

**POLLUTION DIFFUSE PAR LES METAUX
A PARTIR DES ANCIENNES MINES ; L'EXEMPLE DU LIMOUSIN**

BRIL, H., ROUSSEL, C., FLOCH J.P., NEEL C.,
COURTIN-NOMADE A., DUTREUIL, J.P.

LASEH-géologie, Université de Limoges, 123 avenue Albert Thomas, 87060 Limoges cedex

Résumé

En Limousin, la fermeture des exploitations minières a laissé des déblais riches en métaux et des galeries par lesquelles s'écoulent les eaux souterraines. Ces installations sont la source de contaminations métalliques diffuses pouvant déboucher sur une pollution : certains éléments toxiques sont mis en solution ou transportés sous forme de fines particules jusqu'au réseau hydrographique. Les menaces ne présentent jamais un tour catastrophique, mais il importe de continuer la surveillance des anciens sites y compris ceux qui ont été abandonnés avant 1976.

Mots clés : mines, pollution métallique, sols, sédiments, eau.

Abstract

**DIFFUSE METALLIC POLLUTION FROM THE FORMER MINES,
THE LIMOUSIN AREA AS AN EXAMPLE**

In the Limousin region, the closing of the mines left metal-rich tailings and galleries from which underground waters flow. These sites are the location of a diffuse metallic pollution : some toxic elements are released from the waste and transported as solubilized ions or as suspended material to the hydrographic network. The threats cannot be considered as catastrophic, but the watching of the former mining sites, is of importance.

Key-words : mines, metallic pollution, soils, sediments, water

INTRODUCTION

Les mines d'or, de tungstène, d'antimoine ou d'uranium ont été durant de nombreuses années une des richesses du Limousin (Bril et Watelet, 1986; Bril et Floch, 1994; Landais, 1996) : près de 35 tonnes d'or et 30000 tonnes d'uranium ont été extraites du sous-sol de la région. Si l'on excepte les aurières antiques (Cauet, 1994), leur exploitation a débuté à partir du milieu du XIX^{ème} siècle ; certaines mines ont fermé au moment de la crise économique des années 1930, l'uranium a connu un bel essor après la seconde guerre mondiale tandis que

l'époque actuelle est celle des fermetures : les dernières mines (d'or dans la région de Saint-Yrieix-La-Perche, d'uranium près de Jouac dans le nord de la Haute-Vienne) cesseront leur activité d'ici une à deux années.

Jusqu'à la fin des années 1970, une fois le minerai épuisé, les travaux miniers (anciennes galeries, tas de déblais, matériels divers...) étaient abandonnés sur place. Depuis la loi sur l'environnement (1976), un plan et un calendrier d'exploitation suivis d'une remise en état et d'une surveillance des sites après l'arrêt des activités, sont imposés à l'exploitant par l'administration compétente, la DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche). L'application de cette loi a eu pour effet de réduire les nuisances, sans qu'il soit évidemment possible de les supprimer.

L'un des impacts de l'activité minière est la dispersion des métaux non valorisables contenus dans le minerai, vers les eaux ou les sols environnants. Le laboratoire de géologie de l'Université de Limoges (LASEH) travaille depuis plusieurs années sur le problème des pollutions par les métaux à partir des déblais laissés par les anciennes mines. Le but de ces études est d'abord de caractériser la nature et les niveaux de contamination puis de tenter de prédire leur évolution dans le temps et l'espace (figure 1) afin de permettre un choix réfléchi de solutions de réaménagement.

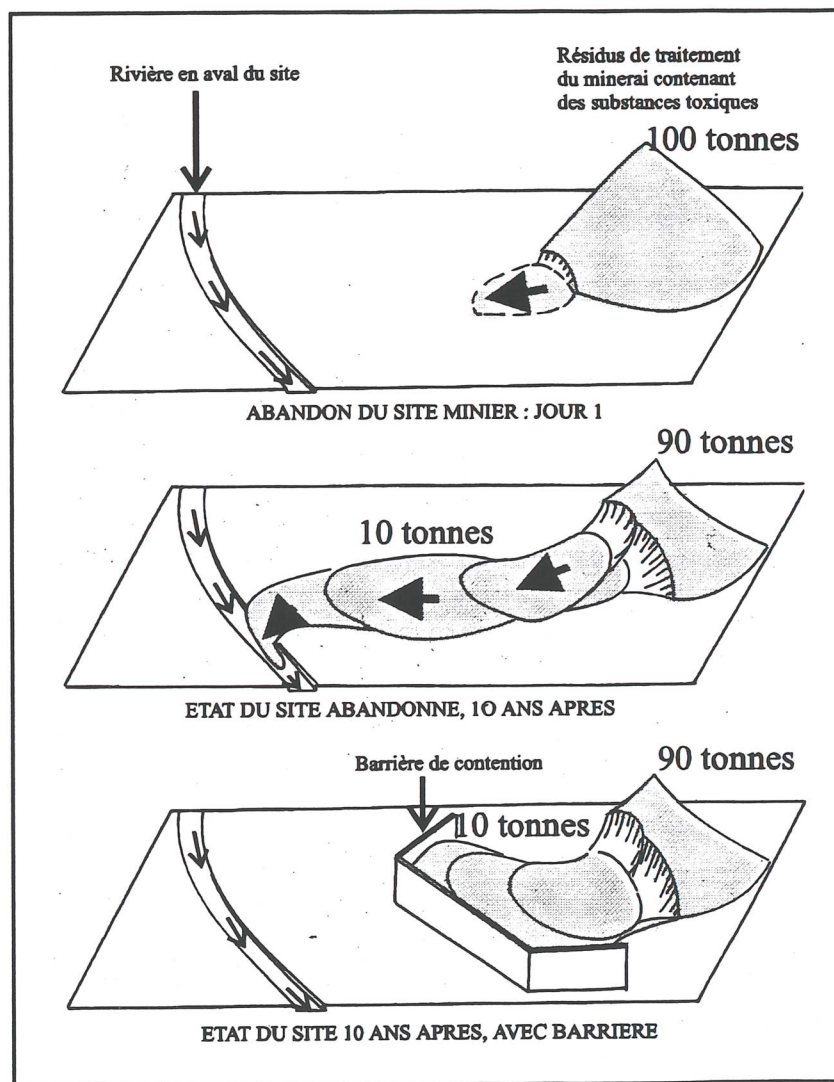


Figure1 - Représentation schématique du déplacement d'une pollution avec le temps.

MATERIELS ET METHODES

Qu'est-ce qu'une pollution ?

Ce mot très employé, n'est pas toujours bien défini (Chassin et al., 1996). De plus, on en parle avec l'idée fausse que ce qui est naturel est bon : mais l'arsenic même naturel, n'est pas bon pour la santé.

Une pollution est une concentration d'éléments ou de molécules *toxiques* susceptibles de passer dans la chaîne alimentaire et donc de nuire à l'un de ses maillons (végétaux, animaux, humains). Les milieux intermédiaires entre le minéral et le végétal ou l'animal, entre le végétal et l'homme sont souvent les eaux et les sols (figure 2). Il est donc nécessaire d'étudier correctement ces milieux et les transferts de l'un à l'autre.

Les pollutions ont des origines diverses. Elles peuvent être organiques (bactéries, virus, molécules organiques) ou inorganiques (métaux lourds comme le plomb, le zinc, le cuivre, le cadmium ou encore l'uranium, autres éléments comme l'arsenic, l'antimoine etc.). Dans cet article il ne sera question que de la pollution inorganique dont une des caractéristiques est la permanence, c'est à dire qu'elle n'est pas "biodégradable".

Cette définition de la pollution implique en outre qu'une forte concentration n'est pas dangereuse si elle est correctement isolée du milieu environnant. C'est sur ce principe que sont installés et gérés les sites de stockage (décharges) d'ordures ménagères ou industrielles : ils contiennent de grandes quantités d'éléments toxiques à des concentrations élevées, mais le conditionnement (mise en place de barrières imperméables) est tel qu'il n'y a pas ou peu de fuites possibles vers les eaux ou la biosphère.

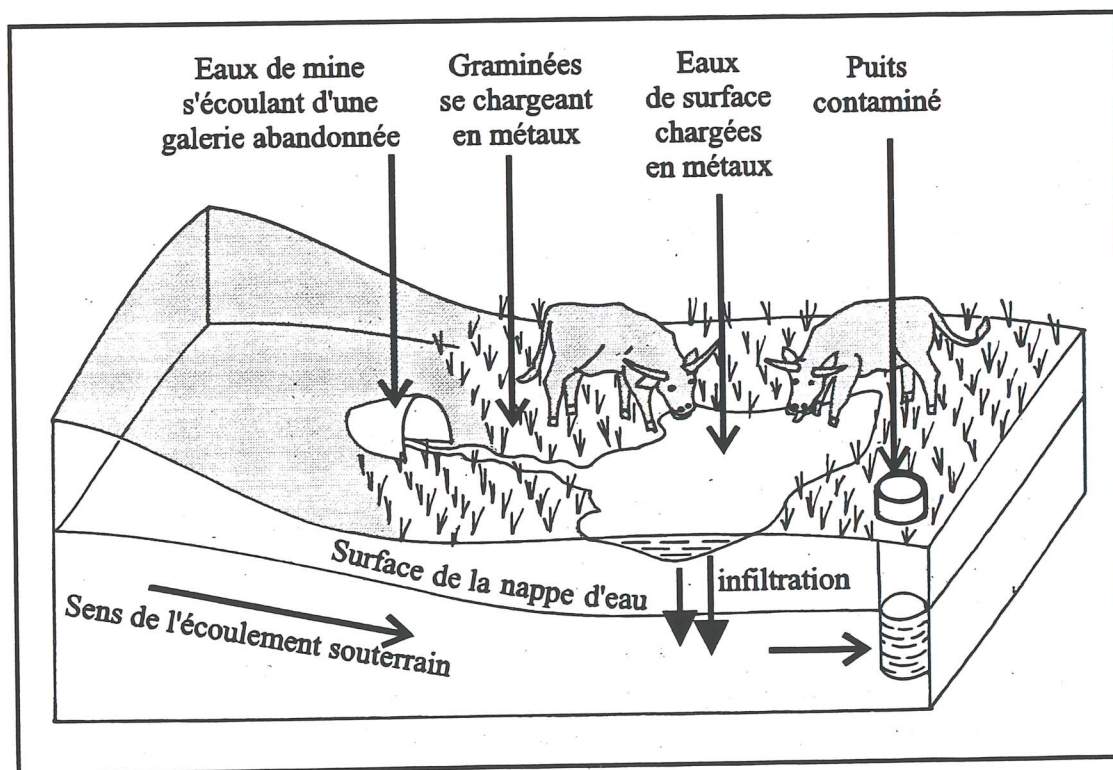


Figure 2 - Mécanismes qui permettent le passage d'un métal de la mine à la chaîne alimentaire

Mines, minerais et contamination

Une mine exploite des éléments lourds (généralement des métaux) utiles aux activités humaines, de la sidérurgie à l'électronique. Comme les conditions économiques ont largement varié au cours de cent cinquante dernières années, certaines concentrations métallifères ont été exploitées puis abandonnées. De nos jours, une mine ferme lorsqu'il n'y a plus de minerai exploitable aux conditions du marché ou/et lorsque les problèmes annexes (d'environnement par exemple) deviennent trop lourds à gérer.

Si l'on ne prend pas de précautions, les mines sont des sources de contamination chimique du milieu environnant pour trois raisons principales :

- les gisements contiennent toujours en grandes quantités des substances annexes, inintéressantes pour l'exploitant et souvent toxiques : en Limousin, ce sont le plomb, le fer, l'arsenic, le zinc, le soufre. De surcroît, dans le minerai, les métaux sont généralement présents sous forme de sulfures (exemple galène = PbS , sulfure de plomb; pyrite = FeS_2 , sulfure de fer), qui sont des minéraux instables à l'air et dans l'eau ;
- les travaux miniers (creusement de galeries à l'explosif, creusement de carrières...) ouvrent des voies pour la circulation des eaux dans des zones qui n'étaient pas fissurées auparavant, mettant ainsi les eaux en contact prolongé avec des éléments potentiellement polluants;
- la masse des stériles miniers, c'est à dire des déchets dont il faut se débarrasser est énorme : par exemple pour l'uranium, on compte en moyenne 995 kilos de stériles par tonne de minerai extrait et pour une tonne de minerai aurifère, il reste 999,990 kilos de stériles.

On peut donc dire en résumé que l'exploitation d'une mine met en contact des matériaux riches en soufre et en métaux avec les eaux souterraines (galeries) ou les eaux de pluie (tas de minerai entreposés à l'air libre, mines à ciel ouvert). Ainsi exposés aux conditions de la surface, ces matériaux libèrent les éléments qu'ils renferment, plomb, arsenic, fer etc. Lorsqu'elles sont en contact avec ces substances, les eaux superficielles ou souterraines en dissolvent une partie et entraînent une autre partie, sous forme de poussières riches en métaux, vers les cours d'eau puis les lacs où elles sédimentent. Par la suite, ces éléments peuvent rejoindre la chaîne alimentaire en étant absorbés par les végétaux ou les animaux.

Prenons l'exemple de l'arsénopyrite (appelé aussi mispickel) qui est un sulfure de fer et d'arsenic que l'on trouve à des teneurs de l'ordre de 1% dans de nombreux gisements limousins, qui contiennent de l'or, de l'uranium, du tungstène ou de l'antimoine. La formule de ce minéral s'écrit $Fe As S$, ce qui signifie qu'il est constitué par le même nombre d'atomes de fer, d'arsenic et de soufre. Un rapide calcul en fonction des masses moléculaires de ces éléments permet donc de constater qu'un kilo d'arsénopyrite renferme 460 grammes d'arsenic ou que pour une tonne de minerai d'or, on extrait 10 grammes d'or et 4600 grammes d'arsenic qu'il faut éviter de mettre en contact avec les eaux souterraines et les intempéries sous peine de le voir polluer l'eau, les sédiments des rivières ou les sols.

Le législateur a donc été amené à définir, au niveau européen les seuils maximums admissibles dans l'eau destinée à la consommation humaine pour toutes les substances jugées néfastes pour la santé (loi sur l'eau de 1989 et ses décrets d'applications). Ces seuils se chiffrent pour la plupart des métaux en microgrammes par kilo ($1\mu g = 0,000000001kg$) : 50 μg pour le plomb, 50 et bientôt 10 $\mu g/litre$ pour l'arsenic, 10 μg pour l'antimoine, 5 pour le cadmium etc.

Pour les sols, et la plupart des végétaux, il n'y a pas de normes précises et certains végétaux intègrent plus facilement que d'autres tel ou tel élément à leur métabolisme : certaines sont capables de se développer malgré des concentrations de plusieurs mg/kilo de matière sèche. Il est donc nécessaire pour comprendre cette chaîne très complexe d'étudier la façon dont les polluants métalliques sont transférés du sol à l'eau, de l'eau au sol et à la plante.

RESULTATS

L'ancienne mine des Farges (Haute Vienne)

Parmi d'autres sites, nous avons étudié le cas de Chéni (Roussel et al., 1998; Roussel et al., 2000), dans la région de Saint-Yrieix-La-Perche, où 600000 tonnes de stériles miniers très fins et de couleur jaune, répartis en un terril d'une hauteur de 30 mètres et trois bassins de décantation ont été abandonnés en l'état en 1944, date à laquelle la résistance fit sauter le puits de la mine voisine. A une teneur comprise entre 0,7 et 0,8 % la quantité d'arsenic totale pouvait être estimée à 4500 tonnes d'arsenic entreposé initialement sous la forme d'un sulfure de fer et d'arsenic, l'arsénopyrite.

Durant une année (en 1995-1996), nous avons échantillonné puis analysé les eaux de Chéni tous les dix jours, en 13 points différents. Les résultats ont montré qu'à la sortie du site elles contenaient de l'arsenic, souvent bien au delà des normes. De même, les concentrations mesurées dans l'eau pouvaient varier fortement en un même point d'une semaine à l'autre, mais les quantités totales exportées sous forme dissoute étaient relativement faibles par rapport au débit de la rivière Isle qui coule à une centaine de mètres en contrebas. Cela signifie que l'impact du site sur la rivière était très faible pour ce qui concerne l'arsenic en solution.

La seconde partie de l'étude a mis en évidence que la configuration actuelle des stériles permettait finalement une assez bonne rétention du polluant principal, l'arsenic, et qu'il serait très mauvais de changer les conditions d'acidité et de contact avec l'air (pH-Eh) qui régnaient au sein des stériles car on augmenterait alors la solubilité de l'arsenic. En d'autres termes cela signifie qu'il ne fallait pas, par exemple, aplanir le terril pour en diminuer la perception visuelle depuis les hauteurs environnantes.

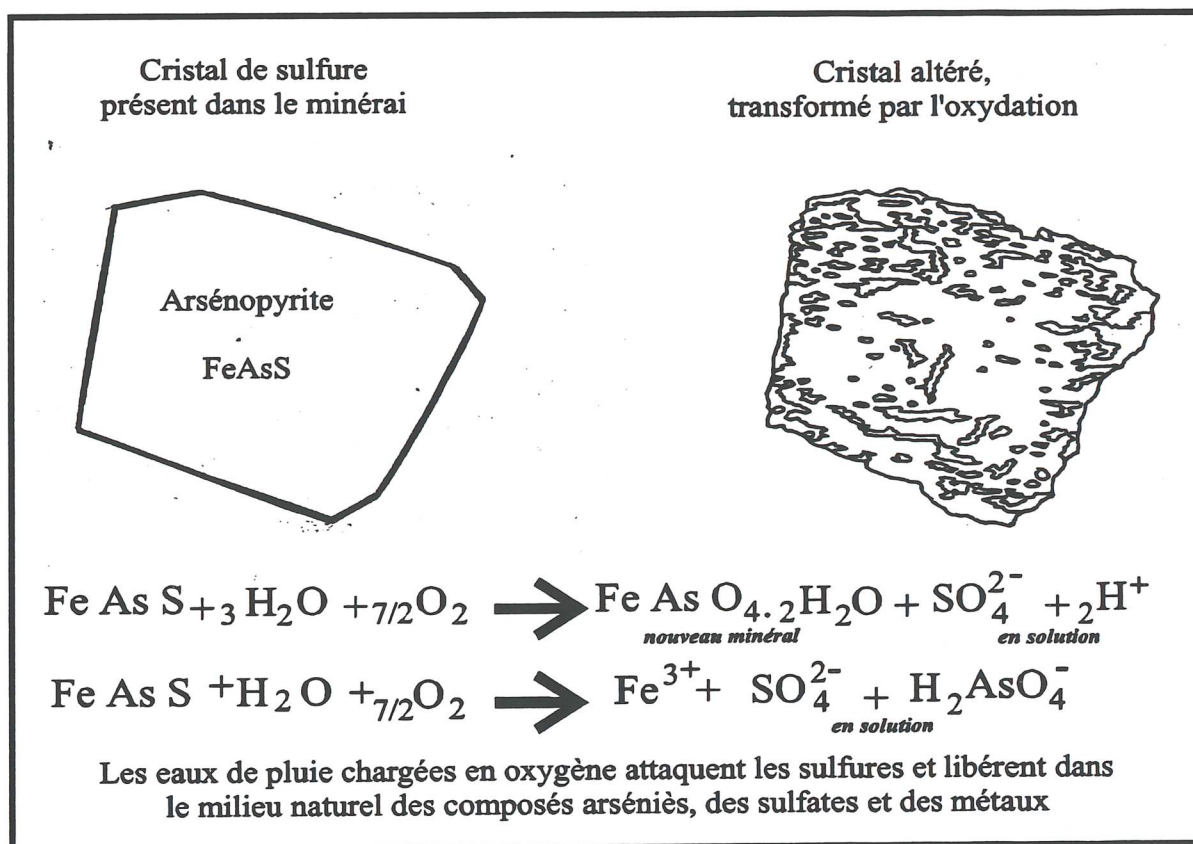


Figure 3 - Altération des sulfures.

Malgré ces "bonnes nouvelles", l'impact du site n'était pas nul puisque, lors des pluies d'orage de l'été, les stériles étaient soumis à une forte érosion qui colorait la rivière en jaune sur quelques dizaines de mètres et qu'à chaque épisode pluvieux, plusieurs kilos d'arsenic y étaient amenés sous forme de fines particules appelées matières en suspension. Nous ne connaissons pas le devenir de cet arsenic à l'aval de Chéni, mais il constitue aujourd'hui une (petite) partie des sédiments sur lesquels coule l'Isle et il est vraisemblable qu'il se met tout doucement en solution puisqu'il est assez soluble sous cette forme. Les travaux de remédiation devaient donc comporter avant toute chose la mise en place de nouvelles digues empêchant les matières en suspension d'être amenées jusqu'à la rivière. C'est ce que l'ancien exploitant a fait réaliser à la fin de 1999. Néanmoins, à l'aval de cette région où l'arsenic est fortement présent, les concentrations dans les eaux superficielles sont encore préoccupantes.

Nous avons étudié aussi d'autres sites en Limousin et dans tout le Massif central (Roussel et al., 2000; Courtin et al., 2000). Une partie des résultats obtenus montre qu'il faut prêter plus d'attention qu'on ne le fait habituellement aux particules fines, souvent fortement chargées en polluants, qui sont entraînées hors des déblais ou hors des anciennes galeries jusqu'au réseau hydrographique. Et cela est vrai pour de nombreux éléments et sur tous les anciens sites miniers. Une autre conclusion est qu'il est nécessaire d'effectuer une surveillance (et donc des analyses) de l'eau sur au moins un cycle hydrologique complet, c'est à dire une année, sans oublier les solides qu'elle transporte .

L'ancienne mine de La Petite Faye (Creuse)

La Petite Faye près de Bénévent-l'Abbaye, est le nom d'une ancienne mine d'or qui n'a produit que 321 kilos d'or au début des années 1960, à comparer aux 7 tonnes de la mine des Farges dont il vient d'être question (Floc'h et Bril, 1994). Une des particularités de ce site, beaucoup plus petit et moins spectaculaire que le précédent, est d'avoir traité également en 1965 un minerai venant de Suède avec de très fortes teneurs en or, mais aussi en plomb et en arsenic. Tous les résidus de traitement ont été abandonnés sur place.

Après avoir procédé aux analyses nécessaires pédologiques et chimiques pour caractériser le milieu (Néel et al., 2001) et connaître les quantités de métaux encore présentes dans les sols (Roussel et al., 2000), nous avons procédé à des analyses minéralogiques qui nous ont révélé la présence en abondance, d'un sulfate arsenié de plomb (la beudantite) et d'un sulfate arsenié de fer (la scorodite) qui se sont formés depuis l'arrêt de l'exploitation sur le site abandonné.

Sur divers échantillons de sols et nous avons ensuite procédé au laboratoire à des essais de solubilisation de ces nouveaux minéraux qui se sont révélés stables dans les conditions qui règnent actuellement sur le site. En d'autres termes, ces nouveaux minéraux immobilisent de façon durable les éléments toxiques présents dans les déblais de La Petite Faye et les empêchent de rejoindre le réseau hydrographique. Il n'y a donc pas de risque, pour ce qui concerne le plomb et l'arsenic, si le site est convenablement isolé.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les risques en Limousin

En Limousin, il n'y a pas lieu de craindre de grandes pollutions comme celles qui se sont produites en Europe au cours des dernières années. Dans le sud de l'Espagne en avril 1998, un peu en amont du Parc Naturel de la Doñana, dans le célèbre district minier de Rio Tinto, ce sont cinq millions de mètres cubes (de 15 à 20 millions de tonnes) de pyrite qui ont été déversés dans un affluent du Guadalquivir à la suite de la rupture d'une digue. En Roumanie, le 30 janvier 2000 à la mine d'Aurul, la même cause a provoqué le déversement de cyanure, utilisé dans les

procédés de concentration du minerai, dans un affluent du Danube.

Cependant, les anciennes mines limousines relarguent quotidiennement des eaux contenant des métaux dissous ou transportant des sédiments très fins sur lesquels sont piégés des métaux qui vont se mêler plus en aval, aux alluvions des cours d'eau ou aux sédiments des lacs. Là, ils peuvent constituer un nouveau réservoir de substances polluantes.

Il existe aussi des risques naturels moins connus : en Limousin, certaines formations géologiques (des gneiss, des granites etc.) ou certaines structures géologiques (des failles) sont naturellement riches en métaux. C'est le cas d'une grande faille appelée la faille d'Argentat qui contient plusieurs dizaines de milligrammes d'arsenic par kilo de roche à certains endroits. C'est aussi le cas, dans des districts miniers actuels ou anciens (Saint-Yrieix-La-Perche, Monts de Blond, Bénévent-l'Abbaye...), de certaines failles qui sont susceptibles de constituer des aquifères utilisés pour l'eau potable. En conséquence, certaines sources captées et certaines rivières présentent de temps à autre, ou de manière chronique, des concentrations en arsenic ou en métaux supérieures aux normes. Il n'existe que deux remèdes : abandonner les captages ou traiter les eaux brutes concernées lorsque la ressource est utilisée pour l'alimentation en eau potable.

Les autres sources potentielles de métaux dans l'environnement

Les mines et leurs annexes ne constituent pas la seule source potentielle de contamination de l'environnement par les métaux. Les industries métallurgiques où sont pratiqués notamment l'électrolyse ou la galvanisation, sont une source importante de métaux lourds. Dans les imbrûlés des usines d'incinération des déchets ménagers (résidus ultimes), les métaux sont très concentrés et présentent de forts risques de relargage. De même, les boues des stations d'épuration urbaines que l'on élimine notamment en procédant à des épandages agricoles, possèdent aussi de fortes teneurs en métaux, zinc, plomb ou cadmium par exemple. Dans tous les cas, il est nécessaire d'éviter les fuites incontrôlées de ces éléments toxiques, en stabilisant ces matériaux ou en les préservant de contacts prolongés avec les eaux superficielles ou souterraines. C'est à cause de toutes ces applications potentielles que nous avons étudié les pollutions minières et que nous nous intéressons aujourd'hui à d'autres foyers de pollution riches en métaux susceptibles de contaminer les eaux superficielles et souterraines.

Dans tous les cas que nous venons de citer, les mécanismes de contamination sont les mêmes, même si les concentrations sont différentes. Les enjeux de ces études sur la distribution des substances potentiellement polluantes dans l'environnement, sont une aide à la gestion des espaces naturels ou anthropisés. Dans le cas des mines, il s'agit aussi d'assumer l'héritage du passé. Mais comme nous l'avons dit au début de cet article, ce n'est pas parce qu'une zone contient des métaux qu'elle est polluée ou susceptible de l'être: éviter une pollution, c'est éviter que les métaux ne passent dans la chaîne alimentaire.

BIBLIOGRAPHIE

- Bril, H., Floc'h, J.P. 1994. - Sous le sol du Limousin, éd. I.E.O. Aurillac collection escapade, 32 pages.
- Bril, H., Watelet, P., coordonnateurs, 1986.- Les richesses du sous-sol en Auvergne et Limousin. Editions Ville d'Aurillac, 283 pages.
- Cauuet, B., 1994. - Les mines d'or gauloises du Limousin. Culture et patrimoine en Limousin, Limoges, 40 pages.
- Chassin P., Baize, D., Cambier, P., Sterckeman, T., 1996.- Les éléments traces métalliques et la qualité des sols. *Etude et gestion des sols*, 3, 4, p. 297-306.
- Courtin, A. , Bril, H. and Néel, C., 2000. - Arsenic iron crust developed within tailings of a

former metallic mine. *1st International Conference on Soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining areas, July 2000, Essen, Germany*, Proc. Vol III, 1029-1032.

Landais, G., 1996.- Entrailles; petites histoires du sous-sol limousin. Ed. PULIM, 40 p.

Néel, C., Bril, H., Courtin, A. & Dutreuil, J.P., 2001.- Fate of As and heavy metals in acid anthroposoils developing on the tailing of a former gold mine. *Geoderma*, (soumis)

Néel, C., Bril, H. & Fernandez, A., 1998.- Hydrogeochemical survey and mobility of As and heavy metals on the site of a former gold mine (Saint-Yriex mining district, France). *Hydrogéologie*, 1, 3-12.

Roussel, C., Bril, H. & Fernandez, A., 2000.- Arsenic speciation : involvement in the evaluation of environmental impact caused by mine wastes (sous presse). *J. Environ. Qual.*, 29, 182-188.

Roussel, C., Néel, C. & Bril, H., 2000.- Minerals controlling and lead solubility in an abandoned gold mine tailing. *The Science of the Total Environment*, 263, 209-219.



INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

Les articles publiés dans la revue concernent tous les aspects ayant trait à l'étude du milieu de la région Limousin et doivent présenter des résultats originaux. Les articles de synthèse ne sont acceptés que s'ils conduisent à des généralisations nouvelles et importantes. Tous sont soumis à l'avis de deux réviseurs.

Présentation du texte : Les manuscrits devront être dactylographiés en simple interligne avec une machine à écrire de bonne qualité ou être imprimés avec une imprimante de type "laser". Ils pourront se présenter sous la forme de fichiers informatiques créés avec le logiciel "Word", soit pour compatible PC, soit pour Macintosh. Les noms latins sont à taper en italique.

Un espace de 5 cm sera laissé en haut de la première page afin que la rédaction puisse mettre les références de l'article.

Le manuscrit ne devra pas dépasser 24 pages imprimées. La largeur du texte par page sera de 17 cm avec marges de 2 cm de chaque côté. Les marges du haut et du bas auront 2,5 cm. La page 1 doit comporter le titre de la publication écrit en majuscules (sauf pour le noms latins qui seront en minuscules), les noms des auteurs suivi du prénom en abrégé et de leur adresse.

Les articles doivent être rédigés en français et comporter un résumé en français et en anglais ainsi que des mots clés dans les deux langues placés en fin de chaque résumé. Le titre traduit en bon anglais doit également figurer au début du résumé anglais.

Figures et tableaux : Les figures seront numérotées successivement avec des chiffres arabes et auront chacune une légende descriptive. Les tableaux seront numérotés de même avec des chiffres romains et seront pourvus chacun d'un titre. Pour un manuscrit dactylographié ou imprimé au format définitif, les figures et les tableaux seront disposés à leur place dans le texte. Pour les autres cas, les figures et les tableaux seront fournis sur des feuilles séparées. Leur qualité devra être suffisante pour supporter une réduction les amenant à la largeur maximale du texte de la page, soit 17 cm.

Photographies : Les photographies en noir et blanc devront être suffisamment nettes, tirées sur papier brillant et normalement contrastées. Leur largeur doit être inférieure à 17 cm. Elles doivent être mises en place dans les textes définitivement dactylographiés ou imprimés, accompagnées d'une légende. Les photographies en couleurs ne sont pas acceptées.

Références bibliographiques : Les noms des auteurs seront mentionnés dans le texte avec l'année de publication entre parenthèses. Les références seront classées par ordre alphabétique à la fin du texte selon les exemples suivants :

CHAUDRONNET, J., 1978. - La phylogénèse du système nerveux annélido-arthropodien. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 103, 69-95.

PATT, D.I., PATT, G.R., 1968. - Comparative vertebrate histology. Harper and Row éd., New-York, 438 p.

Epreuves et tirés-à-part : Les manuscrits (en 3 exemplaires) ou fichiers informatiques sont à envoyer à l'attention des secrétaires de rédaction. L'auteur sera informé de l'acceptation, du rejet, ou de modifications nécessaires dans les trois mois qui suivent la réception du manuscrit. Les auteurs recevront un seul jeu d'épreuves pour corriger les erreurs typographiques. Aucune correction d'auteur ne sera acceptée. Les épreuves devront être retournées dans un délai de deux semaines.

Vingt tirés-à-part sont fournis gracieusement à l'ensemble des auteurs. Des exemplaires supplémentaires pourront être demandés mais ils seront facturés en supplément.