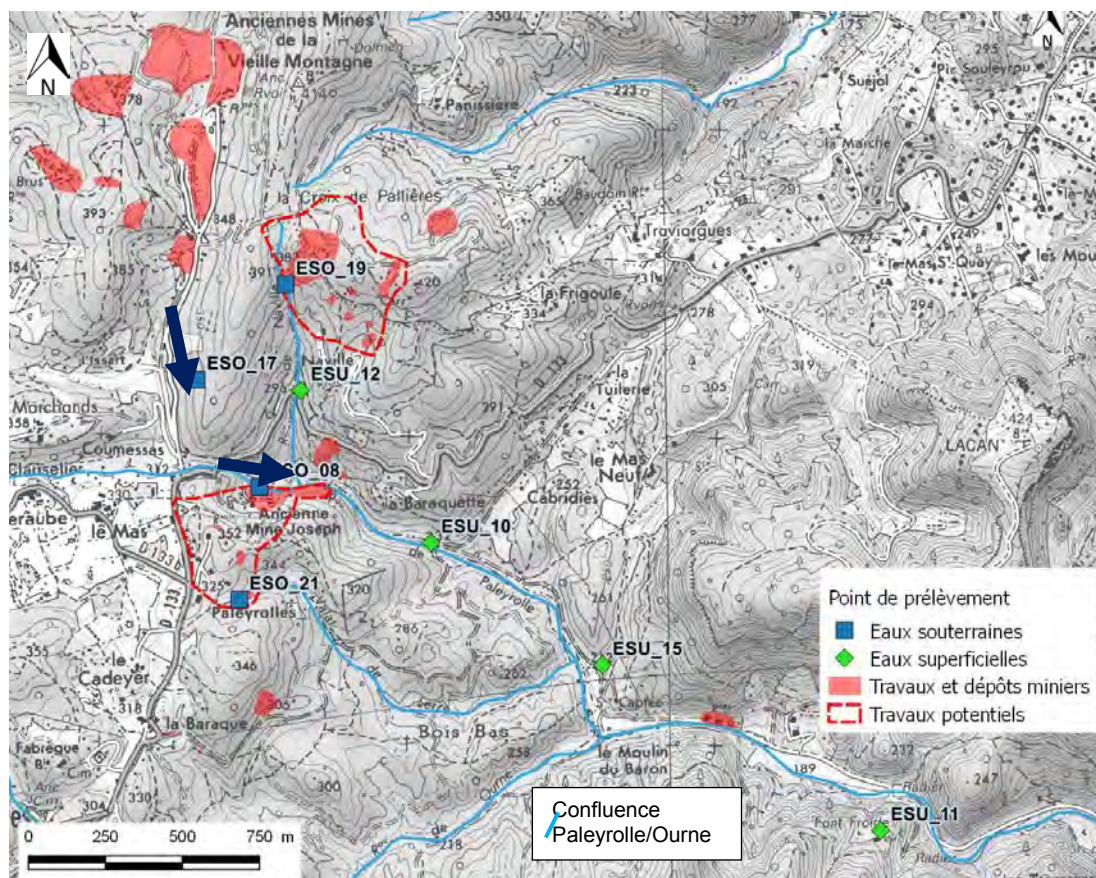
Enfin, au regard des prélèvements d'eaux et de sédiments réalisés sur les ruisseaux de Pallières (ESO\_18 et SED\_109) et de Graviès (ESO\_20 et SED\_108), ces cours d'eaux ne sont pas contaminés et ne semblent pas avoir de lien direct avec les anciens travaux miniers.

### **Synthèse pour le secteur de l'Ourne**

Le ruisseau du Paleyrolle draine les lixiviats des dépôts de la mine Joseph. En période pluvieuse, il récolte des eaux de ruissellement et d'infiltration drainant la partie sud du carreau de la mine de Pallières, et du ruisseau de Naville en provenance des anciens travaux du flanc-est de Pallières, dans le secteur dit des Terres-Rouges (Figure 68).

Globalement, les écoulements superficiels sont orientés vers le sud et le sud-est.

Le ruisseau du Paleyrolle, après avoir récupéré les eaux du Valat de Serre, rejoint à l'aval la rivière Ourne, dont l'exutoire est le Gardon d'Anduze.



*Figure 68 : Direction des écoulements d'eaux en provenance des anciens travaux et dépôts miniers dans le ruisseau du Paleyrolle*

Entre la zone des haldes de la mine Joseph (ESO\_08) et l'amont proche de la confluence avec la rivière Ourne (ESU\_15), les concentrations très élevées en éléments

traces (notamment plomb et zinc) dans les eaux du Paleyrolle diminuent fortement (Figure 69).

Pour la rivière Ourne, les concentrations en arsenic, plomb et zinc dans les eaux brutes sont inférieures aux valeurs de référence.

Les concentrations en arsenic et plomb sur eaux filtrées sont légèrement inférieures aux NQE, contrairement au zinc qui dépasse la NQE sur les deux périodes hydrologiques.

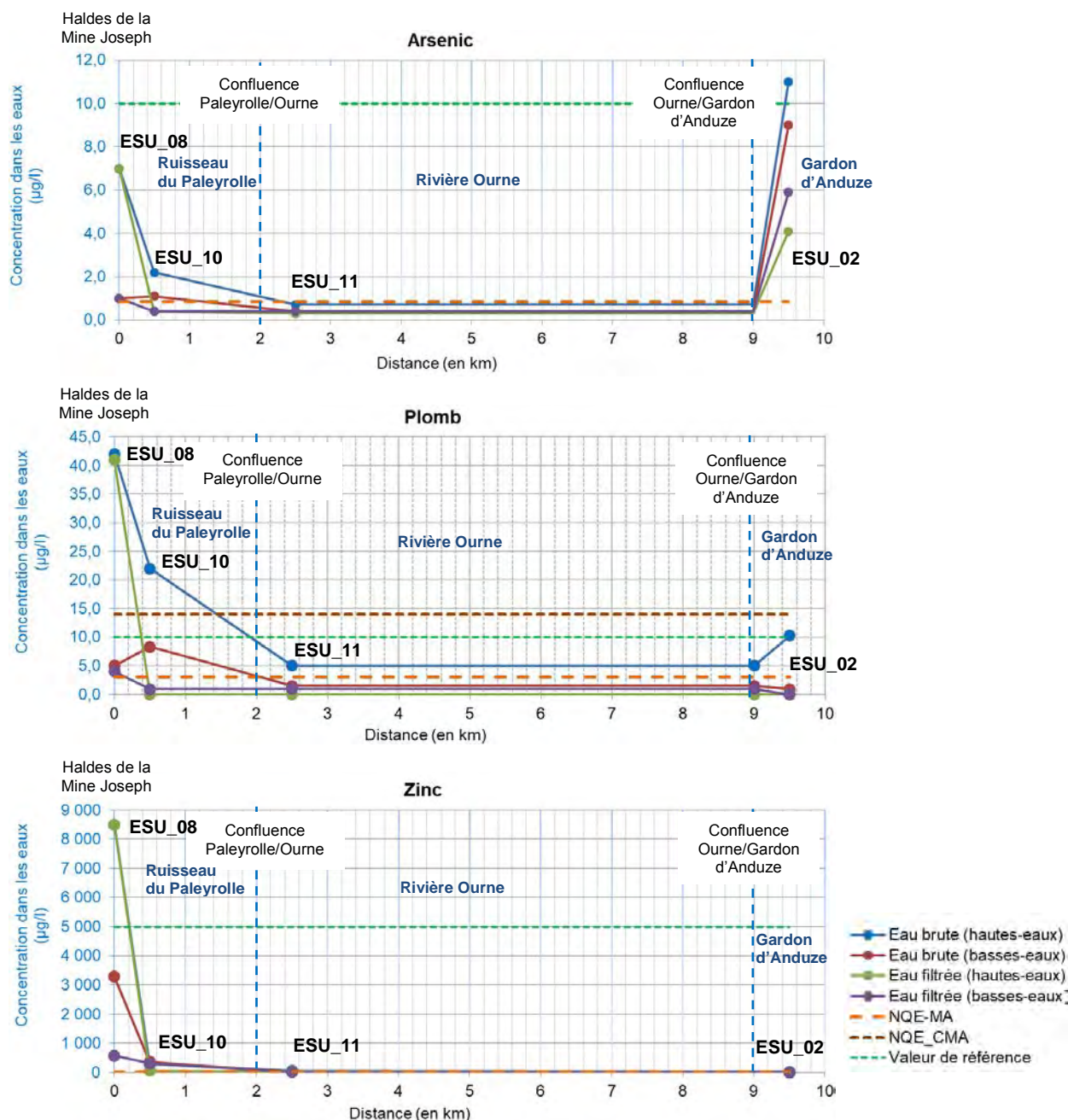


Figure 69 : Evolution des concentrations en éléments traces métalliques dans les eaux du ruisseau du Paleyrolle, de l'Ourne et du Gardon d'Anduze depuis les haldes de la mine Joseph

Sur le Gardon d'Anduze (ESU\_02), les concentrations en arsenic et parfois en plomb sont beaucoup plus importantes que dans l'Ourne (ESU\_11) et dans le Paleyrolle

(ESU\_10). Les concentrations proviennent de la partie amont du Gardon d'Anduze, notamment du Gardon de Saint-Jean et de l'Amous.

Les matériaux qui se détachent de la base des haldes de la mine Joseph et qui rejoignent le ruisseau du Paleyrolle présentent des teneurs modérées à très élevées en métaux et métalloïdes (le point RES722 indique 1 630 mg/kg en arsenic, 74 400 mg/kg en plomb et 423 mg/kg en zinc). À l'aval, les teneurs observées dans les sédiments diminuent rapidement jusqu'au point SED-113 du Gardon d'Anduze (Figure 70).

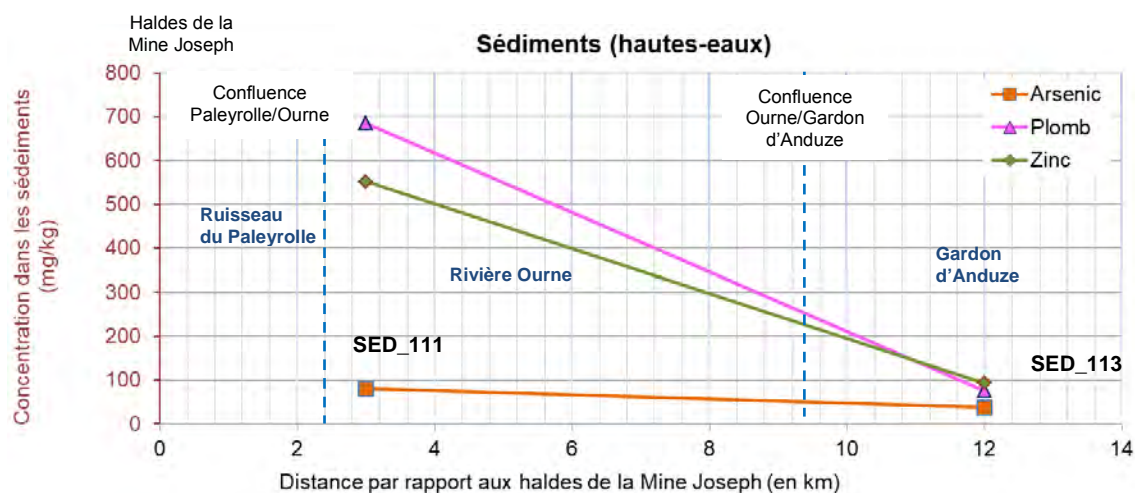


Figure 70 : Evolution des teneurs en éléments traces métalliques dans les sédiments de la rivière Ourne et du Gardon d'Anduze

Comme pour les deux autres secteurs, cette observation reste toutefois à nuancer. En effet, la fraction la plus fine des sédiments, qui correspond en grande partie à la granulométrie la plus chargée en éléments métalliques, se retrouve moins dans les échantillons de sédiments prélevés dans la rivière Ourne et le Gardon d'Anduze.

Une hypothèse est que ces fines sont rapidement transportées et diluées dans les rivières à débits importants, ce qui rend difficile leur échantillonnage. Leur présence dans les cours d'eau plus en aval de la zone d'étude n'est donc pas à exclure.

L'émergence du Valat de Serre qui présente des concentrations en arsenic de 16 µg/l sur brut et en zinc de 6 830 µg/l en période hautes-eaux (ESO\_21), a un pH neutre et un débit très faible, voire nul en étiage. Cette émergence contribue à la contamination du secteur mais dans une très faible proportion.

Enfin, au regard des prélèvements d'eaux réalisés sur le Ru du Mas Neuf, ce cours d'eau n'est pas contaminés et ne semble pas avoir de lien direct avec les anciens travaux miniers.

### **Synthèse pour le secteur aval : Gardon d'Anduze**

Le gardon d'Anduze correspond à l'aval hydrologique de la zone d'étude.

Il prend naissance en amont de la commune d'Anduze par la confluence des eaux de la rivière Amous et du Gardon de Saint-Jean, et dans une moindre mesure, des ruisseaux de Pallières et Graviès. En aval de la commune d'Anduze, il est rejoint par d'autres cours d'eau, dont la rivière Ourne (Figure 71).

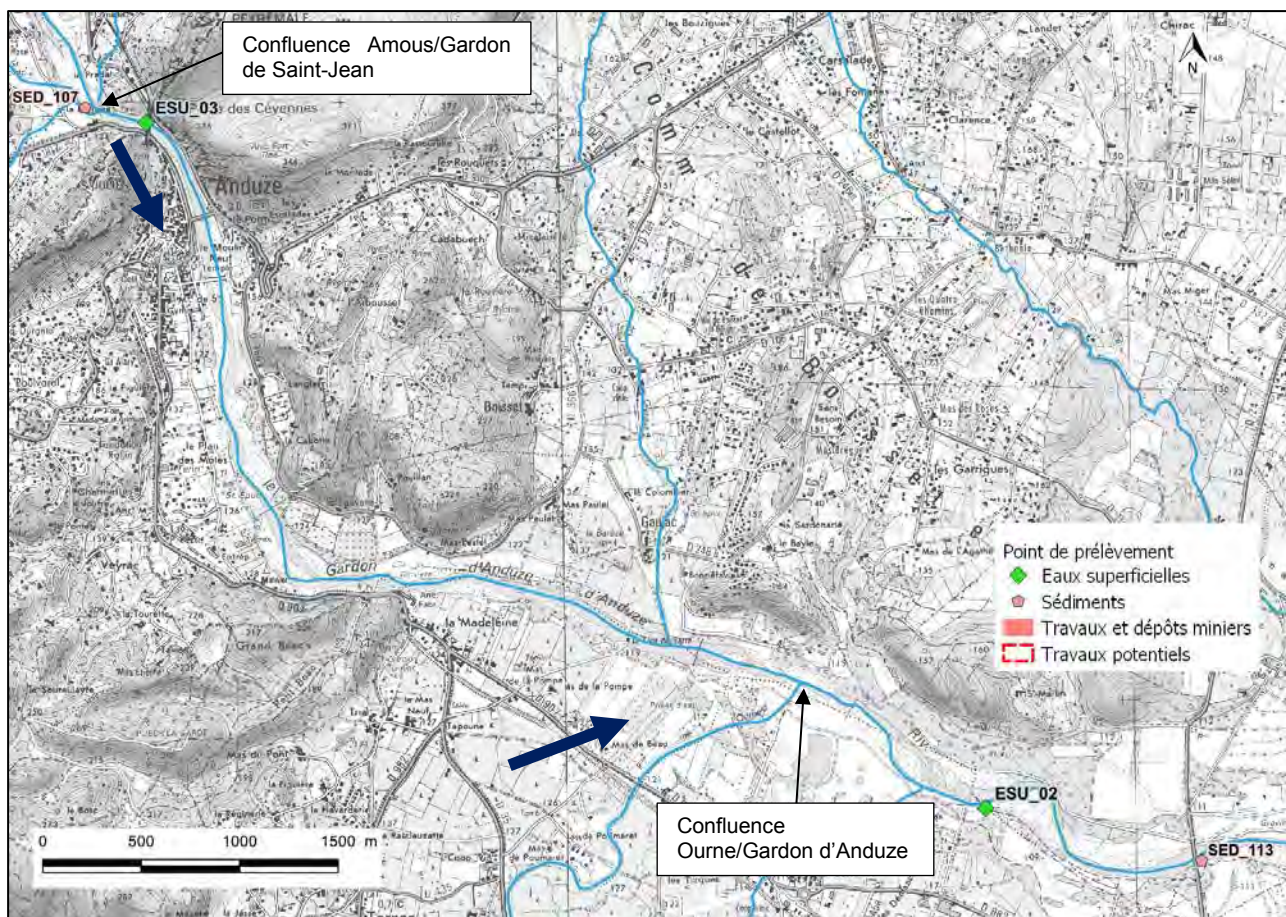


Figure 71 : Direction des écoulements d'eaux en provenance des anciens sites miniers au niveau du Gardon d'Anduze

Les investigations réalisées mettent en évidence que les concentrations en éléments traces métalliques, bien que diminuant continuellement depuis les anciens sites miniers, sont encore significatives sur le gardon d'Anduze au niveau des points de mesures ESU\_03 et ESU\_02 (Figure 72).

En période de hautes-eaux, les eaux brutes du Gardon d'Anduze au niveau d'Anduze dépassent la valeur de référence fixée à 10 µg/l pour l'arsenic et le plomb.

Les concentrations deviennent équivalentes à cette valeur de référence au droit du pont de Lézan, qui correspond au point de prélèvement le plus aval effectué dans le cadre de la présente étude.

Ces concentrations proviennent surtout de l'amont de la commune d'Anduze, à savoir essentiellement du secteur Reigous/Amous et, dans une moindre mesure, du Gardon de Saint-Jean. L'impact du secteur Paleyrolle/Ourne est moins visible dans le Gardon d'Anduze.

Il convient également de signaler que le lessivage des terrains naturellement minéralisés en période pluvieuse, ainsi que les rejets anthropiques (industriels, particuliers, stations d'épuration, etc.) peuvent également être vecteurs d'éléments traces métalliques en proportion non négligeable dans les cours d'eau. Ces facteurs pourraient être à l'origine d'une partie des concentrations observées dans le Gardon d'Anduze, et contribuer à augmenter l'impact des de certains éléments chimiques également traceurs des anciens sites d'exploitation minière (essentiellement plomb, zinc, cadmium, arsenic).

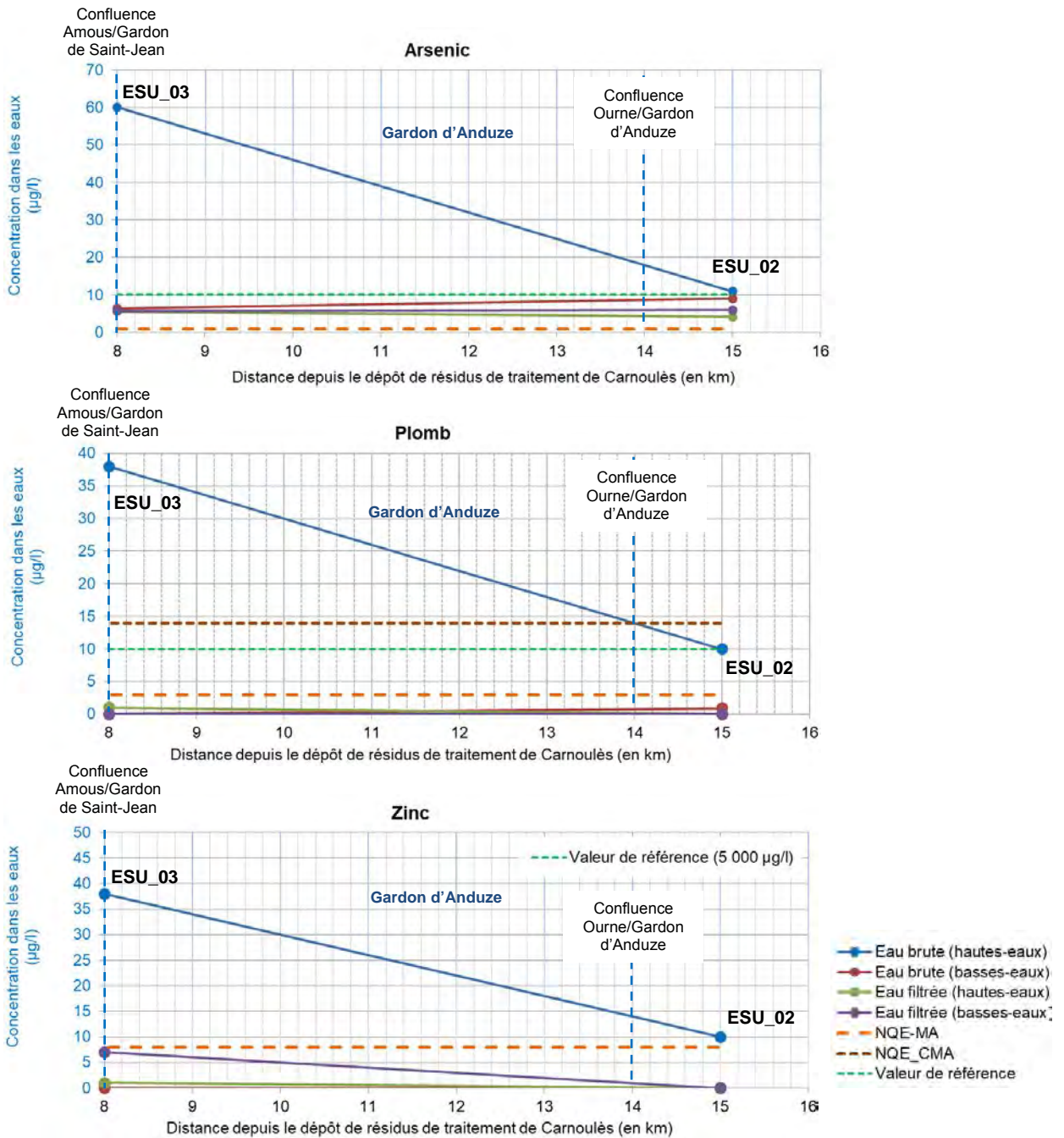


Figure 72 : Evolution des concentrations en éléments traces métalliques dans les eaux du Gardon d'Anduze

Au niveau du pont de Lézan, les teneurs dans les sédiments grossiers analysés sont inférieures à 100 mg/kg pour l'arsenic, le plomb et le zinc (SED\_113). Toutefois, aucune fine n'a pu être prélevée dans les sédiments du Gardon d'Anduze du fait d'un débit important peu favorable au dépôt de cette fraction granulométrique. Cette absence d'éléments fins, souvent porteurs des éléments traces métalliques, peut engendrer un biais dans la caractérisation réelle de l'état de contamination du matériel sédimentaire.

## 2.5 Mesures des flux de poussières sur le secteur d'étude

Des mesures de poussières et dépôts atmosphériques ont été réalisées par l'INERIS, afin de caractériser l'exposition de certains foyers par l'air intérieur ou extérieur due aux éventuels impacts des dépôts miniers proches (Paturel et al, 2017)<sup>28</sup>.

Pour 2016, les prélèvements ont été effectués du 9 août au 8 septembre 2016 pour la région de Saint-Félix-de-Pallières, puis du 13 septembre au 11 octobre 2016 pour la région de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille. Pour 2017, les prélèvements ont été réalisés du 24 juillet au 31 août 2017, de manière concomitante sur les deux communes.

Afin de pouvoir discriminer l'origine de la pollution, les prélèvements des PM<sub>10</sub> (particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 µm) en air ambiant ont été réalisés avec collecte d'un filtre par jour durant 15 jours consécutifs. Pour les prélèvements de retombées atmosphériques, la durée a été de 30 jours.

Les emplacements de mesure retenus sont présentés sur la Figure 73.

Pour les campagnes de 2016, dix emplacements ont été équipés chacun d'un préleveur actif des PM<sub>10</sub> à l'air ambiant et d'une jauge de collecte des dépôts atmosphériques. Pour la campagne de 2017, onze emplacements ont été équipés d'une jauge et quatre emplacements ont été équipés d'un préleveur actif des PM<sub>10</sub> à l'air ambiant et d'une jauge. Une station météorologique répondant aux standards Météo France pour la mesure du vent a été mise en place sur le site pendant toute la durée des campagnes de mesures. Ceci a permis le suivi en continu des conditions météorologiques locales : vent (direction et vitesse à 10 m), pluviométrie, température, pression et humidité relative.

Les conditions météorologiques enregistrées durant les campagnes indiquent que les vents ont été majoritairement faibles en saison sèche. Sous ces conditions, les vents sont orientés nettement suivant les axes topographiques des vallées (Figure 74). Combinées à un environnement plutôt boisé autour des dépôts, ces conditions de vent ne semblent pas favoriser une érosion éolienne importante des dépôts et un transport des poussières sur de grandes distances.

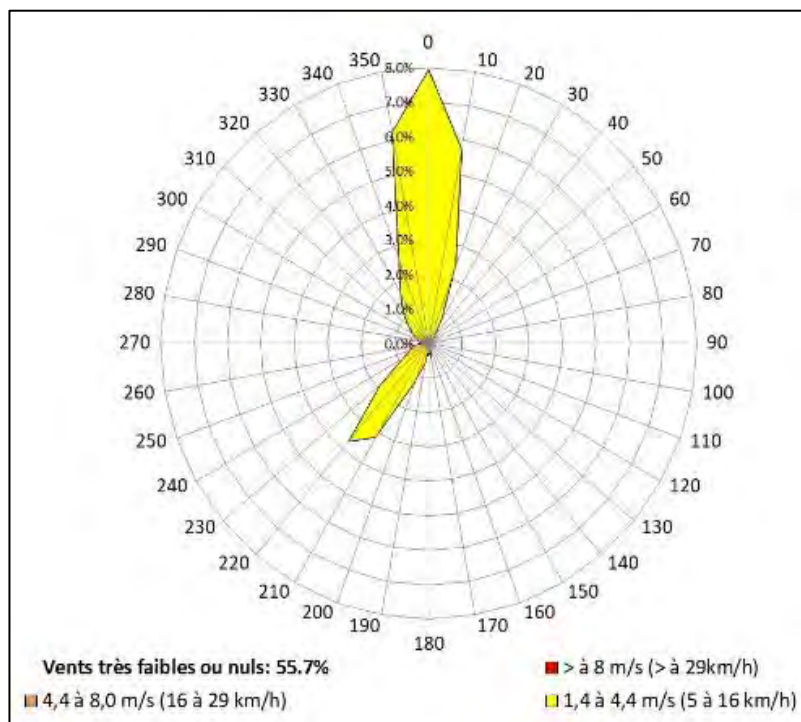
---

<sup>28</sup> Rapport disponible sur le CD-ROM joint à la présente étude.





Figure 73 : Localisation des différents emplacements de mesure (Source : Paturel et al, 2018)



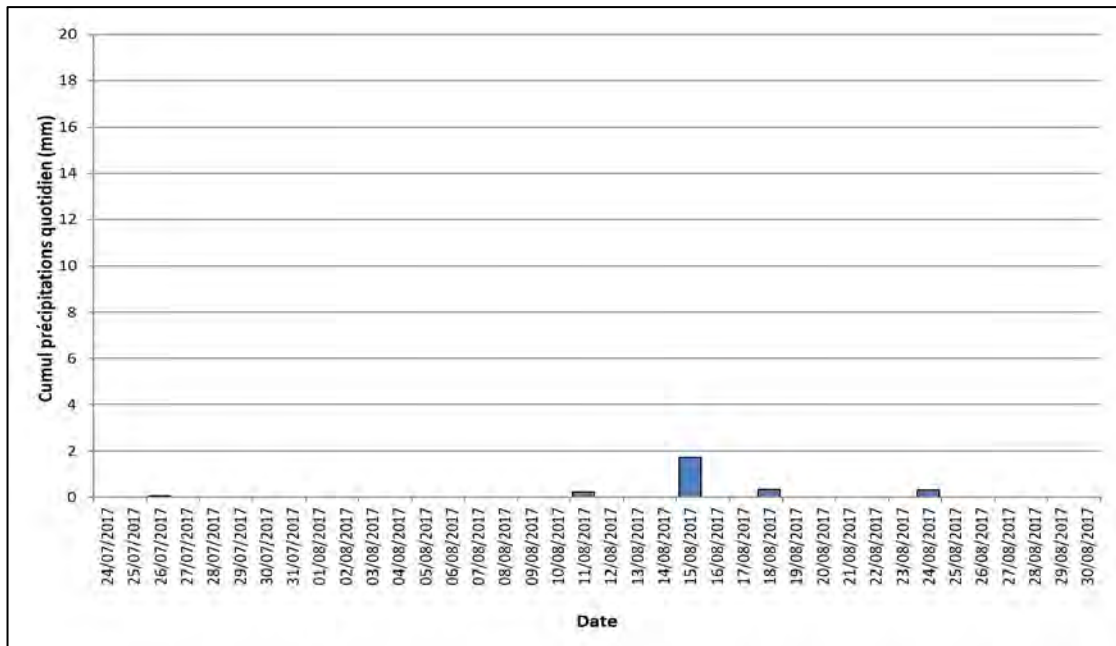


Figure 74 : Rose des vents et pluviométrie au niveau de l'emplacement 2017-H situé sur le carreau de mine de Pallières (Source : Paturol et al, 2018)

➤ **Particules en suspension PM<sub>10</sub>**

Les niveaux moyens de PM<sub>10</sub> mesurés sont faibles (moyenne inter-sites = 10,3 µg/m<sup>3</sup>, inter-sites 2016 = 9,3 µg/m<sup>3</sup> et inter-sites 2017 = 12,9 µg/m<sup>3</sup>), comparés à la valeur limite réglementaire de 40 µg/m<sup>3</sup>, exprimée en moyenne annuelle. Les concentrations en PM<sub>10</sub> sont toutes inférieures à la valeur limite réglementaire en moyenne journalière de 50 µg/m<sup>3</sup> à ne pas dépasser plus de 35 jours par an (Tableau 55).

Emplacement	Concentration en PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]
2016-A	10,1
2016-B	8,1
2016-C	5,7
2016-D	11,6
2016-E	5,9
2016-F	10,2
2016-G	8,8
2016-H	11,3
2016-I	11,3
2016-J	9,9
2017-A	11,3
2017-B	11,0
2017-C	12,8
2017-D	16,5

Tableau 55 : Concentrations moyennes en PM<sub>10</sub> (Source : Paturol et al, 2018)

Les concentrations moyennes mesurées sont inférieures aux valeurs cibles en moyenne annuelle notamment pour l'arsenic, le cadmium, le nickel et le plomb.

Pendant la campagne de 2016, les niveaux de concentration en métaux à proximité des zones de dépôts identifiés sont les plus élevés, tout en restant souvent inférieurs aux valeurs réglementaires ou cibles.

Pendant la campagne de 2017, les concentrations les plus importantes en métaux sont mesurées à l'emplacement 2017-D. Ceci est probablement à mettre en lien avec les travaux de réhabilitation des sols réalisés à proximité de cet emplacement pendant la période de prélèvement (essais de végétalisation ADEME). Ces travaux sont susceptibles d'avoir favorisé le réenvol des particules. L'impact semble très limité, puisque les emplacements alentours ne présentent pas de concentrations importantes.

➤ **Retombées atmosphériques**

Il n'existe pas en France de valeurs réglementaires concernant les retombées atmosphériques. À défaut, les flux mesurés peuvent être comparés aux valeurs de bruit de fond en milieu rural définies par l'INERIS dans un guide de surveillance dans l'air autour des installations classées<sup>29</sup> et synthétisées dans le Tableau 56.

Métaux	Moyenne (en $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$ )	Gamme généralement observée (en $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$ )
As	0,9	0 - 2
Cd	0,4	0 - 0,5
Cr	2,5	0 - 5
Mn	43	0 - 100
Ni	3,2	0 - 8
Pb	7,0	0 - 15

*Tableau 56 : Valeurs de dépôts généralement observées en France en milieu rural (Source : guide de surveillance dans l'air autour des installations classées, INERIS)*

Pour les deux campagnes de mesures réalisées en 2016, les niveaux de dépôts atmosphériques les plus élevés sont mesurés uniquement au droit des dépôts miniers.

La valeur moyenne repère de 7  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$  correspondant au fond rural proposé par l'INERIS en plomb est dépassé sur les points suivants :

- sur le carreau de mine de Pallières (2016-I et 2017-I, avec respectivement 29 et 15  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$ ) ;
- au sud du hameau de Pallières (2016-H, avec 11  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$ ) ;
- au niveau des anciennes MCO de Carnoulès (2017-L, atteignant 549  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$ ) ;
- au voisinage ouest du dépôt de résidus de traitement de Carnoulès (2017-D, atteignant 92  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$ ) ;
- sur la halde habitée en partie nord du carreau de mine de Pallières (2017-H, atteignant 41  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$ ).

Les résultats obtenus lors des campagnes de 2016 et 2017 indiquent qu'en l'absence de toute activité sur les dépôts et en cas de maintien du couvert boisé, ceux-ci ne semblent pas être une source majeure de contamination de la zone d'étude en métaux lourds par voie aérienne (poussières  $\text{PM}_{10}$  et retombées atmosphériques).

<sup>29</sup> Document complémentaire au guide de surveillance dans l'air autour des installations classées : principales caractéristiques physico-chimiques, valeurs de gestion et niveaux mesurés dans l'air ambiant, méthodes de mesures de certaines substances. Réf : DRC-16-158882-10272A

## **2.6 Dissémination anthropique**

Au regard de la granulométrie des matériaux constituant les dépôts, l'extraction anthropique et l'utilisation de ces matériaux comme remblais constituent un vecteur potentiel non négligeable de dissémination géographique de matériaux contaminés.

**D**

**VOLET SANITAIRE**



## 1 INTERPRETATION EN MATIERE DE RISQUE SANITAIRE

L'étude historique a permis de recenser et délimiter les zones d'anciens travaux miniers, les dépôts de matériaux associés (déblais d'extraction et de creusement, résidus de traitement de minerai), les émergences et sources en lien avec les aquifères miniers, et les installations liées aux anciennes activités minières et industrielles connexes de La-Croix-de-Pallières et de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille.

Les investigations de terrain ont permis de caractériser la qualité environnementale des sols, matériaux, sédiments et des eaux souterraines et superficielles de ces zones. Ainsi, il a été mis en évidence que la qualité des milieux peut être dégradée :

- de façon directe, au droit d'espaces anciennement exploités par l'activité minière et considérés comme des « milieux sources » ;
- de façon indirecte, via un transfert de la pollution. Ce transfert peut être d'origine naturelle (ré-envol de poussière, drainage d'un cours d'eau, migration des eaux souterraines) ou anthropique (prélèvement et remblaiement de parcelles, etc.).

Tenant compte de ces éléments, les enjeux présents au niveau des zones considérées comme sous influence des anciennes activités d'extraction et de traitement du minerai ont fait l'objet d'une étude sanitaire, retranscrite dans le rapport INERIS-DRC-19-175513-00361B (Lethielleux, 2019)<sup>30</sup>.

### 1.1 Localisation des zones investiguées

La majorité des zones concernées par les travaux miniers et les dépôts de matériaux associés se trouvent dans des secteurs à végétation dense et/ou boisée.

Les enjeux retenus pour le volet sanitaire se trouvent quant à eux :

- soit sur des zones d'anciens travaux (laverie des Autiés, haldes de la mine de Pallières, lieu-dit Paleyrolle, hameau de Carnoulès, habitations aux Adams, etc.) ;
- soit en aval de secteurs impactés par les anciens travaux miniers (les habitations en bordure du Reigous et de l'Amous, les Sognes, etc.).

Les terrains investigués sont localisés sur les communes de Saint-Félix-de-Pallières, Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille, Générargues, Corbès, Saint-Jean-du-Pin et Thoiras.

Les parcelles investiguées et les résultats des investigations se trouvent en **annexe 6**.

### 1.2 Enjeux relevés

Les enjeux considérés dans la présente étude représentent 35 habitations avec jardins, deux terrains à lotir et un puits communal se trouvant sous influence d'anciens travaux miniers.

Les foyers ayant fait l'objet d'un diagnostic spécifique habitation ADEME/ICF Environnement n'ont pas été intégrés à l'étude sanitaire GEODERIS. Ces foyers se trouvent sur la commune de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille.

Les activités de chasse, de cueillette ou de pêche, de randonnées, etc. ne font pas l'objet de ce rapport.

---

<sup>30</sup> Rapport disponible sur le CD-ROM joint à la présente étude.

## 1.3 Investigations de terrain du volet sanitaire

### 1.3.1 Objectifs de la campagne d'investigations

Les objectifs de la campagne d'investigations étaient de :

- caractériser les milieux d'exposition que sont notamment les sols de surface, les eaux souterraines et de surface utilisées par les usagers ainsi que les végétaux cultivés et consommés par les usagers ;
- acquérir les informations sur les paramètres d'exposition des usagers (présence d'enfants, la fréquence, etc.).

### 1.3.2 Programme analytique

#### 1.3.2.1 Substances retenues pour le volet sanitaire

Compte tenu des connaissances sur les minerais exploités et des résultats de caractérisation des métaux déjà réalisée dans les différents milieux, la liste des substances retenues pour le programme analytique est la suivante :

→ Pour les sols :

Aluminium, Antimoine, Argent, Arsenic, Baryum, Cadmium, Chrome, Cobalt, Cuivre, Fer, Manganèse, Mercure, Nickel, Plomb, Thallium, Zinc.

→ Pour les eaux :

Aluminium, Antimoine, Argent, Arsenic, Baryum, Cadmium, Chrome, Cobalt, Cuivre, Fer, Manganèse, Mercure, Nickel, Plomb, Thallium, Zinc.

→ Pour les végétaux :

Antimoine, Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Fer, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc.

Les limites de quantification des laboratoires d'analyse ont été définies en tenant compte notamment des valeurs de gestion qui sont utilisées dans le cadre de l'IEM ou en l'absence de celles-ci, au regard de la mise en œuvre de calculs de risques sanitaires et des valeurs toxicologiques de référence associées.

Remarque : Les incertitudes absolues fournies par le laboratoire sont retenues pour comparer les teneurs des substances considérées aux ELT.

#### 1.3.2.2 Analyses physico-chimiques

Les analyses ont été confiées au laboratoire EUROFIN (Saverne, 67).

Les bordereaux analytiques relatifs aux milieux échantillonnés sont indiqués en annexe du rapport sanitaire INERIS.

### 1.3.3 Stratégie d'investigations

Cette zone comprend de nombreuses habitations saisonnières. Les investigations de terrain ont été conduites par l'INERIS sur deux périodes non consécutives afin de pouvoir rencontrer un maximum de foyers à investiguer : du 6 au 10 août 2018 et du 10 au 14 septembre 2018. Des investigations ont aussi été réalisées par GEODERIS en 2016. La caractérisation de l'environnement local témoin a été effectuée par le BRGM en 2016.



La campagne de mesures a été proportionnée et orientée en fonction des enjeux sanitaires identifiés au travers du schéma conceptuel préliminaire. L'implantation des points de prélèvement et de mesure a été effectuée en fonction des contraintes de terrain, sur la base du plan prévisionnel d'investigations. Le plan d'échantillonnage a également tenu compte de l'accord et de la disponibilité des propriétaires et des usagers durant les périodes d'investigations.

### **1.3.3.1 Investigations sur les milieux d'exposition et de transfert sol, eaux et végétaux**

Les résultats des investigations des milieux sol, eaux et végétaux sont exploités dans le cadre de l'Interprétation de l'Etat des Milieux.

La cartographie des prélèvements est indiquée en **annexe 7**.

#### **Sols**

Si la nature des sols le permet, les échantillons de sol sont prélevés pour caractériser les milieux de transfert et d'exposition dans l'horizon de surface, qu'il soit :

- non remanié, pour déterminer l'état du sol en lien avec la voie d'exposition (ingestion non intentionnelle de sol) ;
- remanié (jardin potager), pour déterminer l'état du sol en lien avec la voie d'exposition pour les adultes jardiniers et les enfants jouant (ingestion non intentionnelle de sol).

Chaque échantillon a été réalisé soit à partir de prélèvements unitaires, soit à partir de prélèvements composites (après observations organoleptiques des sols et vérification au spectromètre de fluorescence X portable de l'homogénéité des gammes de concentrations). Les prélèvements composites ont été réalisés à partir de 2 à 7 prises unitaires. Le nombre d'échantillons unitaires pour former les composites a été déterminé sur site en fonction de la surface à caractériser afin d'être représentatif de l'exposition.

Dans une démarche sécuritaire, il a été considéré que les personnes (enfants et adultes) étaient susceptibles de fréquenter toutes les zones de sols, qu'ils s'agissent de sols enherbés, de zones cultivées/potagères, d'espaces verts ou de jeux.

Au total, 89 échantillons de sols superficiels ont été prélevés sur la campagne de 2018 et 25 échantillons en 2016.

#### **Végétaux**

Plusieurs végétaux étaient disponibles et à maturité dans les jardins potagers lors des investigations. Les fruits, légumes ou herbes aromatiques ont été prélevés dans la mesure du possible, soit au total 18 espèces et 47 échantillons : aubergine, carotte, concombre, courgette, figue, haricot vert, melon, menthe, mûre, pomme, pomme de terre, prune, raisin, romarin, salade, thym, tomate, verveine.

#### **Eaux souterraines, eaux de surface**

Pour le volet sanitaire, les eaux destinées à l'arrosage des jardins potagers ont été prélevées (eau de source/puits/rivière).

Au total, 15 échantillons d'eau ont été prélevés en 2018 et 7 échantillons en 2016.

### **Caractérisation de l'environnement local témoin (ELT)**

Une détermination de l'environnement local témoin (ELT) pour les jardins a été réalisée par le BRGM dans le cadre de sa mission pour GEODERIS lors des investigations réalisées pour les foyers prioritaires de la phase 1<sup>31</sup>.

Le BRGM présente dans son document les données et le raisonnement ayant amené à fournir des valeurs de concentration applicables à l'environnement local témoin et à préciser les limites d'application des valeurs proposées dans le cadre d'une évaluation des risques sanitaires.

Pour les campagnes de terrain, des mesures ont été réalisées à l'aide d'un spectromètre pXRF (outil d'analyse par fluorescence X - non destructif) et/ou en laboratoire obtenues par ICP/AES ou ICP/MS par le laboratoire EUROFINS. Une partie des échantillons a été également soumise au laboratoire BRGM pour contrôle.

Les mesures pXRF ont été pour la plupart obtenues avec un spectromètre Niton XL3t en mode sol. Une partie des mesures a été également effectuée en double avec un spectromètre Olympus Delta Premium, utilisé en mode sol ou en mode géochimie (plus ou moins comparable au mode minier du Niton XL3t), à titre de contrôle. Une bonne corrélation entre pXRF et les analyses EUROFINS est observée.

Les gammes de valeurs proposées par le BRGM ont été élaborées sur la base de mesures réalisées au laboratoire et sur le terrain.

#### **1.3.3.2 Mesures semi-quantitatives d'orientation réalisées in situ**

Dans le cadre des prélèvements de sols à visée sanitaire, un spectromètre de fluorescence X portable (NITON® XL2800) a été utilisé par l'INERIS pour les mesures semi-quantitatives exploratoires sur les échantillons de sol. Des mesures directes sur le sol sont effectuées afin d'orienter les prélèvements après avoir enlevé l'humus le cas échéant. Elles ont permis d'orienter la constitution des échantillons composites.

D'après le constructeur, en mode sol, il est possible d'analyser plusieurs éléments : Ba, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sn, Pb, Hg, Sr, Cd, Ag, Sb, Rb, Ca, K, V, Ti, Sc, Pd, Zr, W, Au et S.

*Nota Bene* : Ces mesures ont eu lieu pour les foyers investigués lors de la campagne de septembre 2018, une avarie sur le matériel n'a pas permis les mesures sur les foyers investigués en août 2018.

#### **1.3.4 Protocole de prélèvement**

Les investigations ont été réalisées par l'INERIS conformément aux protocoles décrits ci-dessous.

##### **1.3.4.1 Sols**

En fonction des usages, les profondeurs échantillonnées sont les suivantes :

- 0-2 cm (sol compact) ou 0-5 cm (sol meuble) au niveau des sols non remaniés concernés par les voies d'exposition directes comme l'ingestion non intentionnelle de sol. Cette profondeur de prélèvement concerne principalement les jardins

---

<sup>31</sup> Rapport disponible sur le CD-ROM joint à la présente étude.

d'agrément et les chemins de randonnées. Le prélèvement est réalisé au moyen d'une bêche ;

- 0-10 cm ou 0-20 cm au niveau des sols remaniés, concernés par les voies d'exposition telles que l'ingestion de sol lors des activités de jardinage et de transfert relatif à l'ingestion de végétaux. Cette profondeur concerne les jardins potagers ou les zones remaniées (terres retournées par des sangliers). La profondeur d'échantillonnage classiquement retenue est 0-30 cm mais les terrains rencontrés lors des investigations étaient très compacts et certains potagers n'étaient pas entretenus ou abandonnés. Le prélèvement est réalisé au moyen d'une bêche.

Chaque prélèvement d'échantillon de sol a fait l'objet d'un relevé des observations de terrain (description lithologique des sols prélevés, les indices visuels et organoleptiques, le type de prélèvement, composite ou pas et le nombre de points considéré dans le composite).

Les échantillons ont majoritairement été réalisés à partir de prélèvements composites effectués sur la base de 2 à 7 prises unitaires afin d'être représentatifs de l'exposition sur une zone donnée. Les composites sont en effet réalisés sur des zones de terrains homogènes.

#### **1.3.4.2 Eaux de surface et eaux souterraines**

Le flaconnage fourni par le laboratoire est directement rempli dès lors que les conditions d'accès le permettent (robinet). À défaut, les eaux sont prélevées à l'aide d'un flacon à usage unique puis transvasées dans le flaconnage (protocole appliqué pour les eaux de surface).

Une filtration à 0,45 µm est pratiquée directement sur le terrain à la suite du prélèvement. Deux types d'échantillons sont générés : eau filtrée (F) ou eau non filtrée (NF).

Le flaconnage en plastique dédié à l'analyse des métaux est préparé en amont par le laboratoire d'analyse (ajout d'acide nitrique destiné à l'acidification de l'échantillon).

Pour rappel, les valeurs de concentrations sont à prendre en compte sur des échantillons d'eau filtrée lors de comparaison aux normes de qualité environnementale (NQE). Dans le cadre d'une étude sanitaire ou de baignade ou d'arrosage, les résultats sur des eaux non filtrées sont nécessaires.

#### **1.3.4.3 Espèces végétales**

Concernant les végétaux, des prélèvements ont été réalisés dans les parcelles dont les propriétaires ont autorisé l'accès. Les végétaux ont été échantillonnés conformément au guide en vigueur pour ce milieu d'exposition (ADEME, 2014<sup>32</sup>) et les volumes prélevés permettaient de disposer des quantités nécessaires aux analyses, pour garantir la représentativité de l'échantillon.

Sur le terrain, les échantillons prélevés n'ont pas été nettoyés.

Les consignes suivantes de préparation ont été transmises au laboratoire d'analyse :

---

<sup>32</sup> Guide sur l'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux, ADEME, 2007 (1<sup>ère</sup> édition) et 2014 (2<sup>ème</sup> édition)

- pour tous les végétaux sauf les mûres : lavage à l'eau déminéralisée ;
- pour les carottes, concombre, pommes de terre : épluchage ;
- pour les courgettes : pas d'épluchage ;
- pour les prunes : suppression du noyau ;
- pour le melon : analyse de la chair.

#### 1.3.4.4 Conservation et acheminement au laboratoire

Les échantillons de sols, d'eaux et de végétaux ont été conditionnés dans les flacons ou sachets plastiques (notamment pour les végétaux) fournis par le laboratoire. Ils ont été placés dans des glacières au frais et à l'abri de la lumière avant leur envoi.

L'ensemble des échantillons a été envoyé en glacière réfrigérée sous 24h au maximum après leur prélèvement, ou bien placé dans les réfrigérateurs de l'INERIS avant l'envoi (sols).

### 1.4 Caractérisation de l'Environnement Local Témoin (ELT)

#### 1.4.1 Rappels méthodologiques (GEODERIS, 2015)

L'état initial environnemental d'un site avant la mise en place des activités minières est méconnu. Cette situation s'explique par l'ancienneté des premiers travaux antérieurs au XIX<sup>ème</sup> siècle, époque à laquelle ce type de caractérisation n'était pas réalisé.

Les milieux naturels voisins aux sites doivent être utilisés comme témoins. Ils doivent être choisis en prenant en compte les spécificités du contexte d'Après-mine suivantes :

- **la complexité des lithologies en présence** : le plus souvent à l'origine d'occurrences minéralisées valorisables économiquement, cette variabilité des faciès géologiques amènerait à devoir multiplier le nombre de points d'ELT. Pour les secteurs à géologie complexe, ce type d'échantillonnage élargi est souvent rendu impossible par la taille restreinte des faciès géologiques concernés à l'affleurement sur un site d'investigations donné. De plus, même une étude géologique fine ne suffirait pas toujours à s'assurer du faciès géologique qui concerne une zone investiguée, en particulier dans les zones anthropisées (parcelle à l'échelle cadastrale au 1/1 000 tandis que les cartes géologiques disponibles fournissent des données au 1/50 000) ;
- **le contexte d'anomalie géochimique qui caractérise tout site minier** : selon les modalités de mise en place du gisement (imprégnations diffuses par des fluides minéralisés, remplissage de failles, etc.), un site minier exploité et son environnement seront concernés par des faciès naturellement riches en métaux et métalloïdes, tels que des affleurements, des sols sus-jacents à la zone minéralisée, des eaux souterraines traversant des faciès enrichis, etc. Dans ce contexte, une zone investiguée, même d'emprise géographique restreinte, pourra se distinguer par des concentrations en métaux élevées, sans pour autant que l'origine de ces dernières soit clairement identifiable (naturelles ou anthropiques). Il devient alors particulièrement complexe d'identifier l'échantillon le plus représentatif de « l'état de référence ».

L'interprétation des résultats acquis par les diagnostics doit permettre d'identifier les pollutions attribuables au site, pour les différencier à la fois des pollutions anthropiques n'impliquant pas le site et des pollutions naturellement présentes dans les sols ou les eaux souterraines. Une caractérisation des éventuelles pollutions anthropiques locales proches du site ou de sa zone d'effet, mais ne l'impliquant pas, ainsi que celle d'un

milieu représentatif de l'état initial de l'environnement [...] peuvent, dans certaines situations, s'avérer nécessaires. **Cette caractérisation permet ainsi de ramener à sa juste dimension la gestion du site dans l'environnement qui lui est spécifique.**

Afin de caractériser la **qualité des milieux hors de l'influence des pollutions attribuables au site minier**, le BRGM a réalisé pour le compte de GEODERIS une étude intitulée « Caractérisation de l'Environnement Local témoin » référencée BRGM/RP 66448 (Lemière et al, 2016)<sup>33</sup>.

Cette étude a permis d'élaborer pour les unités géologiques du secteur, des valeurs ELT pertinentes pour les différents milieux et usages du sol.

### **Regroupements lithologiques pour les ELT sols**

Pour faciliter le traitement des données, le classement et les regroupements de lithologies ont été effectués d'abord sur l'ensemble de la zone d'étude, puis subdivisés entre zone de Pallières et zone de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille/Carnoules.

La représentation synthétique des fourchettes statistiques des principaux éléments à travers les différentes lithologies a permis de regrouper des faciès pour lesquels il a été possible de définir un ELT commun (Figure 75).

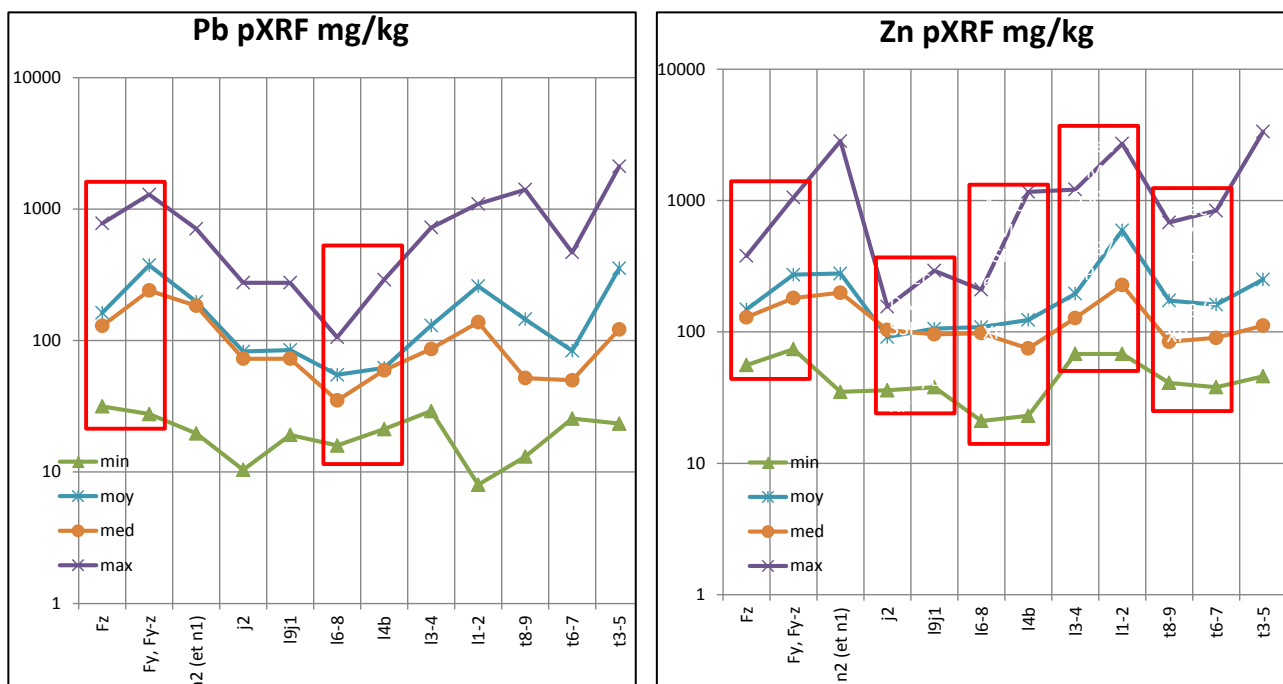


Figure 75 : Profil des teneurs (mini, moyenne, médiane, maxi) pour les éléments plomb et zinc et regroupement de faciès

À l'échelle de la zone d'étude, les différentes minéralisations et indices identifiés sont susceptibles d'interférer, tant au niveau des zones d'impacts que par la coalescence des anomalies géochimiques naturelles.

Il est également plausible que des minéralisations non répertoriées contribuent aux anomalies géochimiques identifiées lors de l'inventaire régional.

<sup>33</sup> Rapport disponible sur le CD-ROM joint à la présente étude.

À titre d'exemple, une carte de distribution des teneurs en Zn en sols et sédiments (Figure 76) montre que ces teneurs dépassent 275 mg/kg largement au-delà des zones minières principales.

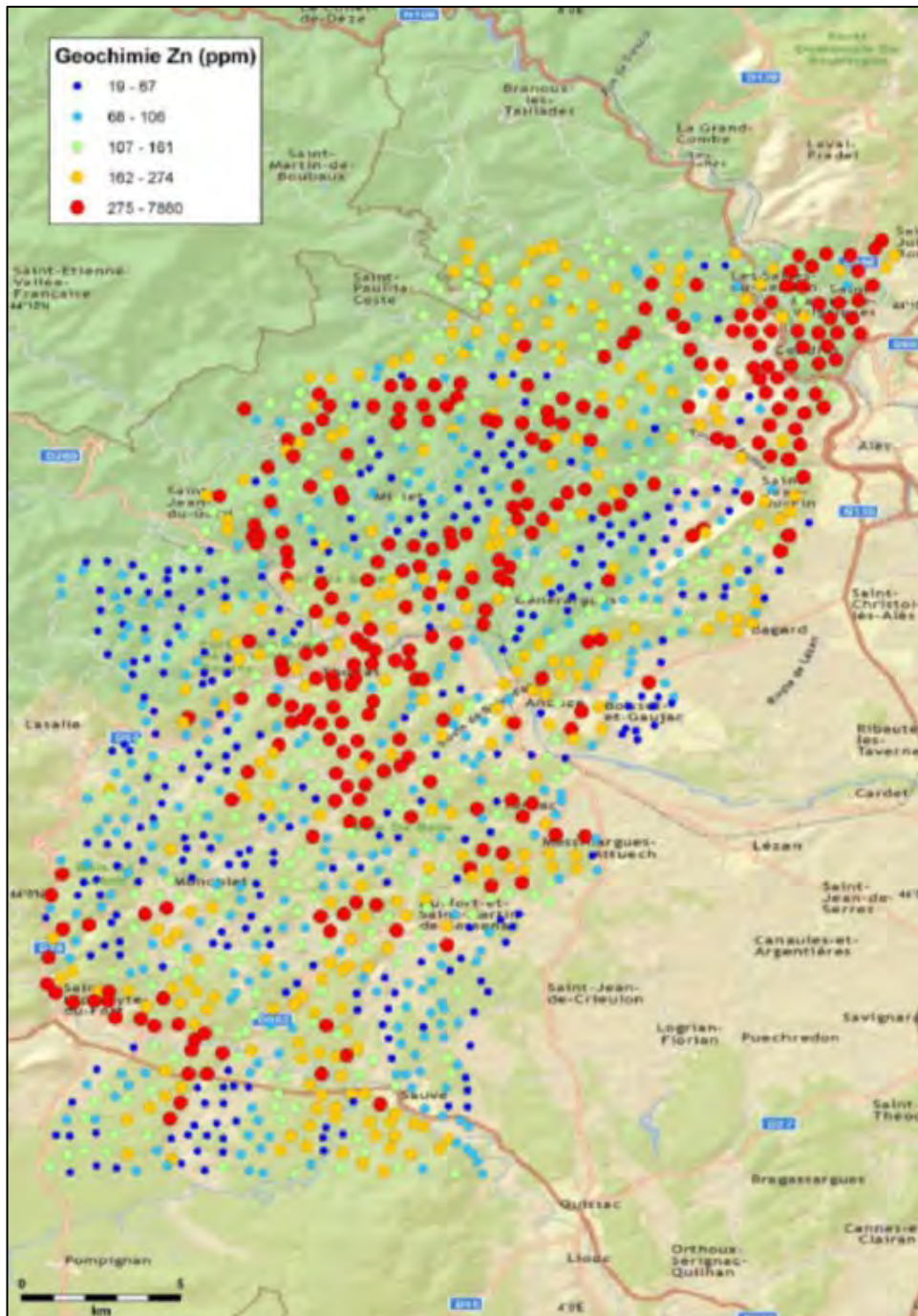


Figure 76 : Localisation des points de prélèvements de géochimie sols et stream sediment de l'Inventaire minier dans un rayon d'environ 15 km autour du gisement de la Croix de Pallières, exemple des résultats obtenus pour le zinc (Source : Gouin & Bailly, 2011)

## **Synthèse et valeurs retenues pour les Environnements Locaux témoins**

Les ELT ont été déterminés en excluant les zones ayant connu des activités minières, même anciennes ou d'exploration.

Les valeurs ELT pour le secteur d'étude sont plus élevées que celles habituellement constatées dans les formations sédimentaires comparables hors des régions minières. Ces valeurs reflètent les anomalies géochimiques naturelles entourant les mines et indices, indépendamment de toute activité anthropique. Les éléments pour lesquels le contraste est le plus important correspondent aux principaux traceurs de l'activité minière du secteur (arsenic, cadmium, plomb et zinc).

Les profils géochimiques des éléments majeurs varient avec la profondeur, en fonction des processus pédogénétiques, mais varient peu pour les éléments traces, à la seule exception du cuivre dans les vignes.

Les gammes de valeurs ELT pour les principales unités lithologiques, regroupées en 8 familles par affinités minéralogiques et lithogéochimiques, sont synthétisées dans les Tableaux 57 et 58 suivants.

Aucun ELT n'a été élaboré pour les végétaux.

Formation	Usage	Profondeur	Gammes d'ELT déterminées (mg/kg)																	
			Al	Sb	Ag	As	Ba	Cd	Cr	Co	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	Tl	Zn	U	Th
Fz, Fy Alluvions	Jardin potager	0-30 cm	5 000- 20 000	5-30	<5	20- 200	100- 600	1-10	10-30	<20	<50- 200	10 000- 70 000	200- 2 000	<1	<30	50- 400	<5	100- 300	<1	<5
	Jardin d'agrément	0-2 cm																		
		2-10 cm																		
n2 Crétacé	Jardin potager	0-30 cm	5 000- 10 000	2-20	<5	10-50	100- 300	1-2	10-20	<20	<50- 200	10 000- 30 000	200- 1 000	<1	<20	30- 200	<5	100- 300	<1	<5
	Jardin d'agrément	0-2 cm																		
		2-10 cm																		
J2 I9-J1 Jurassique	Jardin potager	0-30 cm	5 000- 20 000	2-30	<5	10- 100	100- 400	1-2	10-30	<20	<50- 200	10 000- 70 000	200- 2 000	<1	<30	25- 200	<5	25- 100	<1	<5
	Jardin d'agrément	0-2 cm																		
		2-10 cm																		
I6-8 I5-I5b I4b Lias sup.	Jardin potager	0-30 cm	10 000- 25 000	2-30	<5	20-75	100- 400	1-5	10-50	<20	<50- 200	10 000- 50 000	200- 1 000	<1	<30	30- 100	<5	50- 300	<1	<5
	Jardin d'agrément	0-2 cm																		
		2-10 cm																		
I3-4 I1-2 Lias inf. à moyen	Jardin potager	0-30 cm	5 000- 15 000	2-40	<5	20- 200	200- 1 000	2-10	10-30	<20	<50- 200	10 000- 70 000	500- 5 000	<1	<30	30- 500	<5	30- 1 500	<1	<5
	Jardin d'agrément	0-2 cm																		
		2-10 cm																		
I1a Lias inf.	Jardin potager	0-30 cm	<i>non déterminé</i>																	
	Jardin d'agrément	0-2 cm																		
		2-10 cm																		
t8-9, t6-7, t3-5 Trias	Jardin potager	0-30 cm	10 000- 20 000	2-40	<5	20-40	200- 2 000	2-10	10-30	<20	<50- 200	10 000- 70 000	100- 2 000	<1	<30	30- 300	<5	30- 300	<1	<5
	Jardin d'agrément	0-2 cm																		
		2-10 cm																		
γ granite	Jardin potager	0-30 cm	<i>non déterminé</i>																	

Tableau 57 : Gammes ELT synthétiques, basé sur les mesures pXRF et les analyses en laboratoire sur le secteur de la Croix-de-Pallières



Formation	Usage	Profondeur	Gammes d'ELT déterminées (mg/kg)																	
			Al	Sb	Ag	As	Ba	Cd	Cr	Co	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	Tl	Zn	U	Th
Fz, Fy alluvions	Jardin potager	0-30 cm	5 000- 20 000	5-30	<5	50- 100	100- 600	1-2	10-30	<20	<50- 200	10 000- 70 000	200- 2 000	<1	<30	50- 200	<5	60- 150	<1	<5
	Jardin d'agrément	0-2 cm																		
		2-10 cm																		
n2 Crétacé	Jardin potager	0-30 cm	<i>non déterminé</i>																	
	Jardin d'agrément	0-2 cm																		
		2-10 cm																		
J2 I9-J1 Jurassique	Jardin potager	0-30 cm	5 000- 20 000	2-30	<5	10-50	100- 400	1-2	10-30	<20	<50- 200	10 000- 70 000	200- 2 000	<1	<30	25- 100	<5	25- 150	<1	<5
	Jardin d'agrément	0-2 cm																		
		2-10 cm																		
I6-8 I5-I5b I4b Lias sup.	Jardin potager	0-30 cm	10 000- 25 000	2-15	<5	25-75	100- 400	1-10	10-50	<20	<50- 200	10 000- 50 000	200- 1 000	<1	<30	30- 150	<5	50- 200	<1	<5
	Jardin d'agrément	0-2 cm																		
		2-10 cm																		
I3-4 I1-2 Lias inf. à moyen	Jardin potager	0-30 cm	5 000- 15 000	2-20	<5	20- 100	200- 1 000	2-10	10-30	<20	<50- 200	10 000- 70 000	500- 5 000	<1	<30	30- 300	<5	30- 500	<1	<5
	Jardin d'agrément	0-2 cm																		
		2-10 cm																		
I1a Lias inf.	Jardin potager	0-30 cm	10 000- 20 000	2-10	<5	20-50	200- 500	1-2	10-50	<20	<50- 200	20 000- 50 000	500- 1 000	<1	<30	50- 100	<5	50- 250	<1	<5
	Jardin d'agrément	0-2 cm																		
		2-10 cm																		
t8-9, t6-7,t3-5 Trias	Jardin potager	0-30 cm	10 000- 20 000	2-40	<5	20- 400	200- 2 000	2-20	10-30	<20	<50- 200	10 000- 70 000	100- 2 000	<1	<30	50- 800	<5	40- 600	<1	<5
	Jardin d'agrément	0-2 cm																		
		2-10 cm																		
γ granite	Jardin potager	0-30 cm	<i>n.d.</i>	5-30	<5	20- 200	1 000- 20 000	1-2	<100	<20	<50- 200	15 000- 30 000	200- 2 000	<1	<30	200- 400	<5	25- 150	1-10	<5

Tableau 58 : Gammes ELT synthétiques, basé sur les mesures pXRF et les analyses en laboratoire sur le secteur de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille/Carnoulès

## 1.5 Mise à jour du schéma conceptuel - Volet sanitaire

Sur la base des résultats des investigations, le schéma conceptuel préliminaire est mis à jour.

À l'issue des investigations, les voies d'exposition retenues pour les foyers investigués sont les suivantes :

- l'ingestion non intentionnelle de sol de surface pour les enfants les plus exposés au regard de leur comportement « porter main-bouche » que ce soit sur des zones de terre à nue, enherbées ou cultivées. Les adultes sont également considérés, notamment lors des activités de jardinage ;
- l'ingestion de plantes potagères, de fruits ou d'herbes aromatiques potentiellement contaminées par les sols ou l'eau servant à l'arrosage. La méthodologie de l'IEM indique que si un sol ne présente pas de risque par ingestion directe, il apparaît peu pertinent de caractériser l'état des végétaux qui y sont cultivés pour évaluer les risques liés à leur ingestion. Cette voie d'exposition est toutefois retenue en première approche pour évaluer la part des risques liés à l'ingestion de végétaux conjointement avec ceux liés à l'ingestion de sol ;
- l'ingestion d'eau : l'eau souterraine et l'eau de surface servant à l'arrosage des jardins ou le remplissage de piscine ont été investiguées. En raison de l'usage des eaux, l'ingestion non intentionnelle d'eau est retenue tout en précisant qu'aucune consommation directe comme eau potable n'a été rapportée à l'exception de deux foyers.

En rappel, l'IEM est uniquement basée sur des mesures dans les milieux d'exposition des populations. Aucune modélisation de transfert et d'exposition n'a été réalisée.

Le Tableau 59 présente les sources, les voies de transfert et d'exposition, et les enjeux à protéger retenus pour la présente étude, sur la base des observations de terrain, des résultats analytiques et de l'interview des usagers pour les *scenarii* d'exposition.

Source	Voies de transfert	Voies d'exposition	Enjeux à protéger
Sol	Contact direct	Ingestion non intentionnelle de sol	Adultes et enfants - jardin potager Adultes et enfants - jardin d'agrément
	Transfert dans les végétaux (potager)	Consommation de végétaux autoproduits	Adultes et enfants
Eau	Arrosage du jardin	Consommation de végétaux autoproduits	Adultes et enfants
		Ingestion non intentionnelle d'eau	Adultes et enfants
	Baignade	Ingestion non intentionnelle d'eau	Adultes et enfants

Tableau 59 : Voies de transfert et d'exposition retenues pour l'évaluation des risques sanitaires

## 1.6 Evaluation des risques sanitaires

### 1.6.1 Evaluation de la toxicité

L'évaluation de la toxicité d'une substance est composée de deux étapes :

- l'identification du potentiel dangereux de la substance considérée, c'est-à-dire les effets indésirables que la substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme ;
- la définition des relations dose-effets et dose-réponse, c'est-à-dire la relation quantitative entre la dose ingérée ou la concentration inhalée et l'incidence de l'effet délétère. Cette relation est traduite par la Valeur Toxicologique de Référence (VTR).

Les effets induits par les substances retenues dans le cadre de la présente évaluation des risques sanitaires, ainsi que leur classe de cancérogénicité sont présentés dans le rapport sanitaire INERIS.

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) ont été choisies conformément aux instructions des ministères en charge de la santé et de l'environnement (cf. circulaire DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014<sup>34</sup>), relatives entre autres aux modalités de sélection des VTR.

En outre, la position de l'INERIS est de proposer la meilleure approche, au vu des connaissances disponibles ; le niveau d'approfondissement vers la meilleure connaissance disponible est proportionné aux enjeux. Ainsi, ont été pris en compte les avis d'experts toxicologues lorsqu'ils étaient disponibles pour les substances étudiées, notamment ceux de l'INERIS.

En l'absence de valeurs toxicologiques de référence pertinentes pour le thallium, les calculs de risque n'ont pas pu être conduits pour cette substance. Par ailleurs, à défaut d'une spéciation connue pour le mercure dans les sols, il a été retenu, selon une approche conservatoire, la forme méthylmercure affichant la VTR la plus faible, donc la plus pénalisante.

Le Tableau 60 synthétise les Valeurs Toxicologiques de Références (VTR) retenues pour une exposition chronique dans le cadre de cette évaluation des risques sanitaires, compte tenu de la liste des substances préétablie (section 1.3.2.1).

---

<sup>34</sup> La démarche de choix des VTR indiquée permet une démarche de choix approfondie conduite par les toxicologues de l'INERIS.

Substance	VTR à seuil (mg/kg.j)	Organisme élaborateur	VTR sans seuil (mg/kg.j) <sup>1</sup>	Organisme élaborateur
Aluminium	1,00E+00	ATSDR (2008)	<i>Non concerné</i>	-
Antimoine	4,00E-04	US EPA (1991)	<i>Non concerné</i>	-
Arsenic	4,50E-04	Fobig (2009)	1,50E+00	US EPA (1998), OEHHA (2009)
Baryum	2,00E-01	ATSDR (2007)/ US EPA (2005)	<i>Non concerné</i>	-
Cadmium	3,60E-04	EFSA (2011)	<i>Non concerné</i>	-
Chrome III (sels solubles)	5,00E-03	RIVM (2001)	<i>Non concerné</i>	-
Cobalt	1,60E-03	AFSSA (2010)	<i>Non concerné</i>	-
Cuivre	1,40E-01	RIVM (2001)	<i>Non concerné</i>	-
Fer	8,00E-01	OMS/FAO (1983)	<i>Non concerné</i>	-
Manganèse	1,40E-01	US-EPA (1996)	<i>Non concerné</i>	-
Mercuré inorganique	6,60E-04	INERIS (2014)	<i>Non concerné</i>	-
Nickel	1,10E-02	OEHHA (2012)	<i>Non concerné</i>	-
Plomb	6,30E-04 <sup>35</sup>	ANSES (2013)	8,50E-03	OEHHA (2011)
Thallium	nc	-	<i>Non concerné</i>	-
Zinc	3,00E-01	US EPA (2005)	<i>Non concerné</i>	-

Tableau 60 : Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) retenues par ingestion

## 1.6.2 Evaluation des expositions

L'évaluation de l'exposition consiste, d'un côté, à identifier les personnes exposées (âge, sexe, caractéristiques physiologiques, budgets espace-temps, etc.) et les voies d'exposition / de pénétration des substances. De l'autre, elle doit tenir compte de la fréquence, de la durée et de l'intensité de l'exposition à ces substances - exprimée par une dose moyenne journalière pour chaque voie pertinente.

Les choix des valeurs des paramètres d'exposition ont été réalisés de façon raisonnablement conservatoire en fonction des témoignages recueillis auprès des usagers rencontrés ou interrogés à distance. Tous les usages conduisant à une exposition vis-à-vis des milieux ont été étudiés.

Pour les sols et les végétaux consommables, une approche conservatoire a été retenue en considérant la biodisponibilité des métaux égale à 100%. Ce paramètre, qui caractérise la fraction absorbée d'une substance, peut être approché, notamment par la bioaccessibilité (fraction d'une substance libérée dans les sucs gastro-intestinaux (humains) et donc disponible pour absorption).

De plus, lorsque plusieurs échantillons de sol sont prélevés sur une zone liée à un usage, les concentrations maximales sont retenues en vue de considérer les zones les plus impactées.

Certains paramètres sont issus de l'outil de modélisation et de simulation MODUL'ERS mis à disposition par l'INERIS pour estimer les expositions et les risques sanitaires. Cet outil permet à l'utilisateur de définir de 1 à 10 classes d'âge pour estimer les niveaux

<sup>35</sup> 15 µg/L ce qui correspond à 6,30E-04 en prenant l'hypothèse d'une exposition exclusive alimentaire.

d'exposition et de risque, de manière plus ou moins précise, en fonction des besoins et des données disponibles.

En effet, il a été identifié que les enfants sont des cibles plus sensibles aux contaminants que les adultes. En scénario résidentiel, leur niveau d'exposition, compte-tenu de leur activité (contact main-bouche, etc.) et de leur poids est généralement proportionnellement plus élevé que celui des adultes (source : INERIS 2015). Ces classes d'âge permettent de prendre en compte les conditions d'exposition spécifiques des jeunes enfants et ne pas sous-estimer leurs niveaux d'exposition et de risque.

Compte-tenu de ces impératifs, sept classes d'âge ont été prédéfinies dans MODUL'ERS :

- classe 1 : de 0 à 1 an,
- classe 2 : de 1 à 3 ans,
- classe 3 : de 3 à 6 ans,
- classe 4 : de 6 à 11 ans,
- classe 5 : de 11 à 15 ans,
- classe 6 : de 15 à 18 ans,
- classe 7 : les plus de 18 ans.

Chaque classe d'âge inclut la borne inférieure et exclut la borne supérieure. Le découpage retenu est en grande partie lié aux sources d'informations disponibles pour définir les quantités d'aliments ingérés (cf. INERIS 2015).

Le Tableau 61 présente les classes d'âges et leur durée d'exposition associée ainsi que les masses corporelles.

Classes d'âges dans MODUL'ERS (ans)		Durée d'exposition associée (ans)	Masses corporelles dans MODUL'ERS (kg)
CLASSE 1	0 – 1	1	7,6
CLASSE 2	1 – 3	2	12,4
CLASSE 3	3 – 6	3	17,8
CLASSE 4	6 – 11	5	28,7
CLASSE 5	11 – 15	4	47,2
CLASSE 6	15 – 18	3	60,0
CLASSE 7	Plus de 18	52	70,4

*Tableau 61 : Détermination des classes d'âges (source : INERIS 2015)*

Pour répondre à l'IEM, les classes seront examinées en fonction des réponses à l'enquête des usages : 3-6 ans ou 6-11 ans et plus de 18 ans. Pour le scénario générique, la classe 1-3 ans sera examinée étant la plus conservatoire pour des enfants pouvant marcher.

Le Tableau 62 et le Tableau 63 présentent les valeurs des paramètres temporels retenues pour la voie ingestion de sols et la voie ingestion de végétaux pour les enfants et les adultes.

L'équation permettant de calculer une dose d'exposition pour la voie d'exposition par ingestion est donnée ci-après, ainsi que les paramètres associés.

$$DJE_{ij} = \frac{C_i \times Q_{ij} \times F \times T}{P \times T_m}$$

avec

Symbole	Paramètres	Dimensions
DJE <sub>ij</sub>	dose d'exposition moyenne sur la période d'exposition liée à une exposition au milieu i par la voie d'exposition j	M M <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup>
C <sub>i</sub>	concentration d'exposition relative au milieu i (sol, aliments, eau...)	M M <sup>-1</sup>
Q <sub>ij</sub>	quantité de milieu i, c'est-à-dire de sol, d'eau... administrée par la voie j par unité de temps d'exposition (exprimée par rapport à la concentration dans le sol)	M T <sup>-1</sup>
F	fréquence d'exposition : fraction du nombre annuel d'unités de temps d'exposition (heures ou jours) sur le nombre d'unités de temps de l'année	
P	poids corporel de la personne	M
T	durée d'exposition	T
T <sub>m</sub>	période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée ; pour une substance à effet à seuil T = T <sub>m</sub> et pour une substance à effet sans seuil, T <sub>m</sub> est assimilé à la durée de la vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans) <sup>36</sup>	T

---

<sup>36</sup> Cette distinction repose sur l'hypothèse d'un mécanisme d'action différent dans chacun des deux cas. Pour les effets à seuil, le risque est associé au dépassement d'une dose donnée pendant la période d'exposition. Pour les effets sans seuil, il est considéré que l'effet de chaque dose reçue isolément s'ajoute sans aucune perte et que la survenue de la réponse cancéreuse est fonction de la somme totale des doses reçues ; une forte dose sur une courte période produit le même effet qu'une plus faible dose reçue sur une période plus longue. Dans ce cas, le risque s'exprime sous la forme d'une probabilité d'occurrence qui augmente avec la dose reçue tout au long de la vie.

Milieux et voies d'exposition	Scenarii	Cibles/enjeux	Paramètres		Sources
INGESTION NON INTENTIONNELLE DE SOL DE SURFACE	Activités récréatives dans un jardin / espace vert Activités de jardinage dans un jardin potager	ADULTE (PLUS DE 18 ANS)	Âge (ans)	18-70	INERIS, 2015 <sup>37</sup>
			Poids (kg)	70,4	INERIS, 2015
			Q <sub>ingestion</sub> (mg/j)	50	US EPA, 2011 <sup>38</sup>
			Fréquence d'exposition (j <sub>exposition</sub> /an)	Variable	Estimation réalisée au cas par cas en fonction des informations recueillies sur le terrain en fonction du temps d'exposition
			T (ans - durée de la période d'exposition)	52	Estimation INERIS basée sur l'hypothèse que l'activité est initiée à 18 ans
			Tm (ans)	52 70	Pour les effets à seuil : T = Tm Pour les effets sans seuil : durée assimilée à la vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans)
		ENFANT DE 3-6 ANS / 6-11 ANS	Âge (ans)	3-6 / 6-11	INERIS, 2015
			Poids (kg)	17,8 / 28,7	INERIS, 2015
			Q <sub>ingestion</sub> (mg/j)	91 / 91	pour l'enfant de moins de 6 ans : InVS INERIS, 2012 <sup>39</sup> pour l'enfant de plus de 6 ans, choix d'expert INERIS
			Fréquence (j <sub>exposition</sub> /an)	Variable	Estimation réalisée au cas par cas en fonction des informations recueillies sur le terrain en fonction du temps d'exposition
			T (ans - durée de la période d'exposition)	3 / 5	INERIS, 2015
			Tm (ans)	3 / 5 70 / 70	Pour les effets à seuil : T = Tm Pour les effets sans seuil : durée assimilée à la vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans)
		ENFANT DE 1-3 ANS SCENARIO GÉNÉRIQUE	Âge (ans)	1-3	INERIS, 2015
			Poids (kg)	12,4	INERIS, 2015
			Q <sub>ingestion</sub> (mg/j)	91	InVS INERIS, 2012
			Fréquence (j <sub>exposition</sub> /an)	Variable	234 jours, GEODERIS, 2015 <sup>40</sup>
			T (ans - durée de la période d'exposition)	2	Durée conventionnelle pour les enfants
			Tm (ans)	2 70	Pour les effets à seuil : T = Tm Pour les effets sans seuil : durée assimilée à la vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans)

Tableau 62 : Paramètres d'exposition retenus pour les différents scenarii associés à la voie ingestion de sol

<sup>37</sup> Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS, INERIS-DRC-14-141968-11173B, 21/02/2015

<sup>38</sup> U.S. EPA. Exposure Factors Handbook 2011 Edition (Final Report). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-09/052F, 2011

<sup>39</sup> Quantités de terre et poussières ingérées par un enfant de moins de 6 ans et bioaccessibilité des polluants : état des connaissances et propositions – InVS – INERIS, 2012

<sup>40</sup> Valeur par défaut proposée dans le rapport GEODERIS N2015/014DE-15NAT24080 (9/04/2015) pour le scénario usage générique développé pour les enfants de moins de 6 ans à raison de 234 jours/an (365 jours auxquels sont retranchés 15 jours de vacances, pondérés au 1/3 pour des raisons de mauvais temps)





Milieux et voies d'exposition	Scenarii	Cibles/enjeux	Paramètres		Sources
INGESTION DE VEGETAUX POTAGERS AUTOPRODUITS	Consommation de végétaux	ADULTE (PLUS DE 18 ANS)	Âge (ans)	18-70	INERIS, 2015
			Poids (kg)	70,4	INERIS, 2015
			Fréquence (j <sub>exposition</sub> /an)	365	Par convention, en lien avec le mode de calcul de la quantité ingérée
			Quantité ingérée par jour – légume feuille (g/j)	6	INERIS, 2015
			Quantité ingérée par jour – légume racine (g/j)	3	INERIS, 2015
			Quantité ingérée par jour – légume fruit (g/j)	27,5	INERIS, 2015
			Quantité ingérée par jour – tubercule (g/j)	14,5	INERIS, 2015
			Quantité ingérée par jour – fruit (g/j)	16	INERIS, 2015
			Quantité ingérée par jour – herbes aromatiques (g/j)	5	Estimation INERIS
			T (ans - durée de la période d'exposition)	52	INERIS, 2015
			Tm (ans)	52 70	Pour les effets à seuil : T = Tm Pour les effets sans seuil : durée assimilée à la vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans)
		ENFANT DE 3-6 ANS / 6-11 ANS	Âge (ans)	3-6 / 6-11	INERIS, 2015
			Poids (kg)	17,8 / 28,7	INERIS, 2015
			Fréquence (j <sub>exposition</sub> /an)	365	Par convention, en lien avec le mode de calcul de la quantité ingérée
			Quantité ingérée par jour – légume feuille (g/j)	1,9 / 2,5	INERIS, 2015
			Quantité ingérée par jour – légume racine (g/j)	1,775 / 1,75	INERIS, 2015
			Quantité ingérée par jour – légume fruit (g/j)	16,5 / 16	INERIS, 2015
			Quantité ingérée par jour – tubercule (g/j)	11,5 / 11,5	INERIS, 2015
			Quantité ingérée par jour – fruit (g/j)	9 / 9	INERIS, 2015
			Quantité ingérée par jour – herbes aromatiques (g/j)	2 / 5	Estimation INERIS
			T (ans - durée de la période d'exposition)	3 / 5	INERIS 2015
			Tm (ans)	2 / 5 70 / 70	Pour les effets à seuil : T = Tm Pour les effets sans seuil : durée assimilée à la vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans)

Tableau 63 : Paramètres d'exposition retenus pour les différents scenarii associés à la voie ingestion de végétaux



## ➤ Quantité ingérée de sol et de poussières issues du sol

### ▪ Enfant

La quantité ingérée de sol et de poussières issues du sol par un enfant est un élément largement débattu en matière d'évaluation des risques liés aux sites et sols pollués. De nombreuses études de mesure d'ingestion de particules de sol ont été menées<sup>41</sup>, ainsi que quelques études de synthèse durant ces dernières années en Europe<sup>42</sup>.

Plus particulièrement, pour la cible enfant, deux synthèses ont été élaborées en France (Guide pratique - Quantités de terre et poussières ingérées par un enfant de moins de 6 ans et bioaccessibilité des polluants : état des connaissances et propositions - InVS - INERIS, 2012) et en Belgique (région flamande) (Van Holderbeke et al. 2008).

La valeur du paramètre d'exposition quantité de sol ingérée retenue pour la période enfant considérée dans la présente étude (de 6 mois jusqu'à l'âge de 6 ans) est de 91 mg/j. Cette valeur est le 95<sup>ème</sup> percentile présenté dans le document InVS et INERIS (2012) pour l'enfant de moins de 6 ans. Pour information, la valeur retenue est conservatoire, notamment au regard de l'étude de l'OVAM (2007) qui indique une valeur moyenne comprise entre 40 et 80 mg/j. Quant à l'étude de l'US EPA (2011), celle-ci indique une valeur moyenne de 100 mg/j.

Il n'est pas étudié dans le cadre de la présente étude, mais il convient de signaler le cas d'un enfant présentant un comportement particulier de type Pica, pour lequel la quantité ingérée de sol à retenir est plus importante (5 000 mg/j<sup>43</sup>).

### ▪ Adulte

En rappel, en cohérence avec le schéma conceptuel, la voie ingestion de sol est principalement considérée pour un adulte effectuant des travaux de jardinage.

La quantité de sols et poussières ingérée par un adulte est également mal connue.

Chez les adultes, une seule étude a été menée. Il s'agit de l'étude de Calabrese et al. (1990). Les mesures indiquaient une ingestion d'environ 50 mg/j. Mais cette étude, portant sur un effectif restreint, ne distingue pas les individus selon leur type d'activité et le temps passé à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment.

À partir d'hypothèses sur la surface corporelle et les fréquences de contact avec le sol et les poussières, Hawley (1985) estime qu'un adulte ingère une quantité de sol et de poussières de :

- 0,5 mg/j dans sa pièce de séjour ;
- 110 mg/j, s'il fréquente une zone empoussiérée comme un grenier ou un sous-sol ;
- 480 mg/j lors de travaux de jardinage.

---

<sup>41</sup> Hawley, 1997; Binder et al. 1986 ; Clausing et al. 1987 ; Thompson et al. 1991, Calabrese et al. 1998, 1989, 1990, 1991, 1995, 1997, 1998 ; Stanek et al. 2000, 2001, 2006 ; etc.

<sup>42</sup> Glorennec 2005, 2006 ; Van Holderbeke et al. 2008 ; Dor et al. 2009 ; etc.

<sup>43</sup> Calabrese EJ, Stanek EJ, Gilbert CE. Evidence of soil-pica behavior and quantification of soil ingested. Hum Exp Toxicol 1991 ; 10 : 245-249. Calabrese EJ, Stanek EJ. Soil pica: not a rare event. J Environ Sci Health [C] 1993 ; A28 : 373-384.

Dans son guide pour l'évaluation des risques, l'US EPA (2011) propose comme valeur par défaut 50 mg/j de sol ingéré par un adulte dans un scénario résidentiel et dans un scénario industriel.

Au regard de ces données et en l'absence de données spécifiques aux *scenarii* étudiés dans la présente étude, une valeur de 50 mg/j est retenue. Elle apparaît pertinente au regard de l'activité en lien avec un jardin potager qui comporte des périodes de bêchage, de plantation des légumes, d'entretien du jardin et de récolte des légumes et également de mise au « repos ». En revanche, la valeur de Hawley (1985) de 480 mg/j pour les *scenarii* avec activités de jardinage n'apparaît pas pertinente pour l'ensemble des activités de jardinage.

### ➤ Quantité ingérée de végétaux

MODUL'ERS propose les quantités journalières consommées par l'Homme pour les différentes classes d'âge présentées précédemment. Les sources d'information accessibles au public utilisées pour renseigner les quantités d'aliments solides, consommés par la population française en fonction de l'âge sont listées dans le rapport INERIS 2015 (Tableau 64).

Dans un jardin de taille restreinte, les récoltes ne permettent pas de subvenir à la consommation annuelle de la famille. En considérant l'achat de végétaux dans le commerce, le taux d'autarcie issu de la littérature est inférieur à 100 %.

Les potagers investigués ne permettent pas d'assurer la consommation annuelle des foyers.

Concernant la consommation des végétaux, la valeur ponctuelle a été calculée à partir des données de l'INSEE (1994) relatives aux ménages possédant un jardin. Elle tient compte des quantités autoproduites et de celles reçues en dons. La borne inférieure de 10% à 25% selon les familles de végétaux considérée correspond à l'autoconsommation de la population générale (source : INERIS 2015).

Classes d'âges dans Moduler's	Unités	0 - 1 an	1 - 3 ans	3 - 6 ans	6 - 11 ans	11 - 15 ans	15 - 18 ans	plus de 18 ans
Masse de fruits consommés par jour	(kgfrais/j)	1,60E-02	5,30E-02	9,00E-02	9,00E-02	8,30E-02	8,20E-02	1,60E-01
<i>Part de la consommation de fruits, exposée à la contamination</i>	%	10	10	10	10	10	10	10
Masse de fruits consommés par jour pour l'étude	(gfrai/j)	1,60	5,30	9,00	9,00	8,30	8,20	16,00
Masse de tubercules consommés par jour	(kgfrais/j)	1,80E-02	5,20E-02	4,60E-02	4,60E-02	5,80E-02	6,00E-02	5,80E-02
<i>Part de la consommation de tubercules, exposée à la contamination</i>	%	25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Masse de tubercules consommés par jour dans l'étude	(gfrai/j)	4,50	13,00	11,50	11,50	14,50	15,00	14,50
Masse de légumes-feuilles consommés par jour	(kgfrais/j)	6,60E-03	2,20E-02	7,60E-03	1,00E-02	1,20E-02	1,20E-02	2,40E-02
<i>Part de la consommation de légumes-feuilles, exposée à la contamination</i>	%	25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Masse de légumes-feuilles consommés par jour dans l'étude	(gfrai/j)	1,65	5,50	1,90	2,50	3,00	3,00	6,00
Masse de légumes-fruits consommés par jour	(kgfrais/j)	1,10E-02	4,00E-02	6,60E-02	6,40E-02	7,00E-02	7,20E-02	1,10E-01
<i>Part de la consommation de légumes-fruits, exposée à la contamination</i>	%	25	25	25	25	25	25	25
Masse de légumes-fruits consommés par jour dans l'étude	(gfrai/j)	2,75	10,00	16,50	16,00	17,50	18,00	27,50
Masse de légumes-racines consommés par jour	(kgfrais/j)	1,50E-02	2,60E-02	7,10E-03	7,00E-03	8,60E-03	8,90E-03	1,20E-02
<i>Part de la consommation de légumes-racines, exposée à la contamination</i>	%	25	25	25	25	25	25	25
Masse de légumes-racines consommés par jour dans l'étude	(gfrai/j)	3,75	6,50	1,78	1,75	2,15	2,23	3,00
Masse d'herbes aromatiques consommées par jour utilisées dans l'étude (source : jugement)	(gfrai/j)	2,00E+00	2,00E+00	2,00E+00	5,00E+00	5,00E+00	5,00E+00	5,00E+00
<i>Part de la consommation d'herbes aromatiques exposée à la contamination</i>	%	100	100	100	100	100	100	100
Masse d'herbes aromatiques consommées par jour utilisées dans l'étude	(gfrai/j)	2,00	2,00	2,00	5,00	5,00	5,00	5,00

Tableau 64 : Quantité de végétaux ingérés (source : INERIS 2015)

## 2 RESULTATS DES CALCULS DE RISQUES SANITAIRES

Les *scenarii* d'exposition ont été déterminés pour chaque enjeu en fonction des gammes de concentrations obtenues d'une part et des usages constatés sur site d'autre part.

Les résultats des calculs de risques sanitaires associés aux différents *scenarii* retenus sont présentés en détail dans le rapport sanitaire INERIS-DRC-19-175513-00361A. Les résultats sont présentés sous la forme de fiches de synthèse, rappelant :

- les *scenarii* retenus pour chaque enjeu (situation générale, description succincte des usages, scénario d'exposition retenu et principaux paramètres d'exposition, échantillons prélevés) ;
- les teneurs associées à l'Environnement Local Témoin ;
- les références des échantillons concernés pour le scénario considéré ou les concentrations maximales quand plusieurs échantillons étaient concernés (approche conservatoire) ;
- les résultats des calculs de risques sanitaires.

Les Tableaux 65 à 70 synthétisent pour chaque commune :

- les résultats des calculs de risques sanitaires, pour l'ensemble des *scenarii* associés à l'ingestion non intentionnelle de sol et à la consommation de végétaux autoproduits ;
- les substances associées aux risques sanitaires ;
- les dépassements des limites et/ou références de qualité pour les substances chimiques dans les eaux destinées à la consommation humaine définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007 et indiquées en Figure 55.

Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'EM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)
		Scénario	Enjeux	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire	
THOIRAS	THO1	Terrain en friche - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour l'arsenic (40 µg/l), le fer (1,1 mg/l) et le manganèse (324 µg/l)
			Adulte			
		Forêt - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Plomb : 1 800 mg/kg	
			Adulte			
		Ancien verger - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 456 mg/kg Cadmium : 30 mg/kg Plomb : 4 080 mg/kg	
			Adulte			
	THO2	Habitation sur dépôt, centre - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Antimoine : 52 mg/kg Arsenic : 496 mg/kg Cadmium : 75 mg/kg Plomb : 13 200 mg/kg	Concentrations inférieures aux valeurs réglementaires
			Adulte			
		Habitation sur dépôt, proche ancienne caravane - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Antimoine : 97 mg/kg Arsenic : 7 560 mg/kg Cadmium : 25 mg/kg Plomb : 678 mg/kg	
			Adulte			

Tableau 65 : Résultats des calculs de risques sanitaires associés à l'ingestion de sols et de végétaux et résultats sur les eaux pour les foyers investigués sur la commune de Thoiras

Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'IEM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)
		Scénario	Enjeux	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire	
SAINT-FELIX-DE-PALLIERES	SFDP1	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Antimoine : 75 mg/kg Arsenic : 362 mg/kg Plomb : 1 560 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau
			Adulte			
	SFDP2	Ancien jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Plomb : 2 370 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau
			Adulte			
		Zone fil à linge - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Plomb : 8 030 mg/kg	
			Adulte			
		Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 382 mg/kg Cadmium : 15 mg/kg Plomb : 3 980 mg/kg	
			Adulte			
		Zone barbecue - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Antimoine : 72 mg/kg Arsenic : 324 mg/kg Plomb : 11 800 mg/kg	
			Adulte			
	SFDP3	Ancien jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 492 mg/kg Plomb : 6 810 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau
			Adulte			
		Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Antimoine : 63 mg/kg Arsenic : 619 mg/kg Plomb : 4 490 mg/kg	
			Adulte			
	Ingestion de végétaux (pomme de terre)	Adulte	Etat compatible	Aucune		
	SFDP4	Jardin d'agrément devant et aire de jeux enfants - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 308 mg/kg Plomb : 2 600 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau
			Enfant 3-6 ans			
			Adulte			
		Jardin d'agrément derrière, piscine - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 415 mg/kg Cadmium : 20 mg/kg Plomb : 13 300 mg/kg	
			Enfant 3-6 ans			
			Adulte			
		Jardin en contre-bas - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 371 mg/kg Cadmium : 24 mg/kg Plomb : 6 960 mg/kg	
			Enfant 3-6 ans			
Adulte						
Ingestion de végétaux (prune)	Enfant 3-6 ans	Etat compatible	Aucune			
Adulte						
SFDP5	Jardin d'agrément devant la maison - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Antimoine : 97 mg/kg Arsenic : 383 mg/kg Fer : 90 700 mg/kg Plomb : 12 700 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau	
		Adulte				
	Ancien jardin potager en contre-bas - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 374 mg/kg Cadmium : 20 mg/kg Plomb : 7 940 mg/kg		
		Adulte				
	Jardin d'agrément autour et derrière de la maison - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Antimoine : 148 mg/kg Arsenic : 368 mg/kg Fer : 84 100 mg/kg Plomb : 20 100 mg/kg		
		Adulte				
	Terrain escarpé montagneux - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Antimoine : 94 mg/kg Plomb : 11 000 mg/kg		
		Adulte				
Ingestion de végétaux (thym, romarin)	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,3 mg/kg MF Plomb : 3,8 mg/kg MF			

Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'IEM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)
		Scénario	Enjeux	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire	
SAINT-FELIX-DE-PALLIERES	SFDP6	Proche habitation, forêt et zone de jeux - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat compatible	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée	Pas de dépassement des valeurs réglementaires
			Adulte			
		Zone peu utilisée proche dépôt - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Plomb : 1 990 mg/kg	
			Adulte			
	Ancien potager - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat compatible	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		
		Adulte				
	Ingestion de végétaux (figue, thym, romarin)	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,99 mg/kg MF Plomb : 18 mg/kg MF		
	SFDP7	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Cadmium : 27,4 mg/kg Plomb : 4 530 mg/kg	
			Adulte			
		Poulailler - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Antimoine : 52 mg/kg Plomb : 1 160 mg/kg	
			Adulte			
	SFDP8	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Plomb : 715 mg/kg	
Adulte			Etat compatible	Aucune		
Ancien potager - Activités ou jeux en extérieur		Générique enfant	Etat compatible	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		
		Adulte				

Tableau 66 : Résultats des calculs de risques sanitaires associés à l'ingestion de sols, de végétaux et résultats sur les eaux pour les foyers investigués sur la commune de Saint-Félix-de-Pallières

Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'IEM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)
		Scénario	Enjeux	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire	
CORBES	COR1	Zone devant la maison, proche nouvelles cabanes - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 367 mg/kg Plomb : 1 170 mg/kg	Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour l'arsenic (14 µg/l)
			Adulte			
	COR2	Zone sur faïsse derrière habitations - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 432 mg/kg Cadmium : 14 mg/kg Plomb : 1 380 mg/kg	
			Adulte			

Tableau 67 : Résultats des calculs de risques sanitaires associés à l'ingestion de sols et d'eaux pour les foyers investigués sur la commune de Corbès



Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'IEM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)
		Scénario	Enjeux	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire	
SAINT-SEBASTIE N-D'AIGRE FEUILLE	SDA1	Jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		Concentrations inférieures aux valeurs réglementaires
			Enfant 6-11 ans			
			Adulte			
		Jardin potager / serre - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		
			Enfant 6-11 ans			
			Adulte			
		Jardin d'agrément, zone de jeux des enfants - cabane	Générique enfant	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		
			Enfant 6-11 ans			
			Adulte			
		Ingestion de végétaux (salade, tomate, melon, romarin, courgette, pomme, carotte, concombre)	Enfant 6-11 ans	Compatible	Aucune	
			Adulte			
		SDA2	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	
	Enfant 3-6 ans					
	Adulte					
	Champ d'accès à la source - Activités ou jeux en extérieur		Générique enfant	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		
			Enfant 3-6 ans			
			Adulte			
	Ingestion de végétaux (romarin, thym, mûres)	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 0,5 mg/kg MF Plomb : 4,7 mg/kg MF		
		Adulte				
	SDA3	Ancien jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Plomb : 515 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau
			Adulte	Etat compatible	Aucune	
	SDA4	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Plomb : 2 030 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau
			Adulte			
	SDA5	Ancien jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour l'arsenic (149 µg/l), le fer (2 mg/l), le plomb (434 µg/l) et le manganèse (5 480 µg/l)
			Adulte			
		Zone de pâture des moutons - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Plomb : 1 280 mg/kg	
			Adulte			
	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée			
Adulte						
Ingestion de végétaux (mûre, figue, prune, raisin, menthe)	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,2 mg/kg MF			
SDA6	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		Concentrations proches des valeurs réglementaires pour l'arsenic	
		Adulte				
Ingestion de végétaux (raisin)	Adulte	Etat compatible	Aucune			
	SDA7	Jardin d'agrément proche piscine - Activités en extérieur	Générique enfant	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée	Concentrations inférieures aux valeurs réglementaires	
Adulte						
Jardin d'agrément en terrasse - Activités ou jeux en extérieur		Générique enfant	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée			
Adulte						
Ingestion de végétaux (figue, menthe)	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,3 mg/kg MF			
SDA8	Ancien jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Plomb : 1 920 mg/kg	Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour le manganèse (147 µg/l)	
		Adulte	Etat compatible	Aucune		
	Zone dans la montagne - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée			
		Générique adulte				
Ingestion de végétaux (figue, verveine, raisin)	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,8 mg/kg MF			

Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'IEM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)
		Scénario	Enjeux	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire	
SAINT-SEBASTIE N-D'AIGRE FEUILLE	SDA9	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Plomb : 1 830 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau
			Adulte			
	SDA10	Ingestion de végétaux (figue)	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,1 mg/kg MF	
			Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	
	Adulte					
	SDA10	Ingestion de végétaux (figue, romarin)	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,15 mg/kg MF	
						SDA11
	Adulte					
	Terrain de pétanque - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 622 mg/kg Plomb : 3 290 mg/kg		
		Enfant 3-6 ans				
	Terrain abandonné (ancien potager) - Activités ou jeux en extérieur	Générique adulte	Etat incompatible	Plomb : 3 250 mg/kg		
		Générique enfant				
	Terrain abandonné (faïsses) - Activités ou jeux en extérieur	Générique adulte	Etat incompatible	Plomb : 2 020 mg/kg		
		Générique enfant				
	Faïsse sur l'autre versant - projet d'aménagement – Activité - jeu en extérieur	Générique adulte	Etat incompatible	Plomb : 1 410 mg/kg		
		Générique enfant				
	SDA12	Ingestion de végétaux (tomate, verveine)	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,2 mg/kg MF	
			Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Antimoine : 68 mg/kg Plomb : 6 040 mg/kg
	Enfant 3-6 ans					
	SDA12	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Antimoine : 68 mg/kg Plomb : 6 040 mg/kg	
			SDA13			Jardin d'agrément proche piscine - Activités ou jeux en extérieur
	Enfant 3-6 ans					
	Jardin d'agrément, faïsse intermédiaire proche maison - Activités ou jeux en extérieur	Générique adulte		Etat incompatible	Plomb : 480 mg/kg	
Générique enfant						
Jardin d'agrément, faïsse proche rivière - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible		Arsenic : 1 230 mg/kg Plomb : 3 470 mg/kg		
	Générique adulte					
SDA15	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Antimoine : 320 mg/kg Plomb : 1 610 mg/kg		
		Adulte				
SDA16	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 218 mg/kg Plomb : 1 090 mg/kg		
		Adulte				
SDA17	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 409 mg/kg Plomb : 3 140 mg/kg		
		Adulte				
SDA17	Champ - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 236 mg/kg Plomb : 2 200 mg/kg		
		Adulte				

Tableau 68 : Résultats des calculs de risques sanitaires associés à l'ingestion de sols, de végétaux et résultats sur les eaux pour les foyers investigués sur la commune de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille

Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'EM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)
		Scénario	Enjeux	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire	
SAINT-JEAN-DU-PIN	STJP1	Jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 214 mg/kg Plomb : 689 mg/kg	Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour le plomb (95 µg/l)
			Enfant 3-6 ans			
			Adulte			
		Jardin d'agrément, faïsse en herbe autour du potager - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 201 mg/kg Plomb : 374 mg/kg	
			Enfant 3-6 ans			
			Adulte			
		Jardin d'agrément, faïsse supérieure, en herbe au niveau du futur potager - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 236 mg/kg Plomb : 435 mg/kg	
			Enfant 3-6 ans			
			Adulte			
		Futur jardin potager sur faïsse supérieure - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 519 mg/kg Plomb : 304 mg/kg	
			Enfant 3-6 ans			
			Adulte			
	Ingestion de végétaux (figue, aubergine, courgette, tomate, romarin, pomme de terre)	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 0,3 mg/kg MF Plomb : 1,6 mg/kg MF		
		Adulte	Etat compatible	Aucune		
	STJP2	Jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 137 mg/kg Plomb : 637 mg/kg	
			Enfant 3-6 ans			
			Adulte			
		Jardin d'agrément, Jardin proche potager - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Antimoine : 58 mg/kg Arsenic : 309 mg/kg Plomb : 2 630 mg/kg	
			Enfant 3-6 ans			
			Adulte			
		Jardin d'agrément, extrémité Ouest - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Antimoine : 95 mg/kg Arsenic : 420 mg/kg Plomb : 4 590 mg/kg	
			Enfant 3-6 ans			
			Adulte			
		Jardin d'agrément devant maison - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 226 mg/kg Plomb : 1 720 mg/kg	
Enfant 3-6 ans						
Adulte						
Jardin d'agrément, zone de jeux, balançoire et proche piscine - Activités ou jeux en extérieur		Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 178 mg/kg Plomb : 768 mg/kg		
		Enfant 3-6 ans				
		Adulte				
Ingestion de végétaux (aubergine, tomate, haricot vert)		Enfant 3-6 ans	Etat compatible	Aucune		
		Adulte	Etat compatible	Aucune		

Tableau 69 : Résultats des calculs de risques sanitaires associés à l'ingestion de sols, de végétaux et résultats sur les eaux pour les foyers investigués sur la commune de Saint-Jean-du-Pin

Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'IEM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)
		Scénario	Enjeux	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire	
GENERARGUES	GEN1	Jardin d'agrément sur première faïsse - Activité - jeu en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 220 mg/kg Plomb : 948 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau
			Adulte			
		Jardin d'agrément sur seconde faïsse - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 952 mg/kg Plomb : 3 700 mg/kg	
			Adulte			
	GEN2	Jardin d'agrément proche de la piscine - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Plomb : 267 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau
			Enfant 3-6 ans	Etat compatible	Aucune	
			Adulte			
		Jardin d'agrément en contre-bas - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 720 mg/kg Plomb : 3 230 mg/kg	
			Enfant 3-6 ans			
			Adulte			
		Jardin principal - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Plomb : 462 mg/kg	
			Enfant 3-6 ans			
	Adulte					
	GEN3	Champ devant et ancien potager - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 960 mg/kg Plomb : 3 840 mg/kg	Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour l'arsenic (32 µg/l)
			Enfant 3-6 ans			
			Adulte			
		Jardin d'agrément jardin devant maison - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 456 mg/kg Plomb : 1 610 mg/kg	
			Enfant 3-6 ans			
			Adulte			
		Champ de luzerne sur le côté, surélevé - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 309 mg/kg Plomb : 1 360 mg/kg	
			Enfant 3-6 ans			
			Adulte			
		Zone de jeux derrière maison, proche bassin	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 1 040 mg/kg Plomb : 3 260 mg/kg	
			Enfant 3-6 ans			
Adulte						
GEN4	Jardin et petit potager - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 764 mg/kg Plomb : 2 600 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau	
		Adulte				
	Jardin sur la zone de l'ancienne écluse remblayée - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 1 090 mg/kg Plomb : 4 020 mg/kg		
		Adulte				
GEN5	Jardin d'agrément devant - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 895 mg/kg Plomb : 3 270 mg/kg	Concentrations inférieures aux valeurs réglementaires	
		Enfant 3-6 ans				
		Adulte				
	Jardin d'agrément proche piscine - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 786 mg/kg Plomb : 2 890 mg/kg		
		Enfant 3-6 ans				
		Adulte				
	Jardin d'agrément proche balançoire - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 483 mg/kg Plomb : 2 430 mg/kg		
		Enfant 3-6 ans				
		Adulte				
	Petit jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 719 mg/kg Plomb : 2 650 mg/kg		
		Enfant 3-6 ans				
		Adulte				

Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'IEM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)
		Scénario	Enjeux	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire	
GENERARGUES	GEN6	Jardin d'agrément et balançoire - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Plomb : 718 mg/kg	Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour le fer (0,3 mg/l) et le plomb (23 µg/l)
			Enfant 3-6 ans			
			Enfant 6-11 ans			
			Adulte			
	GEN6	Jardin en contre-bas - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 509 mg/kg Plomb : 2 060 mg/kg	
			Enfant 3-6 ans			
			Enfant 6-11 ans			
			Adulte			
	GEN7	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique enfant	Etat incompatible	Arsenic : 461 mg/kg Plomb : 1 740 mg/kg	
			Générique adulte			

Tableau 70 : Résultats des calculs de risques sanitaires associés à l'ingestion de sol et résultats sur les eaux pour les foyers investigués sur la commune de Générargues

## 2.1 Incertitudes sur la caractérisation du risque

Il est important de rappeler que des incertitudes entourent les résultats de l'évaluation des risques même si les résultats sont exprimés par des expressions numériques exactes. Pour les différents scénarii étudiés, certains choix relèvent d'une approche conservatoire d'évaluation du risque. Néanmoins, l'enquête de terrain réalisée et les échanges avec les personnes présentes au moment des prélèvements permettent de se placer au plus proche des expositions.

L'utilisation de données propres aux établissements et aux zones publiques investiguées réduit les incertitudes mais certaines persistent principalement au regard de l'estimation prédictive des concentrations d'exposition des populations à très long terme dans le cadre de la présente étude. Cette étude a été réalisée en l'état actuel des connaissances.

L'analyse attentive des incertitudes constitue une phase importante et doit être prise en compte dans l'évaluation des conclusions de l'étude car elle permet de donner les éléments pour valider les conclusions, en identifiant les incertitudes les plus significatives pouvant interférer dans les résultats de l'étude.

Les incertitudes identifiées et présentées ci-après regroupent donc les sources d'incertitudes majeures des étapes de la présente étude.

### ➤ Incertitudes sur le terme source

#### ▪ *Incertitudes sur l'échantillonnage*

Le choix des emplacements sur les parcelles sélectionnées et la constitution d'échantillons composites ont été effectués afin de couvrir les zones les plus représentatives en termes d'exposition.

Les prélèvements d'eaux souterraines et superficielles ne sont représentatifs de la qualité des eaux de la nappe / de la rivière qu'au moment du prélèvement. Une estimation plus large de la qualité de ces eaux ne peut être évaluée sans un suivi régulier.

#### ▪ ***Incertitudes sur les analyses chimiques***

Au regard des informations transmises par le laboratoire EUROFINS, les incertitudes sur les résultats analytiques des métaux dans les sols des parcelles investiguées sont prises en compte lors de la comparaison avec l'ELT. EUROFINS indique des incertitudes comprises entre 10 et 45% selon les matrices et les substances. Ainsi, par exemple, pour un ELT en arsenic compris entre 20 et 200 mg/kg, le point SOL\_446 (foyer SFDP7) présentant un résultat analytique de 300 mg/kg ne sera pas retenu car l'incertitude associée est de +/- 135 mg/kg. Dans les cas où les calculs de risques sont réalisés, la prise en compte des incertitudes analytiques n'a pas d'influence sur les conclusions en termes d'interprétation de l'état des milieux.

Le chrome dispose d'une toxicité différente en fonction de sa forme chimique (chrome III / chrome VI). Le retour d'expérience sur la zone d'étude montre que le chrome VI n'est pas présent sur les sites investigués. Il n'y a pas d'incertitude sur la forme chimique du chrome.

Une incertitude existe sur la forme chimique de l'arsenic, l'arsenic total ayant été analysé. L'arsenic existe en effet sous différents degrés d'oxydoréduction : -3, 0, +3, +5. Mis à part les sulfures, les composés minéraux les plus courants sont basés sur des combinaisons avec l'oxygène : arsénites (arsenic III) et arséniates (arsenic V). L'arsenic forme également des composés organiques très stables, tant trivalents que pentavalents. Les VTR chroniques sont établies pour l'arsenic inorganique. Aucune information complémentaire sur les formes de l'arsenic n'a été recherchée, la toxicité des différentes formes de l'arsenic n'étant pas largement renseignée dans les bases de données.

#### ▪ ***Incertitudes sur la recherche et la sélection des substances à impact potentiel***

La sélection des substances chimiques retenues pour l'étude est une source d'incertitudes. Les analyses ont été limitées aux substances polluantes présentant une toxicité par ingestion directe (sol, eau ou végétaux), et aux comportements physico-chimiques, biologiques pertinents (transfert racinaire des métaux dans les végétaux par exemple). Le thallium a été recherché dans les eaux et dans les sols, afin de compléter la signature géologique si nécessaire.

Les substances présentes dans les milieux ont été retenues en considérant l'exposition des enfants (exposition générique en l'absence d'enfant dans le foyer) et des adultes.

#### ➤ **Incertitudes sur l'identification des dangers et l'évaluation des relations dose-réponse**

En plus du choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR), de nombreuses sources d'incertitudes sont associées à la détermination des VTR, notamment du fait de l'extrapolation :

- de la réponse dose-effet pour de faibles doses à partir de hautes doses, de l'extrapolation de réponse ;
- de réponse pour des expositions de courtes durées à de longues durées ;
- des résultats d'expérimentations chez l'animal pour prédire des effets chez l'homme,
- de réponses à partir d'études provenant de populations animales homogènes pour prédire les effets sur une population composée d'individus avec un large spectre de sensibilité, etc.

Le choix des valeurs toxicologiques de référence a une importance significative sur les résultats des calculs de risques. Les choix réalisés par l'INERIS sont conformes aux

connaissances scientifiques actuelles et représentent la connaissance disponible à un moment donné.

Au vu des temps d'exposition retenus, les VTR retenues et présentées sont des VTR chroniques.

#### ➤ **Incertitude sur les scénarii d'exposition**

Des incertitudes existent au niveau des budgets espace-temps qui ont été choisis et retenus, les choix ayant été réalisés de façon conservatoire.

#### ➤ **Incertitude sur les paramètres d'exposition**

Les valeurs proposées reposent principalement sur les études établissant des bilans massiques par mesure directe des traceurs dans les aliments et les selles des individus. Des incertitudes existent au niveau du choix des valeurs retenues pour estimer la quantité de sol ingéré par les différentes classes d'âge, les choix ayant été réalisés de façon conservatoire.

Ainsi dans le cadre de la politique nationale de gestion des sites et sols pollués, il est recommandé pour une étude d'Interprétation de l'Etat des Milieux et en première approche, d'utiliser une valeur de 91 mg/j pour les enfants jusqu'à 6 ans et une valeur de 50 mg/j pour les adultes. Le choix a été fait de rester conservatoire jusqu'à un âge de 11 ans en considérant la valeur de 91 mg/j.

#### ➤ **Incertitudes sur la caractérisation du risque**

Les incertitudes inhérentes à la caractérisation du risque sont directement fonction des incertitudes précisées dans les sections précédentes.

Les sections ci-dessus soulignent le fait que des incertitudes existent dans l'évaluation des risques. Pour les différents scénarii étudiés, de nombreux choix relèvent d'une approche conservatoire d'évaluation du risque.





# **E**

## **CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS**



# 1 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Conformément à l'instruction N°DGS/EA1/DGPR/DGAL/2017/145 du 27 avril 2017, relative à la gestion des sites pollués et de leurs impacts, nécessitant la mise en œuvre de mesures de gestion sanitaire et d'études de santé et/ou de mesures de gestion sanitaire des productions animales et végétales, les recommandations suivantes restent soumises à la validation des services de l'Etat compétents.

## 1.1 Synthèse historique

Le secteur concerné par l'étude sanitaire et environnementale se situe dans le département du Gard, à quelques kilomètres à l'ouest des communes d'Alès et d'Anduze.

Les travaux miniers concernent les communes d'Anduze, Corbès, Durfort, Générargues, Mialet, Saint-Félix-de-Pallières, Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille, Saint-Jean-du-Pin, Thoiras et Tornac.

Certains secteurs ont fait l'objet de travaux très anciens (grattages de surface, galeries, etc.) durant l'époque romaine et au Moyen-âge.

Durant l'époque moderne, les travaux miniers ont été conduits au niveau de trois concessions pour l'exploitation de la pyrite :

- Valleraube, avec notamment le site de la mine Joseph. La concession a été exploitée entre 1845 et 1971. La production mensuelle de pyrite était de 135 à 140 tonnes ;
- Pallières-et-Gravouillère, exploitée entre 1812 et 1932. La production entre 1923 et 1932 a atteint 25 000 t de concentrés de calamine, galène et pyrite ;
- les Adams, exploitée entre 1855 et 1924. La production de pyrite entre 1857 et 1862 a été de 1 750 t pour les mines de Pradinas et de la Baraquette.

Trois concessions ont quant à elles été exploitées pour le plomb et le zinc :

- La-Croix-de-Pallières, exploitée entre 1848 et 1971. Pour cette période, la mine a produit 80 000 t de zinc, 34 000 t de plomb, 30 t d'argent, 520 t de cadmium et 28 t de germanium ;
- Valensole, exploitée entre 1858 et 1861. La production a été de 120 t de calamine (oxyde de zinc) et quelques tonnes d'alquifoux (sulfure de plomb) ;
- Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille, exploitée entre 1852 et 1930. La production entre 1833 et 1930 a atteint 4 000 t de plomb et 2 000 t de zinc. Une dizaine de tonnes d'argent aurait également été extraite.

Enfin, dans le cadre du Permis d'Exploitation (PEX) de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille, les travaux miniers ont été conduits entre 1953 et 1962. Sur cette période, la production a atteint 42 500 t de plomb, 3 500 t de zinc et environ 60 t d'argent.

Les travaux de recherche et d'exploitation ont affecté la surface (installations et bâtiments, dépôts de déblais et déchets, grattages de surface, mines à ciel ouvert, bassins de décantation, etc.) et le sous-sol (galeries, chambres, etc.) et ont pu occasionner des impacts sur l'environnement.

## 1.2 Impact de l'exploitation minière sur l'état des milieux

Les investigations menées dans le cadre de la présente étude et les résultats d'études antérieures ont permis de mettre en évidence **une dégradation de l'état des milieux associée à la présence des anciennes activités minières et industrielles connexes** (travaux et dépôts de matériaux). Cette dégradation a été caractérisée pour les milieux sols, végétaux de consommation, air ambiant, eaux superficielles et souterraines et enfin pour les sédiments.

### Travaux miniers et dépôts de matériaux

Les anciens sites miniers de la Croix-de-Pallières et de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille comportent de nombreuses zones de travaux et dépôts de matériaux, dont les surfaces varient fortement en fonction des secteurs géographiques.

Les sources de contamination identifiées en surface y sont multiples (travaux par grattages, dépôts de déblais de creusement et d'extraction, résidus de traitement, etc.) et concernent les superficies suivantes :

- concessions de La-Croix-de-Pallières, Pallières-Gravouillère et Valleraube, 43 hectares (avec notamment 1 hectare pour les haldes de la mine Joseph, 8 hectares pour le carreau de mine de Pallières, 15 hectares pour le secteur des Terres-Rouges et 10 hectares pour le lieu-dit Paleyrolles) ;
- concession de Valensole : 1 050 m<sup>2</sup> ;
- concession des Adams : 1,5 hectares ;
- concession de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille, 48 hectares (dont 6 hectares pour le dépôt de résidus de traitement et 40 hectares pour les anciennes MCO).

Les dépôts rencontrés sur ces secteurs sont hétérogènes (volume, granulométrie et couleur variables) et présentent des teneurs élevées en métaux et métalloïdes, notamment en plomb, zinc (jusqu'à plusieurs pourcents), en arsenic (jusqu'à plusieurs milliers de mg/kg), ainsi qu'en cadmium, antimoine ou encore en cuivre (jusqu'à plusieurs centaines de mg/kg),

### Impacts en éléments traces métalliques dans les sols

Les investigations menées autour des anciens sites miniers ont permis d'identifier une **contamination des sols en métaux lourds et métalloïdes (notamment plomb, arsenic, zinc, cadmium et antimoine)** avec des teneurs pouvant dépasser plusieurs dizaines à centaines de fois les gammes ELT déterminées pour les principales formations géologiques du secteur pour des usages de jardin potager ou d'agrément.

### Erosion et transport éolien

Les investigations de terrain ont mis en évidence des concentrations importantes en certains métaux (plomb notamment) au droit même de certains dépôts de matériaux.

En l'absence d'activité importante sur les dépôts (travaux de terrassement, travaux agricoles et forestiers, voie d'accès naturelle non revêtue, mais également activités sportives de type motocross ou VTT, etc.) et en cas de maintien du couvert boisé, ceux-ci ne semblent pas être une source majeure de contamination de la zone d'étude en métaux lourds par voie aérienne (poussières PM10 et retombées atmosphériques). En conséquence, nous recommandons de ne pas modifier l'état de surface de ces dépôts de quelques manières que ce soit.

### Transport hydraulique

Certains dépôts présentant des matériaux à nu se trouvent en bordure immédiate de cours d'eau. Lors d'épisodes pluvieux intenses, ces dépôts sont soumis à l'érosion et des matériaux sont ainsi transportés dans les cours d'eau. Les cas les plus remarquables correspondent aux haldes de la mine Joseph, au dépôt de l'ancienne laverie de Carnoulès (en contrebas du bâtiment des Services Techniques), au dépôt de la mine du Serre et aux dépôts présents dans le ravin des Combettes.

### Impact en éléments traces métalliques sur les eaux souterraines

Les émergences minières et les lixiviats des dépôts de résidus de traitements sont impactés en métaux et métalloïdes. Les concentrations en de nombreux éléments dépassent les limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007.

Certains points d'eaux investigués montrent clairement la présence de drainage minier acide. C'est notamment le cas sur le secteur de Carnoulès (lixiviats du dépôt de résidus de traitement, émergence au niveau des anciennes MCO et émergences au Nord-est du hameau de Carnoulès), sur le secteur de la mine de Pallières (lixiviats des haldes, émergence du puits Pastré, source du ruisseau de Naville) ou encore au niveau des lixiviats des haldes de la mine Joseph, où les pH sont compris entre 2 et 3,5.

Au regard de ces éléments, les aquifères miniers sont vraisemblablement impactés. L'hydrogéologie du secteur étant complexe (compartimentage marqué), les connexions hydrauliques peuvent exister entre les différents aquifères. Localement, les eaux de certains points de captages peuvent de fait s'avérer impactées par les anciens travaux miniers.

La note ARS sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine en date de 2016 indique une bonne qualité globale des ressources AEP du secteur, avec quelques teneurs métalliques ponctuelles qui dépassent les limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007

### Impact en éléments traces métalliques sur les eaux superficielles et les sédiments

Les cours d'eau du secteur sont impactés par les métaux et métalloïdes. Les concentrations dans les eaux et les teneurs dans les sédiments les plus élevées sont enregistrées au niveau des secteurs miniers (surtout le Reigous). En amont des sites miniers, les quelques points de mesures réalisés indiquent l'absence de contamination des milieux.

Les concentrations en de nombreux éléments dans les eaux dépassent les limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007 et les normes de qualités environnementales (NQE).

D'une manière générale, les concentrations dans les eaux et les teneurs dans les sédiments décroissent rapidement vers l'aval des sources de pollution par effet de dilution. Toutefois, des dépassements des valeurs de références pour les eaux sont encore identifiés en période de hautes-eaux en aval d'Anduze (pont de Lézan).

À noter que les épandages de résidus de traitement survenus en 1961 et 1976 dans les lits du Reigous et de l'Amous suite aux ruptures des digues de Carnoulès sont encore observables actuellement. En effet, les échantillonnages réalisés sur les berges ont permis d'observer des résidus de traitement à différentes profondeurs, avec des teneurs en métaux et métalloïdes très élevées (plusieurs centaines à milliers de mg/kg de plomb, arsenic et zinc). Cet impact est constaté depuis le Reigous jusqu'à la confluence avec le Gardon d'Anduze. L'extension géographique et la profondeur des sols impactés n'ont pas été délimitées.

### Impact en métaux lourds sur les végétaux autoproduits

Aucun ELT n'a pu être déterminé pour les végétaux.

Des dépassements des valeurs réglementaires en plomb et en cadmium (rares métaux présentant des valeurs réglementaires au niveau de végétaux) sont à signaler sur certains échantillons de végétaux. Ces valeurs anormales sont à rapprocher des teneurs élevées en métaux trouvées dans les sols sur lesquels ont poussé ces végétaux.

## **1.3 Compatibilité des milieux avec les usages**

Dans le cadre de la démarche IEM les enjeux, présents dans les zones potentiellement impactées par les anciennes exploitations minières, ont été recensés.

En première approche, la comparaison des teneurs mesurées dans les sols avec les gammes ELT a été effectuée, et ce afin d'évaluer l'état de dégradation de ces sols par rapport à un site non influencé par les anciennes activités minières. En cas d'écart par rapport à l'ELT (incertitudes analytiques comprises), une démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) est entreprise afin d'évaluer la compatibilité entre l'état des milieux et les usages associés aux enjeux présents sur ces milieux.

Les usages pris en compte dans les calculs de risque sanitaire sont :

- le jardinage et la consommation de légumes cultivés dans les jardins potagers ;
- l'entretien et la fréquentation des jardins d'agrément, vergers, etc. ;
- la fréquentation d'espaces de jeux pour enfants.

Au vu des usages recensés, des sources de contamination et des voies de transfert identifiées, les voies d'exposition « ingestion de sol » et « ingestion de végétaux » ont été considérées pour l'évaluation des risques sanitaires.

Les scénarios pour les calculs de risques sanitaires ont été élaborés en fonction des différents profils de populations exposées définis à l'aide de l'enquête sur les usages.

Les calculs ont été réalisés pour les usages actuels avec les cibles présentes. Si les calculs sont réalisés pour des adultes et que les usages et les occupants changent, il sera nécessaire de mettre à jour les calculs de risques en intégrant les nouveaux usages et la nouvelle population présente (enfants notamment). À titre informatif, des scénarios d'exposition génériques ont été pris en compte pour les enfants de 1 à 3 ans afin d'anticiper d'éventuelles évolutions d'occupation. Ils pourront être examinés en premier éclairage.

**Pour la voie d'exposition « ingestion de sol »**, la majorité des foyers investigués présente un ou plusieurs *scenarii* indiquant des incompatibilités entre l'état des milieux et les usages existant. Les substances associées aux risques sanitaires sont majoritairement **le plomb et l'arsenic**, et dans une moindre mesure le cadmium, le zinc et l'antimoine. En fonction des *scenarii*, les incompatibilités concernent tout ou partie des cibles considérées, à savoir les usagers enfants et adultes.

Les sols des terrains à lotir SDA4 et GEN7 présentent des teneurs élevées en plomb (2 030 et 1 740 mg/kg) et arsenic (192 et 461 mg/kg) dépassant les gammes ELT. Les calculs de risques indiquent des incompatibilités entre l'état des milieux et un usage d'habitation.

Pour les foyers SFDP8, SDA3, SDA6 et SDA8 seules les teneurs dépassant les gammes ELT ont fait l'objet de calculs de risques sanitaires, ne conduisant pas à elles seules à des

incompatibilités usages/milieus pour les cibles présentes. Pour les foyers SFDP8, SDA3 et SDA8, des incompatibilités sont avérées pour le scénario générique 1-3 ans.

Conformément à la démarche méthodologique, aucune EQRS n'a été effectuée pour les foyers où les teneurs dans les sols sont comprises dans la gamme ELT. Il s'agit :

- du foyer SDA1, pour lequel les teneurs maximales en métaux et métalloïdes sont faibles (<180 mg/kg en plomb, <55 mg/kg en arsenic et <200 mg/kg en zinc) ;
- du foyer SDA7, pour lequel les teneurs maximales en métaux et métalloïdes sont modérées en plomb (900 mg/kg) et en arsenic (250 mg/kg).

**Pour la voie d'exposition « ingestion de végétaux »**, un tiers des 15 jardins potagers présente des *scenarii* incompatibles avec les usages constatés. Les incompatibilités sanitaires proviennent des concentrations en **plomb et arsenic** dans les végétaux.

Les *scenarii* sont compatibles pour les jardins des foyers SFDP3, SFDP4, SDA1, SDA6 et STJP2.

Il convient de signaler que les pommes de terre analysées demeurent impropres à la consommation du fait de dépassements des valeurs réglementaires définies par la réglementation européenne pour :

- le plomb et le cadmium au niveau du foyer SFDP3 ;
- le plomb au niveau du foyer STJP2.

**Pour la voie d'exposition « ingestion d'eau »** dans les sources et forages privés, des dépassements des limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine sont enregistrés au droit de 9 des 17 foyers investigués. Les dépassements concernent les paramètres **arsenic et plomb**, et dans une moindre mesure le manganèse et le fer.

Les résultats d'analyses indiquent des concentrations en métaux et métalloïdes inférieures aux valeurs et limites de références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine pour les foyers THO2, SFDP6, SFDP8, SDA1, SDA2, SDA6, SDA7, GEN5 et le point d'eau SDA14 (puits communal).

Enfin, et pour rappel, les foyers ayant fait l'objet d'un diagnostic spécifique habitation ADEME/ICF Environnement n'ont pas été intégrés à l'étude sanitaire GEODERIS. Ces foyers se trouvent sur la commune de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille.

## 1.4 Réhabilitations des zones de travaux, dépôts de matériaux et émergences minières

Au vu des résultats des investigations menées dans le cadre de la présente étude, les recommandations répondent à 8 objectifs principaux :

- **maîtriser ou supprimer les sources de pollution** ;
- **supprimer l'exposition directe des populations** aux zones impactées par les anciens travaux et dépôts de matériaux ;
- **limiter l'érosion hydraulique** des dépôts et les apports de matériaux contaminés vers le réseau hydrographique ;
- **limiter l'érosion éolienne au droit des zones les plus impactées** ;
- **informer** les élus et les riverains de l'état des milieux et les **sensibiliser** aux actions à mettre en œuvre.

Les mesures préconisées par GEODERIS pour répondre à ces objectifs sont détaillées dans les paragraphes et tableaux suivants. Il est important de préciser ici qu'il ne s'agit que de préconisations préliminaires. Les différentes options pourraient faire l'objet d'une étude de faisabilité et être évaluées sur la base de leur rapport coût/efficacité. Les préconisations sont formulées successivement, sans classement par ordre de priorité.

### **1.4.1 Préconisations environnementales pour les concessions de la Croix-de-Palières, Palières-et-Gravouillère, et Valleraube**

Les préconisations concernent les communes de Saint-Félix-de-Palières, Thoiras, Anduze, et Tornac.

#### **1.4.1.1 Haldes de la mine Joseph**

La base des haldes présente des traces importantes d'affouillement par le ruisseau du Paleyrolle, engendrant un risque d'instabilité des matériaux hétérogènes constituant le dépôt ainsi qu'un risque de pollution des eaux et des sédiments. La pente très forte du versant accentue ce phénomène d'érosion.

Du fait de la configuration topographique défavorable, toute solution de remédiation s'avèrerait *a priori* délicate à mettre en œuvre.

GEODERIS recommande de veiller à la bonne gestion des eaux de ruissellement et de réfléchir à des options de remédiation destinées à stabiliser les dépôts et à limiter l'érosion hydraulique (stabilisation avec un enrochement, une structure de soutènement, etc.). Il s'agit ici de maîtriser la source de contamination.

GEODERIS préconise d'interdire la fréquentation des dépôts (notamment par les riverains, les touristes et les randonneurs) et propose d'installer, sur tout le périmètre de la zone, une barrière type clôture ou haie d'épineux limitant l'accès au site accompagnée de panneaux d'information (panneaux signalant la présence de matériaux contaminés en métaux et métalloïdes et interdisant tout usage de nature à engendrer une exposition des populations à ces matériaux : extraction de matériaux, affouillement, excavation, parcage de bétail, culture en pleine-terre, activité de loisir tel que par exemple VTT ou quad, etc.).

#### **1.4.1.2 Mine Curnier**

Afin d'éviter la fréquentation de cette zone (notamment par les riverains, les touristes et les randonneurs), GEODERIS propose d'installer, sur tout le périmètre de la zone, une barrière type clôture ou haie d'épineux limitant l'accès au site accompagnée de panneaux d'information (panneaux signalant la présence de sols contaminés en métaux et métalloïdes et interdisant tout usage de nature à engendrer une exposition à ces sols : extraction de matériaux, affouillement, excavation, parcage de bétail, culture en pleine-terre, activité de loisir, etc.).

#### **1.4.1.3 Lieu-dit Paleyrolles**

Le lieu-dit Paleyrolles est habité à l'année. Afin de réduire l'exposition des populations au niveau des zones les plus impactées, GEODERIS recommande de proscrire tout usage de nature à engendrer une exposition des populations à ces sols à teneurs élevées en métaux et métalloïdes : extraction de matériaux, terrassement, parcage de bétail, culture en pleine-terre, etc.

GEODERIS recommande d'informer la population en installant par exemple un panneau portant l'indication « eau non contrôlée » au niveau de la source du Valat de Serre.



Il est également recommandé d'interdire tout nouveau projet immobilier, et d'informer les habitants des impacts identifiés.

#### **1.4.1.4 Carreau de mine de Pallières**

##### Dépôt de résidus de traitement

Le dépôt de résidus de traitement étant géré par UMICORE, GEODERIS ne formule aucune recommandation pour ce dépôt dans le cadre de la présente étude sanitaire et environnementale.

##### Dépôt circulaire des Issart

Un dépôt de résidus de traitement fin se trouve en retrait de l'ancien carreau de la mine, en pied de versant. Sa surface est limitée mais sa profondeur n'a pas été estimée avec précision. Lors des épisodes pluvieux intenses, le dépôt est érodé et des matériaux fortement chargés en métaux et métalloïdes sont transportés via des fossés vers le ruisseau du Paleyrolle.

GEODERIS recommande de réfléchir à la mise en œuvre d'options techniques destinées à supprimer l'exposition des populations aux matériaux de ces dépôts (pose d'une clôture avec panneaux de signalisation, suppression des matériaux contaminés, etc.).

En cas de conservation du matériau en place, GEODERIS recommande de veiller à la bonne gestion des eaux de ruissellement permettant ainsi de limiter l'érosion du dépôt par les eaux (mise en place d'un enrochement, etc.).

##### Haldes du GFA

Les haldes dits du GFA représentent un dépôt important de matériaux hétérogènes non recouverts. La pente très forte du dépôt accentue les phénomènes d'érosions lors d'épisodes pluvieux intenses.

GEODERIS recommande de supprimer l'exposition des populations aux matériaux de ce dépôt (par exemple pose d'une clôture interdisant l'accès au dépôt, ou recouvrement de la plateforme supérieure du dépôt). GEODERIS recommande par ailleurs de veiller à la bonne gestion des eaux de ruissellement permettant ainsi de limiter l'érosion de ce dépôt par les eaux. Il recommande également de réfléchir à une solution technique permettant de stabiliser les flancs du dépôt (par exemple mise en place d'enrochements).

##### Recommandations générales sur le carreau de mine de Pallières et les terrains alentours

Sur cette zone particulièrement étendue, GEODERIS recommande de renforcer la signalisation déjà en place par la pose de panneaux de signalisation sur l'ensemble de la zone et interdisant la pratique d'activités susceptibles de générer des envols de particules contaminées (VTT, Quad etc.) ainsi que la cueillette de baies sauvages ou de champignons.

Au niveau de la signalisation, GEODERIS recommande également d'interdire tout usage de nature à engendrer une exposition des populations à ces sols contaminés en métaux et métalloïdes : extraction de matériaux, affouillement, excavation, parcage de bétail, culture en pleine-terre, activité de loisir tel que par exemple VTT ou quad, etc.

GEODERIS recommande aussi d'interdire tout projet immobilier sur cette zone et d'informer les habitants des impacts identifiés.

Enfin, GEODERIS recommande d'informer la population en installant par exemple un panneau portant l'indication « Eau non contrôlée » au niveau de l'émergence minière du puits Pastré.

### **1.4.1.5 La Fabrique**

Sur cette zone de faible superficie, GEODERIS recommande de supprimer l'exposition des populations (pose d'une clôture interdisant l'accès au site, décaissement des zones contaminées, recouvrements des sols par des terres non contaminées, etc.).

Au niveau de cette signalisation, GEODERIS recommande également d'interdire tout usage de nature à engendrer une exposition à ces sols contaminés en métaux et métalloïdes : extraction de matériaux, affouillement, excavation, parcage de bétail, culture en pleine-terre, activité de loisir tel que par exemple VTT ou quad, etc.

GEODERIS recommande également d'interdire tout projet immobilier sur ce secteur.

### **1.4.1.6 Flanc ouest de Pallières, Flanc Est de Pallières dit des terres Rouges, mine de la Gravouillère, la Baraque et Mine Roman**

Afin d'éviter l'exposition directe des populations à cette zone, GEODERIS préconise d'informer les randonneurs par des panneaux qui indiqueraient notamment de se limiter au simple passage et d'éviter des actions risquant de créer une exposition directe prolongée au sol tel que le pique-nique.

Au niveau de cette signalisation, GEODERIS recommande également d'interdire tout usage de nature à engendrer une exposition à ces sols contaminés en métaux et métalloïdes : extraction de matériaux, affouillement, excavation, parcage de bétail, culture en pleine-terre, activité de loisir tel que par exemple VTT ou quad, etc.

GEODERIS recommande également d'interdire tout projet immobilier sur ces secteurs.

## **1.4.2 Préconisations environnementales pour la concession de Valensole**

Les préconisations concernent uniquement la commune de Tornac.

Afin d'éviter l'exposition directe des populations à cette zone, GEODERIS préconise d'informer les randonneurs par des panneaux qui indiqueraient notamment de se limiter au simple passage et d'éviter des actions risquant de créer une exposition directe prolongée au sol tel que le pique-nique.

Au niveau de cette signalisation, GEODERIS recommande également d'interdire tout usage de nature à engendrer une exposition à ces sols contaminés en métaux et métalloïdes : extraction de matériaux, affouillement, excavation, parcage de bétail, culture en pleine-terre, activité de loisir tel que par exemple VTT ou quad, etc.

## **1.4.3 Préconisations environnementales pour la laverie des Autiés**

Les préconisations concernent la commune de Tornac.

### **1.4.3.1 Laverie des Autiés**

GEODERIS recommande de supprimer l'exposition des populations au niveau de ce site (pose d'une clôture interdisant l'accès au site, suppression des sources de pollution par décaissement des zones contaminées en métaux et métalloïdes, recouvrements des sols par des terres non contaminées, etc.).

## **1.4.4 Préconisations environnementales pour la concession des Adams**

Les préconisations concernent uniquement les communes de Corbès et Mialet.

### **1.4.4.1 Mine de la Baraquette**

Afin d'éviter la fréquentation de la zone par la population, GEODERIS propose d'installer des panneaux d'information (panneaux signalant la présence de sols contaminés en métaux et métalloïdes et interdisant tout usage de nature à engendrer une exposition à ces sols : extraction de matériaux, affouillement, excavation, parcage de bétail, culture en pleine-terre, activité de loisir tel que par exemple VTT ou quad, etc...).

### **1.4.4.2 Mine du Serre**

Un dépôt de matériaux de creusement se trouve dans un ravin, en contrebas immédiat d'une galerie. Le dépôt est fortement érodé par un ruisseau qui le traverse, engendrant un risque d'instabilité superficielle des matériaux hétérogènes le constituant. La pente très forte du versant accentue ce phénomène d'érosion.

Du fait de la configuration topographique défavorable, toute solution de remédiation pourrait s'avérer délicate à mettre en œuvre.

GEODERIS recommande de veiller à la bonne gestion des eaux de ruissellement de façon à limiter l'érosion hydraulique. GEODERIS recommande également de réfléchir à une solution technique destinée à stabiliser le dépôt (mise en place d'un enrochement, etc.).

Afin de supprimer l'exposition directe de la population à ce dépôt, GEODERIS propose d'installer, sur tout son périmètre, une barrière type clôture ou haie d'épineux interdisant l'accès au site accompagnée de panneaux d'information (panneaux signalant la présence de matériaux contaminés en métaux et métalloïdes et interdisant tout usage de nature à engendrer une exposition à ces matériaux : extraction de matériaux, affouillement, excavation, parcage de bétail, culture en pleine-terre, activité de loisir tel que par exemple VTT ou quad, etc.).

GEODERIS recommande d'informer la population en installant par exemple un panneau portant l'indication « eau non contrôlée » au niveau des deux émergences minières identifiées.

### **1.4.4.3 Mine du Pradinas**

Les haldes de la mine du Pradinas se trouvent en pied et à mi-versant. Les matériaux hétérogènes constituant les dépôts sont à nus et fortement soumis à la pluie, engendrant un risque d'instabilité de ceux-ci. La pente parfois forte accentue ce phénomène d'érosion. GEODERIS recommande de veiller à la bonne gestion des eaux de ruissellement de façon à limiter l'érosion hydraulique.

Afin de supprimer l'exposition directe de la population aux dépôts, GEODERIS recommande d'installer, sur tout le périmètre de la zone, une barrière type clôture ou haie d'épineux interdisant l'accès au site accompagnée de panneaux d'information (panneaux signalant la présence de matériaux contaminés en métaux et métalloïdes et interdisant tout usage de nature à engendrer une exposition à ces matériaux : extraction de matériaux, affouillement, excavation, parcage de bétail, culture en pleine-terre, activité de loisir tel que par exemple VTT ou quad, etc.).

GEODERIS recommande d'informer la population en installant par exemple un panneau portant l'indication « eau non contrôlée » au niveau de l'émergence minière de la galerie aval.

### **1.4.5 Préconisations environnementales pour la concession et le PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille**

Les préconisations concernent les communes de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille, Générargues et Saint-Jean-du-Pin.

#### **1.4.5.1 Mine de Carnoulès**

##### Dépôt de résidus de traitement principal

Le dépôt de résidus de traitement étant géré par l'ADEME, GEODERIS ne formule aucune recommandation pour ce dépôt dans le cadre de la présente étude.

##### Dépôt de résidus de traitement - ancienne laverie

Le dépôt de résidus de traitement situé en contrebas du bâtiment des Services Techniques communaux se trouve de part et d'autre du ruisseau du Reigous. Le dépôt est fortement érodé, engendrant un risque d'instabilité des matériaux très fins le constituant. La pente très forte du dépôt accentue ce phénomène d'érosion.

GEODERIS recommande de veiller à la bonne gestion des eaux de ruissellement de façon à limiter l'érosion hydraulique (stabilisation avec un enrochement, une structure de soutènement, etc. Afin de supprimer l'exposition directe de la population au dépôt, il recommande également d'installer, sur tout le périmètre de ce dernier, une barrière type clôture ou haie d'épineux interdisant l'accès au dépôt accompagnée de panneaux d'information (panneaux signalant la présence de matériaux contaminés en métaux et métalloïdes et interdisant tout usage de nature à engendrer une exposition à ces matériaux : extraction de matériaux, affouillement, excavation, parcage de bétail, culture en pleine-terre, activité de loisir, etc.).

##### Zone des anciennes Mines à Ciel Ouvert et travaux souterrains

Les nombreux dépôts et indices de travaux occupent une vaste superficie d'environ 40 hectares.

Sur l'ensemble de cette zone particulièrement étendue, GEODERIS recommande de veiller à la bonne gestion des eaux de ruissellement de façon à limiter les départs de matériaux lors d'épisodes pluvieux intenses.

D'une manière générale, afin d'éviter l'exposition directe des populations aux matériaux rocheux de cette zone, GEODERIS préconise d'informer la population par la pose de panneaux d'information (panneaux signalant la présence de sols contaminés en métaux et métalloïdes et interdisant tout usage de nature à engendrer une exposition à ces sols : extraction de matériaux, affouillement, excavation, parcage de bétail, culture en pleine-terre, activité de loisir tel que par exemple VTT ou quad, etc.).

GEODERIS recommande aussi d'informer la population en installant par exemple un panneau portant l'indication « eau non contrôlée » au niveau de l'émergence minière ponctuelle observée en bordure de la Route Départementale 217, en face du bâtiment des Services Techniques communaux.

#### **1.4.5.2 Nord-est Carnoulès - Les Sognes**

Un dépôt de matériaux fins se trouve en zone boisée, en bordure de la RD217. La surface est restreinte, mais les teneurs en métaux très élevées.

GEODERIS recommande de supprimer l'exposition des populations aux matériaux de ce dépôt (retrait des matériaux, confinement, etc.).

En cas de conservation du dépôt GEODERIS recommande d'installer, sur tout le périmètre de ce dernier, une barrière type clôture ou haie d'épineux interdisant l'accès au site, accompagnée de panneaux d'information (panneaux signalant la présence de matériaux contaminés en métaux et métalloïdes et interdisant tout usage de nature à engendrer une exposition à ces matériaux : extraction de matériaux, affouillement, excavation, parcage de bétail, culture en pleine-terre, activité de loisir tel que par exemple VTT ou quad, etc.).

GEODERIS recommande aussi d'informer la population en installant par exemple un panneau portant l'indication « eau non contrôlée » au niveau des trois émergences minières observées sur le versant

#### **1.4.5.3 Ravin des Combettes**

Plusieurs dépôts se trouvent sur les versants et en bordure du ravin des Combettes. Les matériaux hétérogènes constituant les dépôts sont à nus et fortement soumis à la pluie, et à l'érosion hydraulique, engendrant un risque d'instabilité. La pente parfois forte accentue ce phénomène d'érosion.

GEODERIS recommande de veiller à la bonne gestion des eaux de ruissellement de façon à limiter l'érosion hydraulique et à réfléchir à une solution technique destinée à stabiliser les dépôts (mise en place d'enrochements, etc.).

Afin d'éviter l'exposition directe des populations aux matériaux rocheux de cette zone, GEODERIS préconise d'informer la population par la pose de panneaux d'information (panneaux signalant la présence de sols contaminés en métaux et métalloïdes et interdisant tout usage de nature à engendrer une exposition à ces sols : extraction de matériaux, affouillement, excavation, parcage de bétail, culture en pleine-terre, activité de loisir tel que par exemple VTT ou quad, etc.).

#### **1.4.5.4 Mine Lacoste**

L'ancienne mine Lacoste se trouve en bordure de la Route Départementale 50.

La configuration topographique est moins problématique que sur d'autres secteurs. Toutefois, les dépôts présentent des matériaux hétérogènes à nu, avec de fortes teneurs en métaux et métalloïdes.

Au vu des cairns et déchets alimentaires observés en période estivale au droit même des zones de travaux, des randonneurs et touristes semblent bivouaquer sur le site.

GEODERIS propose de supprimer l'exposition directe de la population à ce dépôt par la mise en place d'une clôture ou haie d'épineux interdisant l'accès au site accompagnée de panneaux d'information (panneaux signalant la présence de matériaux contaminés en métaux et métalloïdes et interdisant tout usage de nature à engendrer une exposition à ces matériaux : extraction de matériaux, affouillement, excavation, parcage de bétail, culture en pleine-terre, activité de loisir tel que par exemple VTT ou quad, etc.).

#### **1.4.5.5 Mas Icard**

Les travaux du mas Icard se trouvent en zone boisée.

GEODERIS propose de supprimer l'exposition directe de la population à cette zone par la mise en place d'une clôture ou haie d'épineux interdisant l'accès au site accompagnée de panneaux d'information (panneaux signalant la présence de matériaux contaminés en métaux et métalloïdes et interdisant tout usage de nature à engendrer une exposition à ces matériaux : extraction de matériaux, affouillement, excavation, parcage de bétail, culture en pleine-terre, activité de loisir tel que par exemple VTT ou quad, etc.).

SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	OBJECTIF A ATTEINDRE	RECOMMANDATIONS ENVIRONNEMENTALES
Mine Joseph	Saint-Félix-de-Pallières	Haltes	V09	<p>Déblais de creusement et d'extraction et résidus de traitement physique en verse depuis le carreau de la mine jusqu'au ruisseau de Paleyrolle en contrebas.</p> <p>Matériaux à nu. Pente très forte.</p> <p>Surface cumulée des dépôts : 1 hectare.</p> <p>Dépôts sensibles à l'érosion par la pluie et le sapement hydraulique.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 1 500 mg/kg à 12% en plomb ;</li> <li>o 600 à 1 600 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 250 à 500 mg/kg en zinc ;</li> <li>o 1 à 10 mg/kg en mercure ;</li> <li>o 50 à 350 mg/kg en cuivre ;</li> <li>o 3 à 20% en fer.</li> </ul> <p>Teneurs modérées à fortes : antimoine (850 mg/kg) et thallium (260 mg/kg).</p> <p>Des lixiviats et matériaux chargés en métaux et métalloïdes rejoignent directement le ruisseau du Paleyrolle par gravité.</p>	Maitriser la source de contamination	<p><u>Faisabilité technico-économique à étudier dans un plan de gestion</u></p> <p>Gérer les eaux de ruissellement</p> <p>Limiter l'érosion hydraulique et stabiliser les dépôts (mise en place d'un enrochement, d'une structure de soutènement, etc.)</p>
					Supprimer l'exposition directe des populations	<p>Interdire la fréquentation de la zone (par exemple pose d'une clôture, d'une haie d'épineux, de panneaux de signalisation d'interdiction)</p> <p>Interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, activité de loisir type VTT ou quad, etc.)</p> <p>Interdire tout projet immobilier</p>
Mine Curnier	Tornac	Travaux de surface et dépôts de matériaux	V78	<p>Indices de travaux : grattage de surface (bosses et creux topographiques), galeries et dépôts de matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu.</p> <p>Surface de la zone de travaux et dépôts : 7 000 m<sup>2</sup>.</p> <p>Dépôts sensibles à l'érosion par la pluie.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 500 à 1 600 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 500 à 3 000 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 2% à 80% en fer.</li> </ul>	Réduire l'exposition directe des populations	<p>Réduire la fréquentation de la zone (par exemple pose d'une clôture, d'une haie d'épineux, de panneaux de signalisation d'interdiction)</p> <p>Interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, activité de loisir type VTT ou quad, etc.)</p> <p>Interdire tout projet immobilier</p>
Lieu-dit Paleyrolles	Saint-Félix-de-Pallières	Dépôts de matériaux	V65, V66, V67, V68, V69	<p>Présence d'habitations et zone boisée.</p> <p>Indices de travaux : creux topographiques, galeries et dépôts de creusement et d'extraction. Matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu.</p> <p>Surface cumulée des dépôts : 1 200 m<sup>2</sup>.</p> <p>Surface de travaux potentiels : 10 hectares.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 450 mg/kg à 5% en plomb ;</li> <li>o 80 à 1 700 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 70 mg/kg à 1,5% en zinc ;</li> <li>o 45 à 650 mg/kg en cuivre.</li> </ul> <p>Teneurs modérées à fortes : antimoine (300 mg/kg), cadmium (35 mg/kg) et mercure (10 mg/kg).</p>	Réduire l'exposition directe des populations aux sols	Interdire la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, etc.)
		Travaux de surface	-			Interdire tout nouveau projet immobilier
		Emergence minière	-			<p>Source du Valat de Serre.</p> <p>Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o aucun écoulement en étiage, et débit inférieur à 1m<sup>3</sup>/h en hautes-eaux ;</li> <li>o pH proche de 7 et conductivité élevée ;</li> <li>o concentrations élevées sur eaux brutes (12 µg/l en plomb, 21 µg/l en cadmium, 17 µg/l en arsenic, 6 mg/l en zinc) qui diminuent peu ou fortement sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments sous forme particulière et dissoute.</li> </ul>
Carreau de mine de Pallières	Saint-Félix-de-Pallières Thoiras	Bâtiments et dépôts de matériaux	V10, V49	Dépôt de résidus de traitement	Géré par UMICORE	
			V11 (pointe ouest)	<p>Vestiges de bâtiments et galeries liés à l'activité minière.</p>	<p><u>Dépôt circulaire des Issart :</u></p> <p>Supprimer ou maîtriser la source de contamination</p>	<p><u>Faisabilité technico-économique à étudier dans un plan de gestion</u></p> <p><u>En cas de conservation du dépôt veiller à la bonne gestion des eaux de ruissellement</u></p>
			V20	<p>Haltes de matériaux de creusement et d'extraction (surface cumulée &gt; 6 hectares). Matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux à nu.</p> <p>Dépôt circulaire de résidus de traitement de 400 m<sup>2</sup>. Matériaux à nu.</p> <p>Des fossés relient les dépôts aux ruisseaux du Paleyrolle et d'Aiguesmortes.</p> <p>Dépôts sensibles à l'érosion par la pluie.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 900 mg/kg à 15% en plomb ;</li> <li>o 110 à 4 500 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 500 mg/kg à 5% en zinc ;</li> <li>o 60 à 1 200 mg/kg en cuivre ;</li> <li>o 3 à 18% en fer ;</li> <li>o jusqu'à 180 mg/kg de cadmium.</li> </ul>	<p><u>Haltes dits du GFA :</u></p> <p>Maîtriser la source de contamination</p>	<p><u>Faisabilité technico-économique à étudier dans un plan de gestion.</u></p> <p><u>Veiller à la bonne gestion des eaux de ruissellement. Stabiliser les flancs du dépôt</u></p>
			V13, V11, V12, V20	<p>Ensemble de la zone :</p> <p>Supprimer l'exposition directe des populations</p>	<p>Interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, activité de loisir type VTT ou quad, etc.)</p> <p>Interdire tout projet immobilier</p> <p>Mise en place d'une signalisation (panneaux de signalisation d'interdiction)</p> <p>Pour la halte du GFA, interdire l'accès ou recouvrir la plateforme supérieure du dépôt</p>	
		Emergence minière	-	<p>Puits/galerie Pastré.</p> <p>Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o aucun écoulement en étiage, et débit inférieur à 1m<sup>3</sup>/h en hautes-eaux ;</li> <li>o pH de 2,6 et conductivité élevée ;</li> <li>o concentrations élevées sur eaux brutes (1 640 µg/l en plomb, 105 µg/l en cadmium, 16 µg/l en arsenic et 19 mg/l en zinc) qui restent identiques sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments sous forme de dissoute.</li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations	Pose de panneau de signalisation « eau non contrôlée »





SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	OBJECTIF A ATTEINDRE	RECOMMANDATIONS ENVIRONNEMENTALES
Flanc ouest de Pallières	Saint-Félix-de-Pallières Thoiras	Travaux de surface et dépôts de matériaux	-	Indices de travaux : grattage de surface (bosses et creux topographiques), dépôts de matériaux fins à grossiers. Matériaux en partie à nu. Surface de la zone de travaux estimée à 5 hectares. Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>o 73 mg/kg à 8% en plomb ;</li> <li>o 40 à 940 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 470 mg/kg à 6% en zinc ;</li> <li>o jusqu'à 90 mg/kg en mercure (origine naturelle liée à la minéralisation) ;</li> <li>o 6 à 27% en fer.</li> </ul> Teneurs modérées à fortes : antimoine (450 mg/kg), cadmium (227 mg/kg) et thallium (202 mg/kg).	Eviter l'exposition directe des populations	Informers les randonneurs par des panneaux de signalisation : <ul style="list-style-type: none"> <li>- se limiter au simple passage, éviter le pique-nique sur la zone</li> <li>- interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, activité de loisir type VTT ou quad, etc.)</li> </ul> Interdire tout projet immobilier
La Fabrique	Thoiras	Bâtiment et dépôts de matériaux	V71, V72, V73, V74, V75	Dépôt de matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux en partie à nu. Surface cumulée des dépôts : 3 000 m <sup>2</sup> . Surface de travaux potentiels : 1 hectare. Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>o 115 à 4 200 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 100 à 2 450 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 40 à 460 mg/kg en zinc ;</li> <li>o jusqu'à 10 mg/kg en mercure ;</li> <li>o 1 à plusieurs dizaines de % en fer.</li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations	Interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts etc.) Interdire tout projet immobilier Interdire la fréquentation de la zone des dépôts (par exemple pose d'une clôture, d'une haie d'épineux, de panneaux de signalisation)
Flanc est de Pallières – Terres Rouges	Anduze Tornac	Dépôts de matériaux	V56, V57, V79, V80, V81	Indices de travaux : grattage de surface (bosses et creux topographiques), dépôts de matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux à nu. Présence d'encroûtements ferriques type chapeau de fer. Surface de la zone de travaux potentiels : 15 hectares. Dépôts sensibles à l'érosion par la pluie. Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>o 400 mg/kg à 3% en plomb ;</li> <li>o 40 à 2 300 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 70 à 3 400 mg/kg en zinc ;</li> <li>o 1,5 à 90% en fer.</li> </ul> Teneurs modérées à fortes : antimoine (200 mg/kg) et thallium (160 mg/kg).	Eviter l'exposition directe des populations	Informers les randonneurs par des panneaux de signalisation : <ul style="list-style-type: none"> <li>- se limiter au simple passage, éviter le pique-nique sur la zone</li> <li>- interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, activité de loisir type VTT ou quad, etc.)</li> </ul> Interdire tout projet immobilier
	Saint-Félix-de-Pallières	Travaux de surface	-			
Mine de Gravouillère	Thoiras	Travaux de surface et dépôts de matériaux	V14, V15, V16, V25, V70	Indices de travaux : grattage de surface (bosses et creux topographiques), dépôts de matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux à nu. Surface cumulée des dépôts : 11 000 m <sup>2</sup> . Dépôts sensibles à l'érosion par la pluie et le sapement hydraulique. Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>o 190 à 2 500 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 260 à 2 800 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o jusqu'à 3 600 mg/kg en zinc ;</li> <li>o 5 à plusieurs dizaines de % en fer.</li> </ul> Teneurs modérées à fortes : antimoine (150 mg/kg) et thallium (700 mg/kg).	Eviter l'exposition directe des populations	Informers les randonneurs par des panneaux de signalisation : <ul style="list-style-type: none"> <li>- se limiter au simple passage, éviter le pique-nique sur la zone</li> <li>- interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, activité de loisir type VTT ou quad, etc.)</li> </ul> Interdire tout projet immobilier
la Baraque et Mine Roman	Saint-Félix-de-Pallières	Dépôts de matériaux	V61, V62, V63, V64	Dépôts de matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux en partie à nu. Surface cumulée des dépôts estimée à 6 000 m <sup>2</sup> . La Baraque, teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>o 700 mg/kg à 6% en plomb ;</li> <li>o 100 à 2 500 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 3 200 mg/kg à 3,7% en zinc ;</li> <li>o 18 à 183 mg/kg en mercure (origine naturelle liée à la minéralisation) ;</li> <li>o plusieurs dizaines de % en fer.</li> </ul> Mine Roman, teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>o 70 mg/kg à 3,6% en plomb ;</li> <li>o 790 à 1 700 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 30 mg/kg à 1,5% en zinc ;</li> <li>o 28 mg/kg en mercure (teneur naturelle liée à la minéralisation) ;</li> <li>o plusieurs dizaines de % en fer ;</li> <li>o teneurs modérées à fortes : antimoine (575 mg/kg) et thallium (150 mg/kg).</li> </ul>	Eviter l'exposition directe des populations	Informers les randonneurs par des panneaux de signalisation : <ul style="list-style-type: none"> <li>- se limiter au simple passage, éviter le pique-nique sur la zone</li> <li>- interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, activité de loisir type VTT ou quad, etc.)</li> </ul> Interdire tout projet immobilier

Tableau 71 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires et environnementaux concernant les concessions de Croix-de-Pallières, Pallières-et-Gravouillère, et Valleraube



SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	OBJECTIF A ATTEINDRE	RECOMMANDATIONS ENVIRONNEMENTALES
Mine de Valensole - Est du hameau	Tornac Hameau de Valensole	Travaux de surface et dépôts de matériaux	V07, V08	<p><u>Déblais de creusement et d'extraction :</u> Matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux à nu. Surface du dépôt : environ 500 m<sup>2</sup>. Hauteur &lt; à 2 mètres. Dépôt sensible à l'érosion par la pluie.</p> <p><u>Zone grattée avec dépôt au sein d'une petite clairière :</u> Matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux à nu. Surface de la zone de travaux et du dépôt : environ 300 m<sup>2</sup>. Zone sensible à l'érosion par la pluie.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 160 à 8 750 mg/kg de plomb ;</li> <li>o 66 à 400 mg/kg d'arsenic ;</li> <li>o 380 mg/kg à 5% de zinc.</li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations	<p>Interdire le remaniement des sols (Informez les randonneurs par des panneaux de signalisation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- se limiter au simple passage, éviter le pique-nique sur la zone</li> <li>- interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, activité de loisir type VTT ou quad, etc.)</li> </ul> <p>Interdire tout projet immobilier</p>
Mine de Valensole - Ouest du hameau	Tornac Hameau de Valensole	Dépôts de matériaux	V77	<p>Matériaux hétérogènes fins à grossiers. Matériaux à nu. Dépôt sensible à l'érosion par la pluie. Surface du dépôt : environ 250 m<sup>2</sup>.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 100 à 2 300 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 140 à 250 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 2 600 à 8 500 mg/kg de zinc.</li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations	<p>Informez les randonneurs par des panneaux de signalisation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- se limiter au simple passage, éviter le pique-nique sur la zone</li> <li>- interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, activité de loisir type VTT ou quad, etc.)</li> </ul> <p>Interdire tout projet immobilier</p>

Tableau 72 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires et environnementaux concernant la concession de Valensole

SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	OBJECTIF A ATTEINDRE	RECOMMANDATIONS ENVIRONNEMENTALES
Laverie des Autiés	Tornac	Résidus de traitement	V76	<p>Présence de résidus depuis le premier niveau de restanques au-dessus du bassin de la source jusqu'à la ruine en bord de route. Anciens bassins de décantation. Teneurs très importantes en plomb et en arsenic (plusieurs %).</p>	<p>Supprimer l'exposition directe des populations</p> <p>Supprimer la source de contamination</p>	<p><u>Interdire l'accès à la zone</u></p> <p><u>Faisabilité technico-économique à étudier dans un plan de gestion</u></p>

Tableau 73 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires et environnementaux concernant l'ancienne laverie des Autiés



SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	OBJECTIF A ATTEINDRE	RECOMMANDATIONS ENVIRONNEMENTALES
Mine de la Baraquette	Corbès	Travaux miniers	-	<p><u>Indice de travaux</u> : galeries signalées en bibliographie (non retrouvées sur le terrain).</p> <p>Du fait d'une topographie chahutée et d'une végétation dense et impénétrable, aucun dépôt franc de matériaux ou de zone grattage de surface n'a pu être repéré.</p> <p>Zone de travaux potentiels : 1 hectare.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 410 à 2 370 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 120 à 674 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 240 à 7 740 mg/kg en zinc ;</li> <li>o 4 à 30% en fer.</li> </ul> <p>Teneurs modérées : cadmium (27 mg/kg) et antimoine (97 mg/kg).</p>	Eviter l'exposition directe des populations	<p>Informers les randonneurs par des panneaux de signalisation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- se limiter au simple passage, éviter le pique-nique sur la zone</li> <li>- interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, activité de loisir type VTT ou quad, etc.)</li> </ul>
Mine du Serre	Corbès	Travaux miniers et dépôt de matériaux	V59	<p><u>Indice de travaux</u> :</p> <p>Dépôt de matériaux de creusement dans un ravin, en contrebas immédiat d'une galerie.</p> <p>Dépôt en grande partie emporté lors de l'épisode pluvieux de 2002.</p> <p>Matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu. Pente très forte.</p> <p>Surface : 500 m<sup>2</sup>, épaisseur de plusieurs mètres.</p> <p>Dépôt sensible à l'érosion par la pluie et le sapement hydraulique (départ constaté de matériaux dans le ravin).</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 200 à 4 000 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 150 à 1 300 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 150 mg/kg à 1% en zinc ;</li> <li>o 10 mg/kg en mercure ;</li> <li>o 2 à 15% en fer.</li> </ul> <p>Teneur modérée : antimoine (162 mg/kg).</p>	Maitriser la source de contamination	<p><u>Faisabilité technico-économique à étudier dans un plan de gestion.</u></p> <p><u>Veiller à la bonne gestion des eaux de ruissellement. Stabiliser le dépôt</u></p>
				<p>Dépôt sensible à l'érosion par la pluie et le sapement hydraulique (départ constaté de matériaux dans le ravin).</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 200 à 4 000 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 150 à 1 300 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 150 mg/kg à 1% en zinc ;</li> <li>o 10 mg/kg en mercure ;</li> <li>o 2 à 15% en fer.</li> </ul> <p>Teneur modérée : antimoine (162 mg/kg).</p>	Supprimer l'exposition directe des populations	<p>Interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, activité de loisir type VTT ou quad, etc.)</p> <p>Interdire la fréquentation de la zone (par exemple pose d'une clôture, d'une haie d'épineux, de panneaux de signalisation)</p>
Mine du Serre	Corbès	Emergence minière	-	<p>Galerie aval du Serre.</p> <p>Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o débit inférieur à 0,1 m<sup>3</sup>/h en étiage, et inférieur à 2 m<sup>3</sup>/h en hautes-eaux ;</li> <li>o pH variant de 7 à 8,2 et conductivité modérée ;</li> <li>o présence d'oxyhydroxydes ;</li> <li>o concentrations faibles sur eaux brutes (maximum 2 µg/l en plomb et 2,4 µg/l en arsenic) qui diminuent encore sur eaux filtrées à 0,45 µm.</li> </ul> <p>Teneurs modérées à élevées dans les sédiments, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 360 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 530 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 1 % en zinc ;</li> <li>o 50% en fer.</li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations	<p>Pose de panneau de signalisation « eau non contrôlée »</p>
				<p>Galerie en amont dans le versant</p> <p>Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o débit quasi nul en étiage, et inférieur à 1 m<sup>3</sup>/h en hautes-eaux ;</li> <li>o pH de 4 en période pluvieuse et conductivité modérée ;</li> <li>o présence d'oxyhydroxydes ;</li> <li>o concentrations élevées sur eaux brutes (11 µg/l en plomb et 19 µg/l en arsenic) qui diminuent sur eaux filtrées à 0,45 µm (4 µg/l en plomb et 1 µg/l en arsenic) → éléments surtout sous forme particulaire ;</li> <li>o concentration élevée en cadmium sur eaux brutes (8 µg/l) qui restent identiques sur eaux filtrées à 0,45 µm → cadmium sous forme dissoute.</li> </ul> <p>Drainage minier acide expliqué par la présence de sulfures (pyrite) liée à la minéralisation jointe au caractère non carbonaté des eaux.</p>	Supprimer l'exposition directe des populations	<p>Pose de panneau de signalisation « eau non contrôlée »</p>
Mine du Pradinas	Mialet	Travaux miniers et haldes	V26, V27, V28	<p><u>Au niveau de la plateforme en pied de versant</u> :</p> <p>Haldes de matériaux de creusement et d'exploitation de granulométrie hétérogène. Matériaux à nu.</p> <p>Surface (dépôt et plateforme) estimée : 2 000 à 3 000 m<sup>2</sup>.</p> <p>Dépôt sensible à l'érosion par la pluie.</p> <p><u>En amont dans le versant</u> :</p> <p>Haldes de matériaux de creusement et d'exploitation de granulométrie hétérogène. Matériaux à nu.</p> <p>Surface (dépôt et plateforme) estimée : 500 à 800 m<sup>2</sup>.</p> <p>Dépôt sensible à l'érosion par la pluie.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 6 300 mg/kg à 6% en plomb ;</li> <li>o 540 à 6 800 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 5 100 mg/kg à 5% en zinc ;</li> <li>o 13 mg/kg en mercure ;</li> <li>o 6 à 13% en fer.</li> </ul> <p>Teneur modérée : antimoine (138 mg/kg).</p>	Maitriser la source de contamination	<p><u>Faisabilité technico-économique à étudier dans un plan de gestion</u></p> <p><u>Veiller à la bonne gestion des eaux de ruissellement</u></p>
				<p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 6 300 mg/kg à 6% en plomb ;</li> <li>o 540 à 6 800 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 5 100 mg/kg à 5% en zinc ;</li> <li>o 13 mg/kg en mercure ;</li> <li>o 6 à 13% en fer.</li> </ul> <p>Teneur modérée : antimoine (138 mg/kg).</p>	Supprimer l'exposition directe des populations	<p>Interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, activité de loisir type VTT ou quad, etc.)</p> <p>Interdire la fréquentation de la zone (par exemple pose d'une clôture, d'une haie d'épineux, de panneaux de signalisation)</p> <p>Interdire tout projet immobilier</p>



SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	OBJECTIF A ATTEINDRE	RECOMMANDATIONS ENVIRONNEMENTALES
		Emergence minière	-	<p>Galerie aval du Pradinas.</p> <p>Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o débit inférieur à 0,1 m<sup>3</sup>/h en étiage, et inférieur à 2 m<sup>3</sup>/h en hautes-eaux ;</li> <li>o pH variant de 6,3 à 8 et conductivité modérée ;</li> <li>o en étiage, concentrations très élevées sur eaux brutes (460 µg/l en plomb, 35 µg/l en cadmium, 40 µg/l en arsenic, 10 mg/l en fer et en zinc) qui restent élevées sur eaux filtrées à 0,45 µm (25 µg/l en arsenic, 20 µg/l en cadmium et 5 mg/l en zinc) → éléments sous forme particulaire et dissoute ;</li> <li>o en hautes-eaux, concentrations élevées sur eaux brutes (45 µg/l en plomb, 21 µg/l en cadmium et 7 mg/l en zinc) qui décroissent sur eaux filtrées à 0,45 µm (3 µg/l en plomb, 17 µg/l en cadmium et 5 mg/l en zinc). Teneurs faibles en arsenic sur brut et filtré.</li> </ul> <p>Le caractère carbonaté des eaux peut expliquer la neutralité du pH par effet tampon.</p> <p>Teneurs élevées dans les sédiments, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 2 000 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 400 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 77 mg/kg de cadmium ;</li> <li>o 4 % en zinc ;</li> <li>o 10% en fer.</li> </ul>	Supprimer l'exposition des populations	Pose de panneau de signalisation « eau non contrôlée »

Tableau 74 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires et environnementaux concernant la concession des Adams





SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	OBJECTIF A ATTEINDRE	RECOMMANDATIONS ENVIRONNEMENTALES
Carnoulès	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Dépôt de résidus de traitement – ancienne laverie	V17, V18	Dépôt de résidus de traitement	Géré par l'ADEME	
			V29	Dépôt de matériaux hétérogènes très fins à grossiers. Matériaux à nu. Dépôt sensible à l'érosion par la pluie et au sapement hydraulique. Volume résiduel de quelques centaines de mètres cubes. Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>1,2% en plomb ;</li> <li>2 000 à 3 000 mg/kg en arsenic ;</li> <li>450 à 2 600 mg/kg en zinc.</li> </ul>	Maitriser la source de contamination	<i>Faisabilité technico-économique à étudier dans un plan de gestion.</i> <i>Veiller à la bonne gestion des eaux de ruissellement.</i> <i>Stabiliser le dépôt</i>
		V39, V40, V41, V43, V44, V52, V53, V54, V55	Indices de travaux : plateformes, fronts de taille, galeries, zones de grattages et dépôts de matériaux de creusement et d'extraction. Matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu. Surface de la zone des travaux et dépôts : 40 hectares. Dépôt sensible à l'érosion par la pluie. Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>300 mg/kg à 20% en plomb ;</li> <li>100 mg/kg à 1,3% en arsenic ;</li> <li>50 à 4 200 mg/kg en zinc ;</li> <li>15 mg/kg en mercure ;</li> <li>1 à 17% en fer.</li> </ul> Teneur modérée en antimoine (137 mg/kg).	Maitriser la source de contamination	<i>Faisabilité technico-économique à étudier dans un plan de gestion</i> <i>Veiller à la bonne gestion des eaux de ruissellement</i>	
		-	Perte et résurgence au niveau des anciennes MCO. Caractéristiques : <ul style="list-style-type: none"> <li>aucun écoulement en étiage, et débit estimé entre 5 et 10 m<sup>3</sup>/h en période pluvieuse (mars 2018) ;</li> <li>pH très acide (2,6 à 3,6) et conductivité très élevée ;</li> <li>concentrations très élevées sur eaux brutes (422 µg/l en plomb, 77 µg/l en cadmium, 645 µg/l en arsenic, 14 mg/l en zinc) qui restent similaires sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments essentiellement sous forme dissoute ;</li> <li>phénomène de drainage minier acide.</li> </ul> Teneurs élevées dans les sédiments, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>4 600 mg/kg en plomb ;</li> <li>4 110 mg/kg en arsenic.</li> </ul>	Supprimer l'exposition des populations	Pose de panneau de signalisation « eau non contrôlée »	
Nord-est Carnoulès	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Travaux miniers et dépôts de matériaux	V32, V33, V34, V35, V36	Indices de travaux : galeries, dépôt de matériaux. Matériaux fins et à nu sur le dépôt. Surface du dépôt : environ 100 m <sup>2</sup> . Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>5,6% en plomb ;</li> <li>1 200 mg/kg en arsenic ;</li> <li>830 mg/kg en zinc.</li> </ul>	Maitriser la source de contamination	<i>Faisabilité technico-économique à étudier dans un plan de gestion (retrait du dépôt, confinement,...)</i>
Nord-est Carnoulès	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Emergences minières (exutoire : ruisseau du Reigous)	-	<u>Emergence 1.</u> Caractéristiques : <ul style="list-style-type: none"> <li>écoulement en étiage inférieur à 0,1 m<sup>3</sup>/h, et débit inférieur à 2 m<sup>3</sup>/h en période pluvieuse (mars 2018) ;</li> <li>pH de 4,9 et conductivité élevée en étiage, pH de 5,5 et conductivité faible en hautes-eaux ;</li> <li>en étiage, concentrations faibles sur eaux brutes (1 µg/l en plomb, 1 µg/l en cadmium et 4 µg/l en arsenic) qui diminuent sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments surtout sous forme particulaire ;</li> <li>en hautes-eaux, concentrations modérées à fortes sur eaux brutes (7 µg/l en plomb, 1 µg/l en cadmium et 10 µg/l en arsenic) qui diminuent en partie sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments sous forme particulaire et dissoute.</li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations	Pose de panneau de signalisation « eau non contrôlée »
				<u>Emergence 2.</u> Caractéristiques : <ul style="list-style-type: none"> <li>aucun écoulement en étiage, et débit inférieur à 1 m<sup>3</sup>/h en période pluvieuse (mars 2018) ;</li> <li>pH très acide de 3,2 et conductivité modérée ;</li> <li>concentrations élevées sur eaux brutes (6 µg/l en plomb, 3 µg/l en cadmium, 19 µg/l en arsenic et 3 mg/l en cuivre) qui restent similaires sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments essentiellement sous forme dissoute ;</li> <li>présence d'oxyhydroxydes.</li> </ul> Teneurs élevées dans les sédiments, de l'ordre de : <ul style="list-style-type: none"> <li>260 mg/kg en plomb ;</li> <li>2 100 mg/kg en arsenic ;</li> <li>100 mg/kg en antimoine ;</li> <li>910 mg/kg en cuivre.</li> <li>33% en fer.</li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations	Pose de panneau de signalisation « eau non contrôlée »



SECTEUR	COMMUNE	TYPE	N°EDA	SOURCE DE CONTAMINATION RELEVÉE	OBJECTIF A ATTEINDRE	RECOMMANDATIONS ENVIRONNEMENTALES
Nord-est Carnoulès	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Emergences minières (exutoire : ruisseau du Reigous)	-	<p><u>Emergence 3. Caractéristiques :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o aucun écoulement en étiage, et débit inférieur à 2 m<sup>3</sup>/h en période pluvieuse (mars 2018) ;</li> <li>o pH de 4,2 et conductivité faible ;</li> <li>o concentrations très élevées sur eaux brutes (200 µg/l en plomb, et 5 µg/l en arsenic) qui restent similaires sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments surtout sous forme dissoute.</li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations	Pose de panneau de signalisation « eau non contrôlée »
Les Sognes - Mas d'Alzon	Saint-Jean-du-Pin	Emergence minière (exutoire le ruisseau de l'Alzon)	-	<p>Galerie la plus en aval du versant. Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o aucun écoulement en étiage (eau dans bassin uniquement) et débit inférieur à 2 m<sup>3</sup>/h en période pluvieuse (mars 2018) ;</li> <li>o pH de 3,2 et conductivité très élevée en étiage, pH de 3,2 et conductivité modérée en hautes-eaux ;</li> <li>o en étiage, concentration très élevée sur eaux brutes en plomb (1 mg/l) et faible en arsenic (1 µg/l). La concentration en plomb ne diminue pas sur eau filtrée à 0,45 µm → éléments surtout sous forme dissoute ;</li> <li>o en hautes-eaux, concentrations très élevées sur eaux brutes (1,3 mg/l en plomb et 77 µg/l en arsenic) qui restent similaires sur eaux filtrées à 0,45 µm → éléments surtout sous forme dissoute.</li> </ul> <p>Teneurs élevées dans les sédiments, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 2 000 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 700 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 182 mg/l en antimoine ;</li> <li>o 3 g/kg de soufre total.</li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations	Pose de panneau de signalisation « eau non contrôlée »
Ravin des Combettes	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Travaux miniers et dépôts de matériaux	V38, V42	<p>Indices de travaux : galeries et dépôts de matériaux de creusement et d'extraction.</p> <p><u>Dépôt en aval du ravin :</u></p> <p>Matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu.</p> <p>Surface du dépôt : 1 000 m<sup>2</sup>.</p> <p>Dépôt sensible à l'érosion par la pluie.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 400 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 500 mg/kg arsenic ;</li> <li>o 1 000 mg/kg en zinc.</li> </ul>	Maitriser la source de contamination	<u>Faisabilité technico-économique à étudier dans un plan de gestion</u> <u>Veiller à la bonne gestion des eaux de ruissellement.</u> <u>Stabiliser les dépôts</u>
				<p><u>Dépôts en amont du ravin :</u></p> <p>Matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu.</p> <p>Zone concernée par les dépôts : 3 000 m<sup>2</sup></p> <p>Dépôts sensibles à l'érosion par la pluie.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 2 850 mg/kg à 4% en plomb ;</li> <li>o 1 100 à 3 200 mg/kg en arsenic ;</li> <li>o 28 à 460 mg/kg en cadmium ;</li> <li>o 40 à 130 mg/kg en mercure (origine naturelle liée à la minéralisation) ;</li> <li>o 400 mg/kg à 6% en zinc ;</li> <li>o 410 mg/kg en antimoine.</li> </ul>	Réduire l'exposition directe des populations	Interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, activité de loisir type VTT ou quad, etc.) Réduire la fréquentation de la zone (par exemple pose de panneaux de signalisation) Interdire tout projet immobilier
Mine Lacoste	Généralgues	Travaux de surface et dépôts de matériaux	V60	<p>Indices de travaux : plateforme, zone de creusement et dépôt de matériaux de creusement et d'extraction.</p> <p>Matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu.</p> <p>Surface concernée par les travaux et dépôt : 11 000 m<sup>2</sup>.</p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 380 à 6 300 mg/kg en plomb ;</li> <li>o 200 à 985 mg/kg arsenic ;</li> <li>o 70 à 470 mg/kg en zinc ;</li> <li>o 17 mg/kg en mercure.</li> </ul> <p>Teneur modérée : antimoine (250 mg/kg).</p>	Supprimer l'exposition directe des populations	Interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, activité de loisir type VTT ou quad, etc.) Interdire la fréquentation de la zone (par exemple pose d'une clôture, d'une haie d'épineux, de panneaux de signalisation d'interdiction)
Mas Icard	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Travaux de surface et dépôt de matériaux	-	<p>Indices de travaux : plateforme, front de taille et dépôt de matériaux de creusement et d'extraction.</p> <p>Matériaux fins à grossiers. Matériaux à nu.</p> <p>Surface concernée par les travaux et dépôt : 4 000 m<sup>2</sup></p> <p>Teneurs importantes en métaux et métalloïdes, de l'ordre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 1 350 mg/kg à 15% en plomb ;</li> <li>o 80 à 6 000 mg/kg arsenic ;</li> <li>o 55 à 600 mg/kg en zinc.</li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations	Interdire le remaniement des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, emprunts, activité de loisir type VTT ou quad, etc.) Interdire la fréquentation de la zone (par exemple pose d'une clôture, d'une haie d'épineux, de panneaux de signalisation d'interdiction)

Tableau 75 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires et environnementaux concernant la concession et le PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille



## 1.5 Recommandations relatives aux autres milieux et voies d'exposition

### 1.5.1 Usages des espaces privés

#### Jardinage et fréquentation de terrains d'agrément privés

Les terrains investigués dans le cadre du volet sanitaire correspondent à des jardins d'agrément, potagers, vergers, friches, zones boisées et champs.

Les activités de jardinage, dans le cadre d'un jardin potager ou de l'entretien d'un terrain d'agrément, présentent des risques d'ingestion de particules de sols contaminés. Pour les enfants, les activités de jeux sur les terrains d'agrément présentent des risques similaires.

Les résultats des calculs de risques montrent la présence de teneurs en métaux et métalloïdes (arsenic et plomb notamment) incompatibles avec les usages recensés pour de nombreux terrains.

#### Concernant les terrains hors jardins potagers

Sur ces terrains, GEODERIS recommande la mise en place de tout ou partie des mesures de gestion suivantes :

##### MESURES DE GESTION SIMPLES (HORS RECOMMANDATIONS GENERALES)

- **limiter le transfert des contaminations :**
  - **maintenir/favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés**
  - **éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.)**

##### MESURES DE GESTION A LONG TERME

- **supprimer ou maîtriser les sources de pollution**
  - **réflexion à engager autour d'un plan de gestion**
  - **limiter le passage dans certaines zones**
- **supprimer l'exposition**
  - **des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées**
  - **en limitant le passage des vélos/motos sur les zones pouvant conduire à soulever de la poussière**

Pour le foyer SDA1, les teneurs en métaux et métalloïdes identifiées dans les sols restent faibles (<55 mg/kg en arsenic, <200 mg/kg en plomb et en zinc) et comprises dans la gamme ELT. L'état des milieux étant considéré non dégradé au regard de la méthodologie IEM, aucune EQRS n'a été réalisée pour ceux-ci.

Pour les foyers SDA6 et SDA7, les teneurs en métaux et métalloïdes identifiées dans les jardins d'agrément sont faibles à fortes et comprises pour la plupart dans la gamme ELT. L'EQRS, réalisée pour les substances dépassant la gamme ELT, à savoir le manganèse et zinc, ne montre pas d'incompatibilité usages/milieux.

### Concernant les jardins potagers

Parmi les terrains investigués, et au regard des usages considérés, 8 jardins potagers présentent des teneurs en métaux et métalloïdes (essentiellement arsenic et plomb) incompatibles avec une fréquentation régulière par des usages enfants et adultes. Les foyers concernés sont SFDP2, SFDP3, SFDP5, GEN4, GEN5, STJP1 (jardins actuel et futur jardin sur faisce) et STJP2.

**Pour ces jardins potagers impactés, il est préconisé :**

- **la mise en place de culture hors sol (pots, bacs, etc.) ;**
- **de limiter l'exposition des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol de ces jardins potagers.**

Les jardins potagers SFDP6, SFDP8, SDA1, SDA5, SDA11 présentent des teneurs qui restent dans les gammes ELT. L'état des milieux étant considéré non dégradé au regard de la méthodologie IEM, aucune EQRS n'a été réalisée pour ceux-ci.

À noter également que l'ancien jardin potager du foyer SDA11 présente des teneurs très élevées en plomb et en arsenic (respectivement 3 250 mg/kg et 491 mg/kg). Le terrain est aujourd'hui abandonné et n'est plus cultivé.

Les jardins potagers SDA3 et SDA8 sont compatibles pour les adultes avec les teneurs en plomb observées dans les sols.

Par ailleurs, au vu des teneurs identifiées dans les sols des berges de la rivière Amous, **il est préconisé d'étendre les recommandations à l'ensemble des potagers qui pourraient exister au droit des zones inondables en bordure du cours d'eau depuis la confluence avec le Reigous et jusqu'à la confluence avec le Gardon d'Anduze.** La création de nouveaux potagers, cultures ou aménagements de nature à créer une exposition aux particules du sol sur ces zones serait par ailleurs à proscrire. Des investigations complémentaires pourraient être réalisées afin de déterminer si ces mesures doivent également être appliquées le long des berges du Gardon d'Anduze.

### Remarques générales

GEODERIS recommande d'appliquer ces recommandations à toute parcelle sur laquelle la présence de matériau issu des dépôts de résidus est connue ou suspectée.

En prévision de potentiel changements d'usages, des scénarios dits « génériques » ont été étudiés pour chaque foyer, à savoir la présence d'un enfant de moins de 6 ans dans une résidence permanente. Ce cas est le plus sensible qui puisse être envisagé. Les résultats des calculs de risque mettent en évidence de nombreuses incompatibilités usage/milieu, pour ces *scenarii*.

Enfin, et pour rappel, on notera que les sols de la zone d'étude peuvent contenir des teneurs naturellement conséquentes en éléments trace métalliques. Ces teneurs peuvent potentiellement engendrer des problématiques sanitaires sur les usages des sols et de l'eau, par contact direct ou par transfert dans les différents milieux d'exposition, sans lien direct avec les anciens travaux miniers.

### **Consommation de végétaux autoproduits**

Parmi les 15 jardins potagers au sein desquels des végétaux ont été analysés, 2 jardins potagers comportent au moins un échantillon dépassant les valeurs réglementaires en cadmium et/ou plomb<sup>44</sup>.

Afin d'affiner ces résultats, des calculs de risque sanitaire ont été mis en œuvre sur la base de paramètres d'exposition définis au regard des usages constatés.

À l'issue des calculs de risques sanitaires, 10 jardins potagers ayant fait l'objet de prélèvements de végétaux ne sont pas compatibles avec une consommation régulière par des adultes et enfants pour les *scenarii* considérés.

Les végétaux engendrant des incompatibilités sont le thym (foyers SFDP5, SFDP6, SDA2), le romarin (SFDP5, SDA10 et STJP1), la menthe (SDA5 et SDA7), la verveine (SDA8 et SDA11), la figue (SDA9), et enfin l'aubergine et la pomme de terre (STJP1).

**Par conséquent et dans une approche sécuritaire, il est recommandé de limiter la consommation des légumes issus de ces potagers par des jeunes enfants.**

Aucun scénario générique (enfant < 6 ans en résidence permanente) n'a été étudié pour la voie d'exposition « consommation de végétaux autoproduits ».

### **Consommation des eaux de souterraines**

Parmi les 17 puits, forages et sources investigués dans le cadre de l'étude, 9 présentent des teneurs en métaux et métalloïdes supérieures à la limite de potabilité définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007. Les dépassements concernent notamment l'arsenic, le plomb, et dans une moindre mesure, le fer et l'antimoine.

**Pour les foyers concernés, il est recommandé pour la consommation (eaux de boisson, cuisson des aliments) et l'arrosage des jardins potagers de ne pas utiliser l'eau des puits et forages impactés.**

Les Tableaux 76 à 81 suivants synthétisent les recommandations sanitaires pour les usages des espaces privés recensés.

---

<sup>44</sup> Teneurs maximales autorisées dans les denrées alimentaires pour leur mise sur le marché - Règlement européen CE n°1881/2006 de la Commission du 19 décembre 2006, modifié par les règlements CE n°835/2011 du 19 août 2011 et CE n°1259/2011 du 2 décembre 2011.





Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'IEM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)	Recommandations de gestion relatives aux enjeux sanitaires	
		Scénario	Cible	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire		Mesures préconisées (hors recommandations générales)	Objectif
THOIRAS	THO1	Terrain en friche - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour l'arsenic (40 µg/l), le fer (1,1 mg/l) et le manganèse (324 µg/l)	<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.) ▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion ▫ limiter le passage dans certaines zones - supprimer l'exposition ▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées ▫ en limitant le passage des vélos/motos sur les zones pouvant conduire à soulever de la poussière ▫ ne pas consommer l'eau des puits et sources privés (boisson et cuisson des aliments) contaminés	Supprimer l'exposition directe des populations
		Forêt - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Plomb : 1 800 mg/kg			
		Ancien verger - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 456 mg/kg Cadmium : 30 mg/kg Plomb : 4 080 mg/kg			
	THO2	Habitation sur dépôt, centre - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Antimoine : 52 mg/kg Arsenic : 496 mg/kg Cadmium : 75 mg/kg Plomb : 13 200 mg/kg	Concentrations inférieures aux valeurs réglementaires	L'état des eaux ne fait pas l'objet de restriction de leur usage. <b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion - supprimer l'exposition ▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux ▫ en limitant le passage des vélos/motos sur les zones de dépôts ainsi que les grands rassemblements pouvant conduire à soulever de la poussière ▫ ne pas cultiver de végétaux dans des potagers présentant des sols fortement impactés	Supprimer l'exposition directe des populations
Habitation sur dépôt, proche ancienne caravane - Activités ou jeux en extérieur		Adulte	Etat incompatible	Antimoine : 97 mg/kg Arsenic : 7 560 mg/kg Cadmium : 25 mg/kg Plomb : 678 mg/kg				

Tableau 76 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires concernant les parcelles étudiées sur la commune de Thoiras



Commune	Foyer	Scénarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'EM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)	Recommandations de gestion relatives aux enjeux sanitaires	
		Scénario	Cible	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire		Mesures préconisées (hors recommandations générales)	Objectif
SAINT-FELIX-DE-PALLIERES	SFDP1	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Antimoine : 75 mg/kg Arsenic : 362 mg/kg Plomb : 1 560 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau	<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▪ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▪ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.). ▪ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▪ recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche - supprimer l'exposition ▪ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux	Supprimer l'exposition directe des populations
	SFDP2	Ancien jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Plomb : 2 370 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau	<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▪ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▪ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.). ▪ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▪ réflexion à engager autour d'un plan de gestion ▪ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche - supprimer l'exposition ▪ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées ▪ ne pas cultiver de végétaux ou d'herbes aromatiques dans des sols fortement impactés (sauf à recouvrir par un apport de terre saine de 50 cm ou cultiver en bac hors-sol) ▪ ne pas consommer les herbes aromatiques	Supprimer l'exposition directe des populations
		Zone fil à linge - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Plomb : 8 030 mg/kg			
		Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 382 mg/kg Cadmium : 15 mg/kg Plomb : 3 980 mg/kg			
		Zone barbecue - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Antimoine : 72 mg/kg Arsenic : 324 mg/kg Plomb : 11 800 mg/kg			
	SFDP3	Ancien jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 492 mg/kg Plomb : 6 810 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau	<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▪ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▪ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.). ▪ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▪ réflexion à engager autour d'un plan de gestion ▪ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche - supprimer l'exposition ▪ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux et des jardins potagers les plus impactées ▪ ne pas cultiver de végétaux dans les potagers présentant des sols fortement impactés (sauf à recouvrir par un apport de terre saine de 50 cm ou cultiver en bac hors-sol) ▪ ne pas consommer les herbes aromatiques	Supprimer l'exposition directe des populations
		Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Antimoine : 63 mg/kg Arsenic : 619 mg/kg Plomb : 4 490 mg/kg			
		Ingestion de végétaux (pomme de terre)	Adulte	Etat compatible	Aucune			



Commune	Foyer	Scénarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'EM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)	Recommandations de gestion relatives aux enjeux sanitaires			
		Scénario	Cible	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire		Mesures préconisées (hors recommandations générales)	Objectif		
	SFDP4	Jardin d'agrément devant et aire de jeux enfants - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 308 mg/kg Plomb : 2 600 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau	<p><b>La consommation des prunes ne pose pas de problème</b></p> <p><b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements</li> <li>- limiter le transfert <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés</li> <li>▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.).</li> <li>▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.)</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Mesures de gestion à long terme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- supprimer ou maîtriser les sources de pollution <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion</li> <li>▫ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche</li> </ul> </li> <li>- supprimer l'exposition <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées</li> <li>▫ ne pas cultiver de végétaux dans les potagers présentant des sols fortement impactés (sauf à recouvrir par un apport de terre saine de 50 cm ou cultiver en bac hors-sol)</li> </ul> </li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations		
			Adulte							
		Jardin d'agrément derrière, piscine - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 415 mg/kg Cadmium : 20 mg/kg Plomb : 13 300 mg/kg					
			Adulte							
		Jardin en contre-bas - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 371 mg/kg Cadmium : 24 mg/kg Plomb : 6 960 mg/kg					
			Adulte							
		Ingestion de végétaux (prune)	Enfant 3-6 ans	Etat compatible	Aucune					
			Adulte							
	SFDP5	Jardin d'agrément devant la maison - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Antimoine : 97 mg/kg Arsenic : 383 mg/kg Fer : 90 700 mg/kg Plomb : 12 700 mg/kg			Pas de prélèvement d'eau	<p><b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements</li> <li>- limiter le transfert <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés</li> <li>▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.).</li> <li>▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.)</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Mesures de gestion à long terme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- supprimer ou maîtriser les sources de pollution <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion</li> <li>▫ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche</li> </ul> </li> <li>- supprimer l'exposition <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées</li> <li>▫ ne pas cultiver de végétaux dans les potagers présentant des sols fortement impactés (sauf à recouvrir par un apport de terre saine de 50 cm ou cultiver en bac hors-sol)</li> <li>▫ ne pas consommer les herbes aromatiques</li> </ul> </li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations
		Ancien jardin potager en contre-bas - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 374 mg/kg Cadmium : 20 mg/kg Plomb : 7 940 mg/kg					
Jardin d'agrément autour et derrière de la maison - Activités ou jeux en extérieur		Adulte	Etat incompatible	Antimoine : 148 mg/kg Arsenic : 368 mg/kg Fer : 84 100 mg/kg Plomb : 20 100 mg/kg						
Terrain escarpé montagneux - Activités ou jeux en extérieur		Adulte	Etat incompatible	Antimoine : 94 mg/kg Plomb : 11 000 mg/kg						
Ingestion de végétaux (thym, romarin)		Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,3 mg/kg MF Plomb : 3,8 mg/kg MF						
SAINT-FELIX-DE-PALLIERES	SFDP6	Proche habitation, forêt et zone de jeux - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		Pas de dépassement des valeurs réglementaires	<p>L'état des eaux ne fait pas l'objet de restriction de leur usage.</p> <p><b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements</li> <li>- limiter le transfert <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés</li> <li>▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.).</li> <li>▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.)</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Mesures de gestion à long terme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- supprimer ou maîtriser les sources de pollution <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion</li> </ul> </li> <li>- supprimer l'exposition <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux et des jardins potagers les plus impactés</li> <li>▫ dans les jardins potagers en cultivant hors sol (pots, bacs, etc.) ou par recouvrement des sols impactés avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm)</li> <li>▫ ne pas consommer les herbes aromatiques</li> </ul> </li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations		
		Zone peu utilisée proche dépôt - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Plomb : 1 990 mg/kg					
		Ancien potager - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée						
		Ingestion de végétaux (figue, thym, romarin)	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,99 mg/kg MF Plomb : 18 mg/kg MF					



Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'IEM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)	Recommandations de gestion relatives aux enjeux sanitaires	
		Scénario	Cible	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire		Mesures préconisées (hors recommandations générales)	Objectif
	SFDP7	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Cadmium : 27,4 mg/kg Plomb : 4 530 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau	<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert <i>▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés</i> <i>▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.).</i> <i>▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.)</i> <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution <i>▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion</i> <i>▫ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche</i> - supprimer l'exposition <i>▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées</i>	Supprimer l'exposition directe des populations
		Poulailler - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Antimoine : 52 mg/kg Plomb : 1 160 mg/kg			
	SFDP8	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Plomb : 715 mg/kg	Pas de dépassement des valeurs réglementaires	L'état des milieux investigués est compatible avec les usages qui en sont faits et concernant l'ancien jardin potager, L'état des milieux investigués ne présente pas de dégradation par rapport à l'environnement local témoin. <i>Dans le cadre d'un scénario générique, l'évaluation des risques a permis de conclure que pour les enfants de 1-3 ans résidents (234 j/an), le jeu en extérieur est non compatible avec la qualité du sol.</i> L'état des eaux ne fait pas l'objet de restriction de leur usage.	-
				Etat compatible	Aucune			
		Ancien potager - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée				

Tableau 77 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires concernant les parcelles étudiées sur la commune de Saint-Félix-de-Pallières





Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'IEM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)	Recommandations de gestion relatives aux enjeux sanitaires	
		Scénario	Cible	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire		Mesures préconisées (hors recommandations générales)	Objectif
CORBES	COR1	Zone devant la maison, proche nouvelles cabanes - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 367 mg/kg Plomb : 1 170 mg/kg	Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour l'arsenic (14 µg/l)	<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▫ <i>maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés</i> ▫ <i>préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.).</i> ▫ <i>éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.)</i> <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▫ <i>réflexion à engager autour d'un plan de gestion</i> - supprimer l'exposition ▫ <i>des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées</i> ▫ <i>éviter de consommer l'eau de source (boisson et cuisson des aliments) contaminée d'ici la réalisation de nouveaux contrôles de sa qualité, En cas de dépassement systématiques, il conviendra de se prononcer sur l'interdiction de consommer cette eau.</i>	Supprimer l'exposition directe des populations
	COR2	Zone sur faïsse derrière habitations - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 432 mg/kg Cadmium : 14 mg/kg Plomb : 1 380 mg/kg		<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▫ <i>maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés</i> ▫ <i>préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.).</i> ▫ <i>éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.)</i> <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▫ <i>réflexion à engager autour d'un plan de gestion</i> - supprimer l'exposition ▫ <i>des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées</i> ▫ <i>éviter de consommer l'eau de source (boisson et cuisson des aliments) contaminée d'ici la réalisation de nouveaux contrôles de sa qualité, En cas de dépassement systématiques, il conviendra de se prononcer sur l'interdiction de consommer cette eau.</i>	Supprimer l'exposition directe des populations

Tableau 78 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires concernant les parcelles étudiées sur la commune de Corbès



Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'EM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)	Recommandations de gestion relatives aux enjeux sanitaires	
		Scénario	Cible	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire		Mesures préconisées (hors recommandations générales)	Objectif
SAINT-SEBASTIEN-D'AIGRE FEUILLE	SDA1	Jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 6-11 ans	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		Concentrations inférieures aux valeurs réglementaires	L'état des milieux investigués ne présente pas de dégradation par rapport à l'environnement local témoin. L'état des eaux ne fait pas l'objet de restriction de leur usage.	
			Adulte					
		Jardin potager / serre - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 6-11 ans	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée				
			Adulte					
	Jardin d'agrément, zone de jeux des enfants - cabane	Enfant 6-11 ans	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée					
		Adulte						
	Ingestion de végétaux (salade, tomate, melon, romarin, courgette, pomme, carotte, concombre)	Enfant 6-11 ans	Compatible	Aucune				
		Adulte						
	SDA2	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 414 mg/kg Cadmium : 19 mg/kg Plomb : 1 520 mg/kg	Concentrations inférieures aux valeurs réglementaires	L'état des eaux ne fait pas l'objet de restriction de leur usage. <b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▫ favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.). ▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution pour le jardin et l'accès à la maison ▫ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche - supprimer l'exposition ▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées ▫ dans les jardins potagers en cultivant hors sol (pots, bacs, etc.) ou par recouvrement des sols impactés avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ▫ ne pas consommer les herbes aromatiques	Supprimer l'exposition directe des populations
			Adulte					
		Champ d'accès à la source - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée				
			Adulte					
Ingestion de végétaux (romarin, thym, mûres)		Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 0,5 mg/kg MF Plomb : 4,7 mg/kg MF				
		Adulte						
SDA3	Ancien jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat compatible	Aucune	Pas de prélèvement d'eau	L'état des milieux investigués est compatible avec les usages qui en sont faits. Dans le cadre d'un scénario générique, l'évaluation des risques a permis de conclure que pour les enfants de 1-3 ans résidents (234 j/an), le jeu en extérieur est non compatible avec la qualité du sol.	-	
SDA4	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Plomb : 2 030 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau	La qualité des sols du terrain ne permet pas d'y accueillir des résidences. De plus, des travaux d'excavation ou de terrassement sont susceptibles de mobiliser des poussières et des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. Tout nouvel aménagement sur les zones impactées par les activités minières devra être interdit ou soumis à la réalisation d'une étude préalable.	Supprimer l'exposition directe des populations	



Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'EM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)	Recommandations de gestion relatives aux enjeux sanitaires		
		Scénario	Cible	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire		Mesures préconisées (hors recommandations générales)	Objectif	
	SDA5	Ancien jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour l'arsenic (149 µg/l), le fer (2 mg/l), le plomb (434 µg/l) et le manganèse (5 480 µg/l)	<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.). ▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion ▫ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche - supprimer l'exposition ▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées ▫ dans les jardins potagers en cultivant hors sol (pots, bacs, etc.) ou par recouvrement des sols impactés avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ▫ ne pas consommer l'eau des puits et sources privés (boisson et cuisson des aliments) contaminés ▫ ne pas consommer les herbes aromatiques ni la menthe	Supprimer l'exposition directe des populations	
		Zone de pâture des moutons - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Plomb : 1 280 mg/kg				
		Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée					
		Ingestion de végétaux (mûre, figue, prune, raisin, menthe)	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,2 mg/kg MF				
	SDA6	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		Concentrations proches des valeurs réglementaires pour l'arsenic	L'état des milieux investigués est compatible avec les usages qui en sont faits. L'état des eaux ne fait pas l'objet de restriction de leur usage.  <i>Nota Bene : les teneurs naturelles élevées en arsenic (440 mg/kg) et en plomb (857 mg/kg) observées dans le jardin d'agrément peuvent potentiellement engendrer des incompatibilités sanitaires usages/milieux.</i>	-	
		Ingestion de végétaux (raisin)	Adulte	Etat compatible	Aucune				
	SDA7	Jardin d'agrément proche piscine - Activités en extérieur	Adulte	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		Concentrations inférieures aux valeurs réglementaires	L'état des milieux investigués ne présente pas de dégradation par rapport à l'environnement local témoin. L'état des eaux ne fait pas l'objet de restriction de leur usage. Ne pas consommer la menthe.  <i>Nota Bene : les teneurs naturelles élevées en arsenic (152 et 249 mg/kg) et en plomb (905 et 538 mg/kg) observées dans les jardins d'agrément peuvent potentiellement engendrer des incompatibilités sanitaires usages/milieux.</i>	Réduire l'exposition directe des populations	
		Jardin d'agrément en terrasse - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée					
		Ingestion de végétaux (figue, menthe)	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,3 mg/kg MF				
	SDA8	Ancien jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat compatible	Aucune		Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour le manganèse (147 µg/l)	L'état des sols investigués est compatible avec les usages qui en sont faits. <i>Dans le cadre d'un scénario générique, l'évaluation des risques a permis de conclure que pour les enfants de 1-3 ans résidents (234 j/an), le jeu en extérieur est non compatible avec la qualité du sol.</i>  <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer l'exposition ▫ ne pas consommer l'eau du puits du terrain de la montagne (boisson et cuisson des aliments) ▫ ne pas consommer les herbes aromatiques ▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur la zone de montagne ▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) ▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.) dans le bourg de Carnoulès et dans la zone de montagne	Supprimer l'exposition directe des populations
		Zone dans la montagne - Activités ou jeux en extérieur	Générique Adulte et enfant	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée					
		Ingestion de végétaux (figue, verveine, raisin)	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,8 mg/kg MF				



Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'EM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)	Recommandations de gestion relatives aux enjeux sanitaires	
		Scénario	Cible	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire		Mesures préconisées (hors recommandations générales)	Objectif
SAINT-SEBASTIEN-D'AIGRE FEUILLE	SDA9	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Plomb : 1 830 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau	<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.). ▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▫ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche - supprimer l'exposition ▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées ▫ dans les jardins potagers en cultivant hors sol (pots, bacs, etc.) ou par recouvrement des sols impactés avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ▫ limiter la consommation des figues	Supprimer l'exposition directe des populations
		Ingestion de végétaux (figue)	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,1 mg/kg MF			
	SDA10	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Plomb : 1 970 mg/kg	Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour le fer (4 mg/l), le manganèse (3 500 µg/l), l'arsenic (34 µg/l) et le plomb (76 µg/l)	<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle - limiter le transfert ▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.). ▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion - supprimer l'exposition ▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées ▫ ne pas consommer l'eau des puits et sources privés (boisson et cuisson des aliments) contaminés ▫ ne pas consommer les herbes aromatiques	Supprimer l'exposition directe des populations
		Ingestion de végétaux (figue, romarin)	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,15 mg/kg MF			
	SDA11	Jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour l'arsenic (32 µg/l), le fer (0,9 mg/l) et le manganèse (70 µg/l)	L'état du potager investigué ne présente pas de dégradation par rapport à l'environnement local témoin.  <b>Mesures de gestion simples pour le reste du terrain (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.). ▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion pour la zone de l'ancien potager et des faïsses successives ainsi que pour le terrain de pétanque et la faïsse sur l'autre versant - supprimer l'exposition ▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux et du terrain de pétanque ▫ ne pas consommer l'eau des puits (boisson et cuisson des aliments) contaminés ▫ ne pas consommer les herbes aromatiques (verveine)	Supprimer l'exposition directe des populations (résidents permanents et clients)
		Terrain de pétanque - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 622 mg/kg Plomb : 3 290 mg/kg			
			Adulte					
		Terrain abandonné (ancien potager) - Activités ou jeux en extérieur	Générique Adulte et enfant	Etat incompatible	Plomb : 3 250 mg/kg			
		Terrain abandonné (faïsses) - Activités ou jeux en extérieur	Générique Adulte et enfant	Etat incompatible	Plomb : 2 020 mg/kg			
		Faïsse sur l'autre versant - projet d'aménagement - Activité - jeu en extérieur	Générique Adulte et enfant	Etat incompatible	Plomb : 1 410 mg/kg			
	Ingestion de végétaux (tomate, verveine)	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 0,2 mg/kg MF				





Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'EM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)	Recommandations de gestion relatives aux enjeux sanitaires	
		Scénario	Cible	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire		Mesures préconisées (hors recommandations générales)	Objectif
	SDA12	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans  Adulte	Etat incompatible	Antimoine : 68 mg/kg Plomb : 6 040 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau	<p><b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements</li> <li>- limiter le transfert <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés</li> <li>▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.).</li> <li>▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.)</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Mesures de gestion à long terme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- supprimer ou maîtriser les sources de pollution <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche</li> </ul> </li> <li>- supprimer l'exposition <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées</li> </ul> </li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations
	SDA13	Jardin d'agrément proche piscine - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans  Adulte	Milieu non dégradé au regard des ELT. EQRS non réalisée		Pas de prélèvement d'eau	<p>L'état du jardin investigué proche de la maison et de la piscine ne présente pas de dégradation par rapport à l'environnement local témoin.</p> <p><i>Nota Bene : les teneurs naturelles élevées en arsenic (87 mg/kg) et en plomb (244 mg/kg) observées dans le jardin d'agrément peuvent potentiellement engendrer des incompatibilités sanitaires usages/milieux.</i></p> <p><b>Mesures de gestion simples pour le reste du terrain (hors recommandations générales)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements</li> <li>- limiter le transfert <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés</li> <li>▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.).</li> <li>▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.)</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Mesures de gestion à long terme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- supprimer ou maîtriser les sources de pollution <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion</li> <li>▫ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche</li> </ul> </li> <li>- supprimer l'exposition <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux et des jardins potagers les plus impactés</li> </ul> </li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations
Jardin d'agrément, faïsse intermédiaire proche maison - Activités ou jeux en extérieur		Enfant 3-6 ans  Adulte	Etat incompatible	Plomb : 480 mg/kg				
Jardin d'agrément, faïsse proche rivière - Activités ou jeux en extérieur		Enfant 3-6 ans  Générique adulte	Etat incompatible	Arsenic : 1 230 mg/kg Plomb : 3 470 mg/kg				
	SDA15	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Antimoine : 320 mg/kg Plomb : 1 610 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau	<p><b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements</li> <li>- limiter le transfert <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés</li> <li>▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.).</li> <li>▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.)</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Mesures de gestion à long terme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- supprimer ou maîtriser les sources de pollution <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion</li> <li>▫ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche</li> </ul> </li> <li>- supprimer l'exposition <ul style="list-style-type: none"> <li>▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux et des jardins potagers les plus impactés</li> </ul> </li> </ul>	Supprimer l'exposition directe des populations



Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'EM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)	Recommandations de gestion relatives aux enjeux sanitaires	
		Scénario	Cible	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire		Mesures préconisées (hors recommandations générales)	Objectif
	SDA16	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 218 mg/kg Plomb : 1 090 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau	<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.). ▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion ▫ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche - supprimer l'exposition ▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées	Supprimer l'exposition directe des populations
	SDA17	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 409 mg/kg Plomb : 3 140 mg/kg		<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.). ▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion ▫ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche - supprimer l'exposition ▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées	Supprimer l'exposition directe des populations
		Champ - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 236 mg/kg Plomb : 2 200 mg/kg			

Tableau 79 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires concernant les parcelles étudiées sur la commune de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille



Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'IEM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)	Recommandations de gestion relatives aux enjeux sanitaires	
		Scénario	Cible	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire		Mesures préconisées (hors recommandations générales)	Objectif
SAINT-JEAN-DU-PIN	STJP1	Jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 214 mg/kg Plomb : 689 mg/kg	Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour le plomb (95 µg/l)	<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.). ▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion ▫ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche - supprimer l'exposition ▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux et des jardins potagers les plus impactés ▫ dans les jardins potagers en cultivant hors sol (pots, bacs, etc.) ou par recouvrement des sols impactés avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ▫ ne pas consommer l'eau des puits et sources (boisson et cuisson des aliments) contaminés ▫ limiter la consommation des végétaux produits en pleine terre (aubergine, romarin, pomme de terre)	Supprimer l'exposition directe des populations
			Adulte					
		Jardin d'agrément, faïsse en herbe autour du potager - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 201 mg/kg Plomb : 374 mg/kg			
			Adulte					
		Jardin d'agrément, faïsse supérieure, en herbe au niveau du futur potager - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 236 mg/kg Plomb : 435 mg/kg			
	Adulte							
	Futur jardin potager sur faïsse supérieure - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 519 mg/kg Plomb : 304 mg/kg				
		Adulte						
	Ingestion de végétaux (figue, aubergine, courgette, tomate, romarin, pomme de terre)	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 0,3 mg/kg MF Plomb : 1,6 mg/kg MF				
		Adulte	Etat compatible	Aucune				
	STJP2	Jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 137 mg/kg Plomb : 637 mg/kg			
			Adulte					
		Jardin d'agrément, Jardin proche potager - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Antimoine : 58 mg/kg Arsenic : 309 mg/kg Plomb : 2 630 mg/kg			
			Adulte					
Jardin d'agrément, extrémité Ouest - Activités ou jeux en extérieur		Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Antimoine : 95 mg/kg Arsenic : 420 mg/kg Plomb : 4 590 mg/kg				
		Adulte						
Jardin d'agrément devant maison - Activités ou jeux en extérieur		Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 226 mg/kg Plomb : 1 720 mg/kg				
	Adulte							
Jardin d'agrément, zone de jeux, balançoire et proche piscine - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 178 mg/kg Plomb : 768 mg/kg					
	Adulte							
Ingestion de végétaux (aubergine, tomate, haricot vert)	Enfant 3-6 ans	Etat compatible	Aucune					
	Adulte							

Tableau 80 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires concernant les parcelles étudiées sur la commune de Saint-Jean-du-Pin



Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'IEM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)	Recommandations de gestion relatives aux enjeux sanitaires	
		Scénario	Enjeux	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire		Mesures préconisées (hors recommandations générales)	Objectif
GENERARGUES	GEN1	Jardin d'agrément sur première faïsse - Activité - jeu en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 220 mg/kg Plomb : 948 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau	<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▪ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▪ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.). ▪ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▪ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche - supprimer l'exposition ▪ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées ▪ ne pas consommer l'eau des puits et sources privés (boisson et cuisson des aliments) contaminés	Supprimer l'exposition directe des populations
		Jardin d'agrément sur seconde faïsse - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 952 mg/kg Plomb : 3 700 mg/kg			
	GEN2	Jardin d'agrément proche de la piscine - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat compatible	Aucune	Pas de prélèvement d'eau	<b>L'état du jardin principal et de la zone proche de la piscine est compatible avec les usages qui en sont faits.</b> <i>Dans le cadre d'un scénario générique, l'évaluation des risques a permis de conclure que pour les enfants de 1-3 ans résidents (234 j/an), le jeu en extérieur est non compatible avec la qualité du sol.</i> <b>Mesures de gestion simples sur la faïsse la plus basse (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▪ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▪ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.). ▪ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme sur la faïsse la plus basse</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▪ réflexion à engager autour d'un plan de gestion pour cette zone - supprimer l'exposition ▪ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées	Supprimer l'exposition directe des populations
			Adulte					
		Jardin d'agrément en contre-bas - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 720 mg/kg Plomb : 3 230 mg/kg			
			Adulte					
	Jardin principal - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Plomb : 462 mg/kg				
		Adulte						
	GEN3	Champ devant et ancien potager - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 960 mg/kg Plomb : 3 840 mg/kg	Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour l'arsenic (32 µg/l)	<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▪ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▪ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.). ▪ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▪ réflexion à engager autour d'un plan de gestion ▪ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche - supprimer l'exposition ▪ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées ▪ ne pas consommer l'eau contaminée	Supprimer l'exposition directe des populations
			Adulte					
		Jardin d'agrément jardin devant maison - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 456 mg/kg Plomb : 1 610 mg/kg			
			Adulte					
Champ de luzerne sur le côté, surélevé - Activités ou jeux en extérieur		Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 309 mg/kg Plomb : 1 360 mg/kg				
		Adulte						
Zone de jeux derrière maison, proche bassin		Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 1 040 mg/kg Plomb : 3 260 mg/kg				
		Adulte						





Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'EM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)	Recommandations de gestion relatives aux enjeux sanitaires	
		Scénario	Enjeux	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire		Mesures préconisées (hors recommandations générales)	Objectif
GENERARGUES	GEN4	Jardin et petit potager - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 764 mg/kg Plomb : 2 600 mg/kg	Pas de prélèvement d'eau	<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.) ▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion ▫ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche - supprimer l'exposition ▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux et des jardins potagers les plus impactés ▫ dans les jardins potagers en cultivant hors sol (pots, bacs, etc.) ou par recouvrement des sols impactés avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm)	Supprimer l'exposition directe des populations
		Jardin sur la zone de l'ancienne église remblayée - Activités ou jeux en extérieur	Adulte	Etat incompatible	Arsenic : 1 090 mg/kg Plomb : 4 020 mg/kg			
	GEN5	Jardin d'agrément devant - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 895 mg/kg Plomb : 3 270 mg/kg	Concentrations inférieures aux valeurs réglementaires	L'état des eaux ne fait pas l'objet de restriction de leur usage. <b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.) ▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▫ réflexion à engager autour d'un plan de gestion ▫ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche - supprimer l'exposition ▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux et des jardins potagers les plus impactés ▫ dans les jardins potagers en cultivant hors sol (pots, bacs, etc.) ou par recouvrement des sols impactés avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm)	Supprimer l'exposition directe des populations
			Adulte					
		Jardin d'agrément proche piscine - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 786 mg/kg Plomb : 2 890 mg/kg			
			Adulte					
	Jardin d'agrément proche balançoire - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 483 mg/kg Plomb : 2 430 mg/kg				
		Adulte						
	Petit jardin potager - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 719 mg/kg Plomb : 2 650 mg/kg				
		Adulte						
GENERARGUES	GEN6	Jardin d'agrément et balançoire - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Plomb : 718 mg/kg	Concentrations supérieures aux valeurs réglementaires pour le fer (0,3 mg/l) et le plomb (23 µg/l)	<b>Mesures de gestion simples (hors recommandations générales)</b> - rappeler les règles d'hygiène individuelle et de consignes d'entretien des logements - limiter le transfert ▫ maintenir et favoriser un couvert végétal dense sur les sols impactés ▫ préconiser la mise en place de jardins potagers hors sol (pots, bacs, etc.) ▫ éviter la mise à nu des sols (culture, excavation, affouillement, terrassement, etc.) <b>Mesures de gestion à long terme</b> - supprimer ou maîtriser les sources de pollution ▫ l'enlèvement des sols n'est pas ici envisagé compte tenu des volumes très importants mis en œuvre et considérant que l'excavation des terrains est susceptible de mobiliser des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. La solution la plus pérenne semble être le recouvrement par un géotextile adapté avec de la terre d'apport contrôlé (50 cm) ou avec des revêtements type enrobé ou un gravillonnage dans les zones à nu et un suivi temporel de l'état de cette couche - supprimer l'exposition ▫ des populations sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.) aux particules du sol des zones de jeux les plus impactées ▫ ne pas consommer l'eau de la source (boisson et cuisson des aliments) contaminée	Supprimer l'exposition directe des populations
			Enfant 6-11 ans					
			Adulte					
	Jardin en contre-bas - Activités ou jeux en extérieur	Enfant 3-6 ans	Etat incompatible	Arsenic : 509 mg/kg Plomb : 2 060 mg/kg				
		Enfant 6-11 ans						
		Adulte						



Commune	Foyer	Scenarii d'exposition		Résultats associés à l'EQRS de l'IEM pour les sols et les végétaux		Limite et référence de qualité des eaux (arrêté du 11 janvier 2007)	Recommandations de gestion relatives aux enjeux sanitaires	
		Scénario	Enjeux	Compatibilité des milieux avec leurs usages	Substance associée au risque sanitaire		Mesures préconisées (hors recommandations générales)	Objectif
	GEN7	Jardin d'agrément - Activités ou jeux en extérieur	Générique Adulte et enfant	<i>Etat incompatible</i>	Arsenic : 461 mg/kg Plomb : 1 740 mg/kg	<i>Pas de prélèvement d'eau</i>	La qualité des sols du terrain ne permet pas d'y accueillir des résidences. De plus, des travaux d'excavation ou de terrassement sont susceptibles de mobiliser des poussières et des matériaux présents plus en profondeur à des concentrations non connues. Tout nouvel aménagement sur les zones impactées par les activités minières devra être interdit ou soumis à la réalisation d'une étude préalable.	Supprimer l'exposition directe des populations

Tableau 81 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires concernant les parcelles étudiées sur la commune de Générargues



## 1.5.2 Recommandations générales pour les usages des espaces privés

Aux recommandations spécifiques à certaines parcelles et/ou certains usages énoncés précédemment, s'ajoutent un certain nombre de bonnes pratiques quotidiennes qu'il convient de rappeler. Ces conseils sanitaires, émis par l'ARS Occitanie en 2014 et 2017 par la diffusion de brochures sont destinés aux personnes vivant sur ou à proximité de sols fortement concentrés en métaux et métalloïdes.

- Eau de consommation
  - utilisez une eau contrôlée (eau de distribution publique)
- Hygiène individuelle
  - lavages fréquents des mains, avec du savon, surtout avant les repas
  - veiller au bon lavage des mains des enfants
  - ongles coupés courts, régulièrement brossés
  - lavage fréquent des jouets utilisés en extérieur
  - ne pas laisser les enfants jouer dans la terre
  - lavage des vêtements de jardinage
- Cultures potagères et alimentation
  - éviter ou limiter en quantité la consommation de fruits et légumes cultivés sur sols potentiellement concentrés en métaux ; le cas échéant, les laver soigneusement
  - en cas de jardin potager, arroser les cultures à visée alimentaire avec une eau potable (eau du robinet ou autre ressource contrôlée)
  - alternative : culture hors sol (en pots) ou recouvrement de terre végétale non chargée en métaux (donc contrôlée) sur environ 30-50 cm d'épaisseur (selon les types de cultures souhaitées)
  - diversifier l'origine géographique et les lieux d'achats des produits alimentaires
  - se laver les mains avant les repas ou la préparation des aliments
  - veiller à avoir une alimentation diversifiée
- Entretien du logement
  - nettoyage humide du sol des habitations (préférer la serpillière au balai ou à l'aspirateur qui remettent les poussières en suspension sans les éliminer)
  - limiter l'entrée de poussières extérieures :
    - par les chaussures, les objets, les animaux domestiques qui rapportent des poussières via leurs poils, etc.
    - par le lavage régulier des rebords de fenêtres et des sols en dur autour des habitations
  - éviter si possible les sols nus (terre) autour des habitations: les recouvrir par dallage, herbe, graviers, etc.
  - préférer les sols et revêtements facilement lavables dans les habitations (carrelages, parquets, etc.) et éviter tapis et moquettes qui retiennent les poussières

Ces recommandations visent à limiter l'exposition des usagers aux polluants présents dans les poussières des sols.

### 1.5.3 Recommandations du HCSP

Le Haut Conseil à la Santé Publique (HCSP) a proposé en juillet 2014 de nouvelles modalités de gestion relatives à l'exposition au plomb (HCSP ; 2014). Ainsi, sont indiqués les éléments suivants :

- des concentrations entraînant un dépistage ;
- « un niveau de vigilance » au regard des teneurs dans les sols :
  - o **sol avec des teneurs < 100 mg/kg** (moyenne arithmétique) : pas de préconisations particulières,
  - o **sol avec des teneurs > 300 mg/kg** (moyenne arithmétique) : suivi des recommandations, dépistage des enfants et des femmes enceintes, préconisé dans la zone à considérer, étude de risque (une attention particulière aux sols d'espaces collectifs et conditions d'exposition actuelles et futures),
  - o **sol avec des teneurs entre 100 et 300 mg/kg** : réalisation d'une évaluation des risques avec la VTR de l'EFSA et analyse technico-économique pour déterminer les mesures de gestion.

Le Tableau 82 indique les concentrations correspondant au « niveau déclenchant un dépistage » dans les différents milieux.

Milieu	Sols	Poussières déposées dans les logements	Eau de boisson
Concentration moyenne entraînant un dépistage du saturnisme (plombémie attendue > 50 µg/l chez environ 5% des enfants)	300 mg/kg en plomb (Pb)	70 µg/m <sup>2</sup>	20 µg/l

Tableau 82 : « Niveaux déclenchant un dépistage », selon les recommandations du HCSP

Au vu des teneurs en plomb identifiées dans les sols du secteur d'étude et conformément à la note « INSTRUCTION INTERMINISTERIELLE N°DGS/EA1/DGPR/DGAL/2017/145 du 27 avril 2017 relative à la gestion des sites pollués et de leurs impacts nécessitant la mise en œuvre de mesures de gestion sanitaire et d'études de santé et/ou de mesures de gestion sanitaire des productions animales et végétales » il revient aux autorités compétentes en matière de risques sanitaires de juger de la pertinence d'un dépistage du saturnisme auprès des personnes exposées et non encore dépistées.

## 1.6 Usages des espaces collectifs

### Puits communal de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille

Le puits hors d'usage localisé dans le village de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille a été investigué dans le cadre des investigations sanitaires (enjeu SDA14).

Pour les eaux prélevées, en tenant compte des incertitudes analytiques, les concentrations sont inférieures aux valeurs réglementaires pour l'eau potable et sont proches de la limite pour le plomb et l'arsenic, sur échantillon d'eau brute.

Ce puits n'est plus en service.

### Zone de baignade grand et petit gour / Fontfroide

Ces zones ont fait l'objet d'investigations et calculs de risques sanitaires dans le cadre de l'étude sur les populations fréquentant des lieux publics (rapport INERIS-DRC-17-162397-11649B en date d'avril 2018).

Le site de Fontfroide est une petite anse, peu accessible par la route et peu profonde. La baignade dans 40 cm d'eau semble peu probable. Deux espaces de baignade à proximité immédiate de Fontfroide ont été identifiés : Petit Gour 1 et Petit Gour 2. Ces deux trous d'eau sont connus des habitants et sont accessibles par la route. L'eau y est claire et les fonds ocre. Le Petit Gour 1 est un trou d'eau d'environ 60 cm de profondeur et Petit Gour 2 est profond de 1,5 à 2m. Des poissons ont pu y être observés.

Des prélèvements sur le bord du petit Gour 1 et au niveau du lit majeur de la rivière pour Petit Gour 2 ont été réalisés.

En aval de la rivière à proximité du cœur du village de Tornac, le Grand Gour est connu des habitants et des vacanciers. Ce trou d'eau, indiqué depuis la route, est profond de plusieurs mètres et large d'environ 6 m. Des prélèvements de sols ont été réalisés sur le chemin d'accès. Des prélèvements d'eau ont par ailleurs été effectués dans le lit majeur de la rivière.

Les résultats des calculs réalisés d'après les analyses de sols montrent une incompatibilité entre les usages et l'état du sol pour une exposition intensive de 60 jours / an (soit tous les jours des vacances d'été).

Les concentrations dans les eaux de surface restent inférieures aux limites et valeurs de référence définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007.

Au vu des résultats d'analyses de sols, il est recommandé de limiter l'usage de cette zone à un strict passage. Il est recommandé qu'aucune manipulation de la terre n'y soit faite et que l'accès à cette zone soit restreint.

Aucun autre lieu de baignade n'a fait l'objet d'investigations.

### Chemins de randonnée

Le chemin de randonnée situé sous la Baraquette à Tornac a fait l'objet d'investigations et de calculs de risques sanitaires dans le cadre de l'étude sur les populations fréquentant des lieux publics (rapport INERIS-DRC-17-162397-11649B en date d'avril 2018).

Ce chemin fréquenté est situé en rive gauche du ruisseau de Paleyrolle, ruisseau qui, en amont, passe au pied des dépôts de résidus de la mine Joseph.

Le chemin investigué a probablement été inondé par le passé par des crues du Paleyrolle. Ces crues ont pu charrier des résidus en provenance de la mine Joseph (contamination d'origine anthropique) mais aussi véhiculer une contamination d'origine naturelle (passage de l'eau sur des zones minéralisées).

Les résultats des calculs réalisés d'après les analyses de sols montrent la compatibilité des usages avec l'état du sol jusqu'à une éventuelle exposition de 5 jours/an.

Les concentrations dans les eaux de surface rendent l'eau impropre à la consommation avec notamment deux dépassements des valeurs réglementaires (pour le cadmium et le manganèse).

Au vu des résultats d'analyses sur les sols et les eaux, il est recommandé de limiter l'usage de cette zone à un strict passage. Il est recommandé qu'aucune manipulation de la terre n'y soit faite et que l'accès à cette zone continue à être restreint.

De nombreux chemins de randonnées (Croix de Pallières, etc.) traversent la zone d'étude. Ceux-ci n'ayant pas fait l'objet d'investigations, la compatibilité entre l'état des milieux et les usages n'a pas été vérifiée.

### Consommation des produits de la pêche et de la cueillette

Aucune analyse n'a été conduite sur ces produits.

Aussi, au vu des teneurs importantes identifiées dans les sols du secteur d'étude, GEODERIS recommande d'effectuer des analyses sur les chairs de poissons pour l'ensemble des ruisseaux des secteurs investigués.

Dans l'attente de résultats, il est conseillé de limiter la consommation :

- des poissons pêchés dans les ruisseaux impactés ;
- végétaux et champignons cueillis à proximité des zones d'anciens travaux et dépôts de matériaux liés à l'extraction et au traitement du minerai.

## **1.7 Usages professionnels**

### Usages agricoles

Les analyses effectuées sur les sols des prairies à proximité des anciens travaux et dépôts de matériaux ont montré des teneurs en métaux particulièrement élevées. Il est conseillé aux éleveurs d'éviter de laisser paître le bétail :

- sur les zones limitrophes de ces zones impactées dans un rayon d'une cinquantaine de mètres ;
- le long des berges des cours d'eau les plus impactés (Paleyrolle, Amous, etc.)

À l'instar des jardins potagers, toute culture destinée à la consommation humaine devrait être proscrite sur ces parcelles.

Enfin, quatre cours d'eau investigués dépassent ponctuellement les critères de qualité en métaux et métalloïdes pour l'abreuvement du bétail. Il s'agit du ruisseau du Reigous, et dans une moindre mesure la rivière Amous, le ruisseau des Combettes et le Gardon d'Anduze. En cas de prélèvements avérés sur ces cours d'eau, la qualité des eaux devrait être contrôlée périodiquement, et ne pas être utilisée pour l'abreuvement des animaux les plus sensibles (animaux « adolescents », en gestation ou allaitants).

## **1.8 Information**

GEODERIS recommande de conserver la mémoire des sources de pollution identifiées à l'issue du diagnostic et la liste des parcelles impactées dans les documents d'urbanisme et les secteurs d'informations sur les sols introduits dans le cadre de la loi ALUR, et de porter à connaissance les résultats des études menées.



## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Les deux démarches de gestion des sites pollués (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2007) .....	9
Figure 2 : Principe de la démarche IEM (Direction générale de la Prévention des Risques, Bureau du Sol et du Sous-Sol, 2017).....	10
Figure 3 : Schéma conceptuel général d'exposition des personnes à un site pollué (modifié).....	11
Figure 4 : Localisation des titres miniers du secteur d'étude. Les traits noirs correspondent aux limites communales .....	21
Figure 5 : Orographie du secteur d'étude (source : SMAGE des Gardons, BCEOM).....	22
Figure 6 : Schéma structural simplifiée de la bordure cévenole au niveau de la zone d'étude (source : rapport BRGM/RP 68364) .....	23
Figure 7 : Environnement géologique du secteur étudié (d'après les cartes géologiques au 1/50 000 d'Alès, Le Vigan, Anduze et Saint-André-de-Valborgne).....	24
Figure 8 : Légende des cartes géologiques au 1/50 000 d'Anduze, d'Alès, du Vigan et de Saint-André-de-Valborgne .....	25
Figure 9 : Coupe schématique représentant le contexte de mise en place des gisements de type MVT et de type Pb dans les formations détritiques de type grès et arkoses (source : rapport BRGM/RP 68364).....	27
Figure 10 : Position des principaux gisements et indices de la bordure sous-cévenole entre Alès et Durfort dans une colonne stratigraphique "type" (source : rapport BRGM/RP 68364 - modifié d'après Sureau et Le Nindre, 1988) .....	30
Figure 11 : Réseau hydrographique principal du secteur d'étude. En rouge se trouvent les anciens travaux et dépôts miniers .....	34
Figure 12 : Diagramme climatique d'Anduze (source : <a href="https://fr.climate-data.org/europe/france/languedoc-roussillon/anduze-66530/">https://fr.climate-data.org/europe/france/languedoc-roussillon/anduze-66530/</a> ) .....	35
Figure 13 : Pluviométrie annuelle du secteur d'étude (source : SMAGE des Gardons, BCEOM).....	36
Figure 14 : Localisation des concessions de la Croix-de-Pallières, Pallières-et-Gravouillère et Valleraube (fond : SCAN 25 <sup>®</sup> de l'IGN) .....	39
Figure 15 : Localisation des anciens bâtiments et installations du carreau de la mine Joseph (source : rapport Union Minière et BUGECO, 1998).....	42
Figure 16 : Localisation de La Fabrique au hameau de Pallières (source : archives DREAL).....	43
Figure 17 : Localisation de l'ancienne laverie à l'aval de la mine de La Gravouillère (source : plan des travaux en 1901, archives DREAL 6.2.10).....	44
Figure 18 : Localisation des anciens bâtiments et installations du carreau de la mine de Pallières (source : rapport Union Minière et BUGECO, 1998).....	45
Figure 19 : Principe de constitution de la digue de retenue du bassin de résidus de traitement (source : Rapport BUGECO, 1998).....	46
Figure 20 : Travaux réalisés au niveau du dépôt de résidus de traitement (source : Union Minière et BUGECO, 1998).....	47
Figure 21 : Localisation de la concession de Valensole (source : SCAN 25 <sup>®</sup> de l'IGN).....	48
Figure 22 : Localisation des travaux miniers au nord du hameau de Valensole (source : rapport Union Minière et BUGECO, 1998).....	49
Figure 23 : Localisation des travaux miniers au lieu-dit La Baraque (source : rapport Union Minière et BUGECO, 1998).....	50

Figure 24 : Localisation de la laverie des Autiés et de la voie charretière reliant la mine Joseph à cette installation (source : archives DREAL 6.5.4).....	51
Figure 25 : Localisation de la concession des Adams (source : SCAN 25 <sup>®</sup> de l'IGN).....	52
Figure 26 : Localisation des travaux à La Parade et au Pradinas (source : archives DREAL 6.5.5)...	53
Figure 27 : Localisation des travaux des Adams et de La Baraquette (source : archives DREAL 6.5.5) .....	54
Figure 28 : Localisation de la concession et du Permis d'EXploitation de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (source : SCAN 25 <sup>®</sup> de l'IGN).....	55
Figure 29 : Extrait du plan des anciens travaux et des travaux réalisés de 1928 à 1930 (source : plan SSA du 1 <sup>er</sup> juillet 1929, archives DREAL 5.4.7) .....	58
Figure 30 : Localisation des mines à ciel ouvert exploitées par la SMMP sur le secteur de Carnoulès (source : plan d'ensemble de la carrière en 1962, archives DREAL 5.5.4) .....	58
Figure 31 : Plan des travaux de recherche dans le ravin des Combettes (source : plan SDM d'avril 1901, Archives Nationales - 1901-04-29 rapport SdM Chabaud) .....	59
Figure 32 : Plan des sondages et travaux de la mine Lacoste à Générargues entre 1960 et 1962 (source : archives DREAL 5.5.4).....	59
Figure 33 : Secteur mine Lacoste à Générargues. Photographies aériennes de 1955 et 1964 (fond : Orthophoto IGN).....	60
Figure 34 : Plan de la piste d'accès projetée au Mas Icard (source : plan SSA de février 1961, archives DREAL 5.4.8).....	60
Figure 35 : Secteur Mas Icard. Photographies aériennes de 1958 et 1964 (source : Orthophoto IGN).....	61
Figure 36 : Travaux anciens au nord-est de Carnoulès. Extrait de la carte géologique du département du Gard, arrondissement d'Alais en 1845 (source : <a href="https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b530231041/f1.item.zoom">https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b530231041/f1.item.zoom</a> ) .....	61
Figure 37 : Evolution de la production de minerai selon les périodes d'exploitation de la concession et du PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille. ....	62
Figure 38 : atelier de préparation mécanique des minerais de plomb argentifère de Carnoulès, 1854 (source : collection Particulière) .....	64
Figure 39 : atelier de préparation mécanique et fonderie de l'usine 1bis, période 1857-1874 (source : extrait de plan de 1877, doc ADEME).....	64
Figure 40 : Installations de surface des mines de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (source : extrait de plan de 1930, archives DREAL 5.4.7, modifié GEODERIS) .....	65
Figure 41 : Localisation des laveries et bassins de décantation des mines de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille en 1961 (source : plan SMMP, archives DREAL 5.4.10) .....	65
Figure 42 : Schéma de fonctionnement des bassins de décantation (source : schéma SSMP non daté, archives DREAL).....	67
Figure 43 : Réseau des canalisations sous les barrages n°1 et n°2 (source : plan SMMP, archives DREAL 5.4.10) .....	67
Figure 44 : Epandage de résidus de traitement sur les berges du ruisseau du Reigous et de la rivière Amous suite à l'érosion survenue lors des épisodes pluvieux de l'automne 1976 (source : IGN) .....	69
Figure 45 : Localisation des points d'eau enregistrés en BSS (hors AEP) sur la zone d'étude. Les anciens secteurs miniers exploités sont en couleur rouge.....	72
Figure 46 : Localisation des captages AEP du secteur (source : document ARS30).....	75
Figure 47 : Localisation des périmètres de protection des captages AEP du secteur d'étude (source : <a href="https://carto.picto-occitanie.fr">https://carto.picto-occitanie.fr</a> ) .....	78
Figure 48 : Débits journaliers moyens (Qjm) et débits mensuels moyens (QMM) en m <sup>3</sup> /s pour l'année 2017 à la station V7144010 - Gardon d'Anduze (source : <a href="http://www.hydro.eaufrance.fr">http://www.hydro.eaufrance.fr</a> ).....	90

Figure 49 : Débits journaliers moyens (Qjm) et débits mensuels moyens (QMM) en m <sup>3</sup> /s pour l'année 2018 à la station V7144010 - Gardon d'Anduze (source : <a href="http://www.hydro.eaufrance.fr">http://www.hydro.eaufrance.fr</a> ).....	90
Figure 50 : Débits journaliers moyens en m <sup>3</sup> /s pour la période 2006-2018 à la station V7144010 - Gardon d'Anduze (source : <a href="http://www.hydro.eaufrance.fr">http://www.hydro.eaufrance.fr</a> ).....	91
Figure 51 : Localisation des points de prélèvements d'eaux souterraines selon les secteurs – carte d'ensemble .....	118
Figure 52 : Localisation des points de prélèvements d'eaux souterraines selon les secteurs - Cartes détaillées.....	119
Figure 53 : Localisation des points de prélèvements d'eaux souterraines considérés comme remarquables au regard des paramètres physico-chimiques .....	128
Figure 54 : Diagrammes de Piper pour les eaux souterraines prélevées en période de hautes-eaux (mars 2018) .....	129
Figure 55 : Limites et références de qualité des eaux brutes destinées à la consommation humaine pour les éléments métalliques (source : arrêté du 11 janvier 2007) .....	131
Figure 56 : Comparaison des résultats d'analyses des points de prélèvements d'eaux souterraines au regard des limites et/ou références de qualité des eaux brutes destinées à la consommation humaine en fonction de la période hydrologique .....	137
Figure 57 : Localisation des points de prélèvement d'eaux superficielles selon les secteurs hydrographiques.....	139
Figure 58 : Diagrammes de Piper pour les eaux superficielles prélevée en période de hautes-eaux (mars 2018) .....	149
Figure 59 : Comparaison des résultats d'analyses des points d'eaux superficielles au regard des limites et/ou références de qualité des eaux brutes destinées à la consommation humaine en fonction de la période hydrologique .....	157
Figure 60 : Localisation des points de prélèvements de sédiments selon les secteurs hydrographiques .....	163
Figure 61 : Direction des écoulements d'eaux en provenance des anciens travaux et dépôts miniers dans le ruisseau du Reigous .....	168
Figure 62 : Evolution des concentrations en éléments traces métalliques dans les eaux du Reigous entre le dépôt de résidus de traitement de Carnoulès et la confluence avec l'Amous .....	169
Figure 63 : Evolution des concentrations en éléments traces métalliques dans les eaux de la rivière Amous et du Gardon d'Anduze .....	170
Figure 64 : Evolution des teneurs en éléments traces métalliques dans les sédiments du ruisseau du Reigous, de la rivière Amous et du Gardon d'Anduze .....	171
Figure 65 : Direction des écoulements d'eaux (souterraines et superficielles) pour la partie nord des anciens travaux et dépôts miniers de Pallières.....	174
Figure 66 : Evolution des concentrations en éléments traces métalliques dans les eaux de l'Aiguesmortes et du Gardon de Saint-Jean depuis la partie nord de la mine de Pallières .....	175
Figure 67 : Evolution des teneurs en éléments traces métalliques dans les sédiments du ruisseau du Reigous, de la rivière Amous et du Gardon d'Anduze .....	176
Figure 68 : Direction des écoulements d'eaux en provenance des anciens travaux et dépôts miniers dans le ruisseau du Paleyrolle .....	177
Figure 69 : Evolution des concentrations en éléments traces métalliques dans les eaux du ruisseau du Paleyrolle, de l'Ourne et du Gardon d'Anduze depuis les haldes de la mine Joseph.....	178
Figure 70 : Evolution des teneurs en éléments traces métalliques dans les sédiments de la rivière Ourne et du Gardon d'Anduze .....	179
Figure 71 : Direction des écoulements d'eaux en provenance des anciens sites miniers au niveau du Gardon d'Anduze.....	180

Figure 72 : Evolution des concentrations en éléments traces métalliques dans les eaux du Gardon d'Anduze.....	181
Figure 73 : Localisation des différents emplacements de mesure (Source : Paturel et al, 2018).....	183
Figure 74 : Rose des vents et pluviométrie au niveau de l'emplacement 2017-H situé sur le carreau de mine de Pallières (Source : Paturel et al, 2018).....	184
Figure 75 : Profil des teneurs (mini, moyenne, médiane, maxi) pour les éléments plomb et zinc et regroupement de faciès.....	195
Figure 76 : Localisation des points de prélèvements de géochimie sols et stream sediment de l'Inventaire minier dans un rayon d'environ 15 km autour du gisement de la Croix de Pallières, exemple des résultats obtenus pour le zinc (Source : Gouin & Bailly, 2011) .....	196

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Déroulé chronologique de l'étude sanitaire et environnementale des anciennes exploitations minières de la Croix-de-Pallières et de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (30) .....	8
Tableau 2 : Compatibilité des milieux avec leurs usages en fonction des résultats de l'EQRS .....	13
Tableau 3 : Références des archives DREAL Occitanie consultées .....	18
Tableau 4 : Numérotation GEODERIS des documents numérisés selon la côte d'archive DREAL Occitanie.....	19
Tableau 5 : Numérotation GEODERIS des plans, schémas et coupes numérisés selon la côte d'archive DREAL Occitanie .....	20
Tableau 6 : Organisation du réseau hydrographique principal de la zone d'étude.....	32
Tableau 7 : Principales caractéristiques des cours d'eau de la zone d'étude (source : SAGE du bassin-versant du Gardon).....	32
Tableau 8 : Risque RNAOE 2021 pour les ruisseaux de l'Ourne et de l'Amous - données non validées (source : SAGE du bassin-versant du Gardon).....	37
Tableau 9 : Orientations de gestion et actions du SAGE des Gardons pour les anciens sites miniers de la zone d'étude (source : SAGE du bassin-versant du Gardon) .....	38
Tableau 10 : Données historiques concernant les travaux des concessions de Valleraube, La-Croix-de-Pallières et Pallières et Gravouillère .....	40
Tableau 11 : Travaux recensés dans les documents d'archives consultés mais non localisés sur plans. Concessions de Valleraube, La-Croix-de-Pallières et Pallières et Gravouillère .....	41
Tableau 12 : Données de production des concessions de Valleraube, La-Croix-de-Pallières et Pallières et Gravouillère .....	41
Tableau 13 : Recensement des bâtiments et installations de surface liés à la mine Joseph .....	42
Tableau 14 : Recensement des bâtiments et installations de surface du carreau de mine de Pallières et de Gravouillère .....	43
Tableau 15 : Données historiques concernant les travaux de la concession de Valensole .....	49
Tableau 16 : Données de production de la concession de Valensole .....	50
Tableau 17 : Données historiques concernant les travaux de la concession des Adams .....	53
Tableau 18 : Données de production de la concession des Adams .....	54
Tableau 19 : Données historiques concernant les travaux de la concession et du PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille.....	56
Tableau 20 : Secteurs de travaux de la concession et du PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille.....	57
Tableau 21 : Données de production de la concession et du PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille .	62
Tableau 22 : Recensement des bâtiments et installations de surface de la mine de Carnoulès.....	63
Tableau 23 : Points d'eau souterraine enregistrés en BSS hors usage AEP (source : <a href="http://infoterre.brgm.fr">http://infoterre.brgm.fr</a> ).....	73
Tableau 24 : Synthèse des observations formulées par l'ARS dans la « Note sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine sur les zones impactées par les anciens sites miniers de Carnoulès et La-Croix-Pallières » .....	76
Tableau 25 : Volume annuel capté par ouvrage de prélèvement et par usage de l'eau (source : <a href="http://sierm.eaurmc.fr/telechargements/telechargement/telechargement.php">http://sierm.eaurmc.fr/telechargements/telechargement/telechargement.php</a> ).....	77
Tableau 26 : Caractéristiques des captages AEP du Moulin de Baron et du Pont de Salindre .....	79

Tableau 27 : Plans de Préventions des Risques inondation prescrits et approuvés sur le secteur d'étude (source : <a href="http://www.georisques.gouv.fr">http://www.georisques.gouv.fr</a> ).....	80
Tableau 28 : Etablissements ICPE recensés sur la zone d'étude (source : <a href="http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/">http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/</a> ) .....	81
Tableau 29 : Sites BASIAS recensés sur le secteur d'étude (source : <a href="http://www.georisques.gouv.fr">http://www.georisques.gouv.fr</a> ).....	84
Tableau 30 : Sources de contamination identifiées au niveau des concessions de Croix-de-Pallières, Pallières-et-Gravouillère, et Valleraube.....	101
Tableau 31 : Sources de contamination identifiées au niveau de la concession de Valensole.....	104
Tableau 32 : Sources de contamination identifiées au niveau de l'ancienne laverie des Autiés.....	106
Tableau 33 : Sources de contamination identifiées au niveau de la concession des Adams.....	110
Tableau 34 : Sources de contamination identifiées au niveau de la concession et du PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille.....	115
Tableau 35 : Points de prélèvements d'eaux souterraines durant les campagnes hautes-eaux et basses-eaux selon les secteurs .....	117
Tableau 36 : Débit et paramètres physico-chimiques mesurés sur les points de prélèvements d'eaux souterraines en période de basses-eaux (octobre 2017).....	120
Tableau 37 : Valeurs de débit et paramètres physico-chimiques mesurés sur les points de prélèvements d'eaux souterraines en période de hautes-eaux (mars 2018).....	123
Tableau 38 : Synthèse des points de prélèvements d'eaux souterraines considérés comme remarquables.....	127
Tableau 39 : Résultats d'analyses sur les eaux souterraines prélevées en période d'étiage (octobre 2017).....	132
Tableau 40 : Résultats d'analyses sur les eaux souterraines prélevées en période de hautes-eaux (mars 2018) – 1/2 .....	133
Tableau 41 : Résultats d'analyses sur les eaux souterraines prélevées en période de hautes-eaux (mars 2018) – 2/2 .....	134
Tableau 42 : Points de prélèvements d'eaux superficielles durant les campagnes hautes-eaux et basses-eaux .....	138
Tableau 43 : Débit et paramètres physico-chimiques mesurés sur les points de prélèvements d'eaux superficielles en période de basses-eaux (octobre 2017).....	140
Tableau 44 : Valeurs de débit et paramètres physico-chimiques mesurés sur les points de prélèvements d'eaux superficielles en période de hautes-eaux (mars 2018).....	144
Tableau 45 : Résultats d'analyses sur les eaux superficielles prélevées en période d'étiage (octobre 2017) – 1/2 .....	150
Tableau 46 : Résultats d'analyses sur les eaux superficielles prélevées en période d'étiage (octobre 2017) – 2/2 .....	151
Tableau 47 : Résultats d'analyses sur les eaux superficielles prélevées en mars 2018 (période de hautes-eaux) – 1/2.....	152
Tableau 48 : Résultats d'analyses sur les eaux superficielles prélevées en mars 2018 (période de hautes-eaux) – 2/2.....	153
Tableau 49 : Normes de Qualité Environnementale - eaux de surface intérieures pour les substances considérées (source : arrêté du 27 juillet 2015) .....	158
Tableau 50 : Comparaison des résultats d'analyses des points d'eaux superficielles aux NQE pour les substances considérées - échantillons filtrés à 0,45 µm.....	159
Tableau 51 : Dépassements des valeurs limites de qualité des eaux permettant l'abreuvement des animaux sur les cours d'eau du secteur d'étude .....	161

Tableau 52 : Sédiments prélevés durant la campagne de prélèvements en période de hautes-eaux (mars 2018) .....	162
Tableau 53 : Résultats d'analyses sur les sédiments prélevés en période de hautes-eaux (octobre 2018).....	165
Tableau 54 : Mesures pXRF et prélèvements de sols effectués sur les berges de l'Amous en mars 2018.....	172
Tableau 55 : Concentrations moyennes en PM <sub>10</sub> (Source : Paturel et al, 2018).....	184
Tableau 56 : Valeurs de dépôts généralement observées en France en milieu rural (Source : guide de surveillance dans l'air autour des installations classées, INERIS).....	185
Tableau 57 : Gammes ELT synthétiques, basé sur les mesures pXRF et les analyses en laboratoire sur le secteur de la Croix-de-Pallières .....	198
Tableau 58 : Gammes ELT synthétiques, basé sur les mesures pXRF et les analyses en laboratoire sur le secteur de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille/Carnoulès .....	199
Tableau 59 : Voies de transfert et d'exposition retenues pour l'évaluation des risques sanitaires.....	200
Tableau 60 : Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) retenues par ingestion .....	202
Tableau 61 : Détermination des classes d'âges (source : INERIS 2015) .....	203
Tableau 62 : Paramètres d'exposition retenus pour les différents scenarii associés à la voie ingestion de sol .....	205
Tableau 63 : Paramètres d'exposition retenus pour les différents scenarii associés à la voie ingestion de végétaux .....	206
Tableau 64 : Quantité de végétaux ingérés (source : INERIS 2015).....	209
Tableau 65 : Résultats des calculs de risques sanitaires associés à l'ingestion de sols et de végétaux et résultats sur les eaux pour les foyers investigués sur la commune de Thoiras .....	210
Tableau 66 : Résultats des calculs de risques sanitaires associés à l'ingestion de sols, de végétaux et résultats sur les eaux pour les foyers investigués sur la commune de Saint-Félix-de-Pallières .....	212
Tableau 67 : Résultats des calculs de risques sanitaires associés à l'ingestion de sols et d'eaux pour les foyers investigués sur la commune de Corbès.....	212
Tableau 68 : Résultats des calculs de risques sanitaires associés à l'ingestion de sols, de végétaux et résultats sur les eaux pour les foyers investigués sur la commune de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille .....	214
Tableau 69 : Résultats des calculs de risques sanitaires associés à l'ingestion de sols, de végétaux et résultats sur les eaux pour les foyers investigués sur la commune de Saint-Jean-du-Pin.....	215
Tableau 70 : Résultats des calculs de risques sanitaires associés à l'ingestion de sol et résultats sur les eaux pour les <b>foyers</b> investigués sur la commune de Générargues .....	217
Tableau 71 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires et environnementaux concernant les concessions de Croix-de-Pallières, Pallières-et-Gravouillère, et Valleraube .....	236
Tableau 72 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires et environnementaux concernant la concession de Valensole .....	237
Tableau 73 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires et environnementaux concernant l'ancienne laverie des Autiés .....	237
Tableau 74 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires et environnementaux concernant la concession des Adams.....	239
Tableau 75 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires et environnementaux concernant la concession et le PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille .....	241
Tableau 76 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires concernant les parcelles étudiées sur la commune de Thoiras .....	247

Tableau 77 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires concernant les parcelles étudiées sur la commune de Saint-Félix-de-Pallières .....	250
Tableau 78 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires concernant les parcelles étudiées sur la commune de Corbès.....	251
Tableau 79 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires concernant les parcelles étudiées sur la commune de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille.....	256
Tableau 80 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires concernant les parcelles étudiées sur la commune de Saint-Jean-du-Pin .....	257
Tableau 81 : Recommandations de gestion relatives à des enjeux sanitaires concernant les parcelles étudiées sur la commune de Générargues .....	260
Tableau 81 : « Niveaux déclenchant un dépistage », selon les recommandations du HCSP .....	262



## LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photographies 1 et 2 : Dépôt de résidus de traitement au nord du carreau de mine de Pallières .....	46
Photographies 3 et 4 : Ancienne laverie des Autiés (source : GEODERIS) .....	51
Photographie 5 : Vue sur l'usine définitive et la mine à ciel ouvert de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille en 1959 (source : archives DREAL 5.4.9).....	66
Photographies 6 et 7: Vues de la crevasse principale et d'une crevasse latérale apparue suite aux épisodes cévenols de l'automne 1976 (archives DREAL 5.4.10) .....	68
Photographie 8 : Exemple de préleveurs PM <sub>10</sub> - Air ambiant extérieur (source : rapport INERIS DRC-18-162397-00395A).....	95
Photographie 9 : Collecteur en PEHD pour les métaux (source : rapport INERIS DRC-18-162397-00395A).....	96
Photographie 10 : Exemple d'implantation de station météorologique (source : rapport INERIS DRC-18-162397-00395A).....	96
Photographies 11, 12 et 13 : Points de prélèvements d'eaux souterraines sur le secteur hydrographique Reigous en période d'étiage (source : GEODERIS, octobre 2017).....	121
Photographies 14 et 15 : Points de prélèvements d'eaux souterraines sur le secteur Gardon de Saint-Jean en période d'étiage (source : GEODERIS, octobre 2017).....	122
Photographie 16 : Points de prélèvements d'eaux souterraines sur le secteur Ourne en période d'étiage (source : GEODERIS, octobre 2017).....	122
Photographies 17, 18, 19, 20, 21 et 22 : Points de prélèvements d'eaux souterraines sur le secteur Reigous en période de hautes-eaux (source : GEODERIS, mars 2018).....	124
Photographies 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 à 32 : Points de prélèvements d'eaux souterraines sur le secteur Gardon de Saint-Jean en période de hautes-eaux (source : GEODERIS, mars 2018). .....	125
Photographies 33, 34, 35, 36 et 37 : Points de prélèvements d'eaux souterraines sur le secteur Ourne en période de hautes-eaux (source : GEODERIS, mars 2018).....	126
Photographie 38 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur Reigous en période d'étiage (source : GEODERIS, octobre 2017).....	141
Photographies 39, 40, 41, 42, 43 et 44 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur Gardon de Saint-Jean en période d'étiage (source : GEODERIS, octobre 2017).....	142
Photographies 45, 46 et 47 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur Ourne en période d'étiage (source : GEODERIS, octobre 2017) .....	142
Photographies 48 et 49 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur aval - Gardon d'Anduze en période d'étiage (source : GEODERIS, octobre 2017) .....	143
Photographies 50, 51 et 52 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur Reigous en période de hautes-eaux (source : GEODERIS, mars 2018) .....	145
Photographies 53, 54, 55, 56, 57, 58 et 59 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur Gardon de Saint-Jean en période de hautes-eaux (source : GEODERIS, mars 2018).....	146
Photographies 60, 61 et 62 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur Ourne en période de hautes-eaux (source : GEODERIS, mars 2018) .....	147
Photographies 63 et 64 : Points de prélèvements d'eaux superficielles sur le secteur aval - Gardon d'Anduze en période de hautes-eaux (source : GEODERIS, mars 2018) .....	147
Photographies 65 et 66 : matériaux observés dans les sols de berge de la rivière Amous au niveau du Temple - point N824 (source : GEODERIS, mars 2018) .....	173

## RAPPORTS - VOILETS DE L'ETUDE IEM GLOBALE

**GEODERIS** (2018). Etude sur les anciennes exploitations minières et les activités industrielles associées de La-Croix-de-Pallières et de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille. Délimitation et caractérisation des sources de contamination d'origine anthropique. Rapport S 2018-117DE

**Lemière B., Laperche V., Auger P., Bentivegna G.** (2016). Etude sanitaire et environnementale des anciens sites miniers de Saint-Félix-de-Pallières et de Carnoulès (Gard). Caractérisation de l'environnement local témoin. Rapport BRGM RP- 66448-FR

**Lethielleux L.** (2019). Etude sanitaire et environnementale sur les anciennes exploitations minières de « La-Croix-de-Pallières » et de « Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille » (Gard). Compléments aux IEM sur la zone d'étude. Rapport INERIS-DRC-19-175513-00361B

**Melleton J.** (2016). Minéralisations naturelles en métaux et métalloïdes potentiellement contaminants des districts à Pb-Zn de la bordure sous-cévenole (région d'Anduze, Gard). Rapport BRGM RP-68364-FR

**Paturel H.** (2018). Dépôts miniers de Saint-Félix-de-Pallières et de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille. Investigations sur le milieu atmosphérique : particules en suspension et retombées de poussières. Rapport INERIS DRC-18-162397-00395A

**Vigouroux P.** (2018). Avis hydrogéologique sur les anciennes exploitations minières de la Croix-de-Pallières et de Saint-Sébastien d'Aigrefeuille (30). Rapport BRGM RP-68260-FR

## BIBLIOGRAPHIE

**ADEME** (2014). Guide sur l'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux (2ème édition)

**ARS** (2016). Note sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine sur les zones impactées par les anciens sites miniers de Carnoulès et la Croix-Pallières »

**Bernard A.** (1958). Contribution à l'étude de la Province métallifère sous-cévenole. Thèse ENSG Nancy

**Coumoul A., Aubague M.** (1988). Recherches de nouvelles minéralisations Zn-Pb sur le flanc ouest du horst de Pallières (Bordure Cévenole, Gard). Rapport BRGM 88 DAM 001 OP4

**Coumoul A., Aubague M.** (1989a). Recherches de nouvelles minéralisations Zn-Pb sur le faite et le flanc est du horst de Pallières (Bordure Cévenole, Gard). Rapport BRGM 89 DAM 009 OP4

**Coumoul A., Aubague M.** (1989b). Recherches de nouvelles minéralisations Zn-Pb à l'ouest du horst de Pallières (Bordure Cévenole, Gard). Rapport BRGM 89 DAM 002 OP4

**GEODERIS** (2007). Note à la DRIRE concernant le site minier de Saint-Félix-de-Pallières. Rapport GEODERIS S2007/66/DE

**GEODERIS** (2007). Analyse critique de l'étude de stabilité de la digue à stérile de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (30). Rapport GEODERIS S2007/87DE

**GEODERIS** (2007). Audit de la digue de résidus de traitement du gisement de Saint-Félix de Pallières. Rapport GEODERIS S2008/04/DE

**GEODERIS** (2008). Inventaire des Risques Miniers Environnementaux, application de la méthode de travail à la région Languedoc-Roussillon. Rapport S2008/63DE

**GEODERIS** (2018). Exploitations minières de substances métalliques sur les communes d'Anduze, Corbès, Durfort-et-Saint-Martin-de-Sossenac, Fressac, Générargues, Mialet, Saint-Félix-de-Pallières, Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille, Thoiras et Tornac (Gard) - Evaluation et cartographie des aléas mouvements de terrain. Rapport S2018/090DE

**Caudron M.** (2007). Audit de la digue de résidus de traitement du gisement de Saint-Félix-de-Pallières (30). Rapport INERIS DRS-07-90078-11924A

**Damon E.** (2012). Diagnostic environnemental. Interprétation de l'état des milieux (IEM). Anciens sites miniers sur les communes de Saint-Félix-de-Pallières et Thoiras (30). Rapports ICF Environnement AIX/12/085/IR-V1 phases 1, 2 et 3

**Damon E.** (2013). Interprétation de l'état des milieux (IEM). Anciens sites miniers sur la zone de l'ancienne usine Recylex (30). Rapports ICF Environnement AIX/11/086/IR-V1 phases 1, 2 et 3

**Denys S.** (2004). Evaluation détaillée des risques sanitaires liés aux eaux de surface du ruisseau de Paleyrolle, s'écoulant depuis le pont du CD 133 jusqu'à la confluence avec l'Ourne. Rapport INERIS DRC-04-59605/DESP-R01A

**Equilbey E.** (2014). Concession pour plomb de La-Croix-de-Pallières et 8 titres miniers environnants (Gard). Phase informative, cartographie informative et des aléas mouvement de terrain. Rapport BRGM RP-61130-FR

**Grasset A.** (2017). Les mines de La-Croix-de-Pallières, mission Service Civique

**Kimmel M.** (2003). Synthèse des données relatives à l'ancienne mine Joseph et avis pour fermeture du dossier. Rapport INERIS DRC-03-42956/DESP-R01b

**Kazmierczak J.B.** (2007). Analyse critique de l'étude de stabilité de la digue à stérile de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (30). Rapport INERIS DRS-07-87025-06206A

**Koffi K.** (2004). Contribution à l'étude des processus couplés hydrogéochimiques dans les stocks de déchets miniers : le cas du site de Carnoulès (Gard, France). Thèse de Doctorat, discipline Hydrogéologie et géochimie dans l'environnement minier, Université Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc

**Maubert F.** (1983). Constat d'impact de deux anciennes exploitations minières. 1) le cas de la Mine de La-Croix-de-Pallières (Gard). Rapport BRGM 83 SGN 583 ENV

**MICA Environnement** (2009). Dépôt des stériles de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille. Estimation du cout de mise en œuvre d'un avant-projet de mesures visant à assurer la stabilité du dépôt des stériles.

**Union Minière et Bugeco** (1998). Concessions de La-Croix-de-Pallières, de Valleraube, de Pallières et Gravouillère, Etat des lieux et travaux d'aménagement

## LISTE DES ABREVIATIONS

AEP : Adduction d'Eau Potable

AES : Atomic Emission Spectrometry

ARS : Agence Régionale de Santé

B3S : Bureau du Sol et du Sous-Sol, au sein de la DGPR (Direction Générale de la Prévention des Risques) du Ministère de la Transition Énergétique et Solidaire

BDSTM : Base de Données des Sites et Titres Miniers gérée par GEODERIS

DDCSPP : Direction Départementale de la Cohésion Sociale et de la Protection des Populations

DDIE : Directive sur les Déchets de l'Industrie Extractive

DDT : Direction Départementale des Territoires

DGPR : Direction Générale de la Prévention des Risques

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

ELT : Environnement Local Témoin

EQRS : Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires

GPS : Global Positioning System

ICP : Inductively Coupled Plasma

IEM : Interprétation de l'Etat des Milieux

InVS : Institut de Veille Sanitaire, devenu Santé Publique France depuis 2016

MEDDE : Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie

NQE-CMA : Norme de Qualité Environnementale - Concentration Maximale Admissible

NQE-MA : Norme de Qualité Environnementale - Moyenne Annuelle

PEHD : PolyEthylène Haute Densité

pXRF : Portable X-Ray Fluorescence (Spectromètre de fluorescence X portable)

SSP : Sites et Sols Pollués

VTR : Valeur Toxicologique de Référence

