

Risques toxiques en spéléologie minière

par Dr Jean-Pierre BUCH¹

La spéléologie se déroule habituellement en milieu naturel où les risques toxiques sont quasiment inexistantes hors pollution accidentelle. Notons cependant l'existence de filons d'amiante dans des cavités de Corse, exemple unique de ce type en France, ou le développement de cavités à partir de failles minéralisées (pyrite, blende, galène, fluorine). La spéléologie minière s'est beaucoup développée ces dernières décennies et tend à devenir une activité à part entière en termes de technique et de progression. Il ne faudrait pas oublier que ces réseaux anthropiques avaient une raison d'être bien différente, l'extraction massive de minerais à des fins industrielles.

L'exploration de ces réseaux peut donc exposer le spéléologue à des produits toxiques dont il n'a pas forcément connaissance, qui pourraient être nocifs pour sa santé.

Le but de cet article est de sensibiliser le pratiquant à ces risques afin qu'il puisse continuer ses explorations en toute sérénité, en sachant quels sont les toxiques rencontrés, quels sont leurs risques pour la santé et comment s'en protéger.

Une remarque fondamentale s'impose d'emblée.

L'exposition des ouvriers mineurs aux toxiques est marquée par son intensité et sa durée tout au long d'une vie professionnelle. Cela n'a évidemment rien à voir avec les quelques heures ou dizaines d'heures qu'un spéléologue passera dans ce milieu. Une pratique très intense peut approcher certains seuils, mais globalement le risque reste très limité et sans aucune commune mesure avec une exposition professionnelle. Ce qui n'empêche pas de prendre des mesures de prévention adaptées.

Les voies de contamination

Le corps humain présente trois voies potentielles de pénétration des toxiques : respiratoire, digestive, cutanée.

■ La voie respiratoire est la principale dans notre domaine. Les poussières qui reposent sur le sol vont être mises en suspension dans l'air de manière durable (plusieurs heures) à la moindre sollicitation : marche, reptation, courant d'air, et bien sûr les techniques de progression comme la pose de broche ou de Spit, et surtout la désobstruction.

Les particules les plus grosses sont arrêtées par les voies aériennes supérieures, muqueuse nasale, trachée et bronches. Ces muqueuses sont revêtues d'un tapis muco-ciliaire qui permet un captage des particules et leur expulsion dans l'air expiré (mouillage, toux et expectoration). Un bon exemple est le fait de moucher noir après usage d'une lampe à



Filon de houille, mine de 1830 - Gard.

acétylène, le noir de carbone étant issu de la combustion incomplète de l'acétylène. Par contre, les particules les plus fines pénètrent jusqu'aux alvéoles et y restent piégées, pouvant alors provoquer des irritations locales, des allergies, et ensuite migrer dans la circulation sanguine.

- La voie digestive : par l'intermédiaire de l'eau ou des aliments, qui peuvent être pollués au départ (surtout pour l'eau), ou contaminés sur place (mains sales, repas pris sur le terrain sans précautions). Les particules sont ingérées et passent directement dans la circulation sanguine au niveau du tube digestif.
- La voie cutanée : la peau n'est pas un organe totalement étanche, surtout lorsqu'il y a des plaies ou des microlésions, et, *a fortiori*, s'il y a une pathologie dermatologique comme de l'eczéma ou tout autre affection de la peau (qui peut être tout simplement l'humidité persistante). Le port de vêtements souillés par un produit toxique est un grand facteur de contamination, ainsi que l'argile collante.

On comprend dès maintenant que les moyens de prévention reposent sur la gestion et le traitement de ces trois voies de pénétration. Nous y reviendrons plus loin.

Les toxiques présents

Ils sont potentiellement très nombreux mais finalement assez peu présents en réalité dans les conditions habituelles de la spéléologie minière.

Les terrains extraits de la mine ont une concentration en minerai éventuellement toxique faible, de l'ordre de quelques pour cent au maximum. Les poussières sont donc peu concentrées en toxiques, que ce soit pour les roches exploitées ou pour les « stériles », roches n'ayant pas une concentration suffisante de métal pour être extraites, mais qui le sont encore suffisamment pour être toxiques.

Par ailleurs, chaque type de minerai n'est pas exploité partout et ces mines ne sont pas toujours pénétrables.

On peut distinguer deux grandes familles de produits miniers : les produits métalliques et les produits minéraux non métalliques.

Les produits minéraux non métalliques vont être représentés par le charbon, la houille, la potasse, le gypse, les bitumes, les phosphates, etc. Le toxique majeur est la silice qui est un constituant de nombreuses roches. Elle est cancérigène



Boisage peu rassurant - eau minéralisée - mine de barytine - Lozère.

pour le poumon et provoque la silicose, maladie emblématique des mineurs de fond. Les bitumes exposent à des produits pétroliers volatiles, toxiques pour les lignées de cellules sanguines.

Les produits métalliques sont très nombreux, qu'ils soient l'objet même de l'extraction ou qu'ils soient un composé associé dans le terrain : fer, plomb, argent, arsenic, antimoine, uranium, or, baryum, cadmium, mercure, manganèse, zinc, nickel, tungstène, thallium, bismuth, cobalt, fluor, strontium, cuivre, aluminium, etc.

Chacun a sa toxicité propre, que l'on peut retrouver dans les « Fiches toxicologiques » de l'INRS à l'adresse suivante <http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox.html>.

Cette longue liste ne doit pas impressionner car le spéléologue sera finalement très peu concerné par ces éléments en dehors du plomb. Celui-ci est le plus fréquemment rencontré, souvent dans des vieilles mines abandonnées de plomb-argent. Nous le prendrons comme exemple plus loin.

À ces éléments viennent s'ajouter quelques autres :

- Le degré d'hygrométrie de l'air : plus il est élevé plus les poussières auront tendance à rester au sol. Inversement, une atmosphère sèche va favoriser la pulvérisation et la mise en suspension des poussières.
- La ventilation naturelle va jouer de manière contradictoire : elle diminue la

teneur aérienne des poussières mais elle favorise leur dispersion.

- La présence de sulfure dans le matériau : ces sulfures s'oxydent à l'air en oxydes de soufre, qui, une fois hydratés, se transforment en acide sulfurique, très irritant pour les muqueuses en raison de son fort pouvoir acide, cette irritation favorisant la pénétration des toxiques.
- Le lessivage des terrains et l'accumulation d'eaux stagnantes dans certaines galeries favorisent la concentration des toxiques dans ces zones aquatiques qu'il faut traverser, justifiant certaines précautions.
- D'autres éléments toxiques peuvent exister aux mêmes endroits, comme le méthane (le fameux grisou), le gaz carbonique (fréquent dans les mines avec des taux généralement stables), l'oxyde de carbone (essentiellement en cas de désobstruction), le radon (gaz cancérigène issu de la désintégration de l'uranium présent dans les roches granitiques), les éventuels polluants exogènes (hydrocarbures).
- Plus l'effort physique est important et la température locale élevée, plus le sujet va hyperventiler et donc absorber d'autant plus de particules toxiques. Heureusement, les galeries de mines modernes (postérieures à 1850) sont taillées et calibrées pour faciliter leur parcours dans un but de rentabilité, ce qui minimise l'effort nécessaire. Mais les mines plus anciennes suivent les filons et sont beaucoup plus irrégulières. Par



Boisage mixte, mine de zinc, plomb, cadmium, cuivre - Gard.



Boisage - mine de zinc, plomb, argent, cadmium - Gard.

contre la température atmosphérique peut être élevée dans certains cas.

- Sur le plan physiologique, les toxiques métalliques s'éliminent par voie urinaire. Les métaux lourds sont dangereux pour le rein si l'on ne boit pas suffisamment, ce que l'on reverra au chapitre de la prévention.

Le plomb

Nous le prenons comme exemple car c'est le plus fréquent potentiellement, que sa toxicité est bien connue en milieu de travail et que sa prévention est bien codifiée.

Le plomb est un métal lourd, qui peut pénétrer dans l'organisme par les trois voies mentionnées ci-dessus.

L'intoxication aiguë n'est *a priori* plus à craindre sauf exception, l'intoxication chronique est envisageable sur des longues durées, qu'elle soit professionnelle ou domestique (peintures, tuyauteries en plomb, etc.).

Une fois dans l'organisme, il se stocke dans les os pour une longue durée (plusieurs décennies) et peut se relarguer dans le sang pendant une dizaine d'années, son élimination est urinaire. Il est particulièrement dangereux chez l'enfant.

Le plomb est toxique pour plusieurs organes :

- le système nerveux : neuropathie, encéphalopathie ;
- l'appareil digestif : douleurs abdominales, vomissements ;
- les reins : insuffisance rénale ;
- la moelle osseuse : anémie ;
- la reproduction : baisse de la fertilité, retard de croissance, effet tératogène.

Le diagnostic de l'intoxication repose sur le dosage sanguin, la plombémie, qui

reflète assez fidèlement le niveau d'exposition, mais pas la quantité qui a pénétré dans le corps. Il sera complété par le dosage de la PPZ (protoporphyrine-zinc, enzyme de la chaîne de synthèse de l'hémoglobine), qui est le reflet de la toxicité concrète dans le corps.

L'élimination du plomb étant très longue, les dosages doivent être étalés dans le temps sur plusieurs mois.

On admet les taux suivants de plombémie :

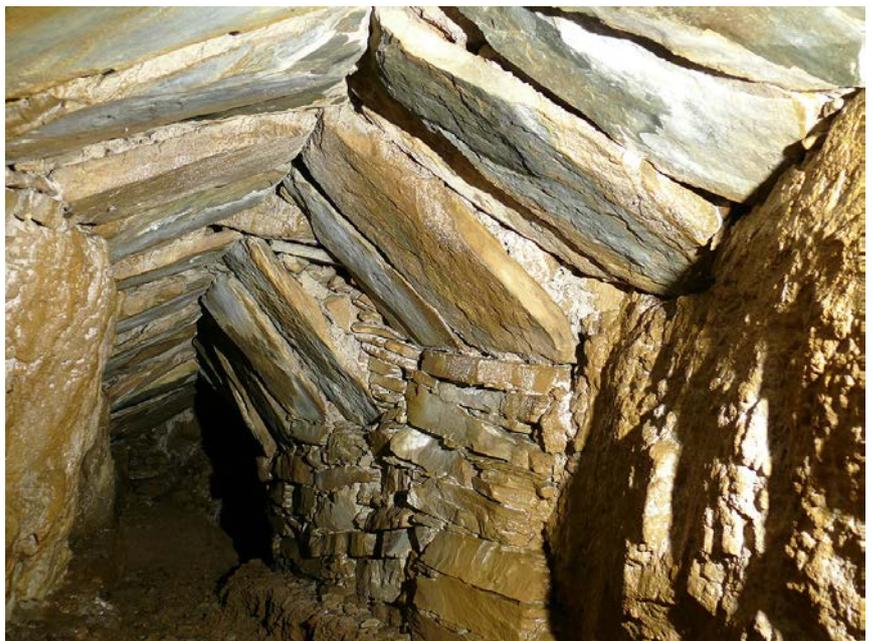
- Pour une personne non exposée professionnellement : la plombémie ne doit pas dépasser 90 µg/l chez l'homme et 70 µg/l chez la femme ;
- Pour un enfant : le taux doit rester inférieur à 50 µg/l ;
- Pour une personne exposée professionnellement : une surveillance médicale renforcée est mise en place dès un

taux de 200 µg/l chez l'homme et 100 µg/l chez la femme, en sachant que les taux ne doivent pas dépasser les limites contraignantes de 400 µg/l chez l'homme et 300 µg/l chez la femme.

Les traitements applicables en cas d'intoxication, les chélateurs, ne sont envisagés que dans des cas particuliers d'intoxication importante et ils nécessitent une hospitalisation.

Les mesures de prévention

Le principe est simple, il faut éviter totalement le contact avec le toxique... À défaut, il faut limiter l'exposition au strict minimum, à commencer par la durée de cette exposition, puis éliminer dès que



Voûte de mine médiévale (XIII^e siècle) mine de plomb argent - Gard.

possible et le plus complètement possible les souillures. Pour faciliter l'élimination urinaire du toxique une fois qu'il a pénétré dans le corps, il faut boire le plus possible, entre 1,5 et 2 litres par jour au moins.

Facile à dire, plus compliqué à faire... Reprenons les voies de pénétration et voyons ce qu'il est possible de faire.

- Pour la voie respiratoire: il n'y a pas beaucoup d'alternatives, c'est le port d'un demi-masque facial filtrant anti-poussières du type FFP2 ou FFP3. Leur capacité de filtration est identique mais le FFP3 est plus étanche, à condition de l'appliquer correctement pour ne pas laisser de points de fuite. Pour les barbus c'est évidemment plus aléatoire... Tout autre moyen est voué à l'échec (foulard, bandeau, etc.). C'est d'ailleurs la même recommandation pour la prévention de l'histoplasmose.

Les masques à cartouche peuvent protéger aussi des poussières mais ce n'est pas leur but premier qui est la filtration des produits chimiques. Ils sont intéressants pour les hydrocarbures ou les oxydes de soufre.

Il faut reconnaître que cette protection respiratoire est très inconfortable quand elle doit être gardée plusieurs heures, tout en faisant des efforts physiques importants et d'autant plus si la température ambiante est chaude.

- Pour la voie digestive: on peut recommander de ne boire que de l'eau encapsulée, ce qui peut s'avérer difficile dans une région isolée. Les sources locales, même de belle apparence, peuvent être polluées si leur bassin d'alimentation comporte ou traverse des terrains toxiques, la filtration étant inefficace sur ce problème. Cependant, la consommation d'eau dans ces conditions sera très limitée dans le temps, à défaut d'être négligeable.

- L'élément le plus important est la prise des repas. Elle ne doit pas se faire sur le terrain contaminé. Si l'on y est obligé il faut isoler et protéger les aliments des sources de poussières, et surtout se laver les mains et le visage (sans oublier la barbe) à l'eau, si possible savonneuse, avant de prendre le repas. En fin de journée il faut prendre une douche complète, shampoing compris, avec un savonnage soigneux pour enlever le maximum de souillures.

Dans le même ordre d'idée, il ne faut pas boire ou fumer en zone contaminée.

- Pour la voie cutanée: il faut protéger les parties découvertes, essentiellement les mains avec des gants, le corps avec une combinaison. Pour le visage c'est plus compliqué et l'on fera surtout appel au lavage à grande eau du visage. Pour le reste du corps, il faut enlever les vêtements souillés si possible tous les jours et les laver à part des autres vêtements pour ne pas les contaminer à leur tour. Laver les bottes ou chaussures à grande eau.

- Dans certains cas d'eaux stagnantes, celles-ci peuvent être riches en produits agressifs et peuvent nécessiter des tenues spécifiques résistant aux produits chimiques (pontonnaire, waders, cuissardes).

- On peut envisager l'utilisation de sur-combinaison à usage unique du type Tyvek°, mais elles sont fragiles et se déchirent facilement en milieu agressif. Elles peuvent être utilisées en sous-combinaison.

Le retour

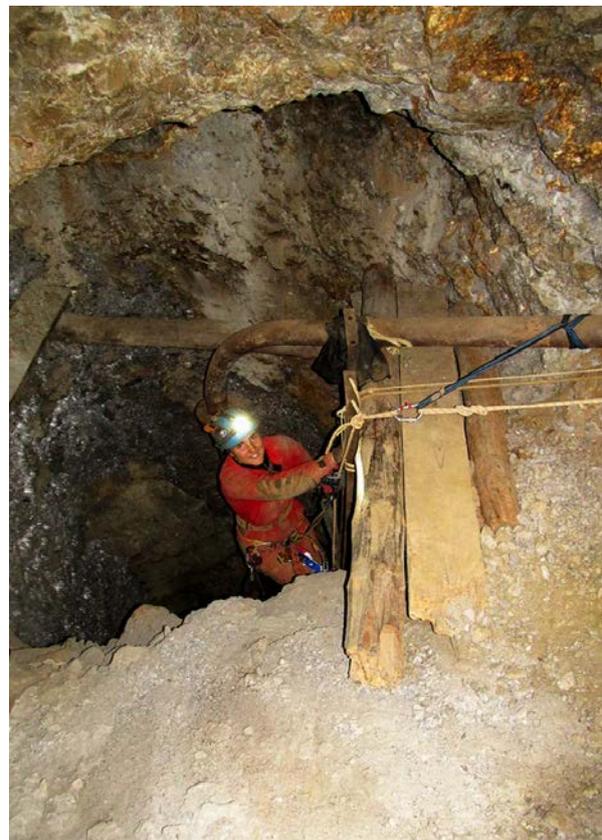
Après une exposition à un produit toxique, il peut paraître logique et utile de réaliser des dosages sanguins et/

ou urinaires pour vérifier la portée de l'imprégnation.

Encore faut-il savoir précisément à quels toxiques on a été exposé... Il y a souvent une exposition multiple, sans que l'on sache quel est le principal.

Le plomb est sans doute le meilleur exemple car il est bien codifié. C'est plus compliqué pour les autres toxiques. Les laboratoires spécialisés ne sont pas nombreux, les examens coûtent cher, les conditions de prélèvement nécessitent parfois un protocole complexe et la signification d'un taux isolé est loin d'être pertinente, en particulier selon le délai écoulé entre l'exposition et le contrôle biologique.

En milieu de travail on se fie surtout au suivi dans le temps des indicateurs biologiques, et pas forcément à des taux pris isolément du contexte. Il ne faudra donc pas trop compter sur cette possibilité.



Puits de mine - Gard.

J'adresse mes chaleureux remerciements à Michel Wienin pour ses précieux conseils et son iconographie, à Albert Demichelis et aux membres de la CoMed pour leur relecture.

Conclusion

Les risques toxiques en spéléologie minière sont très limités du fait d'une courte période d'exposition, qui n'a aucune commune mesure avec une exposition professionnelle, et d'une faible concentration habituelle de toxiques.

Elle ne doit cependant pas être négligée en fonction de la nocivité du toxique concerné.

La prévention peut être parfois difficile à respecter, mais elle reste la seule réponse efficace, puisque l'on ne peut pas agir une fois que le toxique a pénétré l'organisme, si ce n'est de boire abondamment pour forcer l'élimination urinaire naturelle du toxique, c'est-à-dire entre 1,5 et 2 litres d'eau de boisson par jour.