



# l'accès aux métaux, du minerai au métal pur



*L'industrie minière  
des métaux,  
un secteur en  
pleine évolution  
scientifique et  
technologique*

Économie  
circulaire      Pollution  
**Stratégique**      Énergie  
Épuisable      Rare      Prospection      Économie  
Recyclage      **Minerai**  
Innovation      **Environnement**

La métallurgie est la science et la technologie des métaux. L'accès au métal couvre l'extraction des minerais, leur séparation physique ou chimique et leur purification. On dénombre 85 métaux dans le tableau de Mendeleïev dont les 17 terres rares. Les étapes du minerai au métal sont nombreuses. Après des étapes initiales de concassage, de broyage, de flottation, de lixiviation ou biolixiviation pour isoler la partie noble du minerai brut, des étapes de pyrométallurgie, d'hydrométallurgie ou d'électrométallurgie sont mises en œuvre pour conduire au métal. Les 2 métaux les plus abondants dans la croûte terrestre sont l'aluminium (8,13 %) et le fer (5,00 %). Accroissement de la demande, préservation de l'environnement, avènement de l'économie circulaire, transition énergétique, contraintes géopolitiques autant de thèmes qui nécessitent l'évolution de l'industrie minière des métaux.

## LES MÉTIERS

À l'état naturel, l'essentiel des métaux est sous forme d'oxyde, de carbonate, de sulfure, de silicate, de sulfate... Les méthodes d'accès aux métaux ne cessent d'évoluer dans une démarche de simplification, de qualité, de protection de l'environnement et d'économies d'énergie.

La chimie apporte sa contribution tout au long des étapes qui vont de la mine au métal :

- par les réactions chimiques mises en jeu dans la réduction des minerais ;
- en effectuant tout au long du processus les analyses physico-chimiques de la prospection des mines jusqu'au métal pur ;
- en innovant dans les techniques d'extraction, de traitement et de purification des métaux afin d'optimiser chaque processus chimique impliqué ;
- en agissant pour minimiser l'empreinte environnementale tout au long des étapes, en contribuant à la sécurisation des déchets ultimes qu'ils soient chimiques, minéraux ou aqueux ;
- en participant aux économies d'énergie en analysant chaque étape du processus et soumettant des solutions alternatives moins énergivores.

Opérateurs, techniciens, ingénieurs et docteurs en chimie, spécialistes de la métallurgie ont la charge d'initier et de mettre en œuvre ces différentes missions en Recherche & Développement, en Procédés ou Production. Pour les accompagner, les chimistes travaillent avec des géologues, des spécialistes de l'exploitation minière, des physiciens, des toxicologues, des spécialistes de l'environnement, des biologistes...

## QUELQUES EXEMPLES

**Le fer n° 1 des métaux.** Le fer représente 90% de tous les métaux produits bien qu'il soit le 2<sup>e</sup> métal le plus abondant de la croûte terrestre. L'extraction mondiale de minerai de fer en 2025 devrait atteindre 2,5 milliards de tonnes. Le fer est facilement oxydable et relativement mou. Il est transformé à 98 % en acier. La Chine est leader mondial avec 1 005 Mt produites en 2024 (comparées à 129,5 Mt pour l'Union européenne et 80 Mt pour les États-Unis).

**Le cuivre, un métal rare et une ressource critique.** Sa proportion dans la croûte terrestre n'est que de 0,0068 %. Ses minerais sont constitués le plus souvent de **sulfures** ou d'oxydes de cuivre. Les procédés les plus courants de transformation en cuivre métallique sont la **pyrométallurgie** et l'**hydrométallurgie**. Il est aussi partiellement présent à l'état natif.

**La flottation.** Les techniques d'enrichissement des minerais sont nombreuses ; la **flottation** en milieu aqueux en est une. Elle consiste à soumettre une suspension aqueuse de minerai finement broyé à un composant chimique organique nommé **collecteur** dont l'action est de rendre les particules de minéraux d'intérêt **hydrophobes**. L'ajout d'un **déprimant** a pour effet de rendre hydrophiles les matériaux à éliminer. En présence d'injection d'air, les particules hydrophobes s'y fixent et remontent à la surface sous forme de mousse riche en matériaux métalliques qui peuvent être séparés de façon mécanique.

**L'or rare et précieux.** Sa teneur moyenne de l'écorce terrestre est de 0,005 ppm (5 ppb). L'or est à l'état natif dans la nature allant de la poudre d'or aux pépites pouvant faire plusieurs kg, mais il est souvent associé à d'autres minéraux ou métaux tels que le quartz, l'argent, l'oxyde de fer et le cuivre, des sulfures divers... Les 3 techniques principales pour extraire l'or pur sont la cyanuration efficace mais polluante, l'amalgamation au mercure très polluante et interdite dans de nombreux pays et enfin, la gravitation. 3 300 t d'or ont été produites en 2024. La Chine devance maintenant l'Afrique du Sud. L'industrie (dont l'électronique) n'utilise que 7 % de l'or produit.

**Un intérêt croissant pour la biolixiviation. Une technique appelée à se développer.** La biolixiviation est un processus minier consistant à extraire des métaux de leur gangue à l'aide de micro-organismes (bactéries). Cette méthode alternative aux procédés de pyrométallurgie ou d'hydrométallurgie présente beaucoup d'intérêt : coût d'investissement plus faible, flexibilité, procédés applicables aux mélanges complexes ou à faible teneur en métaux et écologiquement acceptables.



### UNE SÉLECTION DE VIDÉOS

- ✓ [Comment transformer nos déchets électroniques en or et autres métaux précieux ADEME](#)
- ✓ [Pourquoi recycler ses canettes en aluminium ? Un bel exemple d'économie circulaire ! R. Blareau et F. Brénon](#)



### POUR EN SAVOIR PLUS sur le site Mediachimie.org

- ✓ [Chimie métallurgique pour résoudre les problèmes des métaux rares J.-Cl. Bernier](#)
- ✓ [La stratégie de la France dans la sécurité des approvisionnements en matières premières stratégiques Ph. Varin](#)
- ✓ [Pourquoi recycler les anciennes radiographies médicales ? L. Amann – Question du mois](#)
- ✓ [Recyclage des métaux grâce aux bactéries : la biolixiviation BRGM](#)
- ✓ [Comment la chimie métallurgique peut-elle faire face aux besoins en matières premières stratégiques ? S. Leroy – Chimie et en fiche, niveau classe de terminale](#)
- ✓ [La France, nouvel Eldorado ? J.-Cl. Bernier – Actualité Chimique 2017](#)
- ✓ [Site L'ELEMENTARIUM – données industrielles économiques, géographiques sur les principaux produits chimiques, métaux et matériaux](#)
- ✓ [Les chimistes dans la sécurisation de l'accès aux terres rares – F. Brénon, G. Roussel](#)

*Fiche rédigée par Françoise Brénon et Gérard Roussel*

