

Dossier de synthèse rédigé à partir des ressources listées page 8 et plus particulièrement de celles du site très instructif de l'association [SysExt](#)

Les métaux sont présents partout dans notre quotidien. Enjeu majeur du XXI^e siècle, leur approvisionnement interroge nos stratégies de décarbonation et plus globalement, nos modes de vie. Réduire le gaspillage de ces ressources non renouvelables est impératif, d'autant plus que leur extraction s'avère de plus en plus difficile et que les impacts environnementaux et sociaux de l'exploitation minière sont extrêmement lourds.

Métaux & énergie : piliers indissociables de notre modèle de développement

Depuis des millénaires, les métaux jouent un rôle majeur dans l'évolution des civilisations. Ils sont aujourd'hui présents partout dans notre quotidien. Reposant sur leur utilisation croissante, notre modèle de développement économique et industriel a conduit à une intensification continue de l'exploitation minière, indissociable de la consommation d'énergie. Métaux et énergie sont en effet deux ressources indispensables l'une à l'autre. Exponentielle depuis des décennies, la demande mondiale de métaux a doublé depuis le début des années 2000. La construction massive d'infrastructures dans de nombreux pays (Chine, Inde...) et l'essor des technologies du numérique et de la transition énergétique, expliquent cet emballement. Au vu des ambitions des plans de décarbonation et du modèle du tout numérique promu à travers le monde, la tendance ne risque pas de s'infléchir. Or, continuer à ce rythme (+3 à 5% / an) suppose de **produire d'ici 2050, plus de métaux qu'on n'en a produit depuis le début de l'humanité.**

L'obligation d'un retour à la raison, face aux réalités

Face à cette perspective, deux visions s'opposent : certains anticipent des pénuries de métaux dès les prochaines décennies ; d'autres misent sur les évolutions technologiques, l'exploitation de nouvelles ressources et le recyclage, pour satisfaire la demande croissante.

Quoi qu'il en soit, la question de l'approvisionnement n'est pas la seule donnée de l'équation. D'autres réalités essentielles sont à considérer :

- les nouveaux gisements sont de plus en plus rares et le délais entre leur découverte et l'exploitation, particulièrement longs (10-20 ans) ;
- l'exploitation est de plus en plus coûteuse en investissements, en énergie et en eau, les gisements étant aujourd'hui de plus en plus difficiles d'accès et la teneur en métal du minerai, de plus en plus faible ;
- les impacts environnementaux s'alourdissent, alors qu'ils contribuaient déjà significativement au dépassement des limites planétaires ;
- l'industrie minière est le secteur industriel à l'origine du plus grand nombre de conflits sociaux et environnementaux dans le monde ;
- ainsi, le financement des projets miniers devient de plus en plus difficile.

Alors que le dérèglement climatique exige de décarboner de toute urgence les économies et de dématérialiser nos modes de vie et de développement, le défi consiste à atteindre ces objectifs sans menacer l'habitabilité de la planète par un recours massif à l'activité minière. L'heure est venue de revisiter nos modèles et d'apprécier la valeur des métaux pour ne plus les gaspiller.

L'Homme et les métaux : une très longue histoire

Découverts à différentes époques selon les régions, les métaux ont façonné l'évolution des civilisations. L'or, l'argent et le cuivre trouvés à l'état natif, sont les premiers utilisés par martèlement (Moyen-Orient, 8 000 av. J.-C.). Le premier métal fondu est le cuivre (Anatolie, 6 000 av. J.-C.).

Ces trois métaux, ainsi que l'étain, le plomb et le fer, sont les principaux utilisés durant la préhistoire et l'Antiquité, seuls ou en alliage (bronze puis acier). Révolutionnant tour à tour les techniques agricoles, militaires et architecturales, ils vont structurer les relations entre les peuples jusqu'au XIX^e siècle.



Au XVIII^e siècle, l'essor de la métallurgie et de la chimie industrielle permet d'autres découvertes : zinc, cobalt, nickel, tungstène, titane, chrome... D'autres, dont l'aluminium, sont identifiés au siècle suivant grâce à l'électrolyse. Leur production industrielle débutera au XX^e siècle.

Aujourd'hui, on compte 90 métaux dont les usages s'étendent et se diversifient sans cesse. De 1980 à 2008, leur demande a augmenté de 87% (*France Stratégie, 2020*). Si elle évolue selon les prévisions, la satisfaire supposera de produire d'ici 35 ans, plus de métal qu'il n'en a été produit depuis le début de l'humanité (*Responsabilité et Environnement n°99, 2020*).

D'où vient le métal ?

Du minerai au métal : un processus long et compliqué

Le métal ne se trouve pas sous forme pure dans les gisements : il faut l'**extraire du minerai** en le séparant d'un cortège d'autres composants souvent toxiques. Sa production nécessite ainsi énormément d'énergie et d'eau, de plus en plus même, car les gisements restants sont de plus en plus difficiles à exploiter. Au final, des quantités gigantesques de déchets et d'effluents toxiques sont rejetées.

LA CROUTE TERRESTRE, C'EST...
pour 99% : 12 éléments dont 5 métaux abondants (aluminium, fer, magnésium, titane, manganèse)

1% restant : métaux rares (ex : cuivre, chrome, zinc, nickel, cobalt, plomb, étain, tungstène...) et très rares (ex : antimoine, argent, indium, platine, or)

PROCESSUS DE PRODUCTION LE PLUS FRÉQUENT : exemple pour le cuivre

Étape 1

Extraction du **minerai** (ex : chalcopryrite, composée de sulfures de cuivre et de fer) puis **broyage** en sable fin. Le broyage représente 80% de la dépense énergétique d'un site minier.

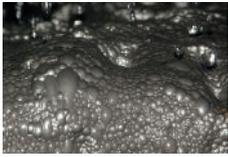


1 tonne de roche à traiter pour 12 kg de cuivre, 1 kg de lithium ou 1 g d'or !

Combien de métal dans 1 tonne de roche traitée ?

Fer (300-600 kg)
 Aluminium (200-300 kg)
 Zinc (40-200 kg)
 Nickel (10-30 kg),
 Cobalt (5-25kg)
 Cuivre (3-20 kg)
 Lithium (0,5-1,5 kg)
 Indium (100g)
 Gallium (30-80g)
 Platine (3-15g)
 Or (1g)

Étape 2



Concentration, traitement chimique : le sable est mélangé à de l'eau et à des produits chimiques pour séparer le cuivre, le soufre et le fer combinés dans ses grains. L'apport d'air permet de faire remonter les minéraux de cuivre à la surface du mélange. Après filtration et séchage, on obtient un **concentré** (31% de cuivre). Cette phase représente 70% de la dépense en eau d'un site minier.

Étape 3



Extraction chimique, métallurgie : le concentré est fondu dans un four. On récupère un cuivre grossier, noir, le **blister** (98-99,5% de cuivre).

Étape 4



Raffinage : le blister est débarrassé de ses impuretés (fer, soufre...) par électrolyse ou passage au four. On obtient du **cuivre utilisable par l'industrie** (99,99% de cuivre).

Où se situent les mines en exploitation dans le monde ?

Source : SystExt

52% de l'emprise minière mondiale répartis entre 6 pays...

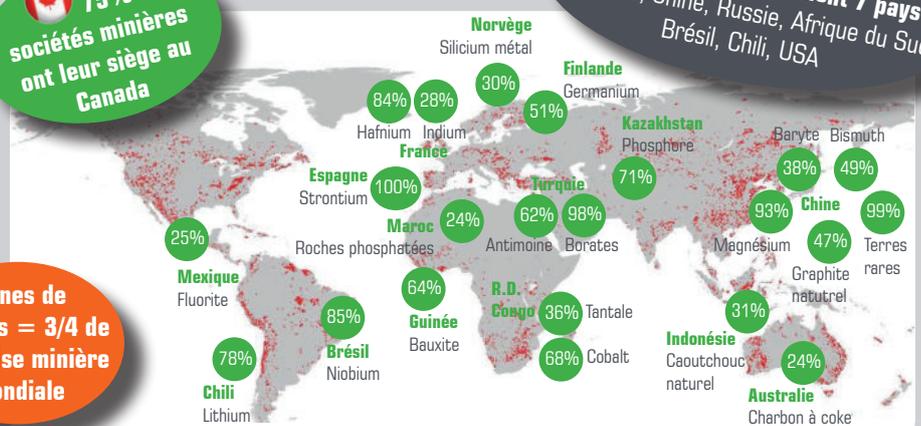
Russie	(11 770 km ²)
Chine	(10 365 km ²)
Australie	(8 483 km ²)
États-Unis	(8 189 km ²)
Indonésie	(8 020 km ²)
Brésil	(5 916 km ²)

Mines de 13 pays = 3/4 de l'emprise minière mondiale

...23% entre 7 autres pays : Canada, Chili, Afrique du Sud, Pérou, Guyane, Argentine, Inde.

75% des sociétés minières ont leur siège au Canada

L'essentiel des réserves minérales dans seulement 7 pays
 Australie, Chine, Russie, Afrique du Sud, Brésil, Chili, USA



Principaux fournisseurs de matières premières critiques de l'Union européenne

Source : Commission européenne, 2021.

% Part du pays dans les importations totales de l'UE pour la matière première considérée, le restant étant importé d'autres pays.



GLOSSAIRE

- **Minerai :** roche contenant suffisamment de minéraux utiles pour justifier l'exploitation d'une mine. Le métal s'obtient après son raffinage.
- **Métaux stratégiques :** métaux indispensables à la politique économique d'un État, à sa défense, à sa politique énergétique ou à celle d'un acteur industriel spécifique (exemple : métaux pour la transition énergétique).

- **Métaux critiques :** métaux essentiels pour l'économie d'un pays, dont le risque de rupture d'approvisionnement est élevé.
- **Métaux rares :** métaux dont l'abondance ou la capacité à constituer un gisement est faible.
- **Terres rares :** famille de 17 métaux aux propriétés voisines (scandium, yttrium et 15 lanthanides). Ils ne sont pas si rares que ça.

Une économie qui extrait et engloutit toujours plus de métal

Depuis les années 2000, la demande mondiale de métaux s'emballe. L'approvisionnement devient un enjeu majeur, d'autant plus que métal et énergie dépendent l'un de l'autre. Les besoins des transitions énergétique et numérique ne doivent pas néanmoins faire oublier que d'autres secteurs essentiels à notre qualité de vie reposent aussi sur les métaux.

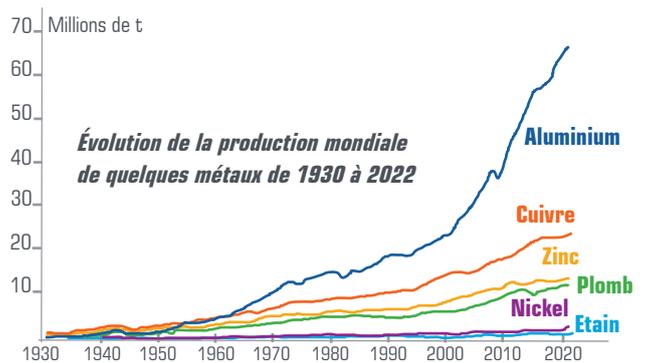
« Les minéraux sont des ressources naturelles particulièrement cruciales, car ils sont la base de l'industrialisation qui est la quintessence du développement économique »¹. Voilà pourquoi depuis le XIX^e siècle, la demande de métaux n'a jamais cessé de croître, même en période de guerre ou de crise économique. Si un découplage entre PIB et besoins de ressources a été espéré un jour, il est clair qu'il n'a jamais eu lieu.

Depuis les années 2000, les technologies mobilisent de plus en plus de métaux différents. Plus de 60 étaient utilisés en 2000 contre 20 dans les années 1970. Une voiture électrique peut contenir aujourd'hui jusqu'à 75 métaux sur les 85 substances naturelles du tableau périodique ! Cet élargissement s'explique par la recherche perpétuelle de meilleurs rendements et de performances (ex : miniaturisation). Les derniers métaux ajoutés à la palette sont surtout des métaux « high tech », comme l'indium et les terres rares (écrans plats), le gallium (LED), le germanium (WiFi pour les portables).

Depuis 2000 : accélération et diversification

Essentiels à tous les secteurs qui contribuent à notre qualité de vie – alimentation, santé, logement, transports, sécurité, éducation, loisirs... – les métaux sont présents partout autour de nous. Depuis les années 2000, ils font l'objet d'une demande mondiale dont l'accélération est sans précédent. Celle-ci résulte de l'essor des énergies renouvelables, de la mobilité électrique et de la transition numérique avide de métaux critiques (cuivre, lithium, nickel, cobalt...). L'urbanisation et l'industrialisation des économies émergentes ont également pulvérisé les records de consommation de métaux traditionnels (fer, aluminium...).

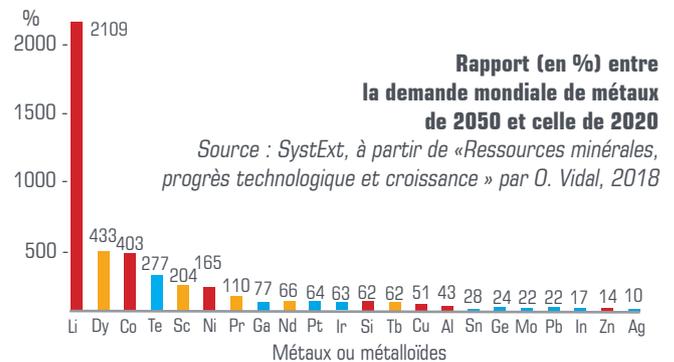
Au final, de 2002 à 2022, l'évolution de la demande de métaux s'est traduite par une intensification de la production minière. Les tonnages annuels produits sont spectaculaires : 2,5 milliards pour le fer et l'acier, 70 millions pour l'aluminium, 28 millions pour le cuivre, 13 millions pour le zinc, 3 millions pour le nickel, 3 600 pour l'or, 1 050 pour l'argent.



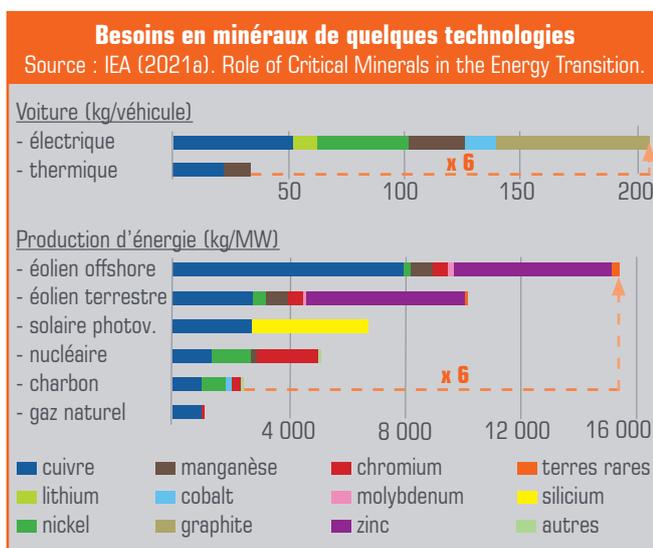
Sources : Annuaire Statistique Mondial des Minerais et Métaux (SIM et BRGM) jusqu'en 1999, l'USGS depuis.

Un approvisionnement qui pose question

D'ici à 2050, au vu des scénarios de transition énergétique, l'Agence Internationale de l'Énergie prévoit une demande de métaux critiques 5 à 10 fois supérieure, dédiée pour moitié à la mobilité. Son directeur observe que « les données révèlent un décalage imminent entre les ambitions climatiques renforcées de la planète et la disponibilité des minéraux essentiels à la réalisation de ces ambitions ». L'approvisionnement devient un enjeu majeur. Philippe Bihouix² indiquait en 2010 des réserves de 30 à 60 ans pour la majorité des métaux. Mais avant l'épuisement des réserves, ce sont probablement le ralentissement de l'offre, la volatilité des prix, les risques géopolitiques et les conflits environnementaux qui causeront des pénuries à court/moyen terme.



Source : SystExt, à partir de « Ressources minérales, progrès technologique et croissance » par O. Vidal, 2018



La priorisation des utilisations de métaux disponibles et la recherche de solutions pour réduire les besoins ou y répondre autrement, s'annoncent incontournables à l'avenir.

Vu la situation climatique, la décarbonation de l'économie est urgente et essentielle.

Cependant, la faire reposer sur l'intensification sans limite de l'exploitation minière, alors que celle-ci génère des impacts majeurs sur l'environnement, ne peut qu'interpeler.

C'est pourquoi le Shift Project, par exemple, préconise de commencer par décarboner ce secteur en amont de tous les autres et d'orienter nos sociétés vers plus de sobriété métallique, de manière à réduire la demande et ainsi, l'activité minière.

¹ International Resources Panel (GIER en français), groupe d'experts scientifiques créé par l'ONU pour l'utilisation durable et soutenable des ressources naturelles.

² Auteur de « Quel futur pour les métaux ? », 2010.

Au-delà de l’approvisionnement, des réalités à ne pas négliger

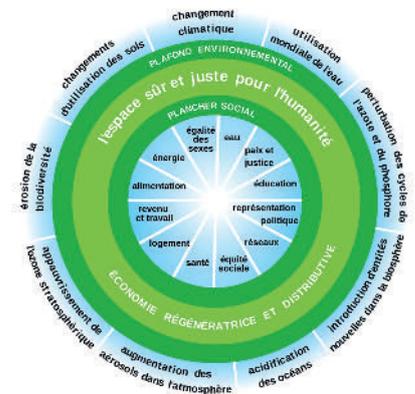
Confrontée à des gisements de plus en plus ardu à exploiter, alors que la demande de métaux explose, l’industrie minière étend ses surfaces d’emprise, creuse plus profond et recourt à des techniques plus agressives. Bilan : les impacts sur les milieux vont à contre-sens des finalités de la transition écologique et les conflits sociaux et environnementaux se multiplient.

Des impacts majeurs sur l’environnement, mais aussi sur les droits et besoins des populations

L’industrie minière impacte fortement les limites planétaires :

1. Elle favorise le changement climatique (gaz à effet de serre, destruction des réservoirs de carbone).
2. Elle appauvrit la biodiversité (déforestation, pollution des eaux et des sols).
3. Elle modifie l’utilisation des terres et favorise l’érosion des sols.
4. Elle menace les réserves locales d’eau douce (quantité d’eau utilisée énorme).
5. Elle porte atteinte à la fertilité des sols et à la qualité de l’eau (cycles N et P).

6. Elle favorise l’acidification des océans (émissions de CO₂ et de polluants).
 7. Elle stérilise les sols, les contamine ainsi que l’eau (métaux lourds...), ce qui met en danger les êtres vivants.
 8. Elle nuit à la qualité de l’air (particules fines, gaz polluants), et ainsi à la santé.
 9. Elle émet dans certains cas des substances qui détruisent la couche d’ozone.
- Enfin, c’est le secteur à l’origine du plus grand nombre de violations des droits humains et de conflits sociaux et environnementaux.



Donut : les limites pour préserver le bien vivre

Surfaces d’emprise

Biodiversité : nos efforts anéantis ?

Laura Sonter et ses confrères de l’Université du Queensland en Australie évaluent que **50 millions de km², soit un tiers de la surface émergée sur Terre**, sont sous influence minière : anciens sites, sites en exploitation (102 000 km²) ou en projet. 82% de cette emprise est dédiée à la production de matériaux pour les énergies renouvelables et 31% empiètent sur des zones naturelles (dont 8% de zones protégées et 7% de zones clés pour la biodiversité). Or, dans ces zones d’empiètement, la densité de mines est plus forte quand celles-ci sont dédiées aux énergies renouvelables. Ainsi, pour les chercheurs, plus les mines viseront cette finalité à l’avenir, plus la biodiversité sera menacée : « En l’absence de toute planification stratégique, ces nouvelles menaces pour la biodiversité pourraient dépasser celles que l’on tente d’éviter par l’atténuation du changement climatique ».



Mine de cuivre de Palabora (Afrique du Sud) : 1,8 km de diamètre, 760 m de profondeur. Emprise des déchets et installations : 25 km². © Dillon Marsh/Google 2021/Création SystExt/sept. 2021

Sécurité alimentaire et droits des populations

La transition énergétique suscite également un mouvement d’achat de terres, dont certaines sont cruciales pour la sécurité alimentaire des populations locales. Jérémy Bourgoïn, chercheur au CIRAD³, a établi une carte du réseau minier international lié à ces transactions. En tête des investisseurs : Canada, États-Unis, Russie, Chine, Union européenne. Cibles : Afrique, Amérique latine et Asie du Sud-Est. Pour le chercheur, « La nature actuelle des transactions foncières fait que la terre est devenue un bien financier, abstrait et déconnecté de sa propre géographie. Le problème, c’est que ça vient invisibiliser les coûts réels de la transition ». Or, ces coûts sont nombreux : délocalisation des populations, déboisement, pollution des terres agricoles, conflits. La carte montre les déséquilibres géographiques à l’œuvre, « les pays cibles supportant la plupart des coûts sociaux et environnementaux dans des zones marquées par l’insécurité foncière et alimentaire et l’instabilité de la gouvernance ».

Déchets et pollutions longue durée

La mine propre n’existe pas

Les impacts environnementaux des mines industrielles sont inévitables, indique Robert Goodman, chercheur sur les pratiques responsables au World Resources Institute. En effet :

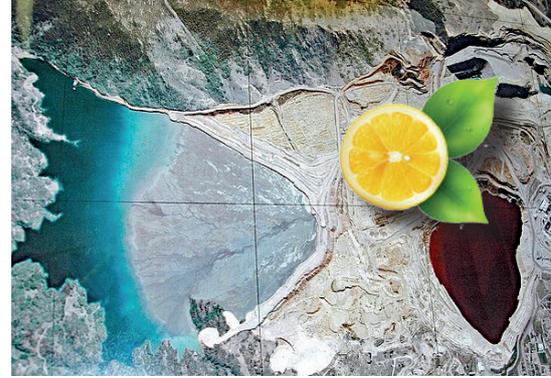
- le minerai contient de moins en moins de métal, mais toujours des substances toxiques (ex : arsenic, plomb, antimoine...);
- son traitement nécessite énormément d’eau et d’énergie, ainsi que l’emploi de réactifs chimiques (ex : acide sulfurique, soude, cyanure de sodium, nitrate d’ammonium pour le dynamitage);
- les volumes gigantesque de déchets et d’effluents rejetés recèlent les mêmes métaux que le minerai.

Or, la contamination des milieux est irréversible. L’ingénieure géologue, Aurore Stéphan (SystExt), insiste sur ce point : « On ne dépollue pas un site minier. La seule solution si on voulait le faire, serait de déplacer ses déchets. La réhabilitation des sites permet, dans le meilleur des cas, de limiter les risques sanitaires et environnementaux, pas de les supprimer ».

³ Centre français de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

100 millions d'hectares de déchets miniers

Le secteur minier est le secteur industriel qui rejette le plus de déchets solides, liquides et gazeux. En 2010, Bernd Lottermoser (Université d'Aix-la-Chapelle) estimait à 100 millions d'ha environ, l'emprise au sol des centaines de milliards de tonnes de déchets miniers dans le monde. Ces déchets sont gérés de trois façons : stockage en surface (parcs à résidus), remblayage de vides miniers, *déversement en mer*, dans des lacs ou rivières.



Une dégradation des milieux irréversible

• **L'eau, la ressource la plus exposée**
Selon l'Agence de protection environnementale américaine, EPA, « *La contamination de l'eau par l'industrie minière est une menace majeure pour la sécurité écologique mondiale* ».

A l'origine de cette pollution : les rejets d'eaux pompées dans les galeries, le ruissellement depuis les stériles (rejets de sols et de roches excavés) et parcs à résidus, les déversements accidentels et volontaires, les ruptures de digues minières (3 à 7 par an dans le monde cette dernière décennie)⁴ au Canada, en Espagne, en Finlande...). En 2013, une étude d'Earthworks a révélé qu'aux États-Unis, 40 mines contaminaient 80 millions de m³ d'eau chaque année. Coût de traitement estimé : 60 milliards de \$ par an.

• **Air : GES, poussières et gaz toxiques**
Très énergivore, le secteur minier génère 4 à 7% des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Il libère aussi des poussières et gaz, dont certains très toxiques contaminent l'air, les sols et l'ensemble du vivant. En Australie, 100 000 km² ont ainsi été pollués. Les procédés thermiques d'extraction génèrent des quantités massives de dioxyde de soufre et de métaux lourds (plomb, mercure, arsenic, cadmium...). L'industrie minière est le plus gros émetteur de mercure dans l'air.

• **Sols : jusqu'à la stérilisation**
Les contaminations affectent les sols et leur couvert végétal sur de vastes surfaces pour des siècles ou des milliers d'années. Les métaux lourds stérilisent les sols.

Mine de cuivre de Berkeley (Montana), fermée en 1982. L'eau bleue polluée, acide comme du jus de citron, remonte des 16 000 km de tunnels inondés. Elle se rapproche un peu plus chaque année du niveau de la nappe phréatique. Quand elle l'atteindra, elle s'écoulera dans l'environnement.



Le site de Norilsk (Russie), n°1 mondial du nickel et du palladium : 2 000 000 t/an de dioxyde de soufre émis de 2004 à 2015.

Besoin d'énergie et d'eau

De lourdes factures

L'industrie minière représente 8% de la consommation mondiale d'énergie primaire. Traiter du minerai nécessite beaucoup d'énergie... mais aussi d'eau. Le concassage et le broyage absorbent 80% de l'énergie et 70% de l'eau utilisées sur un site. La croissance de la demande de métaux et des difficultés d'exploitation intensifie ces consommations. En 2017, l'ADEME notait qu'au Chili, produire 8% de cuivre en plus supposait d'utiliser 62% d'eau supplémentaire. Quand au lithium, l'ONU fait remarquer qu'il faut 2 m³ d'eau / kg extrait et que sa production mondiale provient pour moitié de régions où l'eau se fait rare.

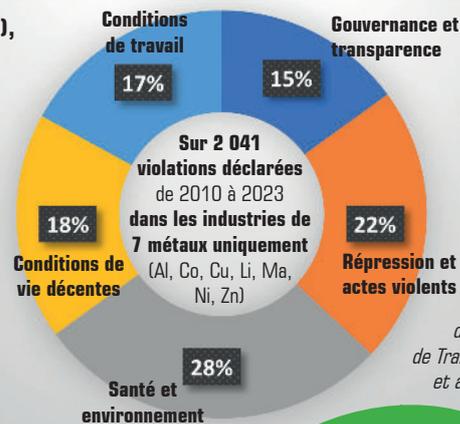
Violation des droits humains et conflits

Le secteur minier est celui qui est à la source du plus grand nombre de conflits socio-environnementaux dans le monde. Malgré de nettes améliorations dans certains pays, il reste le secteur d'emploi qui expose le plus les salariés aux risques, y compris en Europe. Depuis des dizaines d'années, l'ONU dénonce ses atteintes aux droits humains.

En 14 ans (2010-2023), 630 allégations de violation des droits humains déclarées, dont :

- 14% sur l'année 2023
- 26% de violations des droits du travail
- 20% du droit à l'eau (accès ou pollution)
- 51% dans 10 entreprises

Chaque allégation porte sur plusieurs violations.



1 entreprise chinoise et 1 entreprise suisse font l'objet chacune de 70 allégations (soit 22% des 630 allégations)

Source : SystExt d'après base de données de Transition Minerals Tracker et analyse du BHRRC 2024

L'eau, source de conflits de plus en plus fréquents

La situation des pays producteurs soumis au stress hydrique s'aggrave en raison du changement climatique. Parmi eux, l'Australie et la Chine (cf. article), mais aussi le Chili, où comme dans d'autres pays miniers, les conflits sur l'eau se multiplient et ralentissent les projets d'exploitation.

Les industriels cherchent donc à développer des procédés plus sobres, la pratique du recyclage ou la désalinisation... sauf que cette dernière solution très énergivore nécessite des infrastructures lourdes, très consommatrices de matière.



1/3 des sociétés minières accusées de violation de l'environnement et des droits de l'Homme sont canadiennes⁵

⁴ Source : WISE Uranium Project, base de données publique référençant les ruptures de digues minières majeures.

⁵ Human Rights Resource Center, 2022. 1000 entreprises canadiennes opèrent dans plus de 100 pays.

Face à l'équation impossible, changer de paradigme

La transition énergétique est une urgence. Mais comme ses technologies reposent sur les métaux, dont elle appelle à intensifier massivement la production, une question se pose : comment réduire d'ici 2030 les émissions de gaz à effet de serre de 55% par rapport à 1990 pour atteindre la neutralité climatique en 2050, sans que cette intensification mette à mal la finalité visée et à terme, l'habitabilité de la planète ? Face à ce noeud gordien, l'issue consiste à changer les termes de l'équation.

L'évolution de la demande de métaux, combinée à l'épuisement des gisements « faciles », est en train de conduire à une intensification insoutenable des activités minières.

Alors que la « mine durable » ou « responsable » est un mythe pour beaucoup d'entre eux, les scientifiques et de nombreuses institutions appellent à mettre d'urgence un frein à cette évolution. Nombre d'entre eux proposent **des stratégies durables, visant à bien vivre avec moins de matières minérales, dans le respect de l'Homme et de l'environnement qui lui rend des services vitaux** (cf. [DD'scope n°11](#)).

Ces stratégies supposent de repenser nos modes de vie et de production, défi à relever collectivement, du local à l'international. Illustration à partir des propositions de l'association SystExt, croisées avec celles d'autres experts.



Avant de penser au recyclage : allonger la durée de vie, réparer et réutiliser.

1 Industries minérales : changer de pratiques

- **Avant toute chose, mettre fin aux pratiques les plus nocives pour l'Homme et l'environnement** (ex : cyanuration, déversements volontaires de déchets miniers dans la mer...).

- **Remplacer les « meilleures pratiques possibles » compte tenu de conditions techniques et économiques, par des pratiques respectueuses de l'Homme et de l'environnement.**

Comme le remarque Jérémy Bourgoïn (CIRAD), « *La transition énergétique de certains pays ne doit pas se faire aux dépens des conditions de vie des populations ailleurs dans le monde* ».

SystExt observe que la mise en œuvre des « bonnes » et « meilleures » pratiques « *ne permet pas de réduire suffisamment les risques. Selon la plupart des chercheurs, l'inefficacité de leur mise en œuvre s'explique par la priorisation des motifs économiques et financiers* ».

- **Évaluer les impacts des filières sur leur environnement naturel et humain, selon une vision systémique et jusqu'au produit final.** Le cabinet Carbon 4 rappelle que l'évaluation environnementale ne doit pas porter seulement sur les gaz à effet de serre, car les impacts dépassent largement le climat.

« *Il est capital d'appréhender la mine à l'aune de ses nombreux autres impacts sur son environnement, tels que la disponibilité et qualité de l'eau, la pollution de l'air et des sols et ses conséquences sur la biodiversité* ».

Les impacts à considérer doivent porter sur toutes les limites planétaires, d'autant plus qu'ils interfèrent les uns avec les autres. Enfin, leur évaluation est à réaliser sur toute la chaîne de valeur jusqu'au produit de consommation final.

- **Identifier la listes des zones à protéger impérativement, où toute activité d'extraction est à proscrire.** La liste est à établir collectivement, entre parties prenantes.

- **Améliorer la gouvernance et la traçabilité des filières, jusqu'au consommateur final, qui est en droit d'obtenir l'information sur la composition et la provenance des biens.**

La mine responsable est-elle possible ?

- **Ce qu'en dit le BRGM - [cf. article complet](#)**

« La création d'un référentiel de mine responsable fait débat et juxtapose des interrogations scientifiques et techniques, des visions politiques et des conceptions philosophiques. Même si ce débat n'est pas simple à aborder, le secteur extractif doit se doter d'un mode de gouvernance permettant d'intégrer la mondialisation des chaînes de valeurs et leur adéquation avec les objectifs de développement durable. C'est pour cela que le GIER¹ propose la création d'une Agence internationale pour les minerais et les métaux. **L'activité extractive doit s'inscrire totalement dans un modèle économique qui vise au-delà de la rentabilité économique, une gestion plus sobre et efficace des ressources, une limitation de l'impact sur l'environnement et le bien-être sociétal** ».

- **L'IRSE, l'irresponsabilité sociale des entreprises**

Les chercheurs Deanna Kemp et John R. Owen analysent la notion d'**irresponsabilité sociétale des entreprises** (IRSE ou CSI pour Corporate Social Irresponsibility). Contrairement à la RSE basée sur la norme (ex : ce qui est à démontrer, à qui cela s'applique), l'IRSE est fondée sur la preuve et s'oppose à l'idée qu'une entreprise puisse se dire responsable tout en agissant de manière irresponsable.

Pour les deux chercheurs, **l'IRSE de l'industrie minière peut être théorisée par 5 faits** : 1°) C'est une activité intrinsèquement perturbatrice et maîtriser son potentiel de nuisance requiert des mesures proactives ; 2°) Ses sociétés opèrent dans un système de marché qui incite à l'irresponsabilité ; 3°) Ses opérations sont surtout situées dans des espaces physiques et humains propices à la pratique de l'irresponsabilité ; 4°) Elles résistent activement aux flots d'initiatives visant à limiter l'irresponsabilité ; 5°) Le pouvoir de produire des biens dont le marché ne peut pas se passer, malgré les problèmes de responsabilité inhérents à leur production, est peut-être le plus grand facteur qui permet au secteur de s'engager dans une irresponsabilité durable.

- **Ce qu'en dit SystExt - [cf. rapport d'étude](#)**

« A la lumière des très nombreux faits et données analysés, SystExt considère que l'engagement d'une entreprise minière dans une initiative volontaire n'apporte aucune garantie quant à la conduite de ses activités. C'est pourquoi SystExt recommande de s'appuyer sur le concept d'IRSE pour évaluer le niveau de « responsabilité » et de « durabilité » des filières minérales, tant à l'échelle des entreprises qu'à l'échelle des sites miniers (d'exploitation et/ou de traitement du minerai). »

2

Changer notre rapport aux ressources

- **Proscrire tout gaspillage de métal** : prioriser les usages, faciliter la mise en décharge et contraindre l'abandon.
- **Faire de la conception sobre la règle** : arrêter la surenchère de performances et la multiplication des fonctionnalités. SystExt indique quelques mesures pour une conception sobre :
 - 1) améliorer la fabrication et la manufacture (minimiser la quantité de matériaux utilisés et réduire les pertes de rendement) ;
 - 2) simplifier la composition de tous les produits (mettre en œuvre systématiquement une conception visant la simplicité, incluant la minimisation du nombre de métaux et d'alliages ainsi que l'interdiction de substances dangereuses et toxiques) ;
 - 3) concevoir des produits pouvant être réutilisés, refabriqués ou recyclés (restreindre les usages dispersifs et dissipatifs, mettre en œuvre une conception visant le désassemblage et la conception visant le recyclage »).
- **Assurer un usage durable** : garantir la fiabilité, une durée minimum d'utilisation, des pièces détachables pour réparer ou remplacer plus facilement. L'ADEME préconise de « *garder le plus longtemps possible ses équipements pour fabriquer moins d'objets neufs et diminuer la demande en métaux* ».

3

Renouveler notre modèle de développement

- **Inciter les citoyens à s'intéresser aux ressources** nécessaires à la production des biens qu'ils utilisent et à leur valeur. Les amener à réaliser la matérialité de notre modèle de développement.
- **Faire comprendre que la « croissance verte » est un mythe**, ses technologies reposant sur l'activité minière qui n'a vraiment rien de « vert ».
- **Mettre en place des plans d'approvisionnement cohérents au regard des vrais besoins**. Des quantités colossales de métal sont utilisées pour des usages qui n'ont pas de sens (ex : fonctionnalités ou utilisations ornementales superflues, produits jetables...). Carbon 4 préconise de reconsidérer notre consommation « *à l'aune de besoins repensés, visant le nécessaire et non le superflu. La sobriété est le premier pas, indispensable, pour limiter notre dépendance à ces productions. Elle invite à réévaluer ce qui a de la valeur dans nos consommations et ce dont on pourrait se passer. Elle ouvre également une voie majeure d'innovation, pour substituer autant que possible aux matériaux actuels des matériaux sobres en carbone et moins critiques.* »

D'abord réduire,
réparer et réutiliser...
puis enfin,
recycler

- **Dénomériser la société** : stopper l'hégémonie du tout numérique (la dématérialisation est très relative vu les réalités minières), offrir des alternatives aux usagers, ce qui évitera de plus, de marginaliser des publics (ex : seniors).
- **Réduire fortement la demande de métaux et s'affranchir dès aujourd'hui des besoins en métaux primaires**. La mise en place de politiques volontaristes est cruciale pour inciter à réduire, réutiliser et recycler les métaux. A ce jour, l'offre de métaux recyclés est insuffisante pour répondre à la demande croissante, surtout pour les petits métaux nécessaires aux technologies de pointe. Le gisement de déchets est énorme, mais sa valorisation complexe et difficile : les produits recèlent en effet une grande diversité de matériaux et d'alliages, qui complique ou interdit la récupération. Enfin, le recyclage est confronté à des défis économiques et techniques, notamment la perte de qualité des matériaux recyclés et les coûts élevés de traitement.

GLOSSAIRE

- **Métaux primaires** : métaux extraits directement des minerais
- **Métaux secondaires** : métaux issus du recyclage de déchets.

- **Faciliter la réutilisation et la recyclabilité** : imposer un taux minimal de recyclabilité, diminuer fortement les usages dispersifs de métaux, standardiser les conceptions pour qu'un même centre de recyclage soit en mesure de traiter un maximum de marques d'appareils différentes et comme l'indique l'ADEME, « *Réduire le rythme des évolutions technologiques et écoconcevoir les appareils pour favoriser le recyclage dès que les filières sont disponibles* ».
- **Investir massivement dans les filières de recyclage et privilégier les métaux qui en proviennent**. François Grosse, dans l'ouvrage « *Croissance soutenable ? La société au défi de l'économie circulaire* », note que **le recyclage seul ne suffira pas à répondre à la demande croissante de métaux**. Il est impératif, au préalable, de maximiser la réduction de la demande, la réparation et la réutilisation du métal (stratégies «refuser» et «réduire» de la [hiérarchie des 10R](#)). Dans son étude sur l'utilisation de 25 métaux pour les équipements numériques, l'ADEME note que « *Pour la moitié des métaux étudiés, il n'existe pas de filière de recyclage à échelle industrielle en France et dans l'Union européenne* ».

Quand la hausse de la demande n'incite pas au recyclage

La croissance de la demande ne favorise pas le recyclage, pour plusieurs raisons :

- Pression accrue sur les ressources disponibles qui incite les industries à se tourner vers l'extraction minière; le recyclage étant souvent perçu comme plus coûteux ou moins immédiatement rentable.
- Capacités de recyclage insuffisantes : manque de centres de recyclage, de technologies adéquates pour traiter certains types de déchets métalliques, collecte et tri des matériaux recyclables insuffisants.
- Complexité croissante des produits, qui contiennent souvent des alliages et métaux rares rendant le processus de recyclage plus difficile et coûteux.
- Moindre qualité (perçue ou réelle) des matériaux recyclés.
- Économies d'échelle qui favorisent souvent l'extraction de nouvelles ressources plutôt que le recyclage, car elle permet de répondre plus vite et plus facilement à la demande.

Les solutions ?

- Investir dans les infrastructures et technologies de recyclage, pour rendre le processus plus efficace et plus rentable, notamment pour les métaux complexes et les alliages.
- Instaurer des politiques et incitations en faveur du recyclage et des métaux recyclés.
- Sensibiliser et éduquer sur les avantages du recyclage, encourager les pratiques durables.

Pour aller plus loin...

Sites

BRGM

Service géologique national français. Données et cartes ([INFOTERRE](#)), risques, ressources, transition énergétique...

Portail national Géorisques

Informations géographiques sur les risques naturels et technologiques.

GEODERIS

Groupement d'Intérêt Public qui apporte son expertise à l'État, sur l'après-mine.

Minéralinfo

Portail français des ressources minérales non énergétiques.

Vidéo

Ressources, approche systémique avec Olivier Vidal (ClimatSup INSA)

Intervention d'Olivier Vidal, directeur de recherche au CNRS. Shift Project, janv. 2021

Réalités minières et limites matérielles du modèle de développement et des plans de transition : entre sobriété et changement de paradigme

Conférence d'Aurore Stéphant, ingénieure géologue (SystExt). Univ. Lausanne, sept. 2023

Une terre à vendre #2 - Quelles agricultures pour demain ?

Acheter des terres pour la transition énergétique. CIRAD, nov. 2024

Violations de droits humains en contexte de ruée minière mondiale

G. Kengne Djeutane, économiste spécialisée en droit des femmes dans les industries extractives et A. Stéphant, ingénieure géologue. SystExt et Centre International de Culture Populaire, nov. 2024

Rapports et articles

Métaux et climat : on touche le fond, mais on creuse encore

Enjeux climatiques et métaux. Carbon4 Finance, 2023

Le poids des ressources minérales dans les systèmes énergétiques

Analyse des articles d'Olivier Vidal (Univ. Grenoble) et al. Reflets de la Physique n°77 - 2024

Résilience des chaînes de valeurs des matériaux critiques en France,

Voïa, T. Policy Paper N°303 Institut Jacques Delors, octobre 2024

Les matériaux pour la transition énergétique, un sujet critique

Analyse de matériaux et métaux nécessaires au déploiement des énergies renouvelables électriques et des véhicules. ADEME, 2022

Les besoins de métaux critiques liés à la transition vers la mobilité électrique

Scénarios d'évolution des besoins de métaux critiques pour la mobilité électrique. L'impératif de la sobriété. Futuribles, 2024

Le lithium : un défi écologique majeur pour une mobilité décarbonée

Étude dans le cadre du projet *Minimal*. Association négaWatt, 2024

Impacts environnementaux du numérique et besoins en métaux

Étude de 20 équipements numériques. ADEME, 2024 - *Synthèse*

Étude du potentiel d'amélioration du recyclage des métaux en France

Analyse de recyclages (aluminium, acier, cuivre) en France en 2023 et d'ici à 2030. État des lieux et préconisations. ADEME, 2023 - *Synthèse*

Mine secondaire et recyclage

Étude sur l'efficacité des filières secondaires (réutilisation, refabrication, recyclage) et leviers pour les développer. SystExt, 2024

5 choses à savoir sur les minerais de l'énergie « propre » et leur extraction polluante

ONU Info, 2024.

Exploitation de lithium dans l'Allier : une mine responsable est-elle possible ?

The Conversation, 9 juillet 2024

Le risque minier

Panorama en France, prévention, gestion des déchets miniers, ressources biblio. Commissariat général au dév. durable

Top 10 des risques et opportunités d'affaires pour l'industrie minière en 2025

Classement annuel mondial. Cabinet conseil EY, 2024

Les pressions sur l'eau, face ignorée de la transition énergétique

Interview de Emmanuel Hache. The Conversation, 2021.

Mining resources, the inconvenient truth of the "ecological" transition

Réseau minier international pour l'achat des terres. J. Bourgoïn. CIRAD, 2024

Meilleures pratiques et mine responsable Rapport d'étude. Controverses minières, Volet 2. SystExt, 2023

Rapport : recueil de reportages « après mine » sur 14 secteurs miniers en France

SystExt, 2023

Ressources minérales, progrès technologique et croissance

O. Vidal Univ. de Grenoble Alpes, CNRS, *Temporalités*, 2018.

Podcast

Mines et métaux : une impasse au cœur de la transition

Avec J. Pigneur (Association négaWatt) et C. Izoard, journaliste. La Terre au carré, France Inter, 2024.

