

The Transition Institute 1.5

L'ambition d'une véritable transition

NOTE D'ÉCLAIRAGE

#2 - 1er juin 2022

Le retour de la question des ressources minérales

Damien GOETZ¹

¹Centre de Géosciences, Mines Paris - PSL, Fontainebleau, France

À l'instar des hydrocarbures ou du charbon, les ressources minérales sont le fruit de processus de concentration qui se développent à l'échelle des temps géologiques, et qui sont donc à considérer comme non renouvelables à l'échelle humaine. Le changement climatique nous impose aujourd'hui une transition énergétique et écologique qui conduit à des évolutions radicales de nos questionnements. La question de la finitude des ressources minérales était en effet posée dans les travaux du club de Rome et le rapport Meadows dès 1972. Elle a ensuite été oubliée, dans un contexte de prix des ressources minérales globalement décroissants, du fait des progrès technologiques et de l'ouverture de nouveaux territoires à l'exploitation. Parallèlement, l'attention s'est concentrée sur les combustibles fossiles. Il y a vingt ans encore, nous nous demandions pour combien de temps nous aurions encore du pétrole, du gaz et du charbon. Du fait de l'importance des émissions de CO₂ issues de la combustion des énergies fossiles, nous nous demandons aujourd'hui comment limiter la part des combustibles fossiles connus que nous allons encore brûler, et comment développer des énergies alternatives, nettement moins émettrices de gaz à effets de serre.

Ces énergies alternatives (éolien, solaire, géothermie, ...) et leur mise en œuvre (stockage électrochimique, augmentation de la part de l'électrique dans le mix énergétique) nécessitent des métaux : le cuivre et l'aluminium pour la conduction d'électricité ; le silicium, l'argent pour le photovoltaïque classique et l'indium, le gallium, le sélénium, ou le cadmium et le tellure pour le photovoltaïque en couches minces ; le cuivre et éventuellement les terres rares pour les bobinages ou les aimants permanents des génératrices des éoliennes ou des moteurs de la mobilité électrique ; le lithium, le cobalt, le nickel, le manganèse pour les cathodes des batteries Li-Ion, et le graphite pour les anodes de ces mêmes batteries.

Ces nouveaux besoins ont remis sur le devant de la scène la question de la finitude des ressources minérales, et donc de la disponibilité à long terme de ces métaux essentiels à la transition. Les approches les plus simples pour déterminer un horizon d'épuisement d'une substance, consistant à raisonner sur les réserves ou les ressources connues, ont rapidement été dépassées : elles sont systématiquement mises en défaut du fait de l'aspect dynamique de ces indicateurs. O. Vidal, à l'ISTerre à Grenoble, ou encore E. Hache à l'IFPEN ont récemment développé des approches fondées sur des scénarios globaux d'évolution (croissance économique, croissance de la consommation d'énergie, taux de pénétration des différentes technologies, ...) combinés à des modèles de renouvellement des ressources. Leurs simulations permettent de préciser les horizons temporels à partir desquels la capacité de production mondiale d'une substance ne pourrait plus satisfaire la demande du fait de la raréfaction et de l'appauvrissement des gisements. Elles permettent également d'évaluer l'impact de différents paramètres sur ces horizons (taux de recyclage, taux de substitution, ...).

Les nouveaux besoins de la transition s'accompagnent aussi de questions nouvelles. D'abord, si la métallurgie du 20ème siècle s'appuyait avant tout sur les métaux ferreux et les métaux de base (cuivre, zinc, plomb, nickel, ...), la métallurgie moderne met en œuvre la quasi-totalité des éléments naturels. Or, la capacité de réaction de l'industrie minière à une évolution de la demande dépend des spécificités des marchés des différentes substances. Une demande nouvelle sera plus difficile à honorer si la quantité attendue représente une part majoritaire du marché mondial actuel (cas du lithium ou du cobalt, par opposition au cuivre ou au nickel pour lesquels les quantités attendues restent minoritaires vis-à-vis des marchés actuels). Le marché aura une réelle capacité de réaction si la substance constitue le métal principal des gisements exploités (cas du cuivre, du lithium et du nickel) par opposition aux substances

exploitées en sous-produit d'un autre métal (cas du cobalt, de l'argent, des petits métaux comme l'indium ou le gallium) ou aux substances exploitées par « famille » (cas des terres rares et des platinoïdes). Enfin, les métaux traces pourront rapidement s'avérer bloquants, dans la mesure où leurs marchés de faible volume ne peuvent évoluer significativement qu'au prix d'une très forte production de la substance principale (pour doubler la production mondiale de gallium, qui est de l'ordre de 400 t/an, il faudrait doubler celle de bauxite, qui est de l'ordre de 400 Mt/an).

Il se pose ensuite une question de vitesse de la transition. Certaines études évaluent à près de 3000% le taux de croissance nécessaire sur le marché du lithium pour basculer du parc de véhicules actuels à un parc 100% électrique ! Or, les constantes de temps des industries minières et métallurgiques sont telles que la vitesse de croissance de la production d'une substance donnée est limitée par la capacité de développement des centres de production. Les scénarios de transition devraient donc intégrer des hypothèses réalistes, à court et moyen terme (de l'ordre de 20 ans), des évolutions des capacités de production des différents types de marchés.

Enfin, avec la croissance de la population et l'élévation du niveau de vie moyen par habitant au niveau mondial, la pression sur les ressources minérales ne cesse de croître et est telle que tout doit être mis en œuvre pour éviter la perte de matière. Certes nous ne consommons pas les ressources minérales. L'industrie du cuivre ne modifie en effet pas l'atome de cuivre. Mais celui-ci passe, par exemple, d'un gisement minier à un bobinage de moteur pour un lève vitre électrique de voiture, puis, si le moteur n'est pas démonté avant le recyclage de la carcasse de la voiture, se trouve dilué dans un acier secondaire de moindre qualité, qui lui-même va peut-être finir comme armature noyée dans un béton. Notre atome de cuivre n'aura donc pas disparu, mais sera devenu très difficile d'accès. Dans des marchés en

croissance, le recyclage ne pourra jamais répondre seul à la demande. Néanmoins, tout doit être fait pour amener au plus haut niveau possible les taux de recyclage des métaux et limiter la pression sur les ressources primaires. Cela passe par la limitation des usages dispersifs et la croissance des taux de collecte. Cela passe par l'organisation des chaînes de recyclage et des développements technologiques pour améliorer la qualité des séparations entre différents types de produits. Cela passe par le développement de procédés métallurgiques plus performants pour retraiter des composants qui allient de nombreux métaux, parfois en quantités très faibles. Cela passe par l'intégration des aspects de recyclabilité dès le stade de la conception des objets. Cela passe enfin par la recherche permanente de l'efficacité matière et du meilleur usage des propriétés des métaux.

Bibliographie et ressources :

Commission européenne, Direction générale du marché intérieur, de l'industrie, de l'entrepreneuriat et des PME, "Raw materials scoreboard 2018 : European innovation partnership on raw materials", Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2873/08258>, 2018

Graedel, T. & Al, "Criticality of metals and metalloids", Proceedings of the National Academy of Sciences, 2015

Hache, E., Seck, G.S., Carcanague, S., Barnet., "Vers une nouvelle géopolitique des matériaux de la transition énergétique" in L'économie des ressources minérales : le défi de la soutenabilité, Tome 2, 2021

Hache, E., Seck, G., Simoen, M., Bonnet, C., Carcanague, S., "Critical raw materials and transportation sector electrification: A detailed bottom-up analysis in world transport", Applied Energy, 2019

MineralInfo, Le portail français des ressources minérales non énergétiques, <https://mineralinfo.fr/fr>

Seck, G.S., Hache, E., Simoën, M., Bonnet, C., Carcanague S., "Copper at the crossroads: Assessment of the interactions between low-carbon energy transition and supply limitations", Resources, Conservation & Recycling, 2020

Travaux d'élèves de 1ère année de Mines Paris PSL dans le cadre du MIG "Les ressources minérales et la transition énergétique", 2019

Travaux d'élèves de 3ère année de Mines Paris (option Sol et Sous-Sol) et de l'EMINES (option Mining), 2020 & 2021

Vidal, O., "L'avenir des matières premières", Etudes, 2021

Vidal, O., "Impact de différents scénarios énergétiques sur les matières premières et leur disponibilité future", Annales des Mines-Responsabilité et environnement, 2020

Vidal, O., Rostom, FZ., François, C., Giraud, G., "Prey-predator long-term modeling of copper reserves, production, recycling, price, and cost of production", Environmental science & technology, 2019

Vidal, O., Rostom, FZ., François, C., Giraud, G., "Global trends in metal consumption and supply, the raw material-energy nexus", Elements, 2017



PSL 



NOTE D'ÉCLAIRAGE #2

CONTACT

 the-transition-institute.minesparis.psl.eu

 tti.5@minesparis.psl.eu