Le Monde
MARDI 17 JANVIER 2023

Un opérateur, au milieu des batteries de stockage d'électricité d'origine éolienne, à Fontenelle (Côte-d'Or), le 2 juillet 2021.
ARNAUD FINISTRE

L'âge d'or des batteries

DOSSIER

Tirée par l'essor de l'automobile électrique, l'industrie du **stockage d'énergie** est en pleine révolution, avec un impact technologique, économique, social et environnemental qui dépasse largement le secteur des transports

L'usine ressemble davantage à un laboratoire pharmaceutique qu'à une chaîne d'assemblage automobile. Le site pilote de Nersac, près d'Angoulême, se dresse à 1 kilomètre à vol d'oiseau des rives de la Charente. Le bâtiment (24 000 mètres carrés) est alimenté en énergie par une vaste toiture de panneaux solaires. A l'intérieur évoluent près de deux cents employés en combinaison blanche, charlotte en couvre-chef, masque et gants de rigueur.

C'est là qu'Automotive Cells Company (ACC) teste des procédés de fabrication de batteries de voitures électriques lithium-ion, en vue d'équiper trois énormes usines actuellement en construction, des *« gigafactories »*, selon la terminologie popularisée par l'américain Tesla : une en France, à Douvrin (Pas-de-Calais), une en Allemagne, à Kaiserslautern, et une en Italie, à Termoli.

Le site de Nersac n'a pas été choisi au hasard. Il appartient à Saft, fabricant historique de piles, entré dans le giron de TotalEnergies en 2016. Il y a trois ans, Saft s'est lancé dans les batteries automobiles en créant la société ACC avec les constructeurs Stellantis et Mercedes-Benz, et avec le soutien des gouvernements français et allemand. L'usine est équipée de quarante-huit fours à induction d'une centaine de mètres de long qui chauffent la fameuse « encre », une poudre d'alliage d'oxydes de cobalt, manganèse et lithium destinée à être « imprimée » sur une feuille d'aluminium pour constituer des séries de cathodes, l'une des deux électrodes de la batterie. L'autre, l'anode, est constituée d'une poudre de graphite déposée sur une feuille de cuivre. Cette phase chimique est suivie d'une étape mécanique consistant à découper des électrodes à la taille de la cellule désirée, et d'une dernière phase électrique consistant à activer la cellule.

UN CHOC SUR L'EMPLOI

ACC est en pleine effervescence. La firme recrute une personne par jour à Nersac, et son centre de recherche et développement, ouvert en 2021 dans l'agglomération de Bordeaux, emploie déjà plus de 600 personnes. Un symbole de l'accélération fulgurante qui se joue actuellement dans le monde des batteries. La pile électrique a certes été inventée en 1800 par le physicien italien Alessandro Volta. Mais la fin annoncée du moteur à combustion, programmée pour 2035 par l'Union européenne au nom de la lutte contre le réchauffement climatique, provoque aujourd'hui une véritable révolution dans le monde de l'électricité. *« C'est clairement l'automobile qui provoque le boom actuel. Les chiffres sont éloquents : la généralisation de la voiture électrique va occasionner une croissance de 30 % par an de la production de batteries sur les dix prochaines années, sans que rien ne contrecarre ce scénario, puisqu'il n'existe pas d'énergie de substitution à ce stade »*, observe Christophe Pillot, directeur d'Avicenne Energy, un cabinet de consultants spécialisés dans ce domaine depuis le début des années 1990.

Privilégiée par l'automobile, la technologie lithium-ion, apparue à la toute fin du XXe siècle, représente déjà plus de la moitié des investissements dans les batteries en termes de capacité produite (près de 450 000 mégawattheures pour un total d'un peu plus de 800 000 mégawattheures), le reste étant réparti entre les batteries au plomb, au nickel-métal hydrure et au lithium polymère. Si, en 2000, les lithium-ion étaient destinées exclusivement aux ordinateurs portables, téléphones et autres appareils électroniques, en 2021, les débouchés l'ont été à 71 % dans les véhicules électriques.

Mécaniquement, l'automobile est en train de provoquer un choc sur l'emploi. Selon Avicenne Energy, le passage au tout-électrique crée *« un appel d'air énorme »* dans la chimie, la robotique, la réparation des batteries, le recyclage… *« Plusieurs dizaines de milliers d'emplois vont être nécessaires »*, estime M. Pillot, ce qui oblige l'industrie automobile à une reconversion à marche forcée ainsi qu'à des suppressions de postes. La fabrication d'une voiture électrique nécessiterait en effet 40 % de main-d'œuvre en moins que celle d'une voiture à essence.

Piles alcalines, accumulateurs, batteries… Selon Avicenne Energy, le marché mondial des dispositifs de stockage d'électricité s'est élevé en 2021 à 135 milliards de dollars (125 milliards d'euros). Et ce n'est pas fini. D'après les estimations de Reuters, les constructeurs automobiles, tous continents confondus, ont prévu d'investir la somme astronomique de 1 200 milliards de dollars dans ce domaine d'ici à 2030. Et déjà, la baisse des prix est à l'œuvre : l'Agence internationale de l'énergie note que le prix par kilowattheure d'une batterie lithium-ion a été divisé par cinq entre 2013 et 2022, en moyenne mondiale.

LE PASSAGE AU TOUT-ÉLECTRIQUE CRÉE « UN APPEL D'AIR » ÉNORME DANS LA CHIMIE, LA ROBOTIQUE, LE RECYCLAGE…

SKATEBOARDS ET BROSSES À DENTS

De nombreux secteurs vont en bénéficier : les mobilités autres que l'automobile (scooters, vélos, trottinettes, skateboards…) et l'électronique (téléphones, ordinateurs, tablettes, objets connectés tels que les compteurs intelligents ou les satellites), mais également les appareils domestiques sans fil comme les brosses à dents, les aspirateurs, les télécommandes, les alarmes ou l'outillage portable de bricolage et de jardinage (perceuses, tondeuses, tronçonneuses…). Les transports sont aussi concernés (trains, métros et avions) ainsi que l'industrie et ses engins de levage ou de chantier. Idem pour toutes les activités nécessitant des batteries de secours en cas de coupure de courant sur le réseau (hôpitaux, data centers). Et tous les dispositifs stationnaires liés aux sources d'énergies renouvelables qui doivent stocker de l'électricité (parcs éoliens, fermes photovoltaïques, nouveaux lampadaires d'éclairage public fonctionnant avec des panneaux solaires, maisons équipées de panneaux solaires…).

Autre bouleversement : la redistribution géographique du marché. *« Les batteries étaient jusqu'ici une spécialité asiatique. Compte tenu de leurs besoins, les constructeurs automobiles européens et américains veulent disposer de leurs fournisseurs près de chez eux »*, explique M. Pillot. Pour rattraper son retard, qui est aussi un enjeu de souveraineté, l'Europe entend assurer 23 % de la production mondiale d'ici à 2030 en volume, contre 7 % en 2020. Des dizaines de projets d'usines de batteries ont été annoncés. Notamment celles des fabricants asiatiques qui viennent s'installer sur le Vieux Continent. C'est le cas du chinois Contemporary Amperex Technology Co. Limited, des coréens Samsung et LG ou du japonais Panasonic.

Des acteurs locaux font simultanément leur apparition, Freyr en Norvège, Italvolt en Italie, ou Northvolt, partenaire de Volvo en Suède, qui fait tourner depuis fin 2021 la plus grande usine de batteries d'Europe. L'Hexagone, lui, voit naître une *« battery valley »* dans les Hauts-de-France, avec trois *« gigafactories »* qui sortent en ce moment de terre : à Douai (Nord), au sein du pôle « Electricity » de Renault, celle d'Envision AESC, un groupe chinois qui a repris il y a cinq ans l'activité batteries de Nissan (démarrage de la production fin 2024) ; à Dunkerque (Nord), celle de Verkor, start-up née à Grenoble

Face au poids écologique, l'industrie croit dans le recyclage

LE PASSAGE À LA MOBILITÉ électrique est censé contribuer à faire atteindre l'objectif d'une économie décarbonée en 2050. Encore faut-il que les batteries limitent leurs propres émissions de gaz à effet de serre. Dans une étude publiée en 2017, la Fondation pour la nature et l'homme, de Nicolas Hulot, soulignait que l'essentiel de celles-ci est lié *« à l'énergie consommée pour extraire, épurer et transformer les ressources minérales qui servent à la production des anodes et des cathodes »*.

Aujourd'hui, sur la base des données de l'Agence de la transition écologique, la profession considère que la fabrication des batteries émet environ 100 kg de CO_2 par kilowattheure (kWh). Pour une berline classique, la capacité de la batterie tournant autour de 50 à 60 kWh, le bilan s'établirait ainsi à 5 ou 6 tonnes de CO_2. Hormis les matières premières, ce sont les fours des usines de batteries qui sont les plus gourmands en énergie. Le bilan sera donc fonction de la façon dont l'électricité est produite pour les alimenter.

Tous les opérateurs qui construisent actuellement des gigafactories couvrent leur toiture de panneaux solaires. Et tous font le pari du recyclage. *« A Dunkerque* [Nord]*, nous utiliserons la chaleur du réseau d'eau chaude d'une aciérie voisine et, en intégrant des matériaux issus du recyclage dans notre fabrication, nous pensons réduire les émissions de 70 %, soit autour de 2 tonnes de carbone par batterie »*, indique Gilles Moreau, cofondateur de la start-up Verkor.

De son côté, le groupe ACC souligne la complexité à estimer l'empreinte carbone des batteries, les matériaux des cellules et des packs provenant de différents pays, selon des procédés chimiques différents. S'agissant de l'électricité requise par sa future gigafactory de Douvrin (Pas-de-Calais), *« les chargements et déchargements électriques lors du processus de production des batteries en usine pourraient représenter jusqu'à 15 % du prix de fabrication total »*, estime son secrétaire général, Matthieu Hubert. Le sujet fait l'objet de négociations ardues avec les fournisseurs d'électricité, dans le contexte de tarifs élevés.

L'enjeu de la seconde vie

« Nous savons que plus de 80 % de l'empreinte carbone moyenne de nos batteries sont liés aux composants, mais aussi au transport jusqu'aux usines des constructeurs automobiles, à leur utilisation par les clients, et à leur recyclage », précise un porte-parole de l'entreprise Saft, spécialisée dans la fabrication d'accumulateurs électriques. D'où la nécessité de bien choisir ses partenaires.

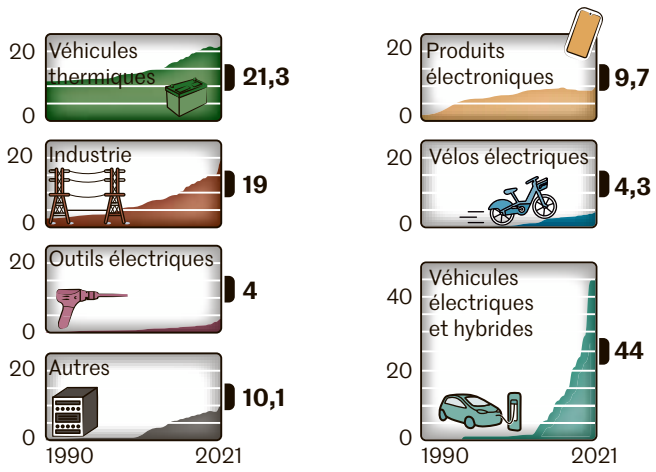
L'une des réponses à la question environnementale se trouve dans la seconde vie des batteries, après leur passage dans l'automobile, notamment pour le stockage de l'électricité d'origine renouvelable. Quant au recyclage proprement dit, l'Union européenne a relevé ses objectifs en décembre. D'ici à 2027, les processus employés devront permettre de recycler au moins 90 % du cobalt et du nickel des batteries, ainsi que 50 % du lithium.

En attendant l'arrivée en fin de vie des premières batteries automobiles, dans une dizaine d'années, la filière va devoir recycler ses propres rebuts de fabrication. Selon le cabinet Avicenne Energy, ces derniers représenteraient *« de 40 % à 50 % »* des matériaux entrant dans l'usine, à la mise en route des gigafactories. Tom Einar Jensen, cofondateur du fabricant norvégien Freyr, estime, lui, qu'*« à terme nous serons en mesure d'émettre zéro émission dans l'air, l'eau et la terre »*. ■

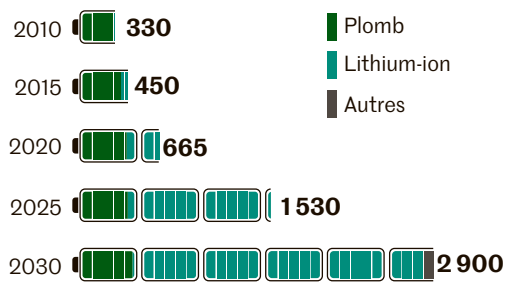
GU. D.

L'essor de la batterie lithium-ion

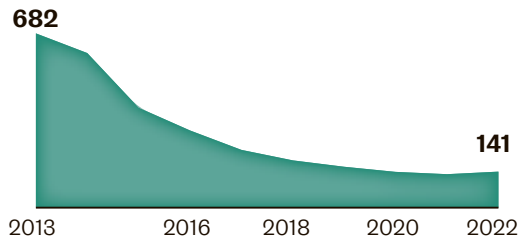
Marché mondial de la batterie rechargeable par usage, en milliards d'euros



Marché mondial par type de technologie, en GWh

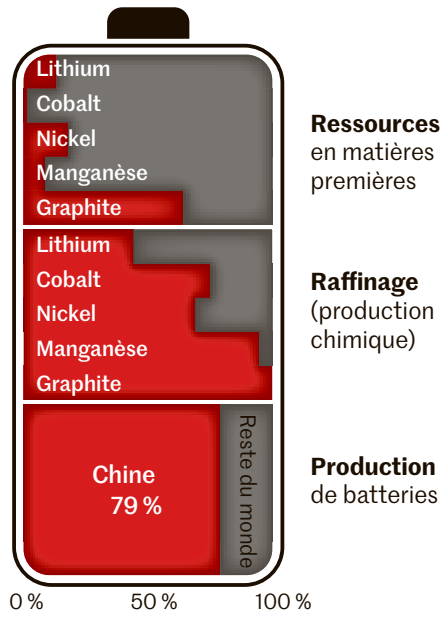


Prix de la batterie de lithium-ion, en euros par KWh

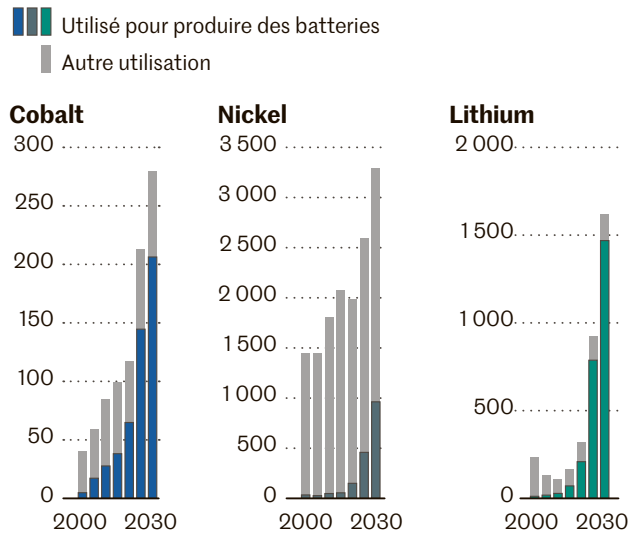


Une filière dominée par la Chine

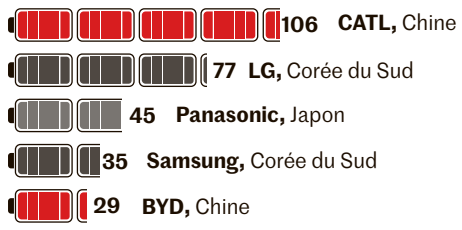
Part de la Chine dans la chaîne de production mondiale de batteries lithium-ion, en 2022, en %



Demande mondiale en matières premières pour la production de batteries, en milliers de tonnes



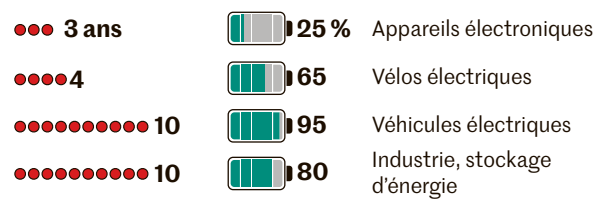
Top 5 des producteurs mondiaux de batteries lithium-ion, en 2021, en GWh



Recyclage des batteries en fin de vie et des résidus de production par région, en %

En 2030, la matière première issue du recyclage pourrait combler de **15 % à 20%** de la demande pour produire des batteries lithium-ion

Durée de vie et taux de collecte des batteries par usage dans le monde en 2021, en années et en %



Infographie *Le Monde* : Benjamin Martinez et Riccardo Pravettoni
Sources : Avicenne Energy, 2022 ; BloombergNEF ; Benchmark Mineral Intelligence

en 2020 et soutenue par des investisseurs financiers et des entreprises, dont Renault (démarrage mi-2025) ; à Douvrin (Pas-de-Calais) enfin, près de Béthune, celle d'ACC, où les premières cellules et modules de batteries sortiront des chaînes dès la fin de 2023. *« C'est un projet hors normes à plus de 800 millions d'euros, qui bénéficie de financements de l'Union européenne en raison de son importance stratégique pour la compétitivité de l'Europe,* signale Yann Vincent, PDG d'ACC. *Notre feuille de route consiste à être en mesure de produire 120 gigawattheures en 2030 »*, soit les batteries de 2,5 millions de véhicules de la taille d'une Peugeot 208 ou d'une Opel Corsa.

« LA COURSE EST LANCÉE »

En même temps que se met en place la filière, la technologie progresse à grands pas. Saft, par exemple, se pose en pionnier de la batterie « tout-solide », dans laquelle l'électrolyte (la substance conductrice de la charge électrique) liquide sera remplacé par un composé en dur, permettant de doubler la densité en énergie d'ici à la fin de la décennie. *« La bataille technologique va d'abord se jouer autour de la cathode,* relève Olga Kergaravat, ingénieure métaux stratégiques à l'Agence de la transition écologique (Ademe). *Tout le monde a en tête la date fatidique de 2035, qui marquera la fin des véhicules thermiques en Europe. La course est lancée ! »*

Si l'électrode positive (anode) de la batterie est généralement composée de graphite, l'électrode négative (cathode) permet des choix multiples. Tesla a choisi les technologies nickel cobalt aluminium (NCA), mais aussi phosphate de fer lithié (LFP) et nickel manganèse cobalt (NMC) ; ses concurrents privilégient, eux, uniquement cette dernière. La complexité de l'approvisionnement pousse à modifier les proportions des différents composants.

« Actuellement, les NMC sont dans un rapport 6-2-2, 60 % de nickel pour 20 % de manganèse et 20 % de cobalt. Ce dernier minerai, peu présent dans le sous-sol européen et de plus en plus onéreux, pousse la filière naissante à aller vers le 8-1-1 et pourrait même conduire au 9-0,5-0,5, afin de réduire la part de cobalt et d'augmenter celle de nickel », précise Mme Kergaravat. Néanmoins, la suppression du cobalt ne peut être envisagée, ce composant jouant un rôle déterminant dans la sécurité et la longévité de la batterie. Et puis, en valeur absolue, l'envol des quantités de batteries à fabriquer va gonfler les volumes, ce qui laisse entière la question de l'approvisionnement.

Selon l'Ademe, la filière ne tiendra debout que si des *« synergies d'acteurs »* se mettent en place entre fabricants de batteries, chimistes et recycleurs. En amont de la production, ACC cherche, par exemple, à sécuriser ses achats de métaux avec le groupe belge Umicore et vient de passer un accord avec Stellantis et la société australienne Vulcan, qui vont produire du lithium en filtrant la saumure (une eau trois fois plus salée que la mer) du sous-sol utilisée pour la géothermie (la production d'énergie grâce à la chaleur des sols), en Alsace. Le français Imerys projette de son côté d'extraire du lithium après reconversion d'une mine de kaolin, dans l'Allier.

En aval, les acteurs du recyclage s'activent eux aussi. Orano (ex-Cogema) a annoncé l'ouverture d'une usine à Bessines-sur-Gartempe (Haute-Vienne). Le groupe minier tricolore Eramet est aussi sur la ligne de départ, en partenariat avec Suez. Son pari est similaire à celui de Veolia, qui possède un démonstrateur – un dispositif destiné à évaluer la faisabilité d'une innovation technique – à Dieuze (Moselle) et construit une usine à Lunéville (Meurthe-et-Moselle) : il consiste non seulement à retirer de la batterie ses éléments en plastique, acier et cuivre, et toute la connectique, puis à découper les modules et à les broyer pour obtenir une matière noire (*« black mass »*), mais aussi à affiner celle-ci par hydrométallurgie, afin de rendre les matériaux stratégiques réutilisables pour fabriquer de nouvelles batteries. *« Il y a tout un écosystème à bâtir, en installant des partenariats avec des acteurs qui ne sont pas habitués à produire ce type de matériaux »*, souligne Jean-François Nogrette, directeur général de Veolia France chargé des déchets spéciaux.

L'ENTREPRISE SAFT SE POSE EN PIONNIÈRE DE LA BATTERIE « TOUT- SOLIDE », QUI POURRAIT DOUBLER LA DENSITÉ EN ÉNERGIE D'ICI À LA FIN DE LA DÉCENNIE

D'après les derniers chiffres collectés par l'Ademe, 1,57 milliard de piles et accumulateurs ont été mis sur le marché français en 2020, pour un poids de 273 000 tonnes. *« L'automobile en constitue la plus grosse partie, avec les batteries de démarrage et d'éclairage au plomb. Les batteries de propulsion, elles, commenceront à rejoindre la filière de recyclage dans une dizaine d'années »*, note Frédéric Hédouin, directeur général de Corepile, l'un des deux éco-organismes, avec Screlec-Batribox, responsables de la collecte en France.

Le défi approche à la vitesse d'une météorite. Entre 2010 et 2021 en effet, 5,7 millions de voitures équipées de batteries lithium-ion ont été vendues en Europe. *« Cela représente 2 millions de tonnes de batteries actuellement sur les routes »*, calcule Frédéric Salin, directeur commercial de Snam, un recycleur précurseur. Doté d'une capacité de traitement de 10 000 tonnes par an, dont 1 200 tonnes de batteries lithium-ion sur deux sites, Saint-Quentin-Fallavier (Isère) et Viviez (Aveyron), Snam prévoit de quintupler sa capacité dans l'automobile dans les deux ans. Et ce sera loin d'être suffisant. A peine sortie du berceau, la filière a du pain sur la planche. ■

GUILLAUME DELACROIX

« L'Europe dépend de la Chine et des pays qui ont les ressources »

STÉPHANE BOURG est directeur de l'Observatoire français des ressources minérales pour les filières industrielles, créé en novembre 2022 sous l'égide du Bureau de recherches géologiques et minières afin de devenir le pôle d'expertise français en matière de métaux stratégiques.

Face au boom de la demande en batteries, l'Europe peut-elle faire contrepoids à l'Asie ?

C'est très compliqué. Pour fabriquer une cathode, élément-clé de la batterie, il faut des matériaux actifs, le fameux alliage d'oxydes de nickel, cobalt, manganèse et lithium dont tout le monde parle. Celui-ci se présente sous forme de poudre et arrive presque exclusivement de Chine.

Mais les métaux stratégiques, au départ, ne se trouvent-ils pas qu'en Chine ?

L'Europe dépend des pays qui ont les ressources, comme le cobalt qui se trouve en majorité en République démocratique du Congo *[RDC]*. Mais elle dépend aussi des pays qui maîtrisent le raffinage. S'agissant du cobalt, il est extrait en RDC, majoritairement par des sociétés chinoises. Par la suite, la concentration, première étape de la transformation du minerai, s'effectue en RDC. Mais, aussitôt après, le concentrat part en Chine pour être raffiné.

Depuis quand cette situation prévaut-elle ?

Il y a encore quarante ans, le système était inversé. Les terres rares, utilisées dans les aimants permanents par exemple, étaient exploitées en Chine. Les concentrats arrivaient à La Rochelle, dans l'usine de Solvay, qui en faisait des terres rares purifiées. Par la suite, la Chine a construit ses propres usines de raffinage et les pays miniers, africains pour beaucoup, se sont laissé prendre leurs ressources par d'autres. La RDC réalise maintenant que ce système n'est pas viable, et des réflexions sont en cours pour reprendre possession des ressources et s'équiper d'une industrie de transformation locale.

L'exploitation de gisements européens de lithium et de manganèse sera-t-elle une partie du remède ?

Nous sommes dépendants de la Chine non seulement pour les matières premières, mais aussi pour les produits semi-finis. Les matériaux actifs des batteries sont d'ailleurs vendus au poids sur la plate-forme d'e-commerce Alibaba. En Europe, le manganèse n'est pas identifié comme étant critique. Dans le nord du continent, on trouve du cobalt dans les minerais de nickel, sauf que les ordres de grandeur ne correspondent pas aux besoins. Le lithium, lui, est aujourd'hui majoritairement produit en Australie à partir de roches dures, comme veut le faire Imerys dans le centre de la France. Il y en a aussi en Amérique du Sud, dans les lacs de saumure des hauts plateaux de la cordillère des Andes. En réalité, des capacités existent en Europe, au bon niveau pour notre marché, et la France possède un bon potentiel.

Le recyclage peut-il conduire à un début de rééquilibrage sur cette question de souveraineté ?

En Europe, des sociétés de recyclage voient le jour, mais cela ne suffira évidemment pas à fournir tous les métaux dont les fabricants de batteries auront besoin. D'autant que ce qui sort des usines de recyclage est un matériau appelé « black mass » dans lequel les composants métalliques sont mélangés.

Peut-on imaginer une filière autonome en Europe ?

C'est peu probable, même à moyen terme. Pour l'instant, la filière est confrontée au besoin de traiter la « black mass », afin de séparer et d'affiner les matériaux actifs qu'elle contient. Or, aujourd'hui, seule la Chine sait faire cela à l'échelle industrielle, ce qui signifie que la « black mass » produite en Europe doit repasser par l'Asie pour pouvoir être éventuellement réutilisée dans les futures usines de batteries européennes. Sur le Vieux Continent, le belge Umicore démarre une ligne pilote en Pologne, pour produire des matériaux actifs de cathode à partir de composants recyclés, mais c'est le seul exemple. En France, Orano a un projet en ce sens. Pendant encore longtemps, les « gigafactories » qui sortent aujourd'hui de terre en Europe dépendront nécessairement de l'Asie. ■

PROPOS RECUEILLIS PAR GU. D.