

Énergie : des atouts à valoriser

Le recyclage des batteries électriques

NOTE D'ÉCLAIRAGE - FÉVRIER 2024



Think tank de référence en France et en Europe, l'Institut Montaigne est un espace de réflexion indépendant au service de l'intérêt général. Ses travaux prennent en compte les grands déterminants économiques, sociétaux, technologiques, environnementaux et géopolitiques afin de proposer des études et des débats sur les politiques publiques françaises et européennes. Il se situe à la confluence de la réflexion et de l'action, des idées et de la décision.

NOTE D'ÉCLAIRAGE - Février 2024

Énergie : des atouts à valoriser

Le recyclage des batteries électriques



Les notes d'éclairage de l'Institut Montaigne permettent de se situer et de rendre intelligible l'environnement dans lequel nous évoluons.

Note d'éclairage

Se situer et rendre intelligible notre environnement

Note d'enjeux

Poser des constats et identifier des problématiques

Note d'action

Formuler des recommandations opérationnelles

Opération spéciale

Sonder, chiffrer, expérimenter

Rapport

Analyser et proposer collégalement des solutions de long terme

Avant-propos 7

Introduction 8

1 Les batteries au cœur des nouvelles rivalités stratégiques 9

1.1. Un objet au cœur de plusieurs enjeux stratégiques 9

1.2. Certains acteurs asiatiques contrôlent une grande partie de la chaîne de valeur des batteries 11

2 Les enjeux du recyclage des batteries 15

2.1. Une multitude de procédés plus ou moins matures 15

2.2. Sécurisation d'approvisionnement en matières premières et préservation de l'environnement 16

3 La structuration d'une filière européenne efficace de recyclage de batteries 18

3.1. Se projeter vers une filière compétitive 18

3.2. Un marché encore traversé de nombreuses inconnues 22

Remerciements 26

Hugues Bernard

Hugues Bernard est chargé de projets sur les questions climatiques et environnementales à l'Institut Montaigne depuis 2022. Il est particulièrement intéressé par le financement de la transition énergétique, l'atténuation et l'adaptation du dérèglement climatique et la communication des politiques climatiques. Avant de rejoindre l'Institut Montaigne, Hugues a eu plusieurs expériences professionnelles en administration publique en France et à l'étranger. Il a notamment travaillé sur la dépollution du Gange au sein du ministère de l'Environnement Indien à New Delhi. Hugues est diplômé de la Blavatnik School of Government de l'Université d'Oxford et de l'École d'Affaires Publiques de Sciences Po Paris.

Raphaël Tavanti-Geuzimian

Raphaël Tavanti-Geuzimian est chargé de projets sur les questions économiques à l'Institut Montaigne depuis 2023. Son parcours compte plusieurs expériences en administration publique en France et à l'étranger, à l'issue desquelles il s'est spécialisé dans les sujets macroéconomiques et de politique industrielle. Il s'intéresse particulièrement aux enjeux de compétitivité des entreprises et d'autonomie stratégique. Raphaël est diplômé de l'École du Management et de l'Innovation de Sciences Po Paris.

Cette série de « Notes d'Éclairage » aborde cinq filières critiques de notre transition énergétique : l'hydroélectricité, le traitement-recyclage des combustibles usés du nucléaire, l'hydrogène bas-carbone, le biogaz et le recyclage des batteries électriques.

Ces cinq filières se situent à des degrés de maturité différents mais concourent toutes avec la même intensité à assurer notre souveraineté énergétique décarbonée. Pour certaines, il s'agit de conserver et de moderniser un atout existant, pour d'autres, de se positionner comme compétitives et viables sur la scène internationale. Pour chacune d'entre elles, un désinvestissement ou un manque d'anticipation feraient peser une menace sur la viabilité d'une politique énergétique française souveraine et ambitieuse. Les cinq filières identifiées se situent dans la même fenêtre d'opportunité : celle des décisions et de l'action politique. Considérant que certaines filières aujourd'hui critiques ont échappé hier à la vigilance des décideurs, l'ambition de ces notes d'éclairage n'est pas de formuler des recommandations mais bien d'attirer l'attention sur des arbitrages qui se présentent aujourd'hui afin de ne pas avoir à décider sous la contrainte demain.

Levier devenu incontournable de la décarbonation des modes de transports, les véhicules électriques fonctionnent pour la plupart aux batteries lithium-ion, dont la chaîne de valeur est en grande partie maîtrisée par des acteurs asiatiques, au premier rang desquels la Chine. Pour les économies française et européenne, l'essor du marché de véhicules électriques impose de penser une diminution partielle de la dépendance vis-à-vis des approvisionnements étrangers et des capacités chinoises de traitements de métaux alors que la demande de batteries électriques devrait être amenée à connaître une forte croissance. Le recyclage des batteries consiste à séparer les métaux qui composent l'alliage afin de les réinjecter dans le circuit de production. Il contribue ainsi à réduire l'empreinte carbone sur le cycle de vie des objets qui les utilisent, à commencer par les véhicules électriques. Pour la France et l'Europe, l'enjeu s'articule donc autour de la **structuration d'une filière industrielle efficace pour laquelle de nombreux outils financiers, réglementaires et une volonté politique partagée sont déjà en place** (Alliance européenne pour les batteries, PIIEC, Pacte vert). Elle pourrait du reste s'appuyer sur un écosystème de production naissant à travers l'Europe, même si de nombreuses difficultés méritent encore d'être éclaircies.

1 Les batteries au cœur des nouvelles rivalités stratégiques

1.1. UN OBJET AU CŒUR DE PLUSIEURS ENJEUX STRATÉGIQUES

Les batteries électriques sont l'un des piliers de la transition énergétique, et à la confluence d'enjeux climatiques et industriels. Elles doivent notamment permettre la réduction de la consommation d'énergie fossile par l'électrification massive des usages, en particulier des mobilités individuelles et légères alors que l'électrification des véhicules légers a permis d'éviter près de 2,8 MtCO₂eq en France entre 2013 et 2022¹. Les véhicules électriques représentent à l'échelle mondiale un total de près de 30 millions d'automobiles en 2022 et connaissent une forte croissance, aussi bien accomplie – avec un stock multiplié par 5 entre 2018 et 2022 – que projetée, l'Agence internationale de l'énergie prévoyant une croissance annuelle moyenne de 30%². **Cette tendance risque de modifier en profondeur le réseau électrique, notamment par la multiplication des sources de production d'énergie, la variabilité de leur production et les besoins de stockage associés³, le tout nécessitant des investissements de grande ampleur.**

Les batteries sont en effet des systèmes indispensables à certains usages embarqués de l'électricité et notamment et à la décarbonation de la mobilité routière. Il existe plusieurs types de batteries électriques, comme les batteries au plomb ou les batteries nickel-métal hydrures qui ont largement dominé le marché du véhicule hybride au début des

¹ RTE (2022). Bilan électrique 2022.

² IEA (2023). Global EV outlook 2023 : Prospects for electric vehicle deployment.

³ Commission d'enquête parlementaire visant à établir les raisons de la perte souveraineté énergétique de la France.

années 2000). À l'heure actuelle, la batterie lithium-ion (BLI) s'est imposée comme la technologie de référence que ce soit pour la mobilité ou dans l'électronique en général⁴. Elles présentent en effet de nombreux avantages dans le domaine de la mobilité, en particulier celui d'offrir une densité d'énergie bien supérieure à celle de toutes les technologies concurrentes⁵.

La demande pour les BLI devrait connaître une importante augmentation puisque ce sont elles qui équipent la très grande majorité des véhicules électriques. À l'échelle mondiale, le volume total de batteries en circulation pourrait s'établir entre 0,5 et 1 million de tonnes par an en 2050⁶ selon le scénario retenu. Cette croissance sera notamment tirée par le secteur des énergies renouvelables et surtout par l'augmentation de la flotte de véhicules électriques, favorisée par de nombreuses politiques publiques à l'échelle mondiale.

Tableau 1 : politiques publiques en faveur des véhicules électriques

	<p>Le <i>Pacte Vert</i> européen vise à faire de l'UE une économie compétitive et économe en ressources, neutre en carbone à horizon 2050. Cet objectif suppose une décarbonation du système énergétique et une réduction importante des émissions liées aux transports d'ici à 2050. Il prévoit à cet effet une forte hausse de véhicules à émissions nulles ou faibles, de 13 millions de voitures d'ici à 2025 à 30 millions à horizon 2030⁷.</p> <p>En juin 2022, le Parlement européen a également voté l'interdiction à la vente de véhicules utilitaires légers neufs équipés de moteurs à combustion à compter de 2035.</p>
	<p>La Chine s'est imposée comme leader mondial des véhicules électriques et vise à terme une industrie automobile 100 % électrique. Elle mène une politique planificatrice de soutien au secteur particulièrement ambitieuse, déjà manifestée en 2001 sous l'égide du programme 863, avec un cadre très favorable mêlant subventions, quotas et définition d'objectifs de long terme. Le gouvernement chinois a engagé en 2009 une politique importante de subventions et, à date, les acheteurs de véhicules électriques ou hybrides sont exonérés fiscalement jusqu'en 2027⁸. Des quotas sont aussi établis en complément de ces incitations depuis 2019, assujettissant les producteurs et importateurs chinois d'automobiles à une obligation de vente ou d'importation de véhicules électriques.</p>
	<p>Au-delà d'un tissu d'entreprises déjà robuste, les États-Unis s'appuient sur l'<i>Inflation Reduction Act</i> (IRA), qui offre de généreux crédits d'impôt non seulement aux particuliers achetant un véhicule électrique, mais aussi aux industriels produisant des batteries ou des composants nécessaires à celles-ci.</p>

1.2. CERTAINS ACTEURS ASIATIQUES CONTRÔLENT UNE GRANDE PARTIE DE LA CHAÎNE DE VALEUR DES BATTERIES

L'essentiel de la production mondiale de batteries électriques provient aujourd'hui d'Asie (95 %), avec une triple domination chinoise (53 %), japonaise (20 %) et coréenne (17 %) ⁹. La Chine a fait de l'industrie des batteries un *intérêt stratégique national*, qu'elle soutient à grands renforts de subventions. Cette approche lui permet, d'une part,

⁴ Demain, d'autres chimies pourraient être utilisées pour les batteries, à commencer par les batteries solides, lithium-soufre, ou sodium-ion.

⁵ Remler, D., Das, S., Jayanti, A., (2021). Battery Technology. The Technology Factsheet Serie.

⁶ RTE (2021). Futurs Énergétiques 2050. Chapitre 7, p 356.

⁷ European Court of Auditors (2023). The EU's industrial policy on batteries.

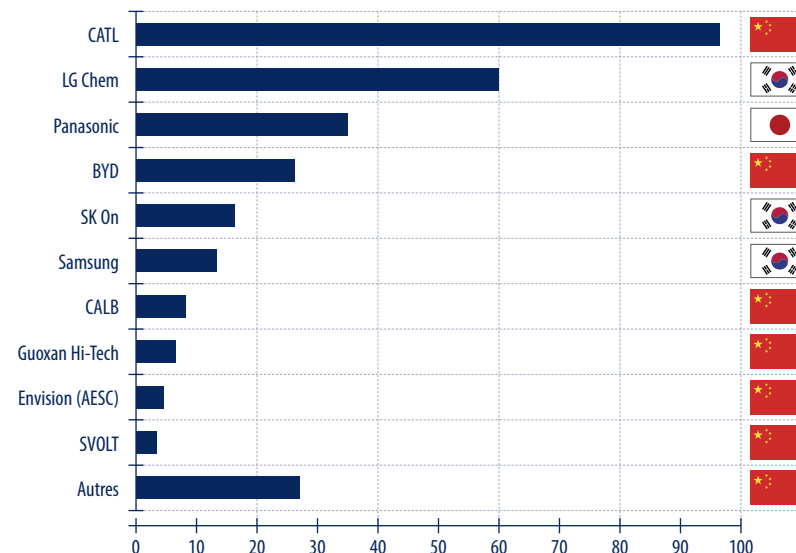
⁸ Bloomberg (2023). China Extends Tax Breaks for New Energy Vehicles Until 2027.

⁹ IFRI (2020). The recycling of lithium-ion batteries, A Strategic Pillard for the European Battery Alliance. Raphaël Danino-Perraud.

de se positionner sur une industrie naissante dont elle peut contrôler les logiques industrielles et stratégiques, et d'autre part, de se défaire du retard qu'elle peinait à rattraper sur la filière thermique.

La Chine maintient aujourd'hui son positionnement stratégique sur les batteries en contrôlant les chaînes de valeur pour une majorité de produits chimiques et métallurgiques nécessaires à leur production (lithium, cobalt, nickel, manganèse, graphite). Elle n'extrait pas elle-même ces métaux, ou en faibles quantités, cependant que d'un point de vue capitalistique, les entreprises chinoises détiennent plus de 50% de l'extraction de graphite, de lithium et de cobalt. Ce contrôle de la chaîne de valeur s'étend ainsi des mines à l'étranger¹⁰, jusqu'à la production des cathodes et des usines d'assemblage¹¹, portées par ses deux géants CATL et BYD. **La dépendance mondiale à l'égard de la Chine se joue donc surtout sur les capacités de traitement des métaux – in fine sur les produits transformés – et la maîtrise de la chaîne de valeur plutôt que sur ses réserves naturelles, contrairement à une croyance bien tenace.**

Graphique 1 : principaux producteurs de batteries au lithium (2021)



Source : Rare Earth Advisory¹².

Cette situation renvoie plus généralement à la position dominante que la Chine entretient sur de nombreuses chaînes de valeur de la transition énergétique. Au-delà des batteries, un spectre élargi de technologies est également gourmand en minerais critiques. Les terres rares qui entrent dans la composition des aimants permanents utilisés dans les véhicules électriques et hybrides, les panneaux solaires ou certaines éoliennes, en sont un exemple prégnant.

¹⁰ En particulier au Congo pour le cobalt et au Pérou pour le lithium.

¹¹ Le Monde (2021). Subventions, restrictions, et patience : la recette chinoise pour dominer le marché des batteries électriques.

¹² Rare Earth Advisory (2022). Les enjeux du recyclage des batteries en 10 questions.

Cette mainmise sur la chaîne de valeur des batteries a fait l'objet d'une double réponse européenne et américaine :

- En Europe, la filière des batteries a très tôt bénéficié de l'attention que lui ont portée les États membres et la Commission. Dès 2017 l'Alliance européenne pour les batteries, initiative intégrée à l'échelle du continent, est lancée. Elle associe une multitude de participants, principalement des acteurs industriels, présents dans plusieurs États membres et de tailles variées, mais également des acteurs institutionnels, comme la Banque européenne de développement (BEI). Son objectif est alors de promouvoir l'essor d'un écosystème industriel transnational. Dans la foulée, plusieurs pays Européens se sont associés afin de consacrer deux PIIEC¹³ aux batteries qui permet aux États de financer des outils productifs. Le premier, avalisé en 2020 et rapidement surnommé Airbus des batteries, rassemble sept États membres – dont la France – et prévoit de flécher 3,2 milliards d'euros d'investissements publics pour favoriser la création d'une filière de production européenne. Le deuxième, validé en 2021, associe 11 États membres, pour 2,9 milliards d'euros de subventions publiques et un objectif de 9 milliards de capitaux privés. Ces subventions constituent une exception autorisée aux règles internes de concurrence en vigueur, qui n'existent pas en Chine ou aux États-Unis, deux pays qui investissent des sommes importantes pour solidifier leur chaîne d'approvisionnement locale.
- Les États-Unis s'appuient quant à eux sur l'IRA¹⁴ qui déploie 370 milliards de dollars de crédits d'impôts et fonds en direction des technologies pour la décarbonation. Au-delà, la mobilisation potentielle de capitaux privés, de financements directs et indirects leur assure une force de frappe financière sans commune mesure avec celle de l'Europe.

¹³ *Projets Importants d'Intérêts Européens Communs : notification transnationale émise par plusieurs États membres à la Commission européenne de leur intention de recourir à des aides publiques au-delà des limites fixées par le règlement sur les aides d'État pour financer un projet de leadership technologique sur un secteur donné.*

¹⁴ *Inflation Reduction Act.*

2 Les enjeux du recyclage des batteries

2.1. UNE MULTITUDE DE PROCÉDÉS PLUS OU MOINS MATURES

Les batteries lithium-ion des véhicules électriques atteignent la fin de leur première vie après une période estimée entre 10 et 15 ans. Elles peuvent alors être jetées, retravaillées de façon à leur offrir une extension de durée de vie (seconde vie), ou bien recyclées. Lorsque les batteries sont recyclées, les principaux métaux composant les cathodes sont séparés pour être réutilisés dans la fabrication de nouvelles batteries. Le processus permet également de récupérer les métaux précieux comme le cobalt, le nickel, l'aluminium (uniquement pour le boîtier qui contient la batterie), et demain le lithium, qui n'est à l'heure actuelle récupéré qu'en laboratoire.

De plus, la composition exacte de la BLI n'est pas systématiquement renseignée, et les différentes chimies (LFP, LCO, NMC, NCA) rendent difficile un processus de recyclage monolithique. Ainsi, une quinzaine de procédés différents sont utilisés dans le monde en fonction des compétences, mais aussi et surtout en fonction du type de batterie recyclée. Les principales techniques de recyclage des batteries sont les suivantes :

Tableau 2 : principales techniques de recyclage industrielles des batteries électriques

Pyrométallurgie	Cette méthode se sert de la chaleur pour séparer les métaux, et utilise directement l'énergie de la batterie. Elle concerne aujourd'hui de moins en moins de sites de recyclage, notamment car elle ne permet pratiquement pas de recycler le lithium et demeure peu efficace pour le manganèse. Elle peut également être risquée du fait de la dangerosité des matériaux contenus dans une BLI : l'électrolyte peut réagir avec l'eau pour produire des gaz toxiques tout comme le lithium et les métaux comme le cobalt, le nickel et le manganèse peuvent polluer l'eau et le sol.
-----------------	---

Hydrométallurgie	Ce procédé repose sur l'utilisation d'une solution aqueuse. Après leur broyage, les métaux sont dissous par lixiviation sous une forme de solution à laquelle on applique ensuite un traitement qui permet de séparer et d'isoler les différents métaux. Derrière, les métaux peuvent être purifiés. Ces procédés sont aujourd'hui majoritaires car ils sont plus efficaces dans la récupération des métaux, tant en matière de quantité que de qualité, même si plus complexes.
Recyclage par procédé combiné	Cette technique emprunte aux deux méthodes évoquées plus haut à des fins d'optimisation. Il peut par exemple relever faire intervenir un traitement thermique suivi d'un raffinage chimique, pour ensuite traiter les principaux métaux par hydrométallurgie.

Parmi les autres méthodes, il existe des procédés chimiques, qui font l'objet de recherches, et biométallurgiques, dont la rentabilité est encore trop faible pour envisager une mise à l'échelle. Le recyclage des batteries est un domaine de recherche vivant, sur lequel se penchent de nombreux acteurs, entreprises comme instituts de recherche. Il implique premièrement les constructeurs eux-mêmes, ainsi que des entreprises spécialisées en la matière. De nombreuses solutions innovantes sont régulièrement mises au jour, y compris par des acteurs de petite taille mais très agiles, comme Mecaware, start-up française dont le procédé de rupture à partir de fumées industrielles a récemment permis la levée d'importantes sommes pour une mise à l'échelle d'ici quelques années. Ces acteurs pourraient demain bouleverser la pratique telle qu'elle est envisagée aujourd'hui.

2.2. SÉCURISATION D'APPROVISIONNEMENT EN MATIÈRES PREMIÈRES ET PRÉSERVATION DE L'ENVIRONNEMENT

L'intérêt principal du recyclage des batteries tient dans les économies de matière qu'il permet. L'Europe pourrait de façon partielle réduire sa dépendance à l'égard des intrants asiatiques. Au regard de l'importance croissante des batteries dans les systèmes de mobilités européens et dans les capacités de stockage d'énergie, la dépendance à l'égard de l'Asie constitue une vulnérabilité majeure. Selon la Commission européenne,

l'Europe aurait besoin, pour couvrir les besoins des secteurs de la mobilité, de 60 fois plus de lithium, et 15 fois plus de cobalt d'ici 2050¹⁵. Un règlement visant à sécuriser les approvisionnements en matériaux critiques est également en préparation par les institutions européennes : la directive européenne sur les matières premières critiques, qui manque néanmoins de moyens financiers associés. Les possibilités offertes par le recyclage des métaux sont du reste identifiées depuis longtemps et constituent le troisième pilier de la *Raw Materials Initiative* européenne de 2008.

À l'heure actuelle, 85 % du cobalt, du nickel et du cuivre sont théoriquement récupérables. Le lithium est quant à lui très peu recyclé industriellement, mais les nouvelles méthodes de séparation par hydrométallurgie devraient considérablement rehausser son taux de récupération. La Commission européenne s'est également fixée des objectifs en matière d'efficacité : la récupération des matériaux actifs de la cathode (cobalt, nickel) devra atteindre de 90 % en 2027 puis 95 % en 2031 et celle du lithium doit atteindre les 50 % en 2027 puis les 80 % en 2031. Derrière, chaque batterie vendue sur le continent européen en 2031 devra incorporer 6 % de lithium et de nickel recyclé, pour 16 % de cobalt. En 2035, ces taux devront respectivement atteindre 12 %, 15 %, et 26 %¹⁶.

Enfin, le recyclage offre des avantages dans un contexte de transition vers un appareil productif moins émetteur de carbone. Si le véhicule électrique permet une décarbonation des modes de transport, la production de la batterie pèse jusqu'à 33 % de l'empreinte carbone du véhicule¹⁷. Selon certaines hypothèses d'analyse en cycle de vie, le recyclage des batteries électriques pourrait permettre de réduire jusqu'à 28 % l'empreinte carbone liée à l'utilisation du minerai¹⁸, 8 kgCO₂eq/kWh par

¹⁵ Communication de la Commission au Parlement européen, au conseil, au comité économique et social européen et au comité des régions, *Résilience des matières premières critiques : la voie à suivre pour un renforcement de la sécurité et de la durabilité*, septembre 2020.

¹⁶ Règlement (UE) 2023/1542 du Parlement européen et du Conseil du 12 juillet 2023.

¹⁷ Rare Earth Advisory (2022). *Les enjeux du recyclage des batteries en 10 questions*.

¹⁸ McKinsey Battery Insights, *hypothèse formulée sur la base d'un recyclage par hydrométallurgie*.

la pyrométallurgie et de près de 20 kgCO₂eq/kWh *via* la voie hydrométallurgique. Cela permettrait ainsi de compenser entre 40% et près de 90% de l'impact lié à l'extraction des matériaux primaires¹⁹.

3 La structuration d'une filière européenne efficace de recyclage de batteries

3.1. SE PROJETER VERS UNE FILIÈRE COMPÉTITIVE

L'industrie de recyclage des batteries à l'échelle mondiale est encore naissante. Si la majorité des capacités sont aujourd'hui concentrées en Asie, dans le prolongement de la chaîne de valeur, le marché n'est pas mature pour autant. À cet égard, les grands acteurs sont *sur la même ligne de départ*. Cela représente un défi mais également une opportunité pour le continent européen, puisque la chaîne d'approvisionnement des véhicules électriques peut encore se structurer par un modèle circulaire plutôt que linéaire.

Concrétiser une telle ambition impose un certain degré de coordination afin d'envisager l'intégration de la filière de recyclage à l'échelle européenne. Celle-ci suppose de disposer des capacités adéquates et d'un marché adressable. De fait, une filière industrielle parfaitement intégrée doit pouvoir rationaliser l'utilisation de ses infrastructures et des procédés de production, de façon à permettre des économies d'échelle. L'émergence progressive d'un écosystème de batteries dans le nord de la France mais également dans le reste de l'Europe, constitue à ce titre un point d'entrée idoine, autour duquel pourraient s'articuler les futures capacités de recyclage à grande échelle. L'Europe peut également s'appuyer sur une constellation de petits acteurs très innovants qui cherchent

à optimiser les solutions de circularité dans le domaine des batteries. La taille des fonds déployés pour les programmes de recherche et d'innovation dans le train de mesures prévues par le paquet législatif *Une énergie propre pour tous les Européens* (270 millions d'euros), et dans les PIIEC démontrent l'importance accordée aux efforts de R&D pour pallier les carences dans le domaine de la fabrication. En investissant également dans les projets liés au recyclage, l'Europe pourrait demain s'assurer une maîtrise industrielle sur de nouveaux procédés plus efficaces et moins polluants, et disposer d'un véritable avantage concurrentiel.

Les signaux politiques, réglementaires, et financiers ne manquent pas, de l'Alliance européenne pour les batteries qui fait figurer la réaffectation, le recyclage, et le raffinage parmi ses piliers, au règlement de juillet 2023, qui assigne des objectifs ambitieux de gestion de la matière.

L'enjeu est désormais pour les fabricants, les producteurs, et les laboratoires de recherche, d'intégrer le recyclage à leurs activités, de les penser comme complémentaires et indispensables à la production de batteries.

La filière européenne, embryonnaire, est aujourd'hui dominée par quelques acteurs. Leur positionnement est en mesure d'offrir une base à l'industrie européenne, mais témoigne également des difficultés à se projeter puisqu'aucun n'a encore amorcé d'extension de ses capacités de recyclage, même si certains les intègrent à leurs projets de *gigafactories* comme ACC, la coentreprise entre Stellantis et Saft, qui a directement bénéficié des subventions prévues dans le cadre du premier PIIEC. Ces efforts paraissent trop insuffisants au regard des chiffres de croissance annoncés, aussi bien sur les rebuts²⁰, dans un premier temps, que sur les batteries de véhicules dans un second. Un manque de réactivité des industries européennes risquerait de laisser la voie libre à certaines entreprises américaines qui investissent d'ores et déjà. De leur côté, les acteurs chinois, à commencer par CATL, ont annoncé de larges plans d'expansion des capacités de recyclage de batterie.

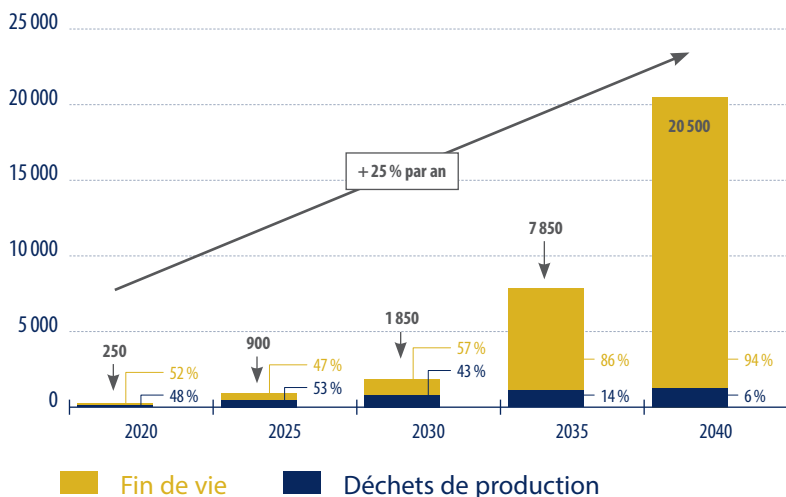
¹⁹ Rare Earth Advisory (2022). *Les enjeux du recyclage des batteries en 10 questions.*

²⁰ Les rebuts sont les « chutes et déchets » incompressibles issus d'un processus de fabrication industrielle.

Dans l'immédiat cependant, l'enjeu pour les recycleurs n'est pas tant de s'affronter sur les capacités, mais de savoir comment utiliser les rebuts. La croissance de la production de batteries associée à l'émergence rapide des *gigafactories* devrait en effet s'accompagner – en particulier dans les premières années de fonctionnement de l'usine – d'une importante quantité de rebuts qui devraient constituer l'essentiel des sources de recyclage d'ici l'arrivée des premiers véhicules électriques en fin de vie.

Graphique 2 : offre de batteries électriques recyclables, d'abord tirée par les rebuts de production avant 2030, puis par les batteries en fin de vie

Global total, Kilotonne^{21,22}



Source : McKinsey.

²¹ Les nombres sont arrondis.

²² Premier trimestre 2023.

Ce n'est que dans un second temps, lorsque les premières générations de batteries arriveront en fin de vie, vers 2030, que le volume des rebuts recyclés deviendra comparativement moins important, et que pourra se développer un marché de masse européen. Quelques batteries parviennent déjà aux sites de recyclage, mais ce sont pour l'heure des tonnages très faibles.

Au-delà de la construction de la filière en aval, plusieurs sujets viendront se poser avec acuité afin de rationaliser et d'optimiser les circuits de recyclage. Ces réflexions doivent être menées dès maintenant au regard du temps de vie d'une batterie. Notamment :

- le recyclage de la batterie doit être pensé dès l'amont, en particulier par une prise en compte des notions d'écoconception, qui renvoie à des systèmes qui puissent être plus simplement démontés et donc réparés ou recyclés ;
- ensuite se pose de façon générale la question de la structuration du circuit de collecte, puisque trop peu de batteries pourtant techniquement recyclables sont effectivement redirigées vers les infrastructures ;
- après la séparation et la récupération des métaux, le circuit devra être efficace dans la réintégration de nouveaux produits puis leur redéploiement.

L'ensemble de ces difficultés ne pourra du reste se conjurer efficacement sans améliorer de façon générale la traçabilité des batteries le long de filière. L'Union européenne s'est emparée d'une partie de ces sujets en imposant dans son règlement²³ un passeport numérique sur l'ensemble des batteries commercialisées sur le continent européen d'ici au 1^{er} janvier 2026, de leur production jusqu'au contenu recyclé et recyclable. Il faut désormais confier les moyens aux États et aux industriels d'organiser en bonne marche la montée en cadence de la filière.

²³ Règlement (UE) 2023/1542 du Parlement européen et du Conseil du 12 juillet 2023 relatif aux batteries et aux déchets de batteries.

À court-terme, de nombreux sujets demeurent à la main des pouvoirs publics, notamment le transit des batteries à travers le continent ou le transfert d'informations clés dans l'optimisation des processus. Le faible nombre de recycleurs encore présents sur le continent contraint en effet à un important volume de transit de ces batteries entre plusieurs frontières, rendues délicats par les notifications de transferts transfrontaliers et la classification des batteries en tant que matière dangereuse. La croissance très rapide du marché des batteries électriques impose également de correctement penser l'enjeu du réservoir de compétences qui lui sera adossé et qui pourrait devenir critique.

In fine, les États conservent une part de souveraineté importante en matière de politique industrielle, il leur revient donc de s'accorder sur une stratégie transversale et de crédibiliser la filière du recyclage, ce qu'ils ont su faire jusqu'à présent pour les capacités de production. L'ensemble de ces réglementations, portant sur le recyclage des batteries mais également l'interdiction des véhicules thermiques, permettent d'avoir une bonne indication de la taille du marché futur et devraient donc créer un choc de demande puis encourager les investissements.

3.2. UN MARCHÉ ENCORE TRAVERSÉ DE NOMBREUSES INCONNUES

Malgré les assurances évoquées plus haut quant au marché futur, la rentabilité du recyclage des batteries est incertaine car étroitement liée au cours des matières premières nécessaires à leur assemblage, comme le cobalt²⁴. La situation géopolitique dans les pays d'extraction ou les goulots d'étranglements provoqués par l'augmentation de la demande sont autant d'impondérables qui peuvent tirer le coût du recyclage à la hausse, et entraver les décisions d'investissement.

²⁴ Raphaël Danino-Perraud (2020). *The recycling of lithium-ion batteries, A Strategic Pillar for the European Battery Alliance*. IFRI.

Pour sécuriser au maximum les approvisionnements en matière première, se pose la question de l'extraction minière. La circularité parfaite du modèle de recyclage ne sera jamais atteinte puisqu'il subsiste un taux de perte naturel dû à la dégradation²⁵. L'accès aux minerais critiques fera donc toujours partie de l'équation des batteries. De récents travaux laissent indiquer que les sous-sols européens et français, en particulier, pourraient être assez généreusement dotés de certains minerais critiques, comme dans l'Allier où se concentrent d'importants gisements de lithium. Dans une logique de recouvrement de souveraineté et de réduction des vulnérabilités, développer une activité minière pourrait s'imposer comme un complément indispensable à la pratique du recyclage. La perspective de l'exploitation de ces ressources a soulevé de nombreuses inquiétudes quant aux incidences néfastes qu'elle pourrait avoir sur l'environnement, en plus d'un faible degré d'acceptabilité à l'échelle locale en cas de conflit d'usage. Dès lors, il faut pouvoir mettre en balance, de manière chiffrée et rigoureuse, tous les bénéfices et les coûts économiques et environnementaux de chaque nouvelle exploitation par des travaux d'études d'impact. La possibilité de voir certains acteurs privés nationaux procéder à l'acquisition d'installations minières à l'étranger pour les ressources qui ne seraient pas présentes sur le sol français s'avance également. Le fonds Métaux, annoncé par le Gouvernement au mois de mai 2023 dans le cadre de France 2030 et abondé à hauteur de 500 millions d'euros, a fixé ces acquisitions comme l'un de ses objectifs.

Cette ouverture doit se faire en conservant à l'esprit que les minerais utilisés par la France et le reste de l'Europe à l'heure actuelle proviennent de pays où les conditions d'extraction et les codes miniers ne respectent parfois que très partiellement les contraintes environnementales ou les droits de travailleurs. Si le choix était fait de renoncer à développer des capacités d'extraction minière sur notre sol, il devrait en tout état de cause être compensé, soit par une plus grande sobriété, soit par un degré

²⁵ Jean-François Labbé (2016). *Les limites physiques de la contribution du recyclage à l'approvisionnement en métaux*. Annales des Mines, Responsabilité et environnement.

de dépendance toujours plus élevé vis-à-vis des acteurs asiatiques, avec les vulnérabilités que cela comporte.

Au-delà de cet arbitrage nécessaire sur les activités minières, entre exploitation domestique et importation depuis l'étranger, l'opportunité d'une filière de recyclage renvoie à plusieurs inconnues qui sont autant de besoins décisionnels :

- Dans certains cas, il existe un besoin d'arbitrage précis entre recyclabilité et efficacité énergétique. À titre d'exemple, un téléphone est d'autant plus efficace et puissant que sa batterie sera composée d'un alliage de métaux différents et en quantités infimes, mais ensuite difficilement récupérables. Cet état de fait, qui se conjugue aux besoins d'écoconception, impose d'accepter qu'une plus grande recyclabilité pourrait demain se faire au détriment de la performance des objets.
- Parmi les inconnues subsiste également la question de la seconde vie. Si la capacité d'une batterie tombe en dessous de 75 % de sa capacité d'origine, elle n'est plus en mesure d'être utilisée dans un véhicule, mais elle a encore suffisamment d'énergie et de capacité pour être utilisée comme système « stationnaire » de stockage d'électricité, pour l'éolien par exemple. Dans ce modèle, la batterie n'est recyclée qu'à la fin de sa seconde vie²⁶. L'extension de la durée de vie de la batterie diminue mécaniquement son empreinte carbone, et constitue à cet égard une forme de sobriété. **Cette approche risquerait en revanche de retarder l'entrée dans le modèle de circularité, puisqu'elle décalerait de plusieurs années la réinjection des métaux dans de nouveaux produits. Elle pourrait contraindre à plus d'activité d'extraction, et désinciter la poursuite d'une filière industrielle efficace et intégrée de recyclage.**

²⁶ Azais, P., Priem, T., Lambert, F. (2018). Les batteries destinées aux véhicules hybrides et tout-électriques In *Annales des Mines-Réalités industrielles* (n° 2, pp. 31-35). Cairn/Softwin.

Ces incertitudes ne pourront être que levées, ou minimisées, par une stratégie élaborée de développement d'une filière de recyclage, encore à la main de l'ensemble des parties prenantes et pour laquelle l'Europe dispose d'atouts certains.

Les auteurs de cette série, Hugues Bernard et Raphaël Tavanti, remercient l'ensemble de l'équipe de l'Institut Montaigne ayant contribué à sa réalisation, notamment Maxime Sbaihi, Lisa Thomas-Darbois, Martin Finet, ainsi que toutes les personnes auditionnées dans l'élaboration de ce travail.

Liste des personnes auditionnées

- **Pierre-Marie Abadie**, directeur général, Andra
- **Morgane Augé**, directrice des affaires publiques, Orano
- **Antoine-Marie Bethenod**, chargé de missions affaires publiques, Orano
- **Rémi Borel**, chef du pôle « société civile et débats », direction des affaires publiques, EDF
- **Anne Brodu**, responsable du pôle communication technique, Andra
- **Thibault Cantat**, directeur du programme carbone et économie circulaire, CEA
- **Raphaël Danino-Perraud**, officier commissionné à l'État-major des Armées et chercheur associé, IFRI
- **Mathieu De Carvalho**, responsable de la réglementation et des affaires publiques, Gas, LNG & Biogas, TotalEnergies
- **Laurent Dublanquet**, vice-président affaires européennes et internationales, Air Liquide
- **Matthieu Giard**, vice-président, Air Liquide
- **Olivier Guerrini**, directeur BU Biogas, TotalEnergies
- **Pascal Laroche**, conseiller auprès du PDG, TotalEnergies
- **Hoel Le Gallo**, *Senior Strategy Analyst*, ENGIE
- **Armand Laferrere**, *Senior Executive vice President*, Orano USA
- **Bertrand Le Thiec**, directeur des affaires publiques, EDF
- **Roland Marion**, directeur Économie Circulaire, ADEME

- **Pierre Maurin**, directeur de Projet, Veolia
- **Maxime Morand**, directeur de la stratégie et des partenariats, Verkor
- **Gilles Moreau**, co-fondateur et directeur du développement durable, Verkor
- **Jean-Michel Quilichini**, directeur de la Division Combustible Nucléaire, EDF
- **Sylvain Renouf**, directeur adjoint de la communication du site de la Hague, Orano
- **Raphaël Schellenberger**, député et président de la Commission d'enquête parlementaire sur la perte de souveraineté énergétique de la France
- **Sophie Schmidtlin**, *CTO*, The Future is NEUTRAL
- **Nicolas Tcheng**, responsable des relations institutionnelles, Renault
- **Frédéric Terrisse**, directeur général adjoint en charge des affaires publiques, ENGIE Bioz
- **Christophe Thomas**, directeur de la Stratégie et des Relations Externes, ENGIE GBU Renewables France & Europe
- **Emmanuelle Verger**, directrice EDF Hydro, EDF
- **Virginie Wasselin**, cheffe du service stratégie filière, Andra

Relecteurs

- **Benjamin Fremaux**, expert associé, Institut Montaigne
- **Cécile Maisonneuve**, experte associée, Institut Montaigne
- **Maxence Cordiez**, expert associé, Institut Montaigne
- **Joseph Delatte**, expert résident, Institut Montaigne

Les opinions exprimées dans ce rapport n'engagent ni les personnes précédemment citées ni les institutions qu'elles représentent

L'Institut Montaigne vous propose de contribuer à la réflexion sur ces enjeux afin d'élaborer collégalement des propositions au service de l'intérêt général.

Institut Montaigne
59 rue La Boétie, 75008 Paris
Tél. +33 (0)1 53 89 05 60
institutmontaigne.org

Imprimé en France
Dépôt légal : février 2024
ISSN : 1771-6756

ABB France	Crédit Agricole	Kearney	Roche
AbbVie	D'Angelin & Co.Ltd	KPMG S.A.	Rokos Capital
Accenture	Dassault Systèmes	Kyndryl	Management
Accuracy	Deloitte	La Banque Postale	Rothschild & Co
Adeo	De Pardieu Brocas	La Compagnie	RTE
ADIT	Maffei	Fruitière	Safran
Air Liquide	ECL Group	Linedata Services	Sanofi
Airbus	Edenred	Lloyds Europe	SAP France
Allen & Overy	EDF	L'Oréal	Schneider Electric
Allianz	EDHEC Business	Loxam	ServiceNow
Amazon	School	LVMH - Moët-Hennessy	Servier
Amber Capital	Ekimetrics France	- Louis Vuitton	SGS
Amundi	Engie	M.Charraire	SIER Constructeur
Antidox	EQT	MACSF	SNCF
Antin Infrastructure	ESL & Network	Mazars	SNCF Réseau
Partners	Ethique &	Média-Participations	Sodexo
ArchiMed	Développement	Mediobanca	SPVIE
Ardian	Eurogroup Consulting	Mercer	SUEZ
Arqus	FGS Global Europe	Meridiam	Tecnet Participations
AstraZeneca	Fives	Microsoft France	SARL
August Debouzy	Getlink	Mitsubishi France	Teneo
AXA	Gide Loyrette Nouel	S.A.S	The Boston Consulting
Bain & Company	Google	Moelis & Company	Group
France	Groupama	Moody's France	Tilder
Baker & McKenzie	Groupe Bel	Morgan Stanley	Tofane
BearingPoint	Groupe M6	Natixis	TotalEnergies
Bessé	Groupe Orange	Natural Grass	Unicancer
BNP Paribas	Hameur et Cie	Naval Group	Veolia
Bolloré	Henner	Nestlé	Verian
Bouygues	Hitachi Energy France	OCIRP	Verlingue
Bristol Myers Squibb	Howden France	ODDO BHF	VINCI
Brousse Vergez	HSBC Continental	Oliver Wyman	Vivendi
Brunswick	Europe	Ondra Partners	Wakam
Capgemini	IBM France	Onet	Wavestone
Capital Group	IFPASS	Optigestion	Wendel
CAREIT	Incyte Biosciences	Orano	White & Case
Carrefour	France	PAI Partners	Willis Towers Watson
Casino	Inkarn	Pelham Media	France
Chubb	Institut Mérieux	Pergamon	Zurich
CIS	International SOS	Polytane	
Cisco Systems France	Interparfums	Prodware	
Clariane	Intuitive Surgical	Publicis	
Clifford Chance	Ionis Education Group	PwC France & Maghreb	
CNP Assurances	iQo	Raise	
Cohen Amir-Aslani	ISRP	RATP	
Compagnie Plastic	Jantet Associés	RELX Group	
Omnium	Jolt Capital	Renault	
Conseil supérieur du notariat	Katalyse	Ricol Lasteyrie	
	Kea & Partners	Rivoli	

Levier devenu incontournable de la décarbonation des modes de transports, les véhicules électriques fonctionnent pour la plupart aux batteries lithium-ion, dont la chaîne de valeur est en grande partie maîtrisée par des acteurs asiatiques, au premier rang desquels la Chine. Pour les économies française et européenne, l'essor du marché de véhicules électriques impose de penser une diminution partielle de la dépendance vis-à-vis des approvisionnements étrangers et des capacités chinoises de traitements de métaux alors que la demande de batteries électriques devrait être amenée à connaître une forte croissance. Le recyclage des batteries consiste à séparer les métaux qui composent l'alliage afin de les réinjecter dans le circuit de production. Il contribue ainsi à réduire l'empreinte carbone sur le cycle de vie des objets qui les utilisent, à commencer par les véhicules électriques. Pour la France et l'Europe, l'enjeu s'articule donc autour de la structuration d'une filière industrielle efficace pour laquelle de nombreux outils financiers, réglementaires et une volonté politique partagée sont déjà en place (Alliance européenne pour les batteries, PIIEC, Pacte vert). Elle pourrait du reste s'appuyer sur un écosystème de production naissant à travers l'Europe, même si de nombreuses difficultés méritent encore d'être éclaircies.



10 €

ISSN : 1771-6756

NCL2402-05