

The Transition Institute 1.5

L'ambition d'une véritable transition

NOTE D'ÉCLAIRAGE

#9 - novembre 2023

Les métaux vont-ils freiner la transition vers la voiture électrique ?

par MAUD ROUX-SALEMBIEN

D'après le rapport rédigé en 2019 par BOUTON C., CARENSO M., COSTA E., FOLIARD T., DE FROIDEFOND M., GUITET Q., ESCRIBE F., MAILHIOL L., ROSSI S., ROUX-SALEMBIEN M., SAUNIER P.-F., SINOPOLI B., SRECKI C., TRIN L., élèves du Cycle Ingénieur Civil à Mines Paris - PSL, dans le cadre du MIG Ressources minérales pour la transition énergétique encadré par Damien GOETZ, enseignant chercheur au centre GEOSCIENCES de Mines Paris - PSL.

La voiture électrique est-elle vraiment écologique ? Régulièrement débattue dans les médias, cette question est abordée sous différents angles. Certains avancent que la voiture électrique émet environ deux fois plus de CO₂ que les véhicules classiques, ce qui n'est vrai que sur la phase de fabrication du produit. C'est à l'usage que l'intérêt de l'électrique apparaît, comme en attestent de nombreuses études^{1,2}. D'autres se penchent sur les métaux nécessaires à la fabrication des batteries, comme le cobalt et le lithium, et questionnent la pertinence écologique d'une technologie reposant sur ces métaux critiques, ainsi que sur des terres rares³. Il est vrai que l'extraction de métaux pose de nombreux problèmes. Les exploitations minières ont un fort impact environnemental, surtout dans des pays peu réglementés comme la Chine. De plus, leur inégale répartition à la surface du globe est susceptible de générer des tensions géopolitiques. Nous nous attarderons ici sur les limites géologiques du développement des voitures électriques. Allons-nous manquer de métaux pour remplacer les voitures thermiques ? Le recyclage est-il une solution pour subvenir à nos besoins ? Afin de répondre à ces questions, il est utile de définir des notions fondamentales sur le cycle de vie des métaux.

Extraire des métaux n'est pas aussi simple qu'extraire des hydrocarbures. Pour extraire du charbon, il faut ouvrir une mine de charbon. Pour extraire du cuivre, il faut ouvrir une mine de cuivre. Mais pour extraire du cobalt, il faut ouvrir... une mine de cuivre ou de nickel ! Les métaux diffèrent en effet par leurs propriétés géologiques - ils peuvent être plus ou moins abondants, se trouver seuls ou toujours associés à d'autres métaux - et par leurs caractéristiques économiques. C'est pourquoi il est intéressant de distinguer les métaux majeurs, les métaux mineurs et les sous-produits. Un matériau est qualifié de « majeur » si sa production annuelle mondiale se compte en millions ou en milliards de tonnes. Par exemple, le cuivre est un métal majeur, dont les usages sont très diversifiés, et dont l'approvisionnement en France ne présente pas d'instabilité majeure. Au contraire, le lithium est un métal mineur, de plus en plus utilisé pour les batteries, est aujourd'hui de l'ordre d'une centaine de milliers de tonnes. Le cobalt est un sous-produit, c'est-à-dire

1. Stéphane Amant and Nicolas Meunier, 'Comparaison des émissions en cycle de vie, France et Europe', Carbone 4, 2020.

2. 'Electric Vehicles from Life Cycle and Circular Economy Perspectives - TERM 2018 — European Environment Agency' <<https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-from-life-cycle>> [accessed 5 March 2023].

3. A Contresens - Le Film - TRAILER Officiel, dir. by Marc Muller, 2020 <<https://www.youtube.com/watch?v=B2ZRB3aSIB4>> [accessed 5 March 2023].

qu'il n'est généralement pas exploité pour lui-même⁴, car il est toujours associé à du cuivre ou du nickel, deux métaux majeurs. La majorité du revenu des mines qui extraient le cobalt provient donc d'autres métaux⁵. Enfin, les terres rares, souvent présentées dans les médias comme le talon d'Achille des voitures électriques⁶, sont une famille de métaux qui ne s'illustrent pas par leur rareté géologique⁷, mais par leur interdépendance. L'extraction d'une terre rare implique nécessairement l'extraction d'un certain nombre d'autres terres rares, car elles sont associées dans les gisements. Cette particularité pourrait induire des perturbations de leurs marchés, si la demande d'une terre rare spécifique augmentait rapidement, indépendamment des autres⁸.

Le lithium est considéré en France comme un métal critique. Risquons-nous de manquer de métal pour remplacer les voitures thermiques par des voitures électriques ? Quantifier les métaux disponibles pour la transition est subtil. L'industrie des ressources minérales distingue les réserves et les ressources. Les ressources désignent l'ensemble des tonnages identifiés par des travaux de prospection ou par des modèles géologiques. La fraction de ces ressources dont l'exploitabilité technique et économique est prouvée constitue les réserves. Par définition, leur taille peut varier avec de nouvelles découvertes, mais aussi de nouvelles techniques d'exploitation ou un changement du marché. Les ressources sont également susceptibles d'évoluer, en particulier quand l'intérêt pour un métal s'accroît, ou que de nouveaux gisements sont envisagés – par exemple les gisements sous-marins. Ainsi, cela fait cinq ans que dans ses publications annuelles, l'USGS, organisme de référence, indique que les ressources mondiales de lithium ont « substantiellement augmenté », passant de 53 millions de tonnes en 2017 à 89 millions de tonnes en 2022. Au rythme de consommation de lithium de l'année 2022, il nous resterait environ 700 ans d'exploitation des ressources mondiales. Cependant, cela fait aussi 5 ans que la consommation de lithium augmente de 10

4. Sauf dans la mine de Bou-Azzer au Maroc, exploitée par le groupe Managem, qui fait figure d'exception.

5. Ce rapport s'est inversé dans certaines mines en 2019, lorsque le prix du cobalt a atteint un pic.

6. Pourtant, on sait s'en passer aussi bien dans les batteries que dans les moteurs électriques, et elles sont présentes dans les pots catalytiques des voitures thermiques.

7. Les terres rares ne sont pas rares, par exemple de Lutécium est sept fois plus abondant que l'argent.

8 Par exemple, dans le cas d'une forte augmentation de la demande en aimants permanents de forte capacité, qui nécessitent avant tout du Néodyme.

à 20 % tous les ans, excepté en 2020, l'année du Covid. Le moyen-terme semble donc plus critique que le long-terme : pourrions-nous soutenir une croissance de 15% par an pendant 20 ans, comme le prévoient certains scénarios de transition ? Le recyclage nous permettra-t-il de supporter une telle croissance ?

Il existe deux sources d'approvisionnement en métal en dehors des mines : le old scrap et le new scrap. Le new scrap désigne les chutes directement réintroduites dans le procédé de fabrication. Le old scrap désigne le recyclage au sens classique du terme, c'est-à-dire la réutilisation d'un métal extrait d'un produit en fin de vie. Entre le moment où un système arrive en fin de vie et celui où un métal est disponible pour être réutilisé en old scrap, trois types de pertes peuvent survenir. D'une part, certains usages sont dispersifs. Par exemple, les oxydes de métaux utilisés dans les colorants ne peuvent pas être récupérés. D'autre part, le système peut passer entre les mailles du processus de collecte. Dans le cas des batteries de voitures électriques, la collecte en France est assez robuste, puisqu'elle est organisée par les constructeurs eux-mêmes. Enfin, un procédé de recyclage n'a jamais une efficacité de 100 %. Lorsque plusieurs matériaux différents sont mélangés, des procédés physiques et chimiques sont nécessaires pour séparer les composants, aboutissant à des pertes. Le métal obtenu n'est pas toujours pur, ce qui limite ses réutilisations. Ainsi, le cobalt recyclé peut être réemployé dans des batteries, mais ce n'est pas le cas aujourd'hui du lithium extrait par hydrométallurgie, car sa pureté de 99 % est insuffisante. Cependant, les progrès technologiques en cours pourraient changer la donne.

Toutes ces limites montrent qu'un taux de recyclage est nécessairement strictement inférieur à 100 %. Pire, dans un scénario de croissance permanente, quel que soit le taux de croissance, le recyclage ne peut satisfaire la consommation. En effet, la quantité de métal issue du recyclage à l'année n est égale au taux de recyclage de l'année n multiplié par la consommation de l'année $n-d$, d étant la durée de vie d'un système avant d'être recyclé. Le premier terme est inférieur à 1, mais le second est bien inférieur à la consommation de l'année n dans un scénario de croissance... d'autant plus si la durée de vie des systèmes est grande. Ainsi, tant que la demande augmentera, il sera nécessaire d'extraire du métal des mines, même avec un processus de recyclage très perfectionné. Pire, dans un scénario de croissance, plus les produits durent longtemps, moins le recyclage est apte à

répondre à la demande à court terme. Par exemple, supposons que la demande en cuivre augmente de 10 % tous les ans, et que le taux de recyclage du cuivre soit de 95 %. Si les produits avaient une durée de vie avant d'être recyclés de 5 ans en moyenne, alors le recyclage du cuivre permettrait de couvrir 60 % des besoins dans 5 ans. En revanche, si les produits avaient une durée de vie de 10 ans, le recyclage ne permettrait de répondre qu'à 35 % des besoins dans 10 ans !

Les ressources géologiques ne constituent pas un frein à horizon 2100 pour le développement des voitures électriques, bien qu'il soit très délicat de donner des estimations précises. En revanche, l'augmentation rapide des besoins à court terme pose question. En Europe, il faut plus de dix ans pour ouvrir une mine. Sera-t-il possible de satisfaire la demande croissante tout en minimisant les impacts humains et environnementaux des exploitations ? Améliorer la durée de vie des produits et le taux de recyclage sont deux objectifs louables, mais largement insuffisants pour répondre à ce problème. Ces difficultés ne signifient pas qu'il faut renoncer à remplacer les voitures thermiques, mais que tout bon scénario de transition doit questionner les usages, au-delà de la technologie. Car dans une société durable, la consommation en métaux ne peut pas croître perpétuellement.



CONTACT

 the-transition-institute.minesparis.psl.eu

 tti.5@minesparis.psl.eu