

Électrification des transports : les batteries lithium-ion au cœur d'enjeux géopolitiques majeurs

Romain Capliez*, Carl Grekou**,
Emmanuel Hache***, Valérie Mignon****

@ 37488

Mots-clés : véhicules électriques, autonomie stratégique, batteries lithium-ion, Europe, métaux critiques, minerais

Le secteur des transports, responsable de 21 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre, est central dans la lutte contre le réchauffement climatique. L'électrification des véhicules, clé de la décarbonation, dépend de batteries lithium-ion, intensives en métaux stratégiques. Or, la Chine domine leur chaîne de valeur, de l'extraction au raffinage, ce qui exacerbe la dépendance européenne. Face à ces enjeux, l'Union européenne multiplie les initiatives pour développer sur son sol la production et le recyclage de batteries, ou pour initier de nouveaux partenariats afin de sécuriser les approvisionnements. Malgré ces efforts, des défis technologiques, économiques et environnementaux persistent, nécessitant investissements massifs et coordination.

Avec près de 21 % des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial, le secteur des transports joue, parallèlement à celui de la production d'énergie, un rôle-clé dans la lutte contre le changement climatique. Décarboner la mobilité, notamment par l'électrification des transports, constitue un levier majeur des stratégies des États. Proposer des solutions de mobilité électrifiée au grand public à des prix acceptables représente dès lors un objectif ambitieux pour de nombreux gouvernements. Ces stratégies font cependant face à diverses problématiques tout au long de la chaîne de production des véhicules électriques, en particulier dans le segment de la fabrication

des batteries. De l'extraction des minerais à leur transformation puis leur intégration dans des batteries et, *in fine*, à la production de véhicules électriques, l'ensemble de la chaîne de valeur est l'objet d'une forte compétition entre États — Chine, Europe et États-Unis — et recouvre de nombreux enjeux industriels — résilience des chaînes de valeur —, géopolitiques — souveraineté des États dans leur politique de sécurisation des approvisionnements — et environnementaux — création d'une économie circulaire dans ce secteur en minimisant les impacts.

Outre les investissements massifs à réaliser pour l'électrification des transports et les infrastructures de recharge, la fabrication de batteries nécessite de très importantes quantités de minerais et métaux, dont beaucoup sont considérés comme critiques, voire stratégiques¹. Les batteries

* Université Paris Nanterre.

** Centre d'études prospectives et d'informations internationales (CEPII) et EconomiX-CNRS, Université Paris Nanterre.

*** IFP Énergies nouvelles et EconomiX-CNRS, Université Paris-Nanterre.

**** EconomiX-CNRS, Université Paris Nanterre et CEPII.

lithium-ion (ou Li-ion) — technologie la plus couramment utilisée dans les voitures électriques — sont ainsi très intensives en minerais (notamment en lithium, cobalt, nickel, graphite et manganèse) comparativement aux batteries plomb-acide des véhicules thermiques². Dans son scénario de développement durable (*Sustainable Development Scenario*, SDS) — qui indique ce qui est requis pour obtenir une trajectoire compatible avec l'accord de Paris —, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) souligne que les besoins en minerais pour les technologies bas carbone devraient quadrupler d'ici 2040 [AIE, 2021]. En dépit d'un marché européen de la mobilité électrique volatil et affichant depuis le début de l'année 2024 des ventes en retrait par rapport à 2023, une partie considérable de ces besoins tient à la demande mondiale de minerais nécessaires aux véhicules électriques et aux batteries pour laquelle l'AIE prévoit une multiplication par trente d'ici à 2040³. Dans son dernier rapport paru en mai 2024 [AIE, 2024], l'AIE conserve en outre des trajectoires très dynamiques pour la majeure partie des marchés : une multiplication en volume par près de 9 du marché du lithium, par 4 de celui du graphite et par 2 du marché du nickel (Tableau 1).

Le véhicule électrique est devenu ces dernières années une technologie symbole de la compétition des États dans la transition écologique. De l'*Inflation Reduction Act* (IRA) voté en 2022 aux États-Unis au *Net Zero Industry Act* (2024)

européen, les politiques industrielles des pays développés ont toutes un volet relatif à la question du véhicule électrique dans leur dimension productive ou commerciale. Ces stratégies affirmées cherchent notamment à contrer l'influence de la Chine sur ce segment ; Pékin ayant, grâce à une politique volontariste depuis plus de deux décennies, construit et consolidé des avantages comparatifs sur l'ensemble de la chaîne de valeur.

1. La domination « naturelle » de la Chine sur l'amont de la chaîne de valeur

Du fait de leurs performances élevées, mais aussi de leurs tailles et poids réduits par rapport aux autres technologies comparables, les batteries lithium-ion se sont hissées au premier rang des technologies prometteuses pour la transition énergétique, en particulier pour la mobilité électrique. S'il existe une multitude de technologies — différentes « chimies » — se démarquant par leurs performances et compositions en métaux, le cobalt, le graphite, le lithium, le manganèse et le nickel sont les principaux matériaux utilisés dans la fabrication d'une batterie Li-ion [Capliez et al., 2024b].

L'extraction des matières premières — première étape de la chaîne de valeur (Figure 1) — nécessaires à la production de batteries lithium-ion reste à ce jour encore concentrée dans un nombre relativement restreint de pays.

	Facteur multiplicatif de la production 2023-2040 (en volume)	Part dans les technologies bas carbone en 2023	Part dans les technologies bas carbone en 2040
Cuivre	1,5	24 %	50 %
Lithium	8,7	56 %	91 %
Nickel	2,1	15 %	56 %
Cobalt	2,2	30 %	59 %
Graphite	3,9	28 %	63 %
Terres rares	1,9	18 %	41 %

Tableau 1. Dynamique des marchés de métaux à l'horizon 2040

Source : Agence internationale de l'énergie, 2024

Électrification des transports : les batteries lithium-ion au cœur d'enjeux géopolitiques majeurs

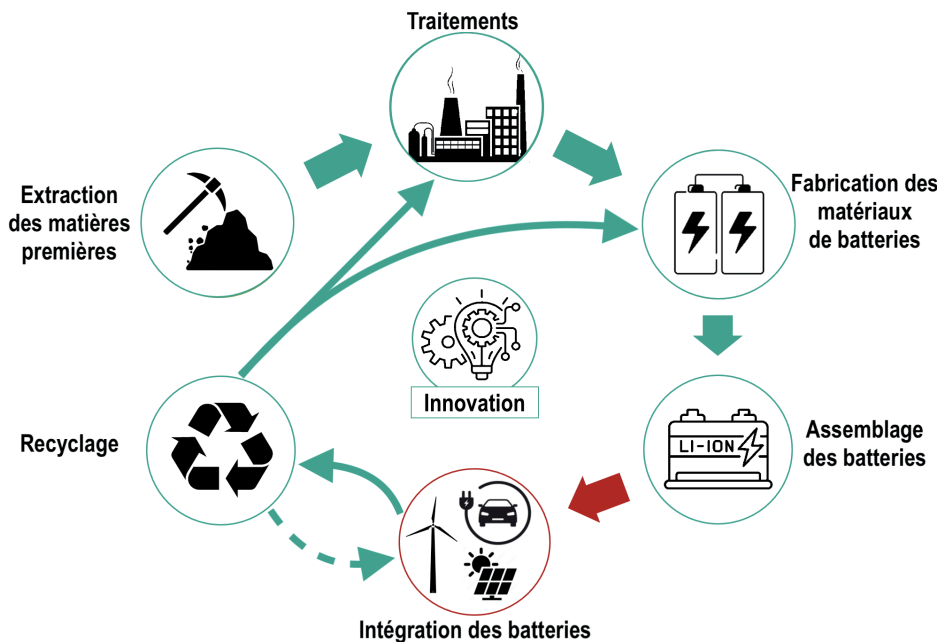


Figure 1. Chaîne de valeur des batteries lithium-ion

Source : auteurs

Le raffinage fait partie de l'étape «traitements» de la chaîne de valeur.

Encadré 1. RÉSERVES ET RESSOURCES

Les ressources désignent l'ensemble des matières premières naturelles qui existent dans la croûte terrestre, indépendamment de leur exploitation future. Celles-ci peuvent être potentiellement extraites et utilisées, mais ne sont pas nécessairement exploitables immédiatement ou de manière rentable. Les réserves désignent les ressources qui sont, à un moment donné, techniquement et économiquement exploitables avec les technologies et les coûts du moment. En résumé, les réserves constituent une sous-catégorie des ressources, mais toutes les ressources ne deviennent pas des réserves.

Comparaison schématique entre ressources et réserves :

	Ressources	Réserves
Disponibilité	Potentielle, mais parfois incertaine	Immédiate, faisable et viable
Technologie	Peut nécessiter des innovations	Exploitable avec les technologies actuelles
Rentabilité économique	Pas toujours rentable	Rentable dans les conditions actuelles du marché
Certitude	Hypothétique	Confirmée ou prouvée

L'Australie et la Chine se distinguent nettement des autres nations, tant par la diversité de leurs productions que par l'importance de certaines d'entre elles. Leurs richesses respectives en sous-sol sont toutefois assez différentes en termes de diversité, de volume et de types de ressources.

Ainsi, si l'Australie et la Chine représentent toutes les deux une part considérable de la production mondiale de nombreux minerais et métaux, la Chine se distingue en outre par une très forte diversité de ses ressources. Pékin cumule en effet une production diversifiée et spécifique, puisque la Chine représente au moins 40 % de la production mondiale pour huit minerais différents (tungstène, terres rares, graphite, germanium, silicium, antimoine, vanadium, molybdène) et plus de 10 % pour cinq d'entre eux (lithium, zirconium, manganèse, béryllium, bauxite)⁴. Le sous-sol chinois regorge de nombreux minerais lui conférant naturellement un rôle prépondérant parmi les acteurs en amont de la chaîne de valeur des batteries lithium-ion. Premier producteur de graphite naturel avec 76,9 % de la production

mondiale (21,4 % des réserves mondiales) en 2023, la Chine est aussi le deuxième producteur mondial de bauxite (23,3 %). Elle est en outre un acteur important du lithium avec environ 18,3 % de la production et 7,4 % des réserves mondiales. De son côté, l'Australie est le premier producteur de lithium avec 47,8 % de la production mondiale en 2023, loin devant le Chili et l'Argentine avec respectivement 24,4 % et 5,3 %. Ces deux derniers pays forment, avec la Bolivie, le « triangle du lithium » abritant plus de 60 % des ressources mondiales⁵. L'Australie renferme quant à elle environ 21 % des réserves mondiales. Elle apparaît également comme le premier producteur mondial de bauxite (24,5 %) et le troisième de manganèse avec 15 % de la production mondiale — derrière l'Afrique du Sud avec 36 % et le Gabon avec 23 % (Figure 2).

D'autres pays occupent également une place importante, mais avec une production bien moins diversifiée que l'Australie et la Chine. C'est le cas tout particulièrement de la République démocratique du Congo (RDC), d'où sont extraits 74 %

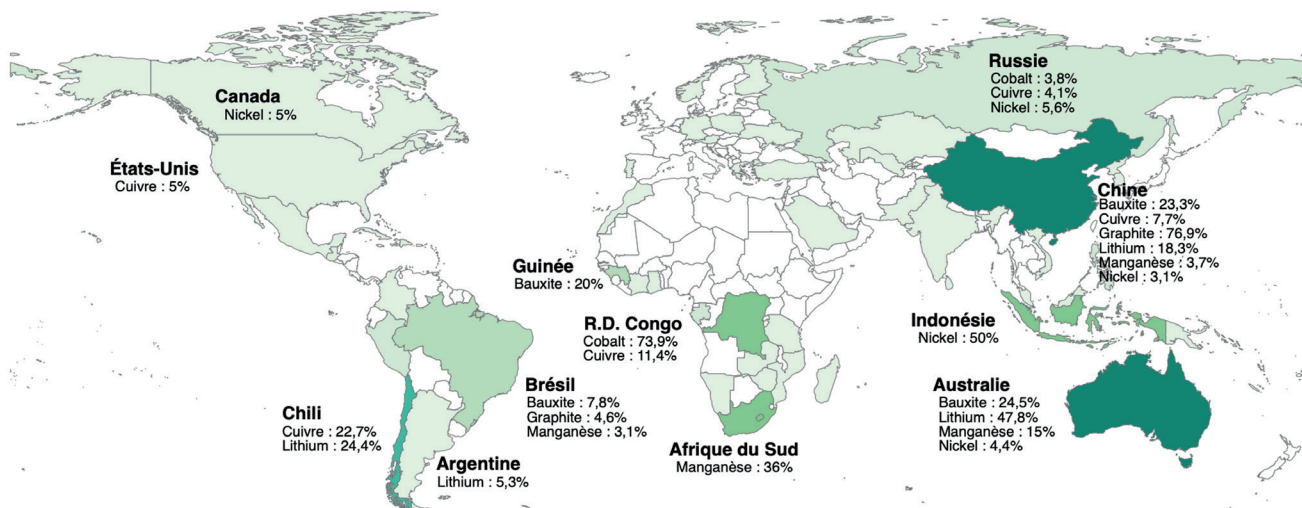


Figure 2. Principaux pays producteurs des minerais pour les batteries lithium-ion

Source : USGS (United States Geological Survey, *Mineral Commodity Summaries*)

Notes : Les nuances de vert indiquent l'importance des pays dans la production des minerais (2023) composant les batteries lithium-ion. Cette importance est calculée comme la moyenne des productions (normalisées entre 0 et 1) des différents minerais (i.e., bauxite, cobalt, cuivre, graphite, lithium, manganèse, nickel).

Électrification des transports : les batteries lithium-ion au cœur d'enjeux géopolitiques majeurs

du cobalt mondial et dont le sous-sol renferme environ 50 % des réserves mondiales, et de l'Indonésie, produisant 50 % du nickel en 2023.

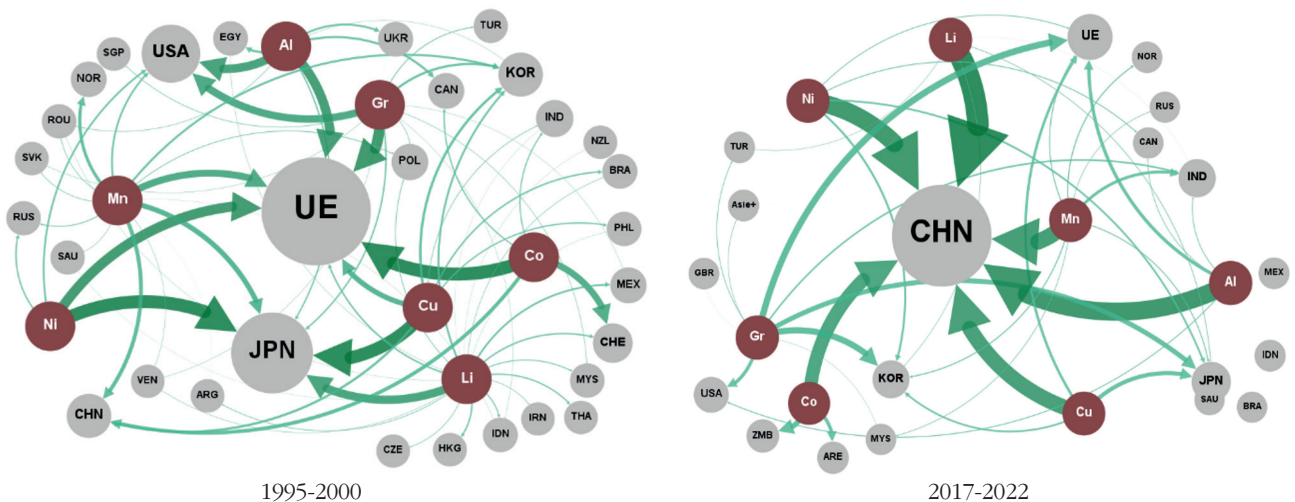
L'analyse des productions nationales masque cependant une réalité, celle du rôle joué par les multinationales. En effet, la distinction entre acteurs nationaux et internationaux donne une tout autre perception des acteurs mondiaux de la production de minerais, en particulier de l'importance de la Chine.

2. ... mais aussi sur l'aval grâce à une stratégie internationale de grande ampleur

Si la dotation naturelle de la Chine lui confère une importance particulière sur l'amont de la chaîne de valeur, elle a surtout joué un rôle de levier pour l'essor du pays. En effet, la Chine a pris conscience de l'importance des métaux stratégiques dès le début des années 1980 et a surtout bien entrevu le potentiel des minerais et métaux

aujourd'hui jugés stratégiques par tous [Bonnet et al., 2022]. Elle a ainsi développé une stratégie de grande ampleur pour établir un contrôle sur une part considérable des productions mondiales. Avec sa politique d'internationalisation au début des années 2000 et le projet des «nouvelles routes de la soie» à compter de 2013, Pékin a favorisé l'internationalisation de ses entreprises par divers moyens : investissements directs à l'étranger, acquisitions et prises de participation dans des sociétés locales ou mondiales, lancement de nouveaux projets miniers, troc de projets d'infrastructures contre des matières premières, coentreprises, prêts, etc. [Hache, 2019]. Grâce à ses investissements massifs en Australie, mais également en Argentine et au Chili, la Chine exerce un contrôle sur environ 60 % de la production mondiale de lithium. En RDC, elle contrôle un peu plus de la moitié de la production — officielle — de cobalt.

Cette expansion considérable de la Chine s'est accompagnée d'une montée en puissance



Notes : Les minerais sont indiqués par les cercles ocres. «Al» : aluminium/bauxite ; «Co» : cobalt ; «Cu» : cuivre ; «Gr» : graphite naturel ; «Li» : lithium ; «Mn» : manganèse ; «Ni» : nickel. Les cercles gris contenant les codes ISO représentent les pays et groupes de pays. «AUS» : Australie ; «CHN» : Chine ; «JPN» : Japon ; «UE» : Union européenne ; «USA» : États-Unis. Pour des raisons de lisibilité, seuls les principaux pays sont représentés. L'épaisseur des flèches renvoie à la part de marché du pays concerné. L'importance «globale» du pays (somme de toutes les parts de marché) est indiquée par la taille de son cercle.

générale de ses capacités aussi bien sur l'amont que sur l'aval de la chaîne de valeur. Comme l'illustre la Figure 3, sur la période 1995-2000, la Chine apparaît comme un acteur périphérique mineur en important relativement peu de minerais ; c'est surtout l'Union européenne (UE), le Japon et les États-Unis qui en sont alors les principaux importateurs. Deux décennies plus tard, ces pays ont été relégués au second plan par une Chine dominante. Cette dernière importait, sur la période 2017-2022, un peu plus de 86,5 % de la production mondiale de lithium, 70 % de la production de bauxite et de nickel, 62,6 % du manganèse et du cuivre mondial, ainsi que 53 % du cobalt.

Cette transformation structurelle témoigne de l'efficacité des politiques chinoises quant à l'approvisionnement en minerais stratégiques, mais aussi de la montée de l'empire du Milieu en tant que puissance industrielle, particulièrement concernant ses capacités de raffinage. La Chine est aujourd'hui l'acteur principal du raffinage des matériaux stratégiques, transformant 80 % des métaux présents dans les batteries [CCE, 2022]. Cette domination lui confère un deuxième verrou stratégique de nature à conforter durablement son avance. En effet, au-delà des contraintes en amont relatives à l'approvisionnement en minerais et aux capacités industrielles, le raffinage est associé à d'importantes externalités environnementales — niveau élevé des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et pollution des sols et des eaux — que la Chine a accepté d'assumer.

Fortes de leurs avantages comparatifs sur l'amont, les entreprises chinoises ont entamé assez vite une descente de la chaîne de valeur. La Chine est également dominante sur l'aval, particulièrement pour l'exportation des composants de cellules (58 %) et des batteries et composants de batteries lithium-ion (76 %). Elle capte ainsi une très grande partie de la valeur ajoutée mondiale de la filière, ces éléments représentant plus de la moitié du coût d'une batterie. Même si cette production significative sur le sol chinois reflète aussi l'implantation de nombreuses entreprises étrangères, sur le segment plus spécifique des batteries pour véhicules électriques, les firmes

chinoises dominent le marché mondial, représentant 52 % des ventes de batteries lithium-ion en 2023.

La Chine est ainsi devenue un acteur incontournable dans toutes les étapes de la chaîne de valeur, des minerais aux batteries, de telle sorte que les pays européens — à l'instar de nombreux autres — en sont aujourd'hui très fortement dépendants, notamment pour les batteries Li-ion. Face à ce constat, quelles pistes s'offrent à l'Europe pour s'extraire de la dépendance chinoise afin de limiter les risques de pénuries d'approvisionnement et ne pas freiner sa transition énergétique?

3. Quelles perspectives pour l'Europe?

L'importance de l'Europe sur la chaîne de valeur des batteries Li-ion est aujourd'hui réduite. En 2023, seulement 14 % de ces batteries sont produites sur le sol européen et avec une concentration importante dans quelques pays comme l'Allemagne, la Hongrie, la Pologne et la Suède. En outre, bien qu'implantées sur le sol européen, la plupart des unités de production sont des ramifications d'entreprises extraeuropéennes. Plus de la moitié de la production européenne est ainsi rattachée à des firmes sud-coréennes ou chinoises telles Samsung SSI, LGES ou encore CATL.

Bien que pouvant être jugée tardive (fin de la décennie 2010), la prise de conscience de l'Europe quant à son retard — et les dépendances qui en découlent — est significative. Outre un premier volet industriel — visant à multiplier par six les capacités de production de l'Europe à l'horizon 2030 —, le second volet du plan d'action européen est institutionnel et a une portée plus large que le seul secteur des batteries Li-ion. En effet, l'UE s'est attelée à mettre en place de multiples actions et règlements portant sur l'ensemble de la chaîne de valeur, l'objectif étant de s'extraire de ses dépendances — notamment à la Chine — tout en retrouvant une importance significative sur le plan mondial. C'est dans cette logique que la liste des matériaux critiques — établie initialement en 2011 par la Commission européenne — est passée de 14 matières

Électrification des transports : les batteries lithium-ion au cœur d'enjeux géopolitiques majeurs

premières à 34 aujourd'hui. Dans la continuité de cette liste, l'UE a adopté le règlement européen sur les matières premières critiques (*Critical Raw Materials Act*, CRMA), publié en mars 2023 et voté en avril 2024, qui propose «un ensemble complet de mesures afin de garantir l'accès de l'UE à un approvisionnement sûr, diversifié, abordable et durable en matières premières critiques». Ce règlement a vocation à réduire la dépendance aux fournisseurs étrangers, en particulier la Chine, éviter les pénuries potentielles et minimiser les impacts environnementaux et sociaux de la production de métaux critiques. Pour cela, il énonce les objectifs non contraignants suivants pour 2030 : «l'extraction dans l'UE doit permettre de produire au moins 10 % de sa consommation annuelle; la transformation opérée dans l'UE doit permettre de produire au moins 40 % de sa consommation annuelle; le recyclage effectué dans l'UE doit permettre de produire au moins 25 % de sa consommation annuelle; pas plus de 65 % de la consommation annuelle de l'Union de chaque matière première stratégique à n'importe quel stade de transformation pertinent ne doit provenir d'un seul pays tiers».

À bien des égards, ces objectifs formulés dans le CRMA apparaissent ambitieux [Hache, Normand, 2024]. C'est tout particulièrement le cas de l'extraction des minerais dans l'UE. Malgré le potentiel sous-exploité du sous-sol européen, l'objectif de 10 % de production sur le territoire semble hors d'atteinte pour trois raisons principales. Tout d'abord, les réserves en métaux de l'Europe sont insuffisantes, et même inexistantes pour 13 métaux critiques listés par la Commission européenne en 2023. Ensuite, le processus entre l'exploration initiale et le début de la production commerciale d'une mine est long, allant de sept ans pour le lithium à dix-sept ans pour le cuivre, et nécessite des investissements financiers considérables. Enfin, les mines ont une image négative et passéiste, suscitant souvent une forte opposition locale. Il est en conséquence crucial de garantir des pratiques d'exploitation responsables pour limiter les impacts environnementaux, un point central discuté en France lors de la Commission nationale du débat public sur le lithium en mars 2024.

Encadré 2. NORTHVOLT : LA FIN DES AMBITIONS EUROPÉENNES DANS LE DOMAINE DES BATTERIES ?

Considérée comme une véritable pépite verte européenne depuis le lancement de ses activités en 2015, l'entreprise suédoise créée par deux anciens de Tesla a confirmé en novembre 2024 être placée sous la protection du chapitre 11 de la loi américaine sur les faillites. Depuis sa création, Northvolt a pourtant levé plus de 13 milliards d'euros et investi dans de nombreuses activités relatives au secteur des batteries. En 2020, elle commence la construction de sa première usine grâce à de prestigieux partenariats à l'instar de Volkswagen et BMW, avec qui elle signe un accord de près de 2 milliards d'euros pour la livraison de batteries en 2024. Northvolt ambitionne dès 2020 d'intégrer l'ensemble de la chaîne de valeur : fabrication de cathodes, de cellules de batteries, recyclage des batteries, fabrication d'anodes et développement de trois gigafactories (Allemagne, Canada et Suède); des activités qu'elle réalise en partenariat avec d'autres entreprises. À l'été 2024, elle n'est toutefois pas en mesure d'honorer son contrat avec BMW, qui est également l'un de ses actionnaires, et déclare faillite quelques mois plus tard. Si le climat européen dans le secteur du véhicule électrique apporte un élément de contexte, les raisons de cet échec sont plutôt à chercher du côté de la difficulté pour cette start-up européenne de passer du stade du concept à l'échelle industrielle. En effet, la faiblesse de l'appareil industriel (peu de lignes de production), la dispersion des activités (elle est présente sur de nombreux segments de l'amont à l'aval) et le taux de déchets de batteries traditionnellement important lors du démarrage de ce type d'activités n'ont pas permis à Northvolt d'atteindre la maturité industrielle. Le cas Northvolt pose aujourd'hui de nombreuses questions quant à la capacité de l'UE à répondre au défi de la production de batteries sur son sol et à financer sur de longues périodes non seulement des start-up mais également à assurer le passage à l'échelle industrielle de ces entreprises. Un sauvetage européen de Northvolt — question qui se pose encore aujourd'hui — enverrait un signal important face à la concurrence, notamment asiatique.

Les objectifs relatifs au raffinage et à la transformation interrogent également. En effet, ces activités sont très énergivores et polluantes, et nécessitent d'accepter de relocaliser ces activités en Europe afin de parvenir à l'objectif affiché de l'UE de production d'au moins 40 % de sa consommation annuelle via ces procédés. Des prix de l'énergie très compétitifs seront en outre essentiels pour rivaliser avec les États-Unis, qui bénéficient d'abondantes réserves de gaz non conventionnel et d'un prix de l'électricité relativement bas. Le recyclage, bien que moins polluant localement et *a priori* plus acceptable, demande des investissements lourds. Il pourrait réduire la dépendance aux ressources minières, mais nécessite des infrastructures coûteuses pour la collecte, le tri, le prétraitement et la transformation des minerais, ainsi qu'une adaptation technologique constante — en particulier aux chimies des batteries des véhicules électriques. Outre son coût, le recyclage des batteries lithium-ion est ainsi particulièrement complexe dans la mesure où celles-ci comportent différents types de matériaux (lithium, cobalt, nickel, manganèse, cuivre, aluminium, graphite) qui ne sont, de plus, pas toujours aisément séparables ou récupérables avec les technologies actuelles. Chacun des composants est en effet souvent imbriqué dans des couches complexes, ce qui rend leur séparation difficile. La diversité des chimies de batteries complique également le recyclage dans la mesure où chacune d'entre elles nécessite des procédés spécifiques. Au total, bien que le recyclage des batteries lithium-ion constitue une piste prometteuse pour la transition énergétique, il subsiste un défi technologique (composition complexe, récupération incomplète), économique (coût élevé) et environnemental (pollution potentielle) qu'il conviendra de relever via d'importants investissements en matière de recherche et développement.

L'UE essaie également de diversifier ses partenariats pour réduire la dépendance aux pays tiers et les risques de ruptures. Des accords bilatéraux récents avec le Kazakhstan, l'Égypte, la Namibie, l'Australie et le Canada visent à sécuriser l'approvisionnement de certaines matières premières critiques. Toutefois, ces accords ne suffiront pas, rendant nécessaire un budget européen dédié

aux investissements dans les pays tiers et une diversification des approvisionnements imposée aux entreprises. La stratégie de *friendshoring* est souvent évoquée, mais présente des difficultés. Celle-ci consiste pour un pays à délocaliser ou externaliser certaines de ses activités dans des pays considérés comme des alliés politiques, économiques et géopolitiques; l'objectif étant notamment de sécuriser les chaînes d'approvisionnement et réduire ainsi les risques de pénuries. Les pays occidentaux, avec des objectifs similaires de neutralité carbone et de décarbonation des transports et de l'énergie, sont en concurrence pour les technologies bas carbone et les matériaux nécessaires à leur déploiement. Cette concurrence pourrait révéler des conflits d'intérêts et freiner la signature d'accords.

En parallèle de ces accords bilatéraux, l'Alliance européenne pour les matières premières (ERMA) a été lancée en 2020 par la Commission européenne afin de ne plus dépendre à plus de 65 % d'un seul pays tiers. L'atteinte d'un tel pourcentage paraît cependant difficile dans la mesure où l'UE dépend exclusivement de la Chine pour les terres rares, de la Turquie pour le bore et du Brésil pour le niobium. S'agissant plus spécifiquement des métaux entrant dans la composition des batteries, environ 68 % du cobalt brut importé par l'Europe provient de la RDC, 87 % du lithium de l'Australie, 79 % du lithium raffiné du Chili, 41 % du manganèse d'Afrique du Sud et 40 % du graphite naturel de la Chine [Cour des comptes européenne, 2023].

L'UE cherche également à remonter la chaîne de valeur, ainsi que l'illustre la création de l'Alliance européenne des batteries en 2017 afin d'essayer de conserver autant de création de valeur que possible dans le secteur automobile. Ce projet vise à créer en Europe un écosystème comprenant tous les acteurs de la chaîne de valeur automobile, tant européens qu'étrangers, afin de développer et produire des batteries en mettant l'accent sur la dimension environnementale. Si tous les projets des acteurs de ce réseau aboutissent, l'UE serait dotée en 2030 d'une capacité de près de 25 % de la production mondiale de

Électrification des transports : les batteries lithium-ion au cœur d'enjeux géopolitiques majeurs

batteries Li-ion grâce à une cinquantaine d'usines [Bonnet et al., 2020].

Une autre piste mérite d'être évoquée, celle consistant pour l'Europe à développer d'autres types de batteries afin de s'affranchir à moyen terme de sa dépendance à la Chine concernant les véhicules électriques. L'objectif est ici de produire des batteries alternatives à la technologie Li-ion utilisant des matériaux plus abondants, souvent disponibles localement, tout en offrant des performances adaptées aux besoins croissants de l'électromobilité et du stockage d'énergie. Parmi celles-ci figurent les batteries sodium-ion dans lesquelles le lithium est remplacé par le sodium, nettement plus abondant et moins onéreux ; les batteries à l'état solide dans lesquelles l'électrolyte liquide des batteries lithium-ion est remplacé par un électrolyte solide offrant une sécurité et une densité accrues ; les batteries LFP (lithium-fer-phosphate) dans lesquelles le fer et le phosphate, abondants, moins coûteux et moins polluants, se substituent au cobalt et au nickel ; ou encore les batteries à base d'hydrogène dans lesquelles l'hydrogène est utilisé pour produire de l'électricité dans une pile à combustible embarquée dans le véhicule. D'autres chimies sont également au stade expérimental, à l'instar des batteries à base de magnésium. Au total, le développement de ces batteries alternatives est à même d'offrir des avantages économiques et environnementaux significatifs, tout en exploitant des ressources plus abondantes localement comme le sodium, le fer ou l'hydrogène. Afin de s'affranchir de sa dépendance à la Chine, l'Europe doit investir dans la recherche et l'industrialisation pour rendre ces technologies compétitives face aux batteries lithium-ion.

Conclusion

Avec environ 21 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre, le secteur des transports joue un rôle-clé dans la lutte contre le changement climatique. La décarbonation de la mobilité constitue un levier majeur, faisant de l'électrification des transports, et tout particulièrement du secteur des batteries, un des secteurs les plus stratégiques. Les enjeux sont d'autant plus cruciaux que si le

secteur des batteries Li-ion a connu une croissance fulgurante au cours de la décennie passée, elle a surtout profité aux acteurs asiatiques, en particulier à la Chine.

Consciente de ses dépendances, l'Europe est fermement résolue à rattraper son retard, comme l'illustrent les initiatives prises pour accroître ses capacités de production locale de batteries et l'adoption du CRMA. Au-delà de ce dernier, la sobriété, grande absente du «paquet institutionnel», fait son chemin dans la société européenne [Hache et al., 2023]. Mise en avant comme un levier central — mais non suffisant à lui seul — dans la lutte contre le réchauffement climatique par le rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) publié en 2022, elle apparaît essentielle pour réduire la dépendance aux matériaux critiques. En limitant sa demande en métaux, l'UE pourrait diminuer sa dépendance à la Chine et promouvoir un levier de puissance original sur la scène internationale [Hache, 2024]. Des initiatives telles qu'alléger le poids des véhicules électriques, réduire le jetable, légiférer sur l'obsolescence programmée et afficher le contenu en métaux des produits mis en vente contribueraient à cet effort. Sous réserve d'investissements massifs dans la recherche et développement, l'UE pourrait donner l'exemple en promouvant des véhicules électriques plus légers, réduisant ainsi la consommation d'électricité et les impacts environnementaux liés à leur production. La sobriété a naturellement une portée mondiale, car elle permettrait de relâcher la pression sur les ressources en eau, notamment dans les régions de production déjà soumises à un stress hydrique conséquent [Hache, 2022]. Atteindre les objectifs du CRMA nécessitera des efforts considérables en matière d'acceptation sociale, de financement et de diversification des approvisionnements. Si la sobriété métaux fait partie intégrante d'une stratégie durable et autonome pour l'UE s'agissant des matériaux critiques, elle devra être accompagnée d'un soutien important aux citoyens, qui ne perçoivent généralement pas la notion de «bas carbone» comme impliquant une réduction de leur consommation de métaux.

NOTES

1. La Commission européenne recense 34 matières premières critiques en 2023, dont 17 sont considérées comme stratégiques au sens où leur «fourniture devrait augmenter de manière exponentielle, qui ont des exigences complexes en matière de production et qui sont donc confrontées à un risque plus élevé de problèmes d'approvisionnement». Pour plus d'informations, voir [Capliez et al., 2024a].

2. Notons toutefois que si les moteurs thermiques utilisent nettement moins de matériaux stratégiques que les batteries lithium-ion, ils en consomment — notamment des platinoïdes — pour les systèmes d'émissions (catalyseurs), les composants légers et les systèmes électriques.

3. Le lecteur intéressé par l'évolution de la filière automobile dans le contexte de la transition bas carbone pourra consulter [Corberand et al., 2024].

4. Pour plus de détails, voir [Bonnet et al., 2022].

5. Notons que la Bolivie dispose de ressources en lithium parmi les plus importantes du monde, mais qui restent à ce jour très peu exploitées.

RÉFÉRENCES

Agence internationale de l'énergie (AIE), 2021. "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions", World Energy Outlook Special Report, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>.

Agence internationale de l'énergie (AIE), 2024. "Global Critical Minerals Outlook 2024".

Bonnet Clément, Copinschi Philippe, Hafner Manfred, Laboué Pierre, 2020. «L'alliance européenne des batteries : Enjeux et perspectives européennes», Rapport #6, Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques, IRIS – Enerdata – Cassini, décembre 2020.

Bonnet Tanguy, Grekou Carl, Hache Emmanuel, Mignon Valérie, 2022. «Métaux stratégiques : la clairvoyance chinoise», La Lettre du CEPII, n° 428, juin 2022.

Capliez Romain, Grekou Carl, Hache Emmanuel, Mignon Valérie, 2024a. «Matières premières critiques : vers

l'autonomie stratégique européenne?», *L'Économie mondiale 2025*, Paris : La Découverte, coll. «Repères».

Capliez Romain, Grekou Carl, Hache Emmanuel, Mignon Valérie, 2024b. «Batteries lithium-ion : cartographie dynamique de la chaîne de valeur et perspectives», CEPII Policy Brief, n° 2024-48.

Corberand Julie, Fogelman Myriam, Vatimbella Balthazar, Molière Quentin, 2024. Les Thémas de la DGE, «Portrait de la filière automobile à l'heure de sa transition vers l'électrique», Thémas n° 22, octobre 2024.

Cour des comptes européenne, 2023. «La politique industrielle de l'UE en matière de batteries. Un nouvel élan stratégique est nécessaire», Rapport spécial 15/2023.

Hache Emmanuel, 2019. «La Chine, nouveau laboratoire écologique mondial?», *Revue internationale et stratégique* n° 113, printemps 2019, pp. 133-143.

Hache Emmanuel, 2022. «La sobriété, vecteur de puissance?», *Revue internationale et stratégique* 128, n° 4 (hiver 2022), 77-86.

Hache Emmanuel, 2024. «L'âge des puissances sobres», *Constructif* n° 69, 2024/3, pp. 26-28.

Hache Emmanuel, Normand Émilie, 2024. «L'heure des choix pour la politique européenne sur les matériaux critiques», *L'Économie politique*, n° 101, février 2024, 52-62.

Hache Emmanuel, Normand Emilie, d'Herbemont Vincent, Malbec Louis-Marie, 2023. «Sobriété : impensé de la politique européenne sur les matériaux critiques», *The Conversation*, 9 juillet 2023, <https://theconversation.com/la-sobriete-impense-de-la-politique-europeenne-sur-les-materiaux-critiques-209077>.

Les Conseillers du commerce extérieur de la France (CCE), 2022. Commission Asie-Pacifique, *La lettre de la Chine hors les murs*, n° 46, janvier 2022.

Électrification des transports : les batteries lithium-ion au cœur d'enjeux géopolitiques majeurs

BIOGRAPHIES

ROMAIN CAPLIEZ est étudiant en deuxième année de master Économie appliquée, parcours « Économie internationale, politiques macro-économiques et conjoncture » à l'Université Paris Nanterre.

CARL GREKOU est économiste au CEPII (Centre d'études prospectives et d'informations internationales) et chercheur associé à EconomiX (Université Paris Nanterre). Ses travaux portent sur les questions relatives aux politiques économiques et aux déséquilibres macroéconomiques, aux processus d'intégration régionale, ainsi que sur les dynamiques industrielles.

EMMANUEL HACHE est adjoint scientifique et économiste-prospectiviste à IFP Énergies nouvelles, chercheur associé à EconomiX (EconomiX-CNRS, Université Paris Nanterre) et directeur de recherche à l'Institut de relations internationales et stratégiques (IRIS). Il travaille sur les questions

relatives à la prospective énergétique et sur les questions des ressources naturelles pour la transition écologique d'un point de vue économique et géopolitique. Il est l'auteur du livre *Géopolitique des énergies* paru aux éditions Eyrolles en septembre 2022 et de *Métaux, le nouvel or noir* paru aux éditions du Rocher en septembre 2023.

VALÉRIE MIGNON est professeur des universités à l'Université Paris Nanterre, chercheur à EconomiX, présidente de la section Sciences économiques du Conseil national des universités, conseiller scientifique au CEPII et secrétaire générale de l'Association française de sciences économiques (AFSE) qu'elle a présidé en 2020-2021. Ses travaux de recherche portent sur la macroéconomie et la finance internationales, les marchés de matières premières, les métaux critiques, l'économétrie des séries temporelles et des données de panel, domaines dans lesquels elle a publié de nombreux articles et ouvrages.

À lire également dans *La Revue de l'Énergie*

- Voitures électriques : un avenir « borné », *Laurent Benzoni (n° 658, septembre-octobre 2021)*
- L'émergence de l'industrie européenne des batteries : vers d'incontournables dépendances, *Dominique Finon (n° 665, novembre-décembre 2022)*
- Économie des métaux : un aperçu de la littérature académique, *Maylis Peyret, Frédéric Gonand (n° 669, novembre-décembre 2023)*

À retrouver sur www.larevuedelenergie.com.