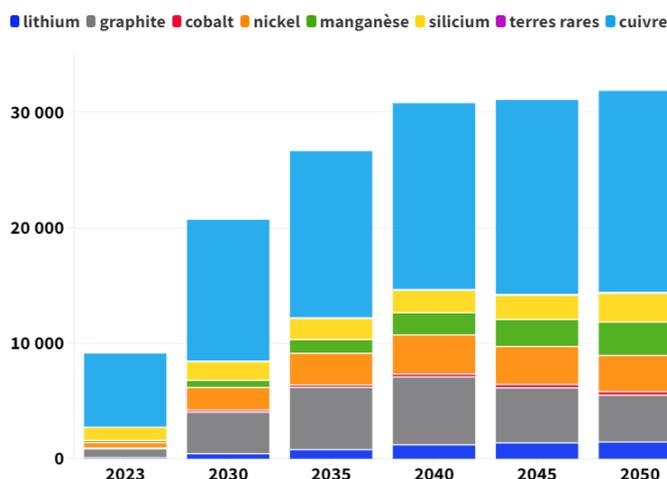


Les minerais dans la transition énergétique

Alban AUBERT, Sary ZOGHELY, Xavier LE GUENNEC

- La transition énergétique devrait s'appuyer sur des technologies faisant un usage intense de certains minerais, dits « critiques » ou « stratégiques » comme le lithium, le graphite, le cobalt, le nickel, le manganèse, le silicium, les terres rares et le cuivre.
- À court terme, l'offre mondiale en minerais stratégiques apparaît suffisante pour répondre aux nouveaux usages liés à la transition énergétique. Depuis le début de 2023, on observe une baisse des prix de certains minerais (le lithium et le nickel) dans un contexte de forte augmentation de la production chinoise et du ralentissement de la demande mondiale. La production reste néanmoins très concentrée sur le plan géographique. L'extraction des principaux minerais stratégiques est partagée entre quelques États, et la Chine domine désormais le raffinage et la transformation de la majeure partie d'entre eux.
- D'ici 2050, la demande mondiale pourrait plus que tripler pour répondre aux objectifs environnementaux internationaux et nationaux (cf. Graphique). Pour certains minerais (lithium, graphite, cobalt), cette hausse est largement supérieure au niveau de production actuel. Malgré la volonté de nombreux États producteurs de valoriser leurs minerais, des pénuries ne peuvent pas être exclues, d'autant que l'environnement actuel de prix bas pèse sur la rentabilité anticipée des projets d'investissement et de nouveaux sites de production, ce qui pourrait conduire à des reports.
- Face à ces risques et à la montée des tensions géopolitiques, de nombreux gouvernements ont mis en place des politiques publiques de sécurisation et de diversification des approvisionnements. En parallèle, le nombre de barrières commerciales pesant sur ces minerais s'est fortement accru ces dernières années, notamment en raison de stratégies de positionnement plus en aval dans les chaînes de valeur.

Prévisions d'évolution de la demande de minerais stratégiques à horizon 2050 (en milliers de tonnes)



Source : Agence internationale de l'énergie, selon un scénario correspondant aux objectifs climatiques annoncés et réalisé en mai 2024.

1. L'utilisation des minerais pour la transition énergétique

1.1 La transition énergétique repose sur une utilisation plus intensive de minerais

La mise en œuvre des politiques de transition énergétique, notamment la production de véhicules électriques et d'infrastructures pour les énergies renouvelables, s'appuie sur une utilisation intense de minerais¹.

Dans l'industrie automobile, c'est la production de batteries lithium-ion qui requiert des minerais stratégiques² permettant notamment d'optimiser leur densité en énergie et leur autonomie : le lithium est le composant principal des cathodes, parfois complété par du nickel, du manganèse et du cobalt (pour la technologie « NMC » qui est actuellement la plus utilisée), tandis que les anodes sont composées de graphite.

Dans les énergies renouvelables, les terres rares³ sont nécessaires pour la fabrication d'aimants permanents utilisés pour les éoliennes, le silicium constitue une composante essentielle pour la production d'électricité des panneaux photovoltaïques, et le cuivre est utilisé pour les infrastructures électriques des énergies renouvelables (et différentes parties des véhicules électriques) en raison de sa conductivité.

La consommation future des minerais est encore soumise à de fortes incertitudes technologiques. Les projections retenues ici pour les véhicules électriques correspondent à un scénario centré sur les batteries lithium-ion NMC. Elles ne prennent pas en compte l'effet potentiel d'innovations technologiques utilisant d'autres minerais plus abordables⁴ ou plus efficaces. Si le silicium et les terres rares sont encore difficilement substituables, l'aluminium pourrait parfois servir de substitut au cuivre pour certaines applications (câbles,

équipements électriques), même s'il présente des propriétés différentes (meilleure conductivité électrique et thermique pour le cuivre, poids plus léger pour l'aluminium).

1.2 Une part importante d'une majorité de minerais stratégiques est déjà absorbée par la transition énergétique

La production de batteries pour véhicules électriques constitue la première utilisation du lithium (87 % de la production⁵, cf. Graphique 1) et du cobalt (40 %), ayant dépassé en une quinzaine d'années les autres usages (verre et céramique pour le lithium ; superalliages pour turbines à gaz ou réacteurs nucléaires et secteur de la défense pour le cobalt). Ces minerais restent pourtant extraits en quantité faible en comparaison aux autres grands métaux (moins de 200 000 tonnes par an chacun en 2023).

Le nickel et le graphite, dont la production annuelle s'élève respectivement à 4 Mt et 2 Mt, sont utilisés dans de nombreuses applications industrielles : acier inoxydable, biens de consommation courante ou équipements spécialisés, notamment dans le domaine médical, pour le nickel ; plaquettes de frein, métaux réfractaires ou lubrifiants pour le graphite. Leur utilisation pour la production de batteries a considérablement augmenté et atteint des parts significatives de leur utilisation totale (25 % pour le graphite et 20 % pour le nickel). Le silicium et les terres rares affichent également une utilisation de plus en plus élevée pour les énergies renouvelables (entre 15 et 20 % de la production). Ils sont aussi utilisés dans les produits électroniques, dont la production devrait, elle aussi, croître à un rythme soutenu⁶.

(1) Selon les estimations de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la production d'un véhicule électrique nécessite par exemple six fois plus d'apports en minerais qu'un véhicule thermique.

(2) Le caractère critique ou stratégique d'un minerai est contingent des dépendances spécifiques à chaque acteur et de la situation géopolitique pouvant menacer leurs approvisionnements.

(3) Les terres rares recouvrent 17 éléments métalliques aux propriétés physiques proches et particulièrement utiles dans la transition énergétique et numérique. Contrairement à ce que leur nom suggère, les terres rares sont relativement répandues (même si leur production est actuellement dominée par la Chine – voir graphique 2).

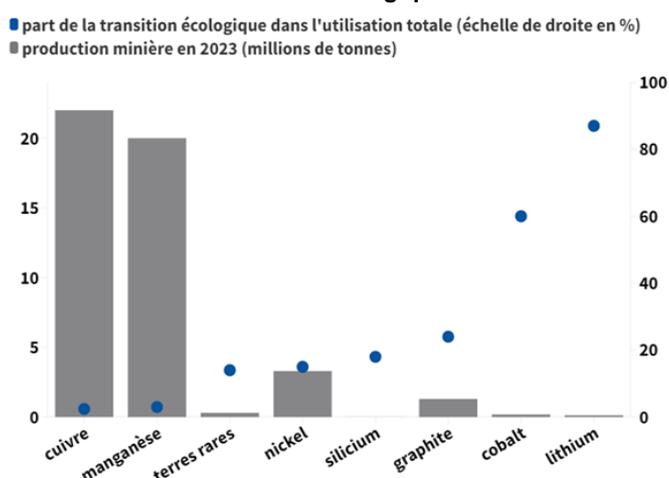
(4) Par exemple, la technologie de batterie lithium-fer-phosphate ou « LFP » qui enregistre des gains de marché significatifs, passant de 6 % en 2020 à 30 % en 2022 selon EVmarket report. Notamment privilégiée par les constructeurs chinois, cette technologie est moins coûteuse à produire que la technologie NMC qui présente quant à elle globalement de meilleures performances énergétiques.

(5) Les informations sur l'utilisation des minerais pour les besoins liés à la transition énergétique proviennent du site <https://www.mineralinfo.fr/securite-des-approvisionnements-pour-leconomie/substances-critiques-strategiques> et de Wood Mac Kenzie pour le cuivre. Les années de référence sont 2021 pour le graphite, le manganèse et le cuivre, 2022 pour le cobalt et le nickel, 2023 pour le lithium et 2018 pour le silicium.

(6) Par exemple, le marché des semi-conducteurs, dont la production nécessite aussi du silicium, devrait croître à un rythme annuel moyen de +3,4 % sur la période 2024-2028 selon Technavio.

Les besoins liés à la transition énergétique, relativement récents, ne couvrent qu'une part minoritaire de l'utilisation du cuivre et du manganèse (de 2 à 3 % de l'utilisation totale de ces minerais) qui se caractérisent par une production minière très élevée (20 Mt par an au total) répondant à des besoins industriels, larges pour le cuivre (secteur de la construction, fabrication d'équipements et réseaux électriques) ou plus spécifiques pour le manganèse (alliages d'acier).

Graphique 1 : Niveau de production mondiale en 2023 et part de la transition énergétique dans l'utilisation des minerais stratégiques



Sources : United States Geological Survey (USGS), BRGM, calculs DG Trésor.

1.3 Plus que le niveau des réserves, ce sont la concentration des fournisseurs et les délais d'investissement qui appellent à la vigilance

Les réserves naturelles identifiées de minerais stratégiques sont encore très importantes pour l'instant. Au rythme actuel de production et en l'état des réserves identifiées, elles devraient être suffisantes pour faire face à la demande, puisqu'elles représentent l'équivalent de 36 ans d'exploitation pour le nickel à plus de 150 ans pour le lithium⁷. Les ressources disponibles de ces minerais⁸ sont par ailleurs

régulièrement réévaluées à la hausse, à mesure que des travaux d'exploration permettent de préciser les conditions techniques et économiques d'exploitation des ressources naturelles⁹ (en priorité pour le lithium et le nickel). Cependant les délais nécessaires pour exploiter ces réserves, évalués par l'AIE¹⁰ à près de 16 ans pour les sites miniers, constituent un point de vigilance et les rendements des sites miniers pourraient baisser dans la mesure où la plupart des sites présentant les coûts d'exploitation les plus bas sont déjà exploités.

À l'inverse des hydrocarbures, la production minière se caractérise par une concentration géographique élevée. Pour plusieurs minerais stratégiques, elle est localisée pour l'essentiel dans un nombre restreint de pays : la République Démocratique du Congo pour le cobalt, l'Indonésie pour le nickel, l'Australie pour le lithium, et le Chili pour le cuivre. Ceci reflète la répartition géologique des réserves actuellement connues, même si la production minière de certains pays est largement inférieure à celle de leurs réserves, ce qui présente un potentiel important (cf. Graphique 2). C'est notamment le cas du Brésil pour les terres rares, de l'Australie pour le cobalt, et de l'Argentine, de la Bolivie et du Chili¹¹ pour le lithium. À l'inverse, la part de la Chine dans la production minière mondiale dépasse souvent celle de ses réserves (cf. Encadré 1).

Une fois extraits, les minerais font l'objet de nombreux traitements avant de pouvoir être utilisés à des fins industrielles. Ces transformations consistent généralement en une phase de séparation des différents minéraux contenus dans les minerais récupérés (minéralurgie), puis de transformation de cette matière première en produit fini sous forme de métaux, d'alliages ou de sels (métallurgie). La production de batteries nécessite généralement des métaux d'une grande pureté¹², dont le raffinage est à ce stade réalisé en très grande majorité en Chine (cf. Encadré 1).

(7) Selon les estimations du USGS pour l'année 2023.

(8) Par exemple, l'estimation de l'USGS pour les réserves mondiales de lithium a été réévaluée de +65 % entre 2019 et 2023 (contre +46 % pour le nickel, +135 % pour le manganèse et +15 % pour le cuivre sur cette période).

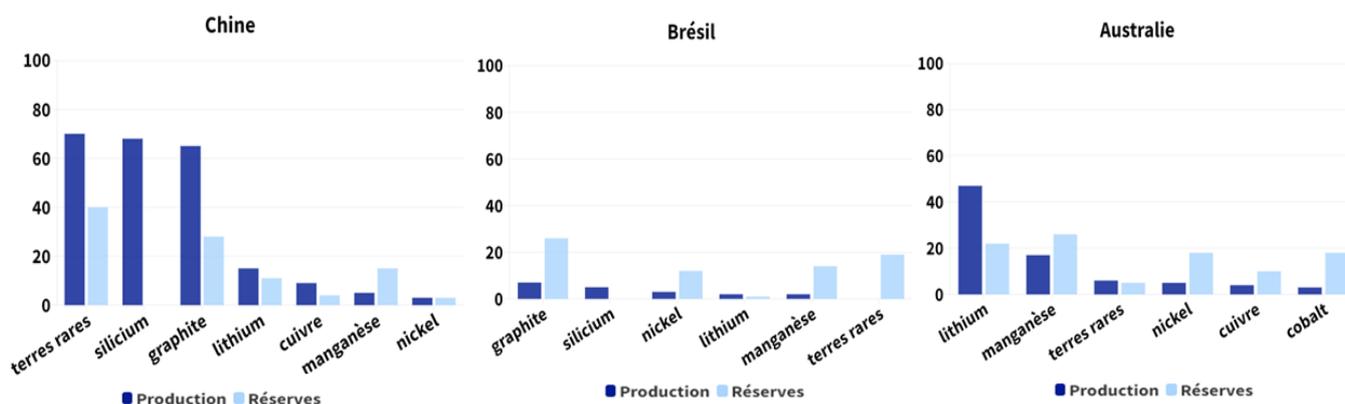
(9) Les ressources naturelles des minerais correspondent à l'estimation du volume de minerais présent sur terre. Les réserves correspondent à la partie des ressources pouvant être extraites, en tenant notamment compte de facteurs techniques et économiques.

(10) Cette estimation correspond au délai observé entre la découverte d'une mine et le lancement de la production minière, cf. *The role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, AIE, 2022.

(11) La région du « triangle du lithium » est située à la frontière des trois pays.

(12) Par exemple, le nickel raffiné est souvent catégorisé en deux classes. Le nickel de classe 1 (devant contenir une part minimale de 99,8 % de nickel) est utilisé pour les batteries lithium-ion « NMC » tandis que le nickel de classe 2 est couramment utilisé pour des alliages de métaux.

Graphique 2 : Part dans la production minière et dans les réserves mondiales de minerais stratégiques de la Chine, du Brésil et de l'Australie (en %)



Source : USGS.

Note de lecture : La décomposition géographique des réserves de silicium n'est pas évaluée par le USGS (le silicium est présent de manière particulièrement abondante et, dans la plupart des pays, suffisant pour satisfaire les besoins mondiaux pour plusieurs décennies).

Encadré 1 : La place de la Chine dans la production mondiale de minerais et métaux stratégiques^a

L'augmentation de la production chinoise de biens et technologies de la transition verte s'appuie sur une stratégie d'approvisionnement en minerais reposant sur trois principaux piliers :

1 - L'exploitation des ressources nationales

La Chine est en position dominante pour l'extraction de minerais présents majoritairement sur son territoire (terres rares, germanium, gallium...), mais aussi pour le graphite et le silicium, présents en grande quantité dans d'autres régions du monde, mais que la Chine a exploités de manière plus précoce et pour des volumes plus importants.

2 - La sécurisation de ses approvisionnements

Entre 2005 et 2021, la Chine aurait réalisé près de 125 Md\$ d'investissements directs à l'étranger dans le secteur des métaux non ferreux^b, en plus de prises de participation dans des sociétés d'extraction ou de prêts assortis de contrats de commercialisation à long terme. Ces investissements couvrent une grande diversité de minerais notamment le lithium (l'Australie étant le premier récipiendaire de ces investissements directs), le cuivre et les terres rares, alors que la Chine en est déjà le premier producteur mondial. Les entreprises minières chinoises dominent le secteur du cobalt en République Démocratique du Congo^c et du nickel extrait en Indonésie et aux Philippines.

3 - Le développement de l'activité de raffinage

La Chine occupe une place centrale pour le raffinage de la quasi-totalité des minerais stratégiques, représentant plus de 40 % de la production raffinée de cuivre, plus de 60 % pour le nickel, le lithium, le cobalt et le manganèse et plus de 90 % pour le graphite et les terres rares. Cette position dominante peut notamment s'expliquer par (i) des normes environnementales moins contraignantes^d, (ii) le recours au charbon pour le raffinage de certains minerais consommant beaucoup d'énergie (par exemple le graphite) et (iii) un positionnement géographique favorable, puisqu'une large part de la production aval d'anodes et de cathodes pour les batteries est réalisée en Asie (Chine, Japon, Corée du Sud)^e.

a. Cf. Bonnet T., Grekou C., Hache E., Mignon V. (2022), « Métaux stratégiques : la clairvoyance chinoise », *La Lettre du Cepii*, n° 428.

b. Selon l'American Enterprise Institute.

c. 80 % des exportations congolaises du secteur minier sont à destination de la Chine. Les entreprises minières chinoises possèdent 70 à 80 % du marché du cuivre et du cobalt. Renégocié en janvier 2024, un accord passé entre le gouvernement de République Démocratique du Congo et un groupement d'entreprises chinoises autorise l'exploitation de concession minières en échange du financement d'infrastructures (routes nationales), un intéressement au chiffre d'affaires et une commercialisation d'une partie du minerai extrait.

d. L'activité de raffinage est très polluante, pouvant générer de la radioactivité et utilisant des quantités importantes d'eau à traiter par la suite.

e. En 2022, la Chine, la Corée du Sud et le Japon concentrent plus de 95 % de la production d'anodes de batteries et plus de 90 % des cathodes de batteries selon l'institut Fraunhofer ("Battery starting materials – the Asian dominance in the battery components", février 2023).

2. La forte augmentation de la demande de minerais à moyen terme devrait soutenir leurs prix

2.1 Les prix des minerais stratégiques sont très volatils

Certains métaux et minerais sont cotés au jour le jour et *via* des contrats futurs de 3 mois sur des marchés ouverts et centralisés comme au *London Metal Exchange* ou au *Shanghai Futures Exchange*. C'est le cas du nickel, du manganèse, du cobalt, du lithium, du cuivre, du silicium et de certaines terres rares (néodyme, praséodyme). Pour les autres métaux, les prix s'établissent directement par des contrats à plus ou moins long terme, de gré à gré entre un producteur (ou un vendeur intermédiaire) et un utilisateur (ou un acheteur intermédiaire). Ces prix contractuels ne sont généralement pas publics.

Les évolutions du prix des minerais stratégiques reflètent l'équilibre entre l'offre et la demande. La demande dépend en particulier de l'évolution attendue de la production de véhicules électriques, d'éoliennes et de panneaux photovoltaïques, et de l'évolution de l'investissement dans les systèmes de stockage de l'énergie (piles à hydrogène, bobines supraconductrices). Du côté de l'offre, les fluctuations de la production, les ouvertures et fermetures de mines, les découvertes de nouveaux gisements et les comportements de stockage et de déstockage le long des chaînes de valeur sont les principaux facteurs de l'évolution des prix. Dans un contexte de hausse des tensions géopolitiques, la crainte de conflits ou la mise en place de sanctions à l'encontre de pays producteurs peuvent aussi entraîner des pressions à la hausse sur les prix.

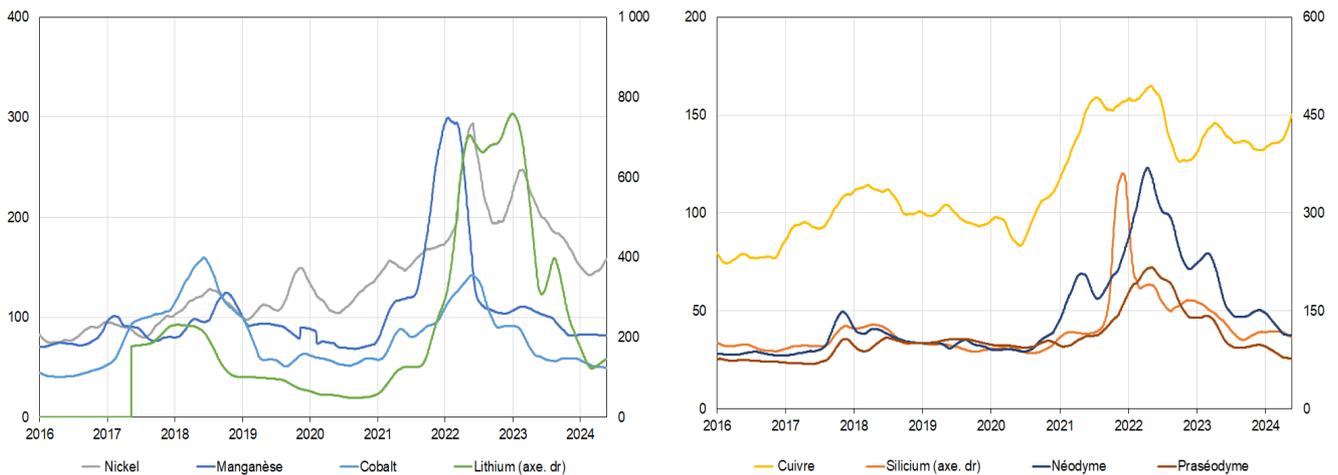
Ces dernières années, les prix des minerais ont connu trois phases distinctes (*cf.* Graphique 3). Après une relative stabilité entre 2017 et mi 2021, ils ont augmenté entre la deuxième partie de l'année 2021 et 2022 en raison d'une forte augmentation de la

demande – mondiale avec le rebond de l'activité post-covid puis chinoise avec la fin de la politique « zéro-covid » – alors que l'offre était d'abord relativement stable, puis en baisse à partir de l'invasion russe en Ukraine. Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE)¹³, entre 2017 et 2022, la demande mondiale de lithium a triplé et celles de nickel et de cobalt ont augmenté de, respectivement, 40 et 70 %. Le prix annuel moyen du cuivre a augmenté de plus de 40 % entre 2020 et 2022, celui du cobalt et du manganèse de près de 100 % et celui du néodyme, l'une des principales terres rares utilisées dans la production d'éoliennes, de près de 170 %. Depuis 2023, les prix de ces minerais ont baissé, sous l'effet d'une croissance mondiale atone et du ralentissement des ventes de véhicules électriques, avec la réduction des subventions à l'achat en Europe et d'une réorientation d'une partie de la demande intérieure chinoise vers les véhicules thermiques. Cette diminution des prix reflète aussi une forte hausse de la production de nickel en Indonésie et un déstockage tout au long des chaînes de valeur des batteries. Après deux ans de fortes hausses, causées surtout par des facteurs conjoncturels (*cf. supra*), la correction sur les marchés a entraîné des baisses importantes sur les minerais pour batteries notamment le lithium, le nickel, le cobalt et le manganèse. Pour leur part, les prix du cuivre sont restés stables en 2023.

Début 2024, des contraintes d'offre ont pesé sur les prix de certains minerais, qui se sont de nouveau inscrits en hausse. En particulier, l'application de sanctions par les États-Unis et le Royaume-Uni sur des exportations russes de cuivre, de nickel et d'aluminium ont provoqué une forte augmentation de leur prix. Entre décembre 2023 et mai 2024, le prix du cuivre a ainsi enregistré une hausse de 20 % et celui du nickel de 18 %.

(13) IEA (2023), "Critical Minerals Market Review 2023".

Graphique 3 : Évolution des prix des minerais stratégiques^a, moyenne mobile 3 mois



Source : Refinitiv.

Note de lecture : Une moyenne mobile, ou moyenne glissante, consiste à lisser une série de valeurs exprimées en fonction du temps (ici 3 mois) et permet ainsi d'éliminer les fluctuations les moins significatives.

- a. Les prix des terres rares sont illustrés par ceux du néodyme et du praséodyme qui sont les terres rares les plus utilisées pour les aimants permanents.

La forte volatilité des prix de nombreux minerais stratégiques s'explique par une production parfois limitée et des marchés relativement peu profonds, les échanges intervenant davantage dans le cadre de contrats pluriannuels que dans les marchés¹⁴. Par exemple, le prix du silicium a connu une forte volatilité fin 2021 en raison de la mise en place de mesures d'économies d'énergie dans certaines régions chinoises (premier producteur mondial) qui en ont affecté la production : le prix a ainsi été multiplié par 4 entre juillet et octobre 2021, avant de diminuer de moitié à la fin de la même année. Les prix de ces minerais peuvent parfois aussi être cycliques, des prix déprimés contribuant à une réduction de la production qui entraîne à terme un rebond des prix. S'y ajoutent des effets complexes liés aux anticipations de rendement. Par exemple, la baisse des prix des minerais en 2023 a suscité des craintes de baisses d'investissements dans les capacités de production qui pourraient peser à leur tour sur le rythme de la transition énergétique et sur la rentabilité attendue de certains sites en activité.

Il n'en demeure pas moins que, sur le long terme, les incertitudes sur la capacité de l'offre à suivre la hausse de la demande (cf. *infra*) devraient plutôt soutenir les prix.

2.2 La demande mondiale pour les minerais stratégiques devrait fortement augmenter à moyen terme

Selon des estimations de l'AIE¹⁵, l'augmentation de la demande devrait être la plus prononcée pour les minerais utilisés par la filière des véhicules électriques (cf. Graphique 4), plus particulièrement le lithium¹⁶, le nickel et le graphite, le cobalt faisant exception car il est substitué de plus en plus par du nickel, voire du manganèse. Le développement des technologies devrait cependant permettre de réduire aussi l'intensité de certains minerais, comme ceux qui sont utilisés pour les panneaux photovoltaïques, pour lesquels d'importants progrès ont été observés depuis une dizaine d'années¹⁷. Le cuivre devrait rester le minerai le plus consommé dans le cadre de la transition énergétique, même si la hausse de sa demande pourrait être contenue par les possibilités de substitution avec l'aluminium pour certaines applications. Au-delà de 2035, les incertitudes concernant le rythme de déploiement des énergies vertes, les technologies employées et l'évolution des modes de consommation pourraient se traduire par un fléchissement de la demande mondiale pour certains minerais.

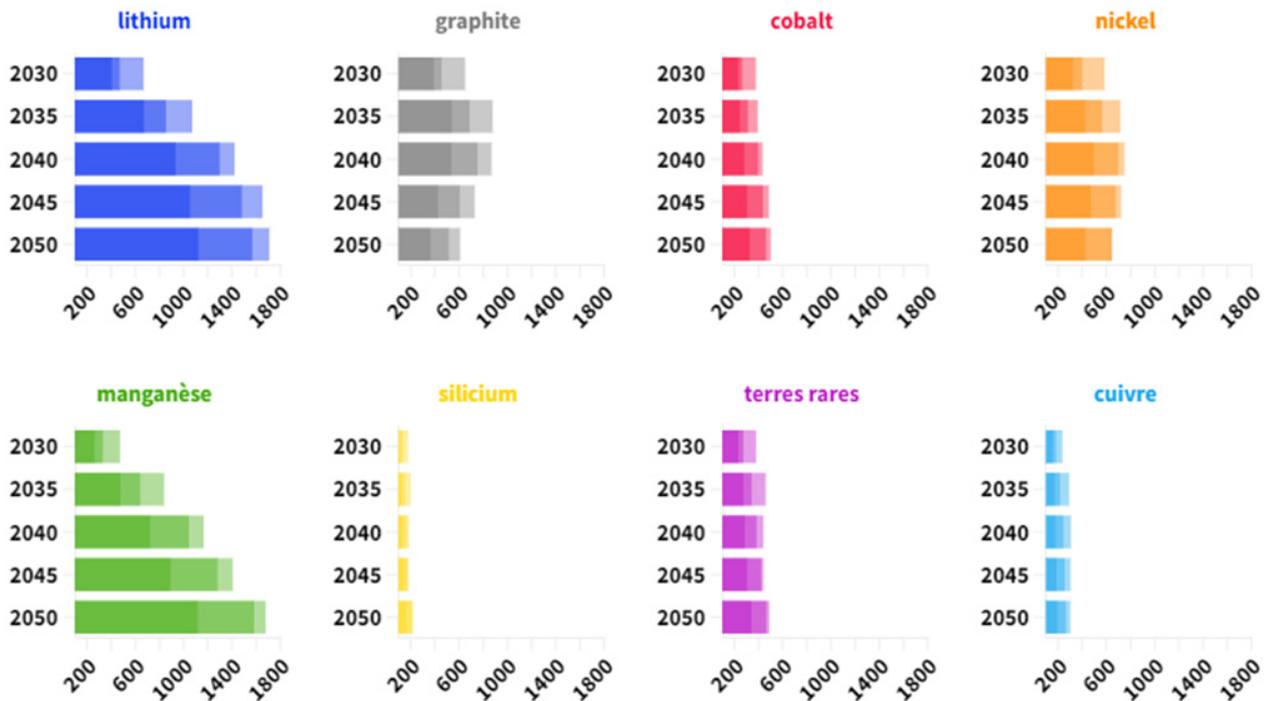
(14) Les échanges quotidiens sur les marchés de lithium et cobalt représentent moins de 1 % du niveau de production annuelle contre des niveaux de l'ordre de 10 à 30 % pour le nickel, le cuivre et le zinc.

(15) IEA (2023), *op. cit.*

(16) D'ici 2035, la demande mondiale de lithium pourrait être multipliée par un facteur entre 6 et 13 par rapport à son niveau de 2023, selon les différents scénarios de déploiement des énergies vertes de l'AIE.

(17) Par exemple, l'intensité en silicium de la production de panneaux photovoltaïques a baissé de moitié depuis une quinzaine d'années suite aux innovations technologiques (miniaturisation), contribuant à une modération de la demande pour ce métal.

Graphique 4 : Projections de l'augmentation de la demande de minerais pour les besoins liés à la transition énergétique à horizon 2050 (base 100 = 2023)



Source : Agence internationale de l'énergie.

Note de lecture : L'estimation de demande la plus à gauche (plus foncée) correspond à un scénario centré sur les politiques actuelles de déploiement des énergies vertes (Stated Policies Scenario).

L'estimation du milieu correspond aux politiques annoncées (Announced Pledges Scenarios).

L'estimation la plus à droite (la plus claire) fait apparaître le déploiement nécessaire pour atteindre un objectif d'émissions nettes mondiales nulles à l'horizon 2050 (Net Zero Emissions by 2050).

2.3 La capacité de l'offre à suivre la demande reste incertaine à moyen terme

À court terme, les risques de pénurie d'offre sont limités. La production minière s'est accélérée ces dernières années¹⁸, notamment pour le cuivre après des années de stagnation, le nickel sous l'impulsion de la production d'Indonésie, et le lithium grâce à la multiplication des projets d'extraction à partir de *salars*¹⁹ en Amérique du Sud.

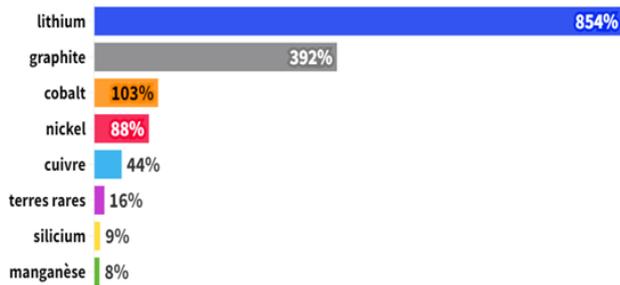
À plus long terme, les risques de pénurie portent surtout sur le lithium et le graphite, qui nécessitent les ajustements les plus importants d'offre pour répondre aux projections de demande (cf. Graphiques 5 et 6 pour un ensemble plus large de propriétés liées à la disponibilité de ces minerais). Ces risques de pénurie concernent aussi le cuivre dont la demande mondiale devrait fortement augmenter, tirée par les besoins industriels de pays émergents tels que l'Inde ou la Chine, alors que les investissements productifs ont diminué²⁰ et que certains sites de production font déjà face à une baisse de productivité.

(18) Selon l'USGS, les productions minières de l'ensemble de ces minerais critiques auraient progressé entre 2021 et 2023, en particulier le lithium (+58 %), le graphite (+35 %), le cobalt (+34 %) et le nickel (+31 %).

(19) Le lithium peut être extrait de roches (60 % de l'offre totale), mais également produit par évaporation puis traitement à partir d'eaux souterraines riches en sels de lithium, appelées *salars* en Amérique du Sud. Des méthodes de pompage-filtration, en plein développement, pourraient permettre de produire un lithium de « qualité batterie » avec moins d'effets indésirables sur l'environnement.

(20) Selon Goldman Sachs, les investissements dans les mines de cuivre en 2022 étaient inférieurs de près de -50 % à leur niveau de 2010.

Graphique 5 : Hausse prévue de la demande de minerais entre 2023 et 2040 liée à la transition énergétique rapportée au niveau total de la production en 2023

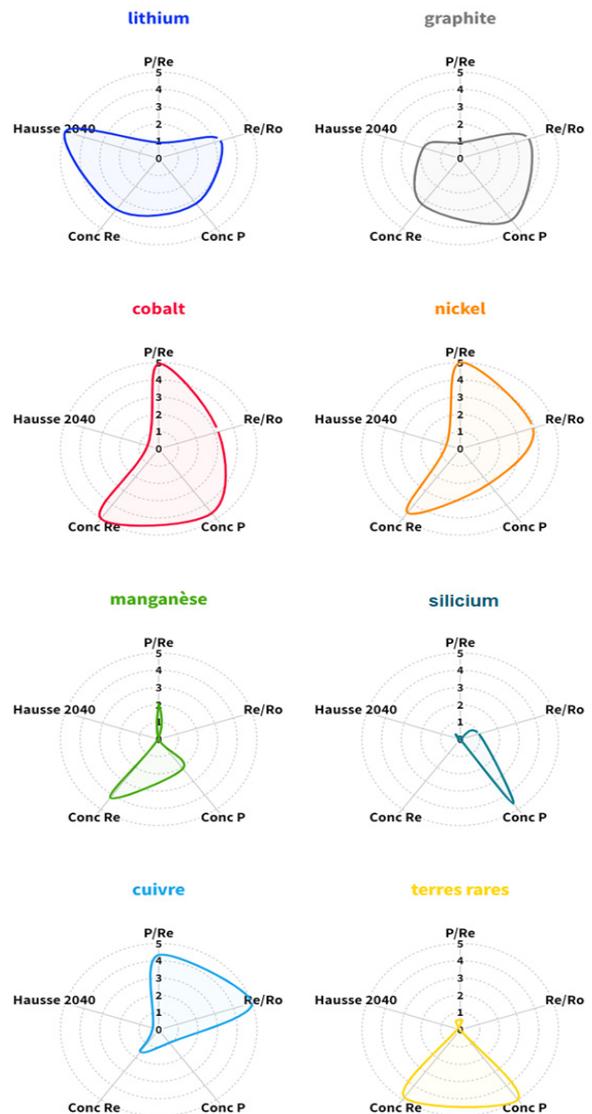


Source : Agence internationale de l'énergie (scenario intermédiaire "Announced pledges scenarios"), United States Geological Survey, Calculs DG Trésor.

L'augmentation de la production minière et des activités de raffinage comporte par ailleurs des risques environnementaux et sociaux dont la prise en compte pourrait renchérir les coûts, sachant que les progrès de l'extraction minière et du raffinage sur le plan environnemental (consommation d'énergie, émission de gaz à effet de serre et assèchement des sites miniers) restent très limités à ce stade.

Le recyclage pourrait soutenir considérablement l'offre des minerais. Le cuivre bénéficie par exemple d'une économie circulaire développée²¹, permettant des économies d'énergie significatives²². Pour les batteries, le recyclage est encore limité²³ et ne pourrait se développer qu'à partir de 2030, à mesure que les premières générations de batteries arriveront en fin de vie et sous l'effet des incitations réglementaires européennes²⁴. Le développement du recyclage suppose aussi la poursuite de progrès technologiques afin de réduire les coûts de production et améliorer la qualité des produits obtenus, car, à ce stade, le graphite recyclé ne présente pas une pureté suffisante pour être réutilisé pour des batteries, le silicium utilisé pour les cellules photovoltaïques est difficilement réutilisable pour la production d'autres cellules, et les technologies actuelles pour recycler les terres rares sont encore peu efficaces.

Graphique 6 : Disponibilité des minerais stratégiques pour la transition énergétique



Source : United States Geological Survey.

Note de lecture : Les cinq critères sont notés de 0 à 5, une valeur élevée indiquant un risque plus prononcé. Ces valeurs ont été normées par rapport au niveau le plus élevé parmi les huit minerais, avec un minimum de 0 pour les risques très faibles. L'axe P/Re correspond au ratio de la production 2023 sur le niveau des réserves en 2023, l'axe Re/Ro au ratio réserves / ressources en 2023, l'axe Conc P à la concentration géographique de la production en 2023, l'axe Conc Re à la concentration géographique des réserves en 2023 et l'axe Hausse 2040 au ratio hausse de la demande prévue entre 2023 et 2040 / niveau de production de 2023.

(21) Plus de la moitié de la production de l'Union européenne de cuivre proviendrait du recyclage de matériaux en fin de vie selon Eurostat.

(22) Le recyclage de cuivre nécessite moins de 20 % de l'énergie utilisée pour la production minière.

(23) Environ 5 % des batteries dans le monde seraient recyclées actuellement.

(24) Le règlement 2023/1542 du 12 juillet 2023 prévoit pour les batteries de véhicules électriques des niveaux minimaux obligatoires de contenus recyclés, ainsi qu'un objectif de valorisation du lithium à partir des déchets de batteries (50 % fin 2027 et 80 % fin 2031).

3. Certaines mesures de sécurisation des approvisionnements pourraient peser sur les marchés

3.1 Différentes mesures ont été prises pour sécuriser l'approvisionnement en minerais

Face à l'accroissement des risques de perturbation des chaînes d'approvisionnement liés à la concentration de l'offre mondiale, de nombreux États ont lancé des stratégies nationales visant à réduire leur dépendance à des pays ou des régions spécifiques (cf. Encadré 2 sur les stratégies française et européenne). Ces stratégies sont souvent accompagnées de programmes d'investissement pouvant porter sur : (i) la

production minière nationale ou dans des pays tiers dans le but de sécuriser des approvisionnements (« *off-take* ») ; (ii) le développement des capacités nationales de raffinage ; et (iii) le recyclage. Certaines politiques publiques incitent les industriels à améliorer la gestion des stocks et le diagnostic de leurs vulnérabilités (*stress-tests*), après que les tensions sur l'approvisionnement en 2021-2022 ont mis en évidence l'importance d'une meilleure compréhension de la chaîne de valeur mondiale des minerais.

Encadré 2 : Stratégie française et européenne de sécurisation des métaux critiques et stratégiques

À la suite des recommandations du rapport Varin sur la sécurisation de l'approvisionnement de l'industrie en matières premières minérales (janvier 2022), la stratégie française, menée par la Délégation interministérielle aux approvisionnements en minerais et métaux stratégiques (DIAMMS), comprend :

Un renforcement de la connaissance des chaînes de valeur et d'approvisionnement et de leur résilience à court terme : l'Observatoire français des ressources minérales pour les filières industrielles (OFREMI) a été mis en place fin 2022. Il associe les établissements publics disposant des compétences dans ce domaine (BRGM, CEA, IFP-EN, ADEME, CNAM et IFRI) et les filières industrielles (amont comme aval) concernées. Il assure une veille des marchés et chaînes de valeur des minerais et métaux critiques, et réalise la mise à jour des fiches de criticité, des études sur l'évolution de la demande et de l'offre, ainsi que des 'tests de résilience'.

Des outils financiers : Le plan France 2030 consacre 500 M€ à un appel à projets sur une liste de métaux prioritaires. En parallèle, un fonds d'investissement dans la chaîne de valeur de métaux critiques a été créé. La Caisse des Dépôts y a investi 500 M€, pour une taille cible de 2 Md€. En matière fiscale, le crédit d'impôt au titre des investissements dans l'industrie verte (C3IV)^a couvre les procédés liés à l'extraction, la transformation et la valorisation des matières premières critiques nécessaires à leur production. La garantie des projets stratégiques (GPS), permet de garantir des projets à l'étranger ou en France, sous condition de matérialisation d'intérêts français du côté des clients *via* la signature de contrats d'approvisionnement long terme.

Une action diplomatique : Le ministère de l'Europe et des Affaires étrangères, en lien avec la DIAMMS et la DG Trésor, mène une diplomatie dédiée, se matérialisant notamment par la signature de lettres d'intention pour promouvoir des partenariats industriels et techniques avec des pays riches en ressources ou souhaitant développer des projets sur l'aval de la chaîne de valeur (cofinancement de projets ; collaboration en matière de R&D ; échanges techniques en matière géologique et minière, promotion de standards ESG).

Au niveau de l'Union européenne, le règlement européen du 11 avril 2024 dit « CRM Act » a notamment donné lieu à :

- L'établissement d'une liste de 34 matières premières critiques, parmi lesquelles 17 matières premières stratégiques^b pour lesquelles d'importantes difficultés d'approvisionnement sont attendues.

a. Le C3IV, entré en vigueur en mars 2024 dans le cadre de la loi industrie verte du 23 octobre 2023, a pour objet de soutenir les projets dans les filières de l'éolien, des panneaux solaires, batteries électriques et pompes à chaleur.

b. Les matières premières considérées comme stratégiques par la Commission européenne sont le bismuth, le bore, le cobalt, le gallium, le germanium, les terres rares (lourdes et légères), le lithium, le magnésium, le manganèse, le graphite, les platinoïdes, le cuivre, le silicium, le titane, le tungstène et le nickel.

- La détermination de quatre objectifs non contraignants à l'horizon 2030 en termes d'approvisionnement en minerais et métaux stratégiques, à savoir une extraction intra-européenne de 10 % ; une transformation intra-européenne de 40 % ; une capacité de recyclage intra-européenne de 25 % ; et ne pas dépendre, pour chaque matière première stratégique, de plus de 65 % d'un pays tiers.
- L'introduction de plusieurs outils et innovations pour améliorer la résilience des chaînes d'approvisionnement au niveau européen, comprenant : (i) une notion de « projet stratégique » permettant de bénéficier de délais d'instruction accélérés ; (ii) des « stress tests » au sein des entreprises consommatrices de matières premières stratégiques pour identifier les éventuels points de rupture ; et (iii) la possibilité d'une certification par la Commission des mécanismes pour garantir que ces matières premières critiques sont exploitées de manière durable et responsable.

3.2 Les barrières commerciales sur les minerais stratégiques se multiplient depuis dix ans

Pour accroître leur place dans l'aval des chaînes de valeur, certains pays producteurs ont mis en place des restrictions sur les exportations de minerais bruts²⁵, conduisant à une forte augmentation des barrières commerciales appliquées sur les minerais critiques depuis une quinzaine d'années²⁶. Le risque existe que ces restrictions, en pesant sur les mécanismes qui équilibrent l'offre et la demande, se traduisent *in fine*

par un renchérissement mondial des minerais nécessaires à la transition énergétique. Face aux différents risques de pénurie et dans le contexte géopolitique actuel de concurrence avec les États-Unis sur les biens de haute technologie, la Chine a annoncé des mesures (i) de contrôle sur les exportations de gallium et germanium (électronique haute performance, panneaux photovoltaïques) en juillet 2023, puis sur le graphite de qualité batterie à partir de décembre 2023 et (ii) de limitation des exportations d'antimoine depuis août 2024.

(25) Par exemple, le gouvernement indonésien a mis en œuvre dans les années 2010 plusieurs mesures visant à interdire progressivement les exportations de minerais de nickel afin de soutenir les exportations de nickel raffiné.

(26) Selon l'OCDE, les restrictions commerciales sur les matériaux critiques pour la transition écologique auraient été multipliées par cinq entre 2009 et 2020.

Éditeur :

Ministère de l'Économie,
des Finances
et de l'Industrie
Direction générale du Trésor
139, rue de Bercy
75575 Paris CEDEX 12

**Directeur de la
Publication :**

Dorothee Rouzet

Rédacteur en chef :

Jean-Luc Schneider
(01 44 87 18 51)
tresor-eco@dgtresor.gouv.fr

Mise en page :

Maryse Dos Santos
ISSN 1777-8050
eISSN 2417-9620

Derniers numéros parus**Octobre 2024**

N° 350 Disparité des revenus agricoles

Félix Bastit, Emmanuelle Poujaud

Septembre 2024

N° 349 Perspectives mondiales à l'automne 2024 : Entre assouplissement monétaire et tensions géopolitiques

Bureaux de la DG Trésor en charge des prévisions internationales

<https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/tags/Tresor-Eco>



Direction générale du Trésor



@DGTresor

Pour s'abonner à *Trésor-Éco* : bit.ly/Trésor-Eco

Ce document a été élaboré sous la responsabilité de la direction générale du Trésor et ne reflète pas nécessairement la position du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie.