



# ÉCOLE DES ARTS ET MÉTIERS

—  
*Les métaux, ressources  
minérales naturelles non  
renouvelables*

Jean-Eric Masse 2023-2024  
Campus Aix-en-Provence

# SOMMAIRE



1. Développement durable, métaux critiques
2. L'exploitation minière industrielle dans une économie mondiale
3. Possibilités de réduction de la demande de minéraux et métaux primaires (écoconception, recyclage, remise à neuf et réutilisation, exploitation de sources secondaires de ressources minérales et métalliques)
4. Le secteur extractif et les objectifs de développement durable à l'horizon 2030

|  |  |   |   |  |                                       |    |
|--|--|---|---|--|---------------------------------------|----|
|  | 27<br><b>Co</b><br>Cobalt<br>58.933194 | 28<br><b>Ni</b><br>Nickel<br>58.6934    | 29<br><b>Cu</b><br>Civre<br>63.546        | 30<br><b>Zn</b><br>Zinc<br>65.38         | 31<br><b>Ga</b><br>Gallium<br>69.723  | 32 |
|  | 44<br><b>Ru</b><br>Ruthénium<br>101.07 | 45<br><b>Rh</b><br>Rhodium<br>102.90550 | 46<br><b>Pd</b><br>Palladium<br>106.42    | 47<br><b>Ag</b><br>Argent<br>107.8682    | 48<br><b>Cd</b><br>Cadmium<br>112.414 | 49 |
|  | 76<br><b>Os</b><br>Osmium<br>190.23    | 77<br><b>Ir</b><br>Iridium<br>192.222   | 78<br><b>Pt</b><br>Platine<br>195.084     | 79<br><b>Au</b><br>Or<br>196.966569      | 80<br><b>Hg</b><br>Mercure<br>200.59  |    |
|  | 108<br><b>Hs</b><br>Hassium<br>(265)   | 109<br><b>Mt</b><br>Meitnérium<br>(270) | 110<br><b>Ds</b><br>Darmstadtium<br>(281) | 111<br><b>Rg</b><br>Roentgenium<br>(282) | 112                                   |    |
|  | 62<br><b>Sm</b><br>Samarium<br>150.36  | 63<br><b>Eu</b><br>Europium<br>151.964  | 64  |  |                                       |    |
|  |  | 95<br><b>Am</b><br>Americium<br>(243)   |   |  |                                       |    |

# 1. DÉVELOPPEMENT DURABLE, MÉTAUX CRITIQUES



# MÉTAUX CRITIQUES

## De quoi parle-t-on exactement ?

Les métaux, **ressources minérales naturelles non renouvelables**, font partie de notre quotidien. Ils constituent une **matière première** si **stratégique** que l'état de leurs réserves à travers le monde est scruté avec attention.

Aujourd'hui, l'Union Européenne définit **une trentaine de matières premières**, parmi les matières stratégiques pour notre économie, comme présentant un **risque élevé de pénurie d'approvisionnement**. On parle de matières premières critiques parmi lesquelles se trouvent des métaux, dont les terres rares.

# DÉPENDANCE AUX MÉTAUX CRITIQUES : ZOOM SUR LES TERRES RARES

## Terres rares : de quoi s'agit-il exactement ?

Découverte relativement récente (à l'échelle de l'humanité) : fin du XVIII<sup>e</sup> siècle - début XIX<sup>e</sup> siècle.

C'est alors **la langue française qui régit les échanges internationaux.**

Le terme de "terre" désigne des "minerais" : les terres rares sont donc **des métaux.**

Bien qu'on puisse en trouver de manière abondante dans la nature, leur exploitation n'est pas, à l'époque, évidente (en comparaison avec des métaux tels que l'aluminium ou l'or) : ces métaux furent donc qualifiés de **rares.**

**Les terres rares sont 17 métaux appartenant au même groupe chimique, qui présentent des propriétés exceptionnelles.**

# DÉPENDANCE AUX MÉTAUX CRITIQUES : ZOOM SUR LES TERRES RARES

|                             |                             |                               |                            |                               |                              |                               |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 21<br><b>Sc</b><br>Scandium | 39<br><b>Y</b><br>Yttrium   | 57<br><b>La</b><br>Lanthane   | 58<br><b>Ce</b><br>Cérium  | 59<br><b>Pr</b><br>Praséodyme | 60<br><b>Nd</b><br>Néodyme   | 61<br><b>Pm</b><br>Prométhium |
| 62<br><b>Sm</b><br>Samarium | 63<br><b>Eu</b><br>Europium | 64<br><b>Gd</b><br>Gadolinium | 65<br><b>Tb</b><br>Terbium | 66<br><b>Dy</b><br>Dysprosium | 67<br><b>Ho</b><br>Holmium   | 68<br><b>Er</b><br>Erbium     |
|                             |                             |                               |                            | 69<br><b>Tm</b><br>Thulium    | 70<br><b>Yb</b><br>Ytterbium | 71<br><b>Lu</b><br>Lutécium   |

# DÉPENDANCE AUX MÉTAUX CRITIQUES : ZOOM SUR LES TERRES RARES

On en consomme de plus en plus, comme en témoigne la croissance annuelle de leur utilisation

**2,7%** depuis les années 70,

soit une production qui se **X2** tous les 20 ans

**On consomme 130 000 tonnes de terres rares par an**  
(contre 2 milliards de tonnes de fer)

# DÉPENDANCE AUX MÉTAUX CRITIQUES : ZOOM SUR LES TERRES RARES

Certain de ces métaux servent à la fabrication **d'aimants très puissants** !

Ils permettent, en **alliage avec d'autres métaux**, la miniaturisation d'aimants très performants, utilisés notamment dans les éoliennes, la téléphonie, l'électroménager...

Minuscules ou gigantesques, ces aimants ont permis de fabriquer des millions de milliards de grandes et petites motrices. Qu'il s'agisse

- de faire rouler une **bicyclette électrique**,
- de propulser des **locomotives**,
- de faire vibrer une **brosse à dents électrique ou un téléphone mobile**,
- d'actionner la **vitre électrique** d'une voiture
- de catapulter un **ascenseur** jusqu'au dernier étage
- ...

# DÉPENDANCE AUX MÉTAUX CRITIQUES



17

kg de terres rares



5 à 9

kg de cobalt



30

g de cobalt

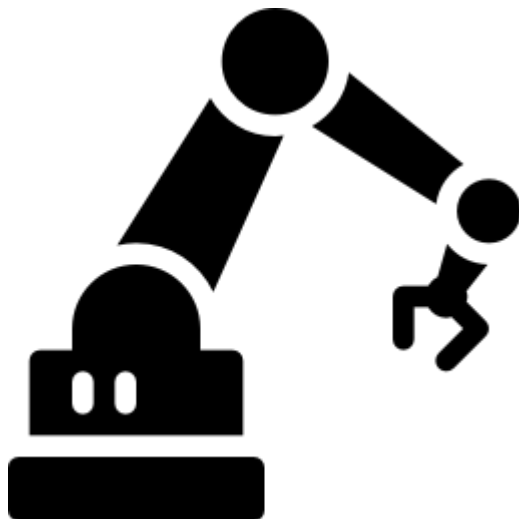
# DÉPENDANCE AUX MÉTAUX CRITIQUES



Dépendant de

5

métaux critiques



Dépendant de

22

métaux critiques



Dépendant de

26

métaux critiques

# DÉPENDANCE AUX MÉTAUX CRITIQUES

Le secteur des terres rares pèse

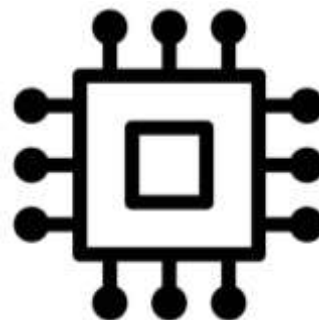
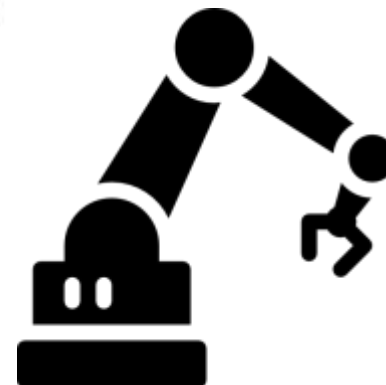
9

milliards de \$  
dans l'économie mondiale

Mais elles contribuent à un marché de

7 000

milliards de \$  
dans l'économie mondiale



# DÉPENDANCE AUX MÉTAUX CRITIQUES

Olivier Vidal (CNRS) établit que, compte tenu de nos besoins : **1** génération va consommer autant de terres rares que les **2500** générations précédentes

ANTIQUITÉ

2020

2050

C'est à dire que nous en avons consommé



en

**5000**

ans

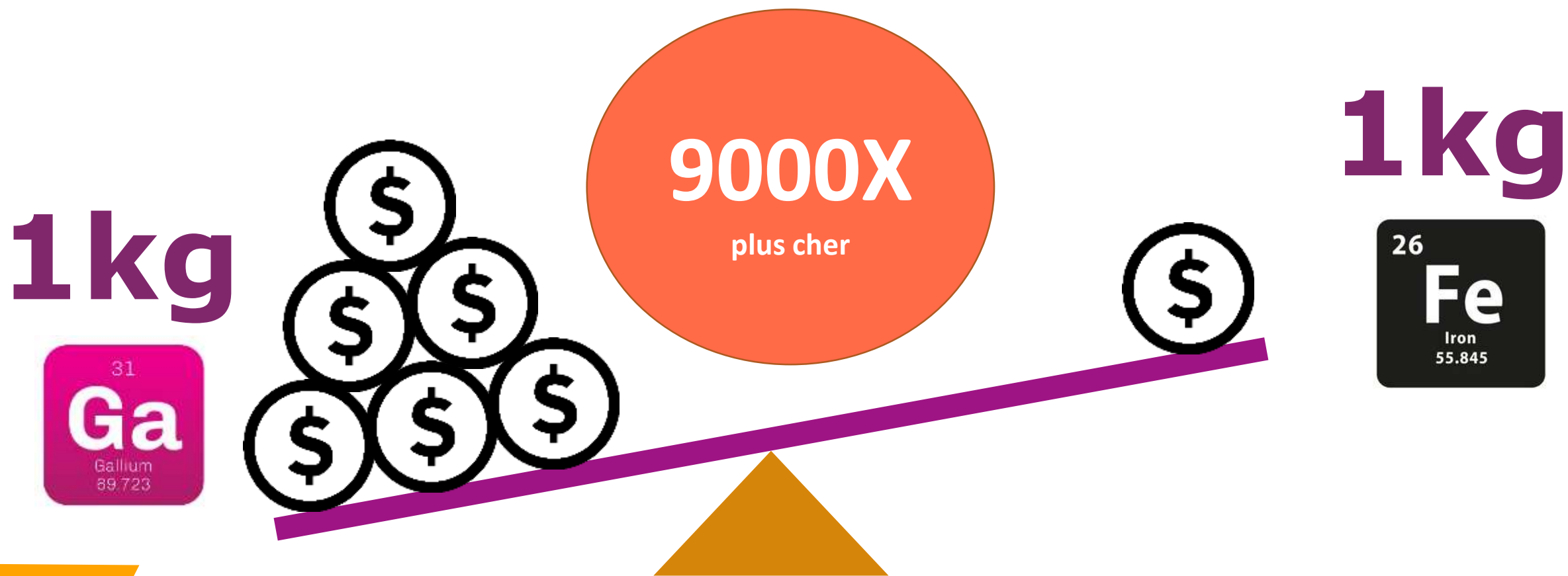
que dans les

**30**

années à venir

# DÉPENDANCE AUX MÉTAUX CRITIQUES

Des besoins qui maintiennent les prix sous pression !



# DÉPENDANCE AUX MÉTAUX CRITIQUES

Des métaux critiques inégalement répartis à la surface de la Terre...

**1<sup>er</sup>**

producteur  
mondial de 26  
métaux critiques

**1<sup>er</sup>**

pays en termes de  
réserves de terres  
rares



Site de Bayan Obo

**45%**

production mondiale  
de terres rares

# DÉPENDANCE AUX MÉTAUX CRITIQUES

L'Union Européenne est fournie à **98 %** en terres rares par la Chine.



# DÉPENDANCE AUX MÉTAUX CRITIQUES

Des problématiques géopolitiques...

L'Union Européenne est  
fournie à **98 %** en  
terres rares par la Chine.



Une rencontre avec le dalaï-lama sans concertation avec la Chine serait contre-productive, a estimé mercredi 25 avril Emmanuel Macron, qui avait rencontré en 2016 le chef spirituel tibétain en exil. « C'est un leader extraordinaire, je le respecte beaucoup », a dit le président français lors d'un échange en anglais avec des étudiants, à l'université George Washington, au troisième jour de sa visite d'Etat aux Etats-Unis.

*« Mais maintenant je suis président de la République française ; si je le rencontre, ça déclencherà une crise avec la Chine. Il y a deux questions à se poser face à cette situation : est-ce que ça aide la situation du dalaï-lama et est-ce que c'est bon pour mon pays ? »*

**Le Monde avec Reuters**  
**Publié le 26 avril 2018**

# DÉPENDANCE AUX MÉTAUX CRITIQUES

Des problématiques géopolitiques... Suite...



Le Monde **Afrique** • GABON

## Au Gabon, des intérêts français concentrés dans le secteur minier avec Eramet

Si 81 entreprises françaises sont présentes au Gabon, l'acteur le plus stratégique est Eramet, qui extrait, transforme et exporte du manganèse. Ce minerai figure parmi les vingt-trois matières premières critiques identifiées par la Commission européenne.

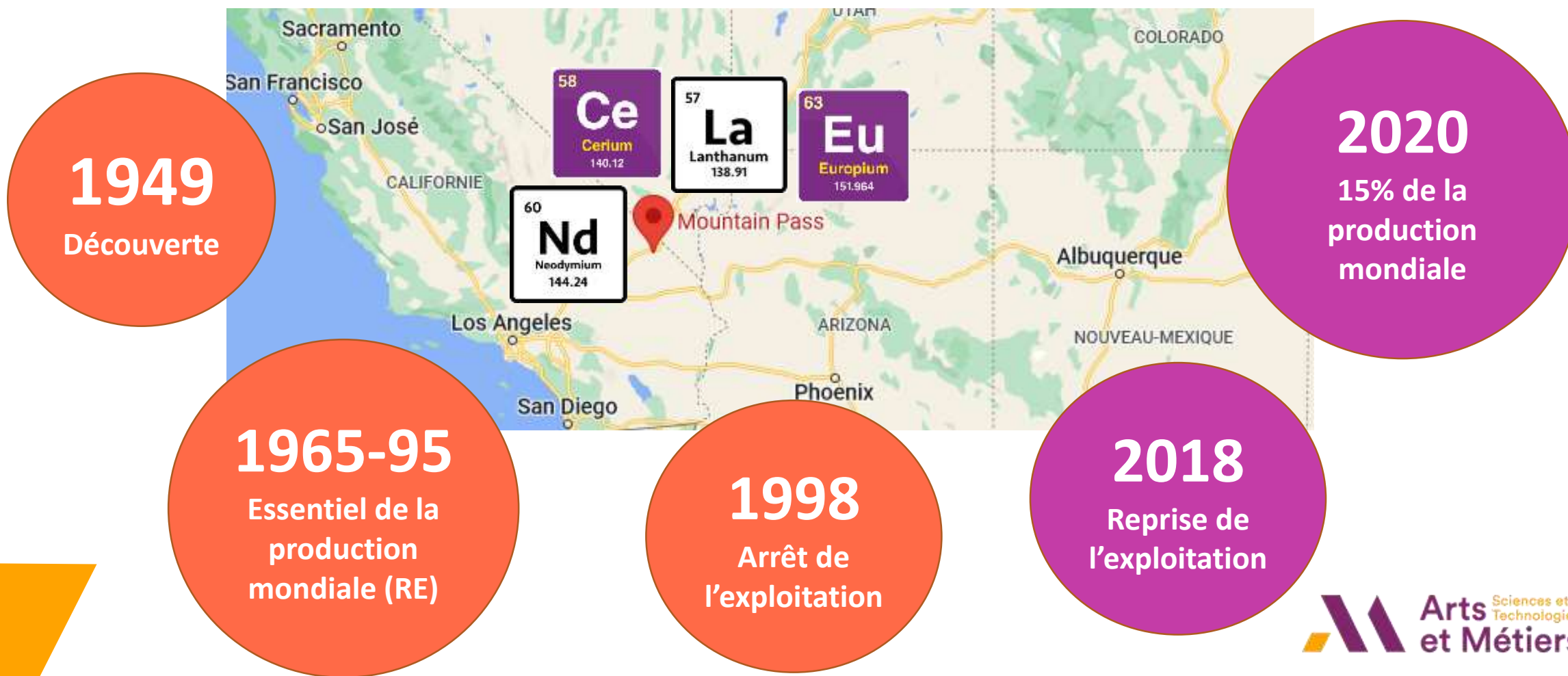
Par Jean-Michel Bezat

Publié hier à 21h20, modifié à 08h06 · 🕒 Lecture 3 min.

*Le Monde*  
Publié le 30 août 2023

# DÉPENDANCE AUX MÉTAUX CRITIQUES

Pour limiter leur dépendance à la Chine, les États-Unis rouvrent des mines fermées dans les années 90.



|  |   |   |  |                                       |    |
|--|---|---|--|---------------------------------------|----|
| 27<br><b>Co</b><br>Cobalt<br>58.933194 | 28<br><b>Ni</b><br>Nickel<br>58.6934    | 29<br><b>Cu</b><br>Civre<br>63.546        | 30<br><b>Zn</b><br>Zinc<br>65.38         | 31<br><b>Ga</b><br>Gallium<br>69.723  | 32 |
| <b>Ru</b><br>Ruthénium<br>101.07       | 45<br><b>Rh</b><br>Rhodium<br>102.90550 | 46<br><b>Pd</b><br>Palladium<br>106.42    | 47<br><b>Ag</b><br>Argent<br>107.8682    | 48<br><b>Cd</b><br>Cadmium<br>112.414 | 49 |
| 76<br><b>Os</b><br>Osmium<br>190.23    | 77<br><b>Ir</b><br>Iridium<br>192.222   | 78<br><b>Pt</b><br>Platine<br>195.084     | 79<br><b>Au</b><br>Or<br>196.966569      | 80<br><b>Hg</b><br>Mercure<br>200.59  |    |
| 108<br><b>Hs</b><br>Hassium            | 109<br><b>Mt</b><br>Meitnerium<br>(278) | 110<br><b>Ds</b><br>Darmstadtium<br>(281) | 111<br><b>Rg</b><br>Roentgenium<br>(282) | 112                                   |    |
| 62<br><b>Sm</b><br>Samarium<br>150.36  | 63<br><b>Eu</b><br>Europium<br>151.964  | 64  |  |                                       |    |
|  | 95<br><b>Am</b><br>Americium            |   |  |                                       |    |

## 2. L'EXPLOITATION MINIÈRE INDUSTRIELLE DANS UNE ÉCONOMIE MONDIALE

---

# EXPLOITATION MINIÈRE INDUSTRIELLE

## De quoi parle-t-on exactement ?

La mine industrielle est définie comme une activité formelle et réglementée impliquant l'utilisation de technologies « modernes » à grande échelle pour extraire et traiter des minerais utiles du sous-sol (La Banque Mondiale, 2019).

Cette définition s'oppose à celle de la mine artisanale et à petite-échelle, définies comme des « opérations minières formelles ou informelles mettant en œuvre essentiellement des formes simplifiées d'exploration, d'extraction, de traitement du minerai et de transport » en général à faible intensité de capital et à forte intensité de main d'œuvre (OCDE, 2016) .

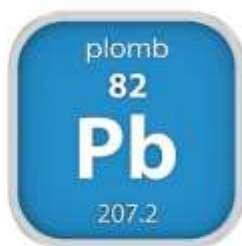
# EXPLOITATION MINIÈRE INDUSTRIELLE

## De quoi parle-t-on exactement ?

La mine industrielle produit l'essentiel des matières premières minérales dans le monde (*B.G. Lottermoser, 2010*).

# 88%

de la production  
globale de métaux



# 69%

des minéraux  
industriels (Kaolin,  
Mica, Silice, Talc, ...)



# 80%

du charbon



# EXPLOITATION MINIÈRE

## De quoi parle-t-on exactement ?

Du début des prospections minérales à la période d'après-clôture de la mine, on distingue différentes phases dans un projet minier. Les principales sont les suivantes :

- **Prospection**
- **Développement** (construction de routes d'accès, préparation et déblaiement du site pour créer les zones de campement et de stockage)
- **Exploitation minière active** (évacuation des « morts terrains » et des déchets de roche, extraction du minerai, enrichissement, évacuation des résidus)
- **Réhabilitation et fermeture du site minier**

# EXPLOITATION MINIÈRE

## La prospection

**circulation de  
véhicules  
lourds**

**forages**



<https://sodemi.ci/nos-services/exploration-miniere/>

**enlèvement  
de la terre  
végétale**

**nettoyage de  
vastes aires de  
végétation**

# EXPLOITATION MINIÈRE

**Le développement** : routes d'accès, préparation et déblaiement (campement, stockage)



<https://www.lesaffaires.com>



<https://www.losbergerdeboer.com>

**Impacts environnementaux (traversée de zones écologiquement sensibles) et sociaux (communautés isolées)**

# EXPLOITATION MINIÈRE

**Exploitation minière active** (évacuation des « morts terrains » et des déchets de roche)



Challenging Legitimacy at the Precipice of Energy Calamity, M.  
Gismondi, D. Davidson, Springer Press, 2011

$$\frac{\text{quantité de morts terrains}}{\text{quantité de minerais}} > 1$$

Peut aller jusqu'à **X10**

(Source : The Environmental Law Alliance Worldwide)

- Déposés sur place en tas sur la surface ou comme remblai dans les carrières ou dans les mines souterraines
- Peuvent contenir des niveaux significatifs de substances toxiques

# EXPLOITATION MINIÈRE

## Exploitation minière active (extraction du minerai)

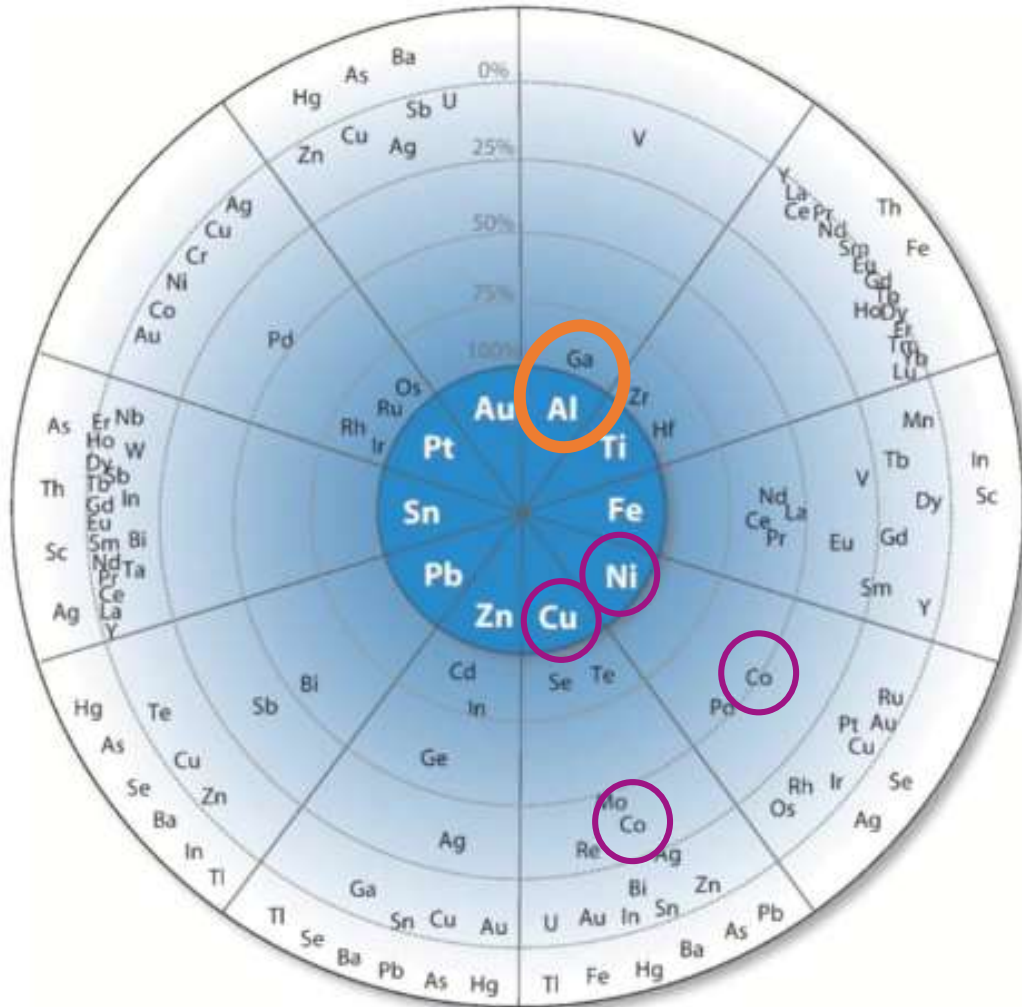
La plupart des métaux sont des substances rares. Leur abondance moyenne dans la croûte terrestre est généralement très faible exception faite de l'aluminium, du fer, du magnésium, du titane et du manganèse (*Skinner, 1979*).

| Métal          | Teneur moyenne dans la croûte terrestre (ct)             | Teneur moyenne dans les gisements exploités   |
|----------------|--|---|
| Fer (Fe)       | 5 % (2 <sup>ème</sup> élément le plus abondant de la ct) | 30 à 66 %                                     |
| Aluminium (Al) | 8 % (élément le plus abondant de la ct)                  | 25 à 30 % <sup>14</sup>                       |
| Plomb          | 16 g/t   | 1 à 12 %                                      |
| Nickel (Ni)    | 75 g/t   | 1 à 3 %                                       |
| Tungstène (W)  | 1.5 g/t  | 0.3 à 2 %                                     |
| Cuivre (Cu)    | 55 g/t   | 0.3 à 2 %                                     |
| Uranium (U)    | 3 à 4 g/t  | 0.1 à 0.3 %                                   |
| Lithium (Li)   | 20 g/t   | 0.05 à 0.15 % (dans les salars)               |
| Argent (Ag)    | 0.075 g/t  | Quelques dizaines à quelques centaines de g/t |
| Platine (Pt)   | 0.005 g/t  | 0.0003 % à 0.0015 % (3 to 15 g/t)             |
| Or (Au)        | 0.005 g/t  | 0.0001 % (1 g/t)                              |



# EXPLOITATION MINIÈRE

Exploitation minière active (extraction du minerai)



~ 45% : mines de cuivre

~ 50% : mines de nickel

~ 5% : mine de cobalt de Bou-Azzer (Maroc)

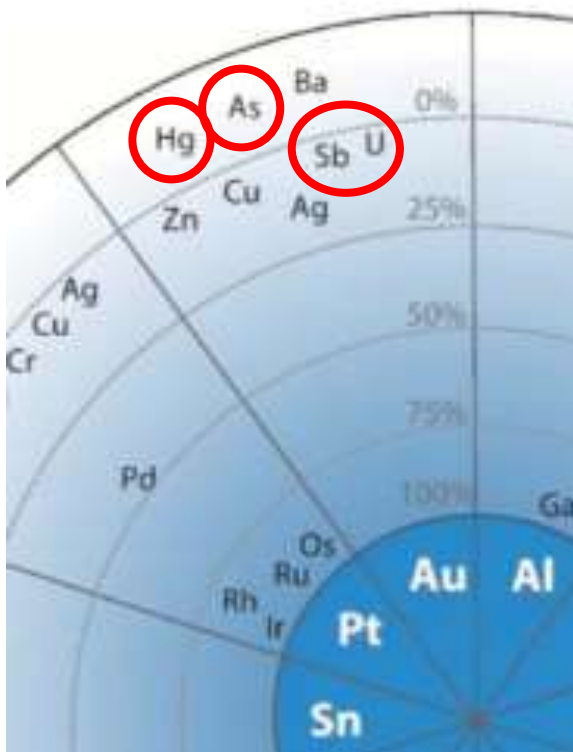


~ 100% : mines d'aluminium

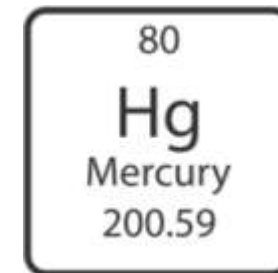
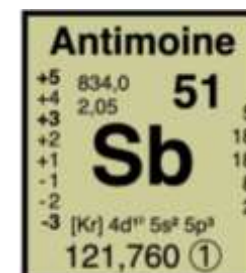
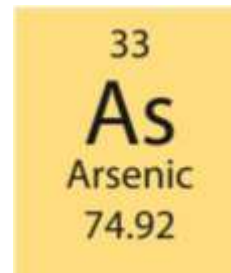
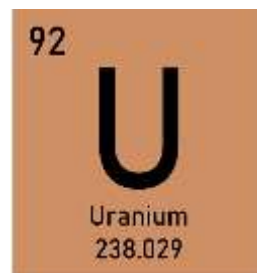
# EXPLOITATION MINIÈRE

Exploitation minière active (extraction du minerai)

Mine d'or : production d'or et d'argent



**MAIS** risque de libérer



# EXPLOITATION MINIÈRE

**Exploitation minière active** (extraction du minerai)

**La roue de la complémentarité des métaux** est fondamentale pour prendre conscience de l'une des problématiques majeures de l'industrie minière : **son potentiel de mobilisation et de relargage de métaux et métalloïdes.**

L'exploitation et la transformation des métaux est **l'une des premières sources de rejets de métaux lourds dans l'environnement\***.

Ces métaux et métalloïdes sont des **éléments persistants dans l'environnement**, sur des échelles de temps centenaires à millénaires (ils ne peuvent pas être décomposés et ne sont pas biodégradables\*).

\*Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. Heliyon, 6(9).

# EXPLOITATION MINIÈRE

## Exploitation minière active (extraction du minerai)

Mine d'Atalaya, pendant l'exhaure (2001) et après l'arrêt de celui-ci (2014) (Olias & Nieto, 2015)



Eaux minières

<https://scvhistory.com/scvhistory/lw2362.htm>



Stériles miniers



Poussières, gaz

# EXPLOITATION MINIÈRE

## Exploitation minière active (enrichissement)

Création : SystExt - Mai 2021 - cc by-sa-nc 3.0 fr

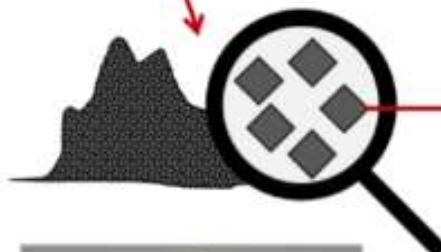
EXPLOITATION



Minerai  
« brut »

Minerai :  
0,4 à 2% Cu

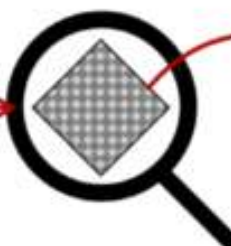
MINÉRALURGIE  
ou Concentration



Minerai  
« marchand »

Concentré : 30% Cu

MÉTALLURGIE  
ou Extraction  
chimique



Substance  
d'intérêt

Blister (pyromét.) :  
98 à 99,5%

RAFFINAGE



Cathode : 99,99 %

Credits =

Icone : Smashicons - Flaticon License - flaticon.com

Minerai de cuivre, mine de Gaspé, Québec, Canada | Cephas - 2013 - cc by-sa 3.0

Chalcopryrite, mine de Ballard, Kansas, USA | Rob Lavinsky, iRocks.com - 2010 - cc by-sa 3.0

Blister de cuivre, Svyatogor JSC, Russie | Dogad75 - 2016 - cc by-sa 4.0

Cathodes de cuivre en Zambie | mm-j - 1999 - cc by-nc 2.0

# EXPLOITATION MINIÈRE

## Exploitation minière active (enrichissement)

### Procédés énergivores

Concassage  
Broyage  
Engins  
d'exploitation  
Pyrométallurgie,  
électrolyse  
Transport

### Réactifs chimiques

Acides ( $H_2SO_4$ , HCl...)  
Bases (soude)  
Cyanure de sodium  
Nitrates

### Consommation d'eau

70% de l'eau  
consommée pour le  
broyage et la  
concentration  
1 mine d'or =  
conso. annuelle de  
80 000 français\*

\* SystExt. (2020a). Dynamine. La voracité de la mine industrielle.

# EXPLOITATION MINIÈRE

Exploitation minière active (résidus)

Minerai

Résidus

Bassins de décantation

Assèchement et évacuation  
comme remblai

Déversement en milieu  
aquatique

La surface totale recouverte de déchets miniers dans le monde est estimée à 100 millions d'hectares, pour une quantité associée de plusieurs centaines de milliards de tonnes (*B.G. Lottermoser, 2010*)



# EXPLOITATION MINIÈRE

## Exploitation minière active (résidus)



Représentation imagée de la quantité de cuivre métal produite jusqu'à environ 2007 (©Dillon Marsh. dillonmarsh.com)



Vue satellitaire de la mine. Mise en évidence de l'emprise en surface des déchets miniers et des installations (© Google 2021)

# EXPLOITATION MINIÈRE

Exploitation minière active (résidus – bassin de décantation)

## Toxicité



Parc à résidus à Rouyn-Noranda, Canada (Gabriel Legaré, 2011)

## Infiltration, débordement



Pollution de la rivière Daldykan (Russie) en 2016 suite au débordement d'un bassin de décantation (© Alex Kokcharov)

# EXPLOITATION MINIÈRE

## Exploitation minière active (résidus – déversement en milieux aquatiques)



**Conséquences catastrophiques :** contamination des eaux et des sédiments, comblement des rivières et des lacs, destruction des habitats, ...

Sites miniers concernés par des déversements volontaires en milieux aquatiques identifiés par SystExt et volumes de déchets déversés annuellement. *Rapport SystExt/octobre 2021/CC BY-SA-NC 3.0*

# EXPLOITATION MINIÈRE

**Exploitation minière** (abandon des anciens sites miniers)

Les réglementations nationales sont aujourd'hui insuffisantes lorsqu'il s'agit de légiférer la fin de l'activité minière et l'après-mine.

Des **millions de sites** ont été abandonnés à travers le monde, et sont désormais **sous la responsabilité des États et des contribuables.**

Des **milliards de dollars** sont dépensés chaque année pour tenter d'endiguer les impacts environnementaux et sanitaires associés.



# EXPLOITATION MINIÈRE

## Exploitation minière et droits humains

Les atteintes aux droits humains perpétrées par l'industrie minière sont dénoncées par l'ONU depuis des dizaines d'années.



Secrétaire général de l'ONU, 2006

« [...] ce sont les industries extractives - pétrole, gaz, **mines** - qui viennent largement en tête des abus [...] ».

« [...] actes commis par les forces de sécurité publiques et privées chargées de protéger les biens des entreprises, la corruption sur une grande échelle, la violation des droits des travailleurs ainsi qu'un large éventail d'abus touchant les communautés locales, en particulier les autochtones. »

# EXPLOITATION MINIÈRE

**Exploitation minière et droits humains : mise en danger de la santé et de la sécurité des travailleurs**



**1%**

de la main d'œuvre mondiale



**8%**

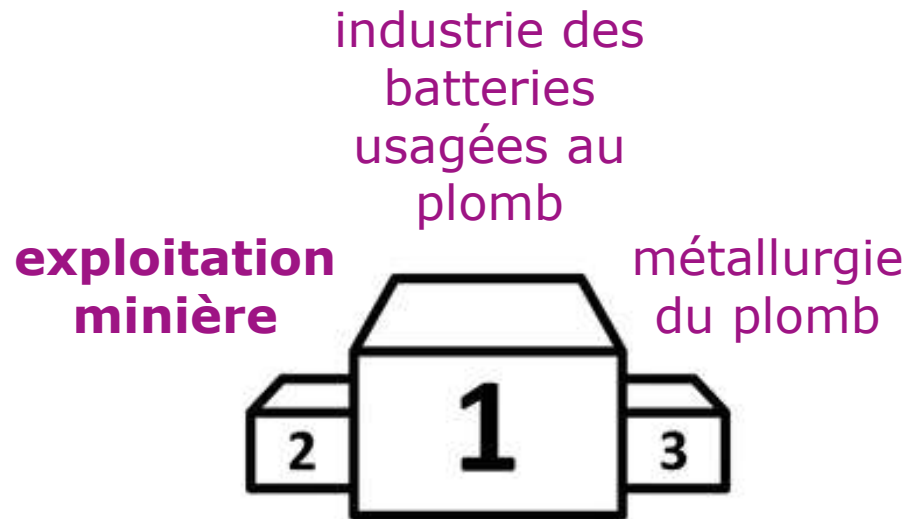
des accidents mortels au travail  
(très sous-évalué)

- cadre réglementaire insuffisant
- inspections non réglementaires et déficientes
- mauvaise gestion du risque par les opérateurs
- manque de formation
- manque d'équipements
- manque de surveillance
- défaillances dans le respect des mesures de sécurité

# EXPLOITATION MINIÈRE

Exploitation minière et droits humains : contamination des milieux de vie

## Des sites parmi les plus pollués au monde



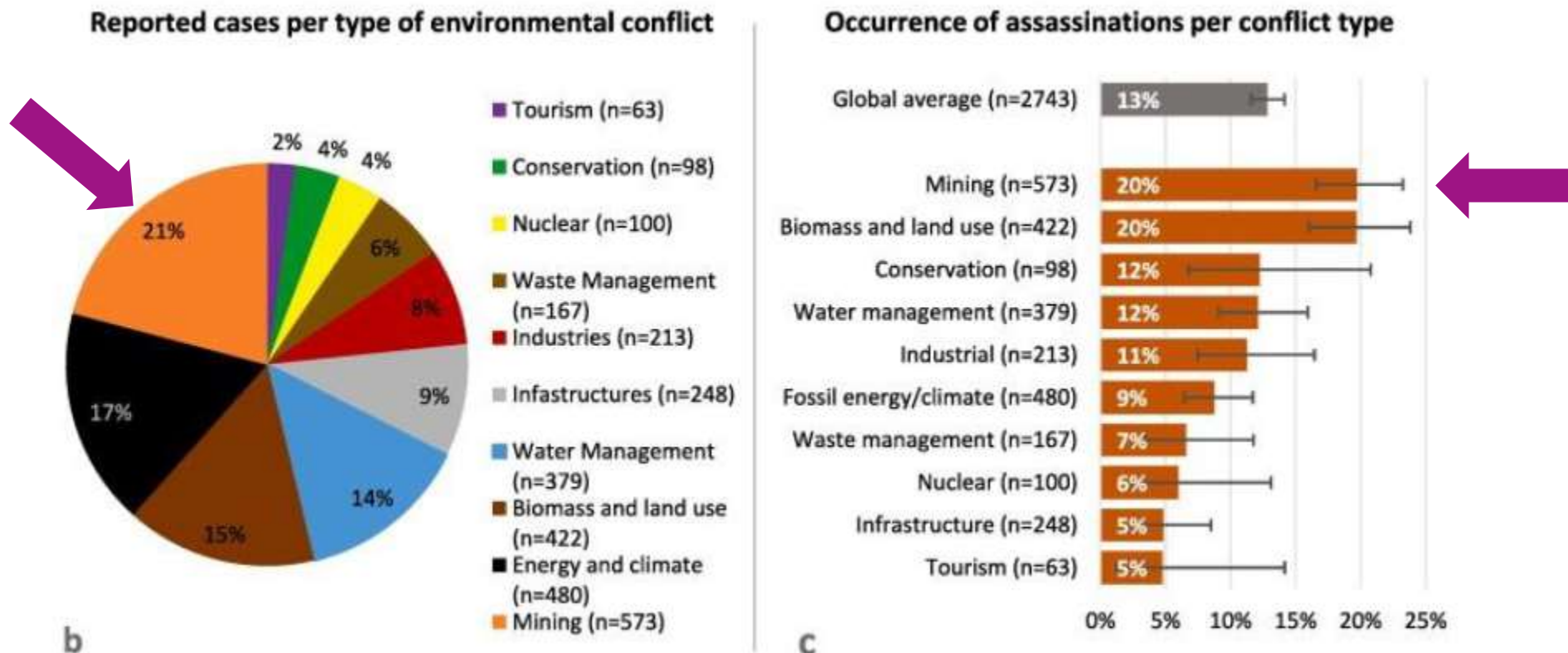
## Mise en danger de la santé des populations

- consommation d'eau contaminée
- ingestion de poussières et/ou de sols (en particulier pour les enfants)
- inhalation de gaz ou de poussières
- effondrements et glissements de terrain
- rupture de digue

Les effets sur la santé humaine se poursuivent longtemps après la fermeture des sites miniers (*Entwistle, et al., 2019*)

# EXPLOITATION MINIÈRE

## Exploitation minière et droits humains : conflits socio-environnementaux



Conflits socio-environnementaux enregistrés dans la base de données EJAtlas en 2019  
Secteurs d'activité responsables des conflits (b). Nbre d'assassinats de défenseurs des droits associés (c) (Scheidel, et al., 2020, p. 6)

# EXPLOITATION MINIÈRE

## Exploitation minière et droits humains : conflits socio-environnementaux

Principales causes (Özkaynak, et al., 2012) :

**profits**  
\$\$\$\$\$\$\$

répartition des impacts et des bénéfices combinée à un accès difficile aux informations sur les risques

violation des droits en termes de conservation de l'environnement, de préservation de l'intégrité culturelle, des droits autochtones

**corruption**

faiblesse des processus de participation et de concertation

**corruption**

**profits**  
\$\$\$\$\$\$\$

# EXPLOITATION MINIÈRE

## Exploitation minière et droits humains : mise en péril des droits des populations autochtones



Secrétaire général de l'ONU, 2006

« [...] Parmi les communautés subissant des violations de droits humains en lien avec l'industrie minière, **les peuples autochtones** sont les plus affectés [...] ».

### Problèmes majeurs et récurrents \* :

1. destruction de l'environnement et des zones de vie
2. déplacement des populations
3. criminalisation des mouvements en lutte
4. pollutions et leurs conséquences pour la santé publique
5. arrivée de travailleurs étrangers (problématiques sociales)

\*Levacher, 2012 ; Forest Peoples Programme & Tebtebba Foundation, 2006 ; Bisht, 2019 ; Indigenous Peoples Rights International, 2021

# EXPLOITATION MINIÈRE

Exploitation minière et droits humains : mise en péril des droits des populations autochtones



# EXPLOITATION MINIÈRE

Exploitation minière et droits humains : abus et discriminations répétés contre les femmes

## Exclusion de l'emploi



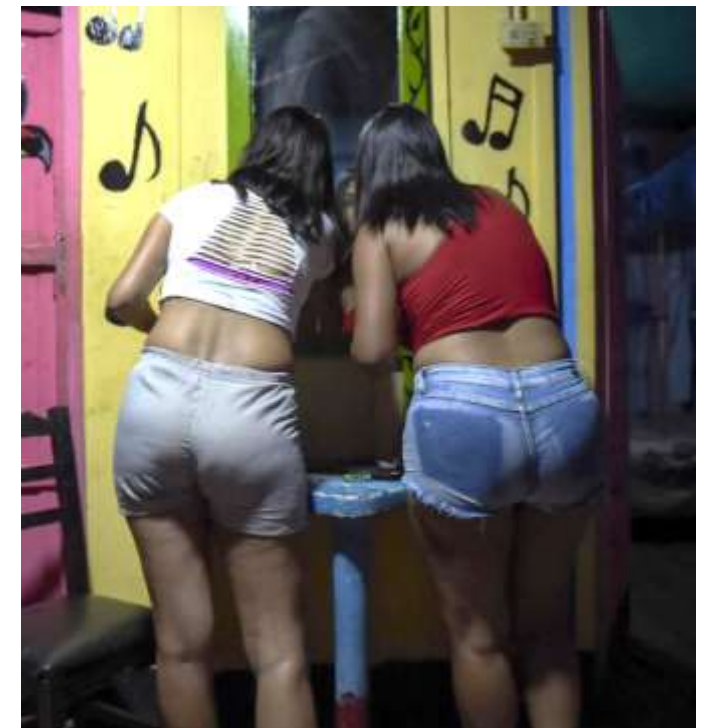
© AFP

## Maltraitance, viols



© Reuters

## Prostitution



© AFP

|  |   |   |  |                                       |    |
|--|---|---|--|---------------------------------------|----|
| 27<br><b>Co</b><br>Cobalt<br>58.933194 | 28<br><b>Ni</b><br>Nickel<br>58.6934    | 29<br><b>Cu</b><br>Culvre<br>63.546       | 30<br><b>Zn</b><br>Zinc<br>65.38         | 31<br><b>Ga</b><br>Gallium<br>69.723  | 32 |
| <b>Ru</b><br>Ruthénium<br>101.07       | 45<br><b>Rh</b><br>Rhodium<br>102.90550 | 46<br><b>Pd</b><br>Palladium<br>106.42    | 47<br><b>Ag</b><br>Silver<br>107.8682    | 48<br><b>Cd</b><br>Cadmium<br>112.414 | 49 |
| 76<br><b>Os</b><br>Osmium<br>190.23    | 77<br><b>Ir</b><br>Iridium<br>192.222   | 78<br><b>Pt</b><br>Platine<br>195.084     | 79<br><b>Au</b><br>Or<br>196.966569      | 80<br><b>Hg</b><br>Mercure<br>200.59  |    |
| 108<br><b>Hs</b><br>Hassium<br>(265)   | 109<br><b>Mt</b><br>Meitnérium<br>(270) | 110<br><b>Ds</b><br>Darmstadtium<br>(281) | 111<br><b>Rg</b><br>Roentgenium<br>(282) | 112                                   |    |
| 62<br><b>Sm</b><br>Samarium<br>150.36  | 63<br><b>Eu</b><br>Europium<br>151.964  | 64  |  |                                       |    |
|  | 95<br><b>Am</b><br>Americium<br>(243)   |   |  |                                       |    |

### 3. POSSIBILITÉS DE RÉDUCTION DE LA DEMANDE DE MINÉRAUX ET MÉTAUX PRIMAIRES

---

# L'INNOVATION, UNE SOLUTION DURABLE ?

Les techniques minières les plus utilisées n'ont pas beaucoup changé depuis plus d'un siècle.

Les principales innovations techniques datent de la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. Elles ont servi un objectif précis : **faire entrer l'industrie minière dans une ère de production de masse.**

Durant la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, des techniques ont été développées pour **permettre d'exploiter à bas coût des gisements à faible teneur** (qui peuvent être à l'origine de risques plus graves encore que les techniques conventionnelles).

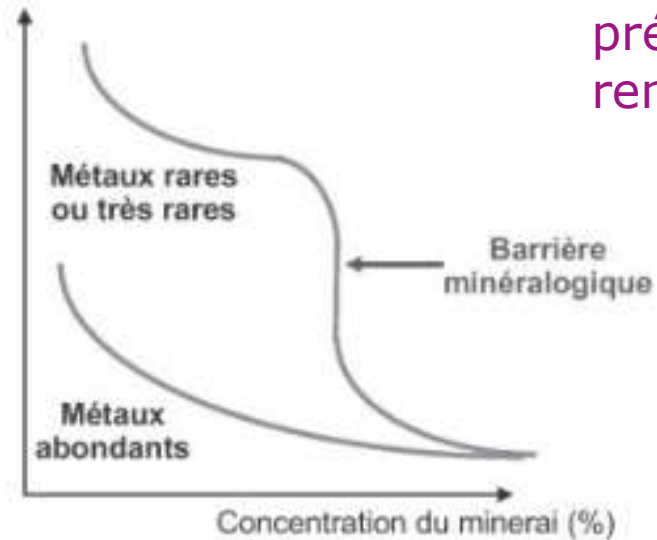
Aujourd'hui, les innovations concernent la **numérisation et l'automatisation**. Cette évolution est mise en avant comme un moyen d'augmenter les performances environnementales et sociales de l'industrie minière.

Les premiers retours d'expérience sont beaucoup plus contrastés, notamment en termes de répercussion sur les emplois et l'usage massif d'équipements fortement consommateurs d'énergie.

# FINITUDE DES RESSOURCES ET LIMITES ÉNERGÉTIQUES

Les ressources minérales sont par définition non renouvelables à échelle humaine et en quantités finies sur la planète

Énergie consommée  
par tonne récupérée



Concept de **barrière minéralogique**  
(Bihoux et de Guillebon, 2010)

« Si l'humanité continue l'exploitation des métaux au rythme actuel, la baisse des teneurs entraînera une augmentation sans précédent des quantités d'énergies nécessaires à leur traitement, rendant leur exploitation très difficile \* »

Technologie  
???

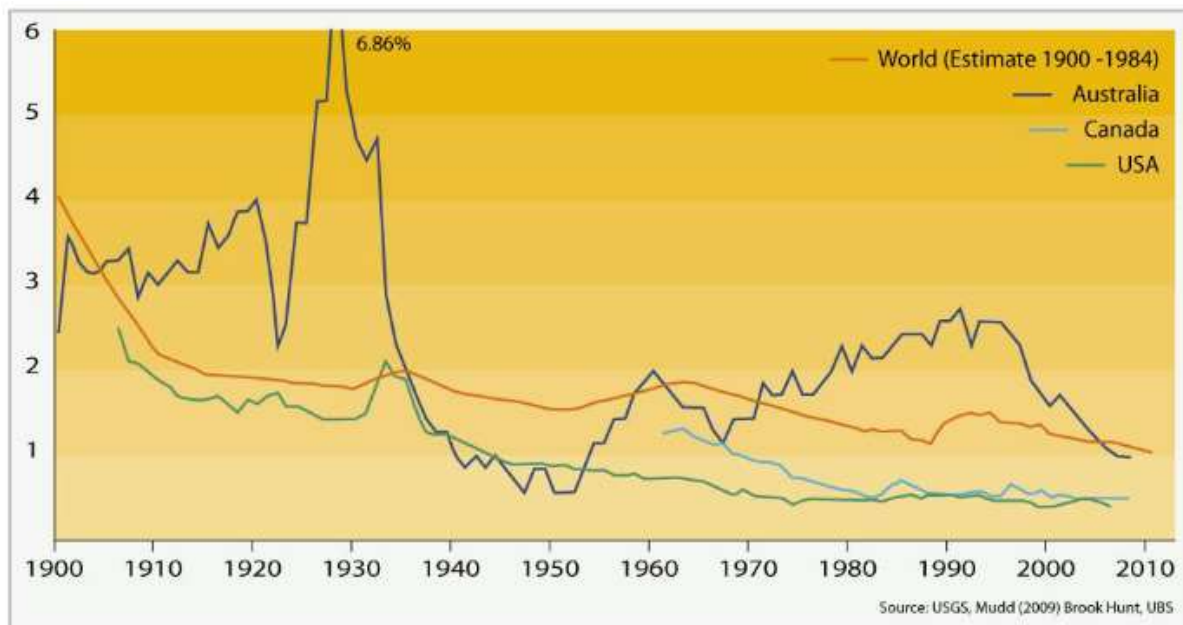


**Mais  
point  
critique !**

\* R. V. Dietrich & B. J. Skinner 1979

# FINITUDE DES RESSOURCES ET LIMITES ÉNERGÉTIQUES

## Diminution des teneurs et conséquences



Évolution globale des teneurs en cuivre (GRID-Arendal 2014)

## Implications majeures à l'échelle globale (*Geldron, 2017*) :

« [...] en 2050 avec une demande en cuivre multipliée par **2 à 3** par rapport à 2012 le cuivre devrait à lui seul consommer **2,4 %** de la consommation énergétique mondiale de 2050 contre **0,3 %** en 2012 »



**Mêmes constats pour la consommation d'eau et les émissions de gaz à effet de serre**

# L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

L'économie circulaire consiste à produire des biens et des services de manière durable en limitant la consommation et le gaspillage des ressources et la production des déchets. Il s'agit de passer d'une société du tout jetable à un modèle économique plus circulaire.

Les champs d'action de l'économie circulaire sont :

**L'écologie industrielle et territoriale**

**L'approvisionnement responsable**

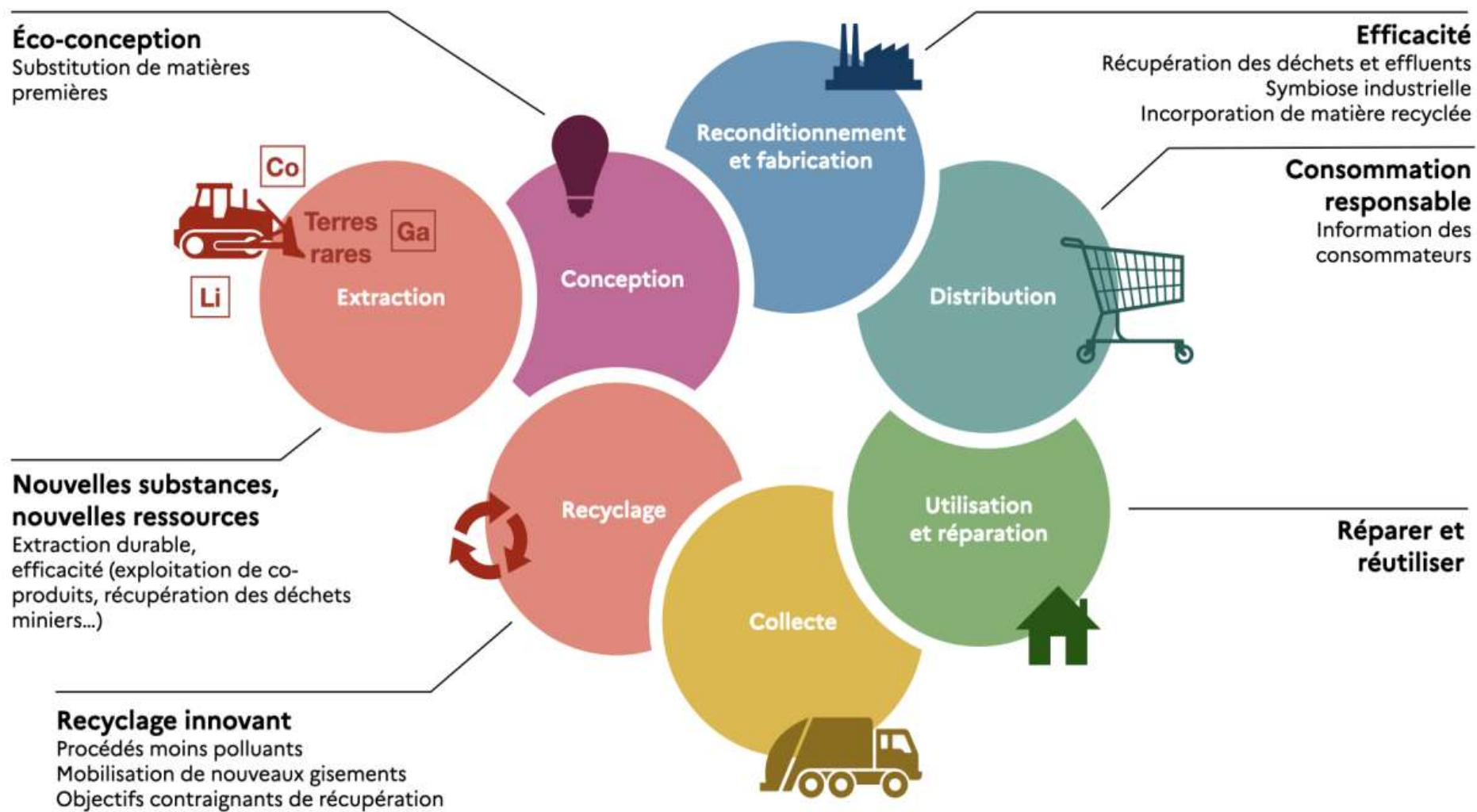
**La valorisation des déchets**

**La consommation responsable**

**L'allongement de la durée d'usage des produits**

**L'écoconception**

# L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE POUR LES RESSOURCES MINÉRALES



Source : Ministère chargé de l'industrie - Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN)

# RECYCLAGE RE-USAGE

Le recyclage au sens large est un volet majeur **du développement durable**. C'est un sujet complexe, car on ne peut pas parler de la même façon du recyclage pour l'ensemble des matériaux.

|                   | Cu | Fe | Au | Ag | TR | Zr | Ta |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Taux de recyclage | ↗  | ↗  | ↗  | ↗  | ↘  | ↘  | ↘  |

Cependant , le recyclage des métaux est devenu indispensable car cette pratique permet :

- d'économiser les **ressources** (matière première)
- de prévenir les **dégâts environnementaux** (pollution des sols, de l'atmosphère, la déforestation)
- d'économiser l'**énergie** nécessaire à l'extraction et au traitement du minerai

# IMPLICATION DES ÉTATS

Pour faire face aux risques de pénurie, les États engagent des politiques de recherche et de développement et de recyclage de plus en plus ambitieuses. C'est notamment le cas de l'**Union Européenne**.



Bruxelles, le 3.9.2020  
COM(2020) 474 final

COMMUNICATION DE LA COMMISSION AU PARLEMENT EUROPÉEN, AU CONSEIL, AU COMITÉ ÉCONOMIQUE ET SOCIAL EUROPÉEN ET AU COMITÉ DES RÉGIONS

Résilience des matières premières critiques: la voie à suivre pour un renforcement de la sécurité et de la durabilité

Mais peu (ou pas) d'implication ailleurs...



|  |  |   |   |  |                                       |    |
|--|--|---|---|--|---------------------------------------|----|
|  | 27<br><b>Co</b><br>Cobalt<br>58.933194 | 28<br><b>Ni</b><br>Nickel<br>58.6934    | 29<br><b>Cu</b><br>Civre<br>63.546        | 30<br><b>Zn</b><br>Zinc<br>65.38         | 31<br><b>Ga</b><br>Gallium<br>69.723  | 32 |
|  | 44<br><b>Ru</b><br>Ruthénium<br>101.07 | 45<br><b>Rh</b><br>Rhodium<br>102.90550 | 46<br><b>Pd</b><br>Palladium<br>106.42    | 47<br><b>Ag</b><br>Argent<br>107.8682    | 48<br><b>Cd</b><br>Cadmium<br>112.414 | 49 |
|  | 76<br><b>Os</b><br>Osmium<br>190.23    | 77<br><b>Ir</b><br>Iridium<br>192.222   | 78<br><b>Pt</b><br>Platine<br>195.084     | 79<br><b>Au</b><br>Or<br>196.966569      | 80<br><b>Hg</b><br>Mercure<br>200.59  |    |
|  | 108<br><b>Hs</b><br>Hassium            | 109<br><b>Mt</b><br>Meitnerium<br>(278) | 110<br><b>Ds</b><br>Darmstadtium<br>(281) | 111<br><b>Rg</b><br>Roentgenium<br>(282) | 112                                   |    |
|  | 62<br><b>Sm</b><br>Samarium<br>150.36  | 63<br><b>Eu</b><br>Europium<br>151.964  | 64  |  |                                       |    |
|  |  | 95<br><b>Am</b><br>Americium            |   |  |                                       |    |

## 4. SECTEUR EXTRACTIF ET OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE À L'HORIZON 2030

---

# OBJECTIFS DÉVELOPPEMENT DURABLE

Le groupe international d'experts sur les ressources de l'ONU propose des **suggestions** sur la manière d'améliorer les performances économiques du secteur extractif tout en veillant à ce qu'il respecte les normes sociales et environnementales les plus élevées aux niveaux national et international \*.

Le rapport fournit des orientations sur la manière dont le secteur extractif peut établir une structure de gouvernance moderne qui :

- prenne en compte la **sécurité et l'efficacité des ressources**, un domaine d'intérêt particulier pour les pays développés,
- réponde à la demande de **transformation structurelle continue, de développement économique et de diversification** dans les pays en développement exportateurs de ressources.

# OBJECTIFS DÉVELOPPEMENT DURABLE

Priorités à intégrer par les responsables politiques et les dirigeants économiques intègrent, dans leur processus décisionnel :

- Formuler et définir, pour le secteur extractif, un **permis d'exploitation** axé sur le développement durable
- **Analyser les lacunes et réformer la gouvernance :**
  - Politique cohérente pour les minéraux du développement
  - Transparences financière, sociétale et environnementale
  - Une planification intégrée du développement minier
  - Une coopération accrue entre pays exportateurs et importateurs
- Créer une **Agence internationale des minéraux**
- Publier des **rapports périodiques sur les progrès réalisés** sur la voie du développement durable dans le cadre d'un « rapport mondial sur l'état du secteur extractif »



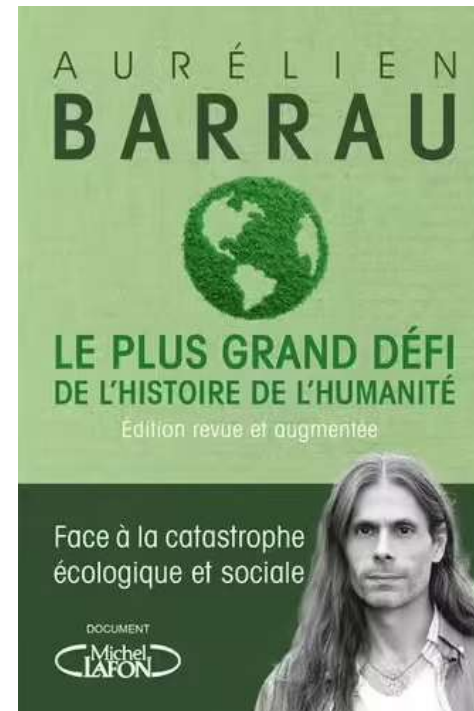
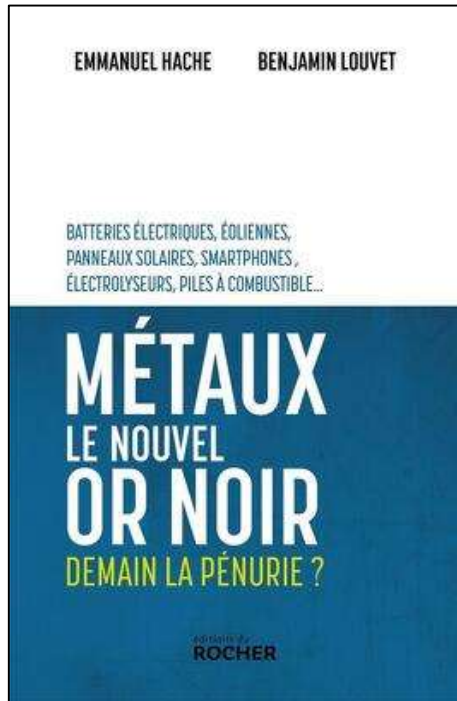
## CONCLUSION

**7,5 milliards d'humains vont exploiter plus de ressources minérales que les 108 milliards d'humains qui ont vécu sur Terre à ce jour !**

Au rythme actuel de l'extraction de très nombreuses mines de métaux seront épuisées en moins de 50 ans. De plus la quantité d'énergie dépensée pour aller chercher des métaux nécessaires à notre mode de vie nous amène à une nouvelle limite de l'extraction minière : **la limite énergétique. Nous ne pouvons pas dépenser plus d'énergie que nous n'en récoltons.**

**Alors que de nombreux pays cherchent à assurer leur future souveraineté minière en réouvrant des exploitations sur leur territoire ces chiffres font ressentir l'urgence d'une réelle sobriété énergétique.**

# BIBLIOGRAPHIE (non exhaustive)



- Association SystExt : [www.systext.org](http://www.systext.org)
- Système d'information Internet MÉDIATERRE : [www.mediaterre.org](http://www.mediaterre.org)
- Publications scientifiques de Bernd G. Lottermoser, RWTH Aachen University, Institute of Mineral Resources Engineering
- Rapports de l'Organisation des Nations Unies sur le développement durable



**ARTSETMETIERS.FR**