



NOVEMBRE
2023



Comment gagner le pari industriel de la mobilité électrique en France et en Europe ?

Marc-Antoine EYL-MAZZEGA
Diana-Paula GHERASIM
Clémentine VANNIER
Adam CONTU

L’Ifri est, en France, le principal centre indépendant de recherche, d’information et de débat sur les grandes questions internationales. Créé en 1979 par Thierry de Montbrial, l’Ifri est une fondation reconnue d’utilité publique par décret du 16 novembre 2022. Elle n’est soumise à aucune tutelle administrative, définit librement ses activités et publie régulièrement ses travaux.

L’Ifri associe, au travers de ses études et de ses débats, dans une démarche interdisciplinaire, décideurs politiques et experts à l’échelle internationale.

Les opinions exprimées dans ce texte n’engagent que la responsabilité des auteurs.

ISBN : 979-10-373-0764-4

© Tous droits réservés, Ifri, 2023

Couverture : © Phonlamai Photo/Shutterstock.com

Comment citer cette publication :

Marc-Antoine Eyl-Mazzega, Diana-Paula Gherasim, Clémentine Vannier et Adam Contu, « Comment gagner le pari industriel de la mobilité électrique en France et en Europe ? », *Études de l’Ifri*, Ifri, novembre 2023.

Ifri

27 rue de la Procession 75740 Paris Cedex 15 – FRANCE

Tél. : +33 (0)1 40 61 60 00 – Fax : +33 (0)1 40 61 60 60

E-mail : accueil@ifri.org

Site internet : ifri.org

Auteurs

Marc-Antoine Eyl-Mazzega est directeur du Centre Énergie et Climat de l'Ifri depuis 2017. Il a travaillé six ans à l'Agence internationale de l'énergie ainsi qu'à la Fondation Robert Schuman, où il a animé un observatoire sur l'Ukraine. Il possède la double nationalité française et allemande, et a obtenu un doctorat de l'Institut d'études politiques de Paris.

Diana-Paula Gherasim a été conseillère dans le domaine des énergies renouvelables et chargée du suivi du cadre législatif énergie-climat en Europe à horizon 2030 pour Eurelectric. Elle a travaillé au sein du Service des Affaires européennes d'ENGIE, notamment sur le suivi du Pacte vert européen. Elle a également été active dans le secteur du conseil en stratégie dans les pays en voie de développement, notamment en Côte d'Ivoire et au Kenya. Titulaire d'un double master en *Corporate and Public Management* de HEC Paris et Sciences Po Paris, ainsi que d'une licence à Sciences Po Paris, elle a également étudié au King's College London.

Clémentine Vannier est entrée à l'école d'ingénieur des Mines de Paris en 2019 où elle s'est spécialisée sur les sujets de l'environnement et de l'énergie. Elle s'est consacrée à l'étude sur la dimension industrielle de la mobilité électrique lorsqu'elle a rejoint l'Ifri.

Adam Contu a travaillé pendant dix ans comme rédacteur indépendant, spécialisé sur les sujets politiques et environnementaux. En 2021, il réintègre un cursus universitaire à Sciences Po Grenoble mention Transitions Écologiques où il étudie les leviers de la transition. Il prépare un projet de thèse sur l'impact du changement climatique dans les relations internationales et l'émergence d'un nouveau paradigme géopolitique environnemental où « transiter » devient un facteur de puissance.

Remerciements

Les auteurs sont particulièrement reconnaissants envers Olivier Appert et Cédric Philibert pour leurs relectures attentives et remarques, auprès des interlocuteurs de Renault, ACC, PFA, Valeo, Umicore, Imerys, Lithium de France, IDDRI, European Climate Foundation, Indra (Re-Source), qui ont partagé leur expertise, Aurélia Bessède, Amaranta Castanet et Sharleen Lavergne pour la mise en page, ainsi que Carole Mathieu, qui a nourri l'expertise de l'Ifri sur les batteries. Enfin, un grand merci aux collègues de l'Observatoire français des métaux pour les filières industrielles (Ofremi) qui font preuve d'expertise unique et œuvrent, à travers leurs travaux, à aider au déploiement d'une politique industrielle française.

Résumé et recommandations

L'interdiction de la vente des véhicules thermiques neufs en 2035 dans l'Union européenne (UE) provoque un bouleversement tous azimuts de l'industrie automobile vers le véhicule électrique (VE), marqué par des enjeux et défis multiples (industriels, économiques, technologiques, géopolitiques, sociétaux...), dans un contexte de tensions géoéconomiques exacerbées par la rivalité sino-américaine systémique et l'asymétrie croissante dans la relation UE-Chine.

L'Europe fait face à un défi industriel existentiel car, si ses acteurs dominaient la chaîne de valeur du véhicule thermique, elle doit non seulement rattraper son retard technologique sur la Chine dans le véhicule électrique, développer les chaînes de valeur industrielles en Europe mais aussi composer avec le constat que de nombreux maillons clés, et souvent peu connus, de cette chaîne de valeur très complexe sont chinois. Renforcer la maîtrise et résilience des chaînes de valeur est indispensable pour des enjeux de sécurité économique et environnementale, mais européaniser ces maillons est à la fois complexe, coûteux et, parfois, impossible à court et moyen termes. Le défi est d'autant plus important qu'il y a un certain manque de vision sur la chaîne de valeur dans son ensemble, sur les besoins et objectifs à chaque étape et leur mise en cohérence et suivi dans la durée. En outre, assurer la cohérence dans l'implémentation des multiples législations très interconnectées et compléter le cadre législatif par des outils de mise en œuvre représente un travail de fond de longue haleine, qui ne manque pas d'inquiéter des industriels du secteur. Ils ont besoin de lever rapidement les incertitudes et incohérences à travers un dialogue public-privé permanent et constructif.

Des avancées majeures dans le déploiement de la mobilité routière électrique sont en cours : augmentation des ventes, déploiement des bornes de recharge, soutien public multiple, investissements massifs dans des projets de *gigafactories*, politique industrielle européenne et nationale. L'impact sur l'outil industriel est déjà visible : un VE requiert 40 % de main-d'œuvre en moins et s'assemble en un jour, contre trois pour un véhicule thermique, les chaînes logistiques et industrielles sont très différentes, tandis que des milliers d'emplois qualifiés doivent être pourvus dans les nouvelles *gigafactories* notamment.

Dans le contexte actuel de polycrises qui sont amenées à durer, la massification de l'adoption des VE et l'européanisation des chaînes de valeur sont incertaines. Produire 1 million de VE en France en 2027 et 2 millions en 2030, comme envisagé par le gouvernement, est un immense défi dans un contexte où la balance commerciale du secteur de l'automobile

en France a enregistré un solde négatif de 19,9 milliards d'euros (Mds€) en 2022¹. Les vulnérabilités sont encore nombreuses. L'enjeu de l'étude, qui se concentre sur la chaîne de valeur des batteries, est de les identifier, de les hiérarchiser et de formuler des recommandations pour chercher à combler autant de lacunes que possible.

L'amont de la chaîne de valeur des batteries – le talon d'Achille de l'industrie automobile électrique française et européenne

Le succès qui semble se dessiner avec le développement de *gigafactories* en France – la première phase de l'usine de l'entreprise Automotive Cells Company (ACC) est opérationnelle (13 gigawattheures [GWh] en fin d'année) tandis que trois autres projets d'usines permettront de couvrir les besoins français – est très encourageant. Mais les retards possibles sont à surveiller et il faudra parvenir à réduire fortement et rapidement les rebuts de production pour gagner en compétitivité. Ce maillon industriel majeur qu'est la *gigafactory* ne doit pas masquer la nature complexe et beaucoup plus large de la chaîne de valeur de la batterie, et de surcroît, du VE. Cette analyse souligne qu'elle comporte des faiblesses, voire des vulnérabilités structurelles, notamment dans les étapes stratégiques de l'amont (i.e. extraction minière, raffinage, production de précurseurs et de matériaux actifs d'anode et de cathode, récupération et traitement des rebuts).

La transition énergétique fait rentrer l'Europe dans une ère « métallisée » où la mine et le raffinage sont des secteurs clés pour l'autonomie stratégique du présent et de l'avenir. L'accélération de l'accroissement des besoins en matériaux, dans un contexte de forte concurrence d'usages, intervient après des années de sous-investissement miniers et se heurte à l'incapacité de la production minière de s'ajuster si rapidement, même si de nombreux projets sont en cours de développement. L'industrie minière va se transformer en délaissant progressivement le charbon et l'or, en allant vers d'autres matériaux, en exploitant les déchets miniers et métaux associés, et en améliorant ses pratiques et impacts, pour rester compétitive et répondre à l'évolution des besoins des clients. Certains États détenteurs de ressources doivent aussi se montrer plus attractifs pour attirer les investissements de qualité tandis que d'autres cherchent à s'appuyer sur leurs ressources pour développer des infrastructures ou des chaînes de valeur industrielles sur place, ce qui est l'une des caractéristiques du « nationalisme minier » qui traduit une volonté de développement économique et sociétale pour échapper à la malédiction des ressources.

L'un des défis est lié aux longues durées de développement des projets, mais aussi en raison d'un contexte difficile lié à la variation des cours des

1. Direction générale des douanes et droits indirects, « Le chiffre du commerce extérieur. Analyse annuelle 2022 », accessible page 21 à ce lien : www.lekiosque.finances.gouv.fr.

matières premières, des *capital expenditure* (CAPEX) – dépenses d'investissement – très élevés (et en augmentation du fait de l'inflation), et des incertitudes géologiques, réglementaires, politiques et sociétales. Pour démultiplier l'investissement minier, les contrats de long terme entre acteurs miniers et consommateurs sont prometteurs, ainsi que les crédits des banques multilatérales. En outre, la production minière doit se faire en se conformant à des standards élevés, en voie de construction, liés à la responsabilité sociétale de l'entreprise (gouvernance, environnement, société) et de traçabilité. Alors que la demande d'électricité pour les activités minières en Europe et dans le monde va augmenter considérablement, de l'ordre de plusieurs centaines de térawattheures (TWh) par an, et est largement encore approvisionnée par le charbon ou le fuel dans de nombreux pays, cette électricité devra être décarbonée. Il faudra aussi électrifier les gros engins de mines, poursuivre les efforts d'amélioration des procédés (notamment le traitement et recyclage de l'eau), et avancer sur la décarbonation des chaînes logistiques.

Un autre défi est géopolitique et géoéconomique. La Chine a acquis un rôle décisif dans la détermination des cours des métaux : indirectement *via* la taille de son marché et son poids économique, directement *via* son contrôle étendu sur la production mondiale de nombreuses matières premières, les subventions à l'achat de VE qui impactent la demande, des restrictions d'exportations et les stocks de matières. Pendant que le reste du monde ne se préoccupait pas de l'approvisionnement en métaux, que les cours étaient bas et la demande atone, les acteurs chinois, appuyés par des banques étatiques, investissaient de manière systématique dans de nombreux pays. Ces acteurs ont aussi pris une position dominante dans le segment du raffinage de nombreux métaux, permettant de nourrir un écosystème chinois intégré de la mobilité électrique (et d'autres technologies) et de s'assurer qu'une grande partie des métaux extraits dans le monde soit transformés en Chine, sur la base d'une électricité bon marché, au prix d'une pollution importante mais assumée. Grâce à cette redoutable stratégie, les produits chinois sont ultra-compétitifs et attractifs, et les acteurs européens sont confrontés à des risques, voire menaces, de nature économique et technologique car la Chine n'est pas une économie normale de marché.

Dans ce contexte, tout doit être mis en œuvre pour relancer l'activité minière en Europe et en France. Si l'objectif européen qui se dessine est de couvrir 10 % des besoins par la production intérieure en 2030 – ce qui semble peu réaliste à cet horizon –, de nombreux projets peuvent toutefois être rentables, en particulier en France, à condition que les coûts soient maîtrisés, et qu'il y ait de l'acceptabilité sociétale et une volonté politique forte. Ils doivent pouvoir bénéficier d'un vrai soutien politique et sociétal, d'une fluidité administrative, de financements, et d'électricité abondante, décarbonée et compétitive. Les mesures que les entreprises minières européennes sont en train de mettre en place laissent entrevoir l'émergence

d'une mine européenne durable, mais aussi plus coûteuse. Il faudra que des projets voient le jour en France, pays doté d'un vrai savoir-faire (Bureau des Ressources Géologiques et Minières (BRGM), École des Mines, Commissariat à l'énergie atomique (CEA), acteurs industriels tels Orano, Eramet ou Imerys) ce qui renforcera non seulement sa résilience, mais aussi sa crédibilité en matière de diplomatie minière.

À l'étranger, en attendant l'avènement de nouvelles mines plus durables, il est impératif que la France et l'UE soutiennent l'amélioration des pratiques dans les mines existantes notamment au travers des dispositifs de financement (qui permettent d'endosser des coûts plus importants liés à la modernisation et à la décarbonation), du renforcement des mécanismes de *monitoring* et de partage de bonnes pratiques, ainsi que la poursuite des efforts en faveur d'une harmonisation par le haut des standards de Responsabilité sociétale des entreprises (RSE) dans l'industrie minière mondiale. Enfin, il faut rendre la coopération avec des acteurs européens plus attractive pour les pays détenteurs de ressources, tout en les incitant à améliorer leurs pratiques et cadres réglementaires.

Pour exercer un rôle de stratège dans le domaine des métaux, l'État doit bien choisir ses combats. Pour les batteries des VE, les principaux métaux sont le lithium, le cobalt, le manganèse, le nickel, le graphite et le cuivre. Le lithium est abondant sur terre et si sa consommation va croître très fortement, la production devrait suivre ainsi que les investissements dans son recyclage (qui reste néanmoins difficile). Il faut néanmoins améliorer davantage son empreinte environnementale. L'efficacité du recyclage du cobalt va augmenter et l'utilisation du cobalt dans les nouvelles chimies de batterie sera limitée, mais l'augmentation des ventes de VE implique une demande soutenue de cobalt. Le manganèse joue un rôle grandissant et quoique pour le moment il ne pose pas de défis d'approvisionnement, son recyclage n'est guère amorcé. Le nickel pose des difficultés vu son empreinte carbone en Indonésie et l'impératif du raffinage, contrôlé par des acteurs chinois. Produire du nickel propre peut se faire en Europe, comme en Finlande, mais c'est plus cher. Les mines de cuivre sont longues et coûteuses à construire et la qualité des ressources tend à diminuer, tandis que le recyclage doit encore être développé : d'importantes quantités de cuivre aujourd'hui utilisées dans les canalisations d'eau potable et les fils téléphoniques vont se trouver substituées par le Polyéthylène téréphtalate (PET)² et la fibre optique. Enfin, le graphite est peu abondant et largement contrôlé par la Chine.

Il en découle des priorités d'action : l'amélioration de l'empreinte environnementale de l'extraction du lithium, son raffinage ainsi que celui

2. Plastique employé dans la fabrication de composants de carrosserie, de revêtements de sol automobile, ainsi que dans la production de cartes de circuits imprimés, de boîtiers pour téléphones portables et d'autres dispositifs électroniques.

du manganèse ; l'extraction mais surtout le recyclage de cuivre ; la production et transformation de nickel propre ; la chaîne de valeur complète du graphite. Dernier enjeu majeur : la production d'aluminium bas-carbone, pour laquelle un pays avec un parc nucléaire comme la France est particulièrement bien positionné. Si la France et l'UE, doivent maximiser le potentiel de production national et européen, il faut aussi se préparer à aller financer et développer des projets extractifs dans des pays et zones « grises », en se dotant d'instruments pour le faire, et en nouant les partenariats industriels et diplomatiques adaptés. C'est en enjeu à la fois de sécurité d'approvisionnement, mais aussi de diffusion progressive des meilleurs standards RSE, et de confiance dans les technologies de la transition énergétique.

La transformation des matières premières en matériaux de batterie et le défi de la dépendance

La domination de la Chine au niveau mondial dans le segment de la transformation des matières premières critiques est écrasante, même si elle ne concentre pas sur son territoire la majorité de l'extraction minière. Si l'Europe a pris conscience de sa dépendance et veut se donner comme ambition de transformer sur son territoire au moins 40 % de sa consommation annuelle en matières premières stratégiques d'ici 2030 (ce qui semble peu réaliste dans les circonstances actuelles, mais agit comme un fort facteur d'impulsion), elle se confronte au désavantage structurel des prix d'énergie plus élevés que chez ses compétiteurs. Ainsi, la première condition pour rendre réalisable l'ambition européenne est d'assurer un déploiement massif d'électricité décarbonée. Et si la production de cellules de batteries prend son essor en Europe et en France, le paysage reste encore très incertain quant à la production de PCAM (précurseurs de matériaux actifs cathode) et de CAM³/AAM⁴ (matériaux actifs de cathode et d'anode), qui sont indispensables mais actuellement largement fournis par des acteurs non européens, principalement d'Asie. L'approvisionnement en aluminium bas-carbone et en semi-conducteurs demeure également sujet à incertitudes. Plusieurs points critiques sont à prendre en compte pour le renforcement de cette partie intermédiaire de la chaîne de valeur en Europe : la mise en place des dispositifs de financement équitables au niveau européen, la capacité à garder les résidus des *gigafactories* et la *black mass* (la poudre noire que l'on obtient en broyant les composants d'une batterie, et dont les éléments doivent ensuite être séparés, traités et réutilisés) en Europe, la fourniture d'électricité compétitive et bas-carbone, et garantir un *level playing field* pour permettre de valoriser une production européenne vertueuse en matière de standards RSE.

3. « CAM » se réfère à *Cathode Active Material* (matériau actif de cathode).

4. « AAM » se réfère à *Anode Active Material* (matériau actif d'anode).

La fabrication de batteries et leur recyclage se structurent à marche rapide en France et en Europe

Les annonces de *gigafactories* se multiplient en Europe depuis la création de l'Alliance européenne pour les batteries en 2017, et donnent même naissance à une « vallée européenne des batteries » dans les Hauts-de-France, pour une capacité de production de batteries qui devrait atteindre 120 GWh en 2030 en France et jusqu'à dix fois plus en Europe. Mais les *gigafactories* européennes et françaises font face à moult défis : le rattrapage en matière de savoir-faire, la maîtrise des technologies, le socle de compétence, l'approvisionnement en énergie, ou encore la maîtrise de la chaîne d'approvisionnement, de sa durabilité et de son alignement avec les principes RSE demandés dans un nombre croissant de textes législatifs européens.

Avec le Règlement Batteries adopté au niveau européen en 2023, l'UE a adopté une approche holistique quant à la durabilité et à la performance environnementale des batteries (qui mérite encore d'être ajusté pour favoriser les petites batteries), comprenant l'ensemble du cycle de vie de la batterie, donnant un rôle clé aux obligations de recyclage et de réintégration des métaux recyclés dans les batteries. Outre les obligations réglementaires de circularité, le développement de l'industrie du recyclage en Europe permettra aux acteurs européens de l'automobile de se doter d'un puissant outil pour renforcer leur autonomie stratégique en matière d'approvisionnement en métaux critiques, surtout après 2026 lorsque les volumes à traiter augmenteront fortement d'année en année (de l'ordre de 50-60 % par an). Dans un premier temps, la matière principale à recycler sera issue des rebuts de production de batterie, et ce jusqu'en 2030 environ. Cependant, la compétitivité de l'industrie européenne du recyclage des batteries dépendra de sa capacité à sécuriser l'approvisionnement en déchets d'usine dans le court terme et en batteries (*black mass*) dans le plus long terme, ainsi que de la réduction des coûts de transport, de l'amélioration de la performance (y compris environnementale) pour ce qui est de la récupération des métaux et de la maîtrise des coûts des intrants (comme l'énergie), de la disponibilité de terrain, de l'octroi rapide d'autorisations, et d'une main-d'œuvre bien formée.

Le défi de la résilience face aux besoins en matières premières : l'analyse de l'écart entre les besoins et les capacités d'approvisionnement domestique en France selon différents scénarios

Vu l'importance et les défis liés aux métaux critiques dans la mise en place d'une chaîne de valeur du véhicule électrique en France, et plus largement en Europe, cette étude a analysé et chiffré l'écart entre les besoins et les capacités d'approvisionnement domestique (extraction et recyclage) en matières premières d'ici 2035. Cinq scénarios de demande ont été étudiés en faisant varier la taille du parc (i.e. retour vers une dynamique de ventes

pré-Covid vs. une dynamique de sobriété qui impliquerait que tout véhicule thermique qui sort du parc automobile n'est pas remplacé par un véhicule électrique, notamment une réduction de 15 % des ventes grâce à d'autres formes de mobilité), la taille des batteries (55 kilowattheures [kWh] dans le scénario *business as usual*, 40 kWh pour le scénario *sobriété*, et 30 % à 80 kWh/et 70 % à 55 kWh dans le cas des *grosses voitures*), la composition des chimies de batteries (domination pure de la chimie NMC vs. pénétration d'autres chimies à hauteur de 30 %).

Cette analyse montre que pour la France :

- L'approvisionnement domestique (prenant en compte aussi bien les projets d'extraction que ceux de recyclage) est loin de répondre à la demande, sauf dans certains cas pour le lithium où la demande pourrait être comblée en grande partie à terme (dans l'hypothèse d'une mise en production des projets d'extraction et de raffinage), mais uniquement dans les scénarios de sobriété impliquant une réduction de la taille globale du parc de véhicules et de la taille des batteries des VE.
- Si le parc des VE en France se développait sur la base d'une part croissante de gros véhicules (30 % avec des batteries de 80 kWh et 70 % de 55 kWh), cela augmenterait sensiblement la pression sur la demande de matières premières (à hauteur de 14 % pour tous les métaux étudiés).
- Comparé au scénario *business as usual*, le scénario alliant sobriété (diminution du nombre de voitures, réduction de la taille des batteries) et diversification des chimies permet d'atteindre une diminution en besoins de l'ordre de : 36 % pour le lithium, 57 % pour le cobalt, le nickel et le manganèse, 30 % pour le graphite et 29 % pour le cuivre.
- Dans un scénario de sobriété (diminution de 15 % du parc automobile et taille moyenne des batteries limitée à 40 kWh), la réduction des besoins est de 38 % pour toutes les matières premières, tandis que la diversification des chimies permet de réduire de manière considérable le besoin en cobalt, nickel et manganèse, à hauteur de 30 %. Vers l'année 2040, le recyclage peut devenir un levier clé de la sécurité d'approvisionnement en matières premières critiques. Si le potentiel de recyclage est prometteur (correspondant aux quantités de métaux qui seraient extraites si toute la matière disponible était traitée, à la fois issue des déchets des usines de batteries annoncées ainsi que des batteries de VE arrivant en fin de vie) car il couvrirait potentiellement jusqu'à 80-85 % des besoins en fonction du métal envisagé, les projets annoncés sont pour le moment significativement inférieurs au potentiel.

L'étude a répliqué les cinq scénarios pour le cas de l'Europe, permettant ainsi d'avoir un aperçu sur l'équilibre entre les besoins en matières premières et les capacités d'approvisionnement domestique sur la base des projections de ventes existantes. Il en découle que dans un scénario *business as usual* :

- Les besoins du secteur jusqu'en 2050 ne pourront pas être satisfaits uniquement sur la base de l'approvisionnement domestique, mais si tout le potentiel en recyclage (i.e. *black mass* et rebuts disponibles) était utilisé, un taux de couverture d'environ 50 % (ou plus) des besoins pour les métaux principaux de la batterie serait atteint. L'écart à combler dans le cas de l'approvisionnement en lithium reste très important malgré un scénario où le potentiel de recyclage se matérialise, d'où l'importance de capacités de production et de raffinage de lithium significatives en Europe.
- Le recyclage des batteries usagées est une source décisive pour renforcer l'autonomie stratégique du secteur automobile européen à long terme uniquement. Au cours des prochaines années, il concernera essentiellement les rebuts de *gigafactories* et restera marginal avant d'être complété de manière plus significative par les batteries en fin de vie à l'horizon 2028-2030. Les projets de recyclage annoncés au niveau européen ne répondent pas au potentiel total de recyclage, mais on observe que l'écart est bien moindre au niveau européen que dans le cas de la France. Le recyclage du cuivre et de l'acier revêt néanmoins un rôle immédiat bien plus important.
- L'Europe devra mettre en place des partenariats miniers avec des pays tiers pour sécuriser la fourniture d'environ la moitié de ses besoins en métaux critiques pour les batteries (lithium, cobalt, nickel, graphite), ainsi qu'agir vite pour s'assurer que les rebuts et la *black mass* reste en Europe afin d'éviter un accroissement de cette dépendance aux importations. Comme pour le cas de la France, des leviers tels que la sobriété, la variation des chimies de batteries et le déploiement des moyens de transport alternatifs seront clés pour diminuer le besoin en métaux.

Gagner le pari industriel de la chaîne de valeur des batteries pour la mobilité propre implique ainsi de se concentrer sur dix leviers :

- Développer une approche holistique de l'approvisionnement en matières premières critiques, en suivant cinq axes majeurs : extraction domestique, raffinage, diplomatie minière et standards RSE, stocks stratégiques, recyclage.
- Assurer un approvisionnement en électricité décarbonée stable et compétitive.
- Construire des partenariats intégrés sur les maillons de la chaîne de valeur du VE avec des acteurs européens, en vue notamment de

disposer rapidement d'un certain nombre de capacités de production de CAM et PCAM, et soutenir l'innovation dans la chimie des batteries, seule possibilité pour les Européens de se distinguer de la Chine.

- ▀ Planifier pour acquérir une maîtrise intégrée de la chaîne de valeur, et développer les compétences et former la main-d'œuvre.
- ▀ Développer la sobriété à tous les niveaux en tant que clé de voûte pour la résilience.
- ▀ Réimaginer la mobilité afin de la rendre plus durable, accessible et juste.
- ▀ Mettre en place et calibrer le dispositif de soutien au déploiement de maillons de la chaîne de valeur de la mobilité électrique propre en France, dont le coût pour le budget pourrait être de l'ordre de 8-9 Mds€ par an ces prochaines années.
- ▀ Protéger les industries face aux pratiques déloyales et moins vertueuses.
- ▀ Exploiter l'essor de la mobilité électrique pour renforcer l'intégration des énergies renouvelables variables dans les systèmes électriques.
- ▀ S'assurer que l'UE est dotée des moyens appropriés pour répondre aux multiples défis industriels et technologiques liés au VE dans un contexte de polycrises dont une partie seulement a pu être traitée dans cette étude, le VE ne pouvant être réduit aux batteries et comportant de nombreux autres enjeux clés.

10 recommandations clés pour gagner le pari industriel de la mobilité électrique

1. **Développer une approche holistique de l'approvisionnement en matières premières critiques, en suivant six axes clés : extraction domestique, diplomatie minière, investissements miniers hors de l'UE, raffinage, stocks stratégiques, recyclage.**
 - **Extraction domestique :** Alors qu'à ce stade, le potentiel minier de la France pour répondre aux besoins de l'industrie automobile se démarque seulement dans le domaine du lithium, et que certains pays européens disposent de réserves intéressantes mais pas suffisantes, il est impératif de relancer les efforts d'exploration des sous-sols, notamment dans les couches profondes, accompagnés par la mise en place des solutions de soutien à des projets telles que le guichet unique (pour la simplification des procédures), l'octroi des financements à des taux préférentiels (pour renforcer la viabilité des projets) et l'accès à une électricité décarbonée et compétitive. Le fonds métaux géré par InfraVia et amorcé par France2030 pourra utilement aider au développement de tels projets, et le financement de l'inventaire minier, notamment en couches profondes, doit être acté. Au-delà de l'accélération des délais d'octroi des autorisations, il faut aussi créer un contexte

favorable à l'acceptation des projets miniers, ce qui requiert un effort concerté de toutes les parties prenantes, autour de règles d'or de l'activité minière responsable dans les territoires à construire, tant sur la concertation que sur le design des projets que sur leur mise en œuvre et enfin, sur la reconstruction des sites.

- **Diplomatie minière** : Il s'agit tout d'abord d'œuvrer à la mise en place d'un cadre international de définitions et de standards sur la mine durable qui soit harmonisé et stable dans la durée, et accompagné par un soutien adéquat à l'implémentation (formations, certifications, financements, etc.). Les États détenteurs de ressources doivent être responsabilisés par rapport à l'application de ce cadre normatif durable par les entreprises minières, mais il faut travailler avec ceux qui ne sont pas encore vertueux dans une démarche d'accompagnement et dans le cadre d'un partenariat économique plus large qui vise à répondre aussi à leurs besoins de développer leurs chaînes de valeur. Un pays s'engageant dans un tel partenariat et progressant doit être pleinement reconnu dans les mécanismes de certification, et la taxonomie européenne, qui mérite d'inclure les activités minières, doit jouer un rôle. La mise en place des partenariats stratégiques entre l'UE, la France et les pays détenteurs des ressources doit être poursuivie selon une logique de meilleure répartition des richesses et d'un accès plus répandu et non entravé aux ressources. Parmi les actions à mettre en place : des financements à taux préférentiels et des instruments de *de-risking* pour les *off take* (via la Banque européenne pour la reconstruction et le développement [BERD], la Banque européenne d'investissement [BEI], les agences nationales de développement comme l'Agence française de développement [AFD], ou encore via des programmes européens comme la Global Gateway et des fonds d'investissement nationaux), des crédits export ou des financements pour des paquets d'infrastructures. De ce point de vue, il est essentiel de mener un effort structuré autour de l'Afrique subsaharienne, avec des partenariats gagnant-gagnant⁵ dans les domaines des énergies renouvelables et des systèmes électriques, des infrastructures publiques, des métaux et de la biodiversité. Les accords bilatéraux (*Memorandums of Understanding*) conclus par la Communauté européenne (CE) vont dans le bon sens (notamment avec le Kazakhstan, l'Ukraine, la Namibie, l'Argentine), et ceux au niveau bilatéral français également (Canada, Australie) mais ils doivent désormais être nourris d'ambitions et de réalisations concrètes. Enfin, il est également important d'œuvrer à la mise en place, au niveau international, de mécanismes pour renforcer la transparence des marchés des métaux. La France et ses partenaires européens doivent être en mesure de proposer des partenariats de qualité, rapides et efficaces à mettre en œuvre, dans des pays où l'urgence du sous-développement requiert de

5. M-A Eyl-Mazzega, « Quel cadre pour un partenariat énergétique et climatique Europe-Afrique gagnant-gagnant ? », *Notes de l'Ifri*, Ifri, juillet 2023.

« frapper vite et fort ». Mais il faudra aussi œuvrer à l'amélioration des cadres de gouvernance et accompagner les acteurs pour mieux délimiter ce qui est de la responsabilité des États, communautés locales et des entreprises.

- **Cette diplomatie minière et la sécurité des approvisionnements pour les industries françaises ne peuvent réussir sans une stratégie active d'investissements et de partenariats miniers à l'étranger.** La France dispose de véritables acteurs compétents (Eramet, Orano, Imerys), de spécialistes de l'eau comme Veolia, de banques actives sur ces secteurs (Natixis, Société générale, BNPParibas), de l'AFD, du fonds métaux géré par InfraVia ou encore de fonds spécialisés dans les infrastructures. Des opportunités de partenariats existent avec des acteurs étrangers tels que la Japan Organization for Metals and Energy Security (JOGMEC). D'autres acteurs européens peuvent être mobilisés (allemands, suisses, polonais notamment, maisons de négoce de grandes et petites tailles spécialisées sur des pays ou métaux et qui disposent d'un savoir-faire en matière de logistique). Le défi est de sortir des sentiers battus, de prendre des risques, d'accepter de travailler rapidement, avec les bons acteurs, dans des pays compliqués et des conditions qui seront loin d'être optimales au départ. Cela implique d'avancer en équipe, avec des moyens, des partenariats et de l'agilité, car la concurrence chinoise ou du Moyen-Orient dispose de ces atouts.
- **Les stocks stratégiques :** La constitution des stocks stratégiques sur certains métaux critiques pour l'industrie automobile, principalement le cuivre, pourrait être une solution contre des situations de manipulation des cours des métaux, la multiplication des restrictions d'exportation ou encore les crises qui pourraient impacter le secteur minier. L'Ifri a déjà détaillé par le passé la forme que ce projet de stock stratégique devrait prendre, en le couplant à une centrale d'achat et à une poche de gestion active des métaux⁶. Le rachat préférentiel des rebuts des *gigafactories* et leur recyclage, pour lesquels il existe une forte compétition afin de les capter mais que les États ont co-financé, pourrait faire partie de cette stratégie de stockage, tout comme la mise à disposition par les États, de terrains et sites de stockage. Mais le financement devrait être essentiellement assuré par des fonds européens.
- **Le raffinage** joue un rôle crucial pour obtenir des matériaux de qualité batterie, qui jouent un rôle décisif pour la performance des batteries. C'est un maillon très coûteux en CAPEX, très énergivore, et très polluant. Tout le raffinage ne pourra pas être ramené en Europe ou en France, les acteurs miniers souhaitent idéalement l'installer à côté de leurs sites d'extraction, et il faut donc bien choisir les matériaux ciblés : lithium, nickel, manganèse et cuivre en priorité.

6. V. Donnen, « Vers une ère métallisée : renforcer la résilience des industries par un mécanisme de stockage stratégique de métaux rares », *Notes de l'Ifri*, Ifri, mai 2022. Voir également les travaux de l'économiste Emmanuel Hache sur le sujet.

- **Le recyclage :** Comme illustré dans cette étude, le recyclage des batteries pourrait permettre à la France et à l'UE d'atteindre un niveau très important d'autosuffisance à long terme. Il est donc impératif de s'assurer que les déchets de batterie et les déchets des usines à chaque étape de la production sont recyclés sur le sol européen et les objectifs de réincorporation soient bien respectés pour chaque matériau. À cette fin, leur classification en tant que déchets dangereux est clé, ainsi que la constitution des capacités de recyclage suffisamment importantes. Le soutien à la Recherche et au Développement (R&D) en vue de réduire l'impact environnemental du recyclage et des processus de transformation des métaux doit être assuré.

Pour tous ces maillons, l'État doit s'assurer de la bonne mise à disposition du foncier et des connexions électriques, de l'essor du déploiement des énergies renouvelables en complément du nucléaire, et de l'accélération des procédures d'octroi des permis.

2. **Assurer un approvisionnement en énergie propre qui soit stable et abordable.** Le déploiement d'une chaîne de valeur complète de la mobilité électrique en France et en Europe passe par la construction d'équipements très consommateurs en électricité (mines, usines de transformation, usines de CAM et PCAM, *gigafactories*, usines de recyclage), si bien que le prix et la teneur en carbone de l'électricité deviennent un facteur de compétitivité pour l'industrie automobile électrique européenne clé, devant le facteur travail (les usines sont très automatisées). La réforme du marché de l'électricité au niveau européen doit permettre de rassurer les acteurs industriels sur la disponibilité de l'électricité décarbonée à des prix prévisibles et compétitifs non seulement à long terme, mais dans l'immédiat. Les contrats de gré à gré sur l'approvisionnement en électricité renouvelable (PPAs⁷) doivent être rendus plus accessibles aux industriels, y compris *via* des schémas de garantie publique pour les petites et moyennes entreprises, et leur mise en œuvre facilitée au travers de l'accélération des autorisations des installations d'énergies renouvelables (ENR) et de leur connexion au réseau, ainsi que du renforcement des réseaux de transmission et distribution. Pour les États qui le souhaitent, la prolongation du parc nucléaire existant, ainsi que l'investissement dans des nouvelles installations nucléaires, devrait aussi être facilitée au même titre que les ENR. Le développement du stockage, des interconnexions et l'approfondissement de l'intégration du système énergétique devraient permettre des fournitures d'électricité stables, d'où la nécessité d'une collaboration renforcée entre les pays européens dans le sens de l'approfondissement de l'Union de l'Énergie, en particulier, dans la perspective de 2040.

7. *Power Purchase Agreement* ou « Contrat d'achat d'électricité ».

3. Construire des partenariats intégrés sur les maillons de la chaîne de valeur du véhicule électrique avec des acteurs européens, en vue notamment de disposer rapidement d'un certain nombre de capacités de production de CAM et PCAM.

En ce sens, un Fonds européen de souveraineté servirait aussi à financer ce type de projets en vue d'une meilleure résilience dans le domaine des PCAM et CAM qui pourraient devenir à terme des goulots d'étranglement pour les usines de batteries européennes, tout en restant lucide sur le temps industriel. Pour alimenter des futures usines de PCAM et CAM, il est essentiel de s'assurer que la *black mass* ne quitte pas le sol européen pour être transformée sur le continent asiatique. Sa classification en tant que déchet dangereux semble requise, tout comme un éventuel élargissement du mécanisme d'ajustement carbone aux frontières au secteur des précurseurs et des matériaux actifs de la batterie, afin d'encourager une production plus durable aussi bien en Europe qu'ailleurs dans le monde (et incluant potentiellement d'autres critères que la teneur en carbone, et en l'élargissant aux produits semi-finis et finis). La France doit encore consolider sa politique R&D car c'est le cœur de la bataille industrielle de la mobilité propre (chimies de batteries, recyclage, raffinage métaux, *software*, Vehicle-to-grid (V2G), conduite autonome, etc.). Les crédits d'impôt sont clés, mais aussi les partenariats publics-privés et la protection de la recherche dans un domaine aussi stratégique. Les acteurs français et européens ne peuvent sortir de la phase de rattrapage technologique de la Chine que s'ils parviennent à développer des chimies et procédés qui leur sont propres, et la résilience sera renforcée par l'utilisation de chimies diversifiées. Enfin, les différentes législations européennes doivent être mises en cohérence, notamment avec REACH, dont les dernières réglementations suscitent des inquiétudes sur la capacité à produire à moyen terme des batteries en Europe.

4. Planifier pour acquérir une maîtrise intégrée de la chaîne de valeur et disposer de la main-d'œuvre appropriée.

À l'instar du Commissariat à l'énergie atomique dans les années 1960, la France devrait développer un outil similaire, tel qu'un sous-commissariat général à la mobilité électrique et aux nouvelles mobilités, qui serait un bras armé du comité stratégique de filière et se nourrirait aussi des travaux de l'Observatoire français des métaux pour les filières industrielles (Ofremi). Cela permettrait à la France de développer une maîtrise intégrée de l'ensemble des maillons de la chaîne de valeur de la mobilité électrique (notamment la gestion thermique, les semi-conducteurs, les matériaux à haute performance), un véritable savoir-faire et une forte capacité d'innovation. Il convient de mieux coordonner et accompagner le passage à l'échelle des innovations pour garantir que l'industrialisation des nouvelles solutions se passe en France et en Europe. À cela il est impératif d'ajouter une politique de formation robuste, développée en étroite coordination avec les acteurs industriels pour que les filières de formations soient en mesure de fournir les techniciens, ingénieurs, cadres, chimistes, etc. qui sont indispensables au développement et maintien des nouvelles

infrastructures et équipements de pointe. L'inclusion des femmes dans ces métiers sera une condition majeure pour répondre aux besoins de ces nouvelles filières industrielles.

- 5. Développer la sobriété à tous les niveaux en tant que clé de voûte de la résilience.** L'Europe et la France seront confrontées à une forte contrainte sur l'approvisionnement en matières premières critiques, contrainte qui sera renforcée en cas d'essor des ventes des grosses automobiles électriques. Produire des grosses batteries pour de gros véhicules est un non-sens du point de vue des effets d'immobilisation de volumes importants de matières premières, de l'empreinte liée à leur extraction, de l'aggravation des risques de sécurité d'approvisionnement, et par conséquent des potentiels effets de ralentissement du passage à la mobilité électrique et d'augmentation des pressions sur l'environnement et les communautés riveraines des sites d'exploitation (car il n'y a pas d'activité minière 100 % propre et durable). Les stratégies de bonus-malus en fonction de la puissance de la batterie sont pertinentes et méritent d'être resserrées et élargies à toute l'Europe et à l'ensemble des pays du G7 et G20, mais avec des exceptions, comme les locations courte durée par exemple pour privilégier les solutions d'appoint. Dans la même logique, limiter la vitesse sur autoroute à 110 kilomètres par heure (km/h) ou 120 km/h comme en Belgique ou au Portugal et renforcer les contrôles de vitesse permettra de réduire la consommation des véhicules thermiques, mais aussi des VE, qui auraient ainsi un besoin d'autonomie plus réduit. Plus généralement, une réflexion s'impose au niveau de la société sur le coût de l'instantanéité et la nécessité d'optimiser le taux de remplissage et les trajets (par exemple lors des livraisons). Un effort concerté de tous les acteurs publics, privés et citoyens/consommateurs est nécessaire pour gagner le pari industriel et sociétal de la mobilité routière électrique.
- 6. Réimaginer la mobilité afin de la rendre plus durable, plus accessible et plus juste.** À l'heure de la transition énergétique et digitale, répliquer à l'identique le modèle de la mobilité thermique en y substituant le VE ne serait pas en ligne avec les ambitions climatiques de l'UE et de la France. Les pouvoirs publics doivent accélérer la mise en place des nouvelles formes de mobilité partagée (covoiturage pour accroître le taux d'occupation, train, bus, emport du vélo dans les trains et bus aux heures de pointe, etc.) et de la mobilité en tant que service, en se coordonnant avec les usagers et les acteurs industriels, notamment avec l'aide des outils digitaux et de l'intelligence artificielle (IA). Les autres formes de mobilité sont aussi à privilégier, tout comme les mesures visant à aider les ménages modestes à accéder aux VE sont clés (*leasing* à 100 €/mois par exemple). Un système d'incitations/pénalisations pourrait être utile pour dissuader l'achat d'un deuxième véhicule familial et l'utilisation d'autres types de mobilité, sans toutefois pénaliser les personnes vivant dans des zones difficiles d'accès ou encore défavorisées. Le rail devrait être modernisé et réinvesti, non seulement pour réduire le fret routier, mais aussi pour rendre le train plus attractif : tarifs pour les groupes/familles/personnes à revenu réduit, possibilité de transporter son véhicule dans le train,

multiplication des destinations desservies et des horaires (y compris des trains de nuit). Les solutions de transport en commun dans les villes sont à démultiplier, le vélo et la marche à encourager par des itinéraires protégés, le télétravail et la réorganisation des horaires de travail et des périodes de congés méritent d'être envisagés. 20 % des Français vivent dans les campagnes, et bon nombre de ces solutions alternatives n'y sont pas adaptées. Ces populations, qui souvent ont des vieux véhicules mais qui servent peu, ne doivent pas être prises dans un étau et des aides spécifiques seront à prévoir. Sans un effort de société axé sur la sobriété, la flexibilité et l'inclusion territoriale, le VE ne saura pas résoudre à lui seul le problème d'une mobilité toujours plus polluante.

7. Inscrire dans la durée et calibrer le dispositif de soutien budgétaire au déploiement de la chaîne de valeur de la mobilité électrique propre en France, dont le coût budgétaire pourrait être de l'ordre de 8-9 Mds€/an ces prochaines années.

Les coûts du déploiement des principaux maillons des chaînes de valeur de la mobilité électrique sont supérieurs à 100 Mds€ en France sur 15 ans, répartis entre les constructeurs, l'État et les collectivités locales, ainsi que les gestionnaires d'infrastructures de recharge et les utilisateurs. Dans l'ensemble, le coût pour l'État s'élève ainsi à environ 55-60 Mds€ sur un peu plus de dix ans, soit au minimum, 5 Mds€ par an en moyenne – bien plus dans les prochaines années pour lancer les investissements capitalistiques, et moins dans un second temps une fois que les usines, bornes et mines sont construites, et qu'il ne faut plus que soutenir l'achat des véhicules. Si l'on estime que 70 % des sommes doivent être allouées ces cinq prochaines années, cela représente une dépense de 40 Mds€ sur 5 ans, soit une fourchette de 8-9 Mds€ par an d'ici 2030, ce qui est considérable. Ces sommes méritent d'être intégrées dans les prévisions budgétaires qui doivent pouvoir être planifiées sur plusieurs années et ne pas être remises en cause tous les ans. Cette planification budgétaire pluriannuelle doit aussi prendre en compte la baisse progressive des recettes fiscales liées à la baisse de la consommation des carburants, et des autres opportunités fiscales, comme l'accroissement des recettes liées à la fiscalité carbone. Pour rappel, la facture pétrolière de la France a atteint 58,6 Mds€ en 2022, si bien que cet effort en apparence très important permettra de réduire considérablement cette facture dans un contexte où l'on peut estimer que le prix du baril restera élevé (maintien d'une demande élevée et sous-investissement chronique), même si dans le même temps, la facture pour certains matériaux importés augmentera. Si le Projet de Loi de Finances 2024 ne prévoit pas une telle prévision pluriannuelle, il comprend néanmoins un premier pas majeur en ce sens, car le gouvernement va devoir transmettre chaque année au Parlement, avec l'examen de la loi de finance, une stratégie pluriannuelle qui présente les financements de la transition, et qui sera ainsi débattue à l'Assemblée nationale et au Sénat.

8. Protéger les industries face aux pratiques déloyales et moins vertueuses. Il est impératif que les pouvoirs publics puissent protéger les acteurs européens contre le *dumping*, la violation de la propriété intellectuelle, les prises de participation hostiles, mais également contre

des concurrents qui bénéficient des avantages déloyaux et qui produisent avec une forte empreinte carbone, sans être soumis aux mêmes contraintes réglementaires. Désormais adopté, le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières devrait être élargi à des biens semi-finis et finis comme les VE et les batteries pour éviter les effets secondaires (renchérissement du prix de l'acier européen au détriment de sa compétitivité au sein de l'Europe même, concurrence déloyale sur les biens semi-finis ou équipements), et la politique ambitieuse d'éco-design qui se dessine devra être effectivement mise en œuvre, en ligne avec les progrès dans la décarbonation de l'industrie européenne de l'acier. Cela requiert aussi d'avancer sur les standards de comptabilité des émissions et les systèmes de *reporting* et traçabilité pour que les efforts des acteurs européens, y compris des équipementiers, soient sanctuarisés. Cela étant posé, il ne faut pas tomber dans le piège du découplage industriel. Les investissements chinois en France et en Europe doivent être possibles, à condition qu'ils respectent strictement toutes les règles auxquels sont soumis les constructeurs européens, et il semblerait que certains de ces acteurs soient déjà en mesure d'afficher de bonnes performances environnementales sur certains maillons des chaînes de valeur. Enfin, Européens et Britanniques devraient tout mettre en œuvre pour amender les accords en vigueur qui s'apprêtent à taxer les VE et risquent de pénaliser les industries des deux côtés de la Manche à un moment aussi crucial.

- 9. Exploiter l'essor de la mobilité électrique pour renforcer l'intégration du système énergétique.** À travers le pilotage intelligent de la recharge des VE et à condition que les réseaux électriques soient adaptés pour accueillir un grand nombre VE, non seulement en tant qu'utilisateurs du réseau, mais aussi en tant que fournisseurs de service de stockage, la mobilité électrique pourrait faciliter l'intégration des énergies renouvelables et la gestion des pics de consommation. Cette opportunité doit être d'abord pleinement maîtrisée et comprise (impact sur la durée de vie des batteries, compréhension des usages/pratiques et barrières/opportunités qui y sont associées, etc.), puis intégrée le plus vite possible dans les schémas de développement du système électrique et accompagnée en coordination avec les gestionnaires de réseaux. En outre, pour le stockage électrique stationnaire, il faudrait donner la priorité aux batteries Lithium-Fer-Phosphate (LFP) et en seconde vie, ainsi qu'aux autres technologies (i.e. réseaux de chaleur et de froid, volants d'inertie, etc.), afin de limiter les pressions sur la demande en métaux critiques pour la fabrication des batteries.
- 10. S'assurer que l'UE est dotée des moyens appropriés pour répondre aux polycrises et différents défis industriels ou de compétitivité.** Alors qu'un travail de clarification des schémas de soutien disponibles pour les industries européennes dans le cadre des différents fonds européens doit être poursuivi, l'UE doit s'attaquer à d'autres facteurs pour améliorer sa compétitivité face aux mécanismes de soutien comme l'*Inflation Reduction Act* (IRA). Cela passe notamment par le renforcement de la politique de formation et de R&D, la mise en place des infrastructures indispensables aux industries

(réseaux électriques et hydrogène, actifs fonciers, voies ferrées, ports, etc.), la facilitation des investissements, y compris par des crédits d'impôts pour les maillons stratégiques. Le budget de l'UE doit être revu à la hausse pour lui permettre d'exister dans la confrontation industrielle mondiale, mais aussi pour prévenir la fragmentation du marché unique au travers de l'octroi inégal des aides d'État aux industries, ce qui serait défavorable aux pays dotés d'une capacité budgétaire limitée.

Sommaire

INTRODUCTION	21
Un contexte de polycrises.....	23
Enjeux et défis pour les constructeurs et équipementiers.....	25
Défis pour les États et pouvoirs publics.....	28
Enjeux pour le consommateur et usager.....	30
UNE INDUSTRIE AUTOMOBILE FRANÇAISE EN MUTATION DANS UN CADRE LEGISLATIF RESOLUMENT ORIENTE VERS LA MOBILITE ELECTRIQUE	32
La transformation du cadre règlementaire européen et français.....	32
État des lieux de l'industrie et du marché automobile en France	36
BOULEVERSEMENT DES CHAINES DE VALEUR : LA DIMENSION STRATEGIQUE.....	41
L'amont de la chaîne de valeur – le talon d'Achille de l'industrie automobile électrique française et européenne	42
La transformation des matières premières et le défi de la dépendance	62
La fabrication des batteries : les <i>gigafactories</i>	67
L'économie circulaire au service d'une chaîne de valeur du VE qui se structure en Europe	69
LA RESILIENCE DU PASSAGE A LA MOBILITE ELECTRIQUE : ANALYSE DE L'ECART ENTRE LES BESOINS ET LES CAPACITES DE PRODUCTION DES MATIERES PREMIERES SELON DIFFERENTS SCENARIOS.....	73
Scénarios à l'échelle de la France	73
Scénarios à l'échelle de l'UE	76
Résultats pour la France	77
Résultats pour l'Europe.....	84
Estimation des coûts du déploiement d'une filière industrielle résiliente et impacts budgétaires pour la France.....	90

Introduction

À la fin des années 2010, le passage à la mobilité routière électrique était incertain, balbutiant et controversé. Les constructeurs ne voulaient s'engager que partiellement et à long terme, d'autres solutions technologiques étaient envisagées (l'hydrogène, le biométhane, l'amélioration des moteurs thermiques, les véhicules hybrides), les batteries étaient considérées comme des commodités parfaitement fongibles pouvant être importées d'Asie sans autre enjeu que le prix (voué à baisser fortement), les bénéfices environnementaux étaient sujet à controverse et les consommateurs étaient partagés entre curiosité, perplexité, anxiété face aux coûts et enjeux de performances, ou indifférence. Les États écoutaient les constructeurs et craignaient des destructions d'emplois ou une ségrégation avec des produits de luxe qui ne pouvaient pas être massifiés. Ils étaient néanmoins déterminés à agir par la contrainte réglementaire et des mesures de soutien mais hésitant à fixer des objectifs trop contraignants. Dans l'ensemble, l'idée restait répandue qu'il était souhaitable de poursuivre les progrès technologiques dans la mobilité thermique, avec des moteurs sans cesse plus efficaces, des carburants toujours moins polluants, tout en déployant progressivement la mobilité électrique (en particulier à travers les véhicules hybrides) et en développant d'autres mobilités, notamment partagées. La chancelière allemande Angela Merkel, très attentive aux intérêts de l'industrie automobile, était surnommée « la chancelière du diesel » (*Dieselkanzlerin*⁸). Parmi les rares embryons de politiques industrielles européennes, la Commission européenne (CE) avait déjà lancé l'alliance pour les batteries pour favoriser des coopérations industrielles et permettre d'assouplir des aides d'État (projets importants d'intérêt européen commun – IPCEI).

Pendant ce temps, en Chine, une révolution était en marche : le pays n'avait jamais percé dans la mobilité thermique, monopole technologique des Européens, mais des dizaines de nouveaux acteurs de la mobilité routière électrique jusqu'alors inconnus étaient en train d'émerger, puis de s'intégrer au sein de chaînes de valeur qui ont pris un essor inédit. À la fin des années 2010, l'industrie du VE dans le monde était avant tout chinoise, quasi absente au Japon et aux États-Unis (à l'exception de Tesla), et marginale en Europe.

Après les élections européennes de mai 2019 et malgré la pandémie, la donne a été entièrement bouleversée en faveur d'une massification de la mobilité routière électrique du fait des nouveaux objectifs rehaussés et accélérés de décarbonation adoptés par l'UE.

8. S. Kinkartz, « Angela Merkel : Die Dieselkanzlerin », DW, 28 mai 2018, disponible sur : www.dw.com.

La hausse continue des émissions de CO₂ du secteur du transport depuis 1990, qui représente un tiers des émissions françaises par exemple, était insoutenable, et le *dieseldgate* a entaché la confiance dans l'industrie. L'ampleur du transport de fret par camion du fait notamment de la faiblesse du rail, des insuffisances et contradictions des politiques d'aménagement des territoires ces trente dernières années, et l'essor des *sport utility vehicles* (SUVs) expliquent l'ampleur du problème des émissions du segment routier. Les véhicules hybrides, qui ont pendant un temps dominé les ventes, sont aussi insuffisamment performants à l'usage. Sans bouleversement technologique pour réduire considérablement les émissions⁹, impossible de dépolluer les villes, où les infractions aux seuils réglementaires européens sur les pollutions sont nombreuses. La France a ainsi été condamnée en 2019 par la Cour de Justice de l'UE pour avoir dépassé notamment les valeurs limite sur le dioxyde d'azote depuis 2010¹⁰. Des demi-mesures eurent été insuffisantes : seules une massification et une généralisation de la mobilité électrique étaient de nature à déclencher les investissements requis dans toute la chaîne de valeur et dans les équipements, et provoquer l'électrochoc dans l'industrie automobile. Si certains affirment croire dans la mobilité routière hydrogène, ou uniquement pour le segment des utilitaires ou camions dans les vertus des véhicules hybrides, un consensus en faveur de l'électrification directe s'est dégagé. Elle connaît d'ailleurs des progrès fulgurants en termes de performances. Les Européens ont ainsi pris dans un premier temps le leadership parmi les pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), et les États-Unis ont finalement emboîté le pas, trois ans plus tard, avec l'IRA voté à l'été 2022.

En 2023, un bouleversement complet de l'industrie automobile est en cours en Europe, et ce en un temps record. Les ventes de VE augmentent très fortement tous les ans et ont dépassé en juin 2023 les ventes de véhicules diesel, occupant désormais la troisième place (15,1 %) ¹¹ après les voitures essence (36,3 %) et les véhicules hybrides (24,3 %). L'infrastructure de recharge se déploie également. Les VE, qui étaient une curiosité il y a quelques années, sont visibles partout. La France en compte près d'un million sur 38,7 millions de véhicules immatriculés.

9. L'empreinte du VE est avant tout liée aux matériaux et à l'énergie requise pour produire et assembler ses composants, comme les cellules de batteries et dans une moindre mesure seulement, au contenu carbone de l'électricité pendant sa phase d'utilisation. C'est tout l'inverse du véhicule thermique, qui a une empreinte plus faible à la fabrication mais élevée à l'utilisation. Il faut noter que dans l'ensemble, un véhicule électrique chinois a une empreinte carbone plus importante qu'un européen étant donné que le système électrique y est bien plus carboné, mais qu'il y a aussi des différences importantes en Europe, entre un véhicule aux batteries fabriquées en Pologne, ou en France par exemple. Avec la décarbonation en cours des systèmes électriques, et les efforts consacrés à la réduction des émissions sur le cycle complet du véhicule, l'empreinte d'un VE vendu en Europe devrait s'améliorer constamment. L'impact du VE sur la dépollution des villes est néanmoins avéré dans toutes les circonstances.

10. S. Mandard, « Pollution de l'air : la France condamnée par la Justice européenne pour ne pas avoir protégé ses citoyens », *Le Monde*, 24 octobre 2019, disponible sur : www.lemonde.fr.

11. « New Car Registrations: +17.8% in June, Battery Electric 15.1% Market Share », ACEA Driving Mobility for Europe, 19 juillet 2023, disponible sur : www.acea.auto.

Cette étude entend évaluer l'état de développement des chaînes de valeur des batteries pour VE dans le contexte du passage accéléré à la mobilité routière électrique. Il s'agit d'évaluer si les investissements, projets et politiques qui sont mises en œuvre sont à la hauteur des défis et permettent de garantir *a minima* la pérennité des chaînes de valeur de l'industrie automobile française et d'assurer leur résilience à moyen et long termes. Elle entend aussi explorer l'opportunité et les conditions d'une ré-industrialisation et d'une re-dynamisation de la filière automobile tout en garantissant un niveau élevé de résilience géopolitique et géoéconomique. Il s'agit en particulier d'identifier les opportunités et vulnérabilités des développements en cours, et de formuler des recommandations à destination des constructeurs, des pouvoirs publics et des consommateurs.

Un contexte de polycrises

Ces bouleversements de l'industrie automobile et de la mobilité revêtent des enjeux et défis industriels, économiques, technologiques, géopolitiques, géoéconomiques, fiscaux, sociétaux, énergétiques et environnementaux absolument inédits. Si l'essor des ventes est spectaculaire sur la période 2019-2023, le succès industriel et commercial de la massification rapide du déploiement de la mobilité routière propre est encore très incertain.

Les constructeurs automobiles européens disposaient d'une avance technologique dans la mobilité thermique que seuls les constructeurs coréens ou japonais étaient capables d'égaliser. Dans le domaine de la mobilité électrique, les acteurs chinois ont pris une longueur d'avance importante tout au long de la chaîne de valeur, sont capables d'innover, de produire en masse à prix compétitifs (du fait de leur écosystème performant avec des chaînes de valeur intégrées, des effets volumes sans commune mesure avec les Européens, un vrai savoir-faire industriel et technologique mais aussi de multiples subventions directes et indirectes) et s'appêtent à exporter en masse leurs véhicules très attractifs et compétitifs en Europe, malgré le coût du transport maritime et les droits de douane de 10 % (27 % aux États-Unis). Ils disposent actuellement d'une capacité de production de batteries supérieure à 900 GWh, bien plus élevée que les besoins de leur marché national et probablement bien supérieure à la capacité que déploiera l'Europe à l'horizon 2030.

La Chine est devenue le premier exportateur de véhicules début 2023 (636 000 unités en au premier semestre 2023¹²), devançant le Japon. La part des ventes de VE chinois en Europe se renforce et pourrait rapidement atteindre les 15 %. Le géant BYD illustre ce succès chinois : il produit désormais plus de voitures que Tesla (1,4 million d'unités vendues en H1 2023), s'engouffre dans l'entrée de gamme (catégorie A), est le troisième

¹² H1 2023 renvoie à la première moitié de l'année 2023

producteur mondial de batteries (derrière CATL et LG-Energy Solutions) et a une structure intégrée qui lui donne un accès plus sécurisé aux matières premières en termes de volumes et de prix. Le salon automobile de Shanghai qui s'est tenu en avril 2023 a suscité des inquiétudes en Europe du fait de l'essor des modèles bon marché et attractifs des constructeurs chinois, qui jusqu'alors, se concentraient sur les véhicules premium. Celui de Munich a montré que des acteurs chinois entendent être à la pointe des enjeux environnementaux.

Pour la CE, il y a un vrai risque de concurrence déloyale, si bien qu'une enquête sur les subventions chinoises a été ouverte en septembre 2023. En coulisse, les États européens cherchent à attirer dans leurs pays les investissements chinois. Ainsi, des acteurs chinois investissent dans des *gigafactories* en Hongrie, en Allemagne et déploient désormais aussi des partenariats industriels avec Orano en France par exemple. À la différence des Américains qui cherchent à rompre les échanges (découplage) pour ne pas affaiblir leurs industries naissantes, les Européens cherchent à européeniser l'industrie chinoise sur le marché européen. Les tensions commerciales ne concernent pas que la Chine : les conséquences du Brexit forment un autre défi, avec la mise en œuvre de taxes de 10 % sur les véhicules de part et d'autre à partir de janvier 2024 du fait des règles d'origine (60 % des batteries et 40 % des autres composants doivent être fabriqués en UE ou au Royaume-Uni (UK), ce qui n'est pour l'instant pas réalisable ni côté UK ni côté UE étant donné la dépendance aux matériaux d'Asie. La menace réside dans le risque que ce délai très court compromette la compétitivité des acteurs des deux côtés de la Manche, tout en favorisant les importations en provenance d'Amérique du Nord, de Chine, du Japon ou de Corée.

En Europe, ces bouleversements interviennent dans le contexte d'une réduction de la part de l'industrie dans le produit intérieur brut (PIB) – avec des proportions variables –, du fait de l'essor des chaînes de valeur optimisées à l'échelle globale. Si les taux d'emploi des économies européennes sont élevés, trois menaces planent : la crise des industries énérgo-intensives face aux chocs des prix de l'énergie et de l'inflation, l'insertion de l'IA qui ouvre des possibilités de création de valeur et de gains de productivité mais dont les impacts négatifs sur certains emplois doivent être accompagnés, et l'impact sur l'emploi et l'industrie de la hausse des taux d'intérêt, qui peut réduire la demande des consommateurs et la capacité d'investissement, au moment où la concurrence s'aiguise et où il faut moderniser l'outil productif. Cette fragilisation de certaines industries, qui forment un socle important de la stabilité et prospérité des économies européennes, intervient au moment où l'UE souhaite entreprendre un effort d'accélération de sa transition énergétique pour atteindre -55 % d'émissions de gaz à effet de serre (GES) en 2030 et la neutralité carbone en 2050, et vise à lutter contre toutes les dégradations environnementales. Elle s'est dotée d'un cadre politique, législatif et réglementaire inédit, le « Fit for

55¹³ », qui a été adopté entre juillet 2021 et l'été 2023, et doit désormais être mis en œuvre. Dans ce cadre a été actée l'interdiction de la vente de véhicules neufs thermiques en 2035 et une réduction forte des budgets CO₂ des constructeurs pour y parvenir. La capacité de l'UE à mettre en œuvre ces objectifs 2030 et 2050 dépend de l'équilibre efficace qui pourra être trouvé entre les objectifs de sécurité des approvisionnements, de compétitivité, de décarbonation, d'acceptabilité sociétale et de maîtrise des chaînes de valeur, en mobilisant les outils à disposition : politique fiscale et aides d'État, politique de concurrence, contraintes réglementaires, politique commerciale et politique industrielle.

L'industrie de l'automobile est en plein *big bang* et le rôle crucial des pouvoirs publics, des constructeurs et des consommateurs doit permettre de surmonter les défis de cette transition et assurer son succès.

Enjeux et défis pour les constructeurs et équipementiers

Pour les industriels de la chaîne de valeur de l'automobile, il faut investir dans un nouveau produit avec des technologies entièrement nouvelles, et dans un nouvel outil industriel : investir des milliards d'euros dans la création de nouvelles plateformes (châssis) pour les VE, dans les systèmes logiciels, dans l'enveloppe thermique du véhicule (pour maintenir les batteries à bonne température notamment et optimiser leur performance), dans la R&D sur les chimies des batteries, et le tout à travers des processus de qualification des fournisseurs, et équipements, très complexes et coûteux. Les gigafactories qui assemblent des cellules de batteries sont en réalité le sommet de l'iceberg, très visible et médiatisé, d'une chaîne de valeur complexe et profonde, qui apporte de nouvelles dépendances et vulnérabilités.

L'un des enjeux pour les constructeurs automobiles est de déterminer à quel point il faut maîtriser l'ensemble de cette chaîne et développer une intégration verticale, du berceau au tombeau (*from cradle to grave*). Il faut faire des choix, nouer des alliances, et ce à l'échelle nationale, européenne et mondiale, car tout couvrir serait bien trop cher et complexe. Et tout cela dans un contexte de concurrence mondiale de plus en plus intense, souvent inégale, et face à des cycles industriels plus longs que les évolutions technologiques. Ainsi, s'il faut cinq ans pour développer une gigafactory de batteries et 7 à 8 ans pour amortir un châssis, la technologie de batterie évolue, elle, tous les deux ans, et la réglementation automobile est l'une des plus dense, en perpétuelle consolidation. Les

13. Paquet législatif de l'UE visant à aligner des législations clés dans le domaine de l'énergie et du climat sur l'objectif européen de réduction des émissions de gaz à effet de serre de l'UE d'au moins 55 % d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 1990.

innovations dans les chimies des batteries sont permanentes pour réduire la dépendance à certaines matières premières critiques ou améliorer la performance/coût. Ainsi, les batteries nickel manganèse cobalt (NMC) connaissent déjà de fortes évolutions dans leur composition, et d'autres chimies se déploient (LFP) sans nickel (moins chère mais moins dense et plus lourde pour une forte performance), sodium-ion (avec de l'aluminium), sans compter les batteries à électrolyte solide (qui assure le mouvement entre l'anode et la cathode), où Toyota affirme avoir déjà fait une percée disponible dès 2027. Elles permettront aux batteries d'être moins lourdes, moins inflammables, plus rapides à charger, moins exposées à certains métaux et moins chères – sans nécessairement impliquer la concomitance de tous ces aspects.

Les constructeurs et équipementiers doivent à la fois rester dans la course à court terme, tout en évitant d'être dépassés ou vulnérables à moyen terme. L'horizon se dessine avec l'émergence des batteries solides et de la mobilité autonome. Ces domaines suscitent d'ores et déjà des investissements considérables en R&D, avec certains stades déjà intégrés dans les VE connectés et numériques. Les équipementiers doivent aussi accompagner et devancer ces transformations, et certains le font avec succès, comme Valeo, Faurecia, Forvia ou Plastic Omnium. D'autres acteurs, tels que les fonderies, anticipent un déclin inévitable de leur activité, en particulier avec la simplification de la géométrie dictée par les batteries, permettant ainsi de remplacer les fonderies classiques par l'extrusion. Le rôle des équipementiers est de plus en plus central grâce à l'évolution de leurs produits et innovations si bien qu'ils revêtent un rôle stratégique.

Ce faisant, les constructeurs doivent répondre à deux impératifs : persuader davantage de consommateurs d'adopter le VE *via* le prix, les performances et la confiance dans le produit, et travailler à la généralisation des ventes de VE, tout en assurant une bonne performance financière et extra-financière. Les dilemmes sont nombreux, car la réduction des coûts de la batterie (qui représentent la moitié de la valeur du véhicule), entraînera une diminution de sa performance, ce qui, de prime abord, peut déplaire au consommateur. Le constructeur automobile dans l'ère thermique concentrait sa valeur ajoutée dans le moteur, qui se transportait facilement sur les mers, et le design du véhicule, ainsi que sa compétitivité dépendait de sa capacité à organiser des chaînes de valeur à l'échelle mondiale, à vendre des modèles premium, plus chers et avec des marges plus élevées. Tous les autres éléments, dont l'approvisionnement en carburants, n'étaient pas de son ressort.

Dans la mobilité électrique, il y a beaucoup moins de pièces à produire et à assembler, de nombreux maillons sont clés et doivent être maîtrisés ou prises en compte : la chimie des batteries, le *software*, la plateforme, la connectivité, les micro-processeurs, les outils de régulation

thermique de la batterie et du véhicule, les moteurs à aimants permanents, ou à bobines de cuivre sans aimants permanents. Cette étude n'est pas exhaustive et se concentre sur les chaînes de valeur des batteries, mais l'ensemble de ces maillons jouent un rôle majeur dans l'architecture du VE et revêtent des enjeux industriels, technologiques et d'innovation majeurs.

Le transport par les mers de batteries ou VE assemblés pose des défis de sûreté et d'assurance. Si les incendies du Felicity Ace et du Freemantle Highway, qui ont englouti des centaines de millions d'euros de marchandises, n'étaient pas forcément provoqués par les batteries, ces chargements de VE sont des facteurs de risque et compliquent la maîtrise des incendies qui peuvent se déclarer. Les matériaux deviennent plus complexes et coûteux pour peser moins et être plus performants. Il faut par exemple trois fois plus d'aluminium dans un VE, dont la production devra être décarbonée et produire des matériaux de haute qualité, ou des plastiques plus solides et légers, qu'il faudra pouvoir recycler. L'approvisionnement en batteries (les constructeurs sont actionnaires de *gigafactories*) et désormais aussi, la maîtrise de la fourniture en métaux primaires (cas de Tesla, ou Volkswagen qui nouent des accords avec des maisons de négoce ou se couvrent avec des outils financiers) ou secondaires (les constructeurs cherchent à maîtriser le recyclage, à l'image de Renault) jouent un rôle majeur, si ce n'est bientôt, décisif. Les enjeux sont triples : garantir une traçabilité infaillible et un respect strict des engagements et normes de RSE des entreprises, renforcer la sécurité des approvisionnements et la résilience des chaînes de valeur, et enfin, maximiser les opportunités économiques.

Or les constructeurs évoluent dans un environnement très instable.

Au cours des vingt dernières années, l'entrée de la Chine dans l'Organisation mondiale du commerce (OMC) et l'ère de l'essor de la globalisation des échanges a facilité l'établissement des chaînes de valeur mondiales pour les constructeurs, permettant de baisser leurs coûts. Cependant, deux acteurs ont rencontré des difficultés : les États ont vu diminuer l'emploi industriel et la valeur ajoutée industrielle sur leurs territoires, tandis que les équipementiers ont subi des pressions sur les prix, les obligeant également à se réorganiser à l'échelle mondiale. Les constructeurs ont ensuite subi la crise de 2008 et l'année noire de 2012 pour la filière, due à la fois aux retombées de cette première crise, combinées à la montée en puissance des producteurs asiatiques qui, pour la première fois, sont devenus les premiers producteurs mondiaux. Ils ont réagi en développant leurs ventes et industries dans les pays émergents pour gagner de nouveaux marchés (Russie, Turquie, Maroc, Brésil notamment) et réduire leurs coûts de production. L'effondrement des ventes pendant la pandémie, les tensions sur les chaînes de valeur en 2021 et 2022 et la dépréciation des actifs en Russie ont bien entendu

marqué une période de difficultés sans précédent au moment où les efforts de R&D devaient être déployés au maximum pour préparer l'avènement de la mobilité électrique.

Ces constructeurs sont désormais confrontés à une tendance au plafonnement de la demande en Europe, voire à une nouvelle baisse des ventes du fait de la pandémie en 2020 et de l'inflation, qui s'ajoute à une tendance structurelle des quinze dernières années, liée à l'urbanisation (80 % de la population française habite en ville selon l'Institut national de la statistique et des études économiques [INSEE] en 2020). Ils ont aussi subi la crise d'approvisionnement des semi-conducteurs en 2021 et 2022 qui a mis à l'arrêt, ou a ralenti, des usines. Les VE coûtent désormais plus cher à produire, du fait des matériaux et du coût de l'électricité (jusqu'à 50 % d'électricité en plus qu'un véhicule thermique, soit 35-45 MWh par VE contre 20-30 MWh pour le thermique, en plus de l'augmentation des salaires, matières premières et taux d'intérêt). Ils sont vendus à des prix élevés par rapport à leurs équivalents, malgré les aides à l'achat, et les volumes ne sont pas encore assez élevés pour réaliser toutes les économies d'échelle. Atteindre un coût inférieur à 100 €/kWh pour la batterie NMC demeure un objectif central. Trois solutions ont été privilégiées par les constructeurs : se concentrer sur des modèles premium à forte marge quitte à réduire les volumes de vente ; augmenter les prix ; et nouer des alliances et renforcer les concentrations, comme l'illustre Stellantis. Au regard des résultats financiers positifs de 2022, ces stratégies fonctionnent à ce jour, mais les défis sont immenses pour rester innovant et garantir que les modèles électriques du *mass market* seront à la fois attractifs pour le consommateur et rentables pour les constructeurs.

Défis pour les États et pouvoirs publics

Les politiques publiques doivent répondre à de nombreux défis : créer les conditions d'une massification de la mobilité électrique avec des véhicules accessibles à tous (pour l'instant les ventes sont dominées par les ventes de véhicules d'entreprises, ou premium et sont fortement aidées avec des primes à l'achat et à la reconversion, et bien qu'elles augmentent en volume, elles sont encore loin d'être prédominantes) ; cibler le soutien aux industriels (qui logiquement réclament le maximum) et consommateurs de la façon la plus efficace (notamment pour soutenir les VE moins lourds et d'entrée de gamme), et ce dans la durée ; organiser et soutenir le déploiement de l'infrastructure de recharge sur l'ensemble du territoire, pour tous les usagers (notamment en ville, dans les copropriétés), et assurer une bonne interopérabilité et transparence d'utilisation ; favoriser la relocalisation de sites industriels, d'emplois et de valeur ajoutée dans les territoires, toujours dans la durée, et éviter la poursuite de l'érosion de l'emploi, ce qui implique un cadre fiscal et des prix de l'électricité favorables ; organiser les interactions entre mobilité électrique et système

électrique, notamment pour la charge et le stockage stationnaire, l'utilisateur ou les gestionnaires de flottes ont la possibilité de jouer un rôle dans le système électrique ; assurer la sécurité économique et la résilience de ces chaînes de valeur, en identifiant les maillons où la puissance publique doit intervenir car les acteurs économiques ne peuvent le faire pour des questions de coûts et de capacités, et en se dotant de capacités d'action. Cela englobe divers domaines tels que les mines, les unités de raffinage, les stocks stratégiques, les semi-conducteurs (il en faut 1 000 dans un VE, dix fois plus que dans un véhicule thermique), et doit prendre en considération les évolutions technologiques et le contexte international. L'objectif ultime est de réduire les émissions polluantes, notamment en milieu urbain (zones à faibles émissions), tout en diminuant les émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur. Ce processus doit être accompagné pour assurer une transition équitable et préserver l'acceptabilité de ces changements.

L'arsenal réglementaire présente des avantages et des inconvénients : un excès de réglementations fragilise l'industrie, qui doit constamment investir pour s'y conformer. Ces règles doivent également être sensibles aux cycles industriels et d'investissement afin d'éviter la création d'actifs non rentables.

L'État doit également anticiper et gérer la baisse des recettes fiscales sur les carburants tout en faisant face à l'augmentation des coûts liés aux mesures de soutien. La fiscalité sur les carburants est devenue la quatrième source de recettes fiscales en France, en forte augmentation, soit 10 Mds€ entre 2017 et 2022, pour atteindre environ 20 Mds€ en 2022. En outre, la TVA sur les carburants (20 % sur le montant TCIPÉ¹⁴ comprise) représente des recettes substantielles (32 Mds€ en 2022)¹⁵. Quant à la taxe carbone, désormais plafonnée à 44,6 €/tonne (t), elle a rapporté environ 9 Mds€ depuis 2018. Son augmentation de dix points a été reportée sur la période 2024-2027 (au lieu de 2019 et 2022)¹⁶. Dans le même temps, l'État dépense de plus en plus pour soutenir la mobilité électrique : au niveau du consommateur, les primes à l'achat/bonus écologique, prime à la conversion représentent 1,3 Mds€ d'aide en 2022¹⁷, contre 250 millions d'euros (m€) pour le plan vélo. À cela on ajoute l'investissement public dans les infrastructures de recharge, y compris subventions des territoires aux infrastructures (il faut viser 1 borne pour 10 véhicules et les aides peuvent

14. Taxe sur la consommation intérieure de produits énergétiques.

15. E. Conesa, « Climat : les "recettes brunes de l'État", angle mort du débat sur le financement de la transition », 11 juin 2023, *Le Monde*, disponible sur : www.lemonde.fr.

16. « Taxe carbone : quelles politiques macroéconomiques pour favoriser son acceptabilité ? », Note de l'Observatoire Macro n° 202301, CEPREMAP, février 2023, disponible sur : www.cepremap.fr.

17. « Budget 2023 du ministère de la Transition énergétique : 19 milliards d'euros pour accélérer la décarbonation de nos modes de vie et protéger les Français contre la hausse des prix de l'énergie », Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, Ministère de la Transition énergétique, 26 septembre 2022, disponible sur : www.ecologie.gouv.fr.

atteindre 2 160 € par borne dans les territoires), les principales sources de financement étant France 2030 et la loi de finance. Ainsi, si le financement de la transition énergétique, y compris dans sa dimension mobilité, sera nécessairement élevé et donc contraint dans un contexte économique tendu, les pouvoirs publics se doivent de trouver de nouvelles sources de financement, sachant que sans équité et justice sociale et environnementale, la transition ne se fera pas.

Au niveau des chaînes de valeur industrielles, l'État a fourni des prêts à taux zéro, des subventions aux industries de micro-processeurs, des crédits d'impôts recherche, et finance bien entendu la formation.

Autre facteur nouveau qu'il faut développer et organiser : l'insertion du VE dans le système électrique. La plupart du temps, le VE est à l'arrêt : s'il est branché, la charge peut devenir intelligente et bi-directionnelle, ce qui ouvre d'immenses opportunités d'optimisation du système électrique en favorisant la recharge lorsque l'électricité est abondante et peu chère, et réinjectant une charge moindre en périodes de pointe (opération qui s'avère généralement sans impact sur la durée de vie de la batterie). De la même façon, il faut organiser et répartir la recharge rapide pour ne pas saturer ou surdimensionner les réseaux et trouver le bon équilibre entre confort d'utilisation et efficacité-coût des infrastructures. Enfin, les batteries ouvrent la possibilité de développer le stockage stationnaire. Les batteries LFP ont les meilleures caractéristiques pour ces services au réseau, et dans certains cas, des agrégateurs de batteries usagées pourront être installés.

Enjeux pour le consommateur et usager

Il s'agit essentiellement d'adopter ces VE non comme véhicule secondaire, mais principal : s'approprier la technologie, avoir le pouvoir d'achat requis et ne pas subir de discriminations à l'achat ou à l'utilisation, avoir un confort d'utilisation satisfaisant même s'il requiert des adaptations, et avoir confiance dans l'empreinte environnementale et climatique du véhicule. Un défi majeur consistera à progressivement adapter l'utilisation de la voiture et des besoins de mobilité aux contraintes liées aux chaînes de valeur de la mobilité électrique. Bien que le coût d'achat d'un VE reste actuellement plus élevé que son équivalent thermique, son coût d'utilisation est généralement inférieur en raison de frais de maintenance moindres et d'un coût réduit de l'électricité. Cela concorde avec l'objectif de promotion des VE dans le cadre de la proposition de révision de la Directive sur la taxation de l'énergie.

Dans l'ensemble, le défi est de permettre aux classes moyennes rurales, qui ont souvent deux véhicules par foyer (contre un pour les populations urbaines), d'accéder à ces VE, sachant que la moyenne journalière des distances parcourues est faible et parfaitement compatible avec la mobilité électrique. La location avec option d'achat peut être une piste facilitant

l'accès à ces VE au plus grand nombre. L'autre défi pour les usagers est d'avoir les outils pour repenser leur propre mobilité si bien qu'*in fine*, le modèle du véhicule individuel, voire de deux véhicules par foyer, soit dépassé.

Une industrie automobile française en mutation dans un cadre législatif résolument orienté vers la mobilité électrique

La transformation du cadre réglementaire européen et français

Le Pacte vert européen a accéléré la transformation du secteur automobile à tous les niveaux, s'attaquant de manière holistique aussi bien à la question de sa décarbonation, qu'aux aspects de durabilité, d'économie circulaire et de politique industrielle. Alors que l'objectif critique à horizon 2035 pour les constructeurs d'automobiles européens est de garantir une offre de véhicules neufs 100 % zéro-émissions, nécessairement constituée de VE ou de véhicules à piles à combustible, le secteur de l'automobile fait face à une effervescence législative et réglementaire qui concerne tous les niveaux de la chaîne de valeur du véhicule.

Au niveau européen, le Règlement révisé sur les limites d'émissions de CO₂ pour les voitures et camionnettes neuves prévoit une diminution des émissions de CO₂ de 15 % sur la période 2025-2029 (vs. 2021), de 55 % pour la période 2030-2034 (vs. 2021) et de 100 % à partir de 2035 (vs. 2021). En outre, l'UE souhaite également renforcer son action pour réduire les émissions totales d'oxydes d'azotes (NOx¹⁸) et de particules fines, étant donné qu'en 2018 plus de 39 % des émissions de Nox et 10 % des émissions primaires de PM_{2.5}¹⁹ et de PM₁₀²⁰ dans l'UE provenaient du transport routier, avec des pourcentages plus élevés dans les villes. Ce dernier est responsable d'environ 70 000 décès prématurés dans l'EU-28 en 2018. Par conséquent, la CE a proposé de remplacer les normes Euro 6 par une nouvelle norme Euro 7 à partir de juillet 2025, qui viserait une

¹⁸ On appelle Nox les émissions d'oxydes d'azote émises notamment par la combustion des carburants fossiles.

¹⁹ Particules en suspension dans l'air qui ont un diamètre aérodynamique égal ou inférieur à 2,5 micromètres.

²⁰ Particules en suspension dans l'air qui ont un diamètre aérodynamique égal ou inférieur à 10 micromètres. Elles sont inhalables et peuvent affecter la santé respiratoire, bien que généralement de manière moins profonde que les PM_{2.5}.

réduction de 35 % des émissions totales de NO_x des voitures et camionnettes par rapport à Euro 6, ainsi qu'une réduction de 13 % des particules provenant du tuyau d'échappement et de 27 % des particules provenant des freins d'une voiture. Cette norme est controversée dans la mesure où elle engendrerait des coûts technologiques importants au moment du basculement vers l'électrique. Au niveau français, la Loi d'orientation des mobilités avait déjà fixé depuis 2019 une réduction de 37,5 % des émissions CO₂ en 2030 et l'interdiction de la vente des voitures utilisant des énergies fossiles carbonées à horizon 2040, prévoyant également la création des zones à faibles émissions (ZFE) pour permettre aux collectivités de limiter la circulation des véhicules les plus polluants. La Loi climat et résilience vise à renforcer ces ZFE dans les grandes agglomérations à horizon 2025, donnant lieu à des controverses liées aux impacts économiques et sociaux pour les usagers, y compris les plus vulnérables économiquement²¹.

De nouvelles infrastructures, dispositifs de soutien et règles de tarification carbone sont aussi mis à l'œuvre pour orienter le choix des consommateurs vers le VE.

D'une part, un nouveau marché carbone pour le transport routier et les bâtiments a été créé au niveau européen et devra débiter en 2027 ou au plus tard en 2028 (en cas de prix du gaz extrêmement élevés), avec un prix CO₂ plafonné à 45 €/t CO₂ jusqu'en 2030 minimum. En même temps, les consommateurs devraient pouvoir bénéficier d'une amélioration de l'accès aux énergies renouvelables pour la recharge/le ravitaillement de leurs véhicules, la nouvelle directive sur les ENR (RED III) fixant un objectif de 29 % d'utilisation des ENR dans la consommation finale d'énergie ou une réduction de 14,5 % de l'intensité des GES du transport jusqu'en 2030. La facilitation de la recharge « intelligente » et bidirectionnelle devra être également assurée pour soutenir l'intégration des VE dans le système énergétique.

Le règlement concernant l'infrastructure pour les carburants de substitution (AFIR) met en place des obligations minimales pour tous les pays européens en matière d'installation des bornes de recharge électrique pour les voitures au moins tous les 60 km et pour les camions tous les 120 km, et des stations de ravitaillement en hydrogène devront également être installées au moins tous les 200 km le long du réseau transeuropéen de transport (RTE-T) central, ce qui n'empêche pas un développement plus accéléré au niveau national et donc aller au-delà des obligations minimales pour soutenir et inciter à l'accélération du déploiement des VE.

21. Désormais seulement cinq territoires (Lyon, Marseille, Paris, Rouen et Strasbourg dont les émissions de dioxyde d'azote sont régulièrement en dépassement par rapport aux seuils réglementaires fixés au niveau européen), sur 11 au départ, demeurent concernés par le calendrier de durcissement des zones à faibles émissions (ZFE), tel que définit la Loi climat et résilience. Les agglomérations étant passées sous les seuils réglementaires de pollution sont désormais des « Territoires de vigilance ».

Concernant les mesures de soutien à l'achat, la France est précurseur en instaurant un système d'incitations qui évolue progressivement pour mieux cibler les consommateurs prioritaires, prendre en compte des objectifs connexes de résilience et de durabilité des véhicules, et favoriser les VE fabriqués en Europe. Le futur bonus écologique français qui s'appliquera à partir de janvier 2024 établit six critères environnementaux, dont les émissions de CO₂ liées aux composants du VE comme l'acier ou l'aluminium. Si les impacts sur les modèles seront connus à la fin de l'année, l'objectif est de favoriser les petits véhicules (abaissement du seuil du malus de 1,8 t à 1,6 t) et d'exclure ceux importés dans l'UE (sauf s'ils ont une empreinte vertueuse et avérée). Ainsi, le système bonus-malus introduit par la loi Grenelle de l'environnement a évolué depuis janvier 2023 pour exclure les subventions aux véhicules hybrides et mieux cibler les bénéficiaires et le type de voiture subventionnée²². Une expérimentation de prêt à taux zéro pour des véhicules électriques dans les ZFE est aussi en cours. D'autres initiatives comme le Plan national de covoiturage au quotidien qui vise à tripler les trajets quotidiens réalisés en covoiturage (de 900 000 à 3 millions) à horizon 2027 pour augmenter le taux de remplissage des voitures, ainsi que le plan vélo et les différents financements accordés par le Plan de relance (11 Mds€ en faveur des transports sur la période 2020-2022, dont 40 % vers le ferroviaire, 1,2 Mds€ vers les mobilités du quotidien, 2,7 Mds€ vers la conversion du parc automobile) s'ajoutent au cadre législatif pour contribuer à l'avènement d'un nouveau système de transport, plus durable, mais également plus complexe.

Avec le Règlement sur les batteries²³, qui est entré en vigueur le 18 août 2023, l'UE adopte une approche holistique quant à la durabilité et la performance environnementale des batteries, comprenant l'ensemble du cycle de vie de la batterie, depuis l'origine jusqu'à la fin de vie des matériaux et minerais incorporés. Le règlement institue des obligations de déclaration et d'étiquette d'empreinte carbone pour les batteries des VE, ainsi que d'un passeport numérique de batterie permettant d'avoir des informations sur le modèle de batterie et des spécifications sur son utilisation, pour renforcer la

22. Le bonus écologique en 2023 s'applique aux véhicules (catégorie voiture particulière) fonctionnant exclusivement à l'électricité, à l'hydrogène ou une combinaison des deux, et ayant une masse inférieure à 2,4 tonnes. Le coût d'acquisition du véhicule doit être inférieur à 47 000 €. Le montant de l'aide est fixé à 27 % du coût d'acquisition toutes taxes comprises, augmenté le cas échéant du coût de la batterie si celle-ci est prise en location. Le bonus est plafonné à 5 000 € pour les particuliers et 3 000 € pour les personnes morales. Les particuliers dont le revenu fiscal de référence par part est inférieur ou égal à 14 089 € peuvent bénéficier d'une augmentation de 2 000 € de ce bonus. Il est cumulable avec la prime à conversion (jusqu'à 6 000 € pour un VE) et une sur-prime de 1 000 € est octroyée quand le bénéficiaire habite ou travaille dans une zone à faibles émissions mobilité.

23. Règlement (UE) 2023/1542 du Parlement européen et du Conseil du 12 juillet 2023 relatif aux batteries et aux déchets de batteries, modifiant la directive 2008/98/CE et le règlement (UE) 2019/1020, et abrogeant la directive 2006/66/CE (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE), disponible sur : www.eur-lex.europa.eu.

traçabilité du VE. Il fixe également des objectifs en matière de recyclage et d'incorporation de matières recyclées (nickel, cobalt, lithium et plomb) à atteindre à partir de 2031, et un devoir pour les pouvoirs publics de prendre en compte l'empreinte environnementale des batteries dans le cadre des marchés publics dans la perspective de la minimiser. En même temps, l'industrie exprime des inquiétudes quant au règlement REACH et ses implications pour la production des batteries en Europe après 2028, ainsi que sur le besoin d'accompagnement pour développer la traçabilité tout au long des chaînes de valeur avec des outils concrets.

Autre élément clé d'un point de vue de l'autonomie stratégique, les obligations pour les opérateurs économiques de mettre en place une politique de « diligence raisonnable » (à laquelle s'ajoutent les obligations imposées par la Directive concernant le Reporting de durabilité des sociétés, qui s'appliquera à partir de 2024 pour les entreprises de plus de 500 salariés et progressivement aux autres, notamment en matière de publication des informations sur la durabilité dans le rapport de gestion, de façon publique et gratuite). En outre, un système de contrôle et de transparence sur la chaîne de valeur, permettant d'identifier les acteurs de la partie amont, est prévu, ainsi que la mise en place de mesures de gestion de risques et des mécanismes de remédiation. La réglementation prévoit également une obligation pour les producteurs de batteries de mettre en place des systèmes de collecte des batteries usagées, qui peut être réalisée en coopération avec d'autres acteurs (distributeurs, usines de traitement, autorités publiques, etc.).

Tableau 1 : Taux de récupération, d'efficacité de recyclage, de réincorporation des matériaux recyclés prévus par le Règlement Batteries

Taux de récupération	Cobalt, Nickel, Cuivre	Lithium
2027	90 %	50 %
2031	95 %	80 %
Efficacité recyclage	Batteries à base de lithium	Autres batteries
2025	65 %	50 %
2030	70 %	N/A
Taux réincorporation matériaux recyclés	2031	2036
Cobalt	16 %	26 %
Nickel	6 %	15 %
Lithium	6 %	12 %
Plomb	85 %	85 %

Source : Ifri, basé sur le Règlement relatif aux batteries et aux déchets de batteries.

Il est important de noter que la CE pourrait élargir la liste de matières premières soumises aux objectifs de recyclage et réincorporation, à la lumière de l'évolution des chimies de batteries. Alors qu'à présent le marché européen est dominé par la chimie NMC, il faut noter les efforts importants en matière de R&D sur de nouvelles chimies ainsi qu'une montée en puissance du déploiement de la chimie LFP notamment sur le marché chinois, et qui pourrait émerger également en Europe. Au-delà du secteur des batteries, l'UE avance également dans le sens de la recherche d'une plus grande autonomie dans l'approvisionnement des matières premières critiques dans toute l'économie, d'où la proposition d'un Règlement sur les matières premières critiques, qui fixe des seuils indicatifs à atteindre : 10 % d'extraction, 40 % de transformation, 15 % de recyclage de matières premières critiques par rapport aux besoins UE en 2030, ainsi que l'objectif de s'assurer que pas plus de 65 % de la consommation annuelle de l'UE de chaque matière première stratégique vient d'un pays tiers. L'UE souhaite également avoir une meilleure visibilité sur son potentiel géologique grâce à des programmes d'exploration dans les États membres, de mieux gérer les risques à travers la supervision des stocks stratégiques et la réalisation de *stress tests* (tests de résistance) par les entreprises, et la CE pour identifier les risques d'approvisionnement sur la chaîne de valeur. La collaboration avec des pays tiers est également recherchée dans un esprit de diversification des sources notamment en provenance des partenaires *like-minded*, par la mise en place d'un Club des matières premières critiques, des partenariats stratégiques avec des pays tiers (y compris au travers du projet Global Gateway).

État des lieux de l'industrie et du marché automobile en France

L'industrie automobile française a été confrontée à de nombreuses tensions économiques et à des contraintes réglementaires sans cesse plus poussées. Dans l'ensemble, la part de l'industrie automobile dans la richesse française est en déclin, tout comme dans l'emploi. La France importe plus de véhicules qu'elle n'en exporte, et l'écart se creuse rapidement, le solde commercial du secteur étant devenu négatif en fin des années 2000 et s'étant sensiblement dégradé entre 2016 et 2022. En 2022, la chute de la production de véhicules a atteint 30 % par rapport à 2019 et les neuf sites de production existants tournent à faible capacité. Atteindre l'objectif fixé par l'État de produire à nouveau 2 millions de véhicules en France est très ambitieux.

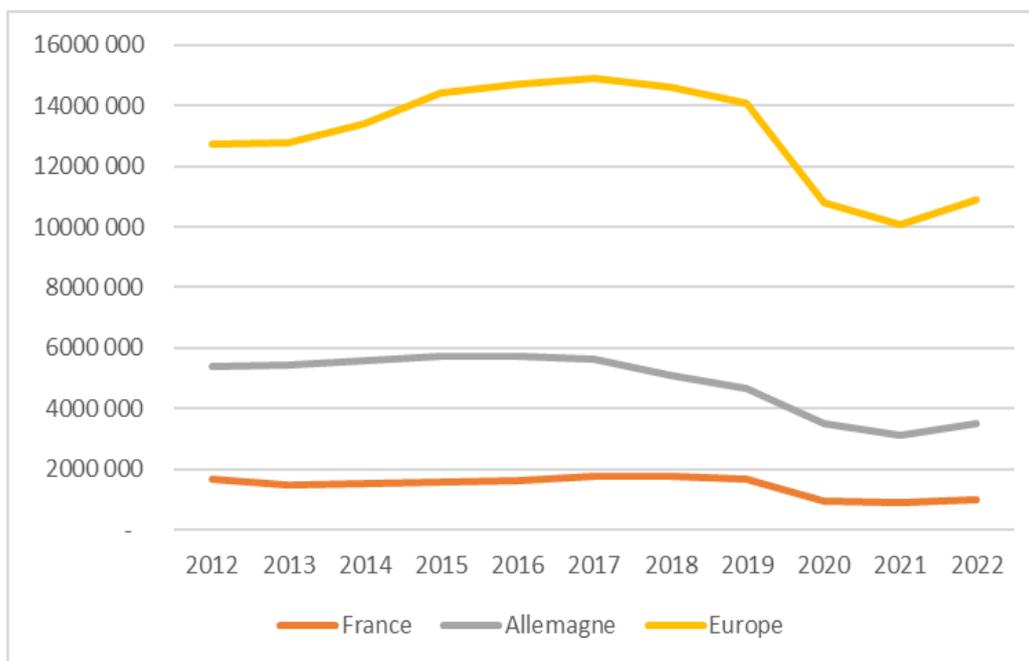
La France possède un parc total de véhicules en circulation qui est passé de 41 à 46 millions au cours des dix dernières années (2011-2022). En 2022, ce parc était composé de 38,7 millions de voitures particulières, 6,3 millions de véhicules utilitaires légers, 616 000 poids lourds et

95 000 autobus et autocars²⁴. Le parc européen lui, représentait 250 millions de véhicules particuliers et 37 millions de véhicules utilitaires et bus en 2021. C'est une répartition qui reste très stable, avec une faible augmentation de la taille du parc, qui passe de 248 à 286 millions de véhicules entre 2012 et 2021²⁵.

Le secteur de l'automobile représente 0,6 % du PIB français de manière stable entre 2012 et 2021²⁶, secteur faisant partie de l'industrie manufacturière qui elle, au total, correspondait à 8,9 % du PIB en 2021²⁷.

Le contexte de crises se ressent particulièrement au niveau de la valeur ajoutée, qui décroît jusqu'en 2019 pour la France. L'industrie automobile allemande, quant à elle, a su renforcer son avance sur les autres pays mais fait face à une stagnation liée aux transformations conjoncturelles. Cette disparité s'explique en grande partie par les segments spécifiques ciblés par les producteurs allemands, qui se focalisent sur les catégories de luxe, tandis que les constructeurs français ont principalement une position sur le milieu de gamme.

Graphique 1 : Production de voitures particulières en France, Allemagne et UE (2011-2022)



Source : Association des constructeurs européens d'automobiles (ACEA), Organisation internationale des constructeurs automobiles (OICA) et German Association of the Automotive Industry (VDA).

24. « Données et études statistiques – Pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les transports », SDES, Ministère des Transports, disponible sur : www.statistiques.developpement-durable.gouv.

25. « Report – Vehicles in Use, Europe 2023 », ACEA, disponible sur : www.acea.auto.

26. « World Bank National Accounts Data, and OECD National Accounts Data Files – 1960-2022 », Banque mondiale/Eurostat, disponible sur : www.data.worldbank.org.

27. « Manufacturing, Value Added (% of GDP) », Banque mondiale, disponible sur : www.data.worldbank.org.

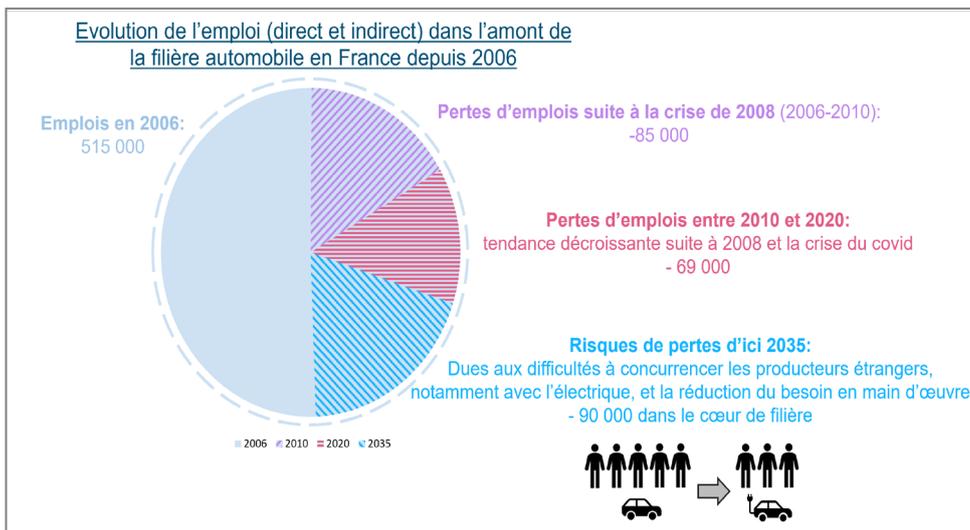
Graphique 2 : Valeur ajoutée de l'industrie automobile dans une sélection de pays européens – Illustration en deux temps, avec et sans la présence de l'Allemagne (en millions d'euros)



Source : Eurostat.

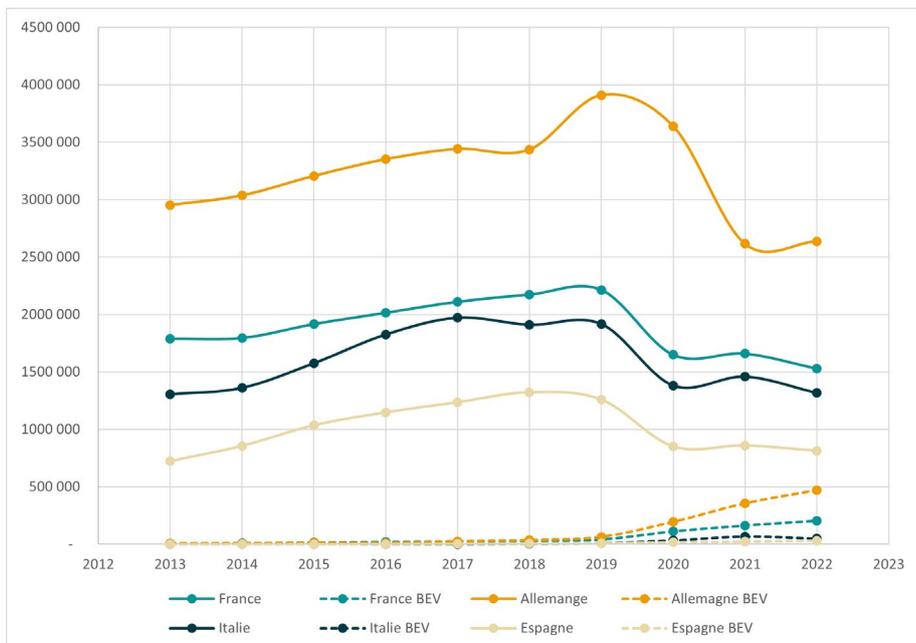
Ces tendances ont des répercussions sur l'emploi. Entre 2006 et 2020, 30 % des postes de l'amont de la filière ont été supprimés en France, avec des perspectives de pertes supplémentaires allant jusqu'à 17 % entre 2020 et 2035 (par rapport au niveau d'emploi en 2006) sur le cœur de filière selon la Plateforme automobile (PFA), dues aux difficultés face à la concurrence mais également à la diminution du besoin en main-d'œuvre de 40 % avec le passage aux VE, plus simples à assembler. Si cette tendance se réalise, ce serait près de la moitié des emplois de l'amont de la filière qui auront disparu entre 2006 et 2035. Il est néanmoins important de souligner que de nouveaux emplois seront créés dans des industries connexes à celle du VE, allant de la fabrication des composants de batteries (une *gigafactory* de 45 GWh représente 3 000 emplois environ, la France pourrait en avoir quatre), à leur recyclage ou encore à la conception, déploiement et management du *software*. En effet selon la PFA, les projets annoncés dans ces domaines permettraient de créer 35 600 emplois, principalement dans les batteries (16 900 emplois), l'économie circulaire (7 000 emplois), la connectivité et les services (4 000 emplois), ainsi que dans l'électronique de puissance (3 000 emplois).

Graphique 3 : Évolution de l'emploi (direct et indirect) au niveau de l'amont de la filière automobile en France (2006-2035)



Source : PFA, Observatoire de la Métallurgie²⁸.

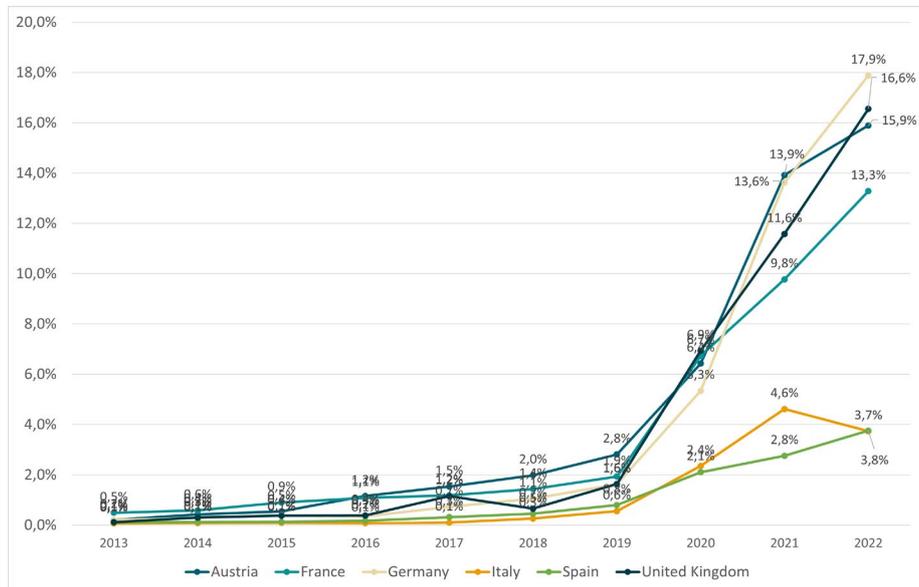
Graphique 4 : Ventes de voitures neuves dans différents pays européens (2013-2022)



Source : ACEA, PFA.

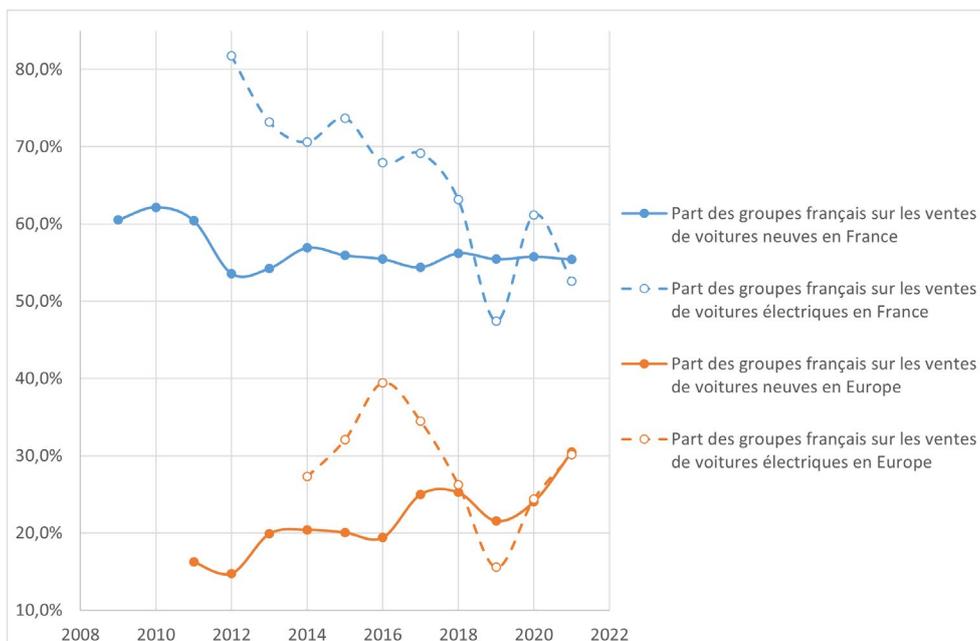
28. L'amont de la filière se compose du cœur de filière, des pneumatiques, des sous-traitants industriels et de l'ingénierie indépendante selon la PFA. Le cœur de filière correspondait à 50 % des emplois de l'amont en 2020. Voir « Feuille de route de la filière automobile à l'horizon 2030, réussir la transition énergétique et digitale », PFA, disponible sur : www.pfa-auto.fr.

Graphique 5 : Évolution de la part des véhicules électriques dans les ventes de voitures neuves dans différents pays européens (2013-2022)



Source : ACEA, PFA.

Graphique 6 : Part des ventes de voitures neuves des producteurs français en France et en Europe (2009-2021)



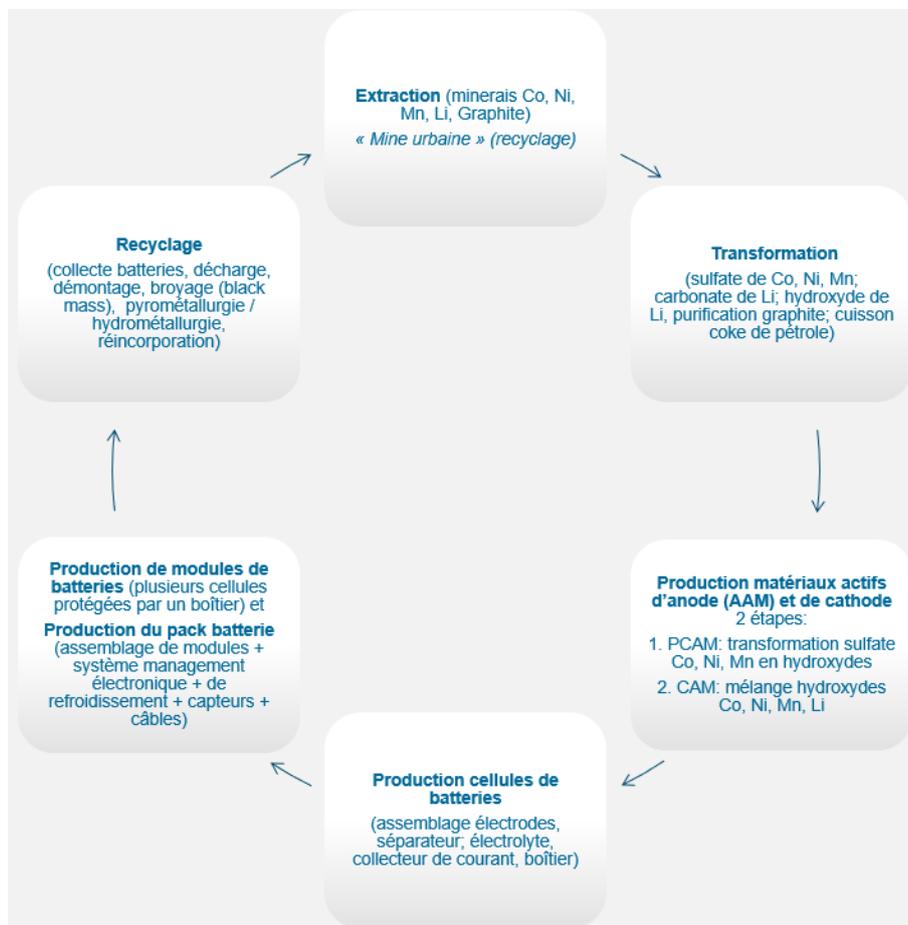
Sources : CCFA, Avere France AAA Data, ICCT.

Bouleversement des chaînes de valeur : la dimension stratégique

La chaîne de valeur du VE est composée de beaucoup d'éléments stratégiques tel que le *software*, l'électronique de puissance ou encore les moteurs, présentant des terres rares pour les technologies à aimants permanents, ou présentant une demande très importante de cuivre pour la technologie à bobines de cuivre. La chaîne de valeur de la batterie en est l'élément sans doute le plus profond et complexe, et occupe une place clé dans la valeur du VE.

Ce maillon comporte des faiblesses structurelles sur les étapes de l'amont de la chaîne de valeur qui précèdent la manufacture des cellules de batteries, c'est-à-dire l'extraction minière, le raffinage et la production de précurseurs et matériaux actifs d'anode et de cathode, ce qui explique en partie la volonté au niveau européen de reconstruire une autonomie à ces niveaux à travers le Règlement concernant les matières premières critiques. Il est au cœur de l'analyse de cette étude, qui, par conséquent, n'est pas exhaustive.

Illustration 1 : Schématisation de la chaîne de valeur de la batterie



Source : Ifri

L'amont de la chaîne de valeur – le talon d'Achille de l'industrie automobile électrique française et européenne

Les matières premières critiques : défis de production et risques géopolitiques

La transition énergétique bouscule l'Europe dans une nouvelle ère « métallisée²⁹ » où la mine n'est plus le sujet d'un lointain passé que les Européens ont oublié (à l'exception des mines de charbon en Europe centrale ou en Allemagne), mais un secteur clé pour l'autonomie stratégique et une réalité du présent et de l'avenir. Au fur et à mesure que les États européens prennent conscience de la dépendance actuelle aux métaux

29. V. Donnen, « Vers une ère métallisée : renforcer la résilience des industries par un mécanisme de stockage stratégique de métaux rares », *op. cit.*

critiques qui continue à s'accroître, les risques géopolitiques liés à l'approvisionnement deviennent également de plus en plus visibles : chocs externes (l'agression de l'Ukraine par la Russie, deux pays métallifères, la crise de la Covid-19), nationalisme minier (Indonésie, République démocratique du Congo [RDC], Chili, etc.) et restrictions d'exportation (selon l'OCDE, une multiplication par cinq de ces restrictions a été observée sur la dernière décennie, les dernières en date étant les licences d'exportation chinoises sur le germanium et le gallium³⁰), manipulation des marchés et instabilité politique croissante. Plus que jamais, dans un contexte d'intensification des besoins d'extraction de ces métaux critiques, les Européens doivent prendre en compte les défis géopolitiques, économiques, environnementaux liés à ces métaux pour qu'ils ne deviennent pas un goulot d'étranglement des transitions énergétiques et digitales, un nouveau facteur de dégradation environnementale et de fragilisation des filières industrielles.

Défis économiques et liés au CAPEX

L'accélération des transitions énergétiques et digitales, la croissance économique mondiale et l'essor des classes moyennes entraînent une très forte intensification de l'utilisation de nombreux métaux et matières premières minérales. L'accélération des besoins intervient après des années de sous-investissements miniers du fait de prix bas et d'une demande atone. À titre d'exemple, l'offre de graphite était largement excédentaire dans les années 2010 et les prix bas n'incitaient pas à l'investissement ou à la diversification des fournisseurs. Lorsque les prix des métaux ont remonté, l'investissement est resté limité du fait des stratégies de *share buyback* (rachat d'actions) et redistribution de dividendes. Alors que de nombreux pays dans le monde, OCDE et Chine en tête, accélèrent désormais dans le déploiement des technologies bas-carbone, la production minière ne peut pas s'ajuster aussi rapidement, ce qui va représenter des contraintes, et ce d'autant plus qu'il y a désormais une forte concurrence d'usages pour la plupart des métaux – traditionnellement la sidérurgie et métallurgie, l'électronique et désormais, les technologies bas-carbone.

Les investissements miniers doivent tripler annuellement pour faire face aux besoins, et on en est loin. Cela pose un immense défi pour remonter la production rapidement, sachant que la durée de développement d'un projet minier est de 10-15 ans en moyenne en Europe (l'Europe ambitionne de réduire cette durée) ou en Afrique, 8-10 ans aux États-Unis, 2-5 ans au Canada ou en Australie. Certaines mines de cuivre en Amérique latine ont mis plus de 20 ans à être mises en production. En outre, si certains métaux sont échangés sur des marchés liquides et transparents (minerais de fer,

30. P. Kowalski et C. Legendre, « Raw Materials critical for the Green Transition: Production, International Trade and Export Restrictions », Documents de travail de l'OCDE sur la politique commerciale, n° 269, Paris, Éditions OCDE, 2023, disponible sur : www.doi.org.

civre), d'autres sont moins transparents et de gré à gré. Du fait de l'augmentation des cours et de la demande, les déchets miniers et sous-produits miniers, jusqu'alors délaissés, redeviennent importants et peuvent apporter des ressources nouvelles significatives qu'il convient désormais d'exploiter. Enfin, les métaux bruts doivent ensuite, pour obtenir les puretés requises, être transformés/raffinés dans des usines très coûteuses, aux technologies avancées, avec des besoins en énergie élevés et une forte empreinte environnementale. Il en est ainsi du cobalt (sulfate de cobalt) et du nickel (*battery grade nickel*). Les priorités minières globales en termes d'investissement placent le cuivre au rang de priorité absolue, puis le nickel, et enfin le lithium, même si la production, plus rapide à être développée, augmente.

Or le contexte reste très difficile. L'investissement minier est très risqué et compliqué : du fait de la variation des cours des matières premières, du fait des coûts d'exploration très élevés (de l'ordre d'une centaine de millions de dollars au moins par projet), des CAPEX très élevés (en hausse du fait de l'inflation) et des longues périodes de développement sans *cash-flow* (flux de trésorerie), des incertitudes géologiques et de la qualité variable des gisements, des incertitudes réglementaires, fiscales, politiques et sociétales. En outre, les coûts de développement des projets augmentent depuis 2021 du fait de l'inflation et de l'augmentation des coûts du capital. Les défis géologiques sont aussi majeurs car les mines en production s'épuisent progressivement et la concentration des métaux dans les roches diminue. Enfin, les enjeux logistiques sont souvent centraux, car il faut pouvoir transporter les matières premières vers les marchés, ce qui est souvent complexe et coûteux. L'investissement dans l'actif minier ne suffit souvent pas, car les ressources situées à proximité des ports ou fleuves navigables sont très rares. Les investissements ne se concentrent pas forcément là où sont les ressources. Si les investissements d'exploration minière augmentent désormais en 2021, 2022 et 2023, l'Afrique n'en représente qu'une faible partie, de l'ordre de 10 %, contre 45 % pour l'Amérique latine, alors qu'elle détient des ressources formidables. Les principales causes : le cadre des investissements, la faiblesse des infrastructures et la gouvernance.

Infrastructures, équipements et compétences

L'essor des activités minières pour les métaux des transitions va susciter une forte hausse des besoins en électricité. Bien souvent, le réseau n'est pas disponible ou insuffisant et faut également développer la production électrique autour du site car la mine est extrêmement énergivore, avec des besoins de l'ordre de plusieurs dizaines, voire centaines de mégawatts. L'électricité du réseau est absente ou insuffisante et de nombreux sites sont encore alimentés par des générateurs diesel. Les centrales solaires, éoliennes ou hydroélectriques apportent des nouvelles solutions mais sont coûteuses en investissement initial. Ces technologies sont bien moins

chères que le fuel, le problème reste le financement en amont, et le risque d'actifs échoués si l'activité de la mine est suspendue ou arrêtée après quelques années, selon l'évolution des marchés. Le coût de l'électricité peut représenter jusqu'à 40 % des coûts de production, alors que des représentants de l'industrie minière suédoise estiment que les besoins en électricité de leur industrie pourraient croître de 5 TWh/an à plus de 70 TWh/an³¹ (notamment pour la production d'hydrogène bas-carbone afin de décarboner la production du fer). En outre, il faut parfois développer des infrastructures routières et ferroviaires (parmi les derniers projets d'envergure en date : une ligne ferroviaire soutenue par Trafigura relie le sud de la RDC et la Zambie au port de Lobito en Angola pour évacuer le cuivre et le cobalt, tandis qu'un autre projet vise à relier la Zambie et le Zimbabwe à la côte tanzanienne), des tubes ou tapis roulants pour l'évacuation vers les ports, voire des ports en eau profonde, et toute l'infrastructure pour accueillir les employés des mines. Ces coûts de développement augmentent aussi du fait des sites de plus en plus reculés. Pour démultiplier l'investissement minier, les contrats de long terme entre acteurs miniers et consommateurs sont prometteurs, et peuvent impliquer des prépaiements qui facilitent le financement. Les fonds stratégiques d'États peuvent aussi jouer un rôle décisif, ainsi que les financements des institutions financières internationales. Enfin, dernier défi clé : la main-d'œuvre. L'essor des efforts d'exploration et la multiplication des projets miniers représentent aussi un enjeu majeur de main-d'œuvre, qu'il s'agisse de géologues, d'ingénieurs, de juristes, de techniciens ou d'opérateurs, et de surcroît de qualité des formations pour améliorer la sûreté.

OPEX et les défis environnementaux : l'enjeu de la licence globale pour opérer et de la licence sociale au niveau local

Les États et les entreprises ont désormais un rôle et une responsabilité en matière de définition, mise en œuvre et déclaration (*reporting*) sur les normes RSE. Il s'agit de garantir un cadre d'opération plus sûr, durable et responsable à la fois pour les travailleurs, l'environnement, les communautés locales, les entreprises et les États, qui puisse être évalué, certifié et retranscrit s'agissant du respect de l'environnement, du droit des travailleurs, des communautés locales, et de la transparence et bonne gouvernance, notamment dans les transactions financières et fiscales. Le droit souple et les standards volontaires sont progressivement devenus des normes internationales, contraignantes et se renforçant, qui s'appliquent aux entreprises et à l'ensemble de leurs chaînes de valeur. Un projet minier doit désormais avoir non seulement une licence légale, mais aussi une licence sociale locale et globale (*global licence to operate* et *local licence to*

31. « Climate Roadmap for a Competitive and Fossil-free Mining and Mineral Industry in Sweden », SveMin, juin 2022, p. 36.

operate). Et l'enjeu est de trouver un équilibre durable entre responsabilités de l'entreprise et responsabilité des États et pouvoirs locaux, qui souvent se défont de leurs responsabilités.

La plupart des mines dans le monde et des activités de raffinage consomment beaucoup de diesel, de fuel lourd, d'électricité et d'eau, qui sont source de coûts élevés et d'impacts sur le climat et l'environnement. La demande d'électricité pour les activités minières dans le monde va augmenter considérablement, de l'ordre de plusieurs centaines de TWh par an. Cette électricité ne devra et ne pourra pas être carbonée comme c'est le cas dans la plupart des pays miniers, à l'instar de l'Indonésie ou de l'Afrique du Sud, pour tenir le cap des ambitions de l'Accord de Paris. En outre, partout dans le monde, l'accroissement des prix de l'électricité, les tensions sur les réseaux électriques (comme en Afrique du Sud) et l'insuffisance ou la faiblesse des réseaux perturbent les activités. Le développement des contrats de gré à gré avec construction de parcs photovoltaïques ou éoliens dédiés, l'électrification des excavateurs et camions, et l'amélioration des process sont des pistes prometteuses pour permettre la baisse des émissions et la sécurité d'approvisionnement. L'activité minière doit être transformée pour devenir durable et responsable, et répondre ainsi aux enjeux de certification et *reporting* extra-financier, dont l'UE est un fer de lance (i.e. *Corporate Sustainability Reporting Directive, Corporate Sustainability Due Diligence Directive*). La mise en œuvre de standards RSE plus stricts implique des coûts plus élevés, notamment pour le traitement de l'eau. Mais l'amélioration des procédés permet déjà de réduire l'utilisation d'eau, notamment dans la production de carbonate de lithium, où Eramet par exemple déploie une nouvelle technologie en Argentine qui ne passe pas par l'évaporation, et il faut aussi réduire la production de déchets. Le recyclage des huiles de vidange et la récupération des solvants sont essentiels. D'importants efforts de R&D ont lieu pour améliorer les techniques d'extraction et réduire leurs coûts. Autre défi pour la production : les phénomènes climatiques extrêmes qui peuvent perturber l'activité, comme noyer des mines à ciel ouvert par exemple ou endommager des infrastructures. La mine n'a pas vocation à être perpétuelle : l'enjeu du démantèlement et de la restauration des sites est clé, notamment la reforestation. Enfin, il convient de garantir la sécurité des travailleurs et réduire le nombre d'accidents.

L'Extractive Industries Transparency Initiative (EITI) vise à convaincre les États qui exploitent des ressources de s'engager à garantir une pleine transparence sur l'utilisation des revenus des activités minières ou d'hydrocarbures, et à renforcer la gouvernance des secteurs. Le nombre d'États partenaires réellement engagés augmente, même s'il est loin d'être généralisé. La plupart des pays détenteurs de ressources minières dans les pays émergents entendent désormais maximiser non seulement les revenus issus de l'extraction de ces ressources, mais aussi développer et localiser d'autres segments de la chaîne de valeur pour renforcer les retombées économiques et sur l'emploi, notamment en restreignant l'exportation de

produits bruts, en obligeant à associer des entreprises étatiques aux projets, et en renforçant la pression fiscale. Le nationalisme minier tend à devenir la règle, comme en Indonésie, en Bolivie, au Chili ou en RDC. Ce mouvement est parfaitement légitime mais peut être source de risques et incertitudes susceptibles de ralentir ou renchérir les investissements, si bien qu'un dialogue responsable est indispensable. La production illégale (or, diamant), ou les conditions de travail (emploi d'enfants et d'adultes dans des conditions épouvantables dans des mines de cobalt, or ou diamants notamment, accidentologie) sont un défi majeur, et des initiatives onusiennes ou privées visent à réduire ces pratiques.

Il est aussi essentiel d'assurer une bonne prise en compte des communautés locales : concertation, indemnisation, partage de la valeur et de l'activité, et préservation de l'environnement sont importants. Des normes internationales font désormais référence, notamment l'*Initiative for Responsible Mining Assurance* (IRMA) et qui dans l'ensemble visent à standardiser les pratiques, à permettre de certifier les projets miniers et à s'assurer que les nouveaux projets renforcent encore la préservation de biodiversité. L'IFC a défini des standards concernant les interactions avec les populations et communautés locales, notamment sur la gestion du foncier.

Défis du recyclage et de la substitution

La production secondaire de métaux est amenée à jouer un rôle crucial à l'avenir pour aider à répondre à l'accroissement de la demande de batteries qui ne pourra pas être satisfaite par la seule production primaire. Toutefois, les ressources issues du recyclage, qui sont amenées à croître, ne suffiront pas à faire face aux besoins. La ressource proviendra d'abord des déchets (*scrap*) des *gigafactories*, avant ou pendant la production, ainsi que des batteries défectueuses, puis dans le temps – à partir de 2026-2028 environ et de manière exponentielle ensuite – du stock de VE et batteries en fin de vie. À terme, les produits secondaires seront de plus en plus largement disponibles et joueront un rôle croissant pour produire les batteries.

L'essor du recyclage a besoin de standards de recyclabilité intégrés dès la conception (pour faciliter l'extraction, le désassemblage semi-automatisé, la désactivation sécurisée et propre, et la production du broyage de *black mass*), de clarté sur les types de chimies et batteries et de flexibilité sur l'équipement pour s'adapter aux changements technologiques. Il requiert un cadre réglementaire adapté (incluant des obligations de collecte et d'incorporation), la traçabilité des matériaux (« passeport batteries » et base de données), un cadre fiscal ou de soutien public (subventions fiscales, aides pour les CAPEX ou OPEX³²) et enfin, de prix des matières premières élevés et une électricité abondante, bas-carbone et compétitive pour soutenir le modèle économique. Dans le monde, le recyclage des batteries,

32. « Operating Expenses » ou « dépenses opérationnelles ».

qui reste marginal et dominé par la Chine, va augmenter avec la montée des prix des matières premières et le renforcement des cadres réglementaires (ex. en Europe, une obligation implicite de collecter 100 % des batteries en fin de vie pour les recycler, selon le règlement batteries), en particulier dans le lithium, le nickel, le cobalt, et dans une moindre mesure, le cuivre. Mais ces matières doivent ensuite être raffinées. Un défi essentiel du recyclage réside dans la nécessité de réduire au maximum son impact environnemental, en particulier en termes d'émissions de CO₂.

L'essor de ces industries, déjà manifeste en Asie, sera particulièrement marqué en Europe ou en Amérique du Nord, où des politiques industrielles d'économie circulaire sont mises en œuvre, combinant incitations fiscales au CAPEX voire aux OPEX (de la même manière que prévu dans l'IRA) et contrainte réglementaire, comme stipulé dans la récente réglementation de l'UE sur les batteries. Les technologies de recyclage sont amenées à évoluer rapidement et requièrent différents degrés de pureté des matériaux. La voie de l'hydrométallurgie (séparation chimique des matériaux) est de plus en plus répandue pour le recyclage, prenant le pas sur la pyro-métallurgie (séparation thermique des matériaux), car plus efficace en termes de consommation d'énergie et d'émissions, et de baisse des coûts (moins de CAPEX, densité des processus). De nombreuses innovations avec différents *Technology Readiness Level*³³ (TRL) sont en cours de développement, voire d'application. C'est le cas de la *start-up* Mecaware, associée à Verkor, qui développe une solution très peu énergivore, *via* des procédés non hydrométallurgiques, pour le recyclage d'aimants. En dernier lieu, il est à noter que les métaux présents dans les batteries LFP, bien que recyclables, sont abondants et leur recyclage est économiquement moins avantageux.

La substitution joue aussi un rôle croissant mais elle n'est pas applicable à tous les métaux. Le cuivre peut être en partie remplacé par de l'aluminium dans les câbles de réseaux électriques, notamment en mer (mais il est moins dense) ou les batteries NMC par d'autres chimies.

Défis géopolitiques et géoéconomiques

Ces enjeux deviennent centraux dans un contexte de confrontation sino-américaine, de rivalités globales autour des politiques industrielles, d'accélération des efforts de transformations énergétiques et de criticité des ressources. La Chine détient sur son sol des réserves de nombreuses matières minérales et a mené pendant vingt ans une stratégie systématique de développement de projets miniers en Asie du Sud-Est, Afrique et Amérique latine pendant que les Occidentaux pensaient que les métaux seraient de simples commodités toujours disponibles et abordables. Elle a su développer des capacités de conduite de projets hors norme (qui ont notamment permis l'essor impressionnant de la production de nickel

33. Indicateur utilisé pour évaluer le niveau de maturité d'une technologie spécifique.

d'Indonésie) et mobiliser un écosystème efficace soutenu par les banques publiques et jouant des faiblesses institutionnelles de certains États. Elle joue aussi un rôle décisif dans le contrôle des prix d'un grand nombre de matières premières et de leurs disponibilités sur les marchés : de manière indirecte car l'immensité de son marché, de surcroît en croissance forte (la Chine est championne mondiale du solaire, éolien, véhicules électriques), a un impact très fort sur la demande et les marchés mondiaux ; de manière directe, du fait des politiques de subventions qu'elle mène et qui impactent sa demande interne, du fait des restrictions à l'exportation qu'elle peut mettre en œuvre, ou encore du fait des stocks qu'elle détient. Les besoins intérieurs de la Chine sont exponentiels vu l'expansion des technologies bas-carbone, mais Pékin peut aussi utiliser sa position clé dans la production, et surtout le raffinage, pour renforcer ses positions économiques et politiques. La Chine est en mesure de fournir des solutions de financement rapides et très compétitives grâce aux prêts et garanties de ses banques publiques dans un segment où les banques commerciales sont peu présentes du fait des risques. La Chine a élaboré une stratégie, mettant l'accent sur l'acquisition d'une position dominante dans le raffinage des métaux, particulièrement le nickel et le cobalt, nécessaires pour atteindre les propriétés requises dans la fabrication des batteries. Ces processus sont très polluants et énergivores, et la Chine n'a pas hésité à les installer sur son sol. Ainsi, même si les acteurs chinois n'ont pas de position dominante dans l'extraction, leur mainmise sur ce maillon essentiel les place en position de force.

L'écosystème chinois permet aussi de garantir à ses industriels un accès privilégié aux ressources en les protégeant des fluctuations des cours grâce aux chaînes intégrées, de négocier des contrats de fournitures à des acteurs extérieurs en échange de prises de participation, d'influencer les prix à la hausse ou à la baisse (en modulant la production ou ses stocks), voire de punir ou récompenser des acteurs ou pays (*via* des quotas d'exportation ou des licences d'exportation), selon ses objectifs diplomatiques. Dernier point d'attention : les entreprises chinoises ne veulent pas se fermer le marché européen et choisissent parfois de s'allier avec des sociétés européennes pour apprendre à s'adapter aux attentes et contraintes de ces marchés, notamment en termes de RSE. Ce faisant, elles acquièrent aussi des savoir-faire technologiques.

La Chine n'est pas en reste : les États-Unis, le Japon, la Corée du Sud ont des stratégies de sécurité minérale plus ou moins avancées. L'UE et certains de ses États membres développent aussi des stratégies minérales, mais qui ne pourront pas rattraper l'avance décisive prise par la Chine. Au mieux pourront-elles parvenir à combler quelques vulnérabilités essentielles, ou en réduire d'autres.

La criticité des matières premières minérales

Les grandes puissances de l'OCDE et l'UE ont développé des listes de criticité. Elles contiennent la plupart des matériaux du tableau périodique des éléments, avec des gradations qui varient. Ces métaux présentent divers scénarios de pression, caractérisés par des déséquilibres structurels entre l'offre et la demande, des contraintes environnementales, des implications géopolitiques, une dépendance aux importations, une concentration de l'offre, et leur degré de substituabilité. Les principaux métaux de la mobilité sont le lithium, le cuivre, le nickel, le cobalt et le graphite : le lithium, cobalt et nickel pour la cathode, le graphite (mais aussi le silicium) pour l'anode, et le cuivre pour les moteurs, câbles et infrastructures. Les terres rares jouent un rôle clé dans les aimants permanents des moteurs (néodyme, praséodyme, dysprosium), et seule la Suède possède un potentiel de production significatif, mais à un horizon temporel lointain (projet Norra Karr³⁴). L'aluminium ou encore le zinc devraient également être considérés comme stratégiques. De même, le silicium est appelé à jouer un rôle dans les batteries graphite-ion vers la fin de la décennie. L'aluminium représente un exemple concret de défis croissants d'approvisionnement. Les principaux fournisseurs de bauxite sont l'Australie, la Guinée et le Brésil, mais la capacité de fonderie d'aluminium en Europe, fortement tributaire de l'électricité, a connu une forte diminution ces dernières années, notamment en raison de la crise énergétique.

Dans l'ensemble, le constat est double : d'une part, la production mondiale est inadéquate pour répondre à une demande croissante et rapide, et d'autre part, les acteurs chinois exercent une domination significative dans le secteur de la transformation et du raffinage des minerais, ainsi que dans la fabrication de précurseurs, et dans une moindre mesure, dans la production minière. Parallèlement, la production secondaire issue du recyclage devrait fortement augmenter, notamment en Europe. Cette évolution permettra de réduire les besoins en production primaire et de renforcer la résilience de l'industrie.

Pour la France et l'UE, il faut distinguer les métaux pour lesquels il y a déjà une production secondaire significative en Europe (cuivre, aluminium, acier, zinc, et dans une moindre mesure, cobalt), des métaux pour lesquels cette production secondaire est quasiment inexistante (nickel, lithium, graphite). Enfin, les métaux pour lesquels il y a une faible production en Europe (cuivre, nickel, cobalt, zinc), des métaux pour lesquels la production est infime ou inexistante (terres rares).

34. « Norra Karr HREE » (*Heavy Rare Earth Elements*) est un projet d'extraction situé dans le sud de la Suède. Il se distingue par son abondance en terres rares, en particulier le dysprosium et le terbium, éléments cruciaux pour la fabrication d'aimants permanents utilisés dans les moteurs électriques et les éoliennes.

Tableau 1 : Défis RSE particulièrement avérés liés aux principaux métaux des véhicules électriques

	Émissions de GES/contenu CO ₂ de l'électricité	Demande en eau	Impacts sur l'environnement et la biodiversité	Enjeux sur les droits des travailleurs et normes sociales	Défis liés aux déchets	Concentration de la production aux mains d'acteurs posant un défi géopolitique
Lithium	X	X				X
Nickel	X		X	X		X
Cobalt	X		X	X		X
Cuivre		X	X		X	
Aluminium	X		X			X
Silicium	X			X		X
Terres rares	X				X	X

Source : Ifri.

La mine durable européenne

Une prise de conscience nécessaire : vulnérabilités, impacts négatifs, responsabilité

Les impacts négatifs liés aux exploitations minières sont désormais bien connus et documentés. Sous l'angle social, on note des conditions de travail inappropriées, l'emploi des enfants, le manque de couverture sociale, une application défailante du droit du travail (conditions de travail dangereuses, salaires précaires, absence de représentation des intérêts des employés), le déplacement forcé des populations et la perte des terres notamment dans les communautés indigènes (80 % des projets de lithium et plus de la moitié des projets d'extraction de nickel, cuivre et zinc sont localisés dans des territoires appartenant aux peuples indigènes³⁵). D'un point de vue environnemental, selon l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA), le secteur des métaux et des mines est responsable pour 10 % des émissions de GES mondiales (engendrés pour l'essentiel par la production d'acier, avec 7 % des émissions mondiales à l'étape de réduction des oxydes, et d'aluminium, notamment en lien avec les fonderies et le raffinage, tandis que la mine doit représenter 1 à 2 % du total

35. « Geopolitics of the Energy Transition: Critical Minerals », *Report*, IRENA, juillet 2023, disponible sur : [irena.org](https://www.irena.org).

mondial). Mais son impact sur l'environnement s'étend à la dégradation et pollution du sol et de l'eau, la déforestation (i.e. 8,2 % des forêts tropicales de la zone Morowali en Indonésie, où la plupart des parcs industriels de nickel sont localisés, ont disparu entre 2002 et 2020³⁶, ce qui par ailleurs contribue à l'empreinte d'émissions de GES), l'exacerbation du stress hydrique (selon l'Irena, la moitié de la production mondiale de cuivre et de lithium se trouve dans des zones très arides) et la croissance des déchets (le secteur de la mine représente le plus grand générateur de déchets à l'échelle mondiale, et cette production de déchets devrait augmenter à mesure que la qualité du minerai diminue.). Enfin, en ce qui concerne la gouvernance, la corruption, l'évasion fiscale et la gestion inadéquate des revenus miniers par les gouvernements des pays producteurs ont entravé l'amélioration des conditions de vie dans les communautés minières ainsi que la réhabilitation des zones exploitées.

Face à cette situation, l'UE et ses États membres doivent se fixer pour objectif de contribuer à l'amélioration des pratiques existantes dans le secteur minier. Cela peut être réalisé par le biais de dispositifs de financement visant à assumer des coûts plus élevés liés à la modernisation et à la décarbonation des mines en dehors de l'Europe. Il est également crucial de renforcer les mécanismes de surveillance et de partage des bonnes pratiques, tout en poursuivant une harmonisation croissante des normes en matière de RSE à instaurer dans l'industrie minière mondiale. Ceci vise à réduire les coûts de conformité, lesquels sont impactés par la prolifération de normes et de standards divergents parmi les pays et les acteurs impliqués dans leur élaboration et leur utilisation.

Rendre plus durables, plus justes, plus modernes et plus dignes les mines existantes est essentiel, étant donné que l'ouverture de nouvelles mines, y compris sur le territoire européen ne se fera pas à l'échelle avant 2030.

Un point de départ nettement différent en Europe : la mine européenne devra être durable

Le concept de mine durable est à ce stade à définir et l'Europe a l'opportunité d'être le laboratoire de sa mise en œuvre et de participer à son développement dans le monde entier. Parmi les clés du succès permettant l'implantation d'un projet de mine durable, il y a l'existence d'un passif minier positif et un « après » minier où la vie économique continue, une forte implication des élus locaux ainsi que des associations locales qui ont la capacité et la légitimité de faire le lien entre les porteurs de projets et la communauté en qualité « d'intermédiaire impartial ». Une compréhension

36. J. Saegert, V. Witni et M. Nerreter, « Nickel for the Energy Transition: A Developmental Perspective », Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, disponible sur : www.rue.bmz.de.

approfondie du contexte local (caractéristiques, enjeux, impacts, etc.), une participation active à la vie communautaire, l'ouverture du site au public (favorisant la transparence et la communication), la concertation préalable, et une sensibilisation accrue de la société civile aux aspects de l'activité minière sont des éléments essentiels. Obtenir l'approbation des projets par les populations concernées est essentiel. Cela requiert un changement de paradigme pour donner un sens d'utilité publique aux projets miniers, et *in fine* aboutir à un véritable engagement des communautés locales.

Le tableau ci-après recense les pratiques que les entreprises minières européennes comptent utiliser ou utilisent déjà à présent pour rendre leurs projets plus durables. Si la mine européenne émergente est plus durable, elle sera également plus chère par rapport aux autres sites d'exploitation existants (par exemple, une mine souterraine a un coût jusqu'à sept fois plus important par tonne extraite par rapport à une mine ouverte), d'où l'importance d'un soutien fort tant au niveau politique, qu'industriel et sociétal à sa réalisation.

Tableau 2 : Mesures prises par les entreprises minières européennes pour rendre la mine européenne plus durable

Type	Mesure	Projet
Standards & Certification	Standard IRMA (en cours)	Imerys – projet EMILI (FR, Allier)
Standards & Certification	Task Force on Climate Related Financial Disclosures	Vulcan Energy (co-production lithium geothermal) (DE, Insheim)
Gouvernance interne	Constitution de structures internes en charge de superviser les risques et opportunités liées au climat : une commission en charge du management et de la publication des risques RSE ; une autre en charge de la supervision des risques au niveau de l'exécution et du management de projet ; une autre structure vise à s'assurer que les aspects climatiques sont intégrés dans la chaîne d'approvisionnement et dans les opérations d'achat (procurement) ; une structure dédiée à vérifier l'alignement des fournisseurs avec les standards RSE et de durabilité souscrits.	Vulcan Energy (co-production lithium geothermal) (DE, Insheim)
Émissions GES	Production de l'électricité et de la chaleur à base de géothermie, permettant la co-production de lithium, contribuant au verdissement du réseau local d'électricité et de	Vulcan Energy (co-production lithium geothermal)

	chaleur. Utilisation de 25 % de l'électricité générée par l'installation de géothermie pour récupérer le lithium de la saumure géothermale, permettant la production de lithium zéro carbone	(DE, Insheim)
Émissions GES	Co-production de lithium et chaleur géothermale et mise en place des réseaux de chaleur qui alimentent les ménages et les industriels.	Lithium de France (extraction de lithium géothermal)
Émissions GES	Acheminement du mica concentré vers l'unité de conversion par un réseau de canalisations souterraines et par rail, évitant ainsi les émissions générées par le transport par camion à base de carburants fossiles	Imerys – EMILI (extraction lithium) (FR, Allier)
Émissions GES	Utilisation de l'électricité décarbonée et électrification des processus	Talga (extraction et raffinage de graphite) (SE, Vittangi)
Pollution de l'air	Mine souterraine pour une meilleure maîtrise des poussières Respect des normes en vigueur en termes de qualité d'air Minimiser le transport par camion	Imerys – EMILI (extraction lithium) (FR, Allier)
Réduction consommation d'eau	Modélisation de la circulation des eaux en surface et dans les sous-sols pour simuler l'impact du projet et prendre des mesures adéquates Réutilisation de l'eau (circuit fermé)	Imerys – EMILI (extraction lithium) (FR, Allier)
Réduction consommation d'eau	Refroidissement de l'eau chaude à l'air (au lieu d'utiliser de l'eau) dans le processus de récupération du lithium géothermal de la saumure géothermale	Vulcan Energy (co-production lithium geothermal) (DE, Insheim)

Préservation de la biodiversité	Mine souterraine pour minimiser l'impact sur les paysages et les écosystèmes	Imerys – EMILI (extraction lithium) (FR, Allier)
Prévention risques de sismicité³⁷	Modélisation des réactions du sous-sol Utilisation des technologies telles que les géophones pour mesurer la vitesse des vibrations dans le sol et identifier leur origine. Déploiement de plusieurs stations de mesure sur le site, avec transmission de l'information en temps réel.	Vulcan Energy (co-production lithium geothermal) (DE, Insheim)
Relations avec la communauté	Concertation et dialogue avec la communauté (y compris ouverture d'un site en ligne pour le dépôt des plaintes) Création de l'emploi local Implication dans le soutien des projets locaux/causes importantes pour la communauté d'accueil du projet minier	Imerys – EMILI (extraction lithium) (FR, Allier)
Relations avec la communauté	Organisation des visites à l'intérieur de l'installation pour expliquer la technologie, répondre aux questions, apprendre quels sont les bénéfices attendus par la communauté	Vulcan Energy (extraction de lithium geothermal) (DE, Insheim)

Source : Ifri.

De manière générale, des études montrent que la performance de l'industrie minière européenne est meilleure que la moyenne globale³⁸, qui par ailleurs n'a pas connu des améliorations notables dans un contexte mondial où les consommateurs de métaux critiques priorisent peu ou pas assez l'aspect durable de leur production³⁹. Concernant les émissions de CO₂, par rapport à la moyenne dans le monde, l'industrie métallurgique en Europe émet moins d'émissions de GES selon l'étude de KU Leuven : - 10 %

37. Les problèmes d'acceptabilité liés à la sismicité induite (liée à l'injection du fluide dans le sol) ont empêché le développement de la géothermie sur la dernière décennie. Certaines expériences négatives, comme le forage profond effectué par l'entreprise Fonroche à Vendenheim, ont renforcé les craintes de la population concernant la géothermie. Ce type de situation apparaît lorsque les exploitants ne respectent pas les contraintes du sol, ne mobilisent pas pleinement l'expertise scientifique ou cherchent à faire trop vite et trop fort. Il est donc clé d'inclure des mesures de prévention et de maîtrise des risques de sismicité induite afin de rassurer les communautés et garantir un haut niveau de sécurité. Une réévaluation continue du risque est nécessaire, ainsi que le recueil des avis des experts externes dans une logique d'amélioration des méthodes.

38. L. Gregoir et K. van Acker, « Metals for Clean Energy: Pathways to Solving Europe's Raw Materials Challenge », KU Leuven, avril 2022.

39. *Critical Minerals Market Review 2023*, Agence internationale de l'énergie, disponible sur : www.iea.org.

pour le cuivre, - 71 % pour le lithium, - 22 % pour le nickel ; et le recyclage peut davantage contribuer à la réduction de l'impact de CO₂ (- 38 % pour le cobalt, lithium, nickel). Il y a en Europe moins de risques de dégradation de la biodiversité en raison des garde-fous imposés par la législation environnementale (Natura 2000, la Directive Habitats, etc.), avec un encadrement plus important de la procédure de *permitting*, des limites en matière d'émissions de polluants de l'air et de l'eau. Certes, en raison de l'accélération des conséquences du changement climatique, le stress hydrique en Europe⁴⁰ va continuer à augmenter et il sera d'autant plus nécessaire que les projets industriels émergents intègrent cette contrainte et cherchent non seulement une utilisation efficace des ressources d'eau, mais aussi la réutilisation des eaux grises et la réduction des besoins en eau. Enfin, la performance européenne en matière de droits de l'homme et droit du travail est un avantage.

Les conditions et défis de la mine durable

La massification de la mobilité électrique se heurte inéluctablement à la question des impacts environnementaux et sociétaux liés à l'extraction d'un volume toujours plus important de matières premières critiques, comme illustré avant. Il est donc nécessaire que ces sujets soient traités de manière transparente et constructive à tous les niveaux et par tous les acteurs : industriels, société civile, politiques, etc. Sans un effort concerté pour mettre en place un secteur minier véritablement vertueux, moderne et performant, la France et l'Europe ne pourront pas pleinement assumer leurs ambitions stratégiques. Quelques éléments seront particulièrement clés :

- **L'approvisionnement en énergie propre et accessible** : étant donné le caractère énergivore des opérations minières sans électricité décarbonée abondante et stable, les mines européennes ne sauront pas être durables.
- **La nécessité de combler le déficit de compétitivité** : la mine européenne sera plus chère (en raison des efforts pour assurer sa durabilité et du fait d'une production inférieure) par rapport à ses concurrents notamment chinois. Il sera donc crucial d'établir des mécanismes de soutien financier tels que des crédits préférentiels, des subventions et des crédits d'impôt, tout en investissant dans la R&D pour améliorer continuellement les processus. Il en va de même pour la mise en place de programmes de formation visant à développer les compétences nécessaires.
- De plus, il apparaît judicieux d'**attribuer de la valeur aux pratiques vertueuses** en mettant en place un système de labellisation et/ou un cadre de taxes et d'incitations pour le consommateur, permettant ainsi

40. « Which Water Risk Aspect Do You Want to See? », WWF Water Risk, disponible sur : www.riskfilter.org.

de compenser le surcoût associé à l'exploitation minière durable (i.e. conditionner le bonus VE à une empreinte carbone faible ; des achats publics favorisant la production de VE basée sur les matières issues des installations ayant mis en place des normes sociales et environnementales ambitieuses).

- ▀ **Trouver un juste équilibre** entre l'accélération des procédures de *permitting* (comme prévu dans le *Critical Raw Material Act – CRM Act*), la nécessité de dialoguer avec la communauté pour construire une vision partagée du projet minier afin de prévenir des oppositions qui pourraient entraver sa réalisation. Il est important de garantir une forte implication des pouvoirs publics locaux et des parties prenantes capables de représenter à la fois les attentes de la communauté et de soutenir les acteurs industriels, en établissant la confiance des communautés grâce à leur expertise et à la mission du projet. La clarté du processus de *permitting* permettra également un avancement plus fluide des projets, ainsi que la mise en place d'un « *one stop shop* ».
- ▀ **Un meilleur soutien à l'exploration doit être assuré** : les investissements dans l'exploration ont augmenté de 20 % en 2022 selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE)⁴¹, avec le Canada et l'Australie en tête de file, alors que l'Europe reste encore timide à cet égard. De ce point de vue, il est essentiel que les États membres comprennent l'importance de lancer des programmes d'exploration de leurs sous-sols comme stipulé dans le *CRM Act*, et qu'ils soient financés.

Dynamiques des marchés des métaux de batteries NMC utilisées dans les véhicules électriques

Les fondamentaux des « marchés » des matières premières critiques nécessaires à la mobilité routière électriques font l'objet de nombreuses études très poussées et sont en partie accessibles. Il n'est pas pertinent de les détailler ici, et de surcroît, construire de nouveaux modèles de criticité. Dans l'ensemble, on note l'amorce d'un super-cycle des métaux qui sera marqué par beaucoup de volatilité du fait des incertitudes ou évolutions économiques, technologiques (comme les batteries LFP sans cobalt) et géopolitiques, et des réactions de l'offre (notamment sur le lithium). Dans l'ensemble, les niveaux de prix s'inscrivent dans une tendance croissante car la production devrait être largement inférieure aux besoins notamment pour le nickel et le lithium, de l'ordre de deux à quatre fois à l'horizon 2030-2035, avec toutefois un certain nombre d'incertitudes. Ces marchés ne sont pas aussi transparents et liquides que le pétrole, de nombreuses transactions se font de gré à gré, et trois bourses existent : le London Metals Exchange, le

41. *Critical Minerals Market Review 2023, op. cit.*

Chicago Mercantile Exchange et la Bourse de Shanghai⁴². Certaines caractéristiques méritent néanmoins d'être brièvement détaillées pour les matières minérales suivantes, pour lesquelles le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) met régulièrement à jour des fiches de criticité très détaillées⁴³.

Dynamiques du marché du lithium

Le marché est très concentré tant du point de vue des pays détenteurs de ressources (dans l'ordre : Chili, Bolivie, Pérou [salars], Australie [roche]) que des entreprises (dans l'ordre : Albermale, SQM, Ganfeng Lithium, Tianqi Lithium). Les réserves mondiales sont abondantes mais la production est très intensive en eau et coûteuse ; idem pour la production de carbonate, qui peut se faire à proximité des mines et n'est pas complexe. L'accroissement de la demande mondiale va être extrêmement forte, ce qui a provoqué une hausse des cours spectaculaire en 2021-2022 mais dépend néanmoins beaucoup du marché chinois, ce qui explique la rechute vécue fin 2022 liée au ralentissement économique. De nombreuses mines vont être développées partout dans le monde. La production augmente déjà, avec des mines nécessitant quatre à sept ans de développement, mais cela ne suffira pas. Une perspective majeure s'ouvre avec l'exploitation et le traitement des saumures issues de l'industrie pétrogazière, notamment aux États-Unis, et qui pourrait être effectués par les *majors* énergétiques. L'Europe dispose d'un potentiel de production significatif qui pourrait couvrir 35 à 50 % des besoins à terme, notamment à base des saumures géothermales (comme dans le fossé Rhénan), mais aussi de projets miniers (Finlande (Keliber), Portugal, Espagne, France, voire Serbie). Le raffinage de lithium se développe aussi avec des projets en Allemagne ou Finlande.

Trois projets de production de lithium sont annoncés en France, avec des débuts de production prévus entre 2027 et 2030. Deux exploitent la géothermie et le troisième, qui est le plus conséquent, est un projet de mine souterraine qui à lui seul permettrait de fournir le lithium nécessaire à la production de 700 000 VE⁴⁴, et potentiellement bien plus en diminuant la taille des batteries. Ainsi, ces trois projets permettraient de produire 1,77 million de VE équipés de batterie NMC811⁴⁵ de 55 kWh par an selon les quantités annoncées par les différents producteurs. En guise de comparaison, les ventes de voitures particulières en France en 2022 s'élevaient à 1,52 m⁴⁶. Par ailleurs le raffinage serait effectué proche du site d'extraction pour le projet minier. Quant aux projets de lithium géothermal,

42. Voir par exemple le London Metals Index disponible sur : www.lme.com.

43. Le portail français des ressources minérales non énergétiques, minéral info, disponible sur : www.mineralinfo.fr.

44. Imerys, communiqué de presse disponible sur : www.imerys.com.

45. Fait référence à la composition chimique de la cathode de batterie rechargeable, indiquant qu'elle est constituée de 80 % de nickel, 10 % de manganèse et 10 % de cobalt.

46. « Voitures particulières en France », CCFA, disponible sur : www.cffa.fr.

ils sont particulièrement intéressants car ils permettent la production de chaleur et/ou électricité verte et réduisent le nombre d'étapes de transformation nécessaires pour l'obtention du sel de lithium à destination de la fabrication des batteries.

Dynamiques du marché du nickel

Le marché du nickel est assez varié côté production mais le raffinage est fortement concentré aux mains d'acteurs chinois. L'Indonésie s'est hissée au rang de premier producteur mondial en quelques années et veut maximiser son positionnement sur les chaînes de valeur liées à la mobilité (grade 1) ou aux alliages. Jakarta mène la course, tandis que les autres grands producteurs incluent les Philippines (avec une production deux fois moindre), la Russie (trois fois moins et partiellement isolée des marchés mondiaux) et l'Australie (cinq fois moins), bien que cette dernière possède des réserves importantes équivalentes à celles de l'Indonésie (représentant 22 % du total mondial). Par contraste, la Nouvelle-Calédonie a attiré autant d'investissement que l'Indonésie ces vingt dernières années, soit plus de 20 milliards de dollars, mais sa production stagne du fait de problèmes techniques, sociaux et environnementaux. En Europe, les ressources et la production sont concentrées en Finlande et Suède. Le nickel est utilisé de manière encore prédominante dans l'industrie de l'acier (alliages, acier inoxydable) mais cela évolue rapidement en faveur du sulfate de nickel pour les cathodes de batteries, à mesure que l'on cherche à améliorer les performances des batteries et à réduire le cobalt. À moyen terme, la demande sera aussi tirée par le segment de l'aviation régionale, qui viendra compléter celui des VE. L'enjeu principal est de renforcer l'investissement, localiser le raffinage, décarboner l'électricité dans les zones de production et améliorer ou remplacer les traitements chimiques. Deux projets sont particulièrement vertueux : Terrafame en Finlande, ou Kamianga en Tanzanie. Le gouvernement doit aussi mener une réflexion stratégique sur la modernisation du système électrique de la Nouvelle-Calédonie.

Dynamiques du marché du graphite

Cette ressource clé pour la fabrication d'anodes avec une conductivité exceptionnelle (elle représente jusqu'à 30 % du poids des métaux dans les batteries, soit jusqu'à 100 kilogrammes par VE) n'a pas d'alternative et sa demande augmente fortement. L'offre se décompose en graphite naturel et synthétique (qui est prépondérant). Les acteurs chinois dominent la chaîne de valeur. Le graphite synthétique représente 60 à 70 % de la production mondiale et est produit par graphitisation d'un mélange de coke de pétrole et de brai de houille précuit (qui requiert beaucoup d'énergie pour la très haute température, supérieure à 2 000 °C). Il est utilisé soit pour la fabrication d'acier (fours à arc électrique) ou alors sous forme de concentrats ou de graphite sphérique pour les batteries, qui

requiert des étapes de transformation complexes car le graphite doit avoir un très haut degré de pureté en carbone (supérieur à 99,9 %).

Le Mozambique, le Brésil et Madagascar figurent parmi les autres producteurs significatifs, générant une production environ sept à huit fois inférieure à celle de la Chine. De même, l'Inde affiche une production vingt fois moindre que celle de la Chine. L'Ukraine était autrefois un petit producteur, la Suède dispose d'un potentiel tandis que la société australienne Talga se prépare à entamer la production de graphite de qualité batteries à partir de 2024⁴⁷. Le recyclage du graphite devrait toutefois fortement progresser, notamment grâce à un procédé mis au point par une chimiste française⁴⁸.

Dynamiques du marché du cobalt

Le cobalt est en général un sous-produit du cuivre ou du nickel, et sa production est concentrée en RDC (73 % en 2022), notamment par Glencore, mais aussi des acteurs miniers chinois. L'autre producteur significatif est l'Indonésie. L'existence d'une production importante en RDC issue de la mine artisanale (de l'ordre de 15 %), dans des conditions difficiles, a suscité de vives inquiétudes et a poussé les constructeurs à réduire de 50 % la part du cobalt dans les batteries NMC, et d'autres utilisateurs à privilégier les ressources uniquement recyclées. Cette production occupe des centaines de milliers de personnes et ne peut être ignorée, mais doit être accompagnée et structurée. L'Entreprise générale du cobalt (EGC), créée en 2019 en RDC, vise à formaliser et à rendre plus durable à terme le secteur de la mine artisanale, en améliorant les conditions de travail (fourniture d'équipements adaptés), en assurant une rémunération juste et en assurant la traçabilité du produit. Néanmoins, l'aboutissement de ce projet dépend de l'accès au financement, une question que l'Europe devrait regarder de près dans le cadre de son programme Global Gateway, comme mesure concrète pour rendre la production de cobalt plus juste et durable.

Enfin, les cours sont très fluctuants et les acteurs miniers choisissent régulièrement de stocker la production et de ne pas exporter afin d'influencer les cours. Un contentieux fiscal majeur entre la Gécamines et la société minières chinoise China Molybdenum Co. (CMOC) a provoqué l'arrêt des exportations de la mine de Tenke Gungurume (province de Lualaba) pendant dix mois et les exportations n'ont repris qu'au printemps 2023. Dernièrement, l'émergence de l'Indonésie comme producteur rival de la RDC (grâce au nickel dont le cobalt est un sous-produit) a suscité un vif émoi face au constat congolais d'avoir manqué

47. « La start-up Talga se prépare à produire le seul graphite de qualité batterie d'Europe », *L'Usine nouvelle*, avril 2023, disponible sur : www.usinenouvelle.com.

48. « Le recyclage innovant du graphite récompensé par le prix de la meilleure innovation européenne », ChemEurope, A8 octobre 2022, disponible sur : www.chemeurope.com.

l'opportunité de développer une chaîne de valeur, et suscité des réflexions autour de mécanismes de coordination internationale autour de quotas communs d'exportation pour réguler les prix.

Dynamiques du marché du manganèse

Alors qu'il ne figurait pas sur la liste européenne des matières premières critiques publiée en 2020, le manganèse vient d'être inclus en 2023 sur la liste de matières premières critiques et stratégiques de l'UE, publiée en annexe du *CRM Act*. La transformation en qualité batterie du manganèse est complexe et est dominée par des acteurs chinois. Sa production a été perturbée par l'invasion de l'Ukraine par la Russie, les deux pays étant des exportateurs importants. La production est concentrée autour de quatre grands pays : Afrique du Sud avec plus de 30 % de la production mondiale, suivie de l'Australie, du Gabon, de la Chine et du Brésil, tandis que les grands pays sidérurgiques, comme la Turquie et l'Inde, cherchent à sécuriser des débouchés. La demande devrait croître car ce métal est utilisé, avec le nickel, pour réduire les besoins en cobalt dans les batteries.

Dynamiques du marché du cuivre

Le cuivre est une ressource désormais sous tension vu l'accroissement de la demande pour la mobilité électrique, pour les réseaux de transmission et les câbles en mer, en plus des usages pour la construction et les alliages notamment. Les leaders de la production comprennent en premier lieu le Chili, qui détient une part significative dépassant les 25 % du total mondial (ce qui entraîne des tensions considérables liées à l'eau), suivi du Pérou (10 %). Dans une moindre mesure, la Chine et la RDC (environ 8 %), ainsi que les États-Unis, le Canada et le Mexique jouent également un rôle notable. Si l'offre augmente progressivement, en particulier dans la ceinture du cuivre en Afrique centrale (RDC, Zambie), l'accroissement de la demande sera extrêmement fort, passant de 25 millions de tonnes (Mt) en 2022 (dont seulement 20 % pour les technologies bas-carbone) à plus de 35 Mt en 2030, et 40 Mt à l'horizon 2040 (pour moitié pour les technologies bas-carbone). Le recyclage du cuivre est très développé et représente une part significative de l'offre disponible ; il devra encore être renforcé, sur la base notamment des anciens câbles téléphoniques et canalisations d'eau potable. L'empreinte carbone du cuivre est généralement élevée, mais la localité de Boliden en Suède se distingue en développant une production remarquable avec une empreinte d'environ 1,5 t de CO₂ par tonne de cathode cuivre. La Pologne, *via* la KGHM Polska Miedz⁴⁹, émerge en tant que producteur européen notable et envisage d'atteindre une décarbonation de sa production grâce à l'utilisation de petits réacteurs nucléaires modulaires.

49. Société polonaise spécialisée dans l'exploitation minière, le traitement du cuivre et d'autres métaux précieux.

La transformation des matières premières et le défi de la dépendance

La domination de la Chine au niveau mondial dans le segment de la transformation des matières premières critiques est écrasante, comme l'illustre le graphique ci-après. Alors même qu'elle ne concentre pas sur son territoire la majorité de l'extraction minière, la Chine domine l'étape du raffinage et de la transformation, et à cette fin elle a renforcé son emprise sur l'extraction des matières premières à l'étranger, restant néanmoins dépendante de pays clés comme la RDC (cobalt), l'Indonésie (nickel) ou encore l'Australie (lithium).

Face à ce *statu quo*, la période 2022-2023 semble caractérisée en Europe par deux perspectives divergentes concernant la transformation des matières premières en produits finaux. D'une part, la proposition de Règlement sur les matières premières critiques vise à ce que la transformation opérée dans l'UE permette de produire au moins 40 % de sa consommation annuelle en matières premières stratégiques à l'horizon 2030 (parmi lesquelles, les métaux de la mobilité électrique de qualité batterie). D'autre part, la crise énergétique traversée en 2022 a exposé et exacerbé le désavantage structurel de l'UE. La dépendance aux énergies fossiles importées se traduit par des coûts énergétiques nettement plus élevés que ceux observés chez ses principaux partenaires.

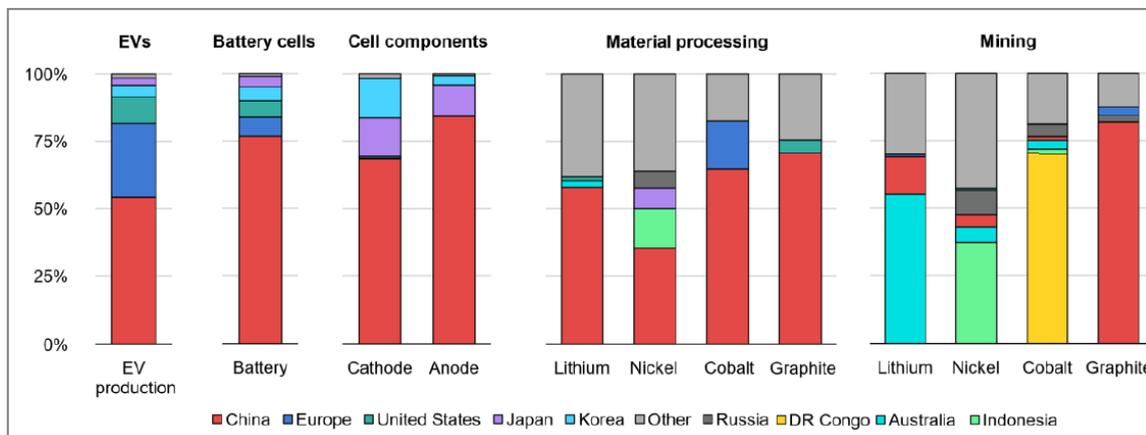
Selon la DG ENER⁵⁰, pour toute l'année 2022, les prix de gros de l'électricité dans l'UE se sont établis en moyenne à 230 €/MWh, bien au-dessus d'autres économies comme le Japon (163 €/MWh), la Corée (146 €/MWh), la Turquie (141 €/MWh), l'Australie (116 €/MWh), les États-Unis et l'Inde (69 €/MWh), les prix européens ayant été 235 % plus élevés qu'aux États-Unis. Cette situation a entraîné la fermeture de 50 % de la capacité de production européenne de zinc⁵¹, 30 % d'aluminium, ainsi que 30 % de la production silicone⁵².

50. « Quarterly Report on European Electricity Markets », *Market Observatory for Energy*, vol. 15, n° 4, DG Energy, disponible sur : www.energy.ec.europa.eu.

51. L. Gregoir et K. van Acker, « Metals for Clean Energy: Pathways to Solving Europe's Raw Materials Challenge », *op. cit.*

52. « Electricity Market Design: Long-term Improvements Missing Short-term Action », Communiqué de presse, Eurométaux, 14 mars 2023, disponible sur : www.eurometaux.eu.

Graphique 7 : Distribution géographique de la production par étapes de la chaîne de valeur du véhicule électrique



Source : IEA Global Electric Vehicle Outlook 2022.

La première condition pour rendre réalisable l’ambition de la législation européenne sur les matières premières critiques, notamment en matière de raffinage et de production des précurseurs de matériaux actifs d’anode et de cathode, reste le déploiement massif et rapide des sources d’énergie décarbonées tout en garantissant l’accès des industries à des prix compétitifs. En effet, les échanges avec les industriels de l’automobile confirment que les entreprises européennes ont d’emblée un désavantage concurrentiel de coût à hauteur de 1 000-2 000 € pour la production d’un véhicule électrique par rapport à la Chine en raison du prix de l’énergie (et de la contrainte CO₂), qui pèse sur leur compétitivité beaucoup plus que le différentiel de coût lié à la main-d’œuvre.

Alors que la production de cellules de batteries et des packs batterie prend son essor en Europe et en France pour atteindre une capacité de production entre 713 et 1197 GWh (selon la Cour européenne d’Audit à l’horizon 2025-2030⁵³) au niveau européen, dont 64 à 122 GWh en France, le paysage reste encore très incertain en ce qui concerne la production de PCAM – précurseurs de matériaux actifs cathode (c’est-à-dire, un mélange d’hydroxydes de nickel, cobalt et manganèse/ aluminium dans le cadre d’un processus de précipitation permettant ainsi l’obtention de PCAM). Ces PCAM sont ensuite combinés avec de l’hydroxyde de lithium pour produire des CAM par le biais du processus de calcination.

Sur la base des données disponibles, la perspective de production de PCAM en Europe semble aujourd’hui limitée. Certains projets ont été lancés ou récemment annoncés, stimulés par la volonté des constructeurs

53. « The EU’s Industrial Policy on Batteries: New Strategic Impetus Needed », Cour européenne d’Audit, juin 2023.

européens de contrôler leur chaîne de valeur, la disponibilité des rebuts (*scrap*) provenant des *gigafactories*, ainsi que le développement du recyclage des batteries de VE. Ce dernier implique des procédés de purification et de transformation des matières premières critiques présentes dans les batteries, assurant ainsi un approvisionnement local pour les installations de PCAM et de CAM. Néanmoins, la quasi-absence d'une activité minière locale ou de recyclage des batteries et de rebuts d'usine n'est pas la seule raison pour expliquer le sous-développement de la production de PCAM en Europe jusqu'ici.

Il convient également de souligner l'impact environnemental associé aux processus chimiques, les coûts substantiels (dépassant le milliard d'euros en dépenses en capital pour répondre aux besoins d'un constructeur automobile et alimenter une *gigafactory* de 45 GWh), la complexité de l'établissement d'un modèle économique solide face à la domination chinoise et la menace de *dumping* de précurseurs à des prix très bas. Par ailleurs, la moindre importance des PCAM dans la détermination de la performance de la batterie, par rapport à la construction des CAM, suscite un intérêt accru pour cette étape de la chaîne de valeur, où le coût estimé d'installation d'une usine de production serait d'environ 25 m€ par GWh. Selon des études, à horizon 2030, la production européenne de CAM pourrait satisfaire approximativement trois quarts de la demande des gigafactories implantées sur le sol européen⁵⁴ (soit 661 GWh sur 875 GWh, sachant que les projections de la Cour européenne d'Audit laissent entendre que la capacité européenne en *gigafactories* pourrait atteindre jusqu'à 1 197 GWh, ce qui implique qu'environ la moitié de la demande en CAM ne pourra pas être fournie au niveau européen). Il est donc important de mettre en place un réseau fiable de partenaires extra-européens, de soutenir le développement de l'industrie locale, et bien entendu, de sourcer les matières requises pour ces CAM et PCAM.

54. J. Nicholson, P. Patel et A. Lewis, « How the EU Can Unblock the Midstream Battery Materials Bottleneck », EY, mai 2023, disponible sur : www.ey.com.

Tableau 3 : Projets de précurseurs et matériaux actifs anode et cathode en Europe (non-exhaustif)

Projet	Capacité	Entreprise & partenaires	Client	Pays
pCAM & CAM	2 X 40 000 t	Orano (51-49 pour le PCAM / XTC New Energy (51-49 sur le CAM)	ACC, Verkor ?	FR (Dunkerque) ⁵⁵
Recyclage et pCAM/CAM	50 000 tonnes de modules ou 200 000 batteries/an	Eramet, Suez	?	FR (Dunkerque)
CAM	13 GWh en 2024 46 GWh en 2030 200 GWh en 2035 (soit 3m VE)	Umicore	ACC	PL (Nysa) ⁵⁶
pCAM	/	Umicore	Fourniture pCAM à l'usine de CAM d'Umicore en PL	Fi (Kokkola) ⁵⁷
pCAM	/	BASF	Fourniture pCAM à l'usine CAM BASF en DE	FI (Hajavalta) ⁵⁸
CAM	20GWh / an	BASF	/	DE (Schwarzheide) ⁵⁹
CAM	/	Axens, IFPEN, Eurec	/	FR
CAM	100 GWh / an	Northvolt Fem (en étude)	Intégré	SE (Borlange)
CAM	16 GWh / an	Northvolt Ett	Intégré	SE (Skelleftea)
AAM	19 500 t / an	Talga	ACC, Verkor	SE (Lulea) ⁶⁰

Source : Ifri, sur la base des annonces publiques.

55. N. Mann, « Quatre questions pour tout comprendre au projet d'usine de matériaux pour batteries d'Orano et XTC à Dunkerque », *L'Usine nouvelle*, 19 mai 2023, disponible sur : www.usinenouvelle.com.

56. S. Davesne, « En Pologne, Umicore ouvre un site crucial pour l'approvisionnement des usines de batteries européennes », *L'Usine nouvelle*, 26 septembre 2022, disponible sur : www.usinenouvelle.com.

57. « Umicore to Acquire Cobalt Refinery and Cathode Precursor Operations in Finland », Umicore, 23 mai 2019, disponible sur : www.umicore.com.

58. « Automotive Transportation – Global Footprint », BASF, disponible sur : www.catalysts.basf.com.

59. *Ibid.*

60. N. Mann, « [L'instant tech] La start-up Talga se prépare à produire le seul graphite de qualité batterie d'Europe », *L'Usine nouvelle*, 12 avril 2023, disponible sur : www.usinenouvelle.com.

À la lumière de ces éléments, la reconstruction complète de la chaîne de valeur de la batterie en Europe, en particulier sur la question de la transformation des matières premières, ne s'avère ni évidente ni simple. Les implications et les points critiques à prendre en compte sont les suivants :

- ▀ **Le financement :** d'une part, le Règlement Européen sur les matières premières critiques (*Critical Raw Materials Act*, CRMA) ne propose pas de financement européen dédié pour les projets stratégiques, l'octroi des aides d'État ayant été privilégié par la CE au travers de la relaxation des aides d'État. Cet aspect pourrait avoir des conséquences lourdes pour des projets qui ne sont pas implantés dans des pays « généreux » en la matière (les pays scandinaves) ou dont la capacité budgétaire est sous pression (Belgique), ce qui pourrait conduire à un ralentissement des projets où l'érosion du marché unique. Un Fonds européen de souveraineté devrait permettre de financer entre autres des projets de PCAM qui sont aujourd'hui largement absents de la chaîne de valeur européenne et pourraient devenir des goulots d'étranglement.
- ▀ D'autre part, il est important de se poser la question de la pertinence de concentrer les investissements sur une seule chimie dominante (i.e. la NMC), alors que l'Europe est en position de « suiveur » par rapport à la Chine et qu'il y a une transformation très dynamique des chimies des matières actives. Le financement des nouvelles chimies, telles que le sodium-ion, devrait être retenu parmi les priorités, ainsi que le soutien à la recherche des améliorations des procédures de fabrication des matériaux avancés. Les Européens ne parviendront à développer un savoir-faire propre qu'en s'appropriant de nouvelles chimies et procédés.
- ▀ **La prise en compte de la temporalité :** le temps industriel comporte ses spécificités et, malgré la volonté des pouvoirs publics d'accélérer dans le court terme, il est essentiel de rester lucide sur la nécessité de respecter les étapes industrielles (i.e. concertation et autorisations, pilote industriel, installation de démonstration, installation industrielle et montée en charge, etc.). Ainsi, dans le court terme l'Europe et ses États membres doivent mieux comprendre et gérer leurs dépendances aux produits raffinés, tout en renforçant leurs capacités de recyclage afin de rapprocher l'approvisionnement en matières premières des installations de transformation et de diminuer sa dépendance aux métaux raffinés. À cette fin, il sera vital de s'assurer que la *black mass* issue des rebuts des *gigafactories* ou du recyclage ne quitte pas le territoire européen, comme cela peut être le cas aujourd'hui dans une situation où ces déchets ne sont pas classifiés comme étant dangereux, ce qui permet aux acteurs asiatiques présents sur le territoire de les exporter, et où l'Europe ne dispose pas des capacités de traitement de cette *black mass* suffisamment importantes.

Sans mesures adéquates, un arrêt des exportations de *black mass* poserait un problème de stockage des déchets pour les constructeurs, ainsi qu'un manque à gagner.

- ▀ Avec l'essor du recyclage et la relocalisation progressive des installations de transformation des métaux, les besoins en énergie vont continuer à augmenter. Il s'agit d'un énorme défi pour l'Europe, qui doit déjà ajouter plus de 600 GW d'ENR d'ici 2030 pour remplir les objectifs RePowerEU, dans un contexte d'inflation, des flux de matières premières tendus et des tensions géopolitiques. Après la crise énergétique de 2022, l'industrie doute de la capacité des États à accélérer ce déploiement d'énergie propre et des réseaux, une mobilisation rapide en faveur de la mise en place des PPAs entre industriels et producteurs d'électricité sera ainsi nécessaire.
- ▀ L'élargissement du périmètre du Mécanisme d'ajustement carbone aux frontières pour inclure les produits raffinés et les précurseurs pourrait également renforcer le business modèle pour la localisation des usines de PCAM et CAM en Europe, ainsi qu'encourager une plus faible empreinte carbone des processus de transformation ailleurs dans le monde. Les obligations du nouveau Règlement sur les batteries concernant l'empreinte carbone des batteries pourrait également permettre de valoriser la production européenne, pourvu qu'elle soit alimentée par une énergie bas-carbone.

La fabrication des batteries : les *gigafactories*

Si leur intérieur ressemble davantage à des laboratoires pharmaceutiques, les *gigafactories* sont bel et bien des usines de taille très importante où sont produites les cellules et les modules de batteries, suivant une série de procédures⁶¹ : la préparation des encres (séparément pour les anodes et les cathodes, en mélangeant les poudres de matériaux actifs, les additifs et les solvants) ; l'enduction (application encre sur des feuillets, séchage au four) ; le calandrage (phase qui donne l'épaisseur et la porosité choisie aux feuilles revêtues d'encre) ; le découpage des oreilles de chaque électrode et refendage ; l'empilage (*stacking*) de feuilles d'anodes/cathode et leur séparation par un séparateur ; la réalisation d'une série de soudures (laser, ultrason) et l'assemblage de la cellule ; l'étuvage de la cellule (pour enlever toute trace d'humidité) et le remplissage avec l'électrolyte (le liquide qui assure la conduction des ions) ; la formation électrique (cycles de charge et décharge de la cellule de batterie, notamment pour tester la qualité) ; l'assemblage en module (i.e. dans un modèle BMW i3, on compte 12 cellules dans un module). Ce sont les constructeurs automobiles qui vont constituer

61. Selon le processus de fabrication décrit par ACC, données disponibles sur : www.acc-emotion.com.

les *pack batteries*, c'est-à-dire l'assemblage de plusieurs modules de batterie, en fonction du modèle de la voiture (i.e. dans un modèle de BMW i3, le *pack de batterie* contient 8 modules).

En 2017, la CE a initié son alliance sur les batteries afin de stimuler de tels projets⁶², et les annonces de *gigafactories* se sont multipliées en Europe. La région française des Hauts-de-France a été rebaptisée « la vallée européenne des batteries » à la lumière de l'implantation des projets d'usines de fabrication de batteries de quatre acteurs : ACC (Douvain, Pas-de-Calais), Envision (Douai, Nord), Verkor (Dunkerque, financement de 2 Mds€ bouclé en septembre 2023) et ProLogium (Dunkerque ; batteries solides). L'inauguration du premier bloc de l'usine d'ACC à Douvain le 30 mai 2023, avec une capacité de production de 13,4 GWh devrait monter à 40 GWh d'ici 2030. Elle a véritablement inauguré la compétition industrielle visant à atteindre une capacité totale de production de batteries en France, projetée autour de 120 GWh d'ici 2030, soit l'équivalent de la production nécessaire pour alimenter 2 millions de véhicules électriques équipés de batteries de 60 kWh. Au niveau européen, la Cour européenne d'Audit estime que, dans un scénario où tous les projets se réalisent, l'Europe pourrait atteindre entre 714 et 1 200 GWh de capacité de production de batteries avec une montée en puissance des entreprises européennes dans ce secteur (contre des filiales d'entreprises des pays tiers), mais elle met également en garde contre l'accumulation des retards importants – selon ses calculs, seulement 26 % de la capacité de production annoncée a été réalisée en 2021.

Les *gigafactories* européennes et françaises font face à moult défis. Tout d'abord, celui du rattrapage en matière de savoir-faire et de maîtrise des technologies qui se sont développées en Chine et en Corée du Sud, avec les gains d'efficacité spécifiques.

Intimement lié au premier, le défi des compétences est essentiel. À la fois au regard du besoin en main-d'œuvre qualifiée et d'une certaine perte en attrait de l'industrie comme secteur d'emploi. Les fabricants de batterie cherchent à faire face : reconversion de la main-d'œuvre, mise en place des « académies » propres aux métiers de la batterie, d'une politique de formation en interne, mais également la recherche des compétences sur le continent asiatique pour soutenir le transfert de savoir-faire.

L'approvisionnement en énergie reste un défi à ce niveau de la chaîne : la consommation est d'environ 500-600 GWh/an d'électricité pour une production de 15 GWh de batteries. Il s'agit d'un enjeu sérieux lié à la sécurisation d'un approvisionnement stable et suffisant en énergie renouvelable et bas-carbone, mais aussi d'électrification des processus, afin d'utiliser moins de gaz naturel par exemple.

62. « European Battery Alliance: What the European Battery Alliance Is and Why It Matters », Commission européenne, disponible sur : www.single-market-economy.ec.europa.eu.

La sécurisation des CAM/PCAM avec les qualités requises, à des prix abordables et remplissant les critères RSE en volume adéquats et ce sur le long terme est également vital car ces coûts représentent deux tiers des coûts d'OPEX. Le reste est lié aux coûts de transformation dans l'usine (énergie, eau, main-d'œuvre). La maîtrise de la chaîne d'approvisionnement, de sa durabilité et de son alignement avec les principes RSE s'érige dans une préoccupation centrale pour les fabricants européens de batterie soumis à un nouveau cadre réglementaire européen en matière de *due diligence*. Ce *sourcing* s'effectue actuellement auprès d'acteurs comme Umicore, Glencore, ou de fournisseurs chinois. La minimisation de l'empreinte sur le sol en misant davantage sur l'utilisation des anciens sites industriels (« brown fields ») et de la consommation d'eau à travers des processus de récupération, recyclage et réutilisation sont au cœur des préoccupations des *gigafactories* françaises qui entendent ainsi se démarquer de leurs concurrents.

L'économie circulaire au service d'une chaîne de valeur du VE qui se structure en Europe

Le recyclage et la revalorisation des matières et de l'énergie sont des enjeux importants dans la filière automobile, notamment pour les batteries des VE qui sont censés devenir la principale source d'approvisionnement en métaux critiques en Europe après 2040, comme notre étude le montre ci-après. Le secteur automobile français a développé au fil des dernières années une industrie de la revalorisation et du recyclage du véhicule thermique en fin de vie, notamment en vue d'une mise en conformité avec la réglementation relative au traitement des véhicules hors d'usage (VHU) qui impose de valoriser 95 % de la masse de chaque VHU (depuis janvier 2015, réglementation française découlant de la directive européenne 2053/CE).

À présent, les centres VHU assurent la prise en charge, le stockage, la dépollution et le démontage des VHU et permettent d'alimenter les marchés des pièces auto d'occasion qui servent au réemploi dans la réparation d'autres véhicules. Selon l'industrie, environ 20 % de l'activité de la filière de recyclage se fait sur la base des véhicules accidentés – un aspect à prendre en compte dans le cadre du passage au VE, où l'extraction de la batterie d'une voiture accidentée peut être plus complexe à réaliser, d'où un besoin en spécialistes de l'électronique de voiture dans cette filière. Il sera également important pour la filière de développer des capacités de diagnostic de la batterie, ainsi que mettre en place des espaces sécurisés de stockage des VE et des batteries pour éviter les incendies. Les professionnels en charge de l'expertise automobile en cas d'accident devront également monter en compétences à l'égard des spécificités du VE et de sa batterie, afin de mieux diagnostiquer leur état.

Alors que le recyclage du véhicule thermique en fin de vie bénéficie d'un modèle économique à valeur positive où la revente des pièces récupérées joue un rôle important, le modèle économique pour le recyclage du VE dépend largement de la récupération des métaux critiques de la batterie (i.e. l'intégration de l'électronique sur la partie avant du véhicule rend plus difficile le recyclage d'autres composants, en dehors de la carrosserie), d'où l'importance du cadre réglementaire contraignant au niveau européen à cet égard, avec une obligation implicite de recycler 100 % des batteries des VE. La massification des quantités de batteries disponibles permettra d'améliorer le modèle économique grâce aux effets d'économie d'échelle, tout comme la création des partenariats entre les acteurs du recyclage et ceux de la fabrication des batteries. Outre les obligations réglementaires de circularité, le développement de l'industrie du recyclage des batteries permettra aux acteurs européens de l'automobile de réduire leur empreinte environnementale mesurée en cycle de vie, de se doter d'un outil puissant d'autonomie en matière d'approvisionnement en matières premières critiques pour contourner la volatilité des marchés internationaux et leur éventuelle manipulation dans le cadre des tensions géopolitiques montantes, ainsi que pour améliorer leur performance économique notamment pour ce qui de la récupération des déchets d'usine pour réinjecter les matières premières dans la production.

La filière du recyclage se structure en France. Ainsi, le groupe minier Eramet et Suez, spécialiste de la gestion des déchets, se sont associés dès 2019 pour mettre au point une filière de recyclage des batteries. Une usine pilote à Trappes (78) est sur le point de démarrer. Les deux entreprises ont annoncé fin septembre leur volonté de passer sans attendre à la phase suivante, et construiront à Dunkerque une usine à même de traiter 200 000 batteries par an, du désassemblage des batteries (partie Suez) au traitement de la masse noire (Eramet) jusqu'au raffinage des métaux, fournissant ainsi une partie de leurs intrants aux *gigafactories* de batteries voisines. Renault et Véolia, qui dispose également d'une expertise tirée de son savoir-faire sur les piles et accumulateurs, ont aussi mis en place un partenariat dans ce domaine

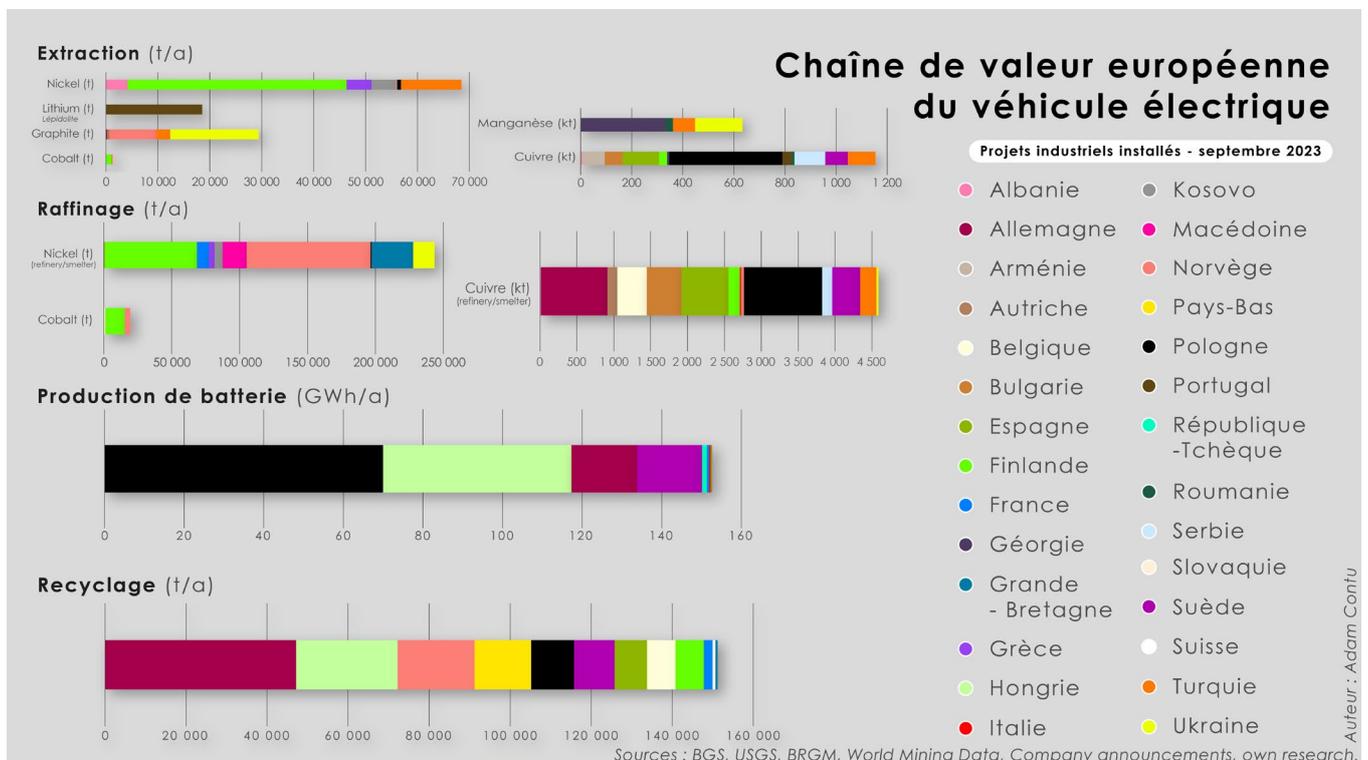
Pour le moment, les flux de déchets de batterie se dirigent vers l'Asie, notamment la Chine qui domine au niveau international en termes de potentiel de recyclage, situation qui devrait changer en vue des obligations européennes en la matière. Par ailleurs, il n'est pas à exclure que, dans le contexte où beaucoup de VE arrivent en fin de vie sur le marché chinois, une insuffisance des installations de recyclage sur son sol n'apparaisse, étant donné le besoin de gérer les déchets d'usine (la Chine étant également le premier pays producteur de batteries). Ainsi, la compétitivité d'une industrie européenne du recyclage des batteries dépendra, entre autres de :

- Sa capacité à sécuriser un approvisionnement en déchets d'usine dans le court terme (car cela permet d'avoir de la visibilité sur un flux continu de matières, vu le taux moyen de rebuts de 10 % qui peut aller jusqu'à

25 % dans les premières années de fonctionnement d'une *gigafactory*) et en batteries dans le moyen-long terme.

- Le rapprochement physique avec les clients afin de réduire les coûts de transportation (à la fois des déchets vers le site de recyclage et des métaux vers les installations de PCAM/CAM).
- Arriver à des taux de récupération des métaux plus performants qu'ailleurs, avec un impact environnemental moindre afin de se démarquer des autres concurrents (qui pourraient essayer d'acheter les déchets batteries du marché européen), y compris grâce à un approvisionnement en énergie propre.
- Maîtriser les coûts des entrants, notamment de l'énergie en Europe, par exemple en mettant en place des contrats de gré à gré de long terme avec des producteurs d'énergie renouvelable et en cherchant les sources d'amélioration de l'efficacité énergétique.

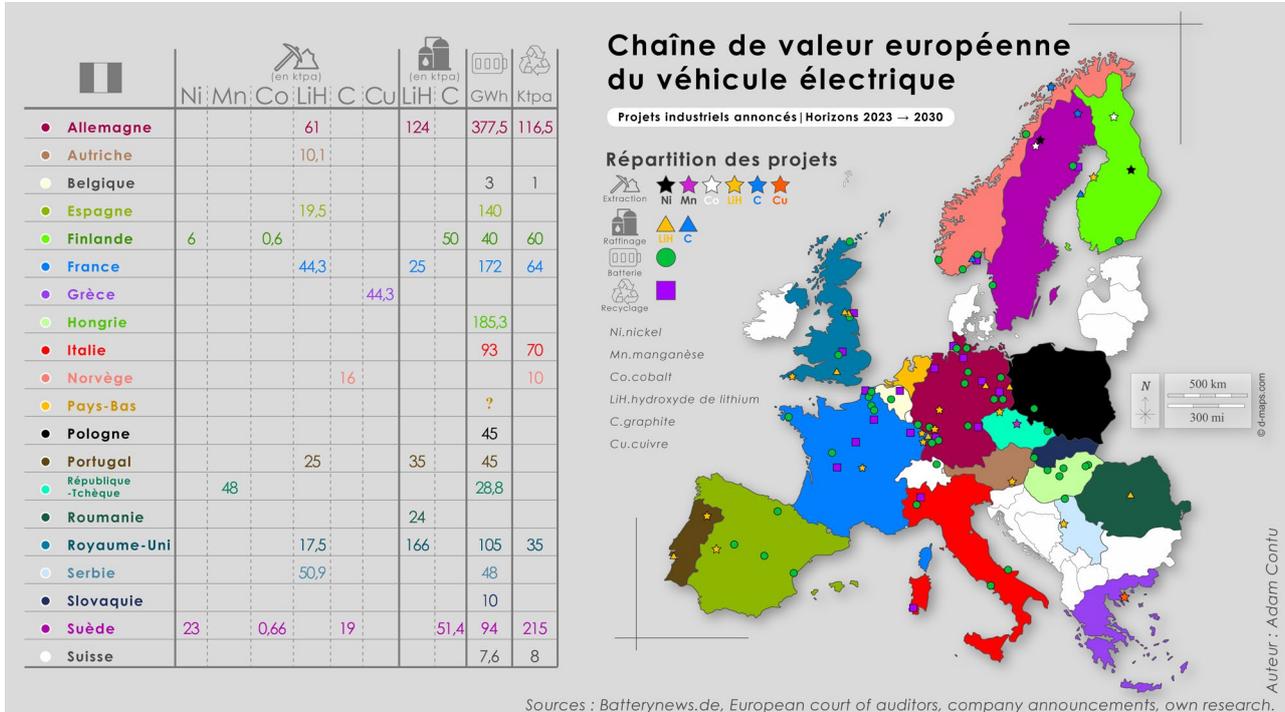
Illustration 2 : La chaîne de valeur européenne du véhicule électrique – projets installés



Note : L'extraction (186 284 t/an) et le raffinage (56 603 t/an) de nickel en Nouvelle-Calédonie n'ont pas été inclus directement dans cette illustration.

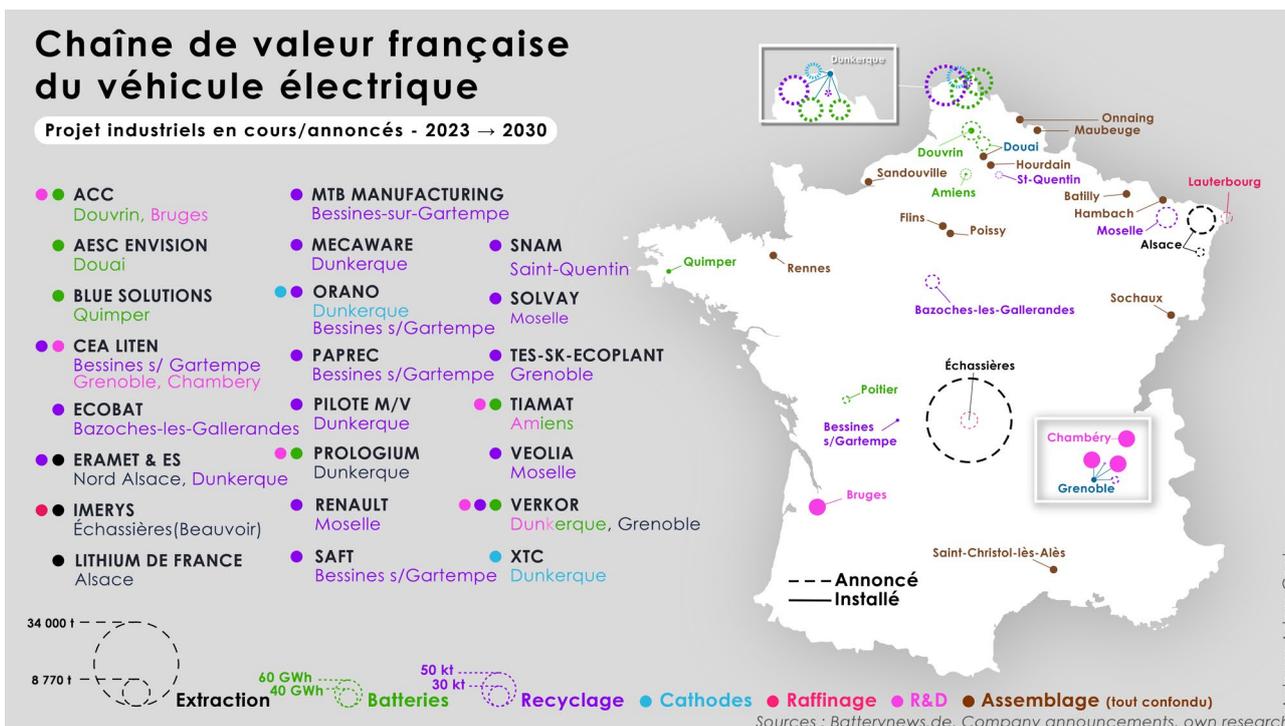
Source : Compilation de l'Ifri de données de BGS, USGS, WMD, Batterynews.de, Eurométaux, Cour européenne d'Audit.

Illustration 3 : La chaîne de valeur européenne du véhicule électrique – projets annoncés



Source : Compilation de l'Ifri de données de BGS, USGS, WMD, Batterynews.de, Eurométaux, Cour européenne d'Audit.

Illustration 4 : La chaîne de valeur française du véhicule électrique – projets en cours



Source : Compilation de l'Ifri de données de BGS, USGS, WMD, Batterynews.de, annonces des entreprises, propre recherche.

La résilience du passage à la mobilité électrique : analyse de l'écart entre les besoins et les capacités de production des matières premières selon différents scénarios

L'analyse présentée dans cette étude se focalise sur le marché des véhicules particuliers, à deux échelles. La première étant les besoins en matériaux et capacités industrielles de la France liés à ce marché, principalement induits par les besoins de batteries, de manière à dresser l'état des lieux et analyser l'influence de différents scénarios sur la capacité française à répondre à ses besoins. Dans un second temps est opéré un élargissement au niveau européen et analysé de manière à décrire le paysage actuel et remettre en perspective ce sujet qui ne peut être traité qu'en prenant en considération les synergies entre pays. Ce scénario européen se concentre sur l'UE à 27.

Scénarios à l'échelle de la France

Tableau 4 : Scénarios sur la situation française en 2035

Scénarios	Nombre de véhicules neufs vendus/an en 2035	Taille moyenne des batteries	Chimie
1. Business as usual	2 millions	55 kWh	NMC
2. Sobriété	1,7 million (-15 %)	40 kWh	NMC
3. Grosses voitures	2 millions	70 % à 55 kWh 30 % à 80 kWh	NMC
4. Chimies variées BAU	2 millions	55 kWh	70 % NMC / 30 % LFP & autres
5. Chimies variées sobriété	1,7 million	40 kWh	70 % NMC / 30 % LFP & autres

Source : Ifri

Plusieurs scénarios de demande ont été étudiés en faisant varier la taille du parc, la taille moyenne des batteries et la composition des chimies de batteries. Un premier scénario, « *business as usual* » prend pour la taille du parc l'objectif fixé par le gouvernement actuel de deux millions de voitures particulières électriques vendues par an en 2035. La taille moyenne des batteries de 55 kWh correspond à une taille inférieure à la moyenne européenne actuelle – de 60 kWh en 2022 selon l'AIE – mais supérieure à celle actuelle en France – 37 à 44 kWh en 2021⁶³. En effet, en l'état actuel du développement des autres modes de transport et de l'usage des voitures, cette taille est amenée à augmenter notamment car les VE aujourd'hui correspondent à des véhicules secondaires et non ceux utilisés pour effectuer de longs trajets. Le scénario 1 s'appuie sur un parc utilisant uniquement des batteries NMC comme les projets annoncés de *gigafactories* en France et en Europe, quasiment exclusivement tournés vers cette chimie, le laissent deviner. L'influence du paramètre de la taille du parc et des batteries sur le besoin en matières premières critiques est ensuite étudiée avec un scénario sobriété correspondant à des ventes annuelles qui ne chercheraient pas à atteindre à nouveau les niveaux pré-Covid (hypothèse de diminution globale du parc des voitures et non pas du ralentissement du remplacement des voitures thermiques, s'appuyant notamment sur un développement de mobilités alternatives). La taille moyenne des batteries est réduite à 40 kWh. Un troisième scénario au contraire vient étudier l'influence d'un parc avec des voitures plus grosses, comme les orientations des nouveaux modèles peuvent le laisser présager. Puis une deuxième série de scénarios vient regarder l'influence de la variation des chimies en ajoutant une part de 30 % de LFP au mix (qui *de facto* pourrait comprendre d'autres technologies que le LFP). En effet les évolutions du parc chinois montrent un déplacement vers des chimies alternatives, moins dépendantes aux métaux critiques, comme la LFP devenue massivement présente, puis dans un futur proche avec le développement déjà enclenché de la technologie sodium-ion. Enfin le dernier scénario combine ces facteurs de taille de la demande et des batteries, et de diversification des chimies.

Le besoin en métaux calculé est le besoin lié à la batterie, concentrant la majorité des métaux critiques. Il convient de noter que les moteurs à aimants permanents sont utilisateurs de terres rares, ceux avec bobinage de cuivre requièrent d'importants volumes de cuivre, mais ces éléments ne sont pas pris en compte dans cette étude.

La capacité à répondre à la demande prend en compte les projets de recyclage, alimentés par des batteries de voitures en fin de vie et du rebut

63. Analyse de l'Ifri à partir de données de l'Association des constructeurs européens d'automobiles (ACEA).

des usines de batteries annoncées, ainsi que l'évolution des exploitations minières actuelles et les projets annoncés à ce sujet.

Hypothèses :

1. Communes à la France et l'Europe :

- ▀ La durée de vie moyenne d'une batterie de VE est fixée à 12 ans.
- ▀ Le taux de réalisation des projets industriels (*gigafactories* et projets d'usine de recyclage) et miniers est fixé à 75 %.
- ▀ Le taux de déchets provenant des usines de fabrication de batteries est fixé à 25 % pendant la phase de « *ramp up* », correspondant en général aux cinq premières années de production, puis à 10 %.
- ▀ Les taux de recyclage des métaux sont ceux annoncés dans la version finale du règlement batteries complétés pour le graphite et le manganèse.

Tableau 5 : Taux de recyclage des métaux critiques en 2027 et 2031

	Taux de recyclage 2027	Taux de recyclage 2031
Lithium	0,5	0,8
Cobalt	0,9	0,95
Nickel	0,9	0,95
Graphite	0,9	0,9
Manganese	0	0
Cuivre	0,9	0,95

Source : Règlement (UE) relatif aux batteries et aux déchets de batteries (pour le lithium, le cobalt, le nickel et le cuivre).

- ▀ Densité des batteries :

Tableau 6 : Densité des batteries par type de batterie

	NMC 622	NMC 811	LFP
Densité (Wh/kg)	217	275	200

Source : Ifri

- ▀ Les chiffres exposés liés aux projets de recyclage sont calculés sur la base des annonces. Ces annonces permettent de déterminer les quantités de *black mass* traitées par an. Les quantités de métaux récupérées grâce à ces projets sont basées sur la composition chimique

des batteries douze ans auparavant⁶⁴ (date de la production des batteries arrivant en fin de vie), ainsi que de la densité énergétique permettant de remonter au nombre de kWh traités. Ces chiffres peuvent s'avérer peu précis dans la mesure où l'hypothèse est faite que la batterie entière est transformée en *black mass* et que sa composition chimique reste donc intacte.

2. Spécifiques à la France :

- ▀ L'historique des ventes de voitures particulières est basé sur les chiffres de la PFA et de l'Association des constructeurs européens d'automobiles (ACEA).
- ▀ Les besoins de batteries pour le stockage d'électricité, potentiellement couverts par des batteries de VE en seconde vie, sont estimés à partir des scénarios de RTE dans le rapport futur énergétique 2050. Les annonces actuelles liées à la politique énergétique française s'orientent vers le scénario N2, qui correspond à 2 GW soit 7,7 GWh de batteries à installer d'ici 2050.
- ▀ Les projets miniers sont basés sur les annonces publiques et les chiffres annoncés par les industriels concernés.

Scénarios à l'échelle de l'UE

Tableau 7 : Scénarios sur la situation européenne en 2035

Scénarios	Nombre de véhicules neufs vendus/an en 2035	Taille moyenne des batteries	Chimie
1. Business as usual	13 millions	60 kWh	NMC
2. Sobriété	11 millions (- 15 %)	45 kWh	NMC
3. Grosses voitures	13 millions	70 % à 60 kWh 30 % à 80 kWh	NMC
4. Chimies variées BAU	13 millions	60 kWh	70 % NM /30 % LFP & autres
5. Chimies variées sobriété	11 millions	45 kWh	70 % NMC/30 % LFP & autres

Source : Ifri

64. « Evolution of Sales Shares for EV Batteries (Cars) by Cathode and Anode Chemistry, 2018-2022 », *Critical Minerals Market Review 2023*, IEA, 2023.

Les mêmes scénarios sont appliqués à l'UE, à la différence du nombre des ventes qui est choisi pour le scénario BAU au niveau des ventes pré-Covid de véhicules particuliers en UE-27. La taille des batteries est basée sur la moyenne actuelle des batteries au niveau européen, soit une capacité de 60 kWh, et dans le scénario sobriété, la taille des batteries est légèrement plus élevée (45 kWh) que celle prévue pour la France (40 kWh).

Hypothèses spécifiques à l'Europe :

- ▀ Les projets miniers européens représentés sont d'une part la production en UE-27 pour 2021, et d'autre part les projets annoncés (en appliquant un taux de réalisation de 75 %). Il est à noter que cette production des mines déjà opérationnelles est amenée à diminuer en raison de l'appauvrissement des gisements, qui n'est pas modélisé ici.
- ▀ L'historique des ventes de voitures particulières est basé sur les chiffres de l'Agence européenne pour l'environnement.

Résultats pour la France

Dans un premier temps, l'évolution du besoin en métaux ainsi que de la capacité d'approvisionnement domestique sont étudiées. Les projets miniers et de recyclage, existants et annoncés sont pris en compte, ainsi que le potentiel de recyclage. Ce potentiel correspond aux quantités de métaux qui seraient extraites si toute la matière disponible, issue des déchets des usines de batteries annoncées et des batteries de VE arrivant en fin de vie, était traitée. La différence entre les projets de recyclage annoncés/installés et le potentiel de recyclage permet de souligner l'écart à combler en matière d'efforts de structuration de la filière de recyclage.

Le graphique ci-après représente le scénario de continuité *business as usual*. Il y apparaît d'une part l'évolution du besoin en métal liée à la production de VE en France et d'autre part les sources d'approvisionnement domestique en métaux, composées des projets de recyclage ainsi que des projets miniers, installés et annoncés. Aucun des métaux d'intérêt n'est actuellement extrait dans des mines en France, bien que des projets d'extraction de lithium soient en cours de développement.

De nombreux projets de recyclages sont annoncés mais peu sont engagés, ce qui résulte du fait que les matières à recycler ne sont pas encore disponibles en volumes importants. Il conviendra cependant de veiller au bon développement de la filière de recyclage, pour ne pas produire de déchets qui ne soient pas traités en France et manquer cette opportunité de réduire les dépendances sur le long terme.

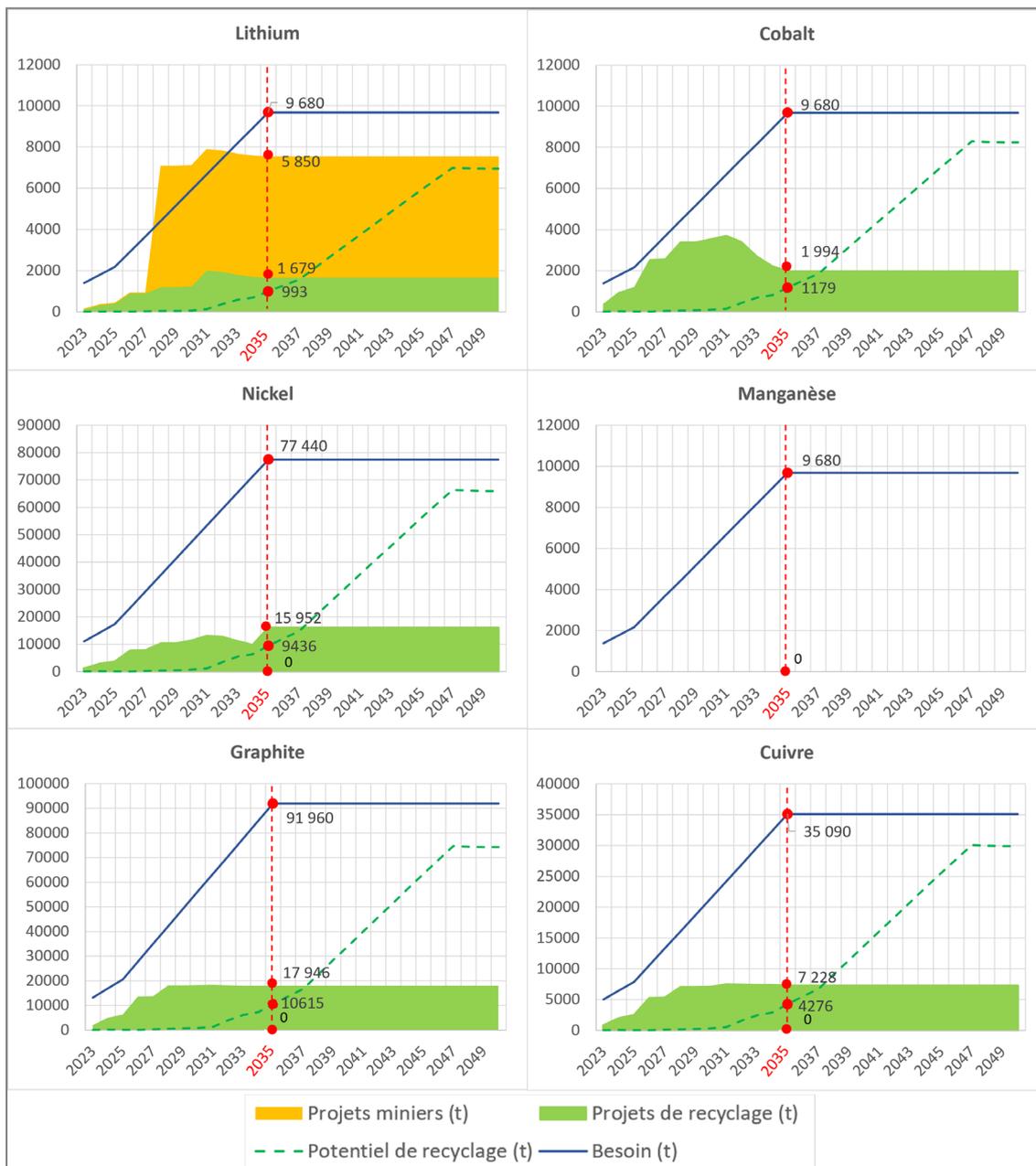
Le potentiel de recyclage est présenté dans les résultats (correspondant à toute la matière disponible qui pourrait être recyclée, composé des rebuts issus des usines de batteries ainsi que des batteries des VE arrivant en fin de vie en France). Ce potentiel met du temps à monter en puissance parce

que le marché du VE était extrêmement limité il y a douze ans, si bien que peu de véhicules sont disponibles pour alimenter les usines de recyclage les premières années. Ce potentiel augmente jusqu'à atteindre un niveau stable en 2047, où les ventes de 2035 (première année du 100 % électrique) arrivent en fin de vie. Par ailleurs, les usines de batteries sont encore pour la totalité en projet ou au commencement pour ACC et ainsi peu de déchets d'usine sont disponibles pour être traités dans un premier temps. Ce potentiel de recyclage atteint des niveaux permettant d'alimenter totalement les projets d'usine de recyclage annoncés uniquement à partir de 2036. Ainsi, si réalisées dans les délais prévus et alors que la montée en puissance pourrait prendre plus de temps, ces usines de recyclage pourraient aussi être alimentées par des sources européennes pour optimiser leur fonctionnement.

Ces résultats soulignent l'importance primordiale du recyclage mais son rôle ne se renforce de manière décisive que dans un second temps, car il ne peut en rien remplacer les besoins initiaux en métaux, au cours des prochaines années, pour permettre le déploiement à plus grande échelle de la mobilité électrique avec une résilience élevée.

Ainsi, un autre levier s'avère nécessaire pour réduire la vulnérabilité des approvisionnements en métaux critiques : la réduction de la demande.

Graphique 8 : Évolution du besoin et de la capacité d’approvisionnement domestique de la France jusqu’en 2050, pour le scénario BAU (en tonnes)



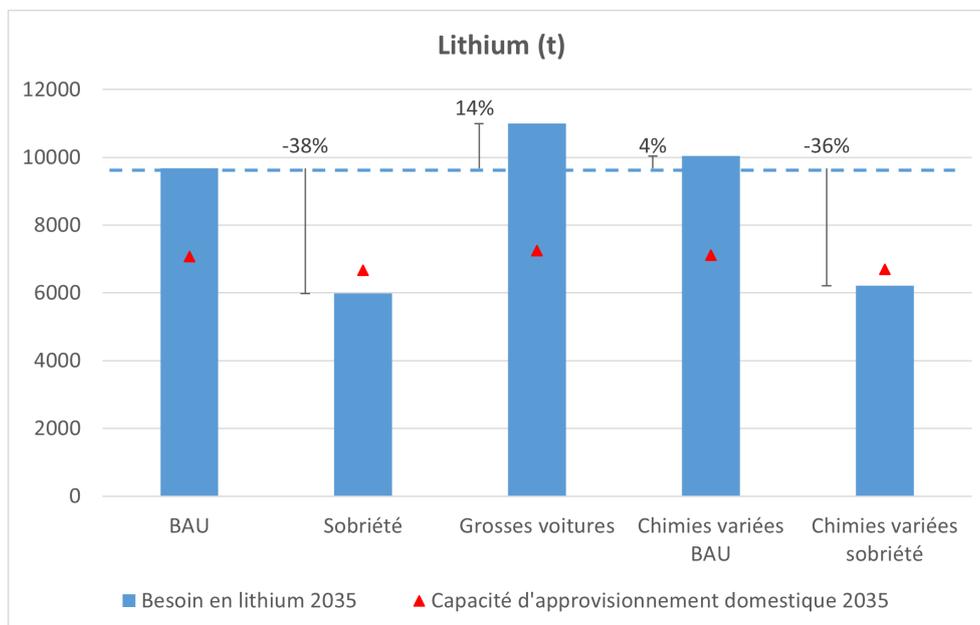
Source : Ifri

Les autres évolutions temporelles pour les différents scénarios à horizon 2050 ne sont pas présentées car l’unique modification est le niveau de besoin ainsi que le potentiel de recyclage. Ces évolutions sont marquées par une incapacité à répondre à la demande en phase transitoire. Les graphiques suivants permettent d’apprécier l’influence des différents scénarios sur l’écart entre la capacité d’approvisionnement domestique et le besoin en métaux en 2035.

Le scénario qui allie la diminution du nombre de voitures, de la taille des batteries et la diversification des chimies permet, en comparaison avec le scénario *business as usual*, une diminution de : 36 % du besoin pour le lithium, 57 % pour le cobalt, le nickel et le manganèse, 30 % pour le graphite et 29 % pour le cuivre.

Le besoin de recyclage diminuerait logiquement dans un tel scénario (puisque moins de batteries et moins grosses), mais cela ne devrait pas poser de problème stratégique, car les capacités de recyclage en France (et en Europe) sont bien en deçà du besoin en recyclage dans un scénario BAU. Le point rouge sur le graphique montre aussi que la capacité d’approvisionnement domestique diminue légèrement (comme conséquence d’un moindre stock à recycler). À l’échelle nationale, il est évident que l’approvisionnement minier ne parvient pas à satisfaire la demande, sauf dans des situations spécifiques, telles que le lithium, où une réponse à la demande pourrait être envisagée. Cependant, cette possibilité se limite aux scénarios qui impliquent une réduction de la taille du parc et des batteries.

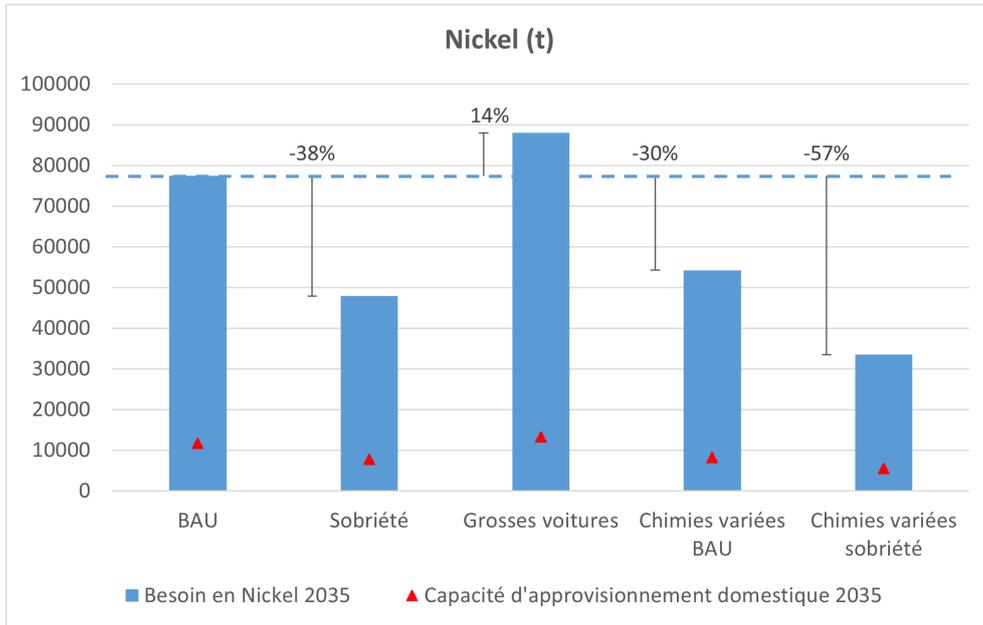
Graphique 9 : Équilibre besoin - capacité d’approvisionnement domestique de la France pour le lithium
Influence des scénarios en 2035 (en tonnes)



Source : Ifri

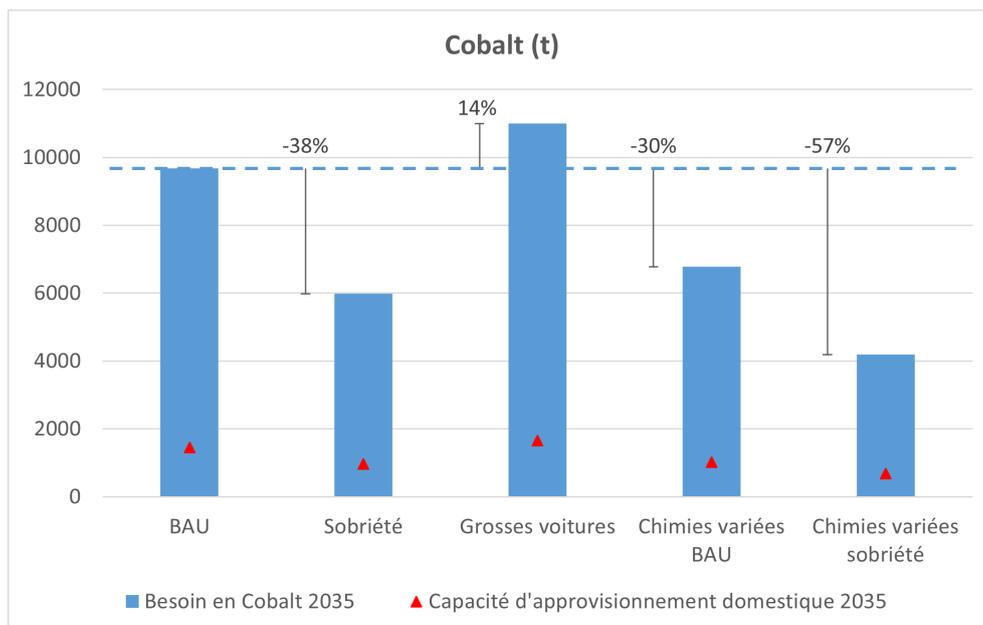
La diversification des chimies permet de réduire de manière considérable le besoin en cobalt, nickel et manganèse. En effet, remplacer 30 % des batteries NMC du parc en 2035 équivaut à diminuer le besoin de 30 % pour le cobalt, le nickel et le manganèse.

Graphique 10 : Équilibre besoin - capacité d'approvisionnement domestique de la France pour le Nickel
Influence des scénarios en 2035 (en tonnes)



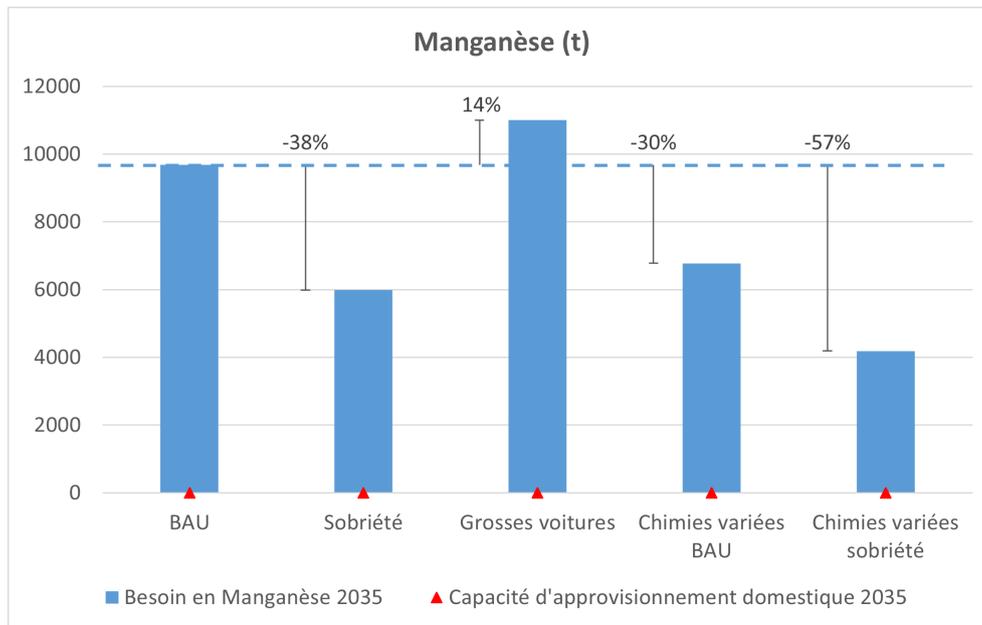
Source : Ifri.

Graphique 11 : Équilibre besoin - capacité d'approvisionnement domestique de la France pour le Cobalt
Influence des scénarios en 2035 (en tonnes)



Source : Ifri

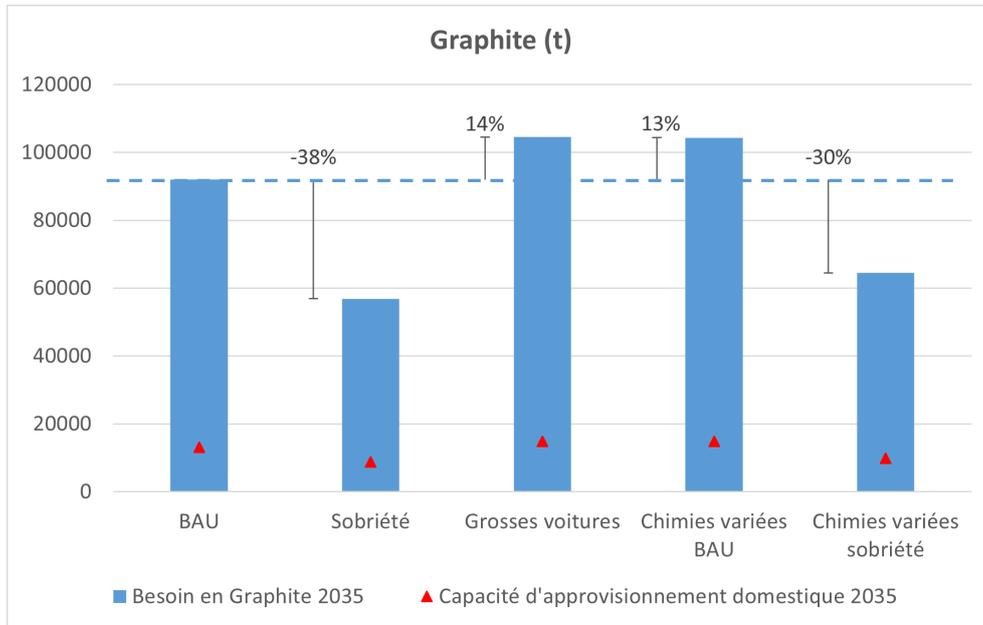
Graphique 12 : Équilibre besoin - capacité d'approvisionnement domestique de la France pour le manganèse
Influence des scénarios en 2035 (en tonnes)



Source : Ifri

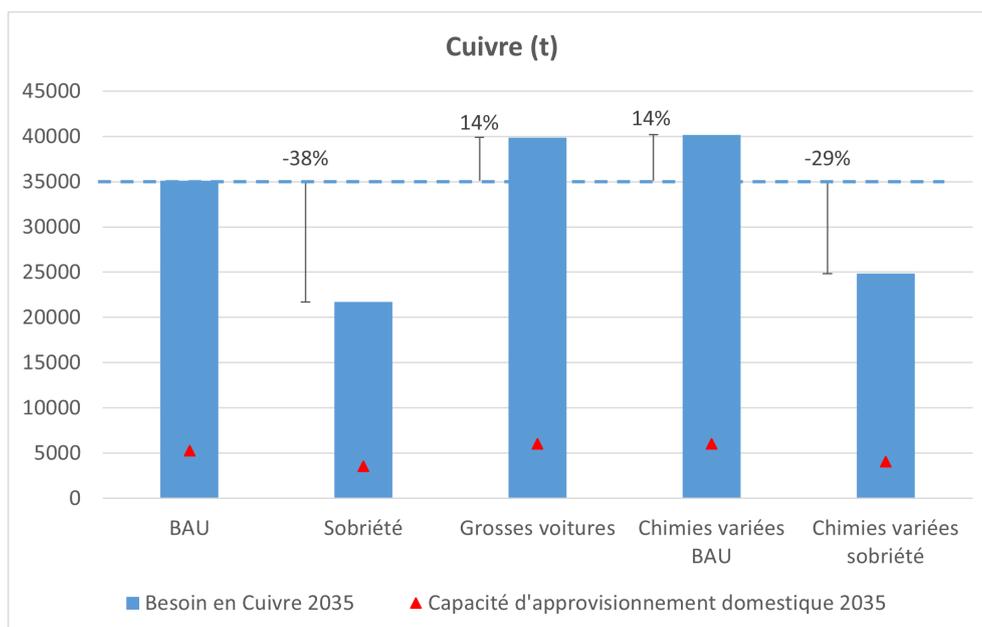
Il est intéressant de noter qu'à ce stade le manganèse n'est pas inclus dans les objectifs de recyclage et de réincorporation du règlement batteries. Par ailleurs, les industriels ne trouvent pas d'avantages économiques à le recycler, car les prix du manganèse restent bas. Sa chaîne de valeur reste limitée bien que la demande induite par la transition vers le VE soit conséquente.

Graphique 13 : Équilibre besoin - capacité d'approvisionnement domestique de la France pour le graphite
Influence des scénarios en 2035 (en tonnes)



Source : Ifri

Graphique 14 : Équilibre besoin - capacité d'approvisionnement domestique de la France pour le cuivre
Influence des scénarios en 2035 (en tonnes)



Source : Ifri

Les résultats concernant le cuivre seraient modifiés de manière importante en prenant en compte les besoins liés au reste du véhicule, notamment du moteur en fonction de la technologie en question. Les moteurs à bobinage de cuivre, comme c'est le cas pour les petits véhicules ont un besoin de cuivre presque équivalent pour le moteur et la batterie. Ainsi les nouveaux moteurs sans aimants permanents seront plutôt pour des petites voitures qui utiliseront *in fine* plus de cuivre. Les moteurs à aimants permanents présentent des besoins beaucoup moins importants, de l'ordre de 20 % de la masse de la batterie. Par ailleurs, les infrastructures de recharges demandent également d'importantes quantités de cuivre qui viennent s'ajouter à ce total (ces besoins n'ont pas été quantifiés dans cette étude, mais dans le cas d'une réduction de la taille des batteries, il a le risque de voir une augmentation du besoin en bornes de recharge rapide, ce qui nécessiterait plus de cuivre).

Résultats pour l'Europe

L'évolution temporelle et les besoins et capacités d'approvisionnement sont également étudiés pour l'Europe. On observe, de la même manière que pour la France, des projets de recyclage annoncés actuellement qui ne répondent pas à la totalité du potentiel, mais l'écart reste bien moindre que pour la France. La France semble occuper une position inférieure à celle de ses voisins européens en ce qui concerne les projets de recyclage des batteries de véhicules électriques.

Il convient de tenir compte d'une forte évolution du potentiel de recyclage lié à l'évolution des chimies de batteries sur le marché (moins de cobalt dans les batteries NMC par exemple, ou introduction de la chimie LFP). Comme dans le cas de la France, le recyclage n'est pas développé pour le manganèse qui ne bénéficie pas à ce stade d'un objectif clair de récupération et réincorporation dans le Règlement batteries, mais dont les besoins ne sont pas négligeables.

Si les productions minières de cuivre sont très importantes, il faut garder à l'esprit que ces productions – et c'est le cas pour chacun des métaux présentés –, sont utilisées par de nombreux usages, en particulier quant au cuivre pour le secteur de l'électricité et de la construction. Ces données sont présentées dans le but d'établir un état des lieux de ce secteur en Europe et de le contextualiser par rapport aux exigences de la transition dans le domaine de l'automobile.

Il ressort systématiquement de ces scénarios que pour renforcer la résilience des chaînes de valeur, et le *Made in Europe*, et réduire ainsi les dépendances extérieures, le scénario de diversification des chimies combiné à des choix de sobriété permet d'obtenir de meilleurs résultats à horizon 2035, même si l'UE, tout comme la France, ne peuvent aucunement prétendre atteindre l'indépendance. Ainsi, cette combinaison permet de

réduire de 34 % les besoins en lithium et d'atteindre un taux de couverture intérieure des besoins de deux tiers. Elle permet de réduire de 56 % les besoins en cobalt, nickel et manganèse, et d'environ 30 % pour le graphite et le cuivre. Si rien n'était fait, les dépendances et vulnérabilités extérieures augmenteraient fortement, ce qui justifie pleinement le principe d'une mobilisation ambitieuse de politiques publiques.

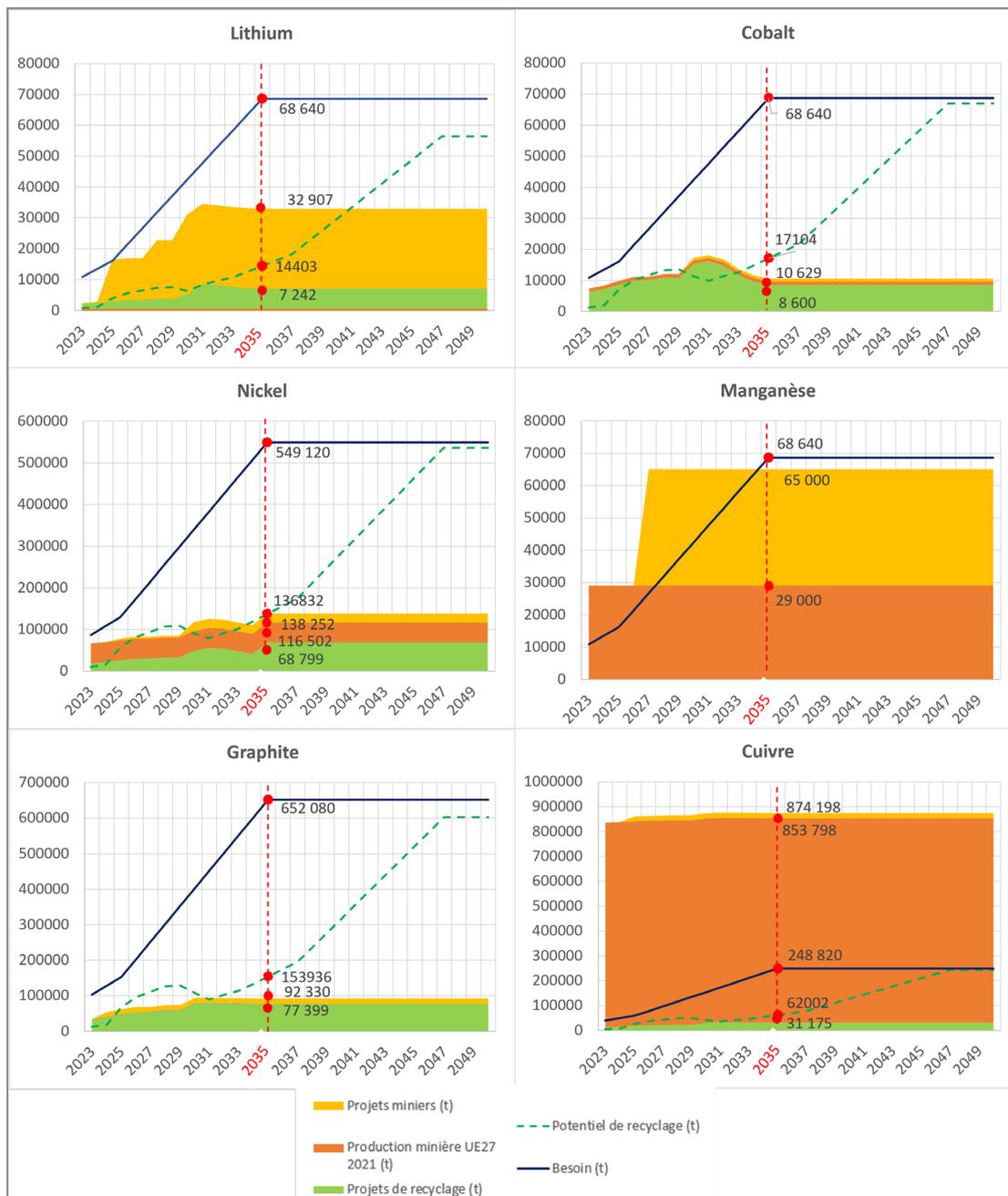
Tableau 8 : Implications du scénario sobriété et diversification en 2035 pour les besoins en métaux

Quantité de métaux évités scénario sobriété et diversification en 2035 pour la France (en tonnes)	Équivalent de production minière
Lithium : 3 472 t	Approx. 60 % de la future production d'Imerys dans l'Allier (ie. 34 000 t LIOH-H2O x 0.16 ⁶⁵ = 5 440 t Li metal)
Nickel : 43 930 t	Production de la 5 ^e plus importante mine de nickel au monde (Cerro Matoso, Colombie, 43 800 t en 2022)
Cobalt : 5 491 t	Production de la 8 ^e plus importante mine de cobalt au monde (Ruashi Mine, RDC, 5 210 t en 2022)
Cuivre : 10 256 t	-
Manganèse : 5 491 t	-
Graphite : 27 482 t	Trois fois la production de la Norvège qui est le 8 ^e le plus gros producteur mondial en 2022
Quantité de métaux évitées scénario sobriété et diversification en 2035 pour l'Europe	Équivalent de production minière
Lithium : 23 447 t	Avoisinant la production de la 8 ^e mine de lithium la plus importante au monde (Bikita Mine, Zimbabwe, 26 600 t en 2022)
Nickel : 305 184 t	Le double de la production de la 1 ^{re} mine de nickel la plus importante au monde (Kola MMC Mine, Russie, 151 030 t en 2022)
Cobalt : 38 148 t	Le double de la production de la 2 ^e plus importante mine de cobalt au monde (Tenke Fungurume Mine, RDC, 19 000 t en 2022)
Graphite : 182 721 t	Environ la production totale de Madagascar, le 2 ^e le plus important producteur au monde (170 000 t en 2022)
Cuivre : 68 046 t	-
Manganèse : 38 148 t	-

Source : Ifri, données propres et données du Mining-Technology.com, InvestingNews.com.

65. ChemicalAid – « Lithium Hydroxide Monohydrate Masse molaire », disponible sur : www.chemicalaid.com.

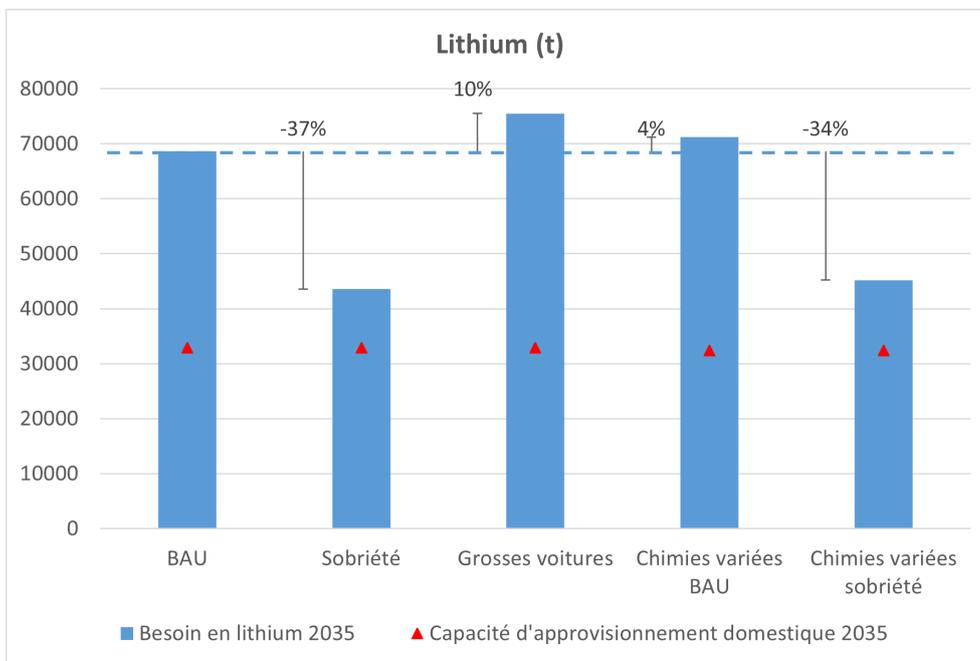
Graphique 15 : Évolution du besoin et de la capacité d’approvisionnement domestique de l’Europe jusqu’en 2050, pour le scénario BAU (en tonnes)



Source : Ifri

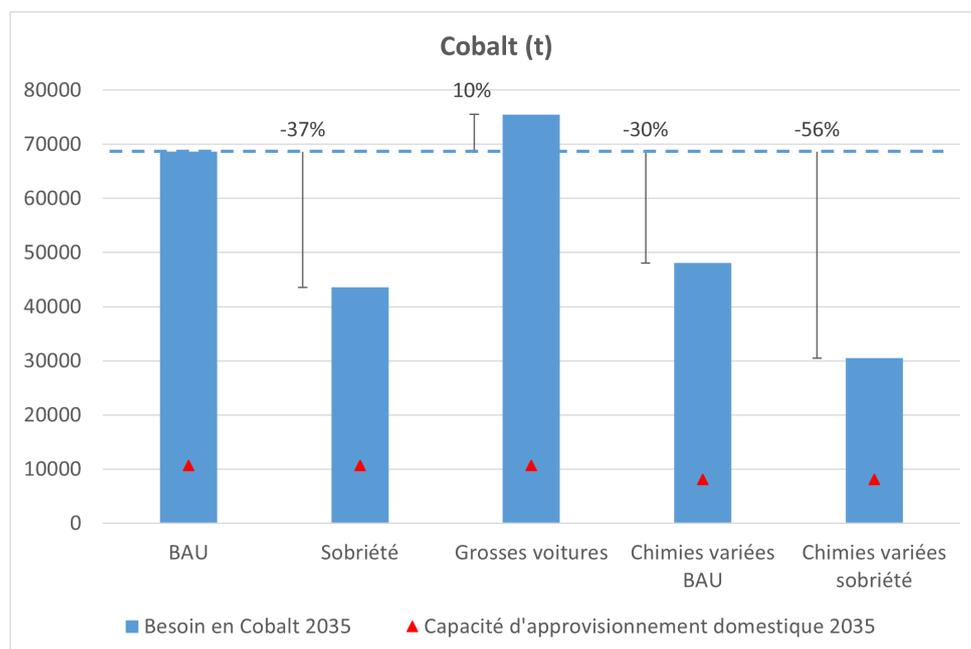
De la même manière que pour la France, l'équilibre entre le besoin et la capacité à répondre à ce dernier n'est pas du tout atteint. La source domestique majeure de réponse à ce besoin est le recyclage qui se développe beaucoup plus vite que l'activité minière. Par ailleurs, les chiffres de l'activité minière sont des productions qui visent à être utilisées par différents usages comme mentionné précédemment au sujet du cuivre.

Graphique 16 : Équilibre besoin - capacité d’approvisionnement domestique de l’Europe pour le lithium
Influence des scénarios en 2035 (en tonnes)



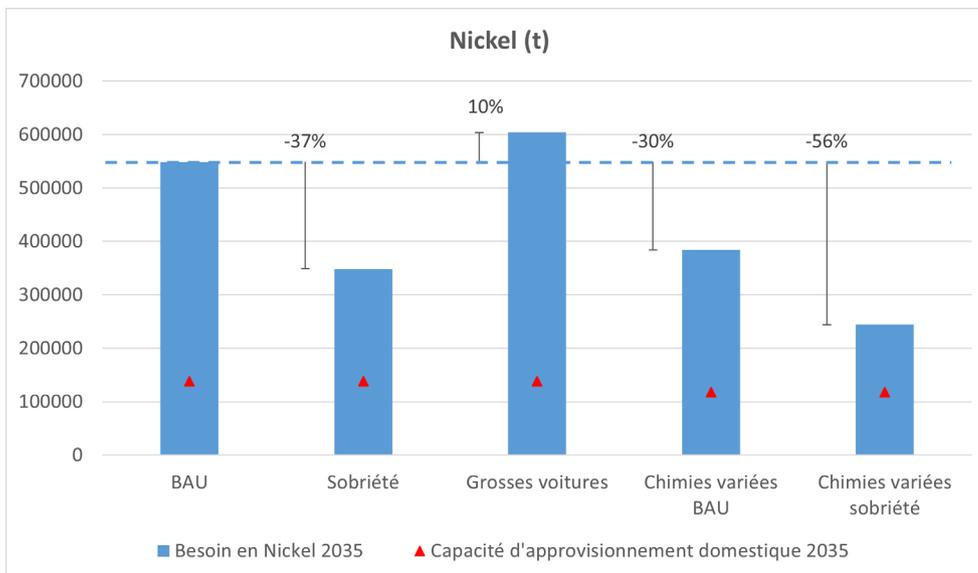
Source : Ifri

Graphique 17 : Équilibre besoin - capacité d’approvisionnement domestique de l’Europe pour le cobalt
Influence des scénarios en 2035 (en tonnes)



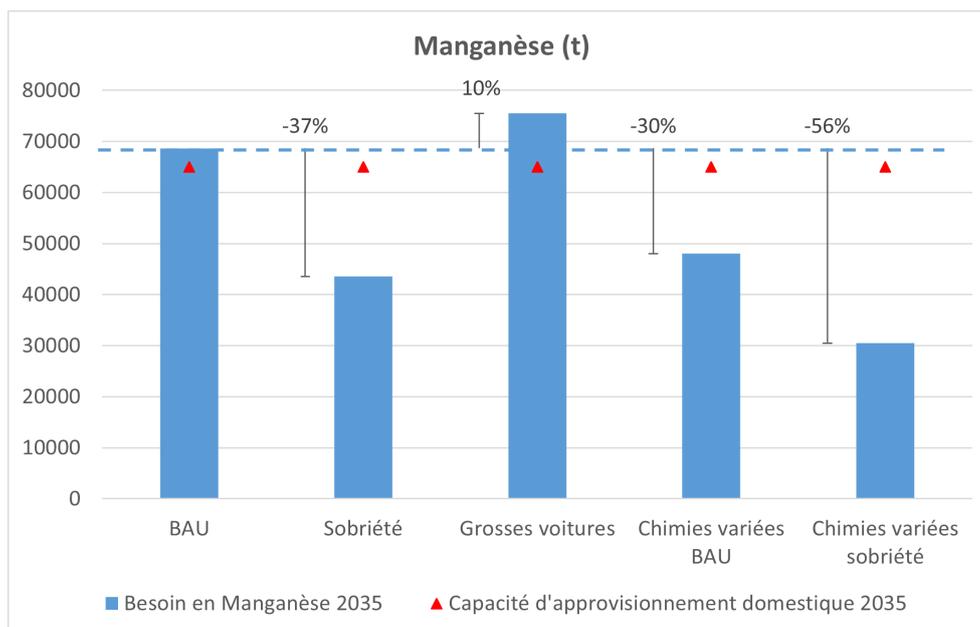
Source : Ifri

Graphique 18 : Équilibre besoin - capacité d'approvisionnement domestique de l'Europe pour le nickel
Influence des scénarios en 2035 (en tonnes)



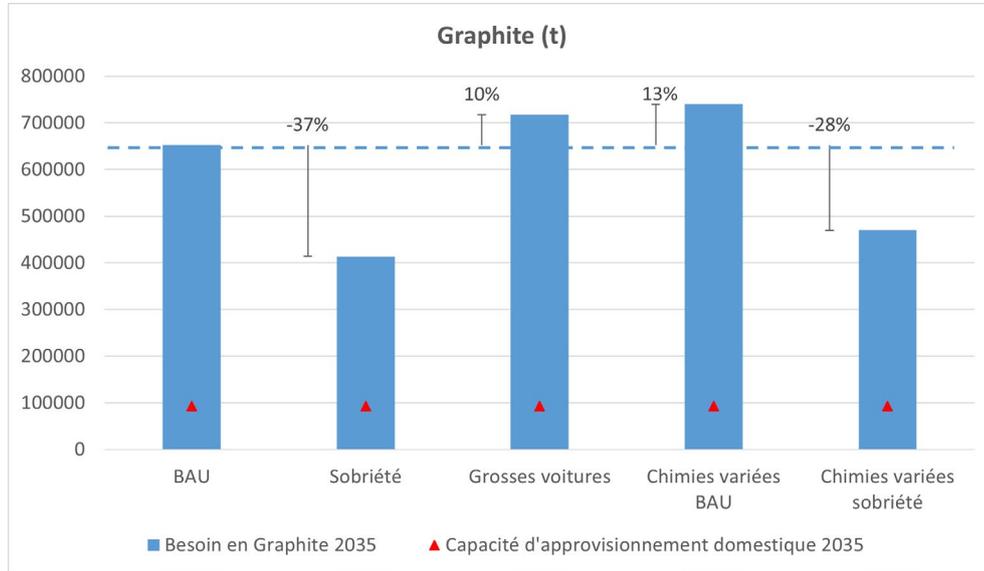
Source : Ifri

Graphique 19 : Équilibre besoin - capacité d'approvisionnement domestique de l'Europe pour le manganèse
Influence des scénarios en 2035 (en tonnes)



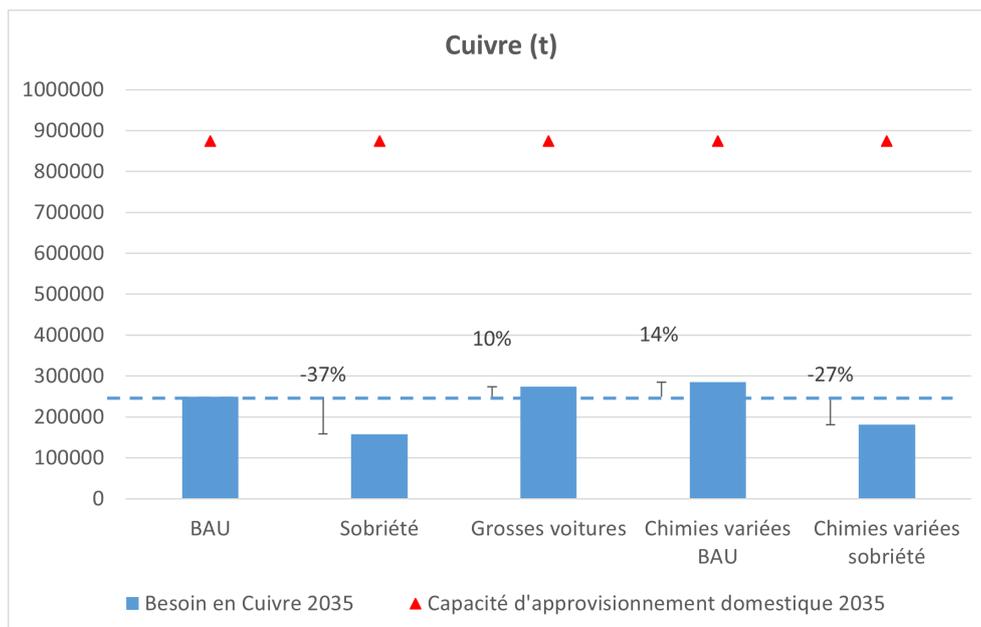
Source : Ifri

Graphique 20 : Équilibre besoin - capacité d'approvisionnement domestique de l'Europe pour le graphite
Influence des scénarios en 2035 (en tonnes)



Source : Ifri

Graphique 21 : Équilibre besoin - capacité d'approvisionnement domestique de l'Europe pour le cuivre
Influence des scénarios en 2035 (en tonnes)



Source : Ifri

Estimation des coûts du déploiement d'une filière industrielle résiliente et impacts budgétaires pour la France

Le déploiement de maillons industriels stratégiques de la mobilité électrique en France est en cours. Cette étude a révélé que les *gigafactories* jouent un rôle crucial, bien qu'elles ne soient pas suffisantes pour assurer la résilience et la croissance industrielle de ce secteur en plein bouleversement. Le soutien budgétaire est indispensable pour aider à l'investissement, dans un contexte de concurrence en Europe pour attirer les industries, et de concurrence internationale sur les technologies et les soutiens aux industries. Ce soutien public est d'ailleurs permis par les règles européennes qui prévoient des exemptions pour les technologies stratégiques à l'interdiction des aides d'État, même si ces exemptions ne visent pas l'ensemble des maillons du VE, mais certains seulement. Le tableau ci-après présente une estimation des coûts totaux pour déployer certains maillons clés des chaînes de valeur et permettre la massification du VE.

Tableau 9 : Estimation des coûts pour le déploiement des maillons de la chaîne de valeur du véhicule électrique en France

Maillon	Nombre et coût	Part couverte par l'État et coût
Gigafactories	120 GWh (4 projets), base 1,1 Md€/15 GWh, soit 8,8 Mds€	Sur une base de 30 % des CAPEX, 2,6 Mds€
Pre CAM et CAM	1,5 Md€/usine, soit 6 Mds€	Sur une base de 30 % des CAPEX, 1,8 Mds€
Bornes de recharges	+ 400 000, pour atteindre 500 000 bornes de recharge en 2030, (sur une base de 7 000 €/borne pour 300 000 bornes, et 40 000 €/borne pour 100 000 bornes), plus de 50 Mds€	Sur une base de 15 %, 7,5 Mds€
Unités de recyclage	1,5 Md€ pour 5 unités de recyclage (300 m€ par unité)	Sur une base de 30 % du CAPEX, 500 m€
Usines de semi-conducteurs	semi-conducteurs (5 m€)	Sur une base de 30 % du CAPEX, 1,6 Md€
Fonderie d'aluminium supplémentaire	1 m€	Sur une base de 20 % du CAPEX, 200 m€
Mine et raffinage	40 Mds€	Sur une base de 15 % des coûts, 5 Mds€

Source : Ifri

Le total de l'investissement pour ces éléments, qui sont loin d'être exhaustifs, représente 113,5 Mds€ d'ici à 2035, soit pour l'État, sur la base des hypothèses formulées, un soutien budgétaire total de près de 20 Mds€.

Il convient ensuite d'y ajouter le coût budgétaire du soutien à l'achat de VE : sur une base de 10 millions de véhicules d'ici à 2030, avec un soutien moyen de 3 500 € par véhicules, cela représente 35 Mds€, soit environ 5 Mds€ par an.

À cela s'ajoute la perte de recettes budgétaires liée aux crédits d'impôt visant à stimuler l'innovation et la recherche – des éléments cruciaux –, ainsi que la diminution des recettes fiscales provenant des carburants.

Dans l'ensemble, le coût pour l'État s'élève à environ 55 à 60 Mds€ sur un peu plus de dix ans, soit au minimum 5 Mds€ par an en moyenne. Ce montant est appelé à augmenter significativement dans les années à venir pour lancer les investissements capitalistiques, pour ensuite diminuer une fois que les usines, bornes de recharge et mines sont construites, et que le soutien à l'achat des véhicules devient moins nécessaire. Si l'on estime que 70 % des sommes doivent être allouées ces cinq prochaines années, cela représente une dépense de 40 Mds€ sur cinq ans, soit une fourchette de 8-9 Mds€ par an d'ici 2030.

Ce coût budgétaire est significatif, de surcroît dans un contexte d'inflation et d'augmentation du coût du remboursement de la dette (48 Mds€ en 2024, soit l'équivalent du budget alloué à la défense). Toutefois, cela sera en partie compensé par la réduction de la facture pétrolière extérieure qui revêt un enjeu économique et stratégique majeur, compte tenu de son montant de 58 Mds€ en 2022.



27 rue de la Procession 75740 Paris cedex 15 – France

Ifri.org