



# Questions- Réponses

Les matériaux  
dans la transition  
énergétique

# ÉDITO

---

## Matériaux et énergies renouvelables : démêler le vrai du faux

Les tensions géopolitiques actuelles rappellent chaque jour l'importance de réduire nos dépendances. Batteries, panneaux photovoltaïques, éoliennes... tous ces équipements sont au cœur de la transition énergétique, mais ils suscitent aussi des interrogations sur la disponibilité des ressources.

La réalité se veut rassurante. Comme le rappelle l'ADEME, dans un avis de juin 2025, « *même si les énergies renouvelables mobilisent des matières à importer pour leur fabrication, elles fonctionnent ensuite sans générer de nouvelles dépendances* ». Contrairement au pétrole ou au gaz, qui nécessitent un approvisionnement constant, un panneau solaire ou une éolienne produit de l'électricité pendant plusieurs décennies sans nouvelles importations. C'est tout l'avantage des énergies décarbonées qui renforcent notre autonomie énergétique sur le long terme.

Pour sécuriser cette transition énergétique, l'Europe agit aussi et multiplie les initiatives, comme avec le *Net Zero Industry Act* ou le *Critical Raw Materials Act*. Ces mesures visent à diversifier les approvisionnements et à relancer l'industrie européenne.

Il reste toutefois des défis importants à relever : aurons-nous assez de minerais pour réaliser la transition énergétique ? Quelles seront les externalités environnementales et sociales liées à leur extraction et à leur traitement ? Ces questions complexes sont propices aux idées reçues, et certains discours alarmistes exagèrent volontiers les contraintes pour discréditer les énergies renouvelables et maintenir un statu quo pro-fossiles.

La meilleure approche consiste à mettre les chiffres en perspective, à rappeler que des solutions existent et que l'enjeu n'est pas de remplacer une dépendance par une autre, mais de tracer une trajectoire de décarbonation souveraine.

Ce questions-réponses a pour ambition de clarifier les faits, d'expliquer les enjeux et de présenter des solutions concrètes pour réussir la transition énergétique.

Je vous en souhaite bonne lecture !

Jules Nyssen, Président du Syndicat des énergies renouvelables

# SOMMAIRE

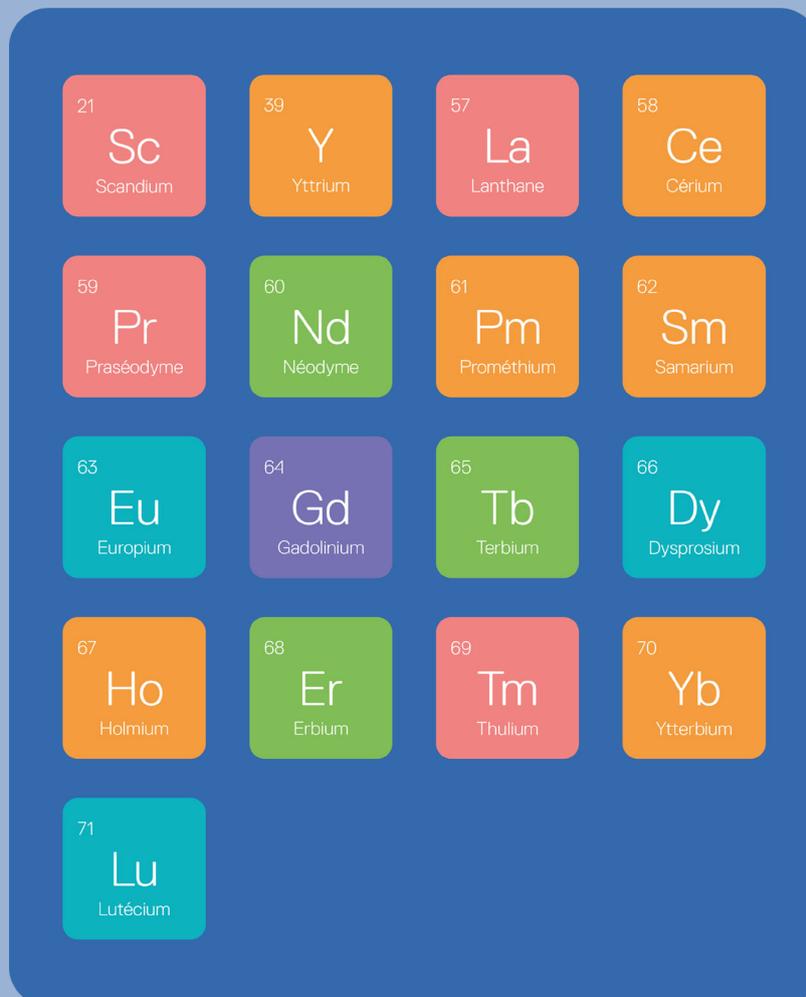
---

Métaux critiques, terres rares... de quoi parle-t-on ?	4
Quelles utilisations et quels besoins de matériaux dans les technologies renouvelables ?	6
Est-ce qu'on a suffisamment de minerais pour réaliser la transition énergétique ?	8
<i>In fine</i> , est-ce que la transition énergétique va augmenter drastiquement la consommation de matériaux ?	11
Quels sont les véritables enjeux liant les matériaux au déploiement des énergies renouvelables ?	12
Quelles sont les solutions pour réussir la transition énergétique ?	15

# Métaux critiques, terres rares... de quoi parle-t-on ?

Les **métaux rares** sont des éléments chimiques dont la « rareté » est estimée en fonction de leur abondance dans la croûte terrestre. Tandis que les métaux abondants sont ceux dont la concentration dans la croûte terrestre est supérieure à 1000 parties par million (ppm, soit 0,1 % : silicium, calcium, sodium, magnésium, potassium, fer, aluminium, titane), les **métaux rares** sont ceux dont la concentration est comprise entre 1 et 1000 ppm (plomb, cuivre, zinc, nickel, cobalt, molybdène, tungstène, etc.).

Les **terres rares** sont quant à elles constituées d'un groupe de 17 métaux présentant des propriétés électromagnétiques particulières, et donc utilisés dans les hautes technologies. Elles ne sont pas « rares » comme leur nom l'indique mais ont été qualifiées comme telles historiquement du fait de leur difficulté d'extraction.



Enfin, il convient de distinguer les **métaux stratégiques ou critiques** :

En Europe, 34 métaux sont listés comme étant critiques<sup>1</sup>. **La notion de criticité n'est pas universelle et peut varier d'un pays à l'autre.** La criticité<sup>2</sup> se rapporte en réalité à quatre niveaux de risque :

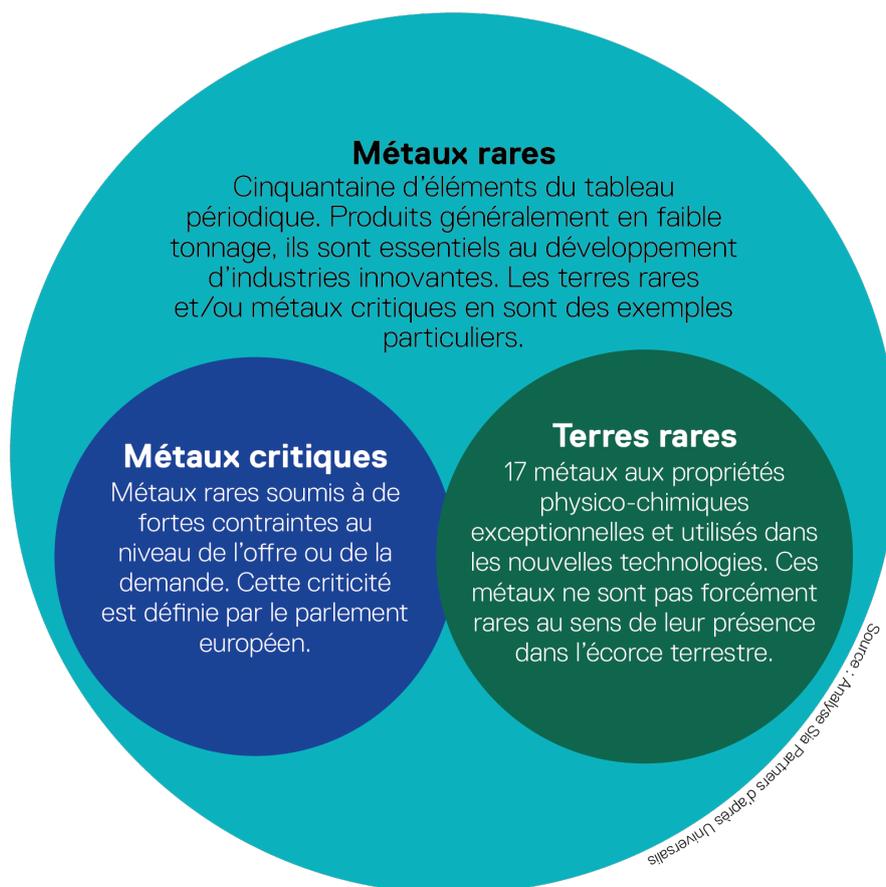
- ♦ **géologique** : la multitude des usages de matériaux critiques pose la question des pénuries ;
- ♦ **économique** : quand de nombreux marchés dépendent de peu de producteurs, cela a un impact sur les pays consommateurs ;
- ♦ **stratégique** : les réserves de matériaux, quand elles sont concentrées géographiquement, peuvent entraver les innovations engagées par certains pays dans des secteurs stratégiques ;

- ♦ **environnementale** : la chaîne de valeur des métaux peut poser des enjeux en termes de pollution, de consommation en énergie et en eau.

Parmi les métaux critiques figurent certains **métaux stratégiques** : il s'agit de métaux qui ont un fort risque d'approvisionnement, et sont indispensables aux industries stratégiques d'un pays (dont le secteur énergétique).

Au-delà des métaux, on englobe aussi des matériaux nécessaires à la transition énergétique :

- Acier : alliage métallique constitué principalement de fer et de carbone ;
- Béton : mélange de ciment, de granulats, d'eau et d'adjuvants.



1 D'après les données de 2023 dans l'Union Européenne. Le groupe des terres rares est comptabilisé pour 2 dans cette liste (le sous-groupe des terres rares « légères » et celui des terres rares « lourdes »).

2 Source IPFEN

# Quelles utilisations et quels besoins de matériaux dans les technologies renouvelables ?

Certains de ces matériaux et métaux sont utilisés notamment pour les technologies éolienne et solaire photovoltaïque. Avec l'accélération du développement des énergies renouvelables, ces besoins en matériaux et métaux vont donc augmenter.

## Éolien

**Composants principaux :** béton (75%), acier (15%), cuivre, aluminium, fonte, composites.

**Composants secondaires :** zinc, manganèse, chrome, nickel, éventuelles terres rares<sup>3</sup> (néodyme, dysprosium utilisés pour les aimants permanents).



## MATÉRIAUX CONTENUS DANS UNE ÉOLIENNE

90 % d'acier et de béton

6 % de résine et de fibres

de verre ou de carbone  
(contenues dans les pales)

3 % de cuivre et aluminium

Source : Ademe, 2023



## Solaire photovoltaïque

### COMPOSANTS PRINCIPAUX UTILISÉS

béton, acier, cuivre, aluminium, silicium, argent et verre.

Pour les filières éolienne et solaire photovoltaïque, la nature et la proportion des composants varient selon les technologies utilisées et les typologies d'installation (solaire photovoltaïque au sol ou en toiture par exemple)<sup>4</sup>.

La transition énergétique va également nécessiter le déploiement massif de nouveaux réseaux électriques, ce qui implique l'utilisation de cuivre et d'aluminium<sup>5</sup>.

Le tableau ci-dessous montre les différents niveaux de besoins en métaux pour chaque secteur de la transition énergétique. Au global, il apparaît que c'est le secteur des véhicules électriques qui a des besoins plus élevés en comparaison aux filières renouvelables, en particulier concernant le lithium et les terres rares.

<sup>3</sup> La présence de terres rares dépend du type de turbine utilisé. Actuellement, la majorité des terres rares utilisée pour la filière éolienne se concentre dans les éoliennes en mer. En 2021 seulement 3% du parc éolien terrestre français présentait des terres rares dans leur turbine.

<sup>4</sup> Source : ADEME, 2022. Prospective - Transitions 2050 - Feuilleton Matériaux de la transition énergétique <https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/5351-prospective-transitions-2050-feuilleton-matériaux-de-la-transition-energetique.html>

<sup>5</sup> L'aluminium est d'ores et déjà utilisé en remplacement du cuivre du fait de ses coûts plus abordables, malgré une moindre conductivité électrique. Source : <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf> (p. 82)

	Cuivre	Cobalt	Nickel	Lithium	Terres rares	Chrome	Zinc	Les PGM	Aluminium
Photovoltaïque	◆	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◆
Éolien	◆	◇	◇	◇	◆	◇	◆	◇	◇
Hydroélectricité	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
CSP	◇	◇	◇	◇	◇	◆	◇	◇	◆
Bioénergies	◆	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
Géothermies	◇	◇	◆	◇	◇	◆	◇	◇	◇
Nucléaire	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
Réseaux électrique	◆	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◆
Batterie et véhicule électrique	◆	◆	◆	◆	◆	◇	◇	◇	◆
Hydrogène	◇	◇	◆	◇	◇	◇	◇	◆	◇

Légende : ◆ Besoin élevé ◇ Besoin significatif ◇ Besoin modéré

**Figure 1** - Besoins critique en minéraux pour les technologies énergétique propres.

**Source** : AIE 2021, The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions - World Energy Outlook Special Report (en anglais).

# Est-ce qu'on a suffisamment de minerais pour réaliser la transition énergétique ?

## Réponse : techniquement, oui !

Cette transition va impliquer de mobiliser des métaux critiques et de multiplier leur production d'ici à 2050.

Les évolutions en termes de besoins ne sont majoritairement pas dues au développement des énergies renouvelables, mais plutôt à l'électrification des transports (batteries électriques) et au développement des réseaux.

Quels sont les principaux métaux mobilisés pour la transition ?

Au global, d'ici 2030, la demande en métaux pourrait être multipliée par un facteur 3 dans le cadre de l'électrification des usages<sup>6</sup>.

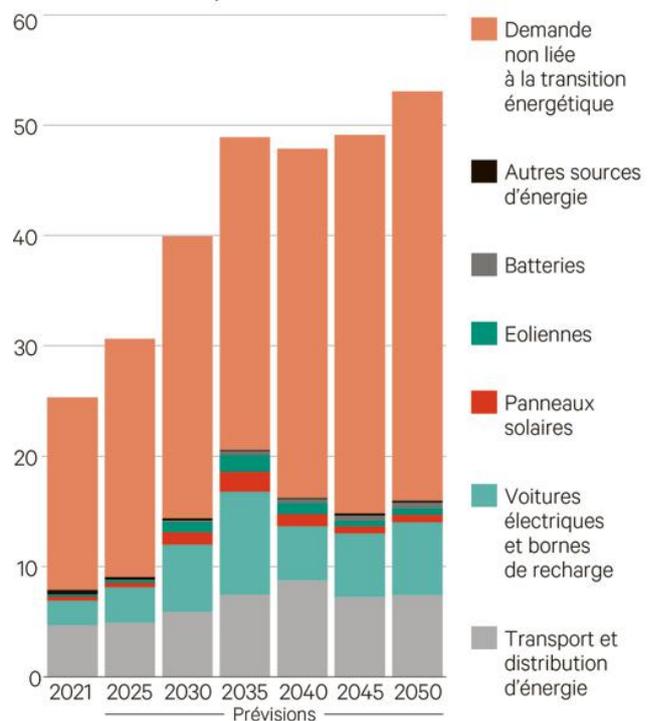
Le lithium est le métal qui va connaître la plus grande hausse de consommation, avec une multiplication par 40 d'ici 2050. En revanche, ce n'est pas le métal qui est le plus contraint géologiquement contrairement au cuivre.

Exemples d'augmentation des demandes à l'horizon 2030 :

- ♦ **Multiplication par 2 pour le cuivre**, passant de 25 millions de tonnes à 50 millions de tonnes dès 2035. Attention toutefois, cette augmentation n'est pas uniquement due à la transition énergétique, comme l'atteste le graphique ci-contre.
- ♦ **Multiplication par 40 pour le lithium.**

### Consommation mondiale de cuivre

En millions de tonnes par an



\* LES ÉCHOS \* / SOURCE : S&P GLOBAL

6 ONU, *Resourcing the energy transition. Principles to guide critical energy transition minerals towards equity and justice*, 11 septembre 2024, 35 p.

## **Le projet GENERATE<sup>7</sup> a réalisé deux scénarios prospectifs à +2°C et +4°C à 2050 sur les consommations en métaux selon les ressources existantes.**

Le scénario +2°C à 2050 est le plus contraint au niveau des ressources.

Deux sous-cas ont alors été analysés :

- **En l'absence de politique publique massive** (sans mobilité douce ou recyclage par exemple). On pourrait consommer jusqu'à 90 % des ressources disponibles connus de cuivre, 87 % pour la bauxite (Aluminium), 83 % pour le cobalt, 32 % pour le lithium et enfin 3,8 % pour les terres rares. **Le lithium n'est pas l'élément le plus contraint d'un point de vue des ressources. Les métaux les plus contraints sont le cuivre, l'aluminium et le cobalt.**

→ Ce scénario est la limite haute pour la consommation de métaux. On voit même que ce scénario haut ne génère pas de risque de pénurie d'un point de vue géologique.

→ Le **lithium** et les terres rares sont les moins impactés d'un point de vue géologique par la transition bas-carbone. La problématique pour ces matières premières est davantage économique (volatilité des prix) et géopolitique (la Chine produit plus de 70% des terres rares en 2022).

- **Avec une politique publique massive :**
  - **Un modèle soutenable dans les transports** permet de réduire de 4 à 8% les besoins en cuivre consommé au niveau mondial ;
  - **Le recyclage de 10% du cuivre** en plus permet de réduire la pression géologique.

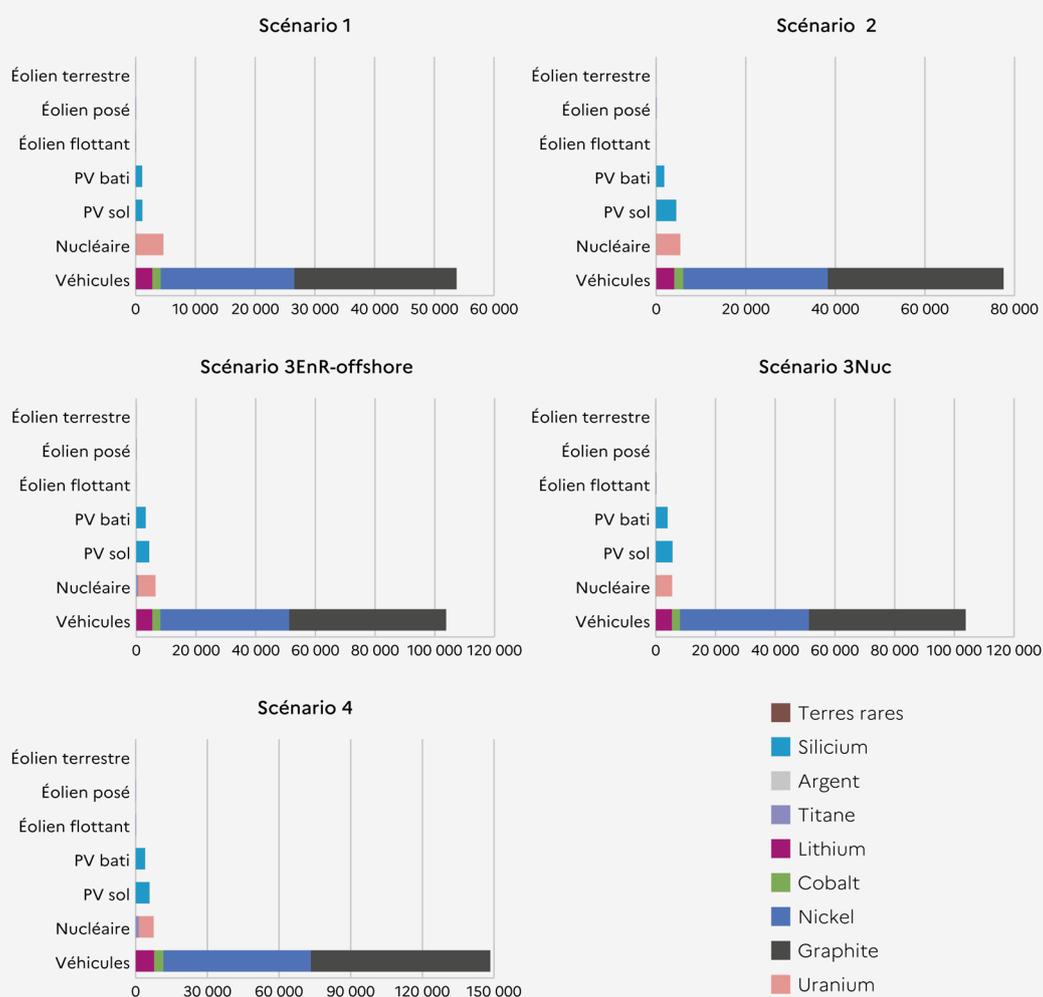
<sup>7</sup> <https://www.iris-france.org/projet-generate/>

**Que dit le Réseau de Transport d'Electricité (RTE) sur le sujet ?**  
 RTE montre dans son étude « Futurs énergétiques 2050 » des situations de tension, comme pour le cuivre, mais pas de blocage, même pour des scénarios 100 % en énergies renouvelables.

**Les véhicules utilisent plus de métaux stratégiques que les EnR.**

Dans son feuillet « Matériaux de la transition énergétique » l'Ademe prévoit que, dans l'ensemble de ses scénarios prospectifs 2050, les véhicules domineront très largement les besoins en métaux, en comparaison aux filières EnR.

**Graphique 18** Besoins matières des petits matériaux et métaux moyens annuels pour les scénarios en tonnes/an



*N.B.* : échelle des abscisses différente d'un scénario à l'autre. Pour le nucléaire, les besoins « petits matériaux et métaux » présentés sur ce graphique sont à interpréter avec précaution : ils ne sont pas directement comparables avec ceux des autres filières dans ces graphiques car les périmètres considérés pour définir les intensités matières ne sont pas les mêmes, et les intensités matières utilisées sont celles du nucléaire historique. Cf. [section 4.4.](#)

## ***In fine*, est-ce que la transition énergétique va augmenter drastiquement la consommation de matériaux ?**

### **Réponse : non !**

**Actuellement**, l'extraction de matériaux liés au charbon, au gaz ou au pétrole représente **15 milliards de tonnes consommées chaque année**. Ces productions sont d'ailleurs consommées et non-recyclables par définition, contrairement aux autres matières premières. Au total, l'AIE estime à **25 milliards de tonnes le bilan matière annuel** pour le système énergétique global. Parmi ces 25 milliards, le réseau, les énergies renouvelables et les batteries des véhicules électriques **ne représentent que 7 millions de tonnes** de matières minérales « critiques » consommés (cuivre, nickel, cobalt, lithium et terres rares).

L'AIE prévoit dans son scénario « Zéro émission nette » **une réduction de moitié de la consommation globale de matières pour le secteur énergétique à 12 milliards de tonnes/an en 2050, et ce malgré l'augmentation importante de l'extraction des matériaux dédiés à la transition énergétique.**

#### **Que dit l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) sur le sujet ?**

L'AIE a publié en 2021 un rapport intitulé « [Net Zero by 2050 : a roadmap for the global energy sector](#) » feuille de route pour atteindre la neutralité carbone en 2050.

Dans son scénario « Zéro émission nette » en 2050, l'AIE prévoit **une réduction de moitié de la consommation actuelle** de matières pour le système énergétique. **Cette baisse est due à la chute de la consommation d'énergies fossiles.**

# Quels sont les véritables enjeux liant les matériaux au déploiement des énergies renouvelables ?

« Si les ressources en matières minérales existent, les conditions économiques (le niveau des prix de métaux) et réglementaires (les délais d'obtention des permis) ne sont aujourd'hui pas réunies pour permettre une mise en production rapide des gisements miniers » (*Métaux, le nouvel or noir*, E. Hache & B. Louvet, 2023).

« Si les ressources en matières minérales existent, les conditions économiques (le niveau des prix de métaux) et réglementaires (les délais d'obtention des permis) ne sont aujourd'hui pas réunies pour permettre une mise en production rapide des gisements miniers » (*Métaux, le nouvel or noir*, E. Hache & B. Louvet, 2023).

## Un enjeu économique

- Pour que les ressources deviennent des réserves, il faut une viabilité économique et donc que la rentabilité économique des métaux s'améliore ;

### Le saviez-vous ?

Les **ressources** rassemblent l'ensemble des gisements connus susceptibles de faire l'objet d'une exploitation au moment où les conditions techniques et économiques le permettraient. Il s'agit d'un périmètre aux caractéristiques essentiellement géologiques.

Les **réserves** correspondent à la part des ressources qui peut techniquement et surtout économiquement être exploitée, au moment même où elles sont déclarées, en fonction d'un certain nombre de paramètres (volume global du gisement, teneur en métaux recherchés, profondeur, nature géologique, éléments sociaux-environnementaux et prix des matières premières considérées). Ce concept couple données géologiques et données économiques.

Source : Ademe,

- Or actuellement on constate un décalage entre l'augmentation de la demande et la capacité des acteurs à mettre sur le marché une nouvelle production. **Les investissements miniers sont moitiés moindres que ce qu'il faudrait qu'ils soient pour être sur une trajectoire 1,5°C.** Le temps de la mine n'est pas le temps de la transition (10 ans). En effet, il y a un risque de goulot d'étranglement avec une mise en production des activités minières qui varie de 4 à 17 ans.
- ♦ **D'après le FMI, en 2040 les prix du lithium, du cobalt et du nickel pourraient progresser de quelques « centaines de pourcents » et celui du cuivre de 60%.** L'augmentation des prix pourrait ralentir la dynamique de la transition énergétique.
- ♦ **Il y a un risque d'augmentation du coût de fabrication des éoliennes et des panneaux solaires. L'augmentation des coûts<sup>8</sup> en 2021 et 2022 a d'ailleurs occasionné une augmentation des coûts entre 15% à 25% pour les éoliennes et les panneaux solaires.**
- ♦ **Néanmoins, les investissements réalisés pour la transition énergétique restent moindres par rapport au coût de l'inaction face au changement climatique<sup>9</sup>.**

<sup>8</sup> On peut citer notamment les prix : du polysilicone de qualité photovoltaïque, x4 entre 2021-2022 ; du cuivre +70% ; et de l'aluminium x2. Source : Hache E., Louvet B. (2023). *Métaux, le nouvel or noir*

## **Un enjeu géopolitique**

Une poignée de pays contrôle la chaîne de valeur des métaux :

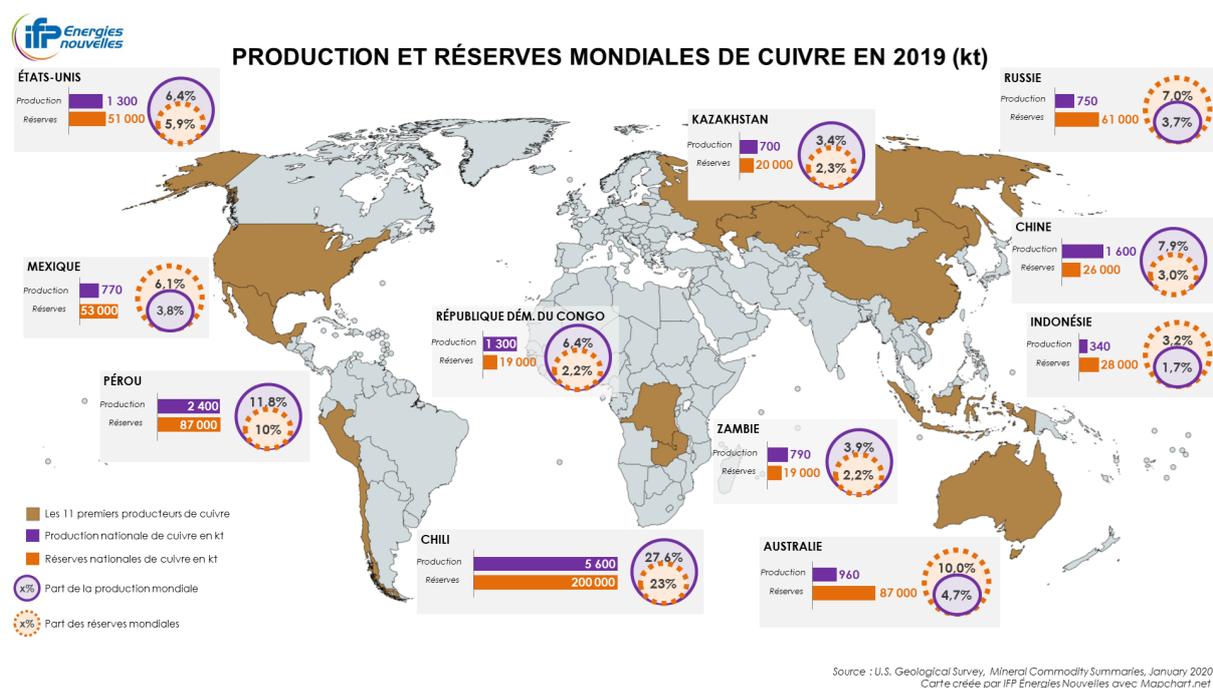
- Les principaux pays miniers, comme le Chili et l'Australie, devraient être les grands gagnants<sup>10</sup> de la transition bas-carbone. En effet, l'Australie est le premier producteur de lithium et le Chili premier producteur de cuivre ;
- Concernant la Chine :
  - La Chine produit plus de 70% des terres rares en 2022, et elle utilise ses exportations comme un levier géopolitique – exemple de la crise des terres rares de 2010-2011 ;
  - Il s'agit du principal pays dans le secteur du raffinage, tout minerai confondu. Cela témoigne de la volonté du pays de se positionner sur l'aval de la filière, et d'affirmer un leadership sur les technologies bas-carbone.
- Or, d'après le rapport Varin (2022), l'Europe dépend pour ses besoins en métaux nécessaires à la transition bas-carbone, à plus de 90% de l'extérieur et la France à près de 100%.

→ En conséquence, il y a un risque de complexification des relations internationales fondées sur des rivalités entre les pays occidentaux et émergents.

9 JACQUETIN Florian, GOUEDARD Hervé, DEVILLERS Albertine, ADEME, CALLONEC Gaël. 2023. Les risques climatiques et leurs coûts pour la France. Une évaluation macroéconomique. 68 pages. Cet ouvrage est disponible en ligne : <http://www.ademe.fr/mediatheque>

10 Les pays producteurs seraient gagnants sous réserve qu'une attention particulière soit portée au risque de la « malédiction des ressources ». Source : E. Hache, G. S. Seck, F. Guedes, and C. Barnett, 'Critical materials - new dependencies and resource curse?', in Handbook on the Geopolitics of the Energy Transition, Edward Elgar Publishing, 2023, pp. 197–216. Accessed: Jan. 31, 2024. [Online]. Available: <https://www.elgaronline.com/edcollchap/book/9781800370432/book-part-9781800370432-17.xml>)

## Des enjeux sociaux et environnementaux



Le secteur des métaux et des minéraux consomme près de **15 % de l'énergie mondiale et est la source de près de 15 % des émissions de gaz à effet de serre, dont 90 % concerne l'aluminium et l'acier.**

Les enjeux environnementaux et sociaux sont multiples : épuisement des ressources, dégradation des sols et des paysages, pollution de l'air, des sols et de l'eau, risque de catastrophes (effondrements, rupture de barrage des boues d'exploitation, glissement de terrain notamment)

Néanmoins l'empreinte environnementale et sociale dépend de plusieurs facteurs : type de mine, caractéristiques économiques des exploitants, taille de la mine et sa localisation géographique (pays développés ou émergents), existence de réglementation...

En particulier sur :

- L'enjeu de la ressource en eau : 30% à 50% de la production mondiale de cuivre, de lithium ou de cobalt est situé dans des zones de production à forte pression hydrique ;
- La question des déchets miniers : il y a une valorisation économique des autres métaux extraits, le reste des déchets est utilisé pour du remblais.

**Il convient de mettre en perspective ces déchets miniers avec ceux des énergies fossiles.** Alors que les déchets photovoltaïques pourraient atteindre entre **54 et 160 millions** de tonnes de déchets d'ici 2050<sup>11</sup>, l'industrie fossile, elle, aura produit plus de **45 000 millions** de tonnes de cendres de charbon et **249 millions** de tonnes de boues huileuses<sup>12</sup>.

<sup>11</sup> M A.Brown and al, Solid waste from the operation and decommissioning of power plants, Oak Ridge National Laboratory, 2017

<sup>12</sup> S.Weckend and al, End-of-life management, Solar Photovoltaic Panels, IRENA, 2016

# Quelles sont les solutions pour réussir la transition énergétique ?

## Le recyclage, stratégie essentielle mais insuffisante

Au niveau mondial, les taux de recyclage sont actuellement faibles et très disparates selon les matières premières.

Les métaux non ferreux comme l'aluminium, le cuivre ou le nickel ont au niveau mondial des taux d'environ 50 % de recyclage. Or pour le lithium ou les terres rares ces taux ne dépassent pas 1 %.

**Les process de recyclage restent de loin moins énergivores que l'extraction et de transformation des minerais en métaux.** Les politiques de recyclage permettent de s'affranchir en partie des questions de raréfaction de l'énergie et de l'eau et donc des hausses de prix à venir. Le recyclage permet aussi de diminuer les coûts de transport.

### **Mais des incertitudes demeurent au niveau :**

- économique : incertitudes volumétriques et temporelles pour la transition économique ;
- comportemental : incitation au recyclage à tous les niveaux (dont individuels). Un délégué interministériel a été nommé début 2023 pour répondre à ces questions ;
- technique : la complexification des technologies à recycler engendre une diminution de la teneur des métaux secondaires obtenus par le recyclage et donc une plus faible qualité pour un plus haut coût. Il faudrait donc tendre vers des low tech pour avoir un recyclage moins coûteux ;
- environnemental : certaines techniques de recyclage actuelles ne garantissent pas nécessairement un gain environnemental net<sup>13</sup>.

→ Au-delà du recyclage, il faut donc **favoriser la démarche d'éco-conception**<sup>14</sup>.

### **Quelles obligations légales pour les filières renouvelables en termes de recyclage ?**

**Eoliennes** : A partir de 2024, 95 % de la masse totale du parc devra être réutilisable ou recyclable. (Source : Arrêté du 22 juin 2020, <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000042056014>)

**Photovoltaïque** : la directive DEEE «Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques» (ou D3E) s'applique aux fabricants de panneaux photovoltaïques, qui doivent prendre en charge les obligations de collecte et de recyclage. Ces derniers doivent mettre en place soit un système individuel agréé, soit adhérer à un éco-organisme titulaire d'un agrément, comme SOREN en France.

<sup>13</sup> Source : McLellan, Benjamin C., Eiji Yamasue, Tetsuo Tezuka, Glen Corder, Artem Golev, and Damien Giurco. 2016. 'Critical Minerals and Energy—Impacts and Limitations of Moving to Unconventional Resources'. Resources 5 (2): 19. <https://doi.org/10.3390/resources5020019>

<sup>14</sup> Rapport du CGDD : Les ressources minérales critiques pour les énergies bas-carbone : chaînes de valeurs, risques et politiques publiques (2023)

## Des filières EnR françaises qui connaissent un fort taux de recyclage

**Les infrastructures énergétiques renouvelables sont majoritairement constituées de matériaux recyclables.** La question se pose pour certains composants, telles que les résines composites des pales d'éoliennes. Des travaux de R&D améliorent de plus en plus la recyclabilité des matériaux en travaillant notamment sur l'éco-conception.

**Éolien terrestre :** les matériaux d'une éolienne terrestre se recyclent, sont réutilisés ou valorisés quasiment à 100%.

**Éolien en mer :** L'éolien en mer requiert plus de terres rares. Cependant, des recherches et projets sont menés pour diminuer les quantités de dysprosium nécessaires voire le supprimer, ou pour réduire fortement ou supprimer le recours aux aimants permanents sans réduction des performances.

**Photovoltaïque :** plus de 90% du volume des matériaux utilisés par la filière solaire est également recyclé.

### Des pales d'éoliennes 100 % recyclables

Les pales, composées de matériaux composites, sont les parties de l'éolienne les plus difficiles à recycler. Néanmoins, au courant de l'année 2021 les constructeurs Vestas et Siemens Gamesa ont mis au point des techniques permettant de **recycler intégralement les pales d'éoliennes** :

- La technique de Vestas consiste en un premier temps à séparer les fibres de l'époxy, qui est un polymère. Les fibres sont alors recyclées par des filières de traitement existantes tandis que l'époxy subit un traitement chimique afin de séparer ses matériaux constitutifs. Ces derniers peuvent alors être recyclés et pourront être réutilisés pour refabriquer de l'époxy.
- Siemens Gamesa a lancé la commercialisation d'un nouveau modèle de pale, la RecyclableBlade, 100% recyclable. Cette pale est formée d'une nouvelle résine qui permet de séparer les matériaux plus facilement en préservant les propriétés de ces derniers. Les pales pourront donc être réutilisés.

Dans tous les cas, le recyclage n'est pas à moyen terme suffisant face aux besoins croissants de certains métaux.

## L'importance de la sobriété

- Un des leviers pour diminuer notre consommation en métaux consiste à changer notre rapport à la mobilité ;
- Des études montrent que la mobilité durable permettrait d'économiser un volume important de métaux.

## Favoriser la production de connaissances

Voici quelques exemples de ce qui avait été déjà fait ou lancé sur ce volet :

- Création du comité pour les métaux stratégiques (COMES)<sup>15</sup> en 2011, lieu de concertation multi-acteurs avec l'appui technique du BRGM ;
- Réalisation de rapports par le CGDD<sup>16</sup> (secteurs énergétiques) dont une synthèse : *Les ressources minérales critiques pour les énergies bas-carbone : chaînes de valeurs, risques et politiques publiques (2023)* ;
- Suite au rapport Varin (2022), un observatoire des ressources minérales a été créé : l'OFREMI<sup>17</sup>. Cet observatoire a pour objectif d'élaborer et partager une veille stratégique, économique et technique des chaînes mondiales d'approvisionnement et des besoins actuels et futurs du secteur industriel afin de produire des analyses de risques nécessaires à toute décision d'investissements ;
- Le BRGM a été missionné par l'Etat pour réaliser une actualisation de l'inventaire des ressources minérales du sous-sol français. Cet inventaire devrait permettre d'identifier les zones susceptibles d'abriter des ressources minérales d'intérêt dans le but de réduire notre dépendance vis-à-vis des importations de matières premières et secondaires.<sup>18</sup>

## Développer une diplomatie des métaux et réindustrialiser l'Europe

- Sur le plan international, trois institutions mondiales sont proactives sur le sujet (publications de rapports sur les besoins en métaux par ex.) : l'AIE, la Banque Mondiale et l'IRENA.
- Proposition d'E. Hache et B. Louvet dans Métaux, le nouvel or noir (2023) : **fonder une agence internationale sur les minerais et métaux qui ouvrirait un espace de dialogue entre les pays producteurs et les consommateurs.**
- Sur le plan européen et français, le rapport Varin (2022) propose de repenser notre approvisionnement en :
  - Redéveloppant les filières industrielles françaises et européennes ;
  - Investissant dans le secteur, via par exemple un fond public/privé de l'UE qui n'a pas encore vu le jour ;
  - Question de la taxonomie verte, où ne figure pas l'industrie minière ce qui est un problème pour les investissements.

15 <https://www.mineralinfo.fr/fr/acteurs/comite-pour-metaux-strategiques>

16 Commissariat général au développement durable

17 <https://www.ofremi.fr/fr>

18 <https://www.brgm.fr/fr/actualite/article/nouvel-inventaire-ressources-minerales-renforcer-souverainete-france>

## Est-ce possible de produire des métaux en Europe ?

Le Commissariat général au Développement durable (CGDD) affirme que **l'Europe possède un potentiel inexploité, mais tout à fait exploitable à horizon 2050.**

A titre d'exemple, le lithium est présent un peu partout dans l'Union Européenne, et le nickel est déjà produit en Finlande et en Grèce.

**Afin d'assurer notre souveraineté énergétique, le CGDD recommande de :**

- Relancer et accélérer l'exploration du sous-sol français et européen afin de mieux connaître le potentiel en ressources minérales et en métaux critiques et stratégiques.
- Encourager l'Union européenne à mettre en place un système d'homologation des labels de la mine responsable.

A noter tout de même qu'il faudra compter **massivement sur les importations de minerais et de métaux extraits à l'étranger pour les vingt prochaines années au minimum.**

### Zoom sur l'extraction de lithium par la géothermie profonde

Le lithium est une ressource essentielle pour la transition énergétique grâce à sa capacité de stockage de l'énergie électrique via l'utilisation de batteries lithium-ion, utilisées par exemple pour les véhicules électriques.

Or le lithium est fortement présent dans les eaux géothermales qui circulent en profondeur au sein des granites et des grès. De récentes études ont démontré la faisabilité de son extraction à partir des eaux géothermales. Par exemple, le projet EuGeLi (European Geothermal Lithium Brine) vise à développer à l'échelle industrielle **un procédé de co-production de lithium et d'énergie**, à partir de saumures géothermales dans le fossé rhénan.

<https://www.brgm.fr/fr/reference-projet-acheve/eugeli-extraction-lithium-partir-saumure-geothermale-europe>

## **Quel cadre réglementaire pour y parvenir ?**

En France, comme en Europe, des dispositifs sont mis en œuvre pour favoriser la sécurisation des approvisionnements et gagner en souveraineté.

Au niveau de l'Union européenne :

- 2020 : lancement de l'agence européenne des matières premières.
- 2023 : Net Zero Industry Act. Ce règlement européen a pour objectif est de produire au moins 40% des besoins de l'UE en termes de technologies « zéro net » (dont les EnR). Ce règlement tend donc à favoriser le contenu local.
- 2023 : lancement du Critical Raw Materials Act<sup>19</sup> :

L'Union européenne fixe trois objectifs à l'horizon 2030 :

- des capacités d'extraction des matières premières critiques à hauteur de 10% de la consommation annuelle de l'UE,
- de transformation à 50%,
- et de recyclage à 20 %.

Par ailleurs, l'Union européenne définit la notion de « mine durable » afin d'encadrer le développement de mine au sein de l'UE dans le respect des normes sociales et environnementales.

En France :

- Dans le cadre de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE), l'enjeu est d'intégrer la criticité des métaux ;
- Plusieurs autres dispositifs ont été mis en place depuis quelques années, dont :
  - Le Plan de ressources lancé par Brune Poirson en 2019,
  - Le Commissariat au Plan et de l'OFREMI.
- Par ailleurs la Loi Industrie verte de 2023 intègre plusieurs dispositions relative à cet enjeu :
  - Pour accélérer la transition écologique et la décarbonation de l'industrie, l'État élabore une stratégie nationale « industrie verte » pour la période 2023-2030. Cette stratégie identifie les besoins nationaux en matériaux et en produits ;
  - Favoriser le développement de l'économie circulaire.

## **Développer les formations**

L'Etat doit favoriser l'émergence des formations aux métiers indispensables de la réalisation de la transition. Cela doit passer par deux actions :

- Accentuer dans les filières ingénieries la formation sur le recyclage et les énergies bas-carbone ;
- Renforcer les offres de formation sur la chaîne de valeur des industries extractives.

<sup>19</sup> [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan/european-critical-raw-materials-act\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan/european-critical-raw-materials-act_en)



Syndicat des énergies renouvelables  
40-42 rue La Boétie - 75008 Paris  
Tel. 01 48 78 05 60 - [contact@enr.fr](mailto:contact@enr.fr)

[www.enr.fr](http://www.enr.fr)

[www.ser-evenements.com](http://www.ser-evenements.com)

Syndicat des énergies renouvelables (SER)   
[@les\\_energies\\_renouvelables](https://www.instagram.com/les_energies_renouvelables) 

### **Directeur de la publication**

Jules Nyssen, Président du SER

### **Rédaction et coordination**

Julie Fraix

### **Graphisme**

Agathe Amin

### **Photographie**

IRIS France

### **Remerciements**

Charlène Barnet, doctorante en modélisation prospective, Centre de Mathématiques Appliquées de Mines Paris - PSL

Marie Codet, doctorante en modélisation prospective, Centre de Mathématiques Appliquées de Mines Paris - PSL

Cette publication s'est inspirée de *Métaux, le nouveau or noir* de E. Hach et B. Louvet, paru en 2023 aux Éditions du Rocher.