

# Chape de plomb sur le site minier de Saint-Félix-de-Pallières (Gard)

Par André Picot, Jean-François Narbonne et Stéphane Garcia



Photo S Garcia

Ruisseau de Paleyrolles, photo prise en contrebas de la mine Joseph

## Sommaire

1. Contexte .....	2
1.1. De l'Antiquité romaine aux années 1970, une exploitation minière Plomb, Zinc, Argent, dans le sud des Cévennes .....	2
1.2. Originalité de l'étude.....	3
1.3. Un paysage défiguré, une pollution qui menace.....	4
2. Evaluation des risques .....	5
2.1. Généralités .....	5
2.2. Cas particulier des sites miniers .....	6
2.3. Impacts sur la santé des principaux polluants présents sur le site.....	7
2.4. Solutions pour la gestion des sols pollués .....	9
3. Cas des anciennes mines de La Croix de Paillères et de Joseph .....	10
3.1. Mise en évidence de niveaux élevés de pollution .....	10
3.2. Estimation des risques pour l'Homme et l'environnement.....	11
3.3. Solution pour la gestion des sols pollués : cas du site de Saint-Félix .....	13
4. Conclusion.....	14
Références .....	14
Compléments au dossier .....	14

# 1. Contexte

## 1.1. De l'Antiquité romaine aux années 1970, une exploitation minière Plomb, Zinc, Argent, dans le sud des Cévennes

Comme l'ont décrit Frédéric Ogé et Pierre Simon dans l'avant-propos de leur ouvrage « Sites pollués en France » [1] - notre beau pays, l'un des plus visités du monde, offre une diversité sans pareil... mais présente aussi l'une des plus fortes densités de sites pollués du monde... le plus souvent à l'insu de ses propres habitants... [1]

En fait, entre 300 000 et 350 000 sites en France sont fortement suspectés de contenir des produits plus ou moins toxiques [1]... un immense chantier à réhabiliter !

Le touriste pressé ne retiendra des Cévennes que ses magnifiques collines peuplées de chênes et de châtaigniers, quelques vignes en terrasse et un immense bonheur d'être dans une nature si belle.

S'il est un peu plus curieux, parfois, il pourra être frappé dans ce monde si minéral, de découvrir des traces, maintenant discrètes, d'extraction de Plomb et de Zinc mélangés souvent avec de l'Argent.

Ainsi, le site minier de Saint-Félix-de-Pallières, situé dans le sud des Cévennes, à 7 km à l'est d'Anduze, avait une teneur moyenne en Plomb-Zinc de l'ordre de 30 %, avec une proportion élevée de Fer (14 %). La teneur en Argent était de l'ordre de 300g par tonne de galène (sulfure de plomb) [2].

Depuis l'Antiquité romaine, la richesse métallifère des Cévennes était connue et exploitée. Ainsi, la Mine Joseph fut exploitée à cette époque pour sa galène argentifère, galène qui servait à fabriquer des vernis pour des poteries renommées.

Mais c'est surtout au Moyen-âge que cette région méridionale de la France va développer l'extraction minière, qui concurrencera celle d'Espagne ou d'Italie.

Cette prospection minière va surtout s'épanouir à partir du XVIIe siècle et va se poursuivre, selon les besoins de la guerre, sous l'Empire, relayée jusqu'à la fin du XIXe siècle, grâce à l'industrialisation de la France.

Après la guerre de 1914-1918, selon les régions, l'activité minière va devenir très irrégulière, ce qui va entraîner des périodes difficiles pour les Cévenoles.

Heureusement pour la population cévenole, à partir de 1947, l'exploitation va reprendre à la mine de La-Croix-de-Pallières et ceci jusqu'à épuisement total des réserves, en 1971.

Globalement, ce site, aura conduit, de 1845 à 1971, à l'extraction de 80 000 tonnes de Zinc et 34 000 tonnes de Plomb, permettant ainsi à la population locale de se développer.

En effet, à l'époque de l'exploitation maximale à Saint-Félix (entre 1967 et 1971), 130 600 tonnes de minerais seront traitées.

Un mineur gagnait trois fois plus qu'un ouvrier agricole [2] mais, bien entendu, c'était sans prendre en compte les effets à long terme sur la santé de la population locale... une omerta acceptée, car vitale pour les Cévennes. Tout suivi sanitaire étant inexistant, bien difficile, dans ces conditions, d'envisager ultérieurement des études épidémiologiques sérieuses.

Pratique courante, la Société Union Minière, en charge de l'exploitation de la mine de La-Croix-de-Pallières, laissera, en 1971, ses structures à l'abandon... ce qui va entraîner un pillage systématique des bâtiments. Un enfouissement sauvage des produits chimiques inutilisés, comme des fûts de Cyanure de sodium, a été évoqué, sans que cela ait été confirmé.



Photo S Garcia

Dépôt de fûts abandonnés

Une réhabilitation très partielle de la digue à stériles (qui contiendrait 900 000 tonnes de résidus) sera entreprise de 1995 à 1998. En fait, sur une mince couche de terre (polluée !) recouvrant une BioJute biodégradable, seront plantés quelques végétaux dont divers arbres...

Considérant ce site « réhabilité », cette Société de Mines va revendre ses terrains à la Mairie ou à des riverains... le tout avec l'accord bienveillant des autorités... là encore sans qu'aucune analyse chimique de ces terrains ne soit entreprise, pour connaître l'état de contamination des sols.

Néanmoins, dans le cadre d'un inventaire des risques environnementaux, le Groupe Géodéris a, dès 2004 [3] entrepris des analyses de sol et d'eau, qui ont été interprétées par la suite, données qui sont malheureusement trop insuffisantes pour permettre une réelle évaluation des risques sanitaires et environnementaux mais que, malgré tout, nous allons tenter d'analyser.

## 1.2. Originalité de l'étude

Notre étude se fonde sur l'Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM), méthode qui succède à l'ESR (Evaluation Simplifiée des Risques) pour l'analyse de la pollution des sites et sols pollués et qui repose sur des outils développés par le ministère en charge de l'environnement et datant de 2007 [4]. Comme le rappelle une note envoyée aux préfets par la ministre en charge de l'environnement de l'époque, Nelly Ollin, ces outils peuvent s'appliquer à tout site, dès lors qu'une pollution des sols est suspectée [5].

Or, aux vues de l'importance de l'exploitation en terme de tonnes de minerais traités, et compte-tenu des risques pour l'environnement posés par ce type d'installation (pollution des nappes phréatiques, des rivières, et des terrains alentours), risques qui étaient alors bien connus depuis la fin des années 90 [6], on pouvait suspecter que le site était durablement pollué, ce que confirmera l'étude de Géodéris... On peut également ajouter que le site de La-Croix-de-Pallières figure dans la base de données des anciens sites industriels et activités de service (BASIAS) depuis 1999, dans la catégorie 1 du SEI (Service de l'Environnement Industriel), à savoir, la catégorie la plus élevée, qui regroupe les sites qui doivent être surveillés et si nécessaire traités...

Les pouvoirs publics auraient donc pu, s'ils avaient bien assuré professionnellement leur travail, réaliser dès 2008\*, comme nous l'avons fait, une IEM à partir de l'étude Géodéris. Ceci aurait permis d'évaluer l'ampleur de la pollution et de déterminer si des mesures étaient nécessaires afin de rendre le site compatible avec les activités qui y sont pratiquées. Or, quand nous avons commencé notre étude, en 2011 (voir chapitre : Compléments au dossier), rien n'avait été entrepris dans ce sens. Le secret a bien été gardé : l'étude de Géodéris que nous avons pu nous procurer et dont nous

\* Date de réception de l'étude Géodéris en mairie

repreons les résultats dans notre étude, a tardé à être rendue publique. Les habitants de Saint-Flix-de-Pallières, Thoiras, Anduze ou Tornac sont restés des années dans l'ignorance, ce qui a entraîné des situations dangereuses : personnes vivant sur les vestiges de la mine ou à portée des nuages toxiques soulevés par le vent, ou sur des terrains pollués par la mine, consommant des légumes et des fruits ou cueillant des champignons qui poussent sur des sols contaminés, festivals tenus à même les stériles miniers entraînant des risques pour les participant mais aussi pour les proches riverains, directement victimes des retombées de poussières toxiques.



Photo D.R.

Gardon cévenole

### 1.3. Un paysage défiguré, une pollution qui menace

A l'approche du site de La-Croix-de-Pallières, nous sommes éblouis par la beauté du paysage. Situé à cheval sur le Parc Naturel des Cévennes et sur la Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique des Hautes Vallées des Gardons, le site est au cœur d'un patrimoine naturel d'exception : les Causses et Cévennes, inscrit sur la liste du patrimoine mondiale de l'UNESCO pour ses vestiges de l'agro-pastoralisme [7] et les Gardons, ces rivières cévenoles réputées pour leur pureté, sans parler des nombreuses espèces endémiques de la région.

Lorsque l'on arrive sur le site, ce sont d'autres vestiges qui s'offrent à nous : ceux laissés par la Société des Mines et Usines de Pallières et la Société Vieille Montagne, qui ont tour à tour exploité les mines de La-Croix-de-Pallières, sans aucune considération pour l'environnement.

Ce qui saute aux yeux, ce sont tout d'abord les montagnes de résidus miniers de La-Croix-de-Pallières et de la mine Joseph qui surplombent le site. Ces montagnes, aussi appelées stériles ou haldes, contiennent respectivement 900 000 t et 600 000 t (selon notre estimation). Mélange de roches broyées, de composition proche de celle du gisement exploité, et de produits chimiques utilisés dans le traitement du minerai, ces terres contiennent des quantités importantes de d'éléments trace toxiques (Plomb : 2,3%, Cadmium : 120 ppm\*), d'Arsenic (entre 1 000 et 2 000 ppm) et d'Antimoine (969 ppm)... Mais aussi des éléments uniquement biologiquement essentiels comme le Zinc (2,47%).

D'autres haldes sont présentes sur le site formant des dunes de résidus miniers très fortement pollués et dont l'érosion fait apparaître par endroit des couches de terre grisâtre contenant, entre autres, d'importantes quantités d'Antimoine (350 ppm), dont la réelle toxicité est certainement sous-estimée.

Autre témoin de l'exploitation "sauvage" qui était pratiquée à l'époque, des fûts entreposés à même le sol et qui auraient pu contenir du Cyanure de sodium, produit éminemment toxique utilisé dans la laverie à partir des années cinquante pour séparer certains éléments et dont l'utilisation a augmenté considérablement les risques sur l'environnement [4].

---

\* ppm : parties par million

On constate également sur le site une forte contamination des eaux de surface provenant du ruissellement des eaux de pluies ou d'émergences d'eau souterraine qui se traduit par des eaux rougeâtres (coloration liée à la présence d'oxydes de Fer), au pH acide (2,78) et aux teneurs en éléments trace élevées (Zinc : 14 320  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , Plomb : 655  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , Cadmium : 61  $\mu\text{g.l}^{-1}$ ). La contamination atteint également le ruisseau de Paleyrolles, situé en contrebas des haldes de la mine Joseph (teneurs en Fer : 172  $\text{mg.l}^{-1}$ , en Manganèse : 3 885  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , en Plomb : 94  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , en Cadmium : 41  $\mu\text{g.l}^{-1}$  et en Sulfates : 2 195  $\text{mg.l}^{-1}$ ) provenant de l'oxydation des sulfures [3].

*Les valeurs maximales autorisées sont, pour le pH : entre 6,5 et 9, pour le Zinc : 5  $\text{mg.l}^{-1}$ , pour le Plomb : 10  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , pour le Cadmium : 5  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , pour le Fer : 200  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , pour le Manganèse : 50  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , et pour les Sulfates : 250  $\text{mg.l}^{-1}$ , selon l'arrêté du 11/01/07 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine*

Les mesures qui ont été prises lors de la réhabilitation du site pour minimiser les impacts sur l'environnement semblent dérisoires, comparées à ces montagnes de stériles. En permanence, ces dernières continuent à dresser leur ombre lourde en impact néfaste sur l'environnement, menaçant gravement les riverains à chaque forte pluie ou rafale de vent, lesquelles disséminent un peu plus la pollution dans le milieu naturel.

## 2. Evaluation des risques

### 2.1. Généralités

La pollution des sols est due à la présence d'éléments métalliques du fait d'une exploitation minière depuis 1845 jusqu'à 1971. La question se pose donc sur les dangers et les risques éventuels pour les personnes susceptibles d'être exposées (travailleurs, résidents, usagers temporaires...) à la masse des résidus de cette activité humaine.

Par risque on entend la probabilité d'avoir des effets santé via différents vecteurs d'exposition (air, eau, ingestion directe de sol ou indirecte via la contamination des plantes et des animaux produits sur place). Pratiquement il s'agit d'inventorier les contaminants présents dans le sol du site étudié, d'analyser leur toxicologie, d'estimer leurs risques toxicologiques, le but final étant de formuler des suggestions pour la gestion des risques.

Pour chaque contaminant, une revue de littérature technique et scientifique doit être réalisée permettant de tracer un profil toxicologique tenant compte en particulier des points suivants :

- leur transport à travers les différents compartiments environnementaux, leurs principales transformations ayant un impact sur ce transport et leur devenir dans l'environnement;
- leurs principales voies d'exposition ainsi qu'un aperçu de leurs transformations par le métabolisme;
- leur toxicité générale, c'est-à-dire leurs modes d'action toxique;
- leur potentiel cancérigène éventuel.

Les risques toxicologiques pour la santé humaine doivent être ensuite calculés. Les scénarios doivent tenir compte des différentes voies d'exposition et permettre d'identifier les populations sensibles en fonction des usages prévus (terrains industriels, agricoles, résidentiels, récréatifs...).



## 2.2. Cas particulier des sites miniers

Un des cas les plus fréquents engendrant des risques pour la santé humaine est lié aux sites miniers ayant cessé leurs activités depuis un temps plus ou moins long. Au contraire, les mines en activité doivent répondre à une législation actualisée dans le sens de la prévention des risques pour les travailleurs, les riverains et l'environnement. Certains sites historiques ont même eu des phases successives d'activité et d'abandon. Dans le cas d'anciennes mines de zinc et de plomb la pollution résiduelle est donc liée aux métaux et aux non-métaux (métalloïdes) d'une part du fait de la richesse naturelle du sol et d'autre part du fait de la présence de déchets résultant de la recherche et de l'exploitation minière ou du traitement du minerai. Ces résidus peuvent être des produits naturels (stériles francs, produits minéralisés non exploitables) ou des produits artificiels, issus des phases de traitement et d'enrichissement du minerai (rejets de laverie) contenant d'éventuels additifs chimiques, minéraux ou organiques, ou générés lors d'une étape de fusion métallurgique (scories). Le terme de « haldes » est souvent utilisé pour désigner l'ensemble des déblais pierreux, minéralisés ou non, qui résultent de l'exploitation minière.



Dépôt de haldes de la mine de la-Croix-de-Pallières

A partir de ces sites contaminés la voie principale d'exposition touchant une large fraction de la population est celle passant par la lixiviation des sols et la contamination des eaux souterraines en conditions habituelles et les eaux de surface (ruisseaux, rivières) en cas de pluies abondantes. Il s'agit des captages pour eau d'adduction (eaux souterraines) et de l'inondation des zones de captage et des stations de traitement en épisodes météorologiques. De plus le transfert par les eaux se fait aussi via l'arrosage des champs et des potagers. Les habitants de plusieurs communes sont concernés par ces transferts.

L'autre voie majeure d'exposition susceptible d'atteindre une population plus limitée vivant sur le site ou à proximité (riverains permanents ou saisonniers) est celle due à la contamination des sols pouvant être ingérés directement (en particulier aires de jeux pour enfants) ou inhalés en fonction de l'intensité de la mise en suspension de particules fines (particulièrement importante en cas d'activités festives type rave parties, activités auto/moto). Les niveaux d'exposition sont évidemment liés au temps de résidence sur le site, le plus long concernant les résidents sur le site et leurs enfants, le plus court concernant les randonneurs.

Enfin une exposition indirecte concerne la consommation de végétaux cultivés sur les sols pollués (champs, vignes, potagers) et arrosés avec les eaux superficielles ou souterraines locales, mais aussi la consommation de champignons et de baies sauvages par les randonneurs.

### 2.3. Impacts sur la santé des principaux polluants présents sur le site

Parmi les très nombreux produits chimiques présentant, sur le site de Saint-Félix-de-Pallières, des risques toxiques pour les êtres vivants et des effets néfastes sur l'environnement, seulement quatre éléments chimiques ont été retenus : deux métaux : le Plomb et le Cadmium et deux éléments mixtes : l'Arsenic et l'Antimoine.

#### a) Le plomb (Pb)

C'est un métal brillant, facilement oxydable à l'air, assez abondant dans la croûte terrestre (10 à 20 mg.kg<sup>-1</sup>) surtout sous forme de sulfure (Galène), plus rarement à l'état de carbonate (Cérousite) de sulfate (Anglésite) de chromate (Crocoïse)... Les jeunes enfants qui jouent sur un sol pollué par du plomb (anciens sites miniers...), du fait de leur facilité à porter leur main à la bouche, peuvent facilement s'intoxiquer, d'autant plus que chez eux l'absorption orale peut atteindre jusqu'à 50 %, qui sont de plus majorés par la respiration de poussières en provenance du sol. L'alimentation contribue aussi à l'apport en plomb (produits de la mer, eaux, boissons alcoolisées, champignons...). Il est très important de considérer que le taux de plomb dans le sang (plombémie) est le meilleur indicateur de l'exposition et est en moyenne, pour la population française, de 25,7 µg.l<sup>-1</sup>. L'exposition moyenne de la pollution française chez l'adulte est de 0,20 µg.kg<sup>-1</sup> de poids corporel/jour (0,27 µg chez l'enfant). Une fois passé dans le sang, le plomb, sous sa forme cationique divalente (Pb<sup>2+</sup>), se répartit dans les tissus mous (foie, reins, rate, poumons, système nerveux, ...) et comme c'est un métal cumulatif, il va se stocker dans les os (70% de la charge corporelle chez les enfants) et les dents, d'où son élimination très lente (demi-vie allant jusqu'à 20 ans). Par ailleurs le plomb franchit facilement la barrière placentaire et l'embryon puis le fœtus peuvent être des cibles de ce métal toxique.

L'excrétion du plomb (Pb<sup>2+</sup>) est surtout urinaire (supérieure à 75 %) et secondairement fécale (15 à 20%). La sueur, les phanères... sont des voies d'élimination plus faibles.

Les cibles principales du plomb sont :

- le système nerveux central (surtout chez l'enfant), dont une exposition modérée peut entraîner une détérioration intellectuelle, alors qu'à forte dose, elle peut aboutir à une encéphalopathie mortelle.
- Les reins, dont l'atteinte peut entraîner une néphropathie tubulaire, avec possibilité d'hypertension.

Par ailleurs, le plomb inhibe la synthèse de l'hème, entraînant une anémie, souvent liée à une carence en fer.

Chez le jeune enfant une évaluation de 100 µg.l<sup>-1</sup> de la plombémie, entraîne une diminution d'un à cinq point du QI.

L'Union européenne, considère que chez le fœtus et le jeune enfant, les effets neurotoxiques sont sans seuil. En expérimentation animale (Rat, Souris) le plomb entraîne des tumeurs cérébrales (glioblastomes) et rénales. En 2006 le CIRC a classé les composés inorganiques du plomb, cancérigènes probables chez l'Homme (Groupe 2A). Toutes ces données sont suffisamment inquiétantes pour que les moindres contaminations liées au plomb, surtout chez le jeune enfant et la femme enceinte, soient considérées à hauts risques.

## b) L'Arsenic (As)

Élément dit mixte, entre les métaux et les non-métaux (métalloïdes), l'arsenic (As) est abondant dans la croûte terrestre (en moyenne  $2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), en particulier sous forme d'arsénopyrites ( $\text{FeAsS}$ ) et se retrouve dans de nombreux sites miniers français (Salsigne, Cévennes...).

De ce fait, sur d'anciens sites miniers, l'arsenic du sol peut être une importante source de contamination des jeunes enfants, par suite de leur activité « main-bouche » et de la forte assimilation de l'arsenic par la voie orale (supérieure à 75%).

L'alimentation, surtout sous forme de produits de la mer (poissons, mollusques, crustacés...) peut être une source d'exposition non négligeable, même si l'arsenic sous forme organique (arsénobétaïne...) est peu toxique.

Une fois absorbé par l'organisme (voie orale ou pulmonaire), l'arsenic sous ses formes cationiques ( $\text{As}^{3+}$  et  $\text{As}^{5+}$ ) est transformé dans le foie en dérivés méthylés de l'arsenic trivalent (formes peu toxiques) qui sont éliminées principalement par les urines en particulier à l'état d'acide diméthylarsinique (DMA).

Le principal risque de l'exposition répétée à de faibles doses d'arsenic est le cancer pulmonaire. La peau est aussi une cible privilégiée (coloration, mélanodermie, hyperkératose...). Des atteintes neuronales ou cardiovasculaires sont possibles ainsi que des effets endocriniens et reprotoxiques. Comme l'Union européenne considère les effets cancérigènes de l'arsenic sans seuil, toutes augmentations de la concentration urinaire de l'arsenic ( $\text{As}^{3+}$  et  $\text{As}^{5+}$  et dérivés méthylés) va augmenter le risque d'autant.

## c) Le Cadmium (Cd)

Le cadmium est un métal peu répandu dans la croûte terrestre ( $0,1 \text{ mg.kg}$ ) et qui se retrouve surtout en petite quantité dans les minerais de plomb ou de zinc ( $0,01$  à  $0,05 \%$  de Cd, selon les minerais). En plus de l'apport lié aux industries métallurgiques, il ne faut pas négliger dans l'apport journalier celui de la cigarette ( $0,05$  à  $0,15 \mu\text{g}$  par cigarette), ni celui de l'alimentation, apport non négligeable en particulier par les céréales (pains, gâteaux...), les produits de la mer (crustacés, mollusques, poissons), les abats (rognons...), les champignons...

Ainsi l'exposition moyenne de la pollution française est chez l'adulte de  $0,16 \mu\text{g.kg}^{-1}$  de poids corporel/jour ( $0,24 \mu\text{g}$  chez l'enfant), la contribution majoritaire étant apportée par le pain (22%). Il est important de signaler que les enfants sont des populations à risque, par rapport au cadmium.

En milieu professionnel la voie d'exposition majoritaire est la voie respiratoire, mais cette voie peut aussi concerner les enfants jouant sur des sols pollués. Une fois dans le sang, le cadmium ( $\text{Cd}^{2+}$ ) est véhiculé par le transporteur du zinc : la métallothionéine.

Étant cumulatif, il va se stocker dans le foie et surtout dans les reins... sa concentration augmentera ainsi avec le temps ( $50 \mu\text{g}$  chez l'adulte de plus de 50 ans). Il faut remarquer que la demi-vie du cadmium dans l'organisme est particulièrement longue : entre 10 et 30 ans. La cible principale du cadmium est le rein, entraînant une dégénérescence des tubules proximaux, aboutissant à des néphrites irréversibles.

L'atteinte osseuse se caractérise par un ramollissement des os (ostéomalacie) particulièrement douloureuse (maladie d'Itai au Japon).



Classé cancérigène chez l'Homme le cadmium peut entraîner des cancers des poumons, de la prostate, de la vessie et des testicules..

Le cadmium, dont les impacts sur la santé semblent avoir été négligés par rapport à ceux du plomb et du mercure (actuellement beaucoup plus médiatisés), ne doivent pas être sous-estimés, car leurs effets sur les systèmes endocriniens et reproducteurs peuvent ne pas être négligeables.

#### d) L'Antimoine (Sb)

Élément dit mixte, tout comme l'arsenic, l'antimoine (Sb) est peu abondant sur Terre (0,7% dans l'écorce terrestre) mais sa concentration est très variable selon la nature du terrain (entre 0,1 et 10 mg.kg<sup>-1</sup> en poids sec). En France, on trouve l'antimoine surtout dans le Massif Central (Cévennes...). Son minerai principal est le trisulfure d'antimoine ou stibine (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>), qui est souvent mélangé avec d'autres minerais contenant du plomb, de l'argent...

Contrairement à l'arsenic, son absorption orale est faible (1 à 10 % selon les composés), mais sa pénétration sous forme de poussières par la voie pulmonaire, peut ne pas être négligeable.

La cible principale de l'antimoine est le tractus pulmonaire (pneumoconiose stibiée), mais le système cardiovasculaire peut également être touché (myocardite, hypertension...).

Si en général l'imprégnation de la population française est modérée (élimination urinaire de l'ordre de 0,30 µg par gramme de créatinine), elle peut être fortement augmentée dans les régions riches en antimoine (Allemagne, Chine, Ouzbékistan...).

## 2.4. Solutions pour la gestion des sols pollués

Quand des situations impliquant des risques pour l'homme et pour l'environnement ont été identifiées il s'agit de prendre des mesures de gestion de façon à revenir à une situation d'innocuité, c'est-à-dire à une exposition inférieure à la VTR.

Dans le cas général il s'agit d'entreprendre des opérations de dépollution consistant à rendre le sol et le sous-sol d'une zone apte à un nouvel usage industriel, résidentiel ou agricole, voire à un retour à une zone naturelle ou de loisir. Il existe différentes méthodes permettant d'extraire les polluants présents dans le sol et parfois de les y éliminer (quand il s'agit de polluants dégradables). Elles dépendent du type de polluants (hydrocarbures, métaux traces toxiques, produits chimiques divers, etc.) et de la nature du terrain (perméable ou non, granuleux, présence d'eau, pH, etc.). Elle peut être réalisée sur place ou après décaissement du sol pollué et traitement dans une installation spécifique. Des techniques physiques et biologiques peuvent être utilisées. La dépollution des sols est étroitement associée à une épuration des eaux qui circulent sur le site en surface ou en sous-sol (nappes phréatiques).

Dans le cas des sites miniers qui ont été exploités pendant des dizaines d'années, l'importance des niveaux de contamination des surfaces concernées excluent en fait le recours à des techniques de dépollution dont les coûts seraient réhabilitaires. Il s'agit donc en priorité d'éviter l'exposition en interdisant en priorité toute présence humaine prolongée sur les zones les plus contaminées et d'entreprendre des travaux permettant une séquestration de la pollution, évitant toute dissémination des contaminants par la diffusion des poussières et par l'eau. Les techniques de séquestration stricte ou de confinement font appel à des géo-membranes (comme dans les décharges) avec ou sans excavation des sols pour les zones les plus polluées. Les techniques moins élaborées font appel à des procédures de phytostabilisation des sols permettant la reconquête de la

surface par un couvert dense de végétaux adaptés. Le couvert végétal limite en effet l'infiltration de la pollution ainsi que l'érosion du sol pollué par l'eau et le vent. La phytostabilisation peut être complétée par le recouvrement du sol à traiter par une toile de jute, la meilleure technique étant l'apport d'une couverture de terre végétale non contaminée. Pour ce qui concerne le traitement des eaux de ruissellement contaminées, il s'agit de les collecter ou de les recueillir (par exemple en creusant des bassins de rétention étanchéifiés) et de les décontaminer par des techniques physicochimiques.

### 3. Cas des anciennes mines de La Croix de Paillères et de Joseph

#### 3.1. Mise en évidence de niveaux élevés de pollution

A l'occasion d'une étude réalisée en 2004 par Géodéris dans le cadre d'un inventaire des risques miniers environnementaux, des prélèvements ont été effectués à la fois dans une grande variété de points allant de zones non polluées à des zones de dépôts de haldes. Les résultats sont résumés dans le tableau 1. Pour ce qui concerne les dosages dans les eaux souterraines et de surface du site, ils n'ont pas été systématiquement effectués. Seuls quelques dosages de contaminants métalliques ont été effectués sur des échantillons prélevés dans le ruisseau de Paleyrolles comme rapporté dans le tableau 2.

**Tableau 1 :** Résultats des dosages effectués dans les sols sur différents sites de la zone étudiée (mg/kg ps\*)

	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Sb</b>	<b>Cd</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>As</b>
<b>Nb</b>	64	64	64	64	64	64	44
<b>Moyenne</b>	12247	7407	254	44	121276	885	1187
<b>SD</b>	25649	19091	263	68	205889	824	1255
<b>Min</b>	109	49	84	0	6975	0	200
<b>Max</b>	136083	77177	1174	262	1377764	2769	5000

**Tableau 2 :** Résultats des dosages effectués dans l'eau du ruisseau Paleyrolles

<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Pb</b>	<b>Cd</b>
172 mg.l <sup>-1</sup>	577 µg.l <sup>-1</sup>	3885 µg.l <sup>-1</sup>	94 µg.l <sup>-1</sup>	41 µg.l <sup>-1</sup>

Pour évaluer le niveau de pollution, on peut comparer les concentrations observées à celles notées dans les sols en France ou à l'étranger. Cependant il n'existe pas de référence unique puisque les teneurs en métaux peuvent fortement varier en fonction de la nature du fond géologique. En France les sols ont été classés en 3 niveaux : Le niveau A concerne les sols « ordinaires » ayant des valeurs couramment observées, le niveau B concerne les sols présentant des anomalies modérées, le niveau C concerne les sols présentant de fortes anomalies naturelles. Par ailleurs plusieurs réglementations internationales fixent des valeurs guides à partir desquelles des opérations de rémediation ou curatives doivent être effectuées. Il faut signaler que cette approche n'est plus celle utilisée en France par les services de l'état mais elle permet une estimation rapide des niveaux de pollution. Les valeurs guides hollandaises servaient de valeurs indicatives en France jusqu'en 2007. Le tableau 3 regroupe ces valeurs ainsi que les valeurs maximales retenues pour les sols naturels de niveau C.

Ainsi on peut comparer les niveaux de pollution mesurés sur le terrain avec ces valeurs repères (tableau 4). Ainsi toutes les valeurs moyennes sont très supérieures aux niveaux supérieurs des terrains présentant de fortes anomalies (niveaux C).

\* ps : poids sec

**Tableau 3** : Teneurs en métaux maximales retenues pour les sols naturels en France et valeurs guides pour les actions curatives proposées dans différents pays (mg/kg ps).

	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Sb</b>	<b>Cd</b>	<b>Mn</b>	<b>As</b>
Max niveau C	10180	11426	53	44	485	284
Valeurs guides pour remédiation (Pays)	600 (F)	3000 (F)	40 (Japon)	20 (F)	3000 (Aust)	50 (F)

De même toutes les valeurs moyennes à l'exception du manganèse sont supérieures aux valeurs indicatives à partir desquelles une action curative est nécessaire. On voit que les dépassements les plus forts (de l'ordre de 20 fois) sont notés pour le Plomb et l'Arsenic. Pour ces deux éléments minéraux les valeurs maximales dépassent les seuils naturels maximum de plus de 10 fois et dépassent les seuils de remédiation de 100 fois pour l'arsenic et de plus de 200 fois pour le Plomb.

**Tableau 4** : Ecart entre les valeurs mesurées sur site (Max et moyenne) et les teneurs maximales observées pour des sols naturels (niveau C) et les seuils impliquant des opérations de remédiation.

	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Sb</b>	<b>Cd</b>	<b>Mn</b>	<b>As</b>
[C] Max/max nat	X 13	X 6	X 5	X 6	X 5,7	X 17
[C] Max/remed	X 226	X 25	X 6,5	X 13	X 1	X 100
[C] Moy/remed	X 20	X 2,5	X 1,3	X 2,3	X 0,29	X 23,7

Si on s'intéresse aux quelques teneurs en métaux mesurées dans le ruisseau et qu'on les compare aux valeurs indicatives qui ont longtemps fait référence en France on note que les teneurs en Cd, en Cu et en Mn sont respectivement 4 fois, 3 fois et 2 fois supérieures au seuil nécessitant une action curative ou à la teneur maximale permise en usage agricole. .

Il est donc indiscutable que le site étudié présente des points très élevés de contamination des sols qui impliquent des opérations lourdes de gestion pour la protection des hommes, des animaux et de l'environnement.

### 3.2. Estimation des risques pour l'Homme et l'environnement

Le terme risque concerne la probabilité pour un organisme exposé d'avoir des atteintes à sa santé du fait de l'exposition à une ou plusieurs substances toxiques. Pratiquement il s'agit d'établir un rapport entre une dose d'exposition et le seuil toxicologique à partir duquel les effets sanitaires peuvent se manifester (valeur toxicologique de référence ou VTR). La méthodologie proposée par le Ministère en charge de l'environnement est basée sur le calcul d'un coefficient de danger (QD) permettant de définir un intervalle de risque à 3 niveaux. Le niveau 1 correspond à un QD <0,2 soit à un milieu compatible avec tous les usages. Le niveau 2 correspond à une gamme de QD compris entre 0,2 et 5, les milieux nécessitant une réflexion approfondie avant de préciser un plan de gestion. Le niveau 3 correspond à des QD supérieurs à 5, les milieux n'étant dans ce cas non compatibles avec l'ensemble des usages envisageables nécessitant donc d'importants travaux curatifs.

Trois vecteurs d'exposition principaux sont pris en compte : ingestion de sols, inhalation de poussières, consommation d'aliments produits sur les sols incriminés. D'autres vecteurs peuvent aussi être impliqués comme la consommation d'eau contaminée et le contact cutané. Ceux-ci sont pris en compte dans des modèles plus complets comme celui utilisé au Canada. L'exposition dépend aussi des caractéristiques de l'individu exposé présentant des variables relatives aux paramètres corporels et d'exposition (enfants, adolescents, adultes). Dans le cadre de cet article nous ne disposons que d'une base de données limitée aux sols et à l'eau brute d'un ruisseau et nous n'avons

pas de données sur la contamination des aliments, de l'eau de boisson (puits, eau municipale) et des poussières atmosphériques. Nous retiendrons comme modèle d'exposition celui proposé par le Canada et comme population exposée les enfants et les adultes dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 5.

**Tableau 5** : Caractéristiques retenues pour le calcul d'exposition chez les jeunes enfants et les adultes.

	Age	Poids corporel (kg)	Ingestion de sol (g/j)	Inhalation (m <sup>3</sup> /j)	Ingestion de légumes (g/j)
Jeunes Enfants	7 mois à 4 ans	15	0,08	10	100
Adultes	>20 ans	70	0,02	16	200

En absence de résultats analytiques, l'estimation de l'exposition par inhalation tiendra compte d'une teneur en poussières de 20µg.m<sup>-3</sup> et d'un taux de transfert sol-plantes (BAF) de 0,005. On peut ainsi calculer les QD pour les différents métaux mesurés comme indiqué dans le tableau 6, d'une part pour les valeurs moyennes et d'autre part pour les valeurs maximales mesurées. Les VTR retenues sont aussi indiquées dans le tableau 6.

**Tableau 6** : Quotients de dangers pour les enfants et les adultes correspondant aux teneurs moyennes et maximales mesurées dans les sols. Entre parenthèse sont indiquées les VTR en µg/kg/j.

	Pb (3,5)	Zn (300)	Sb (0,4)	Cd (0,5)	Mn (50)	As (0,3)
Moyennes						
QD enfant	19	0,13	3,35	0,42	0,31	21
QD adultes	1,0	0,007	0,19	0,02	0,005	1,2
Max						
QD enfants	209	1,38	157	2,8	0,29	89
QD adultes	12	0,07	8,4	0,15	0,016	5

L'estimation des différents vecteurs d'exposition montre que le principal contributeur est constitué par l'ingestion de sol qui est de 99% chez l'enfant et de 94% chez l'adulte. Pour ce qui concerne les teneurs moyennes, les QD supérieurs à 5 (niveau de risque 3) pour les enfants sont obtenus pour l'As et le Pb. Le seul QD inférieur à 0,2 est noté pour le Zn. Pour les teneurs maximales on obtient des valeurs très élevées pour le Pb, le Sb et l'As. Les autres QD correspondent au niveau de risque 2. Pour valeurs moyennes, les QD pour les adultes supérieurs à 0,2 sont notés pour l'As et le Pb. Pour les teneurs maximales les QD supérieurs ou égaux à 5 sont notés pour le Pb, le Sb et l'As.

On peut ainsi voir que les risques sont très élevés pour les jeunes enfants, les éléments minéraux critiques sont le plomb, l'arsenic et l'antimoine, à la fois pour les zones les plus contaminées (expositions supérieures à plus de 100 fois aux VTR) mais aussi pour les zones à contamination moyenne (expositions 20 fois supérieures aux VTR). Pour les adultes les risques sont avérés pour les contaminations moyennes en Pb et As (expositions supérieures aux VTR) et surtout pour les fortes contaminations (expositions de 5 à 10 fois supérieures aux VTR).

Pour estimer certains risques environnementaux, il existe des valeurs écotoxicologiques de référence (VER) pour les métaux et les non-métaux, basées sur des tests à court et long terme en laboratoire sur des organismes appartenant à différents niveaux trophiques. Ici aussi les risques se calculent en effectuant le rapport entre les teneurs dans les sols et les VER. Le tableau 7 donne ces différents rapports pour le Cd le Pb et le Zn.

**Tableau 7** : Estimation de quelques risques écotoxicologiques pour différents organismes terrestres pour les sols moyennement et fortement contaminés.

	microorganismes du sol			Invertébrés du sol			Plantes terrestres		
	Cd	Pb	Zn	Cd	Pb	Zn	Cd	Pb	Zn
VER mg/g	487	3423	734	122	930	357	34	343	287
[C] Moy	X 0,1	X 3,5	X 10	X 0,4	X 13	X 20	X 1,3	X 35	X 25
[C] Max	X 0,5	X 39	X 105	X 2,1	X 146	X 216	X 7,7	X 396	X 268

On note que les rapports concernant les risques sont élevés ([C] > VER) pour l'ensemble des organismes terrestres pour le Pb et le Zn, y compris pour les contaminations moyennes. Pour les fortes contaminations de ces métaux on note des risques très élevés, en particulier pour les invertébrés et les plantes terrestres.

### 3.3. Solution pour la gestion des sols pollués : cas du site de Saint-Félix

On peut constater dans un premier temps, d'après les données recueillies et la visite rapide du site que nous avons effectuée, que l'évaluation des risques est restée très sommaire, car des données sur la contamination des eaux et sur les productions végétales issues du site ou de ses environs n'ont pas été effectuées ou n'ont pas été publiées. **Devant une situation à risque aussi flagrante et inquiétante, le rôle régalien de l'état qui est d'assurer la sécurité des citoyens vis-à-vis des risques civils mais aussi des risques environnementaux (charte de l'environnement inscrite dans la constitution) n'a pas été assuré. Comment autoriser la présence permanente d'une population comprenant des adultes (hommes et femmes) et surtout des enfants, dont certains très jeunes ?**

**Comment tolérer une production maraîchère sur un terrain dont la contamination dépasse toute les limites en matière de réglementation agricole !** Quels ont été les contrôles permettant de s'assurer de la conformité des végétaux produits avec les normes européennes en matière de teneurs en métaux et non-métaux toxiques, surtout si ces produits sont commercialisés ? Dans le cas d'une population à risque identifiée, **des opérations de biosurveillance doivent être effectuées grâce au suivi de marqueurs de contamination dans le sang ou dans des milieux biologiques adéquats (phanères, urine...).** Ceci est évidemment de la responsabilité de l'ARS, en particulier vis-à-vis des enfants identifiés comme partie de la population la plus à risque. Un suivi analytique environnemental (sols, poussières, eau, végétaux, animaux sauvages et d'élevage...) et humain aurait du être entrepris à la fois dans la zone de l'ancienne mine mais aussi sur les zones adjacentes. En termes de rémédiation nous avons pu constater que des zones très limitées avaient subies un protocole de végétalisation après application de toile de jute. **On s'interroge sur les relations entre le donneur d'ordre des travaux et la société ayant réalisé les opérations. Le donneur d'ordre avait-il l'intention d'apporter une solution au problème, ou s'agissait-il de faire semblant ? Les travaux exécutés étaient-ils conformes aux instructions données et au budget alloué ou est-on devant une exécution a minima, éventuellement associé à un détournement de fond d'argent public ?** Autant de questions qui se posent à un observateur extérieur indépendant. De plus **la gestion actuelle du site paraît totalement aberrante. Comment peut-on autoriser des activités fréquentes favorisant fortement la diffusion de la contamination (loisirs tous terrains, rave-**



Photo S Garcia  
Traces de 2 roues sur un dépôt de haldes



parties...) alors que l'accès d'un tel site hautement pollué devrait être strictement limité. Un épisode est d'ailleurs révélateur de la dispersion de poussières toxiques : Un apiculteur a essayé d'implanter des ruches sur le site à proximité de la piste fréquentée par les engins motorisés tout terrain : toutes les abeilles sont mortes, les ruches restées sur le site sont vides !

## 4. Conclusion

Sur les études des dangers et des risques, on peut dire que les sols de la zone sont très fortement contaminés par plusieurs métaux et non métaux toxiques et que de très nombreux sites sont incompatibles avec tous les usages envisageables qu'ils soient agricoles, résidentiels, touristiques ou industriels. Les risques sont très élevés pour les enfants susceptibles de résider dans ces zones, mais sont aussi élevés pour les adultes. Ces risques sont en particulier liés à la présence de plomb, de cadmium, de thallium<sup>1</sup>, d'arsenic et d'antimoine. Les effets possibles sur la santé concernent plusieurs tissus (peau, foie, rein, sang, système nerveux...) et diverses pathologies cancéreuses, reprotoxiques et perturbatrices endocriniennes. Les risques pour l'environnement sont aussi élevés y compris ceux liés à la contamination des systèmes aquatiques. Des mesures urgentes et lourdes de gestion s'imposent donc de façon évidente.

Devant l'ensemble des manquements graves de l'état et de ses administrations décentralisées on ne peut que s'interroger sur les raisons de cette situation, les réponses ne devant pas concerner un manque de compétences, mais devant relever de pressions politiques et/ou économiques, sujet de choix pour un journalisme d'enquête.

## Références

- [1] Frédéric Ogé et Pierre Simon. Sites pollués en France : Enquête sur un scandale sanitaire. Librio, Rezé, 2004.
- [2] Cévennes et filons métallifères : les mineurs de la vieille montagne. Deux plaquettes du Conseil général du Gard.
- [3] Etude GEODERIS du site de La-Croix-de-Pallières, 2008.
- [4] La démarche d'Interprétation de l'état des Milieux (Sites et sols pollués, 2007).
- [5] Nelly OLIN. Note aux préfets, sols pollués du 08/02/2007.
- [6] BRGM. Les résidus miniers français : typologie et principaux impacts environnementaux potentiels, 1997.
- [7] <http://www.cevennes-parcnational.fr>

## Compléments au dossier

**Reportage photo sur la pollution à St-Félix-de-Pallières** – photos prises sur le site et commentaires repris de l'étude Géodéris.

**Interprétation de l'Etat des Milieux du site de St-Félix** – étude de 2011 qui a mis en évidence pour la première fois l'existence de risques pour la santé des riverains.

**Perspective pour améliorer l'information au public** – Démarche allant vers des valeurs-repère pour informer la population sur l'état des sols.

*A télécharger sur le site de l'ATC : <http://atctoxicologie.free.fr>*

---

<sup>1</sup> Il faut signaler que le thallium (Tl), est un métal trace toxique situé dans le tableau périodique entre le mercure et le plomb est 3 à 4 fois plus toxique en toxicité aiguë que le mercure et dont la toxicité à long terme chez l'Homme ne devrait pas être négligée.