



**Demande en minéraux**

Les minéraux rares vont jouer un rôle crucial dans la transition énergétique et écologique : l'utilisation de nombreuses énergies renouvelables dépend d'eux (Fig 1). Les énergies qui ne nécessitent pas de minéraux (hydroélectricité, biomasse) sont déjà mises en place au maximum de leurs capacités. Pour les **véhicules électriques** (EV), la hausse de la demande va être particulièrement importante.

Nous allons étudier plus en détail différents minéraux, le cuivre et l'aluminium d'un côté et le lithium de l'autre, pour mieux comprendre l'augmentation drastique que l'on attend d'eux.

→ **Le cuivre** : métal assez fréquent, et utilisé dans de nombreux domaines. D'ici à 2040, sa demande dans les secteurs de l'énergie solaire et éolienne va plus que doubler. Il joue un rôle similaire à celui de l'aluminium pour les réseaux électriques (il est conducteur d'électricité) et pour les moteurs à induction. Pour le premier cas, on estime que la demande en ces deux minéraux va plus que doubler d'ici à 2040 (SDS).

→ **Le lithium** : utilisé essentiellement pour stocker de l'énergie. Or le stockage de l'énergie solaire et éolienne étant un objectif important de la transition (Fig 2), sa demande va fortement augmenter (Fig 3).

**Fig 2 - Capacité actuelle Capacité souhaitée en 2040**

**10 GW** → **100 GW**

**Incertitude**  
→ Type de batterie qui va prédominer ?  
→ Sa proportion de lithium ?

Pour les véhicules électriques (EV), la demande en lithium devrait augmenter de 42% d'ici à 2040 (SDS), atteignant les 105 kt.

Toutes ces prévisions font suite à des scénarios **moins ambitieux** que le scénario net zéro (NZE) de l'IAE (Fig 4).

**Fig 1**  
Mineral needs vary widely across clean energy technologies

	Copper	Gold	Nickel	Lithium	Fe/Cr	Platinum	Zinc	Pd	Aluminium
Solar PV	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Wind	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Hydro	●	●	●	●	●	●	●	●	●
CSP	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Biomass	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Geothermal	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Nuclear	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Electricity networks	●	●	●	●	●	●	●	●	●
EV and battery storage	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Hydrogen	●	●	●	●	●	●	●	●	●

**Fig 2**  
The relative demand growth is particularly high for battery-related minerals

**Fig 4**  
Evolution du "Static range" du Cuivre

**Enjeux liés à cette demande**

**Ressources finies** → **Réserves (=extractible)**

Dépend de la situation socio-économique et technologique.

La demande en minerais augmentant, nous minons de plus en plus de métaux précieux en faible concentration. Si on note le **"Static range"** comme étant le nombre d'années restant avant qu'un certain minerai ne soit plus extractible, alors on observe des choses intéressantes : cela peut tout à fait augmenter (voir graphique).

**Si la rareté géologique n'est pas un indicateur stable dans le temps, quels sont alors les véritables enjeux liés à la demande en minerai dans le scénario Net Zéro ?**

**Le véritable enjeu**  
La capacité à **extraire, transformer et acheminer** ces flux de manière durable et suffisante pour répondre à la demande future.

**Exemple du Lithium**  
En 2040: Demande d'environ 6 milliards de tonnes de Lithium. Capacité d'extraction/acheminement prévu: 3 milliards de tonnes

**Conséquences**

**Géopolitiques**  
Concentration géographique (42% des réserves prouvées de Lithium au Chili) → **Surcoût transport**  
Monopole chinois : 60% de l'extraction des métaux rares (+ monopole sur le raffinage)  
→ **Tensions** (manipulations des prix, gestion flux)

**Environnementales**  
**Impact sur la biodiversité**, émissions de CO2  
Baisse des réserves = / coût énergétique par tonne de minerai extrait, Pression sur l'eau  
**BUT (NZE) : Part du charbon dans l'extraction mondiale : 97% (2025) → 22% (2050)**

**Fig 2.2**  
Reductions in primary supply requirements from recycling in the APS

**Fig 2.13**  
Global available battery recycling feedstock and recycling capacity, 2023-2050

**Le recyclage des métaux critiques**

**Le recyclage, un enjeu stratégique**

- Réduction potentielle de 25% à 40% en nouvelles mines d'ici 2050, et couverture jusqu'à 30% de la demande de certains métaux en Europe et en Asie.
- Diminution forte des émissions de GES et de la consommation d'eau, relâchement de la pression sur les écosystèmes.

**Des performances variables selon les matériaux**

- L'aluminium dispose d'une filière mature, tandis que le cuivre et le nickel stagnent ou reculent malgré une demande croissante.
- Le recyclage des batteries lithium-ion connaît une expansion rapide, dominée par la Chine, mais repose encore surtout sur les rebuts industriels. Après 2035, l'arrivée massive de batteries de véhicules électriques en fin de vie modifiera cet équilibre.
- En revanche, les terres rares, les déchets électroniques et les résidus miniers restent largement sous-exploités, malgré leur fort potentiel.

**Les défis économiques, réglementaires et comportementaux**

- La rentabilité dépend fortement des prix des matériaux, favorisant des modèles comme le recyclage à péage.
- La gouvernance reste fragmentée, avec peu de cadres réglementaires complets et harmonisés. Le rapport appelle à des politiques coordonnées : normes communes, soutien financier, renforcement des infrastructures, intégration d'une économie circulaire plus large.
- L'instauration de politiques publiques strictes concernant la collecte des déchets est un des principaux moyens de combler l'écart massif entre les volumes de déchets générés et les faibles taux de collecte actuels. Plus généralement, l'adoption de comportements sobres et les choix comportementaux sont cruciaux pour diminuer les besoins en métaux.

**Source : IEA, Recycling of Critical Mineral, p.49**

**Source : IEA, Recycling of Critical Mineral, p.65**

