

# **Guide canadien d'évaluation des incidences sur la santé**

---

## **Volume 2**

### **Prise de décisions en matière d'évaluation des incidences de l'environnement sur la santé**

**VERSION DE TRAVAIL/NE PAS CITER**

**Decembre 1999**

Ce document a été divisé dans une série de fichiers pour faciliter leur téléchargement de notre site du web.

## Industrie minière

### Notions de base sur l'exploitation minière en général

L'industrie minière comporte plusieurs étapes qui sont l'exploration, l'exploitation et le traitement des minerais<sup>12</sup>. Les substances concernées par l'activité minière peuvent être essentiellement séparées en deux groupes : les métaux, qui comprennent notamment l'or, l'argent, le plomb, le cuivre, le nickel, le zinc, le molybdène et le fer, ainsi que les non-métaux qui comprennent l'amiante, le gypse, la potasse, le sel, le titane, le soufre, la silice et la tourbe. Il faut par ailleurs souligner que les données statistiques incluent habituellement un troisième groupe. Celui des matériaux de construction ou 'carrières', lequel comprend le granit, le calcaire, le marbre, le grès l'ardoise, le sable, le gravier, la chaux et le ciment.

L'exploitation d'un gisement minier, qui consiste à extraire du sous-sol le minerai et les constituants de la gangue, peut se faire dans des mines à ciel ouvert (exploitation de surface) ou souterraines. Dans le cas d'une exploitation de surface, le minerai est prélevé à mesure que la fosse est élargie et creusée. Au Québec, les gisements à ciel ouvert les plus spectaculaires sont les mines d'amiante de la région de Thetford Mines et de Black Lake, certaines ayant deux kilomètres de diamètre. Dans une exploitation souterraine, le minerai est extrait par l'intermédiaire de puits verticaux et de galeries horizontales qui suivent les 'veines' ou les filons contenant les substances recherchées. Des métaux comme le cuivre, le zinc et l'or sont généralement extraits de mines souterraines.

Le minerai extrait du sous-sol doit subir un premier traitement sur place afin d'éliminer la plus grande partie de la gangue. Ces activités de traitement, désignées sous le vocable de minéralurgie, sont habituellement au nombre de trois, soit la préparation, la concentration et le conditionnement. Ces étapes sont, à divers degrés, génératrices de pollution, tel que précisé plus loin.

La préparation du minerai se fait par concassage et broyage afin de procéder à un classement granulométrique. La concentration vise à séparer les grains de minerais (métaux ou non métaux) de leur gangue. On utilise des méthodes gravimétriques (basées

---

<sup>12</sup> Un minerai est une roche ayant une concentration élevée de minéraux ou de métaux utiles qui justifient une exploitation commerciale. Un minerai contient également des substances sans valeur que l'on appelle la gangue. Il existe quelque 3 000 types de minerai sur la planète et, à titre d'exemple, on peut mentionner la calcopyrite ( $\text{CuFeS}_2$ ) et la malachite ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ ) qui contiennent du cuivre comme métal utile.

sur la densité ou le poids des éléments) de séparation magnétique et de flottaison, cette dernière étant fondée sur des procédés qui amènent les particules minérales ou métalliques à flotter à la surface d'un liquide. Divers produits chimiques sont utilisés afin de modifier les propriétés des éléments en vue de favoriser leur concentration; par exemple, le cyanure est employé pour l'or et l'argent alors que le cuivre et le zinc seront récupérés par flottaison. Finalement, le conditionnement consiste à rendre le minerai propre à une manutention ou à subir des traitements métallurgiques ultérieurs. Toutes ces étapes visent à produire un minerai plus pur en élément recherché (or, cuivre, zinc, etc.), mais la pureté obtenue peut être parfois assez faible, de l'ordre de 20 à 40%.

L'obtention d'un métal pur ou la préparation d'alliages se fait par des opérations de fusion et d'affinage qui se font en partie sur le site de l'exploitation minière; dans le cas de l'or, au Québec, c'est un produit pur à environ 96% qui quitte la mine pour être dirigé vers la métallurgie. Les fonderies, les aciéries et les alumineries sont des activités métallurgiques dont les conséquences environnementales ne sont pas considérées dans la présente section (voir, par exemple, la grille d'impacts résultant de la production d'aluminium).

### **Portrait socio-économique canadien**

En 1995, on comptait, au Canada, 88 établissements de production de métaux, 127 établissements produisant des substances non métalliques et 318 lieux désignés comme des carrières ou des endroits de production de matériaux de construction. La plus grande part des revenus de l'industrie minière provenait des mines de métaux (68%), suivi de celles faisant l'extraction de non-métaux (17%), puis des carrières (15%). La plus grande partie (80%) de la production minière canadienne est exportée, ce qui fait que ce secteur se situe au second rang en terme de recettes à l'exportation (devancé par le secteur forestier), les produits métalliques et non métalliques représentant 14,6% de l'ensemble des exportations canadiennes. En 1994, un excédent commercial de 11,7 milliards a été engendré par les exportations minières. On comptait près de 35 000 emplois dans les mines de métaux, 10 800 dans les mines de non-métaux et près de 6 000 dans les carrières et les établissements produisant des matériaux de construction.

Le Canada est le premier exportateur mondial de minéraux, se classant notamment au premier rang pour la production de zinc (28% de la production mondiale) et de la potasse (36%). Il se classe deuxième pour la production de nickel (17%), de cadmium (12%), d'amiante (19%) et de soufre élémentaire (22%). La plus importante activité minière canadienne se situe en Ontario (30%), suivie de la Colombie-Britannique (18%), puis du Québec (16%).

### **Portrait socio-économique québécois**

Au Québec, on extrait du sous-sol près d'une trentaine de substances minérales. Les principaux métaux extraits étaient, en 1996, le minerai de fer (15 millions de tonnes), le cuivre (127 000 t), le niobium (2 362 t), le cadmium (333 t) et le zinc (200 t). Quant aux

non-métaux, les principaux étaient la silice (527 000 t), l'amiante (519 000 t) et le soufre (156 000 t). La production québécoise de substances métalliques représentait 24% de la production canadienne et 19% pour les métaux. La part de l'activité minière dans le produit intérieur brut du Québec est stable depuis plusieurs années et représente environ 1%.

## **Exploitation d'une mine d'or**

### **Généralités sur l'exploitation de l'or**

L'or est un métal inaltérable, très ductile, malléable et conducteur qui est recherché pour plusieurs usages industriels tels l'électronique, la haute technologie et la dentisterie; c'est toutefois dans le domaine de la joaillerie que l'utilisation est la plus importante (84% de la demande).

La demande mondiale en or, qui influe notamment sur la décision d'ouvrir ou non de nouvelles mines, est toutefois tributaire des politiques monétaires des banques centrales et des institutions financières en général. Le résultat de ces politiques influe sur le prix de l'or qui, à titre d'exemple, est passé de 417\$ l'once en février 1996 à 282\$ en janvier 1998. Dans un tel contexte, l'ouverture d'une nouvelle mine peut être retardée puisqu'un prix trop bas de l'or engendrerait un déficit des opérations d'exploitation.

La production mondiale d'or pur a été de 2 328 tonnes métriques en 1996, la plus grande partie provenant de l'Afrique du Sud (490 t) et des États-Unis (300 t). Le Canada a produit 160 tonnes d'or en 1996, dont 42 t provenaient du Québec où l'extraction du métal précieux se fait dans une vingtaine de mines souterraines, toutes situées dans les régions de l'Abitibi et de Chibougamau.

Le métal aurifère est habituellement pris dans une gangue de quartz ou de sulfures. Au Québec, l'or provient à 85% de mines de quartz aurifère; il est important de noter cela puisque le minerai de quartz génère peu de drainage minier acide (voir plus bas), contrairement à un minerai sulfuré. Le traitement du minerai aurifère, visant à dégager le métal de sa gangue, se fait par diverses méthodes qui sont basées sur l'emploi du cyanure. L'or est dissous dans une solution de cyanure de sodium ou de calcium et subséquemment récupéré (par précipitation) à l'aide d'une poudre de zinc (ancien procédé) ou par électrolyse avec du charbon activé (méthode plus récente).

### **Pollution résultant de la circulation de véhicules lourds**

Un important problème de pollution découle de la circulation de camions lourds dans les collectivités voisines d'une mine. Les méthodes modernes d'exploitation et de purification du minerai sont telles qu'il est beaucoup plus rentable de traiter le minerai dans une usine

spécialisée située à l'extérieur du périmètre de la mine. Cela peut impliquer le transport de 500 à 1 000 tonnes de minerai, soit l'équivalent de 20 à 40 semi-remorques, par jour. Cette circulation entraîne une augmentation des risques d'accidents, une détérioration des routes ainsi qu'une augmentation de la pollution de l'air et par le bruit.

### **Pollution de l'eau**

L'industrie minière en général consomme une importante quantité d'eau pour le traitement du minerai. En ce qui concerne l'industrie aurifère au Québec, elle utilise annuellement plus d'un million de tonnes d'eau, soit environ 2,3 m<sup>3</sup> par tonne de minerai brut traité. Parmi les polluants généraux pouvant se retrouver dans les effluents miniers, mentionnons les matières en suspension (mes) et divers métaux provenant de la gangue. Il faut toutefois insister sur la présence de deux types de pollutions particulièrement nuisibles pour l'environnement, soit le drainage minier acide et la présence de cyanures.

#### **Le drainage minier acide (DMA)**

Les exhaures acides, occasionnées par l'exploitation de divers gisements miniers, constituent à long terme le problème environnemental le plus grave de l'industrie minière. La présence de ces exhaures acides provient du fait que la plupart des métaux se trouve emprisonnés dans des minerais sulfurés, comme la pyrite de fer. Lorsque les minéraux sulfurés sont exposés à l'air et à l'humidité, il se produit une oxydation qui forme de l'acide sulfurique. Cette production d'acide peut s'accroître pendant des centaines d'années et elle devient presque impossible à stopper. L'accélération du processus est favorisée par la présence de bactéries, naturellement présentes dans le milieu, qui catalysent la réaction en oxydant les sulfures de fer et le soufre élémentaire. L'activité oxydatrice microbiologique est de 500 000 à un million de fois plus rapide que l'oxydation à l'air libre dans des conditions environnementales similaires. Les bactéries impliquées appartiennent au genre *Thiobacillus* sp, un groupe qui ne représente aucun danger pour les mammifères.

Le pH acide des effluents miniers ou des eaux de lixiviation provenant des parcs à résidus miniers (voir plus bas) s'il présente un danger pour la faune aquatique ne constitue pas un réel problème de santé publique. La présence de DMA est susceptible d'accroître la toxicité du cyanure, en favorisant notamment la formation d'acide cyanhydrique (HCN) une forme très toxique (voir plus bas). De plus, une eau très acide entraîne la libération de divers métaux lourds (aluminium, arsenic, cadmium, cuivre, fer, plomb, nickel et zinc) présents dans la gangue ainsi que dans la roche mère sur laquelle cette eau s'écoule. Il importe de préciser que le DMA est un problème plutôt spécifique aux mines de cuivre, de zinc ou polymétalliques. Dans une mine d'or, les eaux de rejet sont basiques, de sorte que les sulfures ne sont pas oxydés en sulfates.

La prévention du DMA peut se faire de diverses manières, dont l'ennoiement des résidus miniers non oxydés. Cette approche consiste à immerger dans l'eau les résidus, ce qui empêche l'oxygène de parvenir aux minéraux sulfurés et d'initier l'oxydation chimique.

## Les cyanures

Le traitement de l'or implique d'abord l'emploi d'une solution de cyanure de sodium en milieu alcalin. L'or, ainsi dissous, est ensuite séparé des résidus par absorption des complexes cyanurés avant d'être plongé dans une solution de soude caustique chaude qui entraîne une désorption du cyanure (réutilisable), donnant une solution concentrée du métal précieux. Bien que la plus grande partie du cyanure soit réutilisée, l'eau qui s'écoule du produit ayant servi à filtrer le complexe cyanure-or peut contenir de faibles quantités résiduelles de ce toxique.

Rappelons ici que les cyanures comprennent différentes classes de composés inorganiques et organiques caractérisés par le radical  $-C N$ , formé d'une triple liaison entre un atome de carbone et un atome d'azote. En fonction de leurs propriétés physico-chimiques, les cyanures peuvent être qualifiés de libres, simples, complexes et organiques. Ainsi, en milieu aqueux, le cyanure libre correspond à la somme des anions libres ( $CN^-$ ), en équilibre avec une forme moléculaire, l'acide cyanhydrique ou cyanure d'hydrogène (HCN), le pH étant le facteur déterminant de cet équilibre. Les cyanures simples sont des composés où le radical  $CN^-$  est associé à des métaux ou des métalloïdes; dans l'eau, ces composés se dissocient facilement pour former l'anion  $CN^-$ . Les cyanures complexes inorganiques se forment surtout avec fer (ferrocyanures), le cuivre (cuprocyanures) et le zinc; ces complexes sont très persistants dans l'environnement. Mentionnons également la formation de thiocyanates, une association entre le cyanure et les composés soufrés présents dans divers minerais ou engendrés par le DMA.

La présence de cyanures dans les eaux de surface provient habituellement d'activités anthropiques, plus particulièrement l'extraction de l'or. Dans certains cas extrêmes, des concentrations de 26 mg/L de cyanures libres ont été mesurées dans les effluents miniers; à titre de comparaison, mentionnons que la directive 019 du ministère de l'Environnement du Gouvernement du Québec est de 0,1 mg/l de  $CN^-$ .

Les cyanures sont dégradés sous l'effet des rayons solaires, notamment les rayons U.V. Le risque de contamination de l'eau se fait surtout sentir au printemps car, durant l'hiver, le rayonnement ultraviolet n'atteint pas les cyanures présents dans l'eau circulant sous un couvert de glace ou qui est rejetée dans un bassin dont la plus grande partie de la surface est gelée. On devrait donc retenir toute les eaux polluées rejetées de novembre à avril. Un rejet hâtif au printemps, ou la rupture de digues de retenue, risque de libérer dans l'environnement une eau riche en cyanures. Cette dégradation solaire est à l'origine d'un traitement privilégié qui consiste à favoriser la dégradation des cyanures dans des bassins ayant une grande surface.

La toxicité des cyanures est en étroite relation avec leur forme. Le cyanure libre représente la forme la plus toxique; les cyanures simples se dissocient toutefois rapidement en cyanure libre dans l'eau. L'acide cyanhydrique (HCN), qui est la forme généralement associée aux pH des eaux douces de surface, est aussi la plus toxique. Le

HCN pénètre rapidement dans l'organisme et manifeste son action en se fixant au groupement de fer ferrique ( $\text{Fe}^{+3}$ ) qui joue un rôle actif dans plusieurs systèmes enzymatiques. Chez l'humain, plus de 40 systèmes enzymatiques peuvent être inactivés par le cyanure, le plus important étant le complexe cytochrome oxydase, le premier système impliqué dans la chaîne de transporteurs respiratoires des mitochondries. Son inhibition entraîne l'arrêt de la formation d'atp, ce qui provoque un effet pathologique similaire à un manque d'oxygène dans le sang. En fait, bien que l'oxygène puisse parvenir aux cellules, ces dernières sont incapables de l'utiliser. L'action du cyanure est rapide et peut causer la mort en quelques minutes. Les symptômes typiques sont une faiblesse, des maux de tête et une tachycardie. Il existe cependant un traitement à cet empoisonnement qui se présente sous la forme d'une trousse comprenant divers antidotes.

Chez l'humain, un empoisonnement résultant de la présence de cyanure dans les eaux usées de mine est peu probable. Cependant, étant donnée la forte toxicité de ce composé, sa présence dans l'eau est toujours préoccupante, la  $\text{CL}_{50}$  (96 heures) variant entre 0,03 et 0,15 mg/L pour la plupart des poissons d'eau douce, ce qui en fait un toxique plus puissant que le mercure et l'ensemble des métaux lourds. Au printemps, on a recensé plusieurs cas de mortalité chez des outardes qui s'étaient posées sur des bassins contenant une eau fortement cyanurée.

### **Les résidus miniers**

Les déchets miniers peuvent être constitués de morts-terrains, c'est-à-dire les dépôts meubles recouvrant un gisement. Ces rejets sont toutefois produits en quantités limitées et ils ne représentent pas une véritable agression environnementale, sauf dans le cas où des poussières sont produites par le vent et une érosion provoquée par l'eau de pluie. Les déchets les plus nuisibles sont toutefois constitués des résidus miniers de deux types : les stériles et les résidus de traitement. Les stériles miniers sont constitués de roches contenant une quantité insuffisante de métal (ou de non-métal) pour permettre une extraction économiquement rentable. Ils proviennent de l'excavation des rampes d'accès, des galeries et cheminées souterraines qui permettent d'atteindre les zones aurifères de la mine. Quant aux résidus de traitement du minerai, ils sont notamment constitués par la gangue qui est enlevée lors des divers traitement de concentration.

Les résidus miniers peuvent être entreposés sous formes de collines, appelées haldes, si leur granulométrie le permet; le cas typique au Québec est celui des haldes de résidus d'amiante dans la région de Thetford Mines. Il existe aussi les parcs à résidus miniers dont les plus importants, au Québec, ont une superficie de plusieurs centaines d'hectares. Ces parcs à résidus constituent par ailleurs un excellent terrain pour le développement du drainage minier acide. Au Québec, on compte près de 150 parcs à résidus miniers qui occupent une superficie d'environ 12 000 hectares, le tiers de ces lieux résultant d'activités aurifères.

Il existe diverses méthodes permettant de remettre dans un état environnementalement acceptable les parcs à résidus miniers. Contenir et contrôler les écoulements d'eau et empêcher leur contact avec l'air sont les actions de base essentielles pour empêcher la formation de DMA. Dans le cas des parcs à résidus abandonnés, on recouvre les résidus d'un sol imperméable sur lequel sera planté de la végétation.



**Secteur: mines    Activité: extraction d'or par exploitation souterraine**

Agresseur/ Exposition	Nature de l'agresseur	Impact environnement	Zone d'influence	Mesures de contrôle	Normes ou recommandations
Sinistre technologique	-rupture de di- de retenues	pollution de l'eau par cyanu- res et métaux lourds	mine et cours d'eau récep- teur le cas échéant	surveillance	
	-effondrement et inondation des galeries			- solidification des galeries	
Émissions gazeuses ou atmosphériques	particules en suspension	- dépôt sur végé- tation, esthétis- me	- site et périmètre	- abat-poussière sur routes d'ac- cès au site couverture vé- gétale sur rési- dus abandonnés	150 µg/m <sup>3</sup> (24h) Q-2, r. sur la qua- lité atmosphère
Émissions liquides ou dans l'eau	- cyanures	-grande toxicité pour organismes aquatiques: (Cl <sub>50</sub> : 0,03 à 15 mg/l)	- cours et plan d'eau récepteurs	- bassin de ré- tention (pour favoriser dé- gradation)	- 0,2 mg/L (règ. Eau potable, MEF) - 20 µg/kg/j (EPA)
	- métaux lourds (Al, cd,cu, zn, Pb, fe, ni, etc	- toxicité variable pour les organis- mes aquatiques	- cours et plan d'eau récepteurs	- bassin de trai- tement	- 5 µg/L (cd), 0,5 mg/l (Pb) (règ. Eau potable, MEF) Al < 0,1 mg/L ( prévenir alzheimer)
	- diminution ph (acide sulfurique	- toxicité pour plusieurs orga- nismes aquatique	- cours et plan d'eau récep- teurs	- prévenir l'oxy- dation du mine- rai sulfuré	- ph 6,5 à 9,5 (di- rective sur les mi- nes, MEF)
Émissions solides ou dans les sols	- morts-terrains	- esthétisme (possibilité de poussières dans l'atmosphère)	- site et périmètre	- entreposage adéquat	- loi sur les mines et directive sur les mines (MEF)
	- stériles et rési- dus miniers	- esthétisme (possibilité de cyanure et mé- taux lourds dans l'eau)	- site, périmè- tre et voisinage	- entreposage adéquat, pré- venir l'oxyda- tion du minerai sulfuré	- idem
Nuisances	- poussières	- salubrité, esthétisme	- site, périmè- tre et voisi- nage	recouvrement, abat-poussières	
	- bruit (sources mobiles et fixes)	- salubrité	- site, périmè- tre et voisi- nage	- zone-tampon	- l <sub>eq</sub> 45dB(A) 8h la nuit et 50 dB le jour

Impacts indirects ou autre exposition					
---------------------------------------	--	--	--	--	--

Agresseur/ Exposition	Effet sur la santé	Population à risque	Probabilité de survenue	Indicateur biologique/ environnement (suivi)	Informations/ références
Sinistre technologique	- voir «cyanures» et «métaux lourds»	- travailleurs	- occasionnel	- rapports morbidité/mortalité, csst	
	- blessures, décès				
Émissions gazeuses ou atmosphériques	- problèmes respiratoires divers	- travailleurs, voisinage	- rare	- plaintes, dosages particules atmosphériques	
Émissions liquides ou dans l'eau	- faiblesse, céphalés, tachycardie, décès	- voisinage, consommateurs d'eau contaminée	- très rare	- concentration de cyanures totaux dans effluents miniers et cours d'eau récepteurs	- gossels et bricker (1994); ocde (1994) - gossels et bricker (1994)
	- manifestations toxiques diverses	- voisinage, consommateurs d'eau contaminée	- très rare	- dosage des métaux lourds dans les effluents miniers et cours d'eau	
	- aucun	- N.A..	- N.A..	- N.A..	
Émissions solides ou dans les sols	- aucun - voir cyanures et métaux lourds dans l'eau	- N.A..	- N.A..	- N.A..	
Nuisances	- hygiène, infections	- travailleurs, voisinage	- rare à occasionnel	- plaintes	
Impacts indirects ou autre exposition					

---

**Sources :**

AMC et industrie Canada (1995) Les métaux et les minéraux dans la vie des canadiens. L'association minière du Canada, ministère de l'industrie (Gouvernement du Canada), 35p.

AMQ (1996) Bilan environnemental 1993-1995. Association minière du Québec, 23p.

Anonyme (1991) Normes d'effluents basées sur la technologie pour les secteurs des mines et de la métallurgie. Produit par le laboratoire écosag (le groupe lmb) pour le ministère de l'environnement, Gouvernement du Québec, 48p. (+ annexes).

Canada (1996) État de l'environnement au Canada. Gouvernement du Canada, 820p. (chapitre 11).

Chevalier, P. (1995) Gestion de l'environnement en milieux urbain et industriel. Presses de l'Université du Québec, 577p.

Chevalier, P. (1996) Technologies d'assainissement et prévention de la pollution. Presses de l'Université du Québec, 440p.

Environnement Canada (1987) Le traitement des eaux usées provenant de l'exploitation des mines et de la préparation du minerai. Ministère de l'environnement, Gouvernement du Canada, 92p.

Gauthier, B. (1993) Un modèle du développement durable appliqué aux industries minières du Québec. Ministère de l'environnement et de la faune, Gouvernement du Québec (document non publié), 94p.

Gossels, T.A. et J. D. Bricker (1994) Principles Of Clinical Toxicology. Raven Press, 3<sup>ème</sup> édition, New York, 447p.

Grenier, M. et L. Blais-Leroux (1997) L'industrie minérale au Québec (1996). Ministère des Ressources naturelles, Gouvernement du Québec, 119p.

MEF (1992) État de l'environnement au Québec, 1992. Ministère de l'environnement et de la Faune, Gouvernement du Québec, Les éditions Guérin, 560p.

OCDE (1994) Industries extractives et transformation des minéraux dans les pays en développement : impact sur l'environnement, réponses des entreprises et politiques nationales. Organisation de coopération et de développement économique, Paris, 103p.

Vachon, A. (1990) Guide des règles de l'art dans la gestion optimale des rejets miniers. Le groupe Roche (Québec), 71p.