

# L'exploration minérale et l'exploitation de l'or, substances métallifères et des terres rares

## Par mines en sous-sol et usines de traitement en surface



**Documents et présentation vérifiés par Julien NARBONNE. ECOTOXICOLOGUE. Secrétaire général ATC**  
**Réalisés par Joëlle et Pierre DAVID Membres de l'ATC et de la CRIIRAD .**

**Recherches sur documents officiels sites miniers Chine, canada et sociétés spécialisées produits chimiques Chine.**  
**Avec l'aide et la collaboration de Frédéric OGER habitant de la Vallée d'Orbiel. Membre de l'ATC. Ancien chercheur CNRS**

**Présentation faites majoritairement à partir des bases des études et des écrits**  
**D'André PICOT (décédé le 18/01/2023)**

***Toxicochimiste***

***Directeur de recherche honoraire CNRS***

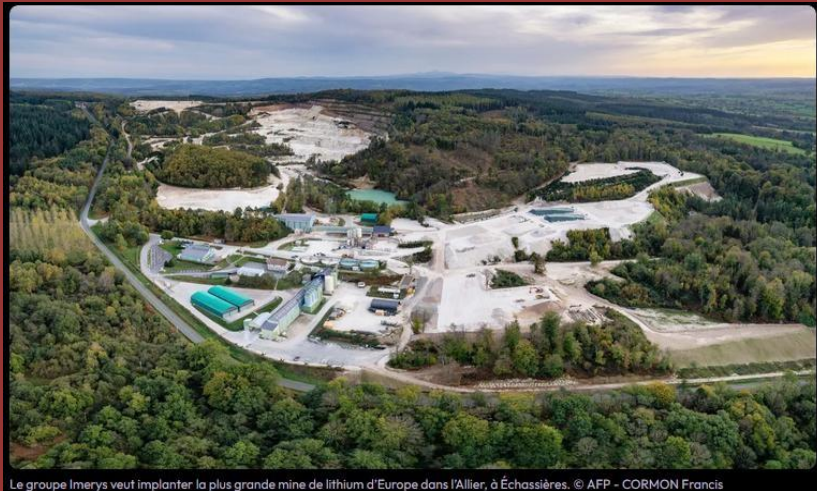
***Expert français honoraire de l'Union Européenne pour les Produits Chimiques en Milieu de Travail***

***Ancien Président de l'Association Toxicologie-Chimie (Paris)***

**ASSOCIATION TOXICOLOGIE-CHIMIE**  
**AFBB 9 B RUE GERANDO 75009PARIS**

# Quelques photos d'exemples de mines

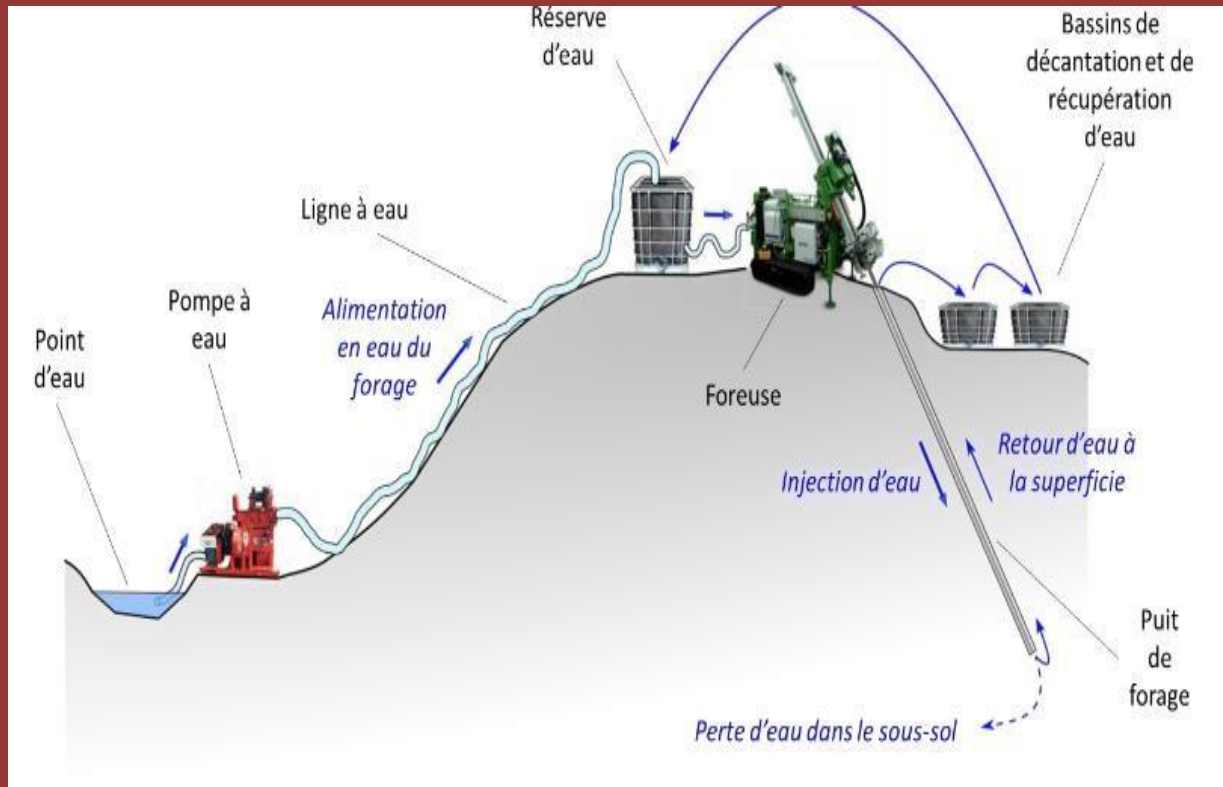
Source: afp Echassières (Allier) ; Street view Glomel (morbihan); Australia-miningreview.com(Australie); agnico eagle Lapa (québec)





# Techniques de Forage pour exploration

(Source: schéma perm BREIZH RESSOURCES)



**Forage  
jusqu'à 400 à  
500m**

**Boues de forage  
Risque pollution  
radionucléides  
produits chimiques  
fluide de fracturation**

# Techniques d'extraction du minerai

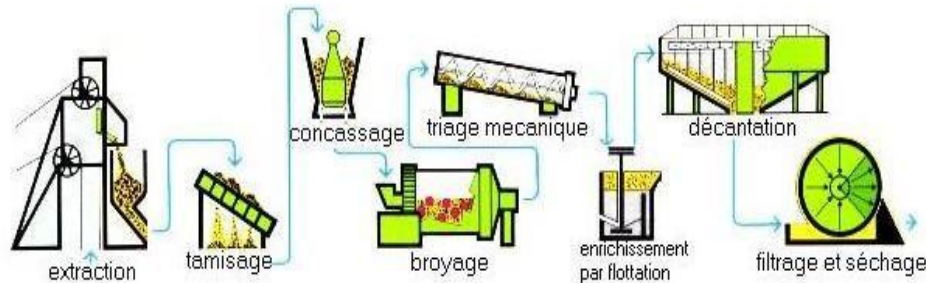
(Source: Géowiki)

**Extraction du minerai :** Le processus commence par l'extraction du minerai des mines souterraines ou à ciel ouvert. Le minerai est transporté vers l'usine de traitement, où le concassage est la première étape.

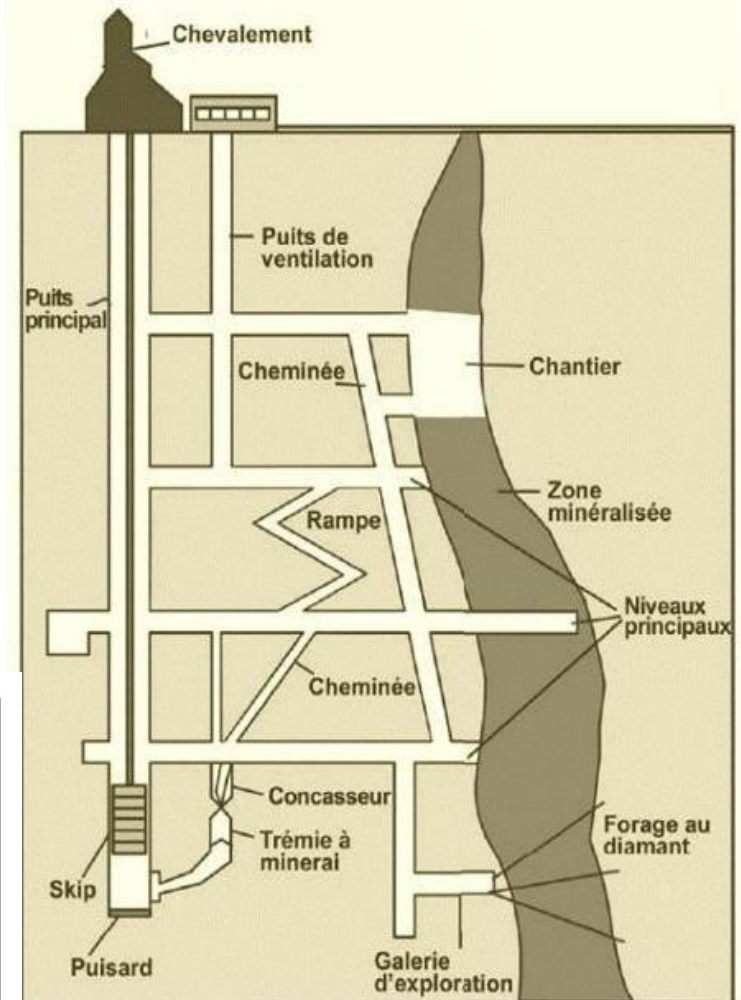
**Concassage primaire :** les gros morceaux de minerai sont décomposés en morceaux plus petits et plus faciles à gérer à ce stade, généralement à l'aide de concasseurs à mâchoires ou de concasseurs giratoires.

**Concassage secondaire et tertiaire :** la taille du minerai est encore réduite, souvent à l'aide de concasseurs à cône ou de concasseurs à percussion, pour le préparer au broyage.

**Étape de broyage :** le minerai concassé est broyé en une poudre fine à l'aide de broyeurs à boulets, de broyeurs à barres ou d'équipements similaires. Cette poudre peut ensuite être traitée à l'aide de traitements chimiques pour extraire l'or.



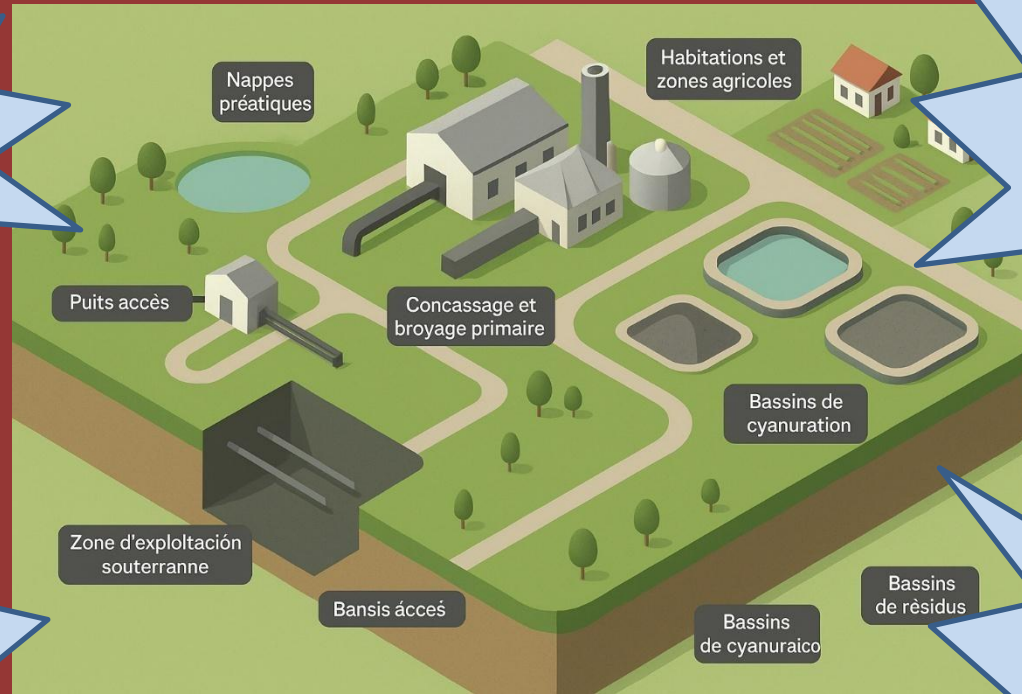
Exemple d'une chaîne de traitement de minerais



Extraction souterraine , mine.

## Type structure simplifiée d'exploitation de mine d'or et diverses substances métallifères et terres rares en sous-sol

source schéma: IA



Pour 1 kilo d'or  
2000 tonnes terre  
et roches  
16 tonnes CO2  
2500000 litres eau

7 tonnes de sulfate  
d'ammonium et 1,5  
tonnes d'acides  
pour 1 tonne  
d'oxyde de terres  
rares

Traitement de l'or  
2 Kgs de cyanure  
de sodium par  
tonne de minerai  
soit 4 tonnes de  
cyanure

1600 m3 ou 2100  
tonnes de déchets  
d'excavation pour  
1 tonne de terres  
rares

Autant de multi traitements  
de lixiviation et de  
flottation (soupe) que de  
minerais recherchés



# Minéraux et substances. principaux risques



Type d'Additifs		Principaux Composés Chimiques
1	ARSENIC et Trioxyde d'Arsec CAS n°7440-38-2 et n°1327-53-3	Cancérogène avéré CIRC GR 1B, soluble eau Néfaste pour les organismes aquatiques
2	OR CAS n°7440-57-5	Métal lourd inerte
3	ANTIMOINE et Trioxyde d'antimoine. CAS n°7440-36-0 et n°1309-64-4	Cancérogène possible GR2B- soluble eau Perturbateur endocrinien- Néfaste organismes aquatiques.
4	COBALT CAS n° 7440-48-4	Cancérogène avéré CIRC GR 1B –reprotoxique Effets nocifs organismes aquatiques et terrestres
5	PLOMB CAS n° 7439-92-1	CMR- Cancérogène- mutagène et reprotoxique. Néfaste pour les organismes aquatiques
6	RHENIUM CAS n° 7440-15-5	Aucune donnée disponible pour l'homme comme pour les terres rares hormis cocktails chimiques
7	TERRES RARES « 17 substances » *	Danger par le phénomène de la DMA: Drainage minier acide responsable de la dégradation à long terme de l'environnement eau, air ,sol...
8	SILICE CRISTALLINE CAS N° 14464-46-1	Quartz . Cancérogène avéré CIRC GR 1B
9	CADMIUM CASN° 7440-43-9	Cancérogène avéré CIRC GR 1B - Effets nocifs organismes aquatiques et terrestres. Présent dans l'exploitation minière plomb, cuivre, zinc, phosphate
10	MERCURE CAS N° 7439-97-6	Neurotoxique- Reprotoxique. Présent dans le cinabre, l'or et le zinc
11	ZINC CAS n° 7440-66-6	Soluble et contamination sol et eau
12	CUIVRE CAS n° 7440-50-8	Effets nocifs organismes aquatiques et terrestres
13	ETAIN CAS n° 7440-31-5	Suspecté perturbateur endocrinien
14	PLATINE CAS n°7440-06-4	Pollution hydrique par extraction

Un numéro CAS est une désignation numérique  
attribuée à des substances chimiques  
par le US Chemical Abstracts Service

Pierre-Marie BADOT

CNRS – Université de Franche-Comté – Laboratoire Chrono-environnement UMR 6249 – Besançon

L'exposition aux terres rares étant suspectée d'altérer le  
développement cérébral et les fonctions cognitives des enfants  
dans les régions où le fond géochimique est élevé ou dans celles  
où des mines sont exploitées, le travail de Yang et al. (2009) vise



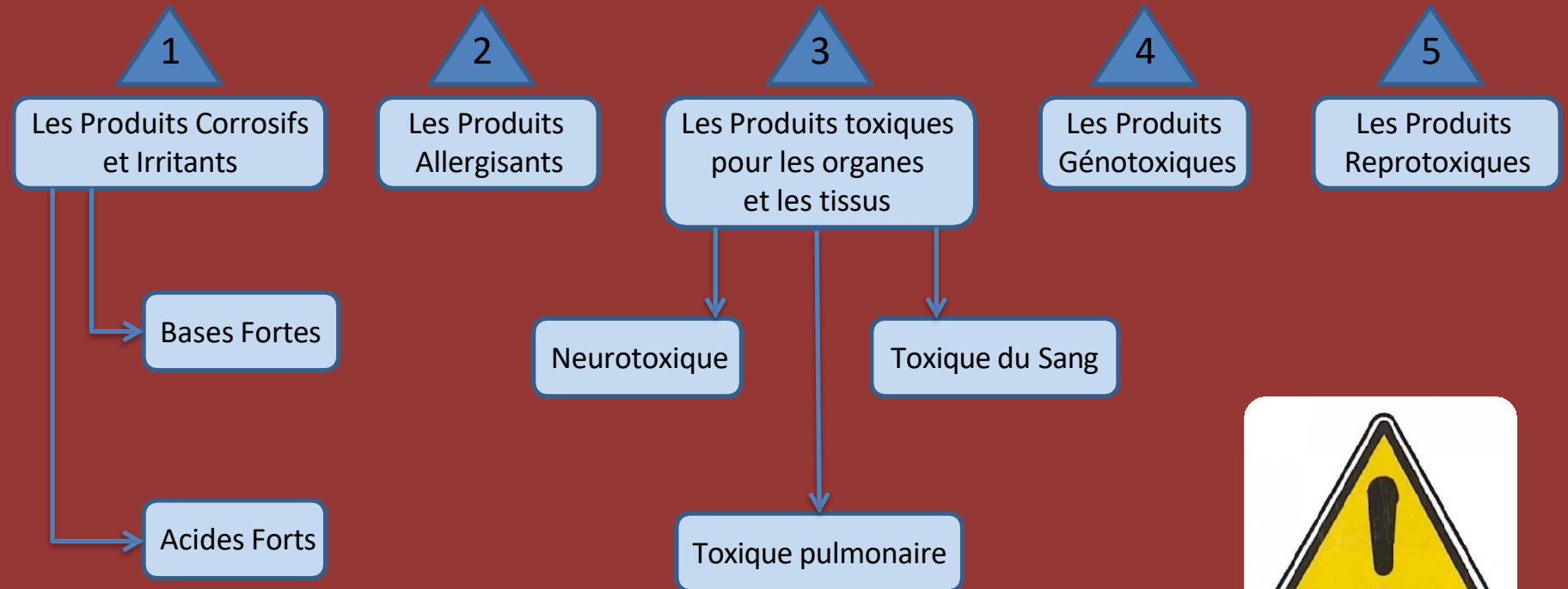
# Composition des produits chimiques utilisés et nécessaires pour l'exploitation minière



Type d'Additifs		Principaux Composés Chimiques
1	EAU	Quantités importantes pour toutes les phases de traitements des diverses substances
2	AGENTS DE SOUTÈNEMENT	Résine d'injection Urée-silicate ou mousse silicate
3	COLLECTEURS-FLOTTATION	Acides forts: Acide Chlorhydrique- sulfurique- oxalique-sulfamique-fluorhydrique- etc...
4	FLOTTATION	Cyanure de sodium, nitrate de plomb, perborate de sodium , acide borique, acide sulfurique, etc.. <b>+ de 60 familles chimiques</b>
5	MOUSSANTS POUR FLOTTATION	Six familles par alcools et polyglycols
6	LIXIVIATION	Cyanure de sodium, composés des Xanthates, Thiocinate de sodium-etc...
7	LIXIVIATION des terres rares	Sulfate et persulfate d'ammonium-acide sulfurique, acide chlorhydrique, acide nitrique , soude caustique, cristaux de soude, Acides carboxyliques, Acides alkylphosphoriques, Hydroxyoximes
8	STABILISATEURS DES TROUS DE FORAGE- STABILISATION DES STRUCTURES	Bentonite
9	AGENTS DE CONTRÔLE DE PH	Carbonate de Sodium, Carbonate de Potassium, Chlorure d'Ammonium
10	ACTIVATEURS	Perborate de Sodium, Borates, Anhydride acétique
11	SURFACTANTS (Diminuant la tension superficielle)	Alkyldithiocarbonates et alkylsulfonates
12	STABILISANTS DE L'ARGILE	Chlorure de Potassium, Chlorure de Tétraméthylammonium
13	FLOCULANT	Polyacrylamide



# I. Les Produits Minéraux par ordre de Toxicité







# I.1. Les Produits Corrosifs et Irritants



## \*Bases Fortes\* Soluble dans l'eau

Famille Chimique Minérale	Exemples de Composés Chimiques Minéraux	N° CAS	Toxicité Aiguë ou Subaiguë	Toxicité à Long terme
Composés du Sodium <b>Lixiviation</b>	Hydroxyde de Sodium (Soude Caustique) NaOH	1310-73-2	Corrosif	Irritant danger (organismes aquatiques)
Composés du sodium <b>Flottation précipitation de l'or à 70%</b>	Cyanure de sodium NaCN	143-33-9	Corrosif. Mortel par ingestion, par contact cutané ou par inhalation	Irritant toxique organismes aquatiques et sols. Mortel

## \*Acides Forts\* soluble dans l'eau

Famille Chimique Minérale	Exemples de Composés Chimiques Minéraux	N° CAS	Toxicité Aiguë ou Subaiguë	Toxicité à Long terme
Composés Fluorés <b>Forage Exploration</b>	Fluorure d'Hydrogène (Acide Fluorhydrique) HF. lixiviation pour l'extraction nobium et tantale	7664-39-3	Corrosif	Irritant Très soluble eau Nécrose agent décalcifiant
Composé du soufre <b>Flottation</b>	Acide sulfurique	7664-93-9	Corrosif	Mortel par inhalation. Irritant yeux, peau





## I.1a. Les Produits corrosifs et irritants



Famille Chimique Minérale	Exemples de Composés Chimiques Minéraux	N° CAS	Toxicité Aiguë ou Subaiguë	Toxicité à Long terme
Composés Chlorés <b>LIXIVATION</b>	Chlorure d'Hydrogène (Acide Chlorhydrique) HCl	7647-01-0	Corrosif	Irritant Fibrose pulmonaire risque cancer tractus digestif
Composés Cyanure Acide nitrique <b>LIXIVATION</b>	L'eau régale (un mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique) dissout l'or en formant de l'acide chloraurique (HAuCl <sub>4</sub> ).	8007-56-5	Corrosif	Par inhalation– Vapeurs Catégorie 4 (H332) irritation cutanée Catégorie 1 (H314) B Lésions oculaires graves/irritation oculaire





## I.1b. Les Produits corrosifs et irritants



Famille Chimique Minérale	Exemples de Composés Chimiques Minéraux	N° CAS	Toxicité Aiguë ou Subaiguë	Toxicité à Long terme
Composé des Xanthates <b>Flottation</b> <b>6 familles</b>	Xanthate d'isoamyle de sodium	140-90-9	corrosif	Irritation voies respiratoires et oculaires graves. Soluble, néfaste organismes aquatiques
Composé organophosphoré <b>Agent extraction zirconium</b>	Phosphate de tributyl	126-73-8	Irritant et nocif ingestion	Irritation, susceptible de provoquer le cancer. Soluble, nocif organismes aquatiques







## I.2. Les Produits allergisants



Famille Chimique Minérale	Exemples de Composés Chimiques Minéraux	N° CAS	Toxicité Aiguë ou Subaiguë	Toxicité à Long terme
Sulfites <b>précipitation de l'or</b>	Métabisulfite de sodium	7681-57-4	H302 cas d'ingestion H318 Lésions oculaires graves	Asthme Nocif organismes aquatiques
Oxoanions du soufre <b>Catalyseur de l'or</b>	Thiosulfate de sodium	7772-98-7	orale	Non classable



## 1.3. Les Produits Toxiques pour les Organes et les Tissus



### \*Les Neurotoxiques\*

Famille Chimique Minérale	Exemples de Composés Chimiques Minéraux	N° CAS	Toxicité Aiguë ou Subaiguë	Toxicité à Long terme
<b>Flottation-lixiviation</b> Composé du sodium	Cyanure de sodium	143-33-9	Mortel par ingestion par inhalation, contact cutané	Neurotoxique Central

### \*Les Toxiques Pulmonaires\*

Famille Chimique Minérale	Exemples de Composés Chimiques Minéraux	N° CAS	Toxicité Aiguë ou Subaiguë	Toxicité à Long terme
Composés Azotés	<b>Ammoniac du à la dégradation du cyanure, de l'ammonium et du nitrate</b>	7664-41-7	Asphyxie	Irritant Respiratoire

### \*Les Toxiques du Sang\*

Famille Chimique Minérale	Exemples de Composés Chimiques Minéraux	N° CAS	Toxicité Aiguë ou Subaiguë	Toxicité à Long terme
Composés Azotés <b>Lixiviation terres rares</b>	Nitrates $\text{NO}_3^-$			Méthémoglobisant



## I.4. Les Produits Génotoxiques

Famille Chimique Minérale	Exemples de Composés Chimiques Minéraux	N° CAS	Toxicité Aiguë ou Subaiguë	Toxicité à Long terme
Composés du Silicium <b>Concassage broyage</b>	Silice Cristalline (Cristobalite, Quartz, Tridymite) (SiO <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	14464-46-1 5468-32-3	Irritant	Fibrose (silicose) Cancérogène sous forme de particules (Groupe 1 du CIRC) Génotoxique pneumoconiose fibrogène







## I.5. Les Produits Reprotoxiques



Famille Chimique Minérale	Exemples de Composés Chimiques Minéraux	N° CAS	Toxicité Aiguë ou Subaiguë	Toxicité à Long terme
Composés Borés Fondants <b>Activateur processus flottation</b>	Oxyde Borique $B_2O_3$	1303-86-2	Troubles digestifs et Troubles neurologiques : confusion, agitation, convulsions, coma	Reprotoxique CMR Cancérogène-Mutagène effets néfastes sur les écosystèmes aquatiques
Composés Borés <b>Activateur processus flottation</b>	Perborate de Sodium, Tétrahydraté $NaBO_3 \cdot 4H_2O$	10486-00-7	Nocif en cas d'ingestion. H318 - Provoque de graves lésions des yeux.	Reprotoxique (Repro2/Repro3) CMR Cancérogène-Mutagène effets néfastes sur les écosystèmes aquatiques
Composé inorganique du potassium <b>dépresseurs inorganiques</b>	Dichromate de Potassium	7778-50-9	Irritant, mortel par inhalation	Reprotoxique CMR Cancérogène-Mutagène Nocif pour le milieu aquatique, dangers aigus et chroniques cat 1





# Les Produits cancérigènes



Famille Chimique Minérale	Exemples de Composés Chimiques Minéraux	N° CAS	Toxicité Aiguë ou Subaiguë	Toxicité à Long terme
Composés du plomb et acide nitrique <b>Activateur processus flottation</b>	Nitrate de plomb	10099-74-8	Nocif en cas d'ingestion. Nocif par inhalation	Cancérogène possible GR2B- Génotoxique
Composés du Silicium <b>Concassage Broyage</b>	Silice Cristalline (Cristobalite, Quartz, Tridymite) (SiO <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	14464-46-1 5468-32-3	Irritant	Fibrose (silicose) Cancérogène sous forme de particules (Groupe 1 du CIRC)
Composé du sodium <b>Lixiviation</b>	Thiocyanate de sodium	540-72-7	Nocif en cas d'ingestion, de contact cutané ou d'inhalation.	Cancérogène avéré Mutagène Reprotoxique
Composé des acides inorganiques <b>Lixiviation terres rares</b>	Acide Nitrique	7697-37-2	H330 - Mortel par inhalation EUH 071 - Corrosif pour les voies respiratoires	Cancérogène sous forme de particules (Groupe 1 du CIRC)





# Les PFAS (polluants éternels)



Sources: [wsp.com](http://wsp.com)/Québec/Canada. INERIS

## Pourquoi les SPFA sont-elles importantes dans le secteur minier

Un groupe de substances connues sous le nom de SPFA (substances per- et polyfluoroalkyles)

des SPFA. Cependant, celles-ci sont utilisées depuis longtemps dans l'industrie minière, dans le cadre des activités de traitement et de lutte contre l'incendie. Les SPFA peuvent être présentes en raison de l'utilisation de mousses AFFF pour la lutte contre les incendies, mais aussi en raison de leur inclusion dans les tensioactifs, les processus de flottation des minerais et d'autres produits chimiques performants tels que les fluides hydrauliques et les additifs de carburant. Cela signifie que la contamination par les SPFA constitue un risque pour le secteur minier et qu'elle doit être évaluée et gérée de manière appropriée.



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**  
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**INERIS**  
maîtriser le risque  
pour un développement durable

Substitution des composés per- et  
polyfluoroalkylés (PFAS) et des substances  
persistantes, mobiles et toxiques (PMT)

FR | EN

Actualités ▾

Réglementation

Bulletin d'information

Documentation ▾

PFAS in mining and petroleum industry – use, emissions and alternatives





- **Photos des pollutions de la mine de SALSIGNES**
- Source: Photos personnelles de Frédéric OGER. Habitant de la vallée d'Orbiel. Membre ATC et ancien chercheur CNRS

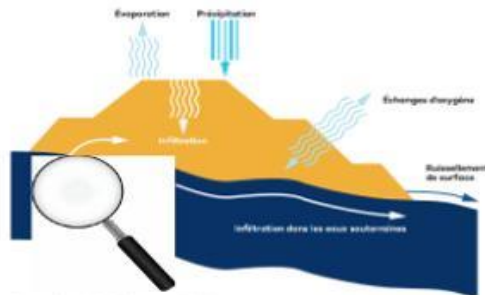


# Le drainage minier acide ou DMA.

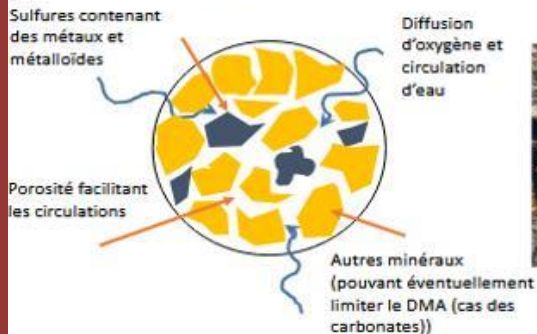
## 1 Les drainages miniers acides

### Définition :

Un Drainage minier acide (DMA) est un écoulement d'eaux acides qui apparaît sur certains sites miniers.



Pour l'exploitation minière, la roche est broyée ce qui augmente les surfaces d'échange entre les minéraux, l'oxygène et l'eau et favorise ainsi le phénomène de DMA.



Lagune recueillant les eaux du DMA sur le site d'Abbaretz

### Origine et mécanismes de formation :

Les roches exploitées dans la mine contiennent des composés soufrés : les sulfures. Ces sulfures s'oxydent lentement au contact de l'air et de l'eau. Cette oxydation produit de l'acide sulfurique, à l'origine de l'acidité du DMA qui contient également des métaux et métalloïdes (Fe, Al, Mn, Zn, Co, Ni, As).

## 2 Un impact visible et invisible

### Impacts liés aux DMA :

Les DMA ont un impact sur les milieux naturels :

- Les rejets acides sont généralement des poisons, car ils contiennent des métaux lourds et des métalloïdes (arsenic) ;
- De plus presque aucune espèce ne survit en milieu acide (pH inférieurs à 5).



Les DMA ont également un impact sur les paysages : ils sont responsables des dépôts de couleur rouille et sont en partie responsables de l'absence de végétation sur les dépôts miniers.



Précipités d'oxydes de fer issus de DMA

### A Abbaretz ?

Le DMA est riche en fer, aluminium, manganèse, zinc, nickel, cobalt et arsenic.

Le DMA présente un pH de l'ordre de 2,7 (très acide) dans la lagune.



# Le drainage minier acide ou DMA. Exemple: ancien site minier d'Abbaretz

Source: Reportage de l'association SystExt

