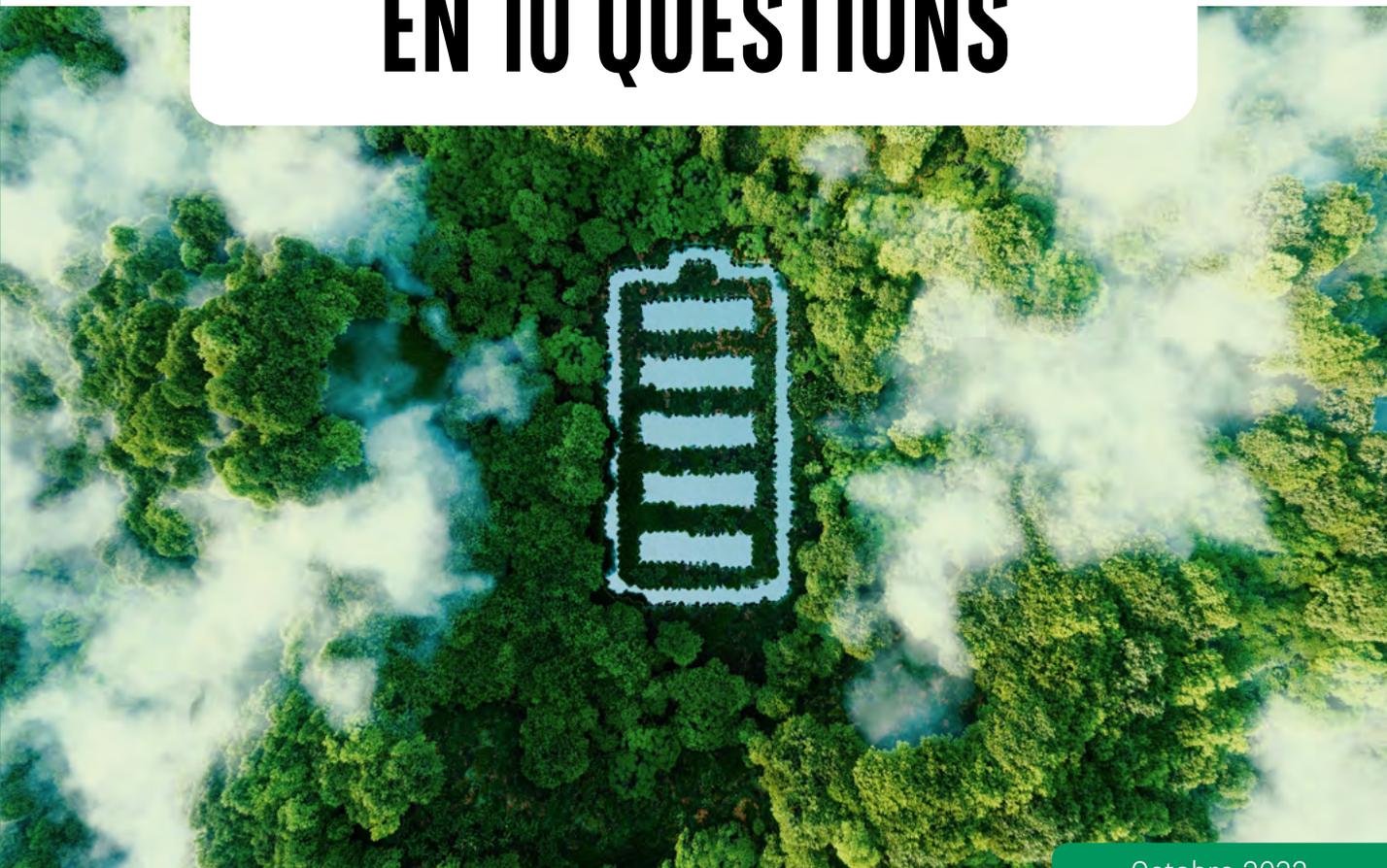




LES ENJEUX DU RECYCLAGE DES BATTERIES EN 10 QUESTIONS



Octobre 2022



LES ENJEUX DU RECYCLAGE DES BATTERIES EN 10 QUESTIONS

BIBLIOGRAPHIE

ÉNERGIES

- L'hydrogène en 20 questions (juillet 2021)
- Le véhicule électrique est-il si vertueux? (octobre 2019)
- Quelles énergies pour quels usages en entreprise? (octobre 2016)
 - L'hydrogène, carburant du futur? (octobre 2015)
 - Le diesel en 20 questions (septembre 2014)
- Véhicules électriques et hybrides : technologies, usages et perspectives (septembre 2011)

GESTION-FISCALITÉ

- Mémento des flottes et des mobilités 2022 (avril 2022 – format papier et digital)
 - Mémento automobile des acteurs publics (mai 2018)
 - TCO Scope 2022 (juin 2022 – format digital)
- Villes intelligentes : quels défis pour quelles mobilités? (novembre 2017)
 - Quelles mobilités en entreprise en 2020? (février 2017)
- Automobile et mobilité 2015 : Bilan et perspectives (mai 2015)

TECHNOLOGIES

- Le véhicule autonome, c'est déjà demain? (janvier 2016)
- Le pneumatique, nouvel or noir (octobre 2012)

Copyright © Les Editions de l'Arval Mobility Observatory – Octobre 2022

22, rue des Deux Gares – 92500 Rueil-Malmaison

ISBN : 979-10-93627-32-8

L'Arval Mobility Observatory ne saurait être tenu pour responsable de toute erreur, tout oubli et tout autre résultat tiré de l'utilisation de ces cahiers ou de toute exploitation des informations contenues dans ces cahiers.

Tous droits réservés. Toute reproduction ou diffusion même partielle, par quelque procédé ou sur tout support que ce soit, ne pourra être faite sans l'accord préalable de l'Arval Mobility Observatory.



LES ENJEUX DU RECYCLAGE DES BATTERIES EN 10 QUESTIONS



Les enjeux du recyclage des batteries en 10 questions

Introduction	9
1. Les tensions sur les prix des matières premières peuvent-elles freiner l'engouement pour le véhicule électrique ?	15
2021 confirme l'engouement réel pour le véhicule électrique	16
La hausse des prix des matières premières possible frein à l'électrification des transports ?	19
2. Le recyclage peut-il atténuer ces tensions inflationnistes et aider à sécuriser l'approvisionnement en matériaux critiques ?	27
Les menaces de pénuries s'accroissent dans un contexte de forte dépendance à la Chine	28
L'économie circulaire à la rescousse ?	32
3. Quels sont les défis du recyclage des batteries lithium haute tension ?	39
Basculer du recyclage des batteries pour l'électronique grand public à celui des batteries haute tension pour véhicules électriques	41
Prendre en charge les frais de logistique/manutention et diagnostics des batteries haute tension (véhicule électrique)	44
Gérer l'hétérogénéité des différentes chimies de batteries haute tension	46
Choisir entre réutiliser ou recycler ?	47
Contrôler les flux de batteries en fin de vie	48
Composer avec des objectifs contradictoires pour les constructeurs	49
4. Quelle quantité de batteries à recycler sera disponible et quand ?	55
Réutiliser ou recycler ?	57
La réutilisation : voie crédible ou effet marketing ?	61
Un marché mondial difficile à quantifier	63
La gestion des déchets de production : un modèle de recyclage de batterie économiquement viable ?	64
Quelle capacité actuelle de recyclage des batteries lithium en Europe ?	69

5. Quels sont les enjeux du recyclage des batteries au lithium pour la filière automobile ?	71
Un enjeu de réduction de l'empreinte environnementale et sociétale des batteries	72
Une variable-clé de réduction de l'empreinte carbone du véhicule électrique, particulièrement dans le cas des grands modèles	73
Un enjeu économique et stratégique	79
6. Où en sont les technologies de recyclage des batteries ? Quels sont les acteurs derrière ces technologies ?	85
Quelles sont les principales technologies de recyclage des batteries ?	86
Quelle recyclabilité, présente et future, des matériaux pour batteries ?	94
Qui sont les principaux acteurs du recyclage de batteries lithium ?	97
7. La Chine est-elle un exemple à suivre en matière de recyclage des batteries ?	101
Les politiques chinoises en matière de recyclage de batteries	102
Une industrie du recyclage des batteries aujourd'hui dominée par de grands opérateurs liés à l'automobile, aux fabricants de batteries ou de précurseurs	105
8. Que penser du projet de règlement batteries de la Commission Européenne ?	109
Une ambition claire de créer un cadre juridique « prévisible » et « harmonisé »	110
Une réglementation toutefois trop complexe à mettre en œuvre en l'état	113
Un cadre nécessaire à l'établissement d'une filière de recyclage en Europe	117
9. Quels sont les pays en pointe ? L'Europe et la France dans tout cela ?	119
La production de batteries concentre pour l'heure l'essentiel des investissements en Europe comme aux États-Unis	120
Les investissements en amont de la chaîne sont beaucoup plus timides et font apparaître des déficits jusqu'en 2030 aux États-Unis et en Europe	124
Conscients de ce risque, les pouvoirs publics multiplient les initiatives, avec une légère longueur d'avance des États-Unis sur l'Europe dans cette course	126
10. Comment l'industrie automobile s'organise-t-elle face à cet environnement ?	133
Les constructeurs automobiles accélèrent leurs stratégies d'électrification...	134
...et adoptent des modèles industriels intégrés	136
Li-Cycle, Northvolt, Redwood Materials, SNAM et Umicore sont au cœur des plus importants réseaux d'alliances avec les constructeurs automobiles	141
Conclusion	143
Bibliographie	147

INTRODUCTION

Le nombre de produits de notre vie quotidienne alimentés par des batteries lithium ne cesse d'augmenter : des appareils électroniques (smartphones, ordinateurs portables, tablettes, etc.) et électroménagers (aspirateurs sans fils, tondeuses, etc.) aux outils électriques (outils de jardinage, de bricolage, etc.) et bien sûr aux véhicules électriques (vélos, trottinettes, voitures, etc.). Le marché des batteries lithium est en plein boom. Cette technologie, quoique mature, est un écosystème complexe en constante évolution qui s'est imposée comme un outil essentiel de la transition énergétique. Les batteries lithium sont désormais au cœur de multiples applications liées à la décarbonation de nos économies, avec deux moteurs essentiels :

- 1/** l'électrification des transports,
- 2/** le stockage d'énergie accompagnant le déploiement des énergies renouvelables (éolien, solaire).

La fin de « l'ère fossile » et le déploiement en masse des véhicules électriques et des énergies renouvelables impliquent le passage d'un modèle économique intensif en combustibles fossiles, à un modèle intensif en métaux et minéraux critiques, avec le risque de mettre en place un autre modèle industriel très linéaire, consommant beaucoup de matières premières. L'engouement pour le véhicule électrique s'est d'ailleurs déjà traduit par des tensions sur les prix de nombreux métaux et minéraux

nécessaires aux batteries (lithium, cobalt, nickel, graphite) et aux motorisations électriques (terres rares). Cette pression inflationniste renchérit déjà le coût de fabrication des batteries et le prix d'acquisition d'un véhicule électrique, le rendant moins abordable malgré les subventions.

La crainte de pénurie en matières premières dans un contexte de sous-investissement dans l'amont de la chaîne de valeur et de forte dépendance à la Chine, devient d'ailleurs un sujet de préoccupation majeur pour les États-Unis et l'Europe comme possible frein à l'essor des ventes de véhicules électriques, alors que la production de batteries concentre encore l'essentiel des investissements. Désormais conscients de ce risque, les pouvoirs publics des deux côtés de l'Atlantique multiplient les initiatives, pour développer et relocaliser des chaînes d'approvisionnement durable de la batterie. Dans ce contexte, la seconde vie et le recyclage des batteries lithium revêtent un caractère primordial pour optimiser la gestion de nos ressources communes. Le recyclage pourrait même devenir à terme une source d'approvisionnement alternative et durable en matériaux critiques fournissant une solution aux problèmes de pénurie et de dépendance à la Chine. Il pourrait en outre générer de nouveaux relais de croissance et de compétitivité en Europe et aux États-Unis.

Les moteurs du recyclage des batteries lithium

Règlementation

- Principe de l'EPR (« Extended Producer Responsibility ») : il est inconcevable que les batteries partent en décharge.
- Introduction d'objectifs de taux de récupération minimum à compter de 2025/26 en Europe.
- Divulgation du contenu en produits recyclés, puis fixation de seuils de contenu recyclé minimum à partir de 2030.

Sécurisation des approvisionnements

- Une source d'approvisionnement alternative en matériaux critiques, fournissant une solution aux problèmes de pénuries et de forte dépendance à la Chine, deux préoccupations majeures pour les États-Unis et l'Europe.
- Un outil de simplification de la chaîne de valeur complexe du véhicule électrique et de sécurisation des approvisionnements pour des constructeurs aujourd'hui engagés dans une course à l'intégration verticale.

Critères ESG

- Un facteur-clé de développement d'une chaîne d'approvisionnement durable des véhicules électriques, via la réduction des impacts environnementaux et sociétaux supérieurs de la production d'un véhicule par rapport à son équivalent thermique.
- Le recyclage par voie hydrométallurgique peut réduire de 40 à 90 % l'empreinte carbone de la production des batteries (l'étape la plus intensive), soit 8 à 10 % par kilomètre parcouru selon la taille du véhicule, améliorant davantage son bilan positif sur le cycle de vie.

Nécessité économique

- La production de batteries donne lieu à d'importants volumes de rejets de production, particulièrement élevés dans les années de démarrage des usines de batteries (« gigafactories »).
- Les rebuts de production font partie du processus de production des batteries, ils constituent un important gisement de valeur et doivent être re-valorisés pour en extraire les matériaux critiques.

Source : Rare Earth Advisory, mars 2022.

L'électrification des transports offre en effet l'opportunité passionnante de faire basculer le transport du modèle linéaire actuel à un modèle circulaire. Car contrairement aux combustibles fossiles, les batteries lithium peuvent être alimentées par une énergie à faible émission de carbone (nucléaire, éolienne ou solaire), utilisées des milliers de fois, reconditionnées pour être réutilisées en seconde vie pour le stockage d'énergie notamment, avant d'être recyclées à la fin de leur vie utile.

Avec l'essor rapide du véhicule électrique, des quantités importantes de batteries lithium haute tension arriveront à la fin de leur durée de vie utile à partir de 2030. Il convient de structurer dès aujourd'hui la filière du recyclage pour pouvoir faire face à ce futur raz-de-marée. Ce n'est pas une option, c'est une nécessité. Il faut en outre s'assurer que le recyclage

se fasse localement, car une fois qu'on importe ces matériaux critiques primaires, il serait dommage de les laisser repartir pour les racheter une deuxième fois dans un produit issu du recyclage.

Une bonne compréhension des enjeux du recyclage de batteries lithium nécessite une approche à 3 dimensions :

- **Technologique** : Le type de technologie employée définit ce que nous aurons à recycler à partir des produits commercialisés aujourd'hui et demain (avec peut-être d'autres enjeux de recyclabilité);
- **Géographique** : La réglementation, l'implantation des usines de batteries (« gigafactories ») ainsi que des capacités de traitement des déchets de production détermineront le contrôle des futurs flux de batteries en fin de vie;

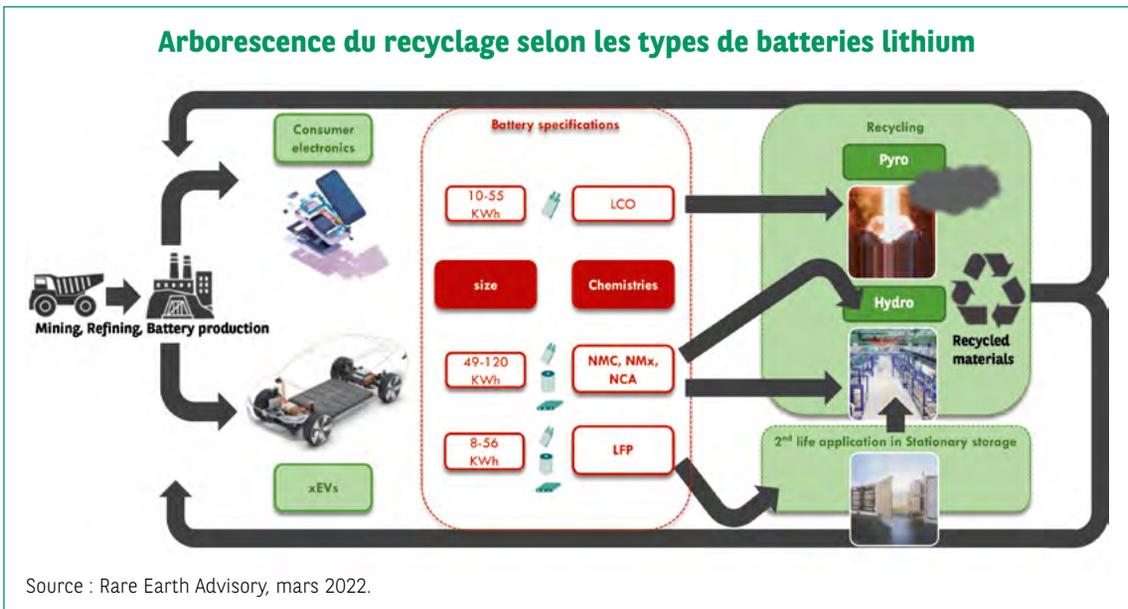
- **Économique** : Les points précités conditionnent l'adoption de différents modèles économiques opposant parfois seconde vie ou recyclage immédiat.

Cette transformation présente de nouveaux et multiples défis en matière de circularité. Certes le recyclage de batteries lithium n'est pas nouveau, mais l'industrie doit basculer du recyclage de batteries pour l'électronique grand public à celui des batteries haute tension. Il convient en effet de distinguer :

- les batteries pour l'électronique grand public, de petites tailles, aux chimies homogènes et aux cycles de vie courts. Ces batteries constituent la vaste majorité des flux de batteries en fin de vie aujourd'hui, sont

peu dangereuses et compatibles avec un recyclage immédiat par voie pyro/hydrométallurgie (au bilan toutefois contestable sur un plan écologique);

- des batteries haute tension, plus grosses, aux formats et chimies variées et dotées de cycles de vie plus longs. On doit ici différencier les chimies « haute densité » riches en nickel (NMC, NMx, NCA et leurs sous-familles) des chimies « low-cost » (LFP). Ces dernières, dotées de cycles de vie plus long et moins riches en matériaux critiques, se prêtent davantage à la réutilisation en seconde vie par opposition aux chimies NMC, NMx, NCA ou LCO, moins durables, plus riches en matériaux critiques et donc plus rentables à recycler rapidement.



Les procédés de recyclage par voie hydrométallurgique sont généralement perçus comme l'approche la plus prometteuse pour le recyclage des batteries de véhicules électriques par contraste avec les procédés pyrométallurgiques, plus polluants et largement répandus dans l'électronique. Si l'hydrométallurgie concentre la plupart des acteurs et des start-ups du secteur, le recyclage efficace des batteries haute tension est aujourd'hui un goulot d'étranglement et constitue un problème industriel

complexe à résoudre : Comment organiser la collecte et le traitement responsable de ces batteries ? Quid de la dangerosité de la maintenance et du traitement de ces batteries de grande taille ? Comment concilier les objectifs parfois contradictoires des constructeurs automobiles, opposant éco-conception vs performance, ou seconde vie vs recyclage immédiat ? etc. Autant de questions auxquelles nous allons tâcher de répondre.

Sans militantisme, le but de ce cahier est d'éclairer sur les enjeux du recyclage des batteries car aujourd'hui on ne parle que du bilan économique et écologique sur la production et l'utilisation du véhicule électrique, sans réelle mesure de l'impact du recyclage.

La Chine qui s'impose comme le premier fabricant mondial de véhicules électriques, de batteries lithium, de matériaux précurseurs et de matériaux critiques raffinés, fait déjà face à un certain nombre de défis auxquels seront confrontées les nations qui connaissent actuellement un boom des ventes de véhicules électriques, comme l'Europe aujourd'hui, et les États-Unis demain. L'accent mis par les autorités chinoises sur l'encadrement et la promotion de l'utilisation en seconde vie des batteries avant leur recyclage, certes explicables par la domination des chimies LFP sur le marché domestique davantage compatible avec cette option, devrait interpeller d'ailleurs et mériterait de repositionner le sujet de la seconde vie des batteries dans le débat en Europe et aux États-Unis.

On peut déplorer la relative inertie de l'Europe, en matière de recyclage aussi, où très peu de projets commerciaux adaptés au traitement des batteries



haute tension ont été annoncés à ce jour, exception faite de Northvolt, Primobius, Stena Recycling et Li-Cycle. Cette situation contraste avec la Chine, où l'industrie est en pleine expansion sous la domination de Brunp et GEM; et les États-Unis, la région la plus active en termes de levée de fonds dans le domaine du recyclage de batteries et qui attire le plus grand nombre de projets et start-ups (Redwood Materials, Li-Cycle). Ces derniers mois ont néanmoins montré l'amorce d'un mouvement de structuration d'une filière du recyclage de batteries européenne autour de partenariats associant producteurs de batteries, constructeurs automobiles et acteurs du recyclage, suivant l'exemple chinois, gage d'une meilleure traçabilité et d'une plus grande efficacité de la filière. Espérons donc que le futur règlement communautaire sur les batteries, dont l'adoption est prévue d'ici fin 2022, donnera un cadre favorable à l'essor d'une industrie européenne du recyclage de batteries haute tension. Car tout comme l'électrification des transports, le développement du recyclage des batteries est avant tout régi par la réglementation. Quoique trop complexe en l'état et nécessitant quelques ajustements, ce texte ambitieux vise un objectif primordial : fixer un cadre juridique « prévisible » et « harmonisé » pour produire des batteries durables en Europe.

L'industrie du recyclage de batteries haute tension reste encore à un stade embryonnaire à ce jour, mais le point positif est que la chaîne d'approvisionnement des véhicules électriques reste encore très jeune, ce qui offre l'opportunité de la configurer correctement dès le départ, autour de la circularité. La multiplication des projets de gigafactories, source d'importants flux de déchets de production d'ici 2030, offre ici la chance d'établir les réseaux autour des usines de production de batteries et de développer les capacités de recyclage nécessaires au traitement des futurs flux de batteries haute tensions en fin de vie, avant leur arrivée.

En synthèse, la seconde vie et le recyclage des batteries lithium constituent des enjeux essentiels du développement d'une chaîne d'approvisionnement durable des véhicules électriques. Combiné à une production de batteries et de matériaux précurseurs responsable, rationalisée voir relocalisée (si la géologie le permet dans le cas de l'extraction minière), le recyclage constitue l'un des facteurs clés d'optimisation de la gestion des ressources et de réduction de l'empreinte environnementale et sociétale de la production des batteries. Même si l'incidence du recyclage sur l'offre mondiale de

matériaux critiques restera vraisemblablement faible d'ici 2030, il constitue à long-terme une source d'approvisionnement responsable, locale et potentiellement moins coûteuse en matériaux critiques.

Il revêt logiquement aujourd'hui un caractère primordial pour la filière automobile, où les constructeurs affichent des objectifs clairs en matière d'approvisionnement responsable en matériaux critiques ou de circularité et adoptent pour la plupart des stratégies d'intégration amont avec la production en propre de batteries.

Luc Pez

Président Rare Earth Advisory

Régis Masera

Directeur Arval Mobility Observatory & Consulting





1.

**LES TENSIONS SUR LES PRIX
DES MATIÈRES PREMIÈRES
PEUVENT-ELLES FREINER L'ENGOUEMENT
POUR LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE ?**

1. Les tensions sur les prix des matières premières peuvent-elles freiner l'engouement pour le véhicule électrique ?

La fin progressive de « l'ère fossile » et le déploiement en masse des véhicules électriques (et des énergies renouvelables) impliquent le passage d'un modèle économique à forte intensité en énergie fossile à un modèle économique à forte intensité en métaux et minéraux. Ce point est parfaitement illustré dans le cas du véhicule électrique dont la forte intensité en métaux et minéraux critiques (105-175 kg/par BEV en moyenne) est très supérieure à son équivalent thermique (< 5 kg).

L'accélération de la demande de véhicules électriques au cours des deux dernières années se traduit déjà par des tensions sur les prix de nombreux métaux et minéraux nécessaires aux batteries (lithium, cobalt, nickel, graphite) et aux motorisations électriques (terres rares), source d'inflation importante sur le coût de fabrication des batteries et des véhicules électriques.

Cette pression inflationniste présente le risque de renchérir le prix d'acquisition d'un véhicule électrique, dont le prix est déjà supérieur à son équivalent thermique, le rendant moins abordable malgré les subventions. Pourrait-elle ralentir temporairement le rythme de l'adoption du véhicule électrique ?

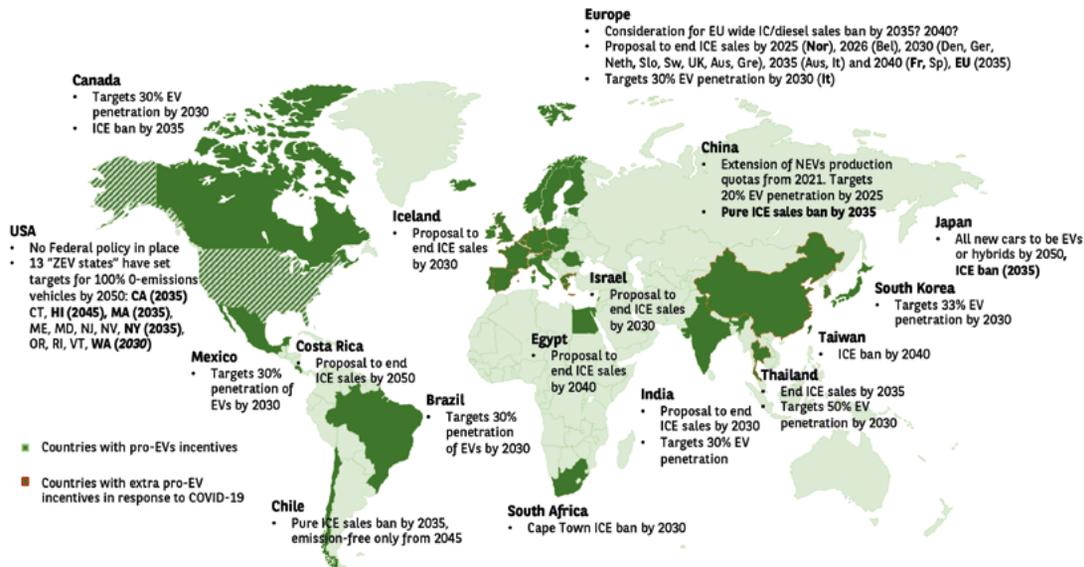


■ 2021 confirme l'engouement réel pour le véhicule électrique

On a souvent l'impression que le véhicule électrique peine à percer et c'est le cas dans certaines régions. L'année 2021 confirme néanmoins une nette accélération de la révolution électrique dans les transports. Dans un contexte marqué par la pandémie, les problèmes logistiques et la pénurie de semi-conducteurs, les ventes de véhicules 100 % électrique (BEV) et d'hybrides rechargeables (PHEV) ont en effet de nouveau progressé fortement sur l'année (+ 106 %) pour dépasser les 6.5 millions d'unités vendues. Poussé par une réglementation toujours plus contraignante et un système de subventions favorable, l'essor du véhicule électrique est particulièrement impressionnant en Europe (> 17 % des ventes de véhicules légers en 2021) et en Chine (> 13 %). Il reste en revanche encore modeste aux États-Unis (< 4 %), en l'absence de réglementation fédérale.

Il est important d'insister ici sur le rôle majeur joué par la réglementation. Nous estimons que plus des 2/3 du marché mondial des véhicules légers font aujourd'hui l'objet de mesures incitatives (subventions ou primes au remplacement d'un véhicule thermique) ou coercitives (objectifs de réduction de l'empreinte CO₂ des gammes des constructeurs, interdiction de vente de véhicules thermiques à des échéances variées, etc.) à l'adoption du véhicule électrique (BEV ou PHEV). L'Europe se montre d'ailleurs la plus stricte dans sa volonté d'électrifier son parc de véhicules légers. L'UE qui affiche déjà les objectifs des plus ambitieux en matière de réduction de l'empreinte CO₂ des gammes constructeurs (95 g CO₂/km NDEC depuis 2021, 81 g en 2025), envisage désormais de les renforcer d'ici à 2030 (25-43 g contre 56 g officiellement) **et a voté en juin** l'interdiction de ventes de véhicules thermiques dès 2035 (hybrides compris). Rappelons qu'en cas de non-respect, les constructeurs automobiles européens s'exposent à de lourdes amendes, soit 95 € pour chaque g CO₂/km de dépassement depuis 2019.

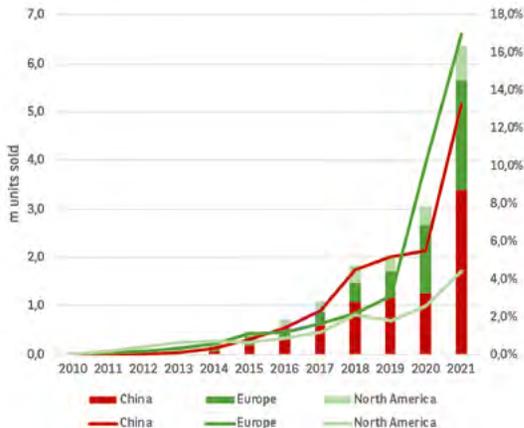
Panorama mondial des mesures en faveur de l'adoption du véhicule électrique



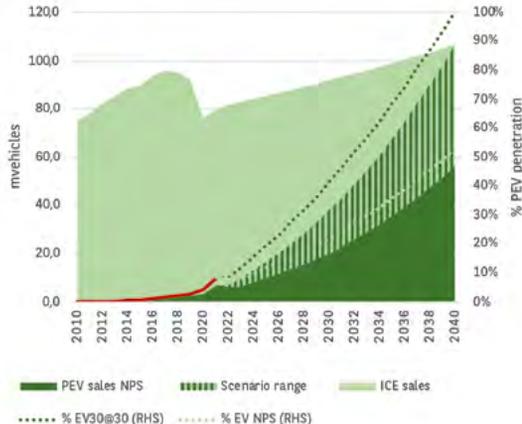
Source : ACEA, Electrive, Rare Earth Advisory, mars 2022.

À l'échelle mondiale, il semble évident que le rythme d'électrification des véhicules légers défie les projections les plus optimistes. Les ventes de véhicules électriques (BEV + PHEV) représentent désormais plus de 8 % des ventes de véhicules légers mondiales, en forte hausse depuis 2019 (2,5 %). Ce taux de pénétration se situe dans la borne haute des scénarii d'adoption les plus ambitieux développés par l'AIE (EV30@30).

Ventes de véhicules électriques légers par région



Ventes mondiales comparées au scénario EV30@30 et NPS*

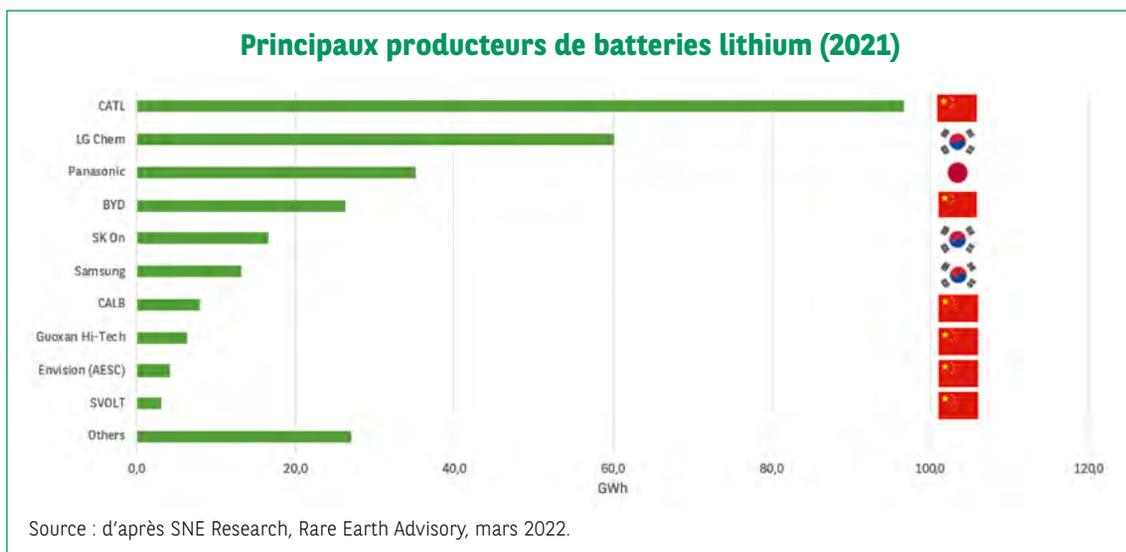
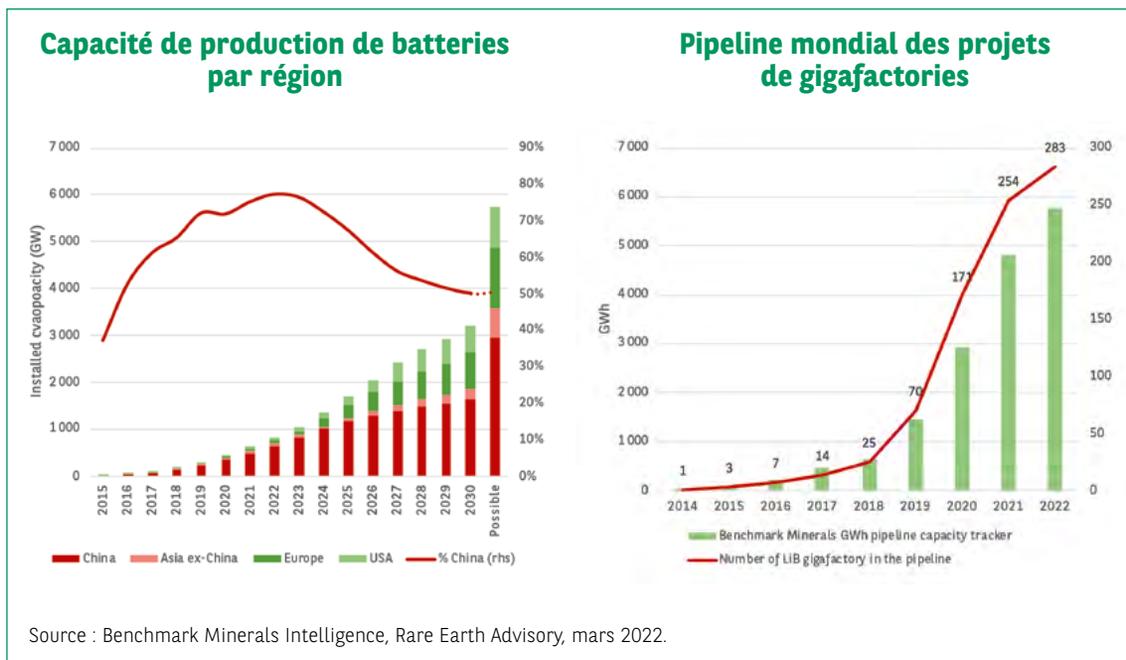


* AIE New Policy Scenario (NPS) et EV30@30, mis à jour chaque année dans le cadre du rapport EV Outlook (dernière édition avril 2021).
Source : EV-volumes, OICA, JATO, AIE, Rare Earth Advisory, mars 2022.

1. Les tensions sur les prix des matières premières peuvent-elles freiner l'engouement pour le véhicule électrique ?

En réponse à cette demande, les projets de grandes usines de fabrication de batteries ou « gigafactories » nécessaires à la motorisation des véhicules hybrides (PHEV) et 100 % électriques (BEV) se sont multipliés en Chine, en Europe et aux États-Unis. Comme nous le détaillons plus tard (voir

question 10), de nombreux constructeurs poursuivent désormais une stratégie d'intégration en amont visant à sécuriser leur approvisionnement, au travers d'alliances et de contrats d'approvisionnement pluriannuels avec les grands producteurs de batteries (asiatiques en grande majorité à ce jour).

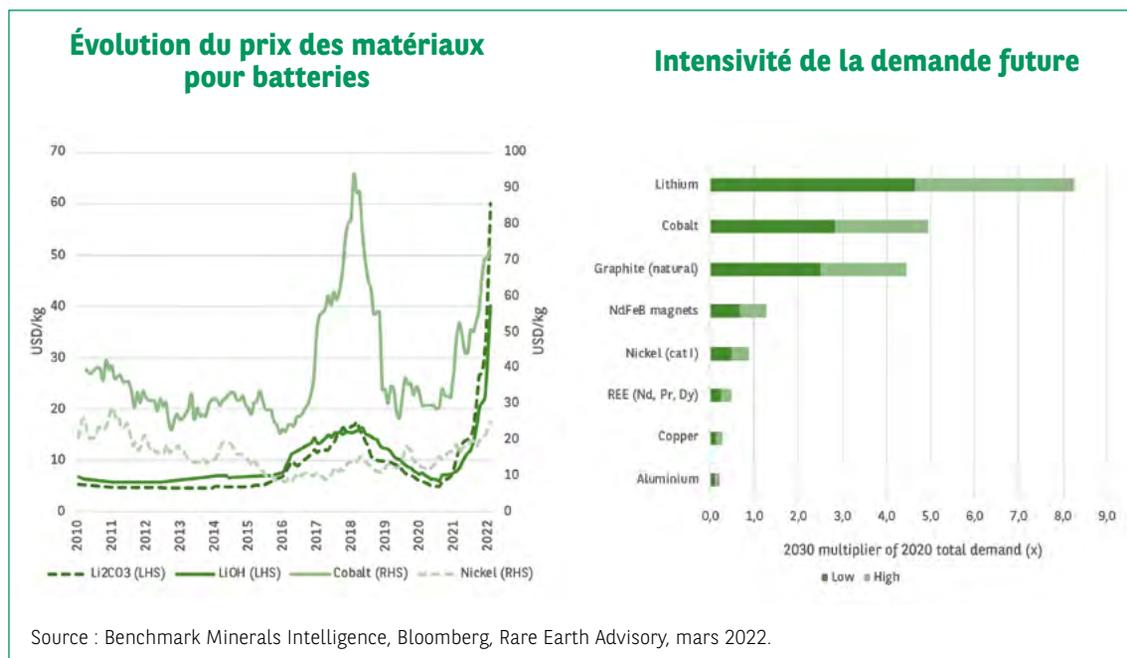


■ La hausse des prix des matières premières possible frein à l'électrification des transports ?

Qu'en est-il plus en amont dans la chaîne de valeur ? La réponse face à la forte demande de véhicules électriques est lente et se traduit par de premières tensions qu'illustrent les déficits d'offre et l'envolée des prix de nombreux métaux et minéraux nécessaires aux batteries (lithium, cobalt, nickel, graphite)

et aux motorisations électriques (terres rares) depuis fin 2020. Précisons ici que le véhicule électrique est très gourmand en métaux et minéraux critiques.

Depuis fin 2020, la hausse des prix des métaux et minéraux nécessaires aux batteries et des terres rares est impressionnante : + 40 % pour le graphite, manganèse et le nickel ; + 90 % pour les terres rares ; + 130 % pour le cobalt ; + 450-750 % pour le lithium...



Cette envolée de prix est d'ores-et déjà une source d'inflation importante sur le coût de fabrication des batteries et des véhicules électriques. Ce problème touche bien évidemment l'ensemble des chimies de cathodes et l'ensemble des solutions de mobilités électriques (vélos/trottinettes/scooters électriques, véhicules électriques). Nous avons essayé de

quantifier l'évolution du coût des matériaux critiques contenus dans les 20 modèles 100 % électriques les plus vendus en 2021 : de 3 % en 2020, leur part est passée à 4 % en 2021 et représente aujourd'hui en moyenne plus de 12 % du prix de vente de ces véhicules, sur la base des prix spots.

1. Les tensions sur les prix des matières premières peuvent-elles freiner l'engouement pour le véhicule électrique ?

Coût des matériaux critiques contenus dans les batteries des 20 véhicules électriques les plus vendus en 2021

Model	Sales (k)	Battery Cell size (kWh)* chemistry	Critical materials (USD/car)			List price (USD)
			2020	2021	Spot*	
Tesla Model 3	418,7	65 LFP, NMCA	1 613	1 870	5 709	46 490
Wuling Hongguang MINI	343,7	12 LFP	98	105	494	5 250
Tesla Model Y	327,3	74 LFP, NMCA	1 830	2 380	5 899	54 990
Volkswagen ID.4	102,8	65 NMC	1 478	1 721	5 303	44 850
BYD Han EV	76,6	71 LFP	598	731	2 733	29 381
Volkswagen ID.3	67,8	61 NMC	1 655	1 743	6 671	46 500
Changan BenBen e-Star	66,1	28 LFP, NMC	754	906	2 790	5 709
Renault Zoe	65,7	48 NMC	1 100	1 357	3 788	38 049
Chery eQ1	64,9	34 NMC	786	1 013	2 617	10 878
Kia Niro	59,2	52 NMC	1 182	1 297	4 408	43 325
Great Wall ORA Euler R1	55,4	44 NMC	1 001	1 092	3 743	12 688
Hyundai Kona	55,0	52 NMC	1 182	1 297	4 408	43 868
Nissan Leaf	55,0	51 NMC	1 162	1 306	4 270	39 600
Roewe Clever EV300	53,6	27 NMC	619	894	1 860	9 373
Xpeng P7	53,1	70 LFP, NMC	1 912	2 332	6 992	43 750
BYD Qin Plus	49,2	61 LFP	518	599	2 470	22 652
Ford Mustang Mach-E	49,1	88 NMC	2 005	2 515	6 818	48 350
GAC Aion 5	46,6	83 NMC	1 890	2 317	6 543	31 540
Hozon Neta V	44,4	45 NMC	1 031	1 158	3 788	12 340
Audi e-tron Quattro	43,6	83 NMC	1 902	2 350	6 543	87 410
Total	2 098		1 202	1 445	4 258	34 735
% of selling price 2021			3%	4%	12%	

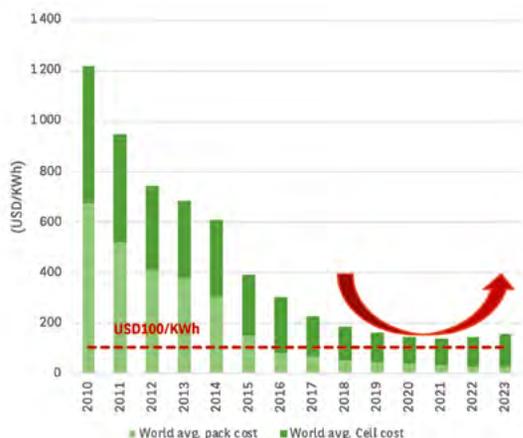
* Battery size : taille moyenne des batteries / Spot : sur la base des prix spots moyens observés en février 2022.
Source : d'après Mining.com, Rare Earth Advisory, mars 2022.

Face à ces tensions, les fabricants de batteries ont commencé à répercuter ces hausses de coûts matières, à commencer par BYD depuis le 4^e trimestre 2021, suivi par de nombreux constructeurs automobiles comme Rivian, Tesla ou Xpeng en mars 2022. Nous comprenons que les fabricants de batteries ont entamé un deuxième round de négociations pour répercuter la hausse continue des coûts matières depuis le début de l'année et exacerbée dans le contexte de la guerre en Ukraine.

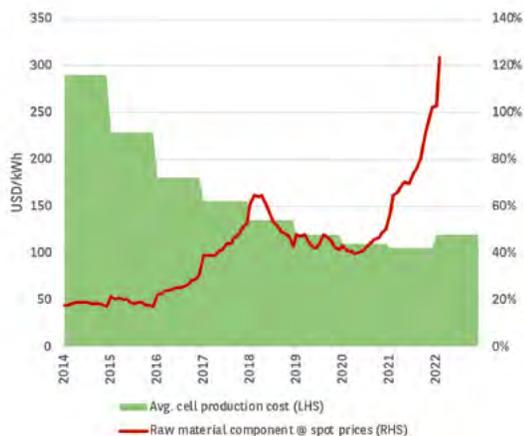
La tendance de baisse du coût de production d'une batterie lithium, continue depuis 10 ans sous le double effet du progrès technique (hausse de la densité énergétique des batteries, R&D) et des économies d'échelles, subit un coup d'arrêt brutal. Avec

un coût matière théorique estimé à plus de 120 % (contre 60-65 % en 2021) du coût de production moyen d'un pack de batterie sur la base des prix spot actuels et la perspective de déficits d'offre persistants sur de nombreux matériaux critiques, nous estimons que ces tensions inflationnistes sont appelées à durer. Ces niveaux de prix élevés n'affectent pas encore pleinement les fabricants de batteries et les constructeurs automobiles qui bénéficient pour la plupart de contrats annuels. Mais reflet de cette tendance, les grands producteurs de lithium comme Albemarle, SQM ou Livent intègrent désormais des mécanismes de prix indexés sur les prix spots dans leurs contrats annuels. Une tendance qui se généralise dans l'industrie.

Évolution du coût de production des batteries



Simulation de la part des coûts matières aux prix spots dans le coût de production d'une batterie lithium



Source : Benchmark Minerals Intelligence, Bloomberg, Rare Earth Advisory, mars 2022.

Nous estimons que le coût de production moyen d'un pack de batterie devrait augmenter de près de 8 % en 2022 (145 USD/kWh) et de près de 8 % en 2023 (155 USD/kWh). Ces chiffres cachent des différences régionales notables entre la Chine (20 % sous la médiane), les États-Unis (10 % au-dessus de la médiane) et l'Europe (30 % au-dessus).

Cette pression inflationniste risque de mettre à mal les ambitions collectives affichées par tous les constructeurs automobiles de voir le coût de production des packs baisser sous les 100 USD/kWh d'ici 2025, niveau considéré comme nécessaire pour atteindre la parité prix avec le véhicule thermique. Cette tendance présente le risque de renchérir le prix d'acquisition d'un véhicule électrique, le rendant

moins abordable, (à moins que les hausses récentes ne soient compensées par de nouvelles subventions) et pourrait donc temporairement ralentir le rythme de d'adoption du véhicule électrique à court terme.



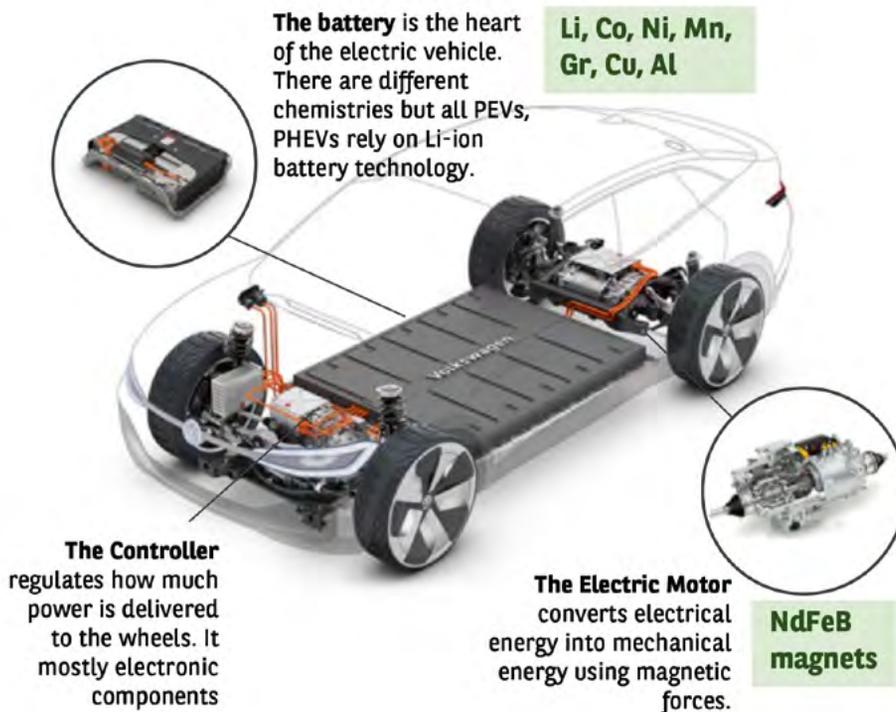
1. Les tensions sur les prix des matières premières peuvent-elles freiner l'engouement pour le véhicule électrique ?

Quels sont les métaux critiques dans un véhicule électrique ?

Le véhicule électrique est beaucoup plus intensif en métaux et minéraux critiques avec > 105 kg à > 175 kg consommés par véhicule électrique (BEV) sur la base de la taille moyenne des batteries utilisées en 2020 (56 kWh) que son équivalent à motorisation thermique (<5 kg). Les composants pour batteries lithium en sont le principal facteur, mais il convient d'évoquer aussi

les aimants permanents à base de terres rares (NdFeB) utilisés dans la plupart des moteurs électriques et le cuivre nécessaire au câblage des véhicules et des réseaux d'infrastructure de chargement. Sa chaîne d'approvisionnement est donc beaucoup plus vulnérable que celle du véhicule thermique.

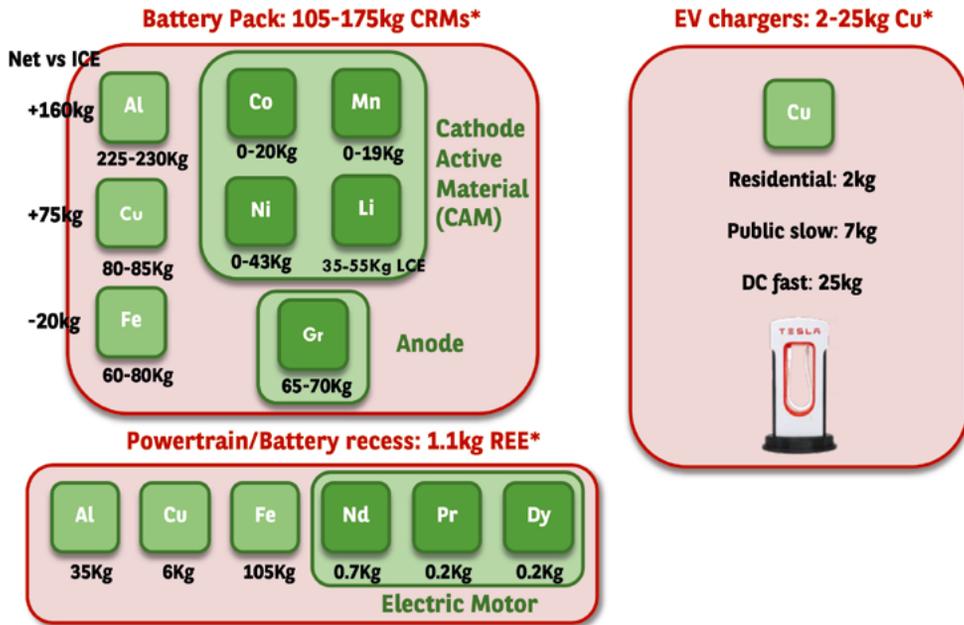
Les 3 principaux éléments d'un véhicule électrique (BEV)



Li : Lithium; Co : Cobalt; Ni : Nickel; Mn : Manganèse; Fe : Minerai de fer; Al : Aluminium; Cu : Cuivre;
REE : Rare Earth Elements (Terres rares).

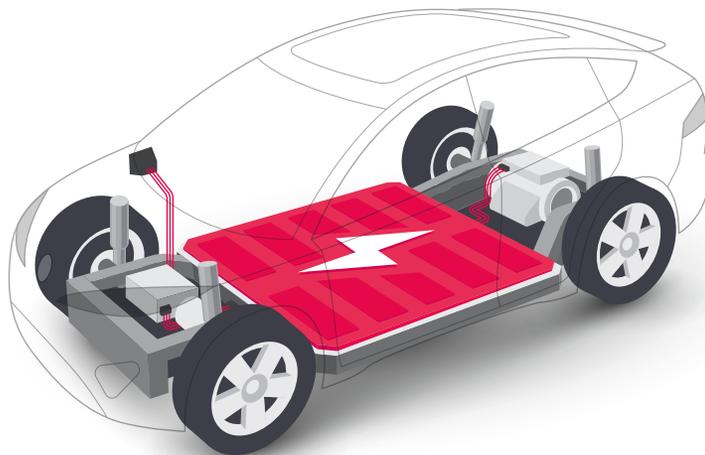
Source : Volkswagen MEB platform, Industry, Rare Earth Advisory, mars 2022.

Consommation estimée en matériaux critiques par BEV*



*Critical Raw Materials: Metal content

* Poids calculé sur la base d'un pack de batterie lithium de 56 kWh (moyenne 2020).
Source : Volkswagen MEB platform, Industry, Rare Earth Advisory, mars 2022.

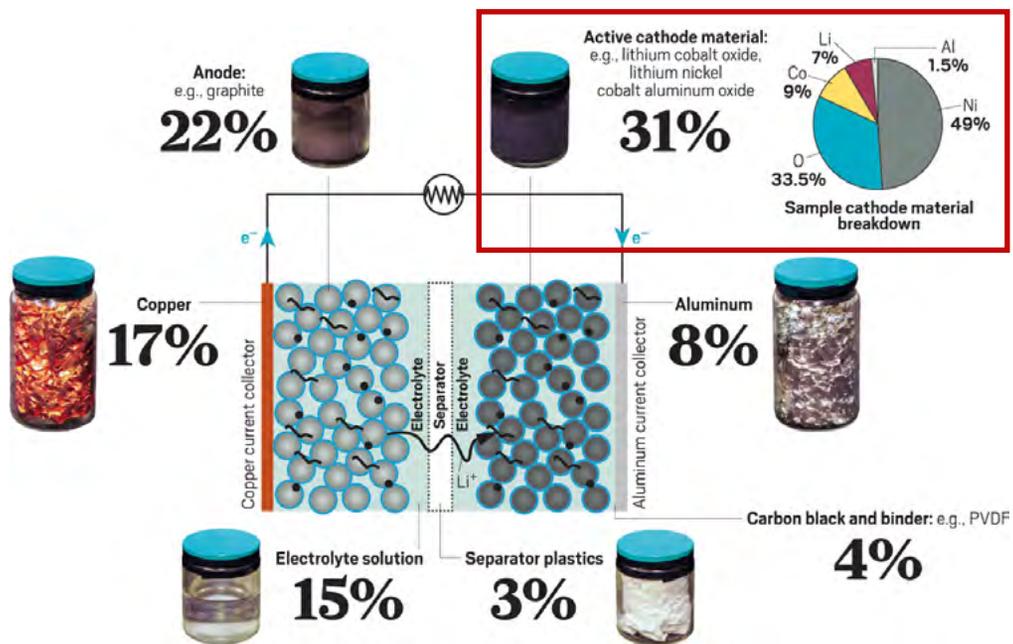


1. Les tensions sur les prix des matières premières peuvent-elles freiner l'engouement pour le véhicule électrique?

Une batterie lithium se compose :

- 1/** à près de 56 % de métaux présents dans la cathode (lithium, nickel, cobalt, manganèse, minéral de fer) et les collecteurs (cuivre, aluminium);
- 2/** à près de 26 % de poudre (graphite, noir de carbone);
- 3/** de solvants organiques (carbonate d'éthylène « EC », carbonate de propylène « PC » et diméthyl carbonate « DMC »);
- 4/** de substances fluorées/phosphorées; et
- 5/** de plastique (séparateurs).

Décomposition d'une batterie lithium (NMC)

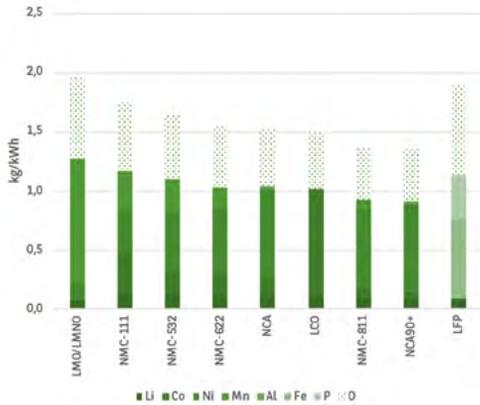


Source : Argonne National Laboratory, crédit Mitch Jacoby/C&EN.

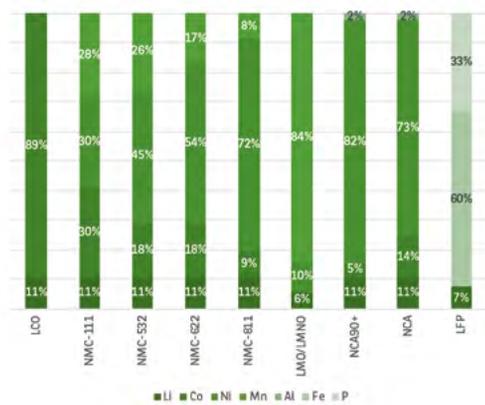
Selon le type de chimie employée, la cathode est composée d'oxyde de cobalt (LCO, NCA), de manganèse (NMC, LMO), ou de phosphate de fer (LFP), avec un peu de lithium, qui est enduite sur un collecteur de courant en aluminium. L'anode quant à elle, est en général constituée de graphite (naturel ou synthétique) avec parfois

des alliages à base de silicium, enduite sur un collecteur de courant en cuivre. Les séparateurs sont en plastique. Et l'électrolyte, qui peut se présenter sous forme de liquide ou de gel, est lui constitué de sels de lithium ($LiPF_6$, $LiBF_4$ ou $LiClO_4$) dissouts dans des solvants organiques.

Poids des principales chimies de cathodes en kg/kWh



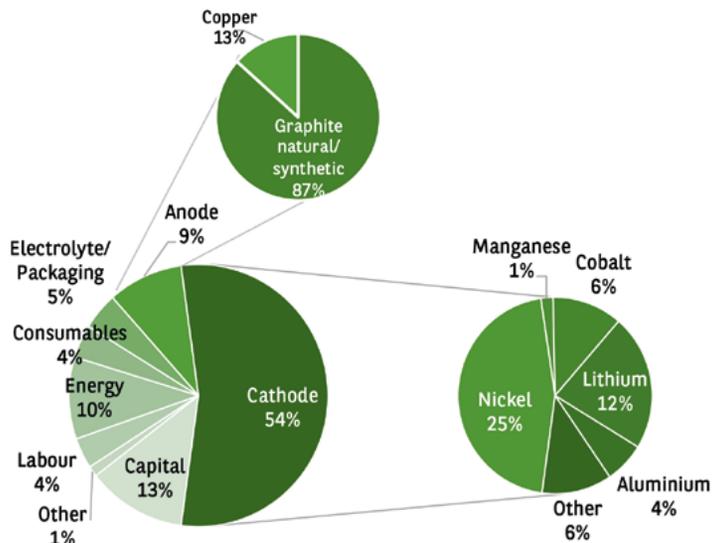
Poids relatif des métaux critiques dans la cathode (hors oxygène)



Li : Lithium; Co : Cobalt; Ni : Nickel; Mn : Manganèse; Fe : minerai de fer; P : Phosphate.

Source : Academic literature, spec sheets, public reports, Rare Earth Advisory, mars 2022.

Répartition du coût de fabrication d'une batterie lithium (NMC 532)



Source : American Manganese, Benchmark Minerals, SMM, Bloomberg, Diekmann et al. 2017, Rare Earth Advisory, mars 2022.





2.

**LE RECYCLAGE PEUT-IL ATTÉNUER
CES TENSIONS INFLATIONNISTES ET AIDER
À SÉCURISER L'APPROVISIONNEMENT
EN MATÉRIAUX CRITIQUES ?**

2. Le recyclage peut-il atténuer ces tensions inflationnistes et aider à sécuriser l'approvisionnement en matériaux critiques ?

La technologie des batteries lithium, quoique mature, est un écosystème complexe en constante évolution, qui s'est imposé comme l'un des maillons essentiels de la transition énergétique.

S'il y a beaucoup de variables, une chose est sûre cependant : l'économie et l'industrie automobile mondiale deviennent de plus en plus dépendantes de ces batteries, riches en métaux et minéraux critiques. Les gouvernements, les industriels et les défenseurs de l'environnement sont, dans ce contexte, de plus en plus préoccupés par les dommages environnementaux sur leur cycle de vie : de leur impact lors de l'extraction et de la transformation des métaux nécessaires pour les fabriquer à la pollution si les batteries usagées ne sont pas (ou mal) recyclées et finissent en décharge. Sujet auquel s'ajoute la crainte de pénurie future en matières premières dans un contexte de progression rapide des ventes de véhicules électriques, de sous-investissement dans l'amont et de forte dépendance à la Chine, deux problèmes de plus en plus préoccupants pour les États-Unis et l'Europe.

Le recyclage des batteries au lithium devient donc aujourd'hui un enjeu essentiel pour le développement d'une chaîne d'approvisionnement durable des véhicules électriques. Il pourrait à terme devenir une source d'approvisionnement alternative en matériaux critiques fournissant une solution aux problèmes de pénurie et de dépendance à la Chine. Il pourrait en outre générer de nouveaux relais de croissance et de compétitivité en Europe.



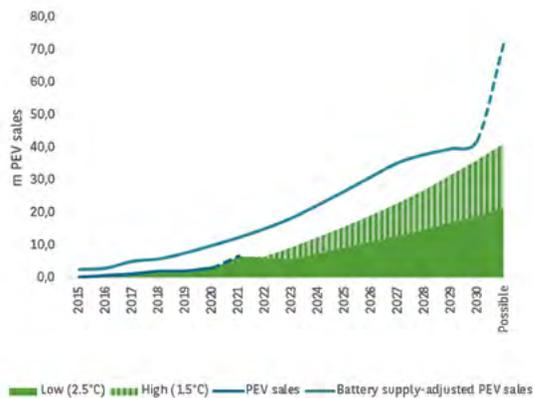
■ Les menaces de pénuries s'accroissent dans un contexte de forte dépendance à la Chine

De nombreux experts, dont Rare Earth Advisory fait partie, essaient d'attirer l'attention depuis plusieurs années déjà sur la déconnexion croissante entre le relèvement des objectifs de lutte contre le réchauffement climatique et l'absence d'investissement en amont, dans l'extraction et la transformation de métaux critiques nécessaires à la transition énergétique.

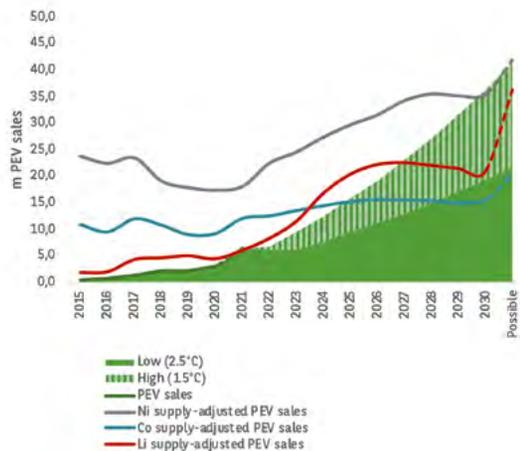
Dans le cas du véhicule électrique, un écart manifeste se crée entre les investissements massifs budgétés pour l'ajout de capacités de production de batteries et l'électrification des gammes de véhicules d'une part et les investissements modestes en amont de la chaîne (mines, transformation de métaux). Ces sous-investissements pourraient se traduire par des pénuries physiques de nature à ralentir l'essor même du véhicule électrique et compromettre certains des objectifs de la COP 26 pour l'électrification des transports à l'horizon 2030, à moins qu'ils ne soient rapidement corrigés ou que le progrès technologique n'intervienne.

Quoique très variable d'un métal à l'autre, nous soulignons ici le risque d'importants déficits pour le lithium en particulier (davantage que pour le cobalt où le phénomène de substitution est déjà entamé) comme possible frein au déploiement du véhicule électrique vers le milieu de la décennie.

L'essor de capacités de gigafactories conforme avec un déploiement accéléré du véhicule électrique



Le lithium et le cobalt, possibles freins à son déploiement après 2025



Source : Industrie, Benchmark Minerals, EV-volumes, OICA, AIE, Rare Earth Advisory, mars 2022.

"The industrialization of mines and refinery capacities may not progress as quickly as demand increases. Should that happen, it would only delay e-mobility, but not prevent the transition from fossil-fuel burning vehicles to electric ones."

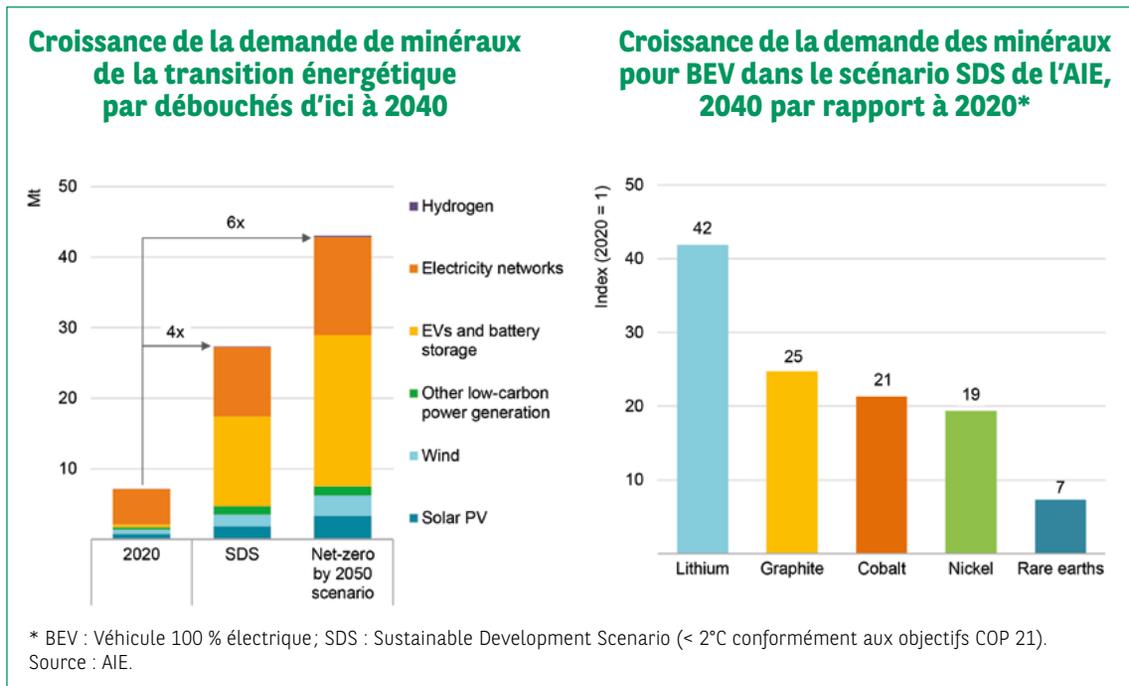
Ola Kaellenius (CEO de Mercedes-Benz)



2. Le recyclage peut-il atténuer ces tensions inflationnistes et aider à sécuriser l'approvisionnement en matériaux critiques ?

Dans son rapport « *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions* », l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) détaille cette problématique. La fin progressive de « l'ère fossile » et l'adoption massive des véhicules électriques (et des énergies renouvelables) impliquent le passage d'un modèle économique à forte intensité en énergie fossile à un modèle économique à forte intensité en métaux et minéraux. Ce point est parfaitement illustré par la

forte intensité des véhicules électriques en métaux et minéraux critiques par rapport aux motorisations thermiques (voir question 1). Le déploiement en masse du véhicule électrique (et des énergies renouvelables) entraînera une augmentation significative de la demande de matériaux critiques principalement due au boom des batteries au lithium selon l'AIE (9 x à 15 x d'ici 2030 ; 28 x à 49 x d'ici 2040).

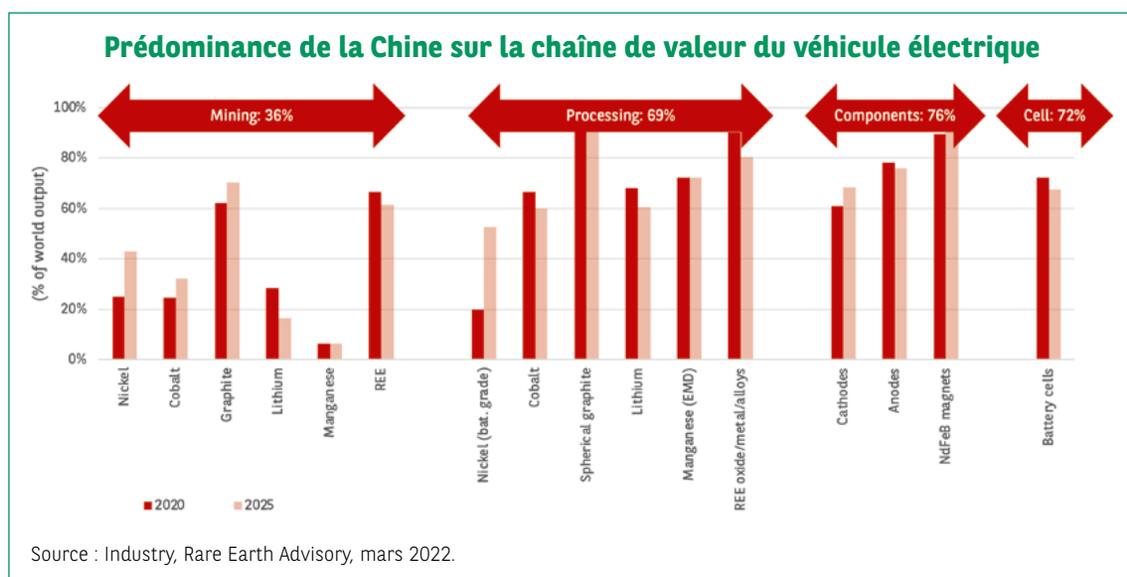


Cette perspective pose un certain nombre de défis pour l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, car les industries minières et de transformation de métaux auront très probablement du mal à satisfaire cette hausse de la demande future. Là où 18 à 24 mois suffisent pour construire un « gigafactory », il faut 2 à 3 ans pour construire une usine de précurseurs, au moins 3 ans pour développer un projet de transformation métallurgique ou chimique et à minima 5 à 10 ans pour développer une mine (voir davantage si l'on intègre le travail d'exploration préalable).

En Europe, les bons diagnostics sur l'inadéquation offre-demande et la dépendance à la Chine sur un certain nombre de ces métaux ont été faits dès 2011 avec l'établissement de premières listes de matériaux considérés comme critiques selon les critères d'importance économique pour la région et de risque de perturbation sur l'offre. Cette liste compte désormais 30 matériaux depuis l'addition du lithium en 2020 aux côtés du cobalt, du graphite naturel et des éléments de terres rares déjà recensés précédemment.

En matière d’approvisionnement, il est en effet difficile de contourner la Chine, qui domine l’ensemble de la chaîne de valeur du véhicule électrique : de l’activité minière (> 35 % de la production mondiale de métaux critiques), à la transformation/séparation chimique (> 65 %), à la fabrication de composants (> 75 %) et la production de véhicules électriques. Dans le cas des terres rares, l’hégémonie chinoise est quasi-totale. Elle est le résultat d’une stratégie industrielle mûrement réfléchie développée par les autorités chinoises depuis la fin des années 1990 dans un contexte où les Pays Occidentaux étaient

satisfaits de délocaliser la pollution associée à l’extraction et la transformation de ces matériaux, jugés non stratégiques à l’époque. Dans le cas des batteries lithium, le degré de dépendance est moindre, mais néanmoins important. Au cours de la décennie précédente, la Chine a en effet sécurisé un certain nombre de ressources minières à l’étranger en lithium, cobalt ou nickel et développé son industrie nationale de raffinage de métaux (métallurgie/chimie), de production de précurseurs pour cathode et anode, et de fabrication de batterie.



L’AIE met ainsi en avant la nécessité d’une action gouvernementale pour assurer un approvisionnement fiable et durable en matériaux critiques pour les technologies de la transition énergétique, des énergies renouvelables aux véhicules électriques. D’autres voix se sont élevées en ce sens en Europe notamment au sein de la European Raw Materials Alliance (ERMA), ou en France (Rapport Varin). La France et la Commission Européenne ont d’ailleurs lancé des travaux préparatoires à la constitution de deux fonds d’investissement dans les métaux stratégiques pour la transition énergétique. Suite à la parution du rapport Varin, le ministère de la Transition Ecologique a annoncé notamment « la

traduction dans une norme ou un label, certifiable, du concept de « mine responsable », en lien avec le règlement batteries en cours d’examen au niveau européen ».

On peut ici s’interroger sur le risque de voir la dépendance à la Chine augmenter dans les années à venir, car elle présente une alternative claire aux Pays Occidentaux si le profil de risque ainsi que les problématiques sociétales et environnementales de certaines nations et/ou projets s’avèrent trop élevés pour ces derniers. De nombreux exemples en attestent en République Démocratique du Congo pour le cobalt ou de l’Indonésie pour le nickel.

2. Le recyclage peut-il atténuer ces tensions inflationnistes et aider à sécuriser l'approvisionnement en matériaux critiques ?

■ L'économie circulaire à la rescousse ?

Notre modèle économique actuel, intensif en combustibles fossiles, repose sur un modèle linéaire dans lequel nous extrayons des matériaux de la Terre, en fabriquons des produits et les jetons (ou les brûlons) finalement comme déchets. Face à la raréfaction des énergies fossiles et leurs impacts négatifs sur le climat il convient de développer un modèle circulaire qui vise à lutter contre le gaspillage et réduire la production de déchets. L'économie circulaire est sous-tendue par une transition vers les énergies et les matériaux renouvelables et propose un cadre de solutions systémiques qui s'attaque aux défis du changement climatique, de la perte de biodiversité, des déchets et la pollution.

L'impact de la « dématérialisation » des batteries lithium se présente sous trois formes :

- 1/** contrairement aux combustibles fossiles, les batteries peuvent être utilisées des milliers de fois ;
- 2/** les batteries peuvent être alimentées par une énergie à faible émission de carbone comme le nucléaire, l'éolien et le solaire ; et
- 3/** les batteries peuvent être réutilisées en seconde vie pour finir recyclées en fin de vie.

Compte tenu de l'importance stratégique que revêtent aujourd'hui les matériaux critiques dans le cadre de la transition énergétique, il est probable que les intérêts écologiques, stratégiques et économiques convergent au sein du concept de mines urbaines (« urban mining »), à savoir le processus de récupération des stocks de minéraux critiques contenus dans les équipements électriques et électroniques ou les véhicules électriques mis au rebut (voir question 5). Cette source d'approvisionnement alternative combine réduction de l'empreinte environnementale et sociétale du véhicule électrique, préservation des ressources naturelles, sécurité d'approvisionnement et prix compétitifs pour les constructeurs automobiles et les fabricants de batteries (OEMs).

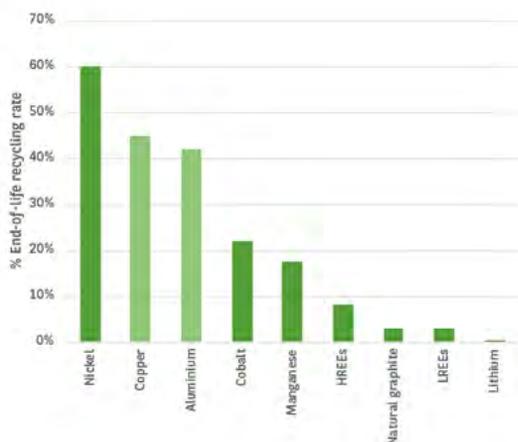
« Pour s'assurer de la soutenabilité du sourcing des matières premières pour les batteries, le premier élément est le recyclage. Il faut augmenter le taux de recyclabilité effective, et c'est un élément clé du règlement batterie. »

Pascal Canfin, Président de la Commission de l'Environnement, de la Santé publique et de la Sécurité alimentaire du Parlement européen

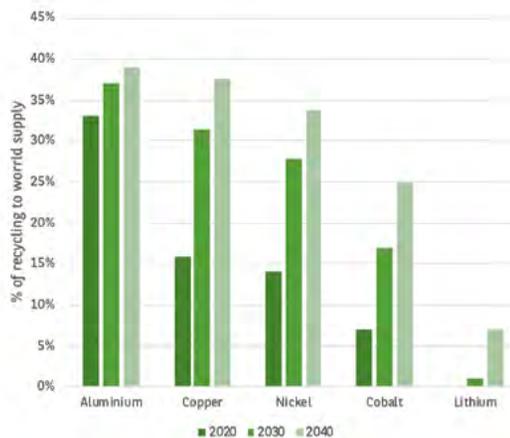
L'incidence du recyclage sur l'offre mondiale de matériaux critiques restera vraisemblablement faible d'ici 2030 compte tenu de la part relativement modeste de batteries arrivant en fin de vie sur la décennie et nécessite des politiques proactives d'investissements en amont de la chaîne de valeur comme évoqué précédemment. Les batteries recyclées pourraient en revanche fournir une part significative de l'approvisionnement mondial à moyen/long terme en matériaux critiques, en particulier pour le nickel et le cobalt (un point plus contestable pour le lithium). Précisons ici qu'il faut raisonner hors impact des matériaux recyclés issus des déchets de production de batteries, eux-mêmes produits à partir de matériaux primaires (voir question 4).

La forte croissance de la demande de matériaux pour véhicules électriques attendue d'ici à 2040 pourrait toutefois limiter la contribution du recyclage dans l'offre de matières premières. Ces perspectives combinées à une plus grande difficulté à le recycler expliquent d'ailleurs la faible contribution attendue du recyclage dans l'offre de lithium d'ici à 2040.

Taux de recyclage par matière première



Contribution estimée du recyclage à l'offre mondiale de matières premières



LREE : Light Rare Earth Elements; HREE : Heavy Rare Earth Elements.

Source : EC, OECD, Bloomberg, NEF, ICSG, INSG, AIE, Rare Earth Advisory, mars 2022.

Les batteries lithium maillon essentiel de la transition énergétique

Au sein des batteries rechargeables, les batteries lithium se sont imposées comme l'un des maillons essentiels de la transition énergétique. Commercialisées dès 1991, les batteries lithium (LiB) ont d'abord été destinées aux produits électroniques, où leur utilisation devient intensive à la fin des années 2000 avec l'essor des ordinateurs portables, smartphones, tablettes, etc. Grâce à leur grande densité de stockage, les batteries lithium trouvent de nouveaux débouchés, jusqu'à devenir un véritable standard pour tous les appareils ayant besoin d'une batterie rechargeable et portable. Offrant le meilleur compromis entre capacité, volume et masse

leur permettant d'allier puissance élevée, une facilité de recharge et une bonne durabilité, elles s'imposent en effet rapidement dans le secteur de la mobilité électrique supplantant les technologies Nickel Cadmium (NiCd) et Nickel Métal-Hydrure (NiMH). Les batteries lithium sont désormais au cœur de multiples applications liées à la décarbonation de nos économies, avec deux moteurs essentiels :

- 1/** l'électrification des transports (2 roues électriques/véhicules électriques) et
- 2/** le stockage d'énergie accompagnant le déploiement des énergies renouvelables (éolien, solaire).

2. Le recyclage peut-il atténuer ces tensions inflationnistes et aider à sécuriser l’approvisionnement en matériaux critiques ?

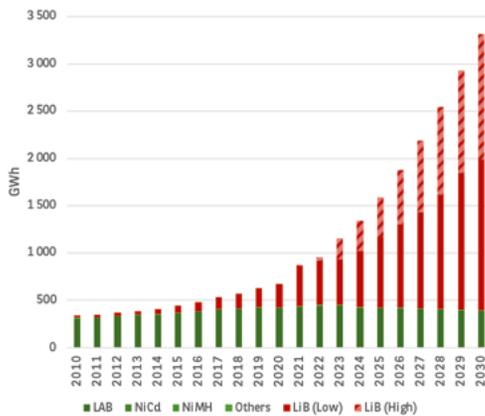
Chaque chimie de batterie rechargeable disponible aujourd’hui sur le marché européen est basée sur une combinaison de métaux, par exemple :

- LAB : à base de plomb (automobile/industriel) – Plomb, antimoine, étain, cuivre, aluminium, calcium, argent ;
- LiB : à base de lithium (industriel/portable/ automobile/véhicules électriques/moyens de transport légers) – Lithium, nickel, cobalt, manganèse, aluminium, cuivre, silicium ;
- NiCd/NiMH : à base de nickel (industriel) – Nickel, terres rares, cadmium ;

- NaS : à base de sodium (industriel/automobile) – Sodium, nickel.

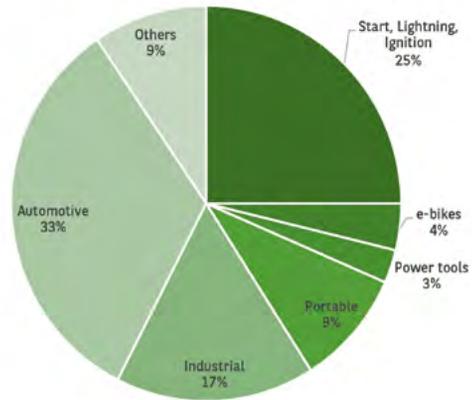
Quoique toujours dominées en volume par les batteries à base de plomb (LAB ou Lead Acid Batteries), les batteries LiB représentent aujourd’hui plus de 55 % d’un marché mondial estimé à près de 90 Mds de dollars. L’essor rapide du véhicule électrique devrait voir les batteries LiB largement dominer le segment des batteries rechargeables, tant en volumes qu’en valeur, durant cette décennie.

Évolution du marché des batteries rechargeables en volume



Source : d’après BP Statistical Review, IRENA, AIE; BloombergNEF, IHS, Congress Research, Avicennes Energy Batteries Event 2021, Rare Earth Advisory, mars 2022.

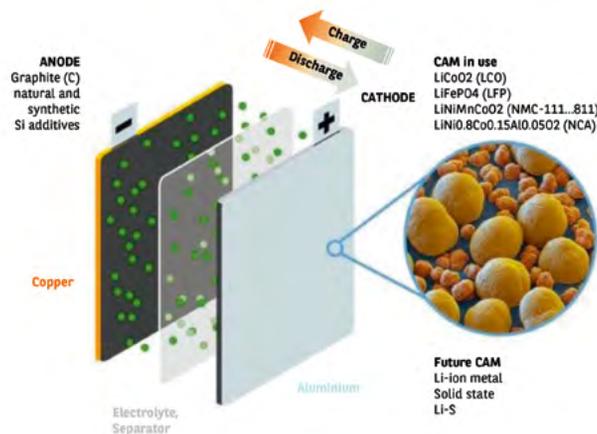
Répartition du marché des batteries rechargeables par marché finaux en valeur



Les différents types de batteries varient selon le type d’ions, les matériaux des électrodes et l’électrolyte associés. La batterie au plomb 12 volts qui sert traditionnellement à alimenter le démarreur d’un véhicule thermique repose par

exemple sur un électrolyte contenant des ions de plomb et des électrodes à base de plomb. La batterie lithium exploite quant à elle des ions de lithium (Li+) : c’est de là que la technologie tire son nom.

Principe de fonctionnement d'une batterie lithium



Source : d'après Umicore, Battery University, BASF, Rare Earth Advisory, mars 2022.

Le principe de la batterie lithium consiste à faire circuler des électrons en créant une différence de potentiel entre deux électrodes, une négative et l'autre positive, plongées dans un liquide conducteur ionique qu'on appelle l'électrolyte. Quand la batterie alimente un appareil, les électrons accumulés dans l'électrode négative sont libérés au travers d'un circuit externe jusqu'à rejoindre l'électrode positive : c'est la phase de décharge. À l'inverse, quand la batterie est en charge, l'énergie transmise par le chargeur fait revenir les électrons de l'électrode positive vers la négative.

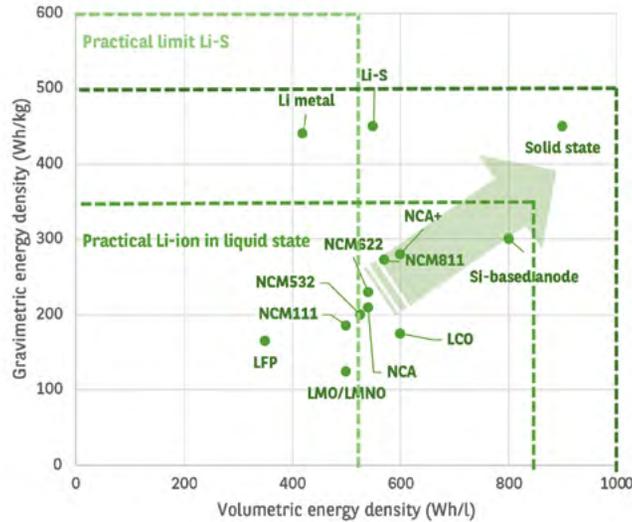
Une batterie lithium telle qu'on la conçoit à l'intérieur d'un véhicule électrique se présente comme un assemblage d'unités de batterie individuelle (piles/cellules), reliées les unes aux autres et supervisées par un circuit électronique dédié (« Battery Management System » ou BMS). Le nombre des cellules, la taille de chaque cellule et la façon dont elles sont agencées déterminent à la fois la tension délivrée par la batterie et sa capacité, c'est-à-dire la quantité

d'électricité qu'elle est en mesure de stocker. Elle est exprimée en wattheure (Wh) dans le monde de l'électronique grand public (13-14 Wh pour un smartphone par exemple) et en kilowattheure (kWh) dans le monde automobile (de 8 à > 120 kWh en fonction du type hybride ou pur électrique et de la catégorie du véhicule).

La technologie des batteries lithium, quoiqu'aujourd'hui mature, est un écosystème complexe en constante évolution. La course à la performance, mesurée par la densité énergétique des batteries (gravimétrique et volumétrique) et gage de plus grande autonomie des véhicules, pousse sans cesse à l'optimisation et à l'émergence de nouvelles chimies, formes ou conditionnements des batteries. Cette course devrait d'ailleurs voir le développement commercial des batteries lithium à l'état solide d'ici la fin de la décennie, véritable rupture par rapport aux batteries à électrolyte liquide utilisées actuellement combinant très haute densité énergétique (> 400 kWh/kg et > 800 kWh/l), capacité de chargement rapide, durabilité et fiabilité.

2. Le recyclage peut-il atténuer ces tensions inflationnistes et aider à sécuriser l'approvisionnement en matériaux critiques ?

Batteries à l'état solide et autres technologies futures des batteries

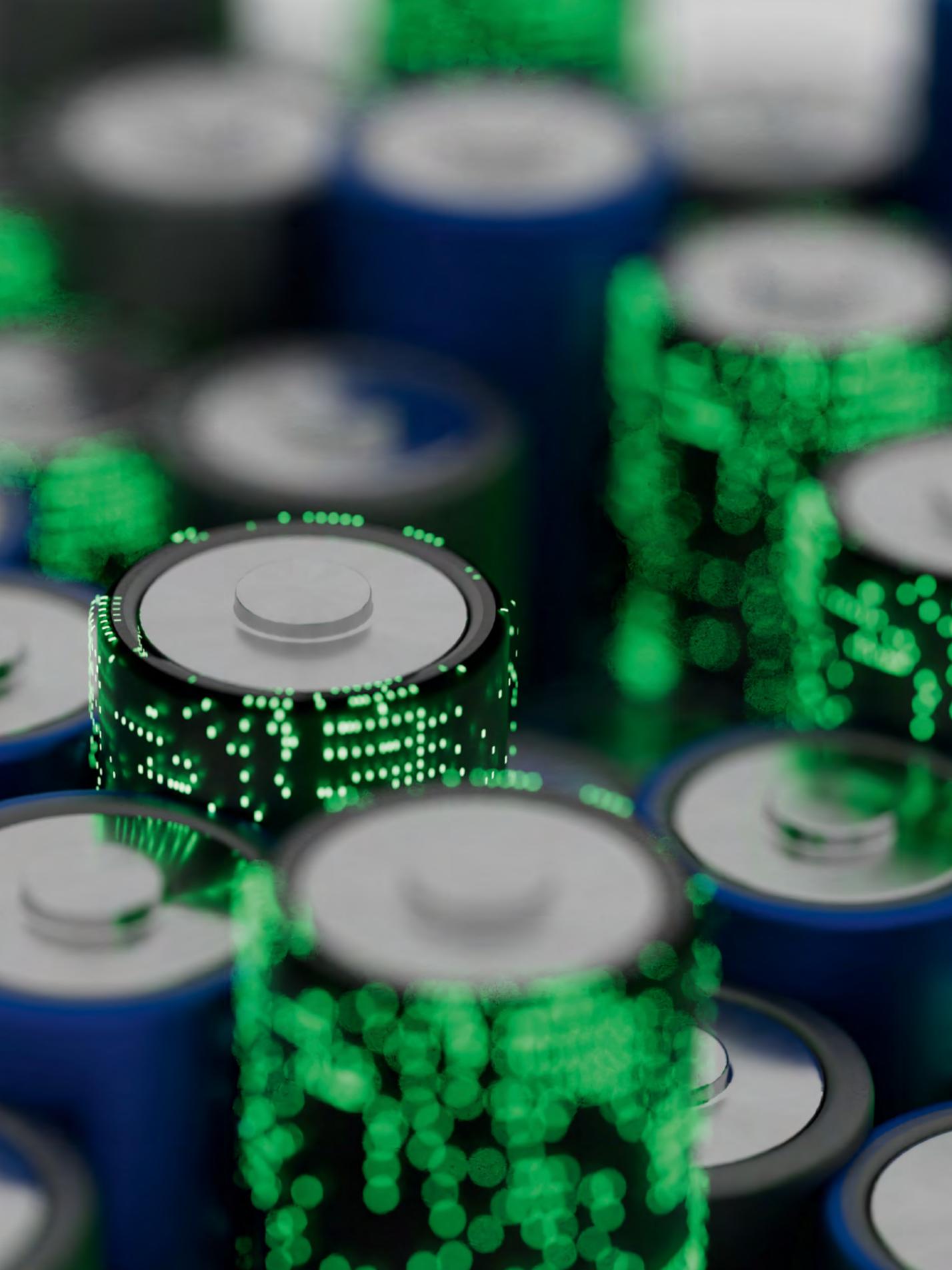


Source : Industrie, Umicore, Battery University, Maxwell, Rare Earth Advisory, mars 2022.

De nombreuses itérations et pistes alternatives sont poursuivies (oxide, sulfide, polymère), avec des résultats prometteurs pour les technologies hybrides ou semi-solides. Là où la plupart des constructeurs automobiles s'appuient sur des start-ups pour concevoir leurs batteries à l'état solide (Factorial, Ionic Materials, ProLogium, QuantumScape, Solid Power, SES),

les groupes Toyota et Nissan font figure d'exception, cherchant à développer leurs propres technologies en interne pour laquelle il dispose d'ailleurs du plus grand nombre de brevets à ce jour. La production de batteries lithium à l'état solide reste néanmoins pour l'heure au stade de R&D et devrait rester minoritaire d'ici à 2030 (< 250 GWh soit < 4 % de l'offre mondiale).

Source : d'après le site du Groupe Renault – Fonctionnement d'une batterie lithium-ion. Copyright Pagecran, Olivier Le Moal, Rare Earth Advisory, mars 2022.







3.

**QUELS SONT LES DÉFIS DU RECYCLAGE
DES BATTERIES LITHIUM HAUTE TENSION ?**

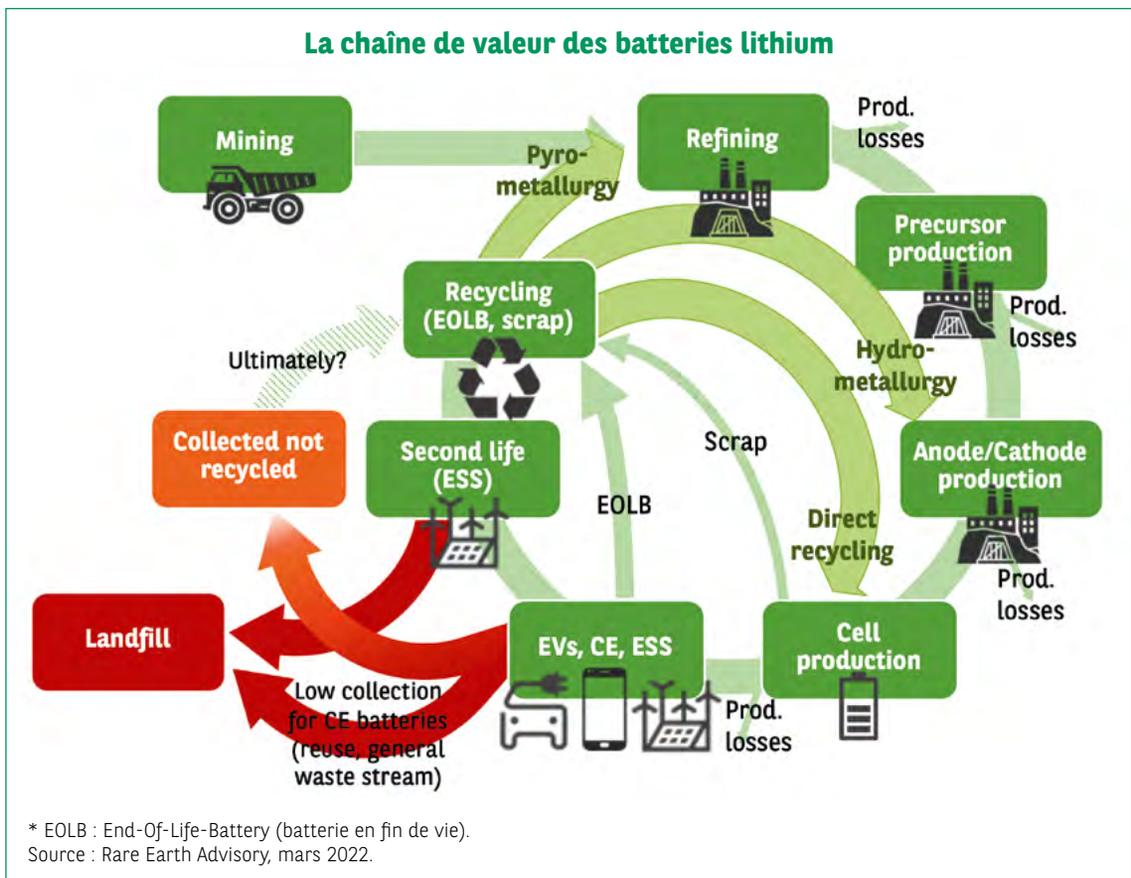
3. Quels sont les défis du recyclage des batteries lithium haute tension ?

Avec l'essor rapide du véhicule électrique, des quantités importantes de batteries lithium haute tension arriveront à la fin de leur durée de vie utile à partir de 2030. Il convient de structurer dès aujourd'hui la filière du recyclage pour pouvoir faire face à ce futur raz-de-marée. Ce n'est pas une option, c'est une nécessité, si l'on veut éviter de reproduire le modèle industriel linéaire du véhicule thermique. Avant d'essayer de quantifier la taille du marché des batteries disponibles pour le recyclage, il est important de lister les multiples défis auxquels l'industrie va devoir faire face pour que ces batteries soient recyclées durablement en fin de vie.

Le recyclage efficace des batteries lithium pour véhicules électriques est actuellement un goulot

d'étranglement. La constitution d'une filière durable du recyclage des batteries haute tension constitue un problème industriel complexe, qui fait face à de multiples défis liés :

- 1/** à la collecte et au traitement responsable de batteries aux chimies hétérogènes et aux déchets induits ;
- 2/** à la dangerosité de la manutention et du traitement de batteries de grande taille (par contraste avec celles plus petites utilisées dans les smartphones, etc.) ;
- 3/** au contrôle des flux de batteries en fin de vie ;
- 4/** à des objectifs parfois contradictoires pour les constructeurs, opposant éco-conception vs performance, ou seconde vie vs recyclage immédiat.



“Batteries are amazing because they are so recyclable. More than 90% of the critical materials in the battery could be reused many, many times without degradation. Today, the batteries that we buy and put into our products admittedly still have a pretty small recycled material content, but this is changing fast... We’re demonstrating and showing that you can make batteries that have very high percentage (of recycled materials) and still have extremely good performance and exceptional life.”

JC Straubel (CEO de Redwood et ex-CTO de Tesla)

Que signifie la fin de vie pour une batterie ?

On peut définir la fin de vie d’une batterie comme le moment où elle est retirée de son application d’origine en raison d’une panne, d’un défaut de conception (campagne de rappel), d’une dégradation ou d’une obsolescence de la batterie ou de l’équipement dans lequel elle est installée.

En pratique la fin de vie d’une batterie intervient en cas :

- de remplacement de la batterie sous garantie : la durée de garantie initialement prévue pour 5 ans à l’origine, s’étend désormais à 8 voire même > 10 ans dans certains cas (ou 60 à 160 000 km). Cette durée de garantie est à comparer à la durée de vie réelle des batteries,

estimée à 1 000 à 1 500 cycles de recharge en moyenne, qui selon les chimies utilisés et le comportement de l’usager peut se prolonger à 200-500 000 km soit 10 à 15 ans (voir question 4);

- d’accident de la route;
- de dégradation de la batterie, ou de fin de vie du véhicule;

À ces flux de batteries en fin de vie s’ajoutent les batteries de véhicule test, les rebuts de production de batteries (déchets, off-spec) et les batteries non-vendues (essentiellement pour l’électronique grand public).

Source : d’après Circular Energy Storage, The dynamics of the EV battery end-of-life market tutorial (2020).

■ Basculer du recyclage des batteries pour l’électronique grand public à celui des batteries haute tension pour véhicules électriques

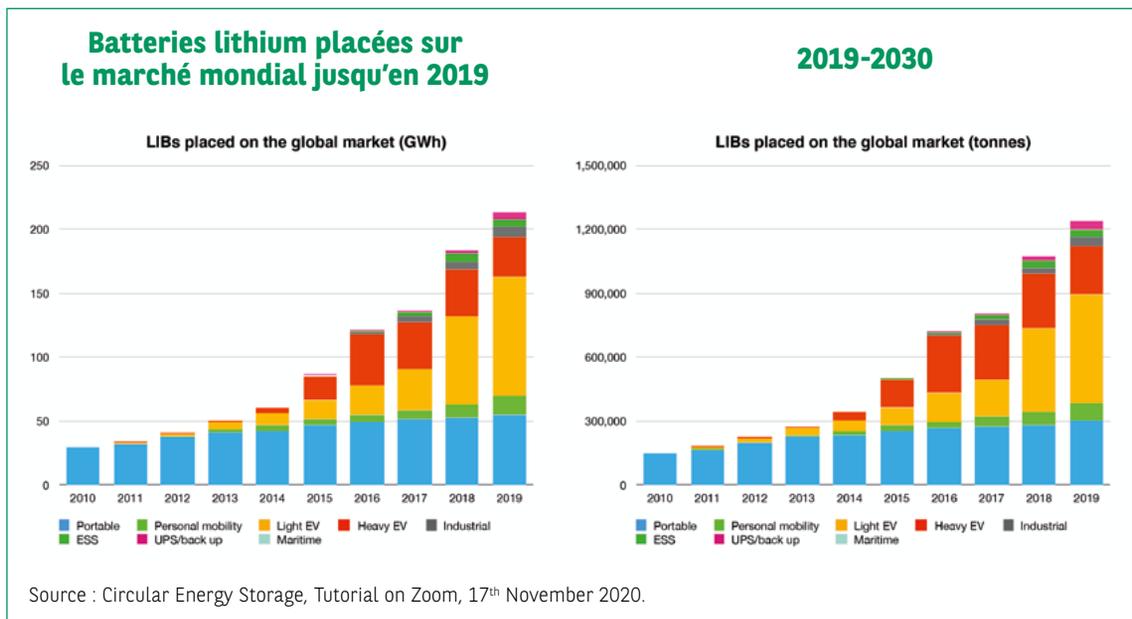
Avec l’essor du véhicule électrique, la structure du marché des batteries lithium en fin de vie est appelée à changer radicalement. Avant 2014, les batteries placées sur le marché étaient pour l’essentiel destinées aux produits électroniques grand public (ordinateurs portables, smartphones, tablettes, etc.).

Ces batteries ont des caractéristiques communes : une taille modeste (10-55 Wh), une grande homogénéité de chimie (LCO, riche en cobalt), et des cycles de vie relativement courts (2-3 ans). Elles présentent un faible risque d’explosion et sont par conséquent facile à traiter par voie pyro/hydro-métallurgique, une technologie au bilan environnemental contestable comme nous le verrons plus loin, mais qui affiche de forts taux de récupération du cobalt (89 % du poids des cathodes LCO).

3. Quels sont les défis du recyclage des batteries lithium haute tension ?

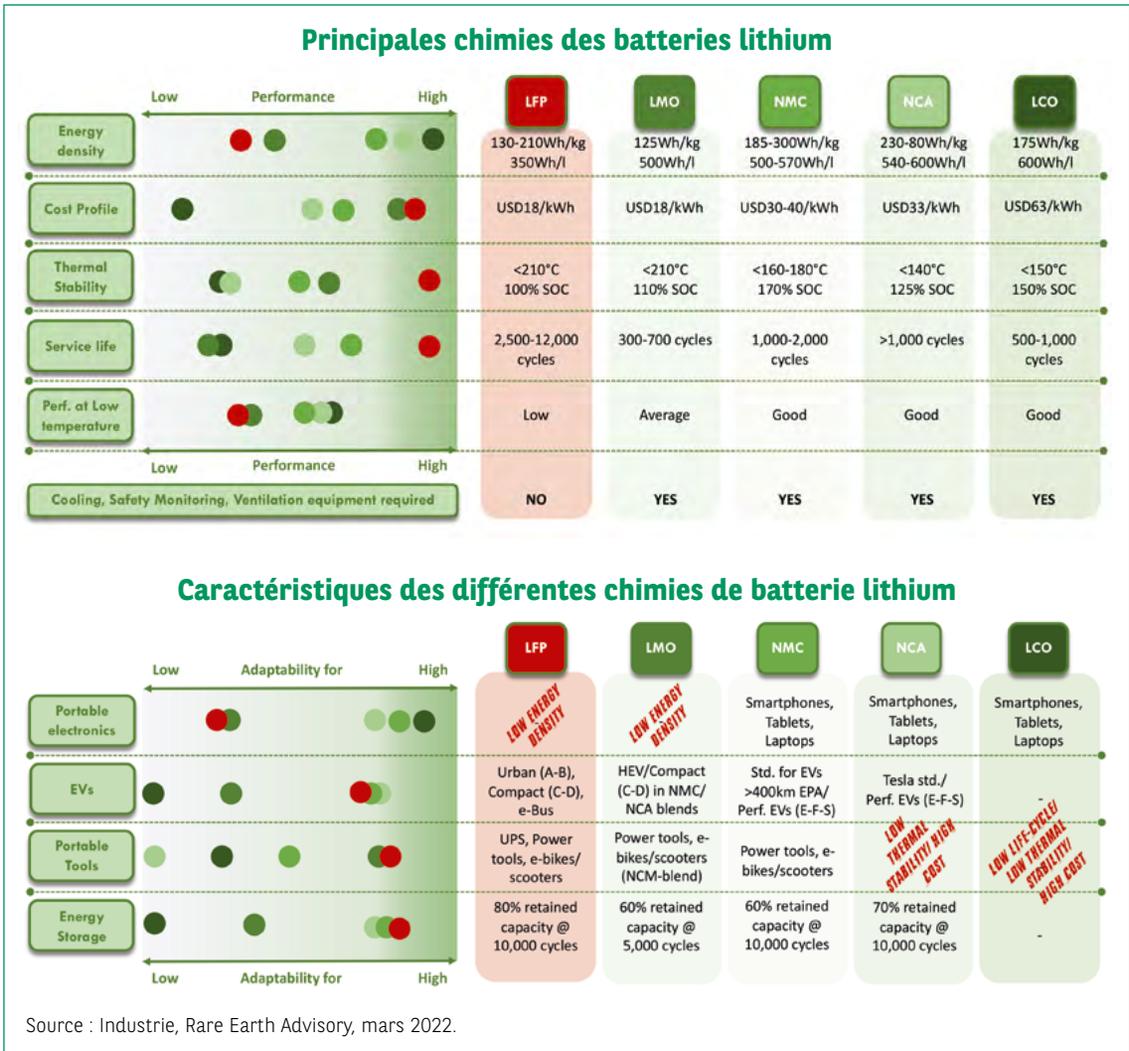
L'un des principaux enjeux du recyclage de ce type de batteries réside dans l'augmentation du taux de collecte des biens d'équipement électroniques, encore bien faibles à ce stade : 17 % à l'échelle mondiale en 2020, selon le Global E-waste Monitor (43 % en Europe), dont moins de 5 % dans le cas des smartphones. Un nombre croissant de produits finissent malheureusement en décharge parmi les ordures ménagères et ne sont ni collectés, ni recyclés (8 % en 2020 contre 4 % en 2016). Dans ce contexte, on comprend aisément les engagements en matière de réduction de leur empreinte environnementale et de circularité pris par un certain

nombre de leaders du secteur, soucieux d'améliorer leur image écornée après le scandale de l'exploitation de main d'œuvre infantile pour l'extraction du cobalt en République Démocratique du Congo mis à jour par Amnesty International et Afrewatch en 2014. Apple, à titre d'exemple, communique chaque année désormais un indicateur de taux de contenu recyclé de ses produits (12 % en 2020) et affiche une attention particulière sur son approvisionnement de 14 matériaux considérés stratégiques (dont le cobalt, le lithium, le cuivre, l'aluminium et les terres rares) entre autres engagements.



De leur côté, depuis 2015, les volumes de batteries pour véhicules électriques (légers ou lourds) n'ont cessé de croître et représentent aujourd'hui plus de 70 % des batteries lithium mises sur le marché. De tailles beaucoup plus grosses (8-120 kWh), avec une grande hétérogénéité de chimie (LFP, LMO, NMC, NMx, NCA et leur sous-familles), de formats

(cylindrique, prismatique et poche) et dotés de cycles de vie plus long (> 5, 8, > 10 ans?), compatibles avec une seconde vie des batteries. Ces batteries sont, au total, beaucoup plus complexes à traiter en fin de vie et constitueront plus de 80 % des flux de batteries à recycler à la fin de la décennie.



Les différentes formes de batteries

Pouch: they are lightweight and rectangular in shape. The main drawback of Pouch cells is how fragile they are. They are used in high-power applications like motorcycles and racing cars, but also for regular automotive applications.

Cylindrical: this is a rigid cell in the shape of a household battery. They are reusable and very durable. Cylindrical cells are used in automotive applications such as Tesla cars, as well as small applications like electric bikes.

Prismatic: these cells have a solid plastic or aluminium casing, the main advantage being their mechanical strength. They are used in industrial applications.

Source : Verkor.

3. Quels sont les défis du recyclage des batteries lithium haute tension ?

■ Prendre en charge les frais de logistique/ manutention et diagnostics des batteries haute tension (véhicule électrique)

Le démontage et la manutention des batteries lithium reste un travail manuel, partiellement mécanisé. Le processus est plus difficile à automatiser dans le cas des batteries lithium du fait de la grande diversité de taille (de 1865s : 10-13 Wh/kg à 4680s : 380 Wh/kg), de formes (cylindrique, prismatique, ou poche), de chimies (haute densité : NMC ou low-cost : LFP) ou encore de la variété de systèmes de gestion des batteries (BMS ou « Battery Management System »).

LIGNE DE DÉMONTAGE Site de Kingston (Li-Cycle)



Site de Sandefjord (BatteriRetur)

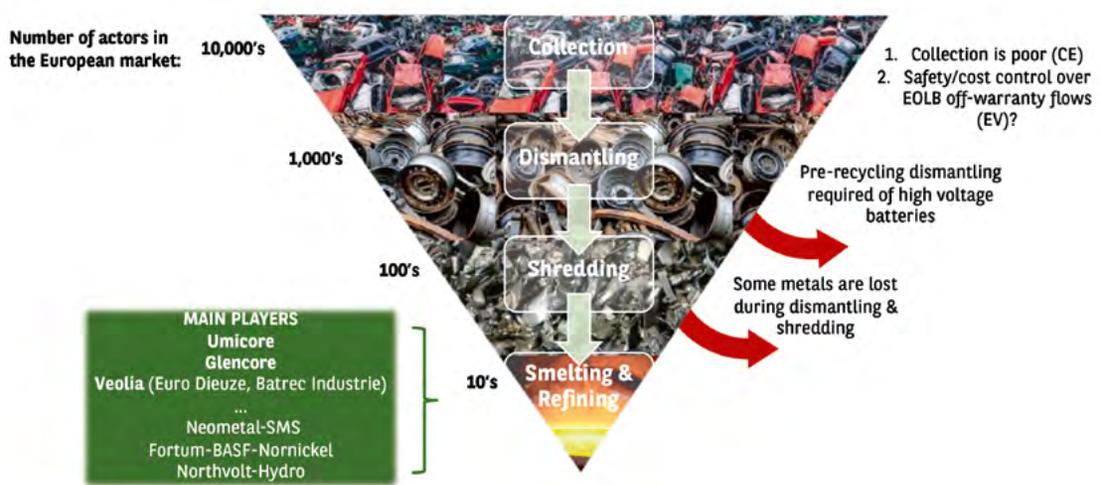


Source : Li-Cycle, BatteriRetur.

Avec l'arrivée en fin de vie d'un nombre croissant de batteries lithium haute tension se pose la question des conditions et des coûts liés au stockage et au traitement de ces batteries plus dangereuses (par opposition aux batteries pour les produits électroniques grand public plus petites). Rappelons que le lithium est un élément hautement inflammable, réagissant aux chocs et qui dégage de l'hydrogène au contact avec l'eau. Les batteries lithium doivent donc être transportées avec précaution et protégées des intempéries afin de limiter le risque de départ d'incendie (un risque qui va bien sûr croissant avec la taille des batteries).

Le Bureau d'analyse des risques et pollutions industriels (Barpi) « recense autant d'accidents en l'espace de trois ans (2016-2019) que sur les quinze ans depuis l'arrivée sur le marché en 1991 des batteries lithium ». Federec, l'association des entreprises de recyclage, soulignait dans le quotidien Les Echos « les conséquences lourdes de cette sinistralité : perte des bâtiments et des machines, arrêts de production, risque humain, grandes difficultés à faire assurer les installations, sanctions administratives » (article publié le 13 octobre 2021). Dans le contexte de course à la taille des batteries, on peut comprendre la nervosité des recycleurs étant entendu que les étapes de collecte et de démontage sont très fragmentées dans la chaîne du recyclage de l'Union Européenne. Espérons que l'introduction de la responsabilité élargie des producteurs (« Extended Producer Responsibility » ou EPR) dans le cadre du projet de règlement européen, dont l'adoption est prévue d'ici fin 2022, permettra de fixer un cadre plus clair (voir question n°8).

La chaîne du recyclage en Europe aujourd'hui



* CE : Consumer Electronics. EOLB : End-Of-Life-Battery (batterie en fin de vie).
Source : Umicore, Industrie, Rare Earth Advisory, mars 2022.

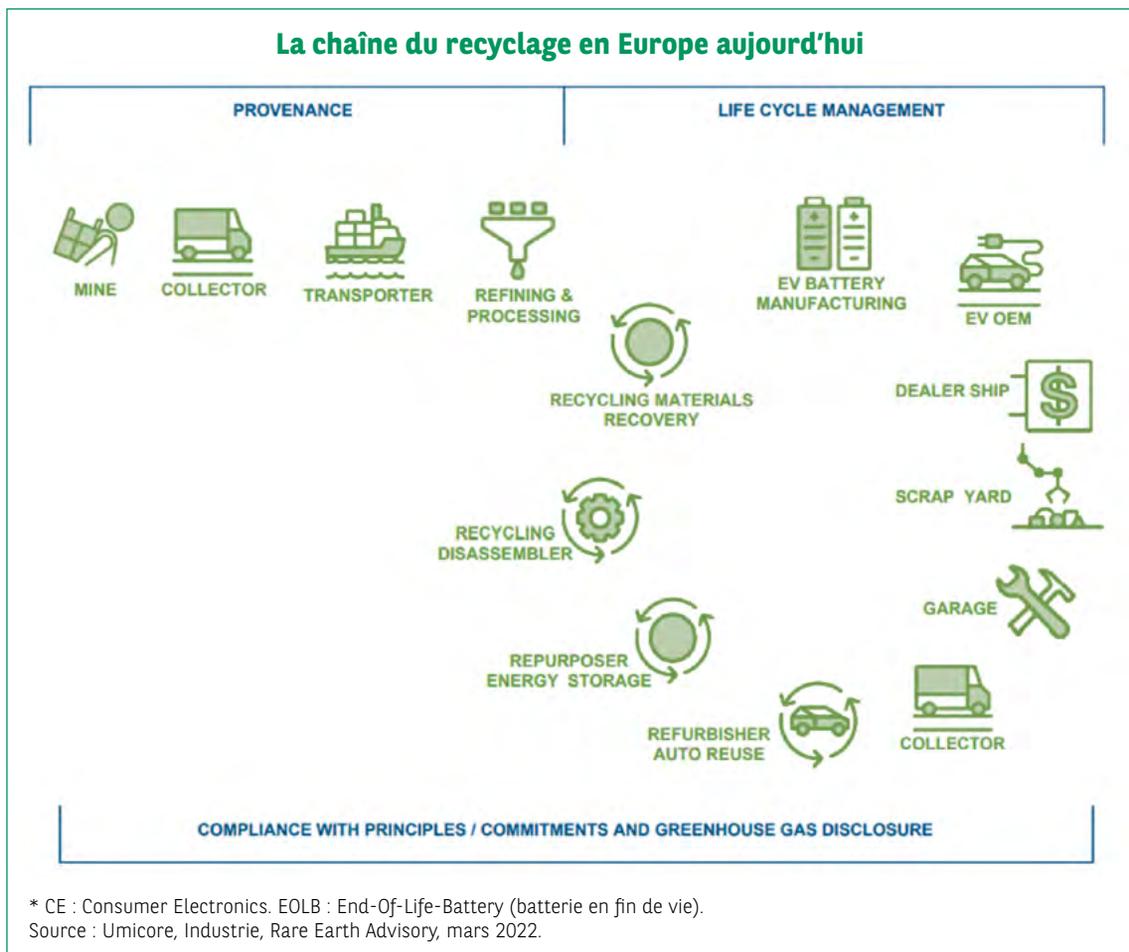


3. Quels sont les défis du recyclage des batteries lithium haute tension ?

■ Gérer l'hétérogénéité des différentes chimies de batteries haute tension

La mise en place de normes de labélisation, prévue dans le projet de règlement européen, pourrait apporter une plus grande traçabilité des batteries au cours de leur cycle de vie. C'est un paramètre manquant qui nous semble essentiel pour le développement d'une chaîne du recyclage efficace des batteries haute tension, particulièrement face

à l'hétérogénéité des chimies employées. La plupart du temps, les recycleurs traitent en effet par lots de différentes chimies. Stena Recycling met toutefois en avant qu'un bon nombre de batteries lithium sont aujourd'hui vendues sur le marché sans étiquetage, ce qui rend difficile leur catégorisation et nuit in fine au taux de recyclage. Le recours aux technologies de blockchain pourrait ici jouer un rôle dans la traçabilité des matériaux et des batteries tout le long de leur cycle de vie.

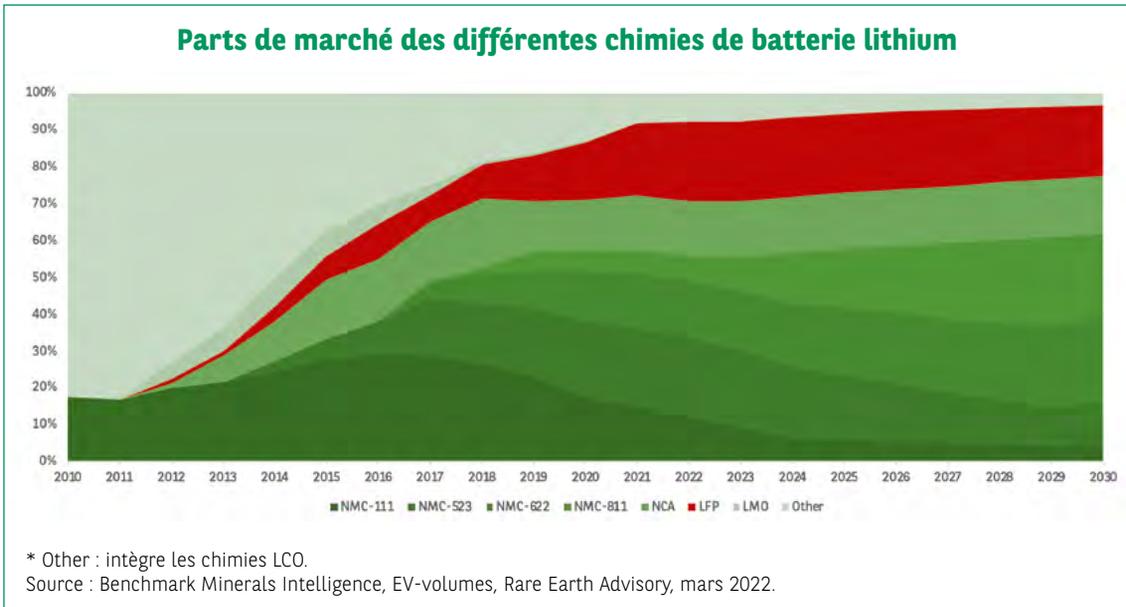


■ Choisir entre réutiliser ou recycler ?

Si le concept de réutilisation des batteries en seconde vie ne fait aucun doute selon le principe des « 4 R » de l'économie circulaire - réparer, réutiliser, recycler et remanufacturer - dans la pratique il se confronte :

- 1/ à la régulation qui promeut un contenu minimum de matériaux recyclés (voir à la question n° 8 sur le projet de règlement européen) et
- 2/ à des prix des batteries secondaires encore supérieures aux prix de batteries vierges.

Toutes les chimies ne sont pas égales face au dilemme de la réutilisation en seconde vie et/ou du recyclage immédiat. Les chimies LFP, plus durables et moins riches en matériaux critiques (donc moins rentables à recycler), se prêtent en effet davantage à la seconde vie par opposition aux chimies NMC, NCA ou LCO, moins durables et plus riches en matériaux critiques. La prime à la performance dans les stratégies d'électrification développées par les constructeurs occidentaux, les poussent à privilégier les chimies NMC. Ce choix pourrait se traduire à terme par la domination du modèle de recyclage des batteries en fin de vie au détriment de la seconde vie, en Europe comme aux États-Unis.



L'utilisation en seconde vie des batteries nécessite une régulation stricte encadrant les contraintes de diagnostic, de sécurité et le besoin de garantie pour les batteries reconditionnées. Là encore le recours à l'Intelligence Artificielle (« IA ») et aux technologies de blockchain pourrait être un outil utile. Il est ici intéressant de souligner le choix fait par la

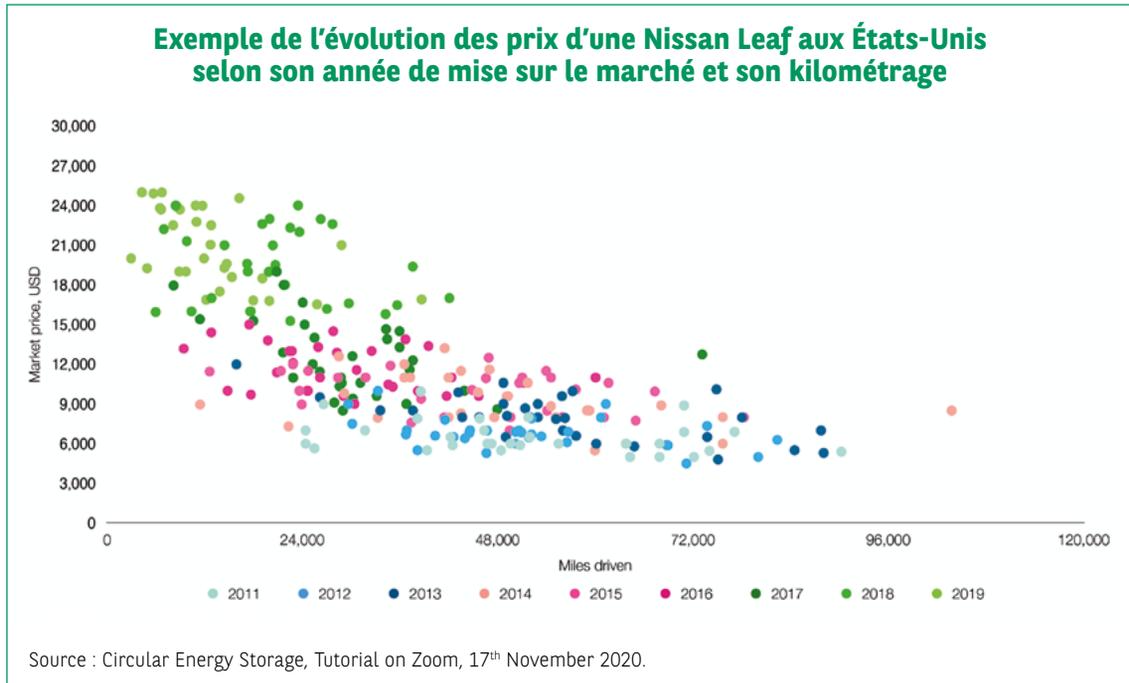
Chine d'encadrer et de promouvoir l'utilisation en seconde vie des batteries (« cascade, gradient or ladder utilisation ») selon l'acceptation chinoise avant leur recyclage (voir question n° 7). Choix qui peut s'expliquer par la domination des chimies LFP sur le marché domestique.

3. Quels sont les défis du recyclage des batteries lithium haute tension ?

■ Contrôler les flux de batteries en fin de vie

La question du contrôle des flux de batteries et de produits utilisant des batteries lithium est un autre enjeu essentiel. Circular Energy Storage suggère que les véhicules et leurs batteries ont dans la

pratique des durées de vie et des valeurs résiduelles bien supérieures à celles envisagées à l'origine. L'envolée du cours des matières premières se traduit notamment par un renchérissement de la valeur des véhicules électriques d'occasion encourageant ainsi leur exportation.



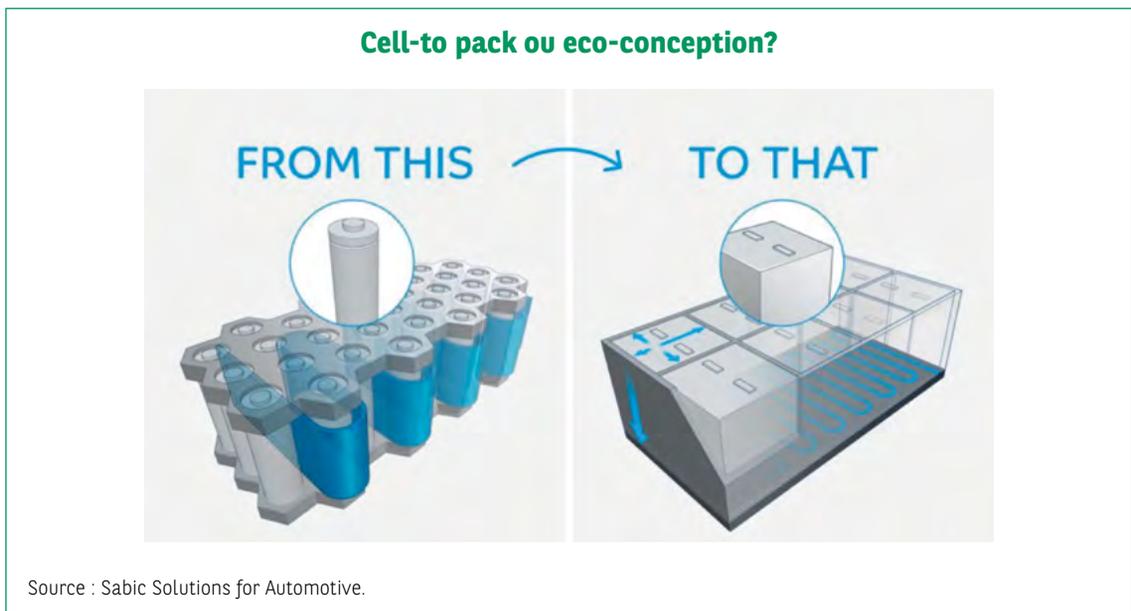
Dotés d'une durée de vie dans la pratique supérieure aux durées de garantie, bon nombre de véhicules électriques d'occasion sont en effet exportés. Circular Energy Storage estime ainsi qu'entre 5 et 30 % des Nissan LEAF et Tesla sont aujourd'hui exportés vers les pays de l'Est ou le Moyen-Orient selon les modèles et les régions d'origine. Des pays comme l'Ukraine, la Jordanie, la Nouvelle-Zélande ou la Russie encouragent même leur importation.

Quoiqu'il contribue à l'électrification des flottes dans ces pays d'accueil, ce phénomène se traduit par la disparition d'un flux de batteries disponibles à la seconde vie ou au recyclage dans le pays d'origine. L'introduction de la responsabilité élargie des producteurs (« Extended Producer Responsibility ») et d'éventuelles restrictions à l'exportation pourrait garantir une meilleure maîtrise de ces flux.

■ Composer avec des objectifs contradictoires pour les constructeurs

Le recyclage commence par le design des batteries et des véhicules. L'éco-conception permet en effet de simplifier le démontage, la labélisation et de standardiser les batteries (chimies, formats, etc.). Ce concept semble toutefois aller à l'encontre de la tendance actuelle dans l'industrie automobile où

un certain nombre de constructeurs et fabricants de batteries (BYD, CATL, Geely, Mercedes, Stellantis, Tesla, Volkswagen...) privilégient l'optimisation du poids des véhicules avec le recours au « Cell-to-Pack » (ou CTP) ou au « Cell-to-Vehicle » (CTV). Le choix d'un design CTP ou CTV rend en effet plus complexe le démontage et réduit les possibilités d'utilisation en seconde vie par contraste avec un design par modulaire.



“GM designed its new Ultium battery pack with second-life applications in mind and is currently working with partners to develop a business case around battery reuse. We actually believe it's very viable. If you design them with that purpose...it becomes much easier to integrate later. And we're doing that right now.”

Dane Parker (Chief Sustainability Officer chez General Motors)

3. Quels sont les défis du recyclage des batteries lithium haute tension ?

Échange de batterie : une solution pour un meilleur contrôle des flux de batteries ?

Essayé puis abandonné par Renault (2011-13), Tesla (2013-15) ou BAIC (2016-18), l'échange de batteries commence à se répandre en Chine. Face au succès rencontré par le constructeur chinois NIO avec le lancement de son option « battery-as-a-service » (BaaS) en 2020 (700 stations aujourd'hui), plusieurs acteurs domestiques comme Aulton, BAIC, CATL (Evogo), Geely-Lifan (GBRC), Bosch-Mitsubishi-Blue Park (BaaS) ou GAC Aion lui ont emboité le pas. Le ministère chinois de l'Industrie et des Technologies de l'Information (MIIT) a lancé en octobre 2021 un projet pilote visant à construire plus de 1 000 stations d'échange de batteries et à mettre plus de 100 000 véhicules électriques supplémentaires adaptés dans 11 villes :

- 1/** Pékin, Nanjing, Wuhan, Sanya, Chongqing, Changchun, Hefei et Jinan (véhicules légers) ;
- 2/** Yibin, Tangshan et Baotou (camions/bus). Il est vrai que la forte densité urbaine et les vastes distances du pays sont des facteurs favorables à l'adoption de ce type de service en Chine. BloombergNEF estime ainsi

que près de 8 000 stations pourraient être construites d'ici la fin de l'année et 25 000 d'ici à 2025 (contre 1 500 aujourd'hui).

Ce type de service peut sembler très adapté à un modèle urbain, où la plupart des conducteurs de véhicules électriques vivent dans des appartements et n'ont pas accès à la recharge à domicile. Gogoro Battery Swapping, lancé en 2015, qui est devenu la norme d'échange de batterie pour les deux roues à Taiwan (1,7 kWh) avec près d'un million de batteries produites pour dix marques de véhicules différentes (95 % des deux-roues électriques vendus à Taiwan) atteste du succès de ce type de modèle industriel pour les nouvelles mobilités. Le groupe entend d'ailleurs ajouter des prototypes de batteries à l'état solide développés avec ProLogium à son offre (2,5 kWh). Dans la même veine, Honda (34 % du capital), Kawasaki (5 %), Suzuki (5 %) et Yamaha (5 %) viennent de créer la JV Gachago avec Eneos (51 % Gachaco) pour offrir un service comparable au Japon. En Europe on peut évoquer la start-up Swobbee.

Source : Gogoro Battery Swapping.



Il sera sans doute intéressant de suivre le déploiement de l'offre NIO en Norvège, où le groupe chinois vient d'inaugurer sa première station d'échange de batteries, et prévoit d'en installer 20 d'ici la fin de l'année. Le constructeur chinois prévoit d'ailleurs de s'implanter en Allemagne, aux Pays-Bas, en Suède et au Danemark en 2022. Notons ici que le groupe Renault réétudierait l'ajout de cette option à sa stratégie d'électrification.

Le principe de fonctionnement de ce service est simple et rapide. Via une application, les conducteurs ont accès à des stations d'échange rapide de batteries. Le véhicule électrique est alors conduit dans une cabine, où la batterie déchargée est retirée de la voiture pour être remplacée par un bloc d'alimentation complètement chargé. Dans les installations les plus récentes, l'ensemble du processus est automatisé et peut être effectué en moins de 10 minutes, y compris la manœuvre de la voiture dans la baie de changement. En comparaison, même le réseau de Superchargeurs de Tesla prend au moins une demi-heure pour charger complètement une batterie, bien que la société affirme que sa technologie la plus récente offre 200 miles de charge en 15 minutes. Ce système permet un gain de temps considérable pour les taxis et les flottes de livraison qui sont sur la route toute la journée, ou pour les conducteurs parcourant de longues distances loin de chez eux, qui peuvent ne pas être en mesure de se brancher à un chargeur pendant la nuit.

Les clients peuvent payer soit des frais mensuels, soit à l'acte. Et bien que le coût soit généralement supérieur à celui des services de recharge rapide, cela reste moins cher que de faire le plein d'une voiture thermique.

Prototype de station d'échange Evogo* par CATL



* Une station d'échange standard du système Evogo occuperait l'empreinte de trois places de stationnement et pourrait contenir jusqu'à 48 « Choco-SEB ». L'échange d'un bloc devrait prendre environ une minute. Le système Evogo comprendra également d'autres stations changeantes « adaptées au climat des différentes régions » selon le groupe.

Source : CATL.

Ce service d'échange présente de nombreux avantages de nature à lever certaines réticences des conducteurs qui envisagent de passer à une voiture électrique :

- 1/** les batteries étant le composant le plus cher d'un véhicule électrique, séparer le bloc d'alimentation de la voiture peut réduire le prix d'achat initial (jusqu'à 20 %);
- 2/** le recours à un service d'échange facilite la surveillance des défauts et la prévention des accidents graves, comme les incendies;
- 3/** il peut par ailleurs prolonger la durée de vie de la batterie, avec des charges régulières et continues, par opposition au cycle de charge rapide;
- 4/** il permet enfin une mise à niveau continue des batteries à mesure que de nouvelles technologies deviennent disponibles.

3. Quels sont les défis du recyclage des batteries lithium haute tension ?

Si l'essor d'un service d'échange de batterie peut s'avérer un complément intéressant au déploiement de réseaux d'infrastructure de bornes de charges rapide, il pourrait surtout simplifier la logistique autour du recyclage et de l'utilisation de seconde vie. Le fournisseur de service (constructeur automobile ou fabricant de batterie), restant en contrôle de la batterie, il garderait alors un meilleur contrôle sur les flux de batteries. Le déploiement de réseaux d'échange de batteries pourrait ainsi poser les bases d'un vaste réseau de collecte des batteries usagées.

À plus long terme, on peut même imaginer que la généralisation de ce type de service d'échange de batterie puisse aboutir à l'adoption de standards communs, aidant à réduire les coûts de conception et de développement des batteries pour les constructeurs automobiles. Le concept Evogo déployé par CATL semble ici intéressant. Il repose en effet sur un dispositif modulaire baptisé « Choco-SEB » (« Swapping Electric Block ») qui reprend l'apparence d'une tablette de chocolat dont chaque bloc dispose de son propre BMS (« Battery Management System ») et utilise la technologie CTP du groupe chinois (densité gravimétrique : 160 Wh/kg et volumétrique : 325 Wh/l) assurant une autonomie de près de 200 km. Selon CATL, sa technologie

Evogo est compatible avec près de 80% des plateformes de montage de véhicules électriques (segments A à C).

Malgré ces avantages, ce modèle industriel d'échange de batterie fait face à plusieurs freins :

- 1/** il présente une intensité capitaliste/logistique élevée pour le pourvoyeur de service, qui doit disposer d'un stock suffisant de batteries chargées dans chaque station d'échange. Un approvisionnement limité en batteries chargées augmenterait le risque pour les conducteurs que tout gain de temps puisse être annulé en faisant la queue pour qu'un pack chargé soit disponible ;
- 2/** qui porterait la responsabilité si une batterie défectueuse causait un accident ou un incendie : le conducteur, le constructeur automobile, le fabricant de la batterie ou l'opérateur d'échange de batterie ? D'où la logique de développer un service impliquant constructeurs et/ou fabricants de batteries ;
- 3/** étant donné que la structure de la batterie (pack + BMS) représente une part importante de la conception des véhicules, il peut sembler difficile de persuader les constructeurs automobiles de céder le contrôle et d'adopter un bloc-batterie standardisé.

« Je leur ai demandé de trouver une solution pour revenir à l'idée originale qui avait été lancée par Renault en 2010/2011 et peut-être cela pourra arriver sur certaines voitures. Ce n'est pas décidé, mais je vois cela comme une opportunité intéressante. D'un point de vue commercial, il y a une bonne raison de séparer la batterie de la voiture, surtout si vous gérez la deuxième et la troisième vie de la batterie. »

Luca de Meo (CEO du Groupe Renault)







4.

**QUELLE QUANTITÉ DE BATTERIES
À RECYCLER SERA DISPONIBLE ET QUAND ?**

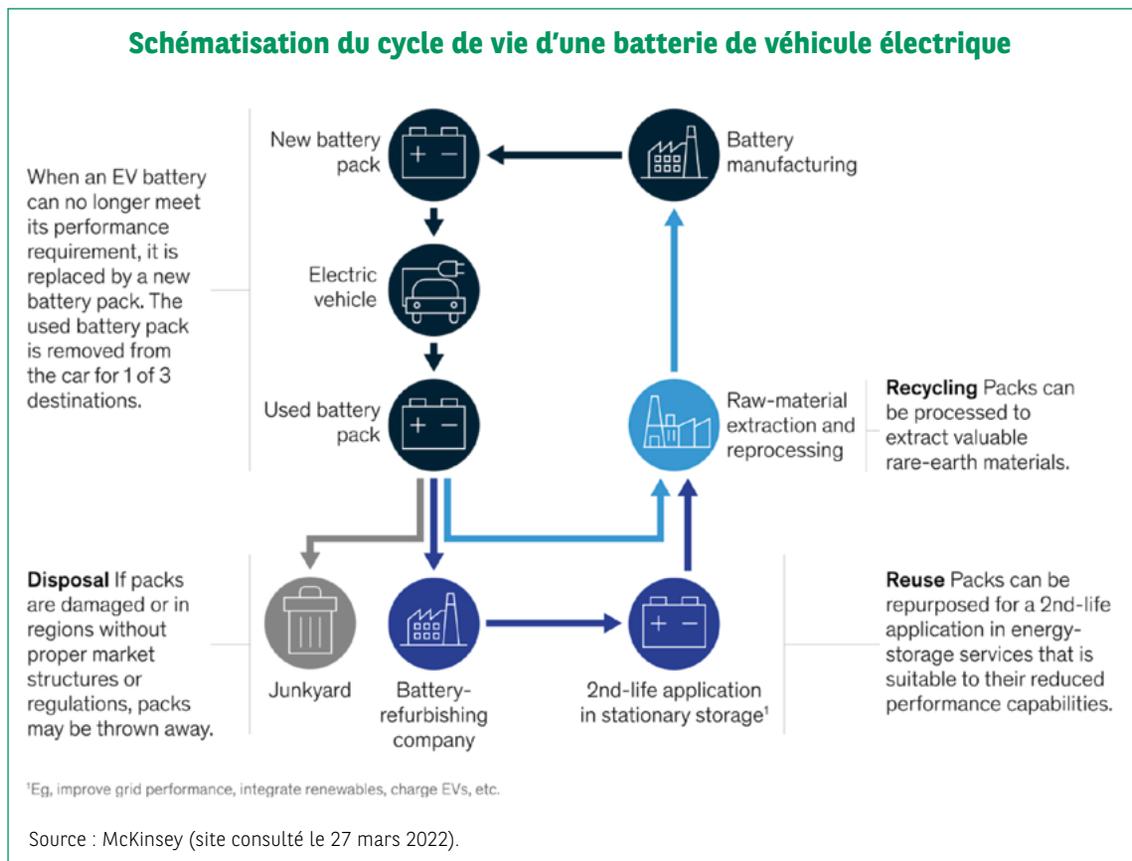
4. Quelle quantité de batteries à recycler sera disponible et quand?

Définir avec précision la taille du marché mondial adressable, soit les quantités de batteries disponibles pour le recyclage et quand, est un exercice complexe reposant sur peu de données et de multiples variables comme :

- la durée de vie utile des batteries en première vie (fonction de l'usage, des chimies utilisées);
- le taux de collecte (variables selon les applications);
- leur utilisation éventuelle en seconde vie une fois reconditionnée (allongement de la vie utile avant d'envisager le recyclage).

Face à cette difficulté, l'essor mondial de la production de batteries au cours des 5 à 10 prochaines années présente une opportunité unique : structurer

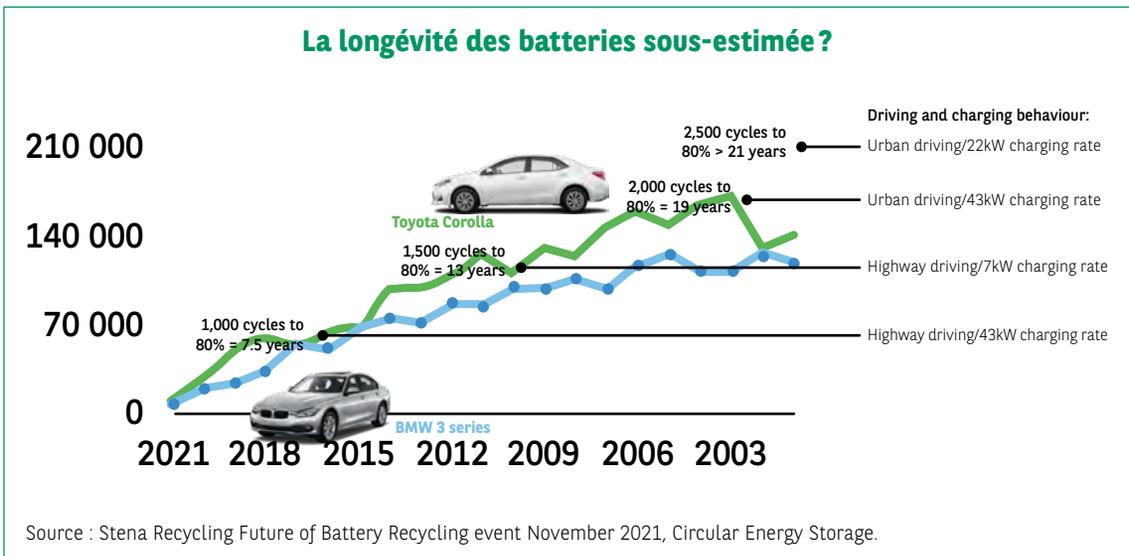
dès aujourd'hui la filière du recyclage des batteries en fin de vie de demain. Source d'important rebuts de production (déchets, off-spec), particulièrement lors du démarrage des gigafactories, la production de batteries neuves constitue en effet une source importante de flux de matériaux à recycler d'ici à 2030, afin d'en re-valoriser les matériaux critiques. Nous estimons que les déchets de production représenteront l'essentiel des flux de batteries à recycler d'ici 2030. Le déploiement de sites de recyclage autour des projets de gigafactories permettrait d'établir le réseau et les capacités de recyclage nécessaires au traitement des futurs flux de batteries haute tension en fin de vie, lorsque le raz-de-marée nous touchera après 2030.



■ Réutiliser ou recycler ?

Comme dans les smartphones ou les ordinateurs, les batteries haute tension se dégradent dans le temps perdant en performance. On estime leur durée de vie utile de 5 à 8 ans en moyenne dans un véhicule électrique, mais cette longévité est très variable en fonction des chimies utilisées et du comportement de l'utilisateur. Le recours à des charges régulières et continues, par opposition à l'utilisation intensive des superchargeurs permet en effet de prolonger la vie des batteries de sorte que leur durée de vie

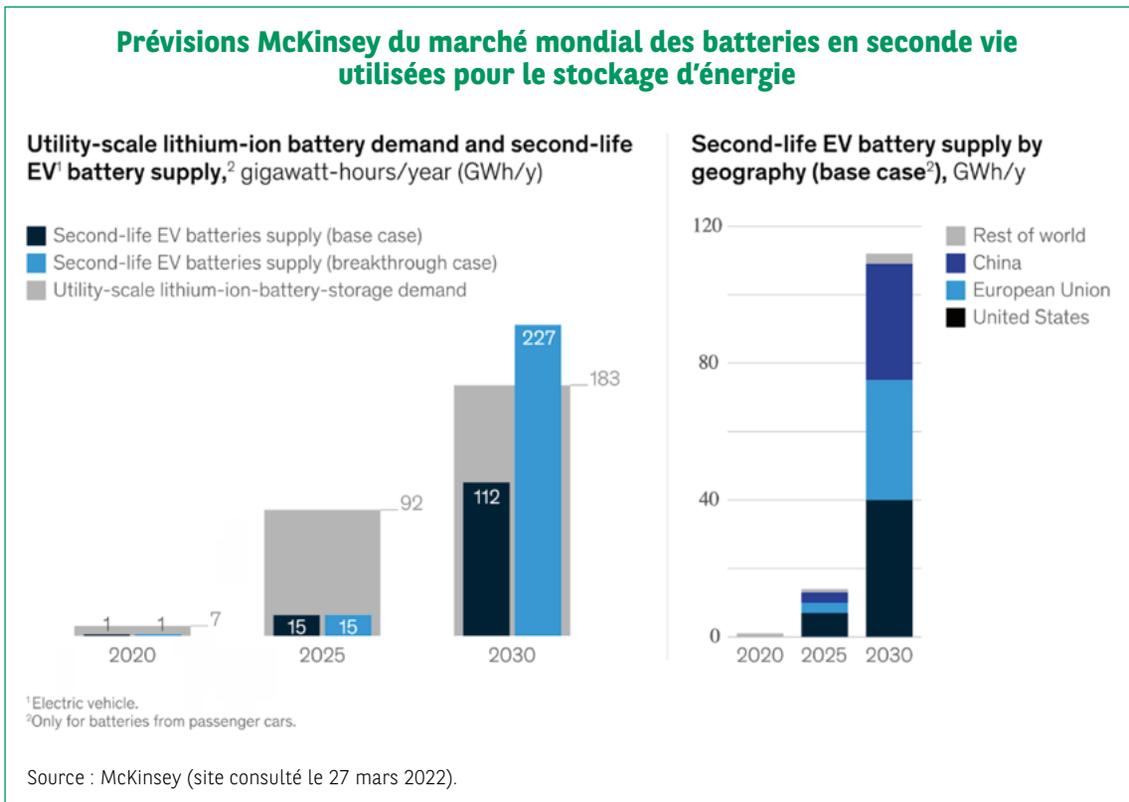
utile pourrait être largement sous-estimée. Dans une interview lors du congrès CERA Week 2022, JB Straubel (co-fondateur et ex-CTO de Tesla et aujourd'hui CEO de Redwood Materials) estimait même que **la durée de vie utile pourrait être portée à 15 ans selon leur utilisation**. Cependant, au terme de cette première vie, elles peuvent encore fournir de nouvelles opportunités d'exploitation dans le stockage stationnaire d'électricité ou d'autres applications moins exigeantes (bateaux de croisière, cargo à voile, outil de jardinage, etc.).



L'utilisation des batteries en seconde vie pour le stockage d'énergie peut sembler prometteuse (particulièrement pour les chimies LFP). Le consultant McKinsey estime d'ailleurs que ce marché pourrait dépasser les 200 GWh à l'horizon 2030 et peser pour plus de 30 milliards. Ce type d'application pourrait notamment permettre de pallier à l'intermittence future des réseaux électriques avec l'essor de la part des renouvelables (éoliennes, solaire, etc.), restituant les réserves d'énergie accumulées en fonction des besoins et repoussant ainsi le recyclage des batteries de 5 à 10 ans.



4. Quelle quantité de batteries à recycler sera disponible et quand?



Ce modèle est une nouvelle fois très répandu en Chine, où China Tower, le principal fournisseur de services d'infrastructures de tours de télécommunications national, s'est imposé comme l'acteur dominant dans le pays sur le segment des batteries en seconde vie. Le groupe a signé des partenariats avec une vingtaine de constructeurs de véhicules électriques et de fabricants de batteries comme BYD, Guoxuan High Tech (Gotion) et YinLong New Energy pour s'approvisionner en batteries. Quoique cette activité reste encore modeste à l'échelle du groupe (<2% des ventes), elle compte désormais plus de 459,000 clients. Fin 2019, les batteries reconditionnées équipaient 15% des de télécommunications du groupe, contre 2% seulement en 2018.

Plusieurs constructeurs automobiles occidentaux explorent activement des solutions autour de l'utilisation en seconde vie des batteries de véhicules électriques, en direct ou via des partenariats, parmi lesquels : Renault-Nissan, GM, Daimler-BAIC ou Hyundai-Kia. Le tableau ci-dessous liste de façon non-exhaustive les initiatives/projets en développement utilisant des batteries reconditionnées.

“Group Renault has a holistic approach to the battery life cycle: repairing first-life batteries to extend their automotive lifespan, developing second-life applications for energy storage and setting up a system for collecting and recycling batteries.”

Luca de Meo (CEO du Groupe Renault)

Exemples d'initiatives/projets utilisant des batteries lithium reconditionnées

Initiatives/projets	Société pilote	Applications
Advanced Battery Storage Program	Renault (2018, France)	Le programme « Advanced Battery Storage », vise à construire sur 2018-2021 le plus grand système de stockage d'énergie en containers utilisant des batteries de véhicules électriques (Renault Zoe, Kangoo Z.E) jamais conçu en Europe (puissance : 70 MW / énergie : 60 MWh). Les deux premières installations ont été commissionnées en France et en Allemagne. Le système vise à faciliter l'intégration des énergies renouvelables dans les réseaux électriques.
Battery Loop	Stena Recycling (2017, Suède)	Partenariat avec Volvo Bus pour le reconditionnement de batteries de bus en systèmes de stockage d'énergie stationnaires destinés aux sources d'énergie renouvelables comme des panneaux photovoltaïques. Mercedes-Benz vient de s'associer au programme.
ELSA	Bouygues Energies & Services (2018, EU)	Coordonné par Bouygues Energies & Services le projet ELSA (« Energy Local Storage Advanced ») est financé par l'Union Européenne dans le cadre du programme Horizon 2020. Il inclut une dizaine de partenaires, dont Renault-Nissan et vise le développement d'un système de stockage standardisé à petite échelle utilisant des batteries de véhicules électriques reconditionnées.
E-Mergy	SNAM (2018, France)	Prototypes de batteries intelligentes qui permettront d'optimiser l'efficacité des énergies renouvelables par de nouveaux modes de stockage. Avec ses partenaires, Savelec, Sirea et LEPMI, SNAM produit une batterie de 3 kWh et de 30 kg, contenant 80 % de cellules reconditionnées et 20 % de cellules neuves. Sa taille est adaptée aux conteneurs d'énergie et affiche une durée de vie de 10 ans.
4R Energy Corporation	JV Nissan/ Sumitomo (2018, Japon)	Développe et teste l'utilisation de batteries de Nissan Leaf remanufacturées dans les solutions de stockage d'énergie (ESS), les systèmes d'alimentation de secours et les panneaux solaires pour maisons individuelles et immeubles de logement.
Re-Energy	Renault (2021, France)	Dans le cadre de la reconversion de son site de Flins (Re-Factory), le groupe Renault affiche clairement son ambition en la matière « renforcer la collecte des batteries, pour les préparer à leur seconde vie, et développer des systèmes de stockage portables ou mobiles ». Avec des partenaires, comme Veolia, Renault y expérimente ainsi des usages sur des batteries de seconde vie ciblant une capacité de 20 000 réparations de batteries électriques à l'horizon 2030. Au total, entre 2021 et 2030, Renault estime que les batteries de seconde vie vendues par le groupe représenteront une « capacité supérieure à 0.2GWh/an, soit l'équivalent de 4 000 charges complètes d'une Renault Zoe. »

4. Quelle quantité de batteries à recycler sera disponible et quand?

Initiatives/projets	Société pilote	Applications
SNT	Spiers New Technology (2015, US)	Reconditionnement de batteries Nissan Leaf et de Toyota Prius dans les solutions de stockage d'énergie (ESS), les chariots élévateurs, les voitures de golf et les lampadaires fonctionnant à l'énergie solaire, ou les bornes ESS de recharge de véhicules.
InCelligent Cell™ (ICC)	Global Battery Solutions (2015, US)	Offre un service de réparation, remise à neuf, de reconditionnement pour les batteries lithiums haute tensions (industrielles et automobiles) pour le stockage d'énergie solaire. Ce service s'appuie sur la technologie ICC InCelligent Cell™ (ICC) qui permet de suivre en temps réel l'état de santé et les performances de la batterie (SOH).
xEV Strategies	Retriev Technologies, filiale de KBI (2015, US)	Désormais via sa filiale Retriev Technologies, KBI (l'un des principaux recycleurs aux États-Unis) offre un service complet de remise à neuf, de gestion, de logistique et de test des batteries pour la seconde vie.

Source : sites des sociétés, consultés en février-mars 2022.

Systèmes de stockage d'énergie stationnaires utilisant des batteries de véhicules électriques en seconde vie

Batteryloop



Advanced Battery Storage Program



Source : Stena Recycling.

■ La réutilisation : voie crédible ou effet marketing ?

Quoique la réutilisation des batteries de véhicules en seconde vie présente des bienfaits écologiques indéniables, sa mise en pratique à une échelle commerciale nécessite de surmonter un certain nombre d'obstacles :

1/ la grande diversité des batteries mises sur le marché qui varient en taille, en chimie (LFP, NMC, LMO, NCA...) et en format (cylindrique, prismatique et poche). Chaque batterie est conçue par le fabricant de batteries et le constructeur automobile (ou l'équipementier) pour être la mieux adaptée à un modèle de véhicules électriques donné, ce qui augmente la complexité pour les remettre à neuf ou les reconditionner. Plus de 250 nouveaux modèles de véhicules électriques devraient être commercialisés d'ici 2025, avec des batteries de plus de 15 fabricants différents, augmentant le risque de fragmentation futur ;

2/ l'absence de réels standards pour les batteries de seconde vie. Aucun système de garantie n'existe aujourd'hui sur la qualité ou les performances des batteries de seconde vie, et peu de normes de l'industrie se concentrent sur les systèmes de gestion des batteries (BMS), l'état, ou les spécifications de performances type d'une batterie pour une application donnée. La régulation, en Chine, et bientôt en Europe, devrait pallier à ce manque en encadrant mieux ce type d'utilisation. Un des obstacles possibles réside dans la difficulté à mesurer en temps réel l'état de santé (SOH ou « State Of Health ») de la batterie pour prévenir les défaillances et les incendies. Plusieurs start-up et universités californiennes développent toutefois aujourd'hui des techniques de diagnostics prometteuses assistées par l'Intelligence Artificielle (IA).

Exemples de projets/initiatives de start-ups utilisant des batteries lithium reconditionnées

Start-ups	Date de création	Technologie
ReJoule (US)	2017	Start-up californienne développant des techniques de diagnostic de batterie et un système de gestion de batterie pour les batteries en seconde vie. Ces techniques sont appelées spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS) et caractérisation de puissance d'impulsion hybride (HPPC). Il s'agit de tests de diagnostic qui permettent de suivre en temps réel sa dégradation (par exemple perte de lithium actif, croissance de la couche SEI, etc.).
Repurpose Energy (US)	2018	Développe conjointement avec l'Université de Californie un système innovant utilisant l'IA pour évaluer l'état de santé des batteries pour accompagner la réutilisation des batteries de véhicules électriques dans les systèmes de stockage d'énergie (solaire notamment).
Smartville Energy (US)	2019	Start-up californienne qui développe un réseau de sites de collecte et de diagnostic afin d'isoler les batteries réutilisables en seconde vie de celles à recycler. Les batteries remanufacturées sont ensuite dotées d'un BMS et utilisées pour stocker l'énergie solaire et alimenter les bâtiments, avant leur recyclage finale (partenariat avec Li-Cycle).

Source : sites des sociétés consultés en mars 2022.

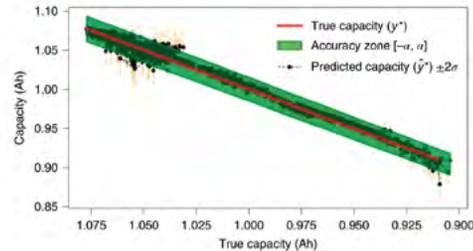
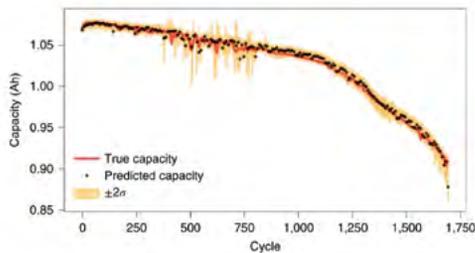
4. Quelle quantité de batteries à recycler sera disponible et quand?

Le recours à l'IA pour fournir des estimations en temps réel de l'état de santé des batteries (SOH ou State Of Health)?

Des chercheurs de l'Université Heriot-Watt, de l'Université de technologie de Delft et de l'Université du Maryland ont conçu un programme de « machine learning » permettant d'estimer la dégradation de la capacité des batteries lithium. Ils l'ont testé sur 179 batteries dans diverses conditions de cycle de charge/décharge. Un ensemble de modèles d'IA a ensuite fourni des séries chronologiques probabilisées sur l'état de santé des batteries.

Le recours à l'IA semble très adapté pour capturer la dynamique complexe et non linéaire de la dégradation de la capacité des batteries. Le déploiement de ces méthodes sur le terrain (combinées à la technologie blockchain), pourrait fournir en temps réel des données fiables sur l'état de santé des batteries, contribuant à la prévention des accidents graves.

Modèles développés les Universités Heriot-Watt, Delft et Maryland



Source : Roman, D. Saxena, S. Robu, V. et al.

Source : d'après l'article publié dans Nature : Machine learning pipeline for battery state-of health estimation (avril 2021) par Roman, D. Saxena, S. Robu, V. et al.

3/ le coût d'une batterie usagée est aujourd'hui supérieur à celui d'une batterie neuve, ce qui est un frein clair à la seconde vie. Au prix d'acquisition de la batterie d'occasion, variable de 50 à 140 USD/kWh utilisable, il faut ajouter une composante essentielle, le coût de reconditionnement, très sensible au paramètre logistique. Il nous apparaît nécessaire qu'un écart de coûts

suffisamment important apparaisse pour compenser les limites de performances des batteries de seconde vie par rapport aux alternatives neuves. Le contexte d'inflation sur les matériaux critiques et le coup d'arrêt à la baisse continue du coût de production des packs de batteries neufs (136 USD/kWh en 2021) pourrait ici constituer un facteur favorable.

Sensibilité du coût d'un pack de batterie reconditionnée au prix d'acquisition et à la logistique

Second-life battery pack cost (USD/kWh usable capacity)		Used battery purchase				
Logistic cost (km)		48	72	96	120	144
100	2	67	91	115	139	163
500	8	73	97	121	145	169
1 000	15	80	104	128	152	176
2 000	31	96	120	144	168	192

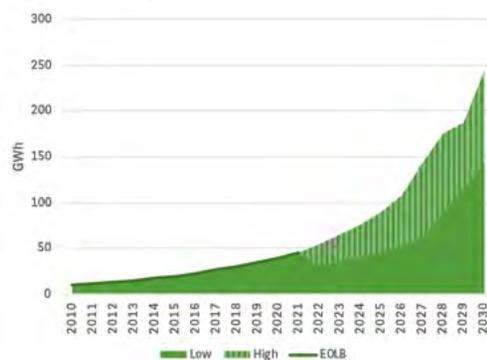
Source : d'après BloombergNEF, Rare Earth Advisory, mars 2022.

La seconde vie est-elle une voie crédible, une utopie ou un effet marketing? De nombreux développeur/opérateurs interrogés dans le cadre de cette étude ont exprimé des doutes quant à l'utilisation de batteries lithium en seconde vie pour le stockage d'énergie, mettant en exergue les durées de stockage courtes (minutes/heures), les risques d'incendie, le problème de la charge de la garantie, et la faisabilité économique de modèles intégrés. Une chose est en tout cas certaine : il y a un besoin clair de normes pour rendre ce modèle économique viable.

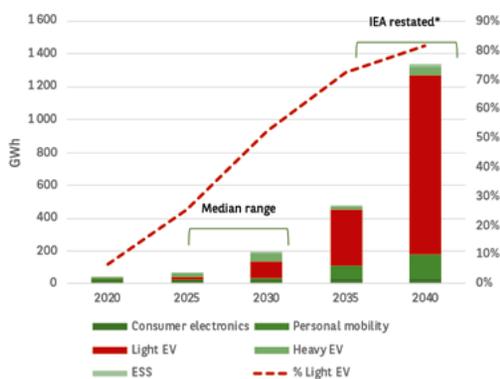
■ Un marché mondial difficile à quantifier

Dans ce contexte, il n'est pas étonnant de constater de grands écarts dans les estimations de quantités de batteries en fin de vie disponibles pour le recyclage en 2030. Les prévisions sont en effet très dispersées de > 140 GWh (>0,7 mt) pour les plus conservateurs (AIE) à > 220 GWh (1,1 mt) pour les plus optimistes (Circular Energy Storage, Roland Berger, Li-Cycle), soit 4 à 6 fois plus qu'en 2020. Précisons ici que l'AIE, plus conservatrice à court terme est le seul organisme à fournir des estimations au-delà de 2030. À cette date, elle prévoit en revanche une forte augmentation du nombre de batteries en fin de vie, soit > 440 GWh ou > 2,2 mt en 2035 (11 x qu'en 2020 !) et > 1,300 GWh ou > 6,5 mt en 2040 (33 x plus qu'en 2020 !).

Estimations du nombre de batteries en fin de vie d'ici 2030



Par application d'ici à 2040



* Données IEA retraitées pour intégrer les batteries pour équipements électroniques.

Source : AIE, Circular Energy Storage, Roland Berger, Li-Cycle, Rare Earth Advisory, mars 2022.

4. Quelle quantité de batteries à recycler sera disponible et quand?

Minoritaire jusqu'en 2030, la part des batteries de véhicules électriques en fin de vie pourrait basculer au-delà de 50% après 2030, pour représenter l'essentiel des flux de batteries en fin de vie à l'horizon 2040 (>80% selon l'AIE). Il s'agit ici exclusivement des batteries arrivant en fin de vie (EOLB) et disponibles pour être recyclées. Les prévisions ci-dessus excluent des déchets de production de batteries non intégrés dans les estimations de l'AIE (déchets, off-spec). Ces rebuts devraient néanmoins constituer une source importante de flux de matériaux à recycler d'ici à 2030.

■ La gestion des déchets de production : un modèle de recyclage de batterie économiquement viable ?

La fabrication d'une batterie lithium est un procédé industriel très intensif en électricité, en eau et en matières premières. Quoique moins exigeant que le processus de fabrication des semi-conducteurs, il reste complexe et comprend de multiples étapes, qui sont autant de sources possibles de déchets/off-spec de production.



Processus de production d'une batterie lithium

Le processus de fabrication d'une batterie, comprend 3 étapes principales comme le montre le schéma ci-dessous :

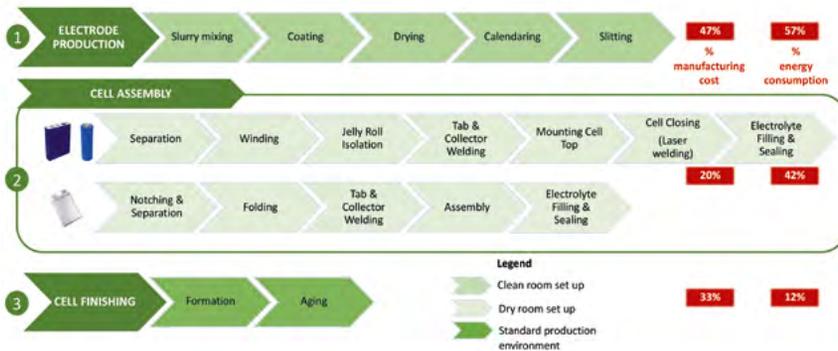
1/ la préparation des électrodes (1) : Les matériaux actifs sont mélangés à un liant (le fluorure de polyvinylidène (PVDF) pour la cathode et du caoutchouc styrène-butadiène ou SBR pour l'anode) et un carbone conducteur dans d'énormes cuves pour obtenir une encre uniforme de couleur noire. Cette encre est ensuite déposée des deux côtés du collecteur de courant (feuille d'Aluminium pour la cathode et feuille de Cuivre pour l'anode), et mise en séchage pour évaporer le solvant (du N-méthylpyrrolidone ou NMP pour la cathode et de l'eau avec de la carboxyméthylcellulose ou CMC pour l'anode) sur un collecteur de courant et former une électrode. L'étape de séchage est primordiale car l'eau est l'ennemi de la batterie lithium. Les électrodes sont par

la suite pressées dans de grosses calendres pour qu'elles aient l'épaisseur souhaitée.

2/ l'assemblage de la cellule (2) : Cette étape consiste à séparer les électrodes. Le séparateur est un isolant électrique pour éviter les courts-circuits (et éventuels incendies). On procède à l'enroulage ou empilage en assemblant l'électrode positive, le séparateur et l'électrode négative alternativement en couches : appelé « stack ». Ces couches forment la structure interne de la cellule, qui est ensuite remplie avec l'électrolyte.

3/ l'activation de l'électrochimie de la batterie (3) : La formation est une étape de charge et de décharge réalisée en usine dans des conditions assez particulières. Cette dernière étape va permettre de rendre la cellule opérationnelle à l'usage et de préparer la cellule afin qu'elle ait les meilleures performances (capacité, durée de vie, etc.).

Les grandes étapes de production d'une batterie lithium



Source : Industrie, Rare Earth Advisory, mars 2022.

Une fois l'étape d'activation réalisée, des tests sont effectués sur les cellules pour évaluer quelles sont leurs capacités et leur résistance interne. Les batteries Lithium sont maintenant prêtes et peuvent être envoyées au client.

Source : d'après le site Verkor et l'article publié par Science : Current and future lithium-ion battery manufacturing. Y. Liu, R. Zhang, J. Wang, Y. Wang.

4. Quelle quantité de batteries à recycler sera disponible et quand?

Consommation moyenne d'une gigafactory

Inputs	Unit	/GWh capacity
Aluminium foil	Tonne	52
Copper foil	Tonne	99
Carbon	Tonne	12
Anode material	Tonne	314
Cathode	Tonne	546
Electrolyte	Tonne	287
CMC	Tonne	7
NMP	Tonne	9
Acrylic binder	Tonne	12
PVDF	Tonne	16
Co-polymer binder	Tonne	12
Electricity	MWh	3
Gas	mm3	2
Water industrial	'000 m3	41

Source : Industry, Northvolt, Rare Earth Advisory, mars 2022.

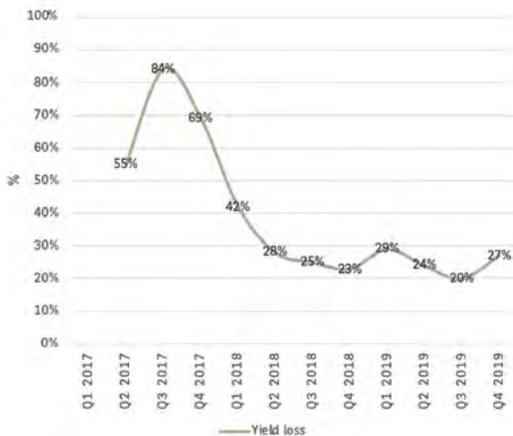
Usine Northvolt Ett en Suède



L'exemple de l'usine construite par Panasonic et Tesla au Nevada entre 2015 et 2017 (37 GWh de capacité aujourd'hui), soit la première gigafactory, est devenu un cas d'école : il aura fallu plus de 24 mois pour construire l'usine (18-24 mois en moyenne en Chine désormais) et plus de 24 mois de montée en puissance pour descendre sous la limite de 25 % de taux de défaut (18-24 mois en

moyenne en Chine désormais). Les grands fabricants de batteries interrogés dans le cadre de cette étude communiquent un taux de défaut de production moyen de l'ordre de 10 % une fois l'usine montée à pleine utilisation (5 % pour les plus efficient), un chiffre qui reste une source considérable de matériaux à recycler et qui devrait constituer l'essentiel de volumes à traiter par les recycleurs d'ici à 2030.

Taux de défaut mesurés lors du démarrage de la gigafactory Tesla-Panasonic



Source : Rare Earth Advisory d'après les présentations-investisseurs de Panasonic et les publications Tesla / Photo American Manganese.

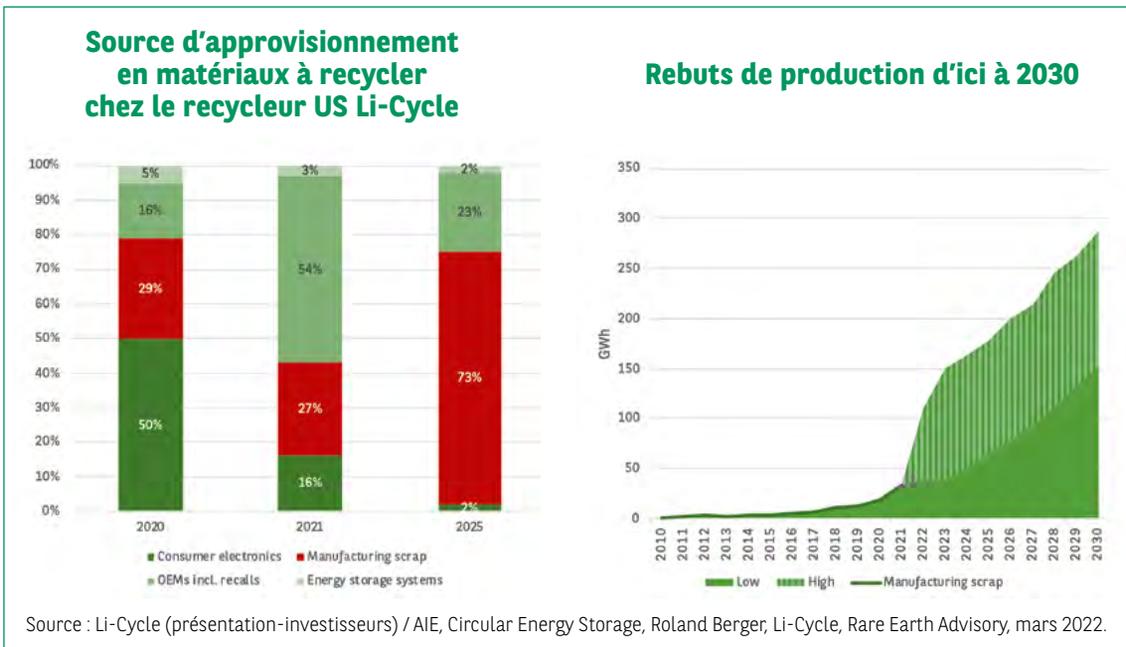
Rebuts de production



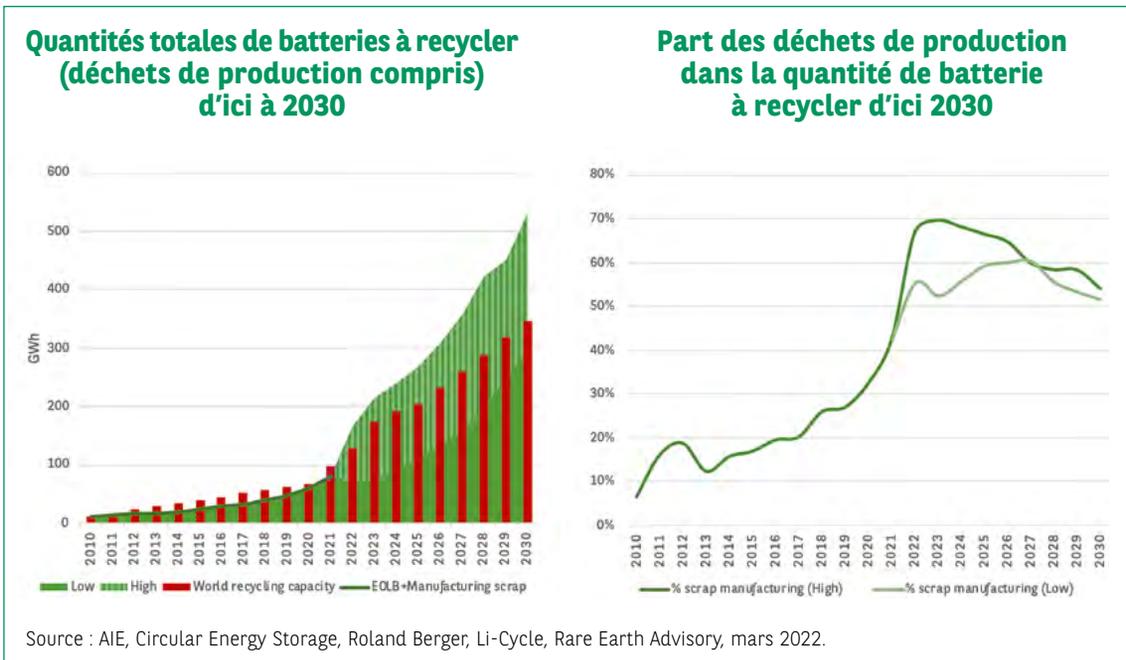
Les rebuts de production de batterie devraient connaître une forte croissance dans les prochaines années, tirée par le déploiement rapide des projets de gigafactories. Ils devraient ainsi devenir l'une des principales sources de batteries à recycler d'ici à 2030, avant d'être supplantés par les batteries de véhicules en fin de vie lors de la décennie suivante. Quel que soit le scénario employé, la part de déchets devrait s'établir à plus de 55 % des flux de batteries à recycler projetés d'ici à 2030. De nombreuses start-ups outre Atlantique, comme American Manganese,

Li-Cycle, Lithion, Redwood Materials (...), s'appuient sur ces perspectives favorables dans leur business plan afin de sécuriser des financements pour leur projet d'expansion. Li-Cycle, sans doute parmi les plus optimistes, estime ainsi que les déchets de production devraient même représenter plus de 70 % de ses approvisionnements en 2025 (vs 27 % en 2021). Le groupe chinois GEM estime lui que les déchets de production pourraient représenter 50 % de ses flux d'intrants (vs 33 % en 2021).

4. Quelle quantité de batteries à recycler sera disponible et quand?



Dans une étude en date d'octobre 2020, Greenpeace estimait que le nombre cumulé de batteries lithium usagées pourrait atteindre 12.85 mt d'ici à 2030, un chiffre à comparer à 7,3 mt dans le scénario conservateur et 15.2 mt dans le scénario optimiste.

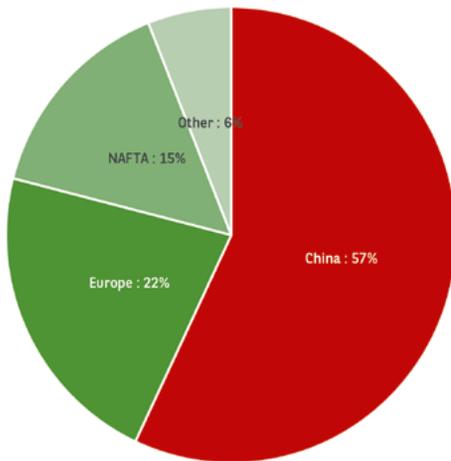


■ Quelle capacité actuelle de recyclage des batteries lithium en Europe ?

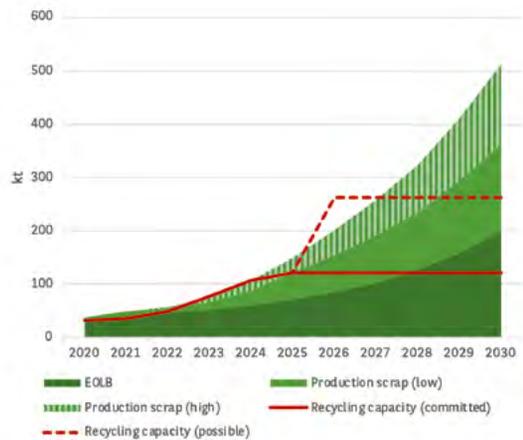
La Chine, le premier fabricant mondial de véhicules électriques, de batteries lithium, de matériaux précurseurs et de matériaux critiques raffiné,

devrait sans surprise s'imposer comme le premier recycleur de batteries générant plus de > 55 % des flux. L'Europe devrait elle se placer à la seconde place (> 20 %). L'industrie européenne sera-t-elle prête à temps ?

Répartition des batteries à recycler par zones géographiques en 2030



Quantités de batteries à recycler en Europe vs capacités de recyclage

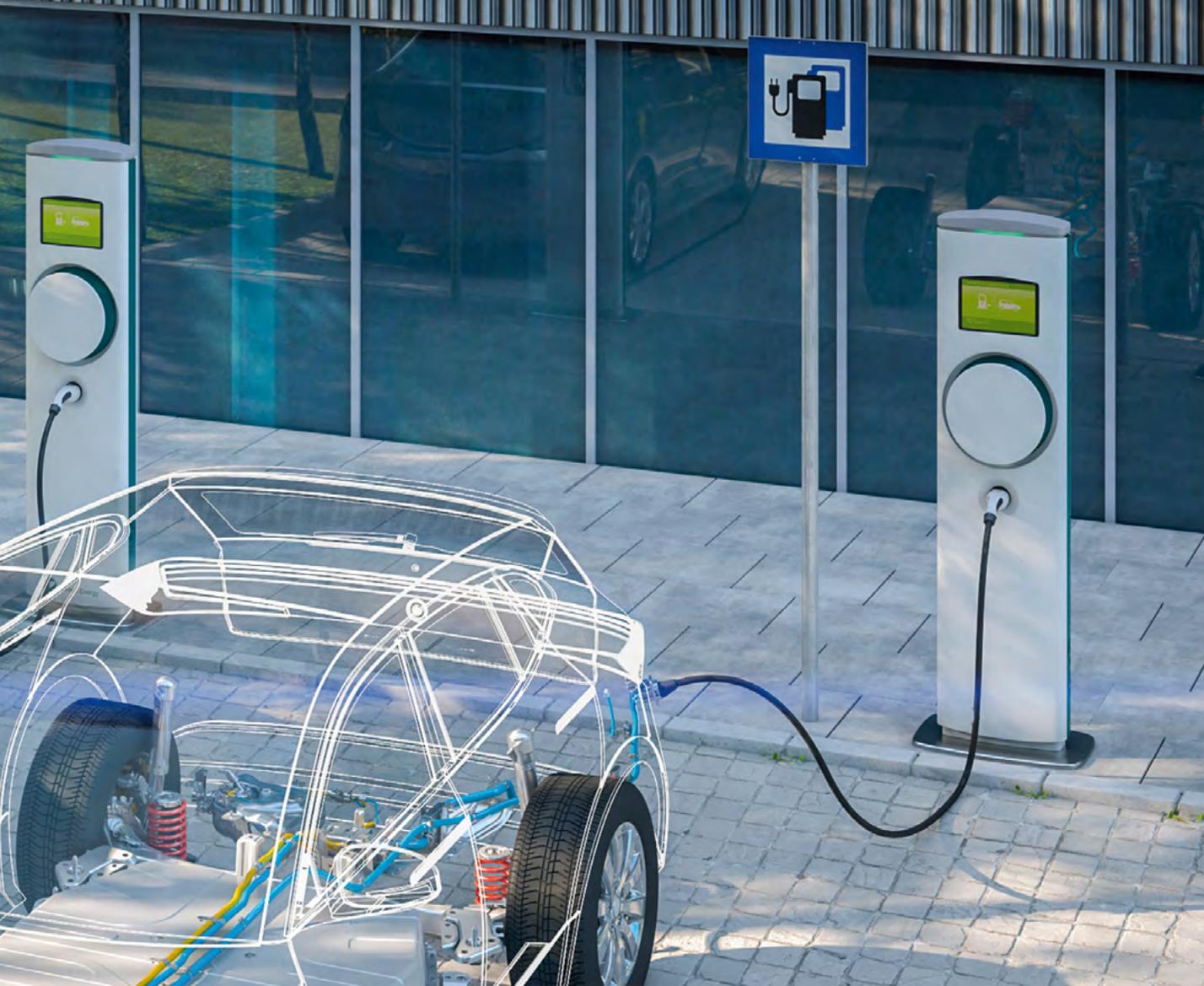


Source : Roland Berger / AIE, Circular Energy Storage, Li-Cycle, Industrie, Rare Earth Advisory, mars 2022.

Le secteur du recyclage de batteries européen est pour l'heure dominé par 3 acteurs : Umicore (7 kt), Glencore (7 kt) et Euro Dieuze, filiale de Veolia (6 kt). Aucun ne s'est à ce jour engagé dans une expansion significative de ses capacités de traitement, même si plusieurs projets impliquant des projets de gigafactories sont à l'étude comme Britishvolt-Glencore ou ACC-Umicore. ACC ou « Automotive Cell Company » est un partenariat impliquant Saft, Stellantis et Mercedes-Benz qui est aussi souvent qualifié « d'Airbus de la batterie ». De nombreux projets de recyclage sont pourtant en cours d'examen en Europe, mais ils restent pour la plupart à l'état d'usine pilote ou de faibles capacités. Seul Northvolt-Hydro est à ce jour engagé dans un projet de taille significative (8 kt). Le producteur de

batteries suédois s'est engagé à utiliser plus de 50 % de matériaux recyclés dans ses batteries en 2030 et devrait porter sa capacité à près de 125 kt (à comparer à 37 kt de capacité dans l'Europe entière à fin 2021). On peut y ajouter les projets développés par SMS-Neometal (20 kt) ou Stena Recycling (10 kt). L'ensemble de capacités de recyclage projetées dans la région peut toutefois sembler bien modeste face à la croissance prévue des rebuts de production de batterie dans le contexte de multiplications des projets en Europe. Tant et si bien que plusieurs start-ups américaines se lancent aujourd'hui dans la course comme Li-Cycle (en partenariat avec Morrow) ou prochainement Redwood Materials (probablement avec Tesla). Il convient d'investir maintenant.





5.

**QUELS SONT LES ENJEUX DU RECYCLAGE
DES BATTERIES AU LITHIUM
POUR LA FILIÈRE AUTOMOBILE ?**

5. Quels sont les enjeux du recyclage des batteries au lithium pour la filière automobile?

Le recyclage des batteries au lithium est un enjeu essentiel du développement d'une chaîne d'approvisionnement durable des véhicules électriques, comme l'un des facteurs clés de réduction de l'empreinte environnementale des batteries et, à long-terme source d'approvisionnement responsable, locale et potentiellement moins coûteuse en matériaux critiques.

Le recyclage pourrait ainsi contribuer à la sécurisation et la simplification de la chaîne de la valeur de la batterie en atténuant les tensions futures liées aux problématiques d'approvisionnement de certains métaux critiques.

Il revêt aujourd'hui un caractère primordial pour la filière automobile, alors que les constructeurs affichent des objectifs clairs en matière d'approvisionnement responsable en matériaux critiques

ou de circularité et adoptent des stratégies d'intégration amont avec la production en propre de batteries.

■ Un enjeu de réduction de l'empreinte environnementale et sociétale des batteries

Malgré l'engouement évident pour le véhicule électrique, il reste encore souvent un objet de méfiance aux yeux du grand public. Ses impacts environnementaux et sociétaux soulèvent en effet beaucoup de questions : quid de l'utilisation intensive d'eau pour l'extraction du lithium en Amérique Latine dans des régions arides? Quid de l'extraction artisanale du cobalt par une main d'œuvre infantile en République Démocratique du Congo? Quid de la pollution engendrée par la production de terres rares et de graphite en Chine, ou de nickel en Indonésie?...

Impact environnemental et sociétal du véhicule électrique



Lithium

45% of lithium production comes from Bolivia, Chile and Argentina brines with concerns over depleting water supply for local communities.



Cobalt

12-15% of world's production comes from artisanal DRC mines with rudimentary safety conditions/child labour usage.



REE, Graphite

>90% of world REE oxides and graphite is sourced come from China. Visibility on progress to tackle domestic pollution is low.



Nickel

Increasing reliance on Indonesia nickel (24% of world refined output raises concern over NMC batteries high CO₂ footprint acidic submarine tailings



Battery recycling

Setting-up a recycling chain for batteries is must-do. LIB cannot end-up in landfill because of their dangerous nature

Source : Rare Earth Advisory, février 2022.

Autant de questions auxquelles il convient de répondre en adoptant des pratiques d'extraction et de transformation responsables et en améliorant la transparence et la traçabilité dans la chaîne de valeur du véhicule électrique. Il convient ici de

noter que la plupart des constructeurs automobiles affichent leur volonté de veiller à un approvisionnement responsable en matériaux critiques. Certains constructeurs comme BMW, Daimler, Ford, GM, Tesla ou plus récemment Volkswagen ont d'ailleurs

rejoint l'IRMA (« Initiative for Responsible Mining Assurance »), une association créée en 2006 qui regroupe groupes miniers, entreprises consommatrices de ressources minières, ONG et organisations syndicales derrière une vision commune : développer un standard de certification des performances sociales et environnementales des sites miniers afin d'en limiter d'en limiter les préjudices environnementaux et de veiller au bon respect des droits de l'homme. De nombreux constructeurs ou fabricants de batteries recourent d'ores et déjà à des services d'audit externes comme RCS Global pour s'assurer du caractère responsable de leur chaîne d'approvisionnement : Daimler, CATL, Farasis, Ford, GM, LG Energy Solutions/LG Chem, Renault-Nissan-Mitsubishi, Samsung SDI, Stellantis, Volkswagen ou Volvo.

Dans ce contexte l'adoption d'un modèle circulaire nous semble également essentielle au vu de l'impact environnemental et sociétal supérieur de la production d'un véhicule électrique par rapport à son équivalent thermique. Cependant, n'oublions pas qu'un des leviers les plus efficaces pour réduire ces impacts consiste à gagner en sobriété, en changeant les habitudes de consommation et non via le seul progrès technologique.

■ Une variable-clé de réduction de l'empreinte carbone du véhicule électrique, particulièrement dans le cas des grands modèles

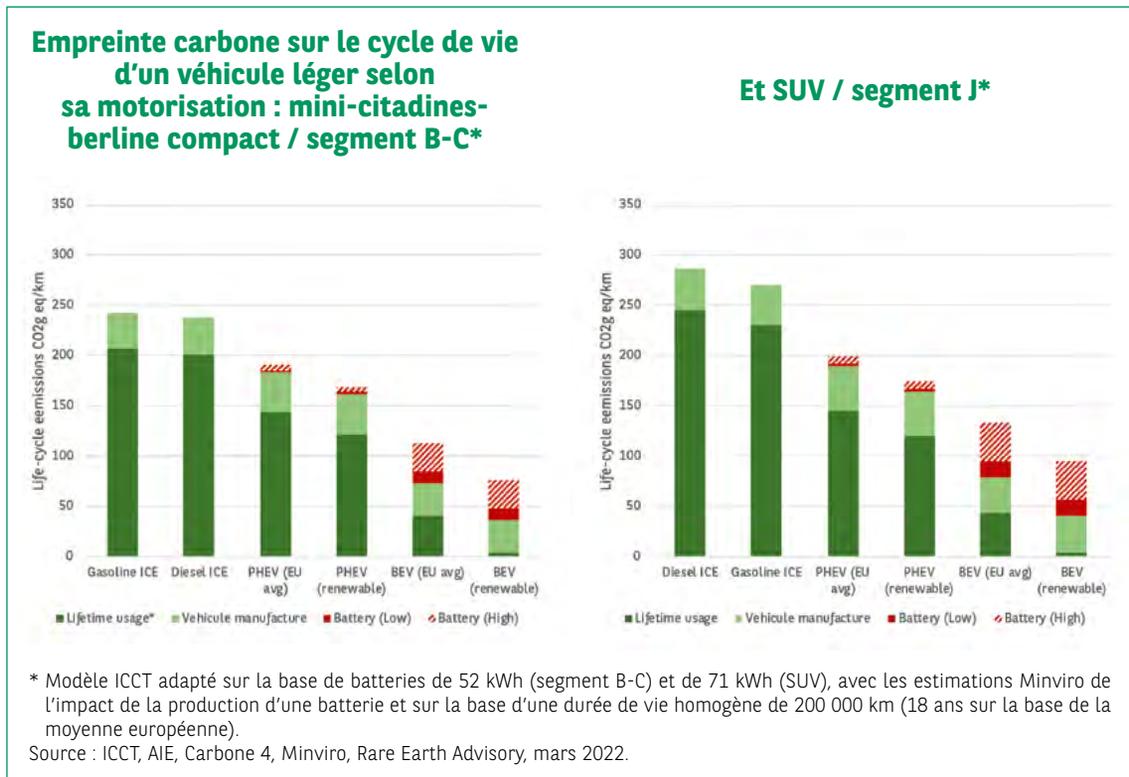
De nombreuses études d'Analyse en Cycle de Vie (ou ACV) (lire page 77) ont été réalisées au cours de ces dernières années sur l'empreinte carbone du véhicule électrique avec des conclusions parfois contradictoires. L'impact environnemental du véhicule électrique ne se résume bien sûr pas à son empreinte carbone, mais cela reste le critère le plus aisément quantifiable pour en mesurer l'impact. Avant d'examiner les bienfaits associés au recyclage de batteries, nous présentons ici une synthèse

inspirée des travaux réalisés par Carbone 4, l'International Council on Clean Transportation (ICCT), et Minviro.

Tous concordent pour conclure que la plus forte intensité carbone de la production du véhicule électrique par rapport à son équivalent thermique est toutefois plus que compensée par la réduction des émissions à l'usage sur sa durée de vie (à catégorie de véhicule comparable), y compris dans le mix énergétique européen actuel. Nos simulations montrent qu'il faut rouler au moins 35 000 à 40 000 km (soit 2 ans d'utilisation pour un usage moyen) pour que le véhicule électrique devienne meilleur pour le climat que son équivalent thermique dans le cas du segment B-C. Ce chiffre monte à plus de 45 000-50 000 km (soit 3-4 ans d'utilisation pour un usage moyen) dans le cas des SUV plus lourds et aux batteries plus puissantes. Cette simulation montre l'incidence de l'augmentation de la masse du véhicule sur le pivot kilométrique, soit le nombre de kilomètres à parcourir au minimum pour que le bilan ACV du véhicule électrique devienne plus favorable que celui de son équivalent thermique, un facteur qui milite pour une plus grande sobriété dimensionnelle comme discuté plus haut.



5. Quels sont les enjeux du recyclage des batteries au lithium pour la filière automobile?



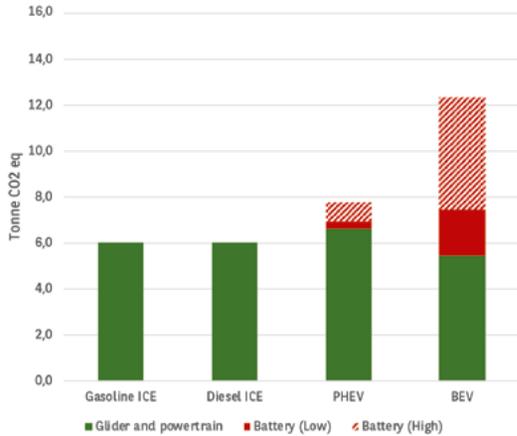
On distingue les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) liées à :

- l'usage du véhicule sur son cycle de vie** : Les réductions d'émissions à l'usage du véhicule électrique (BEV) par rapport au véhicule thermique (ICE) proviennent de sa plus faible consommation d'énergie sur sa durée de vie. Ces gains sont bien entendu hautement sensibles au mix énergétique dans le pays d'utilisation, et devraient vraisemblablement augmenter avec le déploiement des énergies renouvelables. Nous présentons ici l'empreinte carbone sur la base du mix énergétique européen actuel (« EU avg. » soit nucléaire : 25 % ; hydroélectricité : 13 % ; éolien : 14 % , solaire : 5 % ; biomasse : 6 % ; gaz naturel : 20 % ; charbon : 13 % et autres : 4 %) et sur la base d'un mix énergétique 100 % décarboné (« renewables ») ;

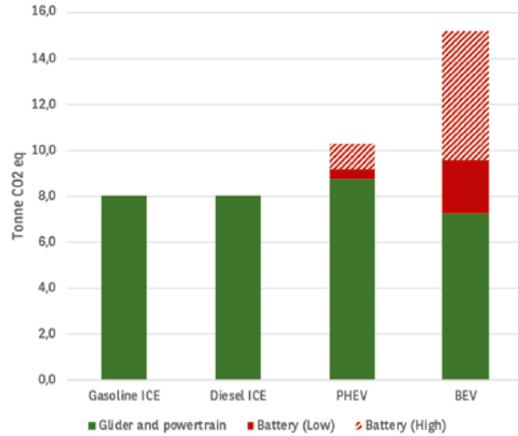
- la production et au recyclage du véhicule (hors batterie)** : l'intensité carbone liée à la production et au recyclage du véhicule et de ses composants hors batterie (scope 1, 2 & 3), quoique très comparable quelles que soient les motorisations, s'avère en moyenne 10 % inférieure dans le cas du véhicule électrique par rapport à son équivalent thermique ;



Empreinte carbone de la production d'un véhicule léger selon sa motorisation : mini-citadines-berline compact / segment B-C*



Et SUV / segment J*

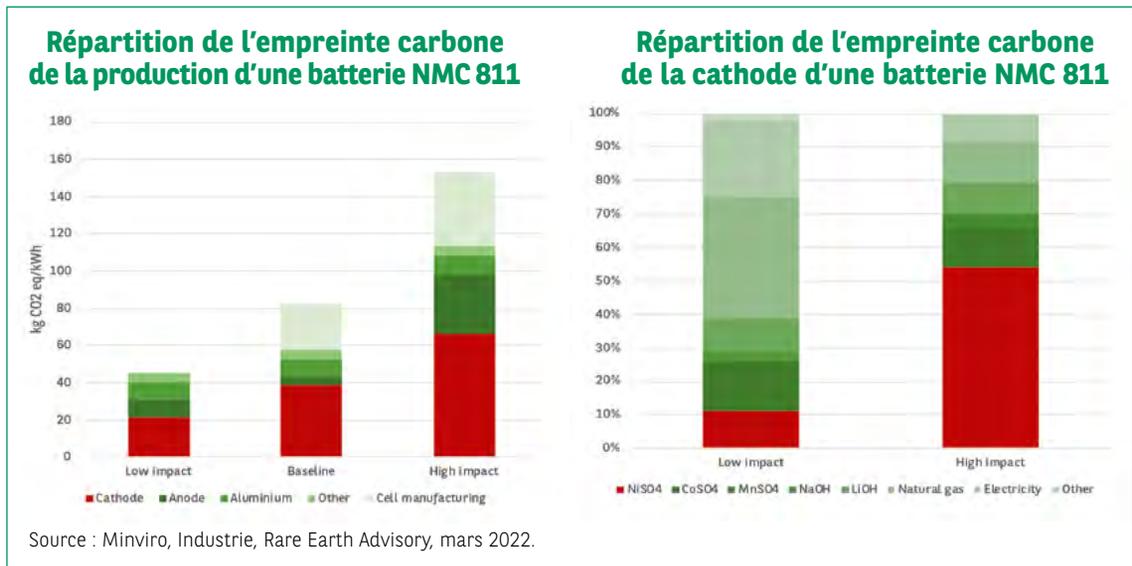


* Modèle ICCT adapté sur la base de batteries de 52 kWh (segment B-C) et de 71 kWh (SUV), avec les estimations Minviro de l'impact de la production d'une batterie.
 Source : ICCT, Minviro, Rare Earth Advisory, mars 2022.

• **la production de la batterie** : en intégrant la fabrication de la batterie, l'intensité carbone liée à la production d'un véhicule électrique s'avère en revanche 2,0 à 2,5 x supérieure à son équivalent thermique. La fabrication de la batterie qui pèse pour plus de 33 % de l'empreinte carbone sur le cycle de vie d'un véhicule électrique est le principal facteur d'ajustement de l'empreinte carbone de ce dernier. Ce constat souligne l'incidence de la taille de la batterie et l'avantage réel à l'usage de véhicules moins énergivores que les SUV (44 % des ventes en Europe). Il convient en outre de souligner ici le vaste écart entre l'empreinte d'une batterie dans des conditions optimales (< 45 kg CO₂ eq/kWh), alliant extraction/transformation responsable des matériaux critiques et production des batteries sur la base d'un

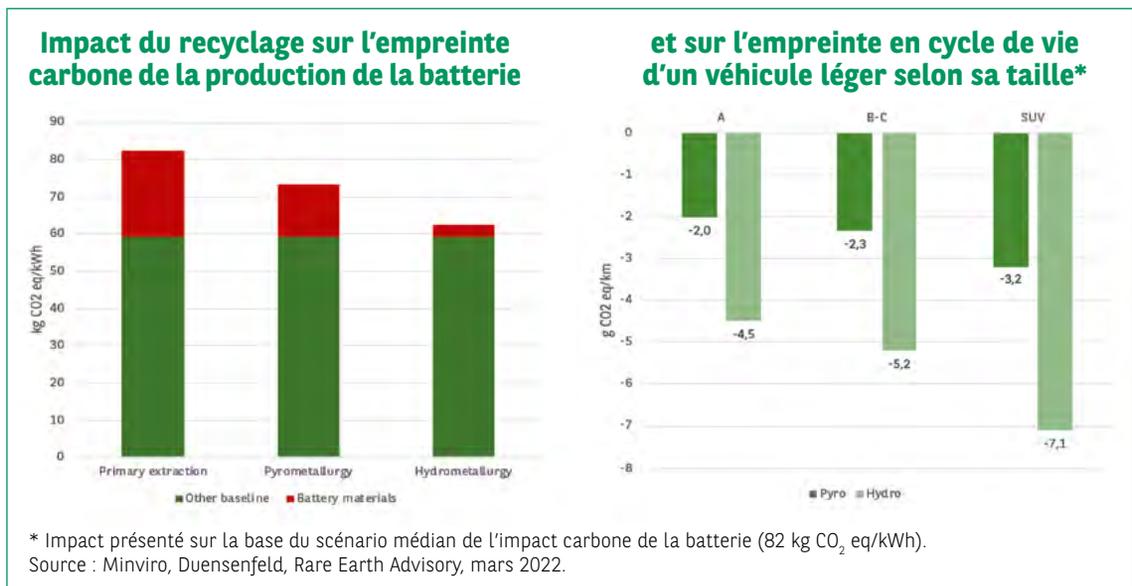
mix énergétique décarbonée (Freyr ou Northvolt par exemple) par opposition à une production sous-optimale (> 150 kg CO₂ eq/kWh) combinant extraction/transformation moins vertueuses et production des batteries sur la base d'un mix très charbonné (Chine). Les travaux de Minviro permettent d'isoler l'impact de la production de la cathode (43-48 %), de l'anode (5-20 %) et de la fabrication des cellules (0-30 %) des batteries. Ils permettent en outre de mettre en avant l'incidence forte de la production de sulfate de nickel (NiSO₄) dans le bilan carbone de la production de la batterie. Sa production sur la base de NPI indonésien et sa transformation en Chine est en effet responsable de près de 55 % de l'empreinte carbone dans le cas sous-optimal.

5. Quels sont les enjeux du recyclage des batteries au lithium pour la filière automobile ?



Sur la base des hypothèses présentées par Duesenfeld, BR Resources et Li-Cycle, le recours au recyclage permettrait de réduire l’empreinte carbone de la production de la batterie de près de 8 kg CO₂ eq/kWh via la voie pyrométallurgie et de près de 20 kg CO₂ eq/kWh via la voie hydrométallurgique, compensant ainsi entre 40 % et près de 90 % de l’impact lié à l’extraction des matériaux

primaires (soit 20 kg CO₂ eq/kWh dans le scénario médian ou 24 % de l’empreinte carbone de la production de la batterie). Rapporté au cycle de vie du véhicule électrique le recyclage se traduirait par des réductions de 2-3 % de l’empreinte au kilomètre par voie pyrométallurgique et de 8-10 % par voie hydrométallurgique selon la taille du véhicule.



On comprend donc aisément que le recyclage des batteries lithium soit un élément-clé des objectifs des « net zero » affichés par certains fabricants de batteries (Northvolt, Freyr) ou constructeurs automobiles comme Volkswagen (« ID. Buzz ») ou Polestar (« 0 Project »).

Qu'est-ce que l'Analyse en Cycle de Vie ? (« Life-Cycle Analysis » ou LCA)

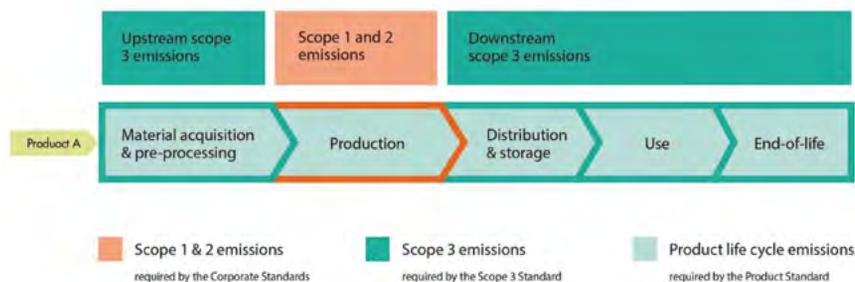
L'Analyse en Cycle de Vie ou ACV est une méthode scientifique normalisée pour quantifier les impacts environnementaux directs et indirects associés à un produit ou à un processus de production. Il existe souvent une confusion entre les ACV au niveau de l'entreprise (ACV organisationnelle) et les études axées sur les produits. Les évaluations d'entreprise visent à soutenir la réduction de l'impact au niveau de l'entreprise, qu'il s'agisse d'ACV organisationnelles complètes ou d'évaluations des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) Scope 1, 2 ou 3 du Greenhouse Gas Protocol. Les ACV axées sur les produits se concentrent sur l'identification des émissions et des impacts du cycle de vie associés à la production (« cradle-to-gate ») et à l'utilisation (« cradle-to-grave ») d'un produit spécifique. Ces impacts seront calculés sur l'ensemble du cycle de vie du produit, en considérant l'impact environnemental lors de son utilisation, mais également en amont (extraction des matières premières, fabrication

du véhicule et de la batterie, production de l'électricité pour alimenter le véhicule, etc.) et en aval (traitement du véhicule, recyclage de la batterie, etc.).

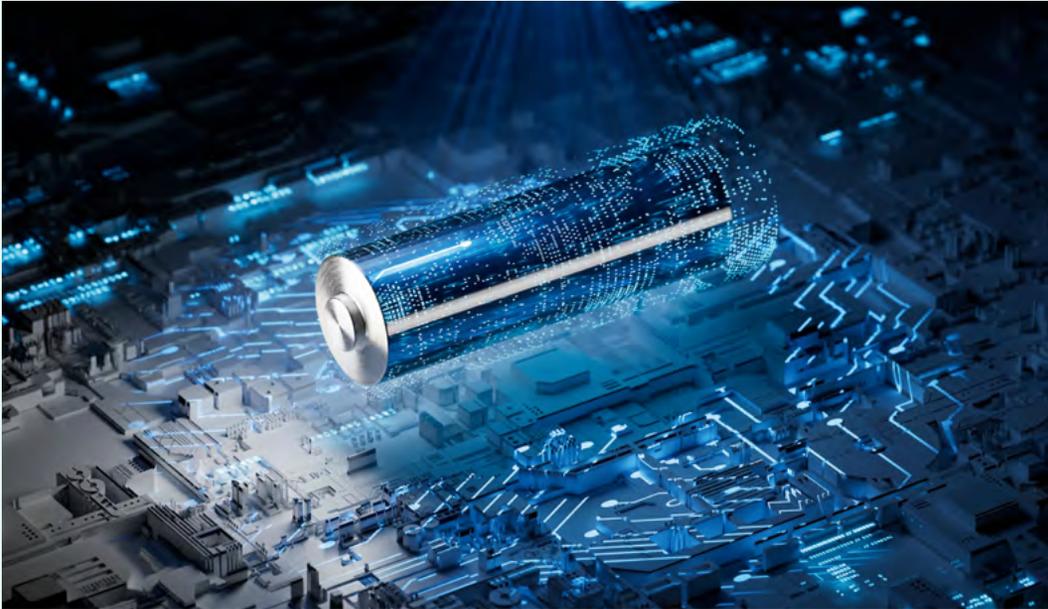
Pour calculer l'empreinte carbone d'un véhicule, on distinguera les émissions Scope 1, 2 & 3 :

- **Scope 1** : les émissions directes de GES générées pour produire le véhicule (fabrication du véhicule et de la batterie);
- **Scope 2** : les émissions indirectes de GES associées à la consommation directe d'électricité et de chaleur pour produire le véhicule;
- **Scope 3** : les émissions indirectes de GES associées à l'achat et la production des matériaux nécessaires à la fabrication (extraction et transformation des matières premières, toutes activités externalisées...), à l'usage du véhicule et à la gestion des déchets (y compris le traitement en fin de vie du véhicule et le recyclage de la batterie).

Catégorisation des émissions de GES Scope 1, 2 & 3



5. Quels sont les enjeux du recyclage des batteries au lithium pour la filière automobile?



Quoiqu'il s'agisse d'une approche scientifique chiffrée, une certaine latitude existe malheureusement. Elle permet d'ajuster arbitrairement la limite de ce qui est inclus dans les calculs de performance environnementale, notamment en Scope 3 (traitements de diverses manières des co-produits, sélection des données indirectes de manière subjective, etc.). Ces ajustements peuvent fausser l'exactitude des ACV et s'avérer trompeuses aboutissant à des conclusions parfois contradictoires. Pour remédier à cela et s'assurer que les études sont cohérentes et comparables, une règle de produit devrait être élaborée par une organisation professionnelle indépendante axée sur l'ACV.

Une règle de produit est un document créé par un groupe de parties prenantes ayant un

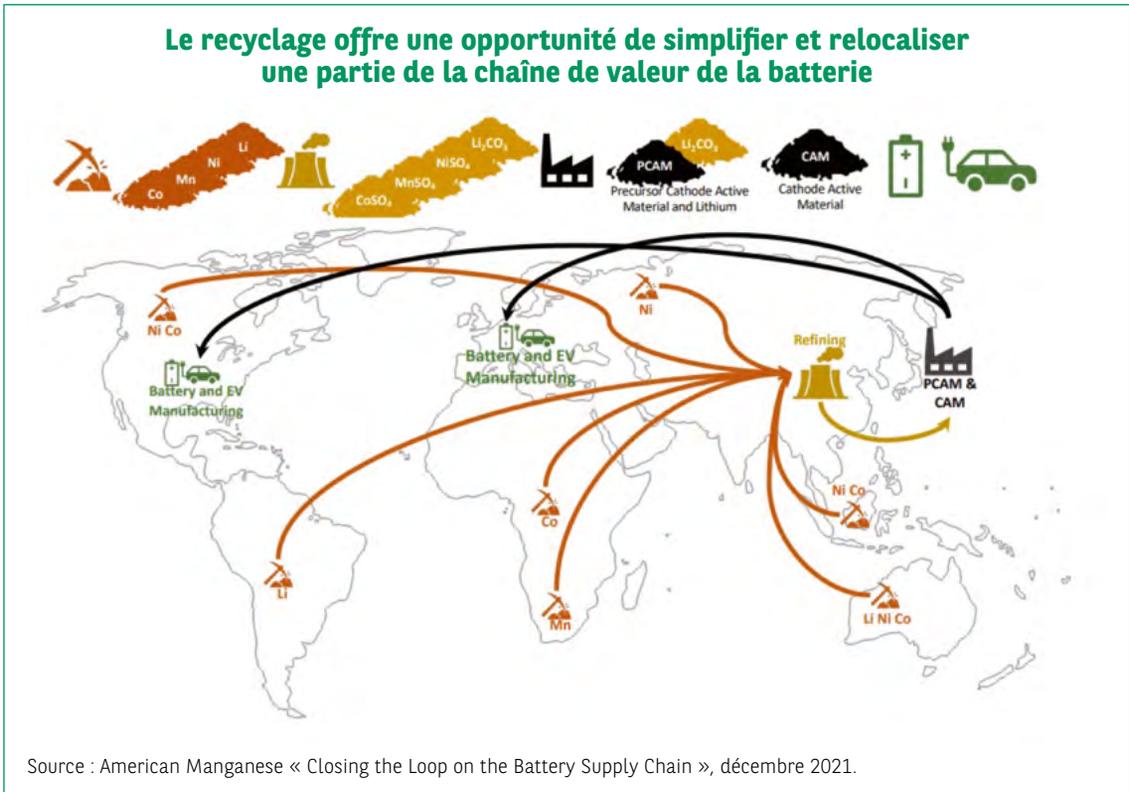
intérêt pour un produit ou une catégorie de produits particuliers, dans le but de parvenir à un consensus sur les spécifications nécessaires pour permettre des comparaisons ou des déclarations sur le produit. Un exemple de la création d'une règle de produit développée selon les directives de l'UE (PEFCR) pour l'acier, le cuivre et l'aluminium peut être trouvé en ligne. Il existe un processus en place pour développer des règles de produit et cela est présenté dans la norme ISO 14025 : 2006 (E) Étiquettes et déclarations environnementales – Déclarations environnementales de type III – Principes et procédures – Annexe A. Une fois cette étape terminée, la règle de produit doit permettre à différents praticiens de générer des résultats cohérents lors de l'évaluation des produits d'une même catégorie de produits.

Source : d'après Minviro « Apples to Apples : Developing a framework for Environmental Impact Comparison for Lithium Chemical Products » et Carbone 4 « Les idées reçues sur la voiture électrique. Premier épisode : l'impact carbone ».

■ Un enjeu économique et stratégique

La relocalisation de l'extraction (si la géologie le permet), de la transformation en matériaux pré-curseurs et de la production de batteries sont des voies additionnelles de réduction de l'empreinte environnementale (et sociétale) de la production de la batterie. Ils convient toutefois de noter ici la mobilisation forte de la population des pays occidentaux pour s'opposer à l'implantation de mines

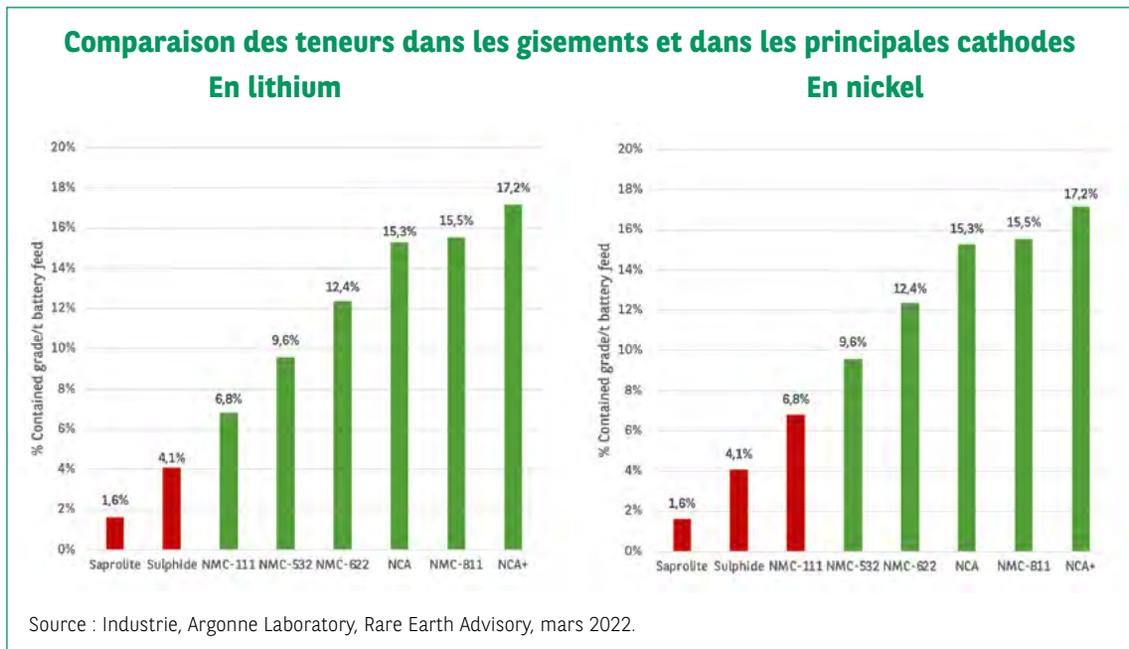
locales suivant le mouvement « NIMBY » (« Not In My BackYard »), comme en atteste l'abandon récent du projet Jadar en Serbie, ou la contestation autour du projet de Mino Barroso au Portugal. Ces relocalisations doivent être combinées avec un recyclage responsable des batteries en fin de vie pour diminuer encore davantage l'empreinte de la production du véhicule électrique sur son cycle de vie et simplifier sa chaîne de valeur complexe.



Au vu de la grande quantité de matériaux critiques qu'ils contiennent, les batteries en fin de vie et les déchets de production de batteries constituent un important gisement de valeur économique pour le propriétaire, particulièrement dans le contexte de prix actuel. L'exploitation de ces matériaux recyclés repose sur le concept de la mine urbaine (« urban mining »), à savoir le processus de récupération

des stocks de minéraux critiques contenus dans les équipements électriques et électroniques ou les véhicules électrique mis au rebut. Il est ici intéressant de souligner que la plupart de ces produits présentent aujourd'hui des teneurs en minerai supérieures à celles observées dans la nature, comme nous l'illustrons ci-dessous en rouge dans les cas du lithium et du nickel.

5. Quels sont les enjeux du recyclage des batteries au lithium pour la filière automobile?

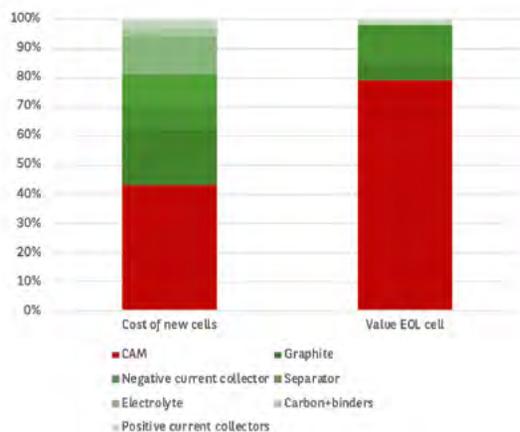


Outre les impacts environnementaux et sociétaux positifs liés à leur exploitation, ces matériaux recyclés ont en outre le potentiel d'être moins chers que leurs équivalents primaires en raison de coûts de traitement inférieurs aux coûts d'extraction. Lorsqu'un recycleur achète des batteries en fin de vie, des déchets ou de la « black mass » (la poudre issue du broyage des batteries), le prix est en général fixé sur la base d'un rabais de 50 à 80 % des prix de référence des matériaux contenus dans la matière à recycler (London Metal Exchange, indices, etc.), en plus d'une charge de traitement fixe. S'y ajoutent pour le recycleur, le coût d'amortissement en capital lié à l'investissement dans l'outil industriel et le coût

opérationnel de traitement des batteries en fin de vie (lié à près de 70 % au processus de recyclage lui-même). BloombergNEF estime aujourd'hui que le coût total de traitement d'un kilogramme de batterie par voie hydrométallurgique s'étalonne de 4 USD/kg en Chine, à 5 USD/kg aux États-Unis et 5,5 USD/kg en Europe (hors achat des batteries).

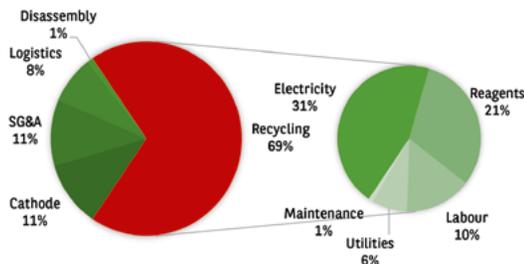


Répartition du coût de production et de la valeur résiduelle des batteries



Source : BatPaC Model, Argonne National Laboratory, Rare Earth Advisory, mars 2022 / BloombergNEF, Rare Earth Advisory, mars 2022.

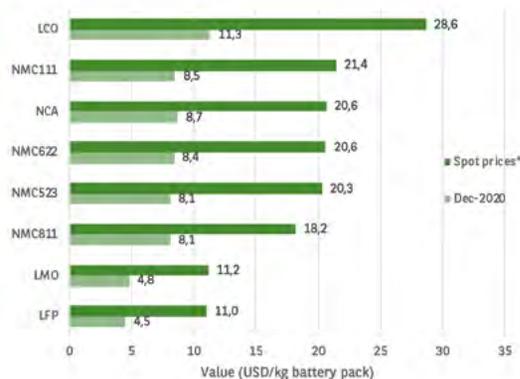
Répartition des coûts opérationnels du recyclage par voie hydrométallurgique



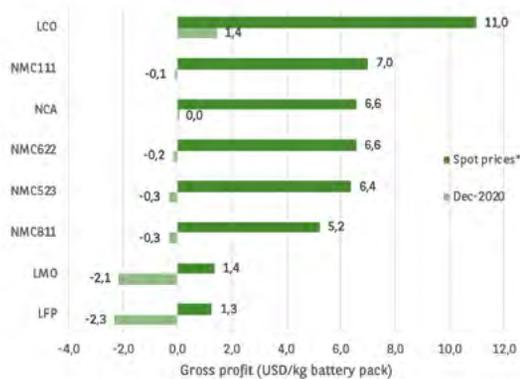
Les matériaux critiques contenus dans la cathode pesant pour près de 80 % de la valeur résiduelle de la batterie, il nous a semblé intéressant de comparer la valeur résiduelle et la marge brute générée par un recycleur dans le contexte de prix bas des matières premières de décembre 2020 et dans le

contexte actuel de prix élevés (prix à fin mars 2022). On peut ainsi constater la valeur résiduelle élevée et la forte rentabilité de l'activité de recyclage dans un contexte de prix élevés particulièrement pour les chimies NMC, NCA et LCO riches en matériaux critiques par comparaison aux chimies LFP et LMO.

Valeur des packs de batterie en fonction des chimies de cathode



Profitabilité du recyclage de pack de batterie par voie hydrométallurgique en fonction des chimies de cathode



* La marge brute (« Gross profit ») est calculée sur la base d'un taux de récupération moyen de 90 % et un coût de recyclage calculé sur la moyenne des coûts de recyclage en Chine, aux États-Unis et en Europe.

Source : Circular Energy Storage, Nature 575, 75-86 (2019), BloombergNEF, Rare Earth Advisory, mars 2022.

5. Quels sont les enjeux du recyclage des batteries au lithium pour la filière automobile ?

Comme détaillé en question n° 2, le recyclage de batteries pourrait en outre fournir une part significative de l’approvisionnement mondial à moyen/long terme en matériaux critiques, en particulier pour le nickel (> 25 % de l’offre mondiale à partir de

2030) et le cobalt (> 15 %). Quoique plus contestable pour le lithium (0-5 %), il pourrait ainsi fournir un élément de réponse pour les États-Unis et l’Europe aux risques de pénuries en matériaux critiques et de dépendance croissante à la Chine.

Ne pas négliger le levier de la sobriété dimensionnelle

Pour maximiser son impact, l’électrification des transports doit en effet s’accompagner, du déploiement des énergies bas carbone, d’un recyclage efficace des batteries, mais aussi et surtout d’une plus grande sobriété dimensionnelle, en

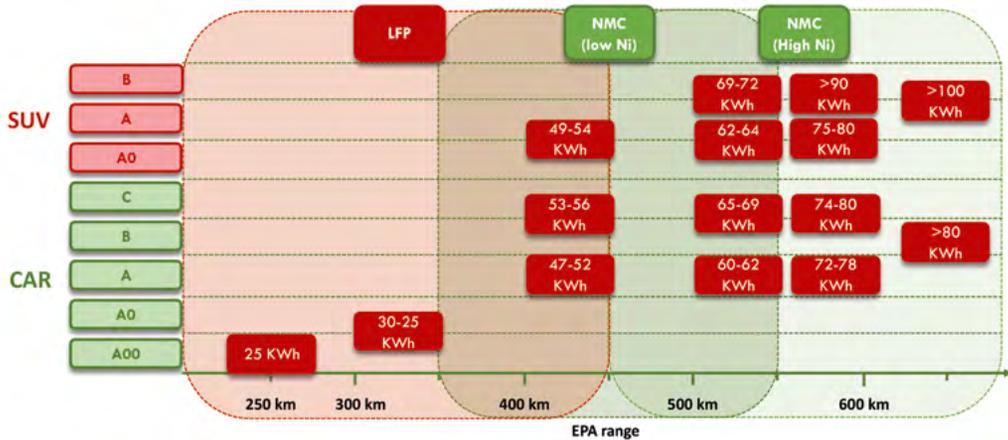
réduisant la masse/la puissance des véhicules, à l’inverse de la tendance de prise de poids moyen des voitures observée depuis 2009 avec l’engouement pour les SUV dans les principaux marchés automobiles.

Taux de pénétration des SUV par région



Source : ICCT, AIE, BloombergNEF, Industrie, Rare Earth Advisory, mars 2022.

Taille et chimie des batteries selon la catégorie de véhicule



La réduction de cette surconsommation ne semble toutefois crédible que lorsque les gouvernements des pays occidentaux seront prêts à approuver davantage de mines et d'usines de transformation chez eux, où les contraintes sociales et environnementales sont plus strictes, plutôt que de s'appuyer sur des matériaux provenant d'endroits lointains dont les consommateurs et les régulateurs ignorent le plus souvent l'impact social et environnemental. Il y a encore trop d'opposition à ce mouvement en Europe. En l'absence de rupture technologique, développer le recyclage des batteries et relocaliser l'extraction ainsi que la transformation des matériaux plus proches des consommateurs, nous semblent des paramètres clés pour réduire la surconsommation actuelle.







6.

**OÙ EN SONT LES TECHNOLOGIES
DE RECYCLAGE DES BATTERIES ?
QUELS SONT LES ACTEURS
DERRIÈRE CES TECHNOLOGIES ?**

6. Où en sont les technologies de recyclage des batteries ? Quels sont les acteurs derrière ces technologies ?

Le recyclage des batteries n'est pas nouveau, les entreprises de recyclage traitant les batteries et autres déchets électroniques depuis des décennies. Les opérations de pré-traitements restent difficilement automatisables compte tenu de l'hétérogénéité de tailles, de chimies et de formes des batteries en l'absence de normes strictes d'étiquetage. Ces opérations devront être adaptées à la dangerosité de la manutention et du traitement de batteries de haute tension, utilisées dans les véhicules électriques.

Le recyclage d'une batterie lithium proprement dit consiste dans l'opération de traitement de la « black mass », la poudre noire issue du broyage qui concentre l'essentiel des matériaux critiques. Si la pyrométallurgie reste très répandue pour le recyclage de batterie de produits électroniques, riches en cobalt, les procédés hydrométallurgiques sont généralement perçus comme étant l'approche la plus prometteuse pour le recyclage des batteries de véhicules électriques car ils affichent de meilleurs taux de récupération de la plupart des composants de la « black mass » et une meilleure empreinte environnementale.

Les procédés hydrométallurgiques concentrent logiquement la plupart des acteurs et start-ups du secteur qui combinent selon leur approche :

1/ traitement mécanique et pyro/hydrométallurgie ;
ou

2/ traitement mécanique (parfois en solution aqueuse) et hydrométallurgie (avec plusieurs variantes). La plupart des entreprises de recyclage de batteries lithium de grande taille sont encore au stade pilote, quoique certaines soient passées à l'échelle commerciale. On peut déplorer la relative inertie de l'Europe, où très peu de projets commerciaux adaptés au traitement des batteries haute tension ont été annoncés à ce jour, exception faite de Northvolt, Primobius, Stena Recycling et Li-Cycle. Cette situation contraste avec la Chine, où l'industrie

est dominée par Brunp et GEM, et les États-Unis, la région la plus active en termes de levée de fonds dans le domaine du recyclage qui attire le plus grand nombre de projets et start-ups (Redwood Materials, Li-Cycle).

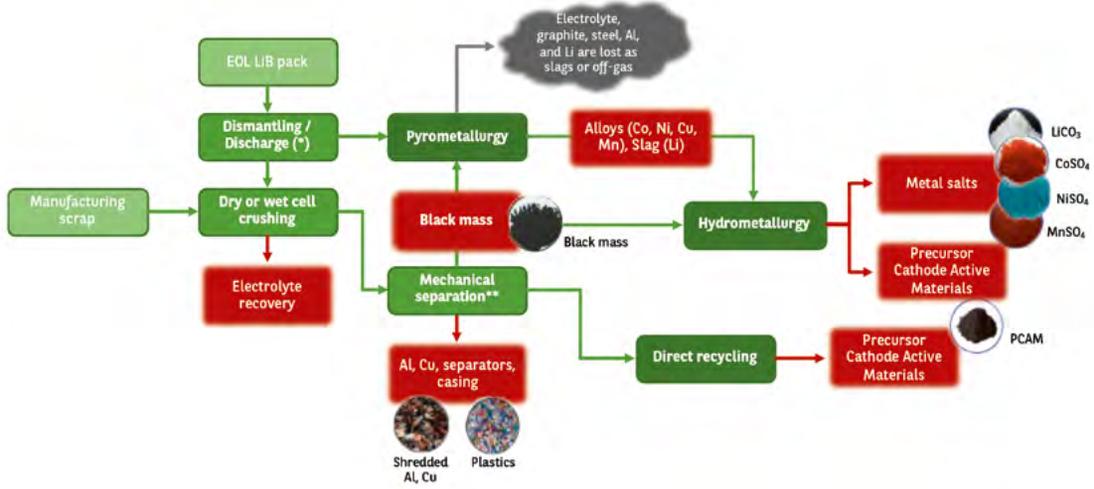
■ Quelles sont les principales technologies de recyclage des batteries ?

Même avec les progrès de la technologie, le début du processus n'a pas beaucoup changé, les travailleurs se tenant debout au-dessus d'un tapis roulant de vieilles batteries qu'ils alimentent dans une déchiqueteuse. Avec le recyclage des batteries de véhicules électriques il faudra y ajouter le déchargement et le démantèlement préalable du pack de batterie (en modules ou piles), un procédé seulement partiellement automatisable.

Une fois concassée et l'électrolyte retirée, le processus de recyclage d'une batterie proprement dit peut commencer avec la séparation du revêtement en plastique et des morceaux de feuille de cuivre et d'aluminium (collecteurs de courant), laissant un matériau appelé « black mass », la poudre noire issue du broyage des batteries qui représente plus de 50 % de la masse d'une batterie. Il constitue véritablement le cœur de la batterie et contient les métaux critiques : du nickel, du cobalt, du lithium, du manganèse ainsi que du graphite et d'autres substances.



Les principales étapes et procédés de recyclage de batteries



* Optionnel pour les batteries de petites tailles.

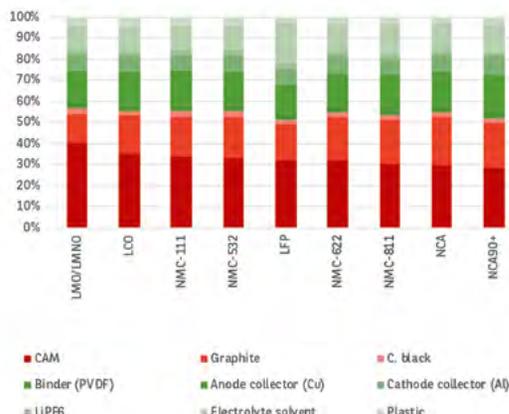
** Peut impliquer une séparation magnétique, de densité et/ou de taille.

Source : Industrie, Rare Earth Advisory, mars 2022.

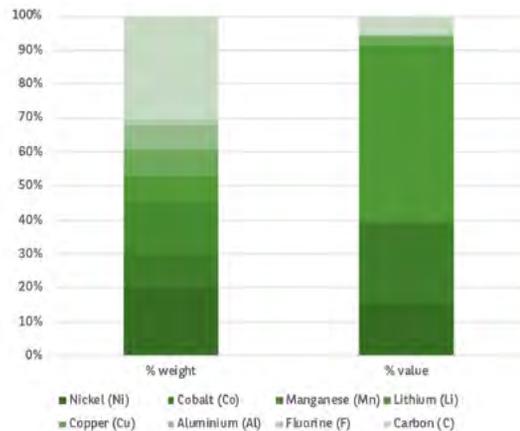
Ayant déjà détaillé au préalable les problématiques liées à la composition/la chimie et la logistique/la manipulation dans les opérations de pré-traitement des batteries de grande taille (voir question n° 3), nous nous attardons ici sur l'étape la plus complexe du processus de recyclage d'une batterie et l'essence

des technologies développées pour traiter la « black mass », en extraire les matériaux critiques et éliminer les impuretés. Le terme de « black mass » peut d'ailleurs s'avérer trompeur, puisqu'il englobe des poudres de puretés différentes sous le même terme générique.

Poids relatif des différents composants d'une batterie selon la chimie de la cathode



Contenu d'une « black mass » type en masse et en valeur

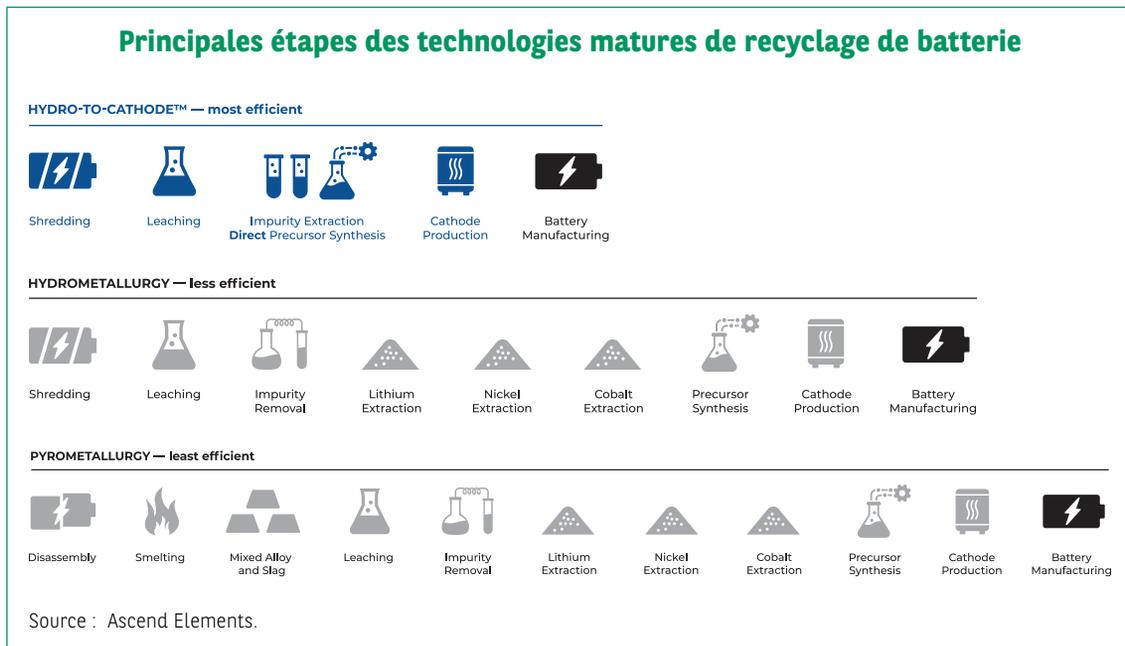


Source : d'après R. Sommerville, P. Zhu, M.A. et al. Rajaeifar, Volkswagen, Benchmark Minerals Intelligence, Rare Earth Advisory, mars 2022.

6. Où en sont les technologies de recyclage des batteries ? Quels sont les acteurs derrière ces technologies ?

On distingue trois principales méthodes de recyclage : la pyrométallurgie, l'hydrométallurgie (avec sa variante la co-précipitation ou « hydro-to-cathode ») et le recyclage direct. Seules les deux

premières sont à ce jour à des stades matures de développement commercial selon différentes combinaisons, alors que le recyclage direct, quoique prometteur, reste encore à l'état de R&D.



1. La pyrométallurgie est la méthode de recyclage de batterie la plus simple et la plus répandue aujourd'hui. Il s'agit d'un procédé à haute température (800 à 1 500 °C), où les différents métaux sont fondus dans un four et récupérés sous forme d'alliages (cuivre, cobalt, nickel et fer), qui sont ensuite affinés par hydrométallurgie pour obtenir des composants métalliques plus purs. Cette technologie largement utilisée pour le traitement des batteries d'appareils électroniques présente deux inconvénients majeurs qui la rendent peu adaptée au traitement des batteries pour véhicules électriques. Elle produit :

- 1/ les émissions de CO₂ les plus élevées ; et
- 2/ la plus faible fraction de composants de batterie réutilisables. Ce procédé donne la priorité

à la récupération du cobalt (Co), du nickel (Ni) et du cuivre (Cu), au détriment du graphite (C) d'une part, qui finit brûlé et du lithium (Li), du manganèse (Mn) et de l'aluminium (Al) d'autre part qui terminent dans les scories, vendues la plupart du temps à l'industrie cimentière. Précisons qu'à ce jour seul un lithium dit « technique » et non compatible avec les puretés requises dans les batteries peut être recouvré dans les scories issues de ce procédé ;

2. L'hydrométallurgie est un procédé mature qui repose sur le principe de la dissolution et de la séparation des matériaux de la batterie à basse température par des réactions chimiques dans des solutions aqueuses (lixiviation ou « solvant extraction »). La plupart des techniques de

lixiviation utilisent des solutions acides pour séparer les métaux, au cours de multiples étapes, cependant, des startups comme Nth Cycle développent des méthodes alternatives sans acide (« electro-extraction »). Si la plupart des procédés hydrométallurgiques visent à isoler les différents matériaux critiques qui doivent ensuite être transformés en matériaux précurseurs, plusieurs start-ups comme ABTC, American Manganese, Ascend Elements (ex-Battery Resourcers) ou GreenLi-ion développent des procédés prometteurs de co-précipitation ou « hydro-to-cathode » qui permettent d'aboutir à des matériaux précurseurs directement comme illustré ci-dessous. Cette approche est toutefois moins flexible que l'approche traditionnelle et requiert une grande homogénéité des intrants pour diminuer les impuretés dans la « black mass ». Quelle que soit l'option retenue, l'hydrométallurgie permet de récupérer la plupart des matériaux présents dans les cathodes, génère moins de déchets et émet moins de CO₂ que la pyrométallurgie. Il s'agit toutefois d'un procédé complexe qui nécessite qu'un minimum de matériaux externes (électrolyte,

plastique, collecteurs, graphite) soient présents dans la solution pour être rentable.

3. Le recyclage direct vise à restaurer les propriétés initiales et la capacité électrochimique des matériaux actifs des cathodes (CAM) sans les décomposer en éléments constitutifs. Les CAM sont régénérés (« relithiated ») et réincorporés directement dans une nouvelle cellule au moyen de traitement mécaniques, thermiques, chimiques et/ou électrochimiques. En termes économiques, le recyclage direct représente la meilleure opportunité de conserver la valeur intrinsèque des matériaux critiques tout en minimisant les déchets, mais il requiert des étapes extrêmement complexes de tri et de prétraitement des batteries. Bien que les progrès récents semblent prometteurs et adaptables aux chimies LFP, le potentiel de restauration complète de la capacité initiale des matériaux actifs des cathodes n'est pas encore démontré et le recyclage direct reste encore à ses premiers stades de développement. Plusieurs start-ups poursuivent cette voie comme ReLib (« Ultra sonic assisted precipitation ») ou Recell (« Electrochemical Bath Relithiation »).



6. Où en sont les technologies de recyclage des batteries?
Quels sont les acteurs derrière ces technologies?

Nous présentons ci-dessous une synthèse exhaustive comparant les avantages et inconvénients des différents procédés évoqués ci-dessus.

Taux de récupération par matériaux et coût opérationnels selon les technologies de recyclages

Technology	Recovery rates (%)					Processing cost
	Lithium (Li)	Nickel (Ni)	Cobalt (Co)	Copper (Cu)	Graphite (C)	USD/kg battery pack
Pyro/Mech+Pyro	0%	40-60%	40-60%	>30%	0%	USD2.5-3.5/kg
Pyro/thermal+Hydro	50-60%*	>95%	>95%	>95%	0%	USD3-4/kg
Mech+Hydro	80-99%	>99%	>99%	>99%	0%	USD3-4/kg
Direct	>99%	>99%	>99%	>99%	0%	??

Source : Benchmark Minerals Intelligence, BloombergNEF, Industrie, Rare Earth Advisory, mars 2022.

Efficacité relative des technologies de recyclage

Technology	Technology readiness	Complexity	Quality of recovered material	Quantity of recovered material	Waste generation	Energy usage	Capital cost	Production cost
Pyrometallurgy	+++++	+++++	+	+++	++	+	+	+++++
Hydrometallurgy	++++	+++	+++	++++	+++	+++	+++	+++
Direct recycling	++	+	++	+++++	++++	+++	+++	+

Technology	Presorting of batteries	Cathode morphology preserved	Material suitable for direct re-use	Co recovered	Ni recovered	Cu recovered	Mn recovered	Al recovered	Li recovered
Pyrometallurgy	+++++	no	no	+++++	+++++	+++++	++	no	+
Hydrometallurgy	++++	no	no	+++++	+++++	++++	++	+++++	++++
Direct recycling	+	+++++	++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++

Legend: Best

+++++
++++
+++
++
+
Worst

Source : Nature 575, 75-86 (2019), Rare Earth Advisory, mars 2022.

Avantages et inconvénients des différentes technologies de recyclage

Technologie	Principe	Avantages	Inconvénients	Matériaux récupérés
Pyrométallurgie	Utilise des températures élevées (800 à 1 300 °C) pour faire fondre les batteries	<ul style="list-style-type: none"> • Applicable à toute chimie et configuration de batterie • Faible coût d'exploitation : aucun tri ou autre prétraitement mécanique nécessaire • Récupération élevée du Co, du Ni et du Cu • Technologie éprouvée : peut être mise en œuvre à l'aide d'installations pyrométallurgiques existantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne peut pas recycler le Li, l'Al ou les matières organiques (électrolyte, graphite et plastiques) • Ne peut pas traiter les batteries LFP • Un filtrage coûteux des gaz est nécessaire pour éviter les émissions toxiques dans l'air • Capex élevés • Un traitement supplémentaire est nécessaire pour extraire les éléments métalliques des scories (Fe, Mn, Al, Li de qualité technique uniquement) 	Co, Ni, Cu
Hydrométallurgie	Exploite la solubilité élevée des métaux de transition et du lithium dans des solutions acides	<ul style="list-style-type: none"> • Applicable à toute chimie et configuration de batterie • Flexible dans les processus de séparation et de récupération pour cibler des métaux spécifiques • Les variations des techniques hydrométallurgiques sont les meilleures options en termes de taux de récupération du Li, même si la récupération du Li de qualité batterie à l'échelle commerciale reste à prouver. La réduction des impuretés est essentielle ici • Grande pureté des produits (adaptée aux précurseurs pour cathodes, etc.) • À faible consommation énergétique • Aucune émission atmosphérique directe 	<ul style="list-style-type: none"> • Les cellules de la batterie doivent être broyées (provoquant des problèmes de sécurité) • Le prétraitement et la séparation sont essentiels pour limiter le niveau d'impuretés • L'acide décompose la structure de la cathode • Grand volume d'effluents à traiter, recycler ou éliminer • Faible rentabilité pour le recyclage des batteries LFP • Les matériaux d'anode, comme le graphite ou le silicone, et l'électrolyte, ne sont pas encore récupérés • Coûts d'exploitation élevés 	Co, Ni, Mn, Cu, Li, Al, (C, Si)

6. Où en sont les technologies de recyclage des batteries?
Quels sont les acteurs derrière ces technologies?

Technologie	Principe	Avantages	Inconvénients	Matériaux récupérés
Recyclage Direct	Vise à restaurer les propriétés électrochimiques initiales des Matériaux Actifs de la Cathode (« CAM ») sans les décomposer en éléments substituants pour une réutilisation directe	<ul style="list-style-type: none"> • Préserve la structure de la cathode • Pratiquement tous les matériaux de la batterie peuvent être récupérés, y compris l'anode, l'électrolyte et les foils • Convient aux batteries LFP • À faible consommation énergétique • Pratique pour recycler les chutes de fabrication 	<ul style="list-style-type: none"> • Des prétraitements complexes sont nécessaires • Les matériaux récupérés peuvent ne pas fonctionner aussi bien que les matériaux vierges ou devenir obsolètes au moment de leur réintroduction sur le marché • Le mélange de différents matériaux actifs peut réduire la valeur du produit recyclé • Procédés de régénération encore à développer • Pas encore opérationnel à une échelle industrielle 	Presque tous les composants de la batterie hors séparateurs

Source : d'après « Key Challenges and Opportunities for Recycling Electric Vehicle Battery Materials », Industrie, Rare Earth Advisory, mars 2022.

Les procédés combinant séparation mécanique et hydrométallurgie affichent des taux élevés de récupération de l'ensemble des matériaux de la cathode, une empreinte environnementale faible et un coût opérationnel raisonnable. La viabilité du recyclage du graphite à une échelle commerciale reste toutefois encore à démontrer (> 97 % des matériaux actifs de l'anode). Au vu de ces éléments, l'hydrométallurgie est logiquement perçue comme l'approche la plus prometteuse pour le recyclage des batteries de véhicules électriques. Il convient toutefois de noter que :

- 1/** nombre de données font l'objet de protection commerciale et sont soumis à la propriété intellectuelle ce qui rend leur obtention difficile; et que
- 2/** beaucoup de procédés sont encore en cours de développement et sujets à ajustements.

Le secteur du recyclage de batterie lithium, comme l'ensemble de la chaîne de valeur du véhicule électrique est en pleine ébullition. De nombreux travaux impliquant universités et/ou industriels (SLAC-Université de Stanford, Panasonic, Toyota-Université de Tokyo,...) sont en cours d'élaboration visant à développer de nouvelles solutions de recyclage en circuit fermé qui pourraient influencer nos conclusions.



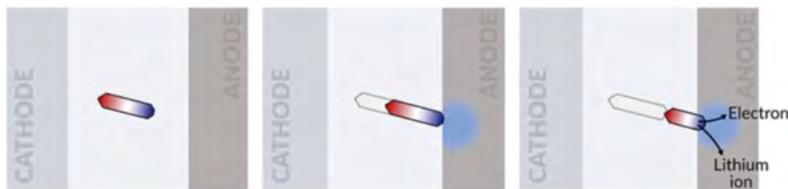
La revitalisation des batteries lithium à l'étude

Des chercheurs du SLAC National Accelerator Laboratory du ministère de l'Énergie américain et de l'Université de Stanford ont peut-être trouvé un moyen de revitaliser les batteries au lithium rechargeables, augmentant potentiellement la durée de vie et l'autonomie des batteries des véhicules électriques et des appareils électroniques de nouvelle génération.

Au fur et à mesure des cycles de charge/décharge, de petits amalgames d'ions lithium inactifs s'accumulent. Il en résulte une perte

de capacité de la batterie à stocker lors de la charge, problématique pour la charge rapide des batteries lithium, en particulier pour les batteries lithium-métal (« solid state »). Mais l'équipe de recherche a découvert que l'ajout d'une brève étape de décharge à courant élevé juste après avoir chargé la batterie permettait de faire glisser ces ensembles d'ions lithium « morts » comme des vers jusqu'à l'anode où ils se reconnectaient, inversant partiellement le processus indésirable.

Processus de revitalisation étudié par les chercheurs SLAC National Accelerator Laboratory et de l'Université de Stanford



* L'amalgame d'ions lithium se déplace en ajoutant du lithium métal à une extrémité (bleu) et en le dissolvant à l'autre extrémité (rouge).

Source : Fang Liu et al., Nature, 22 décembre 2021.

L'ajout de cette étape supplémentaire a ralenti la dégradation des batteries test et augmenté sa durée de vie de près de 30 %.

<https://www.nature.com/articles/s41586-021-04168-w>

6. Où en sont les technologies de recyclage des batteries ? Quels sont les acteurs derrière ces technologies ?

■ Quelle recyclabilité, présente et future, des matériaux pour batteries ?

Après avoir passé en revue les différentes technologies de recyclage de batterie, il nous a semblé intéressant d'examiner la recyclabilité présente et future des matériaux eux-mêmes.

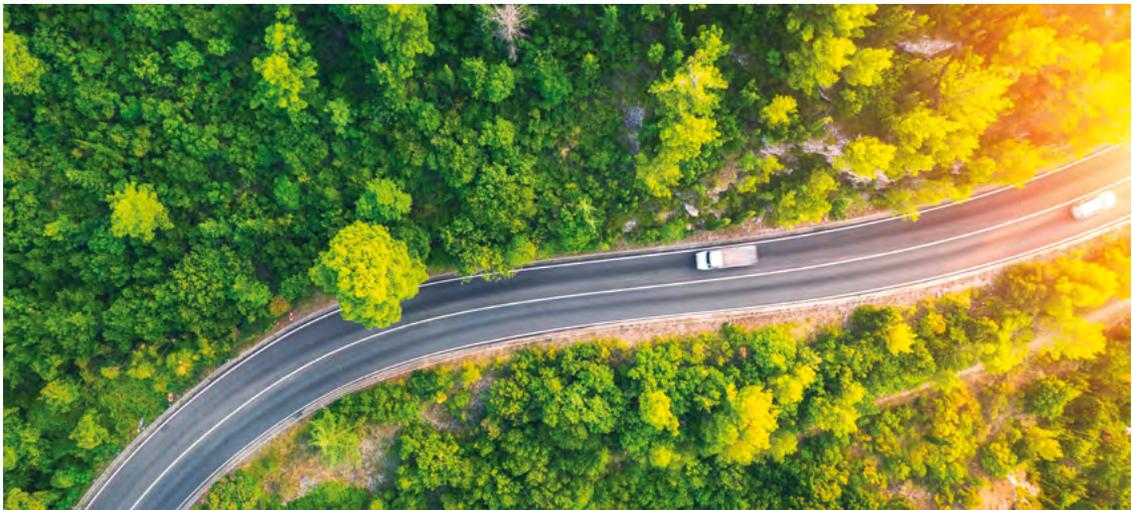
Il existe de nombreuses opportunités pour optimiser les procédés actuels de recyclage et mieux réutiliser et recycler les matériaux critiques et autres composants des batteries lithium :

1/ le démontage manuel présente de nombreux risques liés à la santé et à la sécurité en raison des constituants chimiques et des risques d'incendies. Des risques qui vont croissants avec la taille des batteries. L'automatisation du processus de démontage, même partielle, apporterait un élément de réponse à ce problème tout en y ajoutant une plus grande efficacité industrielle. La grande hétérogénéité d'architecture (CTP), de formats (cylindrique, prismatique et poche) et de chimies (LFP, LMO, NMC, NMx, NCA et leur sous-familles) des batteries augmente toutefois la difficulté du démontage automatisé. L'éco-conception, la labélisation et la standardisation des batteries (chimie, formats, etc.) nous

semblent nécessaires pour une plus grande efficacité du recyclage ;

2/ la plupart des procédés de recyclage sont avant tout développés pour récupérer des métaux critiques et parfois du graphite, mais se concentrent moins sur d'autres matériaux, tels que les solvants, les plastiques, les sels de lithium et le phosphore. Les solvants organiques et LiPF₆ qui composent l'électrolyte, notamment sont une part importante des composants batterie (> 15 % de la masse). Tous ces composants doivent être mieux pris en compte si l'on veut aboutir à une économie circulaire de la batterie ;

3/ le recyclage direct, sous réserve de sa démonstration commerciale, ou l'hydrométallurgie avec co-précipitation nous apparaissent comme des solutions optimales par rapport à leurs alternatives où les composants doivent être remanufacturés à partir des métaux ou des sels recyclés. Cependant, le recyclage direct comme la co-précipitation sont moins flexibles nécessitant une grande pureté de la « black mass » et une relative homogénéité des flux d'intrants. De fait le déploiement de capacités hydrométallurgiques standards nous semble nécessaire pour faire face à l'hétérogénéité probable des futurs flux de batteries en fin de vie.



Recyclabilité des principaux composants d'une batterie

Composants	% du poids du pack de batterie	Matériaux	Recyclabilité
Boîtier	10 %	Acier	L'acier est hautement recyclable (> 65 % de taux de recyclage EOL). L'acier est le plus susceptible d'être recyclé sous forme d'alliage.
	10 %	Aluminium	L'aluminium est lui aussi hautement recyclable (> 40 %). Il peut être recyclé sous forme d'alliage, mais les recycleurs préfèrent les grandes pièces aux feuilles minces, comme celles utilisés dans les batteries en format poche.
Collecteur de courant positif	6 %	Aluminium	Voir ci-dessus
Collecteur de courant négatif	13 %	Cuivre	Hautement recyclable (> 20 %), mais peut nécessiter d'être mis en briquettes au préalable. La valeur élevée du cuivre permet un recyclage complet.
Matériaux Actifs de l'Anode (« AAM »)	17 %	Graphite ou Silicone-graphite	Recyclabilité limitée. La structure et la morphologie du graphite se dégradent avec les cycles de chargements/déchargement, ce qui rend difficile son recyclage et sa réutilisation dans des batteries.
Matériaux Actifs de la Cathode (« CAM ») des chimies NMC, NCA...	29 %	Lithium	Il existe deux options pour le recyclage des cathodes NMC, NCA... : <ul style="list-style-type: none"> • la pyrométallurgie utilise des températures élevées avec des additifs pour éliminer sélectivement certains métaux (tels que le Li, l'Al, le Mn) pour laisser les métaux plus précieux et abondants tels que le Ni, le Co et le Cu qui sont ensuite recyclés à l'aide de procédés hydrométallurgiques; • l'hydrométallurgie est mieux adaptée et peut donc récupérer davantage de métaux, y compris le Li. Le principal enjeu du recyclage du Li est sa faible concentration par piles/batteries (faible masse moléculaire), autour de 2 % en masse.
		Manganèse	Comme le lithium, le manganèse n'est pas recyclé par les pyrométallurgistes en raison principalement de son faible prix. Des procédés hydrométallurgiques permettent de recycler le manganèse.
		Nickel	Le nickel est un métal de grande valeur qui peut être entièrement recyclé et réutilisé dans des batteries en utilisant à la fois des procédés pyro et hydrométallurgiques

6. Où en sont les technologies de recyclage des batteries?
 Quels sont les acteurs derrière ces technologies?

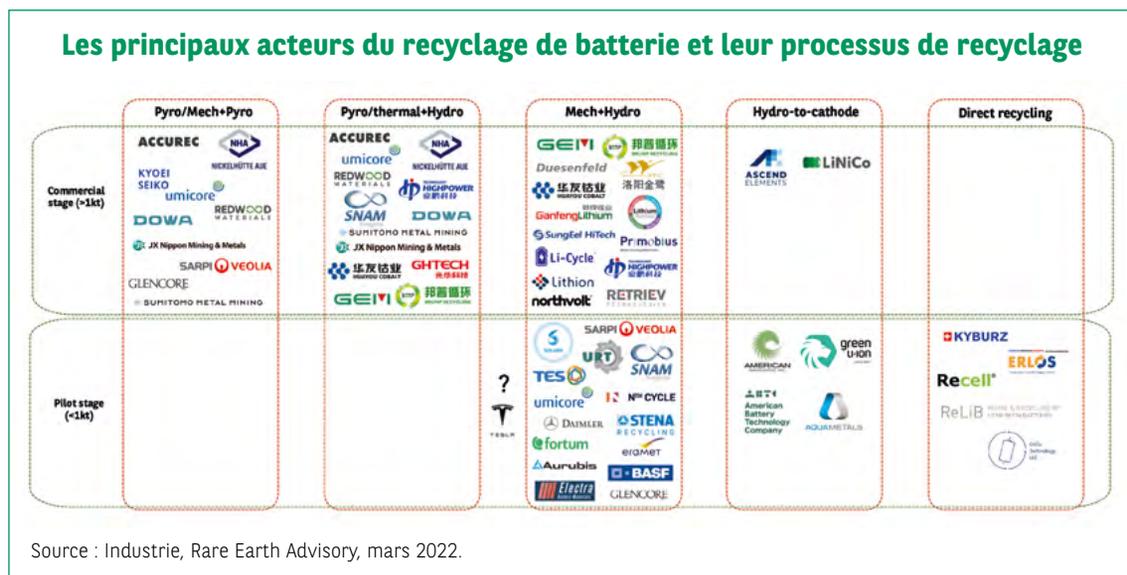
Composants	% du poids du pack de batterie	Matériaux	Recyclabilité
Matériaux Actifs de la Cathode (« CAM ») des chimies NMC, NCA...		Cobalt	Le cobalt est un métal de grande valeur qui peut être entièrement recyclé et réutilisé dans des batteries en utilisant à la fois des procédés pyro et hydrométallurgiques.
		Oxygène	L'oxygène représente environ 33 % de la cathode ou environ 11 % de la masse de la pile/batterie. La directive sur les batteries contient une disposition relative au recyclage de l'oxygène s'il peut être prouvé qu'il est utilisé dans la conversion chimique des métaux. Cela donne un avantage aux recycleurs pyrométallurgiques. Le recyclage hydrométallurgique direct de la cathode conduit à la production d'oxygène gazeux qui, s'il n'est pas utilisé, ne peut être comptabilisé.
Autres chimies de cathodes		LFP	Le recyclage direct ou des procédés chimiques alternatifs permettant d'extraire le lithium du LFP ont été démontrés à petite échelle.
Séparateurs	3 %	Polymères	Recyclabilité limitée. Les recycleurs de plastique commerciaux préfèrent les gros morceaux de plastique car le processus de fusion et d'extrusion à haute température ne convient pas aux films plastiques. De nombreux recycleurs choisissent de brûler les plastiques.
Électrolyte	11 %	Carbonates organiques	Les recycleurs sont capables de récupérer au moins une partie des carbonates organiques de l'électrolyte qui peuvent être vendus à l'industrie chimique si leur pureté est suffisamment élevée. Certains recycleurs prétendent pouvoir récupérer l'électrolyte de la solution aqueuse dans les procédés de broyage par voie humide, mais la plupart des recycleurs la brûlent ou la traitent avec des produits chimiques pour le détruire.
	2 %	LiPF6	Recyclabilité limitée. La composition de LiPF6 dans la cellule se dégrade avec les cycles de charges/décharges. La difficulté de recyclage du LiPF6 est due à plusieurs facteurs : il se décompose à des températures supérieures à 80 °C, il s'hydrolyse en présence d'humidité et, enfin, il nécessite un procédé d'extraction par solvant pour permettre sa récupération. Il est la plupart du temps soit détruit thermiquement soit hydrolysé et neutralisé.

Source : d'après « Automotive Lithium Ion Battery Recycling in the UK », Industrie, Rare Earth Advisory, mars 2022.

■ Qui sont les principaux acteurs du recyclage de batteries lithium ?

Pour compléter cette revue, nous proposons ici une cartographie des principaux acteurs du recyclage de batteries lithium selon leur technologie et leur

stade de développement. Nous avons volontairement exclu de cette liste les recycleurs se cantonnant au pré-traitement des batteries et produisant uniquement de la « black mass » qui doit ensuite être raffinée par des tiers.



Outre les capacités de recyclage existantes pour traiter les batteries électroniques de petites tailles par voie pyro, traitement mécanique et pyrométallurgie ou pyro et hydrométallurgie, ce recensement montre sans surprise que l'approche traitement mécanique et hydrométallurgie concentre l'essentiel des acteurs et des projets de start-ups.

Nous attirons une nouvelle fois l'attention sur la relative inertie de l'Europe, où très peu de projets d'expansion de capacités de recyclage adaptées au traitement des déchets de production et des batteries en fin de vie de grandes tailles ont été annoncés à ce jour. Les projets Northvolt (125 kt), Primobius (50 % - SMS/50 % - Neometal : 20 kt), Stena Recycling (10 kt) et Li-Cycle-Morrow (10 kt) font figure d'exception, dans une région où la plupart des projets en cours de développement restent au stade

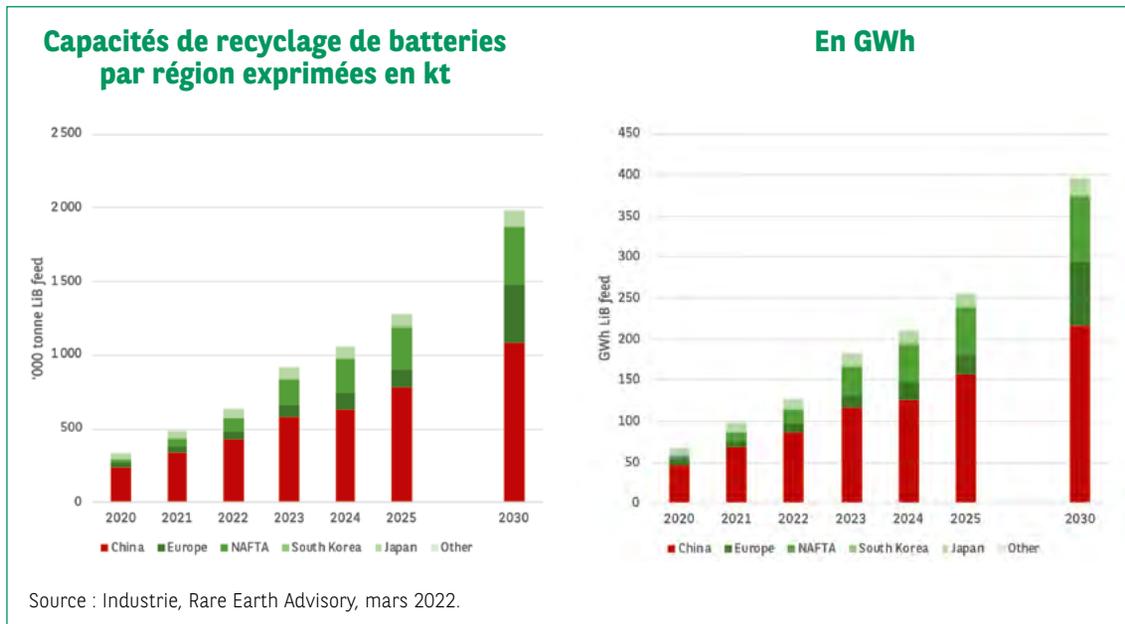
d'usine pilote (ACC-Umicore, Aurubis, Britishvolt-Glencore, Suez-Eramet, UKT-Volkswagen, Veolia-Solvay-Renault, Verkor-Snam...) et où les projets de gigafactories se multiplient. Cette situation contraste avec :

- 1/ La Chine où de larges plans d'expansions de capacité de recyclage de batteries ont été annoncés par Brunp (majoritairement contrôlé par CATL) ou GEM; et
- 2/ la région NAFTA, la plus active en terme de levée de fonds, qui concentre les nouveaux entrants avec les plans de croissance les plus ambitieux comme Li-Cycle ou Redwood Materials (au regard désormais tourné vers l'Europe) ainsi que les start-ups les plus avancées dans le domaine de la co-précipitation comme American Manganese, ABTC, Ascend Elements ou LiNico.

6. Où en sont les technologies de recyclage des batteries ? Quels sont les acteurs derrière ces technologies ?

Nous estimons que la Chine représente plus de 65 % des 650 kt de capacités de recyclage de batteries lithium déployées en 2021. Sur la base des projets approuvés à ce jour, la capacité mondiale

de recyclage de batteries devrait doubler d'ici 2025 (1 300 kt) et atteindre près de 2 000 kt en 2030 (dont près de 60 % en Chine).



À l'heure où les ambitions électriques des constructeurs automobiles s'accroissent et où les projets de gigafactories se multiplient, la course à la taille critique devient un atout majeur pour sécuriser des alliances avec les OEMs, comme le montrent Redwood Materials (AESC Envision, Amazon, Ford, Panasonic,

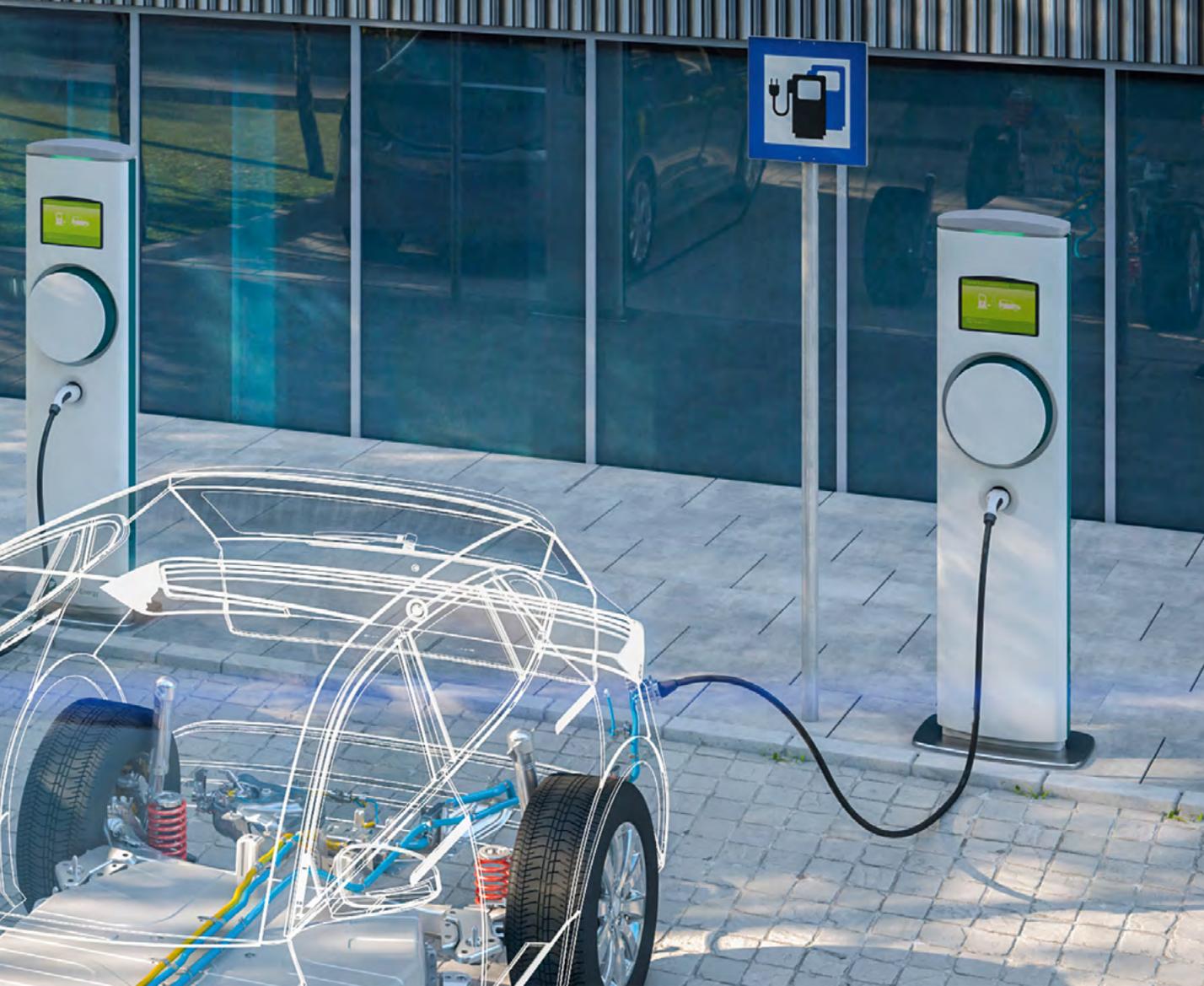


SK One, Tesla) ou Li-Cycle (GM, LGES, Morrow). Face à la forte intensité capitaliste d'un projet hydrométallurgique aujourd'hui (> 4 000 USD/t de capacité) le recours à un modèle « Spoke and Hub » tel que celui développé par Li-Cycle semble une option de déploiement de capacité intéressante. Les « spokes » sont des sites de démantèlements modulaires, locaux et standardisés à faible intensité capitaliste en charge des opérations de pré-traitement pour extraire la « black mass » qui est ensuite traitée dans des « Hubs » régionaux, des usines hydrométallurgiques centralisées utilisant un procédé breveté pour transformer la « black mass ».

L'octroi de subventions peut sembler nécessaire à l'accélération du déploiement de ces capacités de recyclage.







7.

**LA CHINE EST-ELLE UN EXEMPLE
À SUIVRE EN MATIÈRE DE RECYCLAGE
DES BATTERIES ?**

7. La Chine est-elle un exemple à suivre en matière de recyclage des batteries ?

Ayant fait le choix précoce du véhicule électrique, la Chine n'a eu de cesse, depuis 2015, d'articuler une partie de sa politique industrielle dans le but de maîtriser l'ensemble de sa chaîne de valeur (plan « Made in China 2025 »). Le pays s'impose aujourd'hui comme le premier fabricant mondial de véhicules électriques, de batteries lithium, de matériaux précurseurs et de matériaux critiques raffinés. Cette position la place aussi face à un certain nombre de défis auxquels seront bientôt confrontées les nations qui connaissent actuellement un boom des ventes de véhicules électriques, comme l'Europe. Il nous semble donc intéressant d'examiner comment le pays structure sa réglementation sur le recyclage des batteries.

Tout comme l'électrification des transports, le développement du recyclage des batteries est avant tout régi par la réglementation. A cet égard, il existe une différence fondamentale de conception de l'activité de recyclage de matériaux entre la Chine, où elle est principalement considérée comme une source d'approvisionnement alternative (centre de profits), et l'Occident, où cette activité relève avant tout de la gestion des déchets (centre de coûts).

Les dernières directives mettent en lumière une double volonté des autorités chinoises :

- 1/** encadrer et promouvoir l'utilisation en seconde vie des batteries (baptisée « cascade, gradient or ladder utilisation » selon l'acception chinoise) avant leur recyclage ;
- 2/** consolider l'industrie nationale entre les mains de grands réseaux normalisés, gage d'une meilleure traçabilité et d'une plus grande efficacité de la chaîne du recyclage.

L'accent mis en Chine sur la seconde vie des batteries peut bien sûr s'expliquer par la domination des chimies LFP sur le marché domestique (davantage compatibles avec cette option). Ce choix délibéré devrait néanmoins porter à réflexion et pourrait repositionner le sujet de la seconde vie des batteries dans le débat en Europe et aux États-Unis.

■ Les politiques chinoises en matière de recyclage de batteries

En juillet 2017, la Chine sélectionne 17 villes et régions pour lancer un programme pilote de recyclage des batteries pour les vieux véhicules électriques.

C'est à partir de 2018 qu'une première vague de réglementations commence à encadrer les industries de la seconde vie et du recyclage des batteries lithium. Pékin établit alors une première « white list » de cinq entreprises qui seront en charge du recyclage (et autorisées à recevoir des subventions). Cette liste s'est élargie depuis pour atteindre un total de 47 entreprises aujourd'hui. On y retrouve dès l'origine Brunp (filiale majoritairement détenue par le fabricant de batteries CATL) et GEM qui dominent l'industrie domestique et consolident à elle seules plus de 55 % de toutes les activités officielles de recyclage du pays.

Toujours en 2018, élargissant l'« Extended Producer Responsibility » (ou EPR) imposée en 2017 aux fabricants de produits électroniques et de batteries au plomb, le gouvernement chinois rend les constructeurs automobiles responsables du recyclage des batteries lithium intégrées à leurs véhicules électriques, et émet des directives pour qu'ils jouent un rôle plus actif dans le recyclage des batteries. Une plate-forme de gestion de la traçabilité est mise en service pour aider à superviser et à gérer le processus.

Dans le cadre de cette première série de directives, le gouvernement chinois encourage l'adoption de modèles économiques « Internet + recyclage », combinant digitalisation (logiciels, services en ligne, plateformes, IA, big data) et réutilisation/recyclage des batteries. Ces systèmes visent à optimiser les flux de matériaux entre les fabricants, les

municipalités, les consommateurs et les entreprises qui commercialisent des batteries de seconde vie et de recyclées. Dans sa dernière série de directives en décembre 2021, le gouvernement a clairement réitéré l'importance de l'innovation et du développement de modèles commerciaux « Internet + recyclage ».

Grandes étapes de la réglementation chinoise sur le recyclage des batteries lithium

2017

Implementation Plan of Extended Producer Responsibility System (Jan-2017):

- introduces a shift towards environmental protection making manufacturers and importers responsible for the entire life-cycle of a product from design to recycling and waste disposal;
- the EPR targets electronics, automobiles, LAB and packaging products.

2018

Interim Measures for the Management of Recycling and Utilization of Power Batteries of NEVs (Jan-2018) / NEV Power Battery Provisional Regulation on the Administration of Collection and Utilization (July-2018):

- implements labelling, a traceability system and encouraged standardization of LiBs design/production;
- requires that LiB batteries must re-assemble or recycle when they reach 80% degradation;
- whitelisted 5 companies : Quzhou Huayou Cobalt New Materials; GHTech; Ganzhou Highpower Technology; GEM; BRUNP and GHTech.

2019

Guidelines for Construction and Operation of NEV Power Battery Recycling Service Outlets (Nov-2019):

- the MIIT releases a guide for collecting and storing LiBs, along with a draft mandate on the testing of batteries that will be used in second-life application;
- guidelines also pushes OEMs to standardize batteries and design easy to disassemble products in order to address the costly manual disassembly;
- the MIIT sets minimum recovery rate for EOL LiBs >80% and set minimum recovery rates (Li: >85%; Ni, Co and Mn: >98%; REE: >97%) (in practice no strict enforcement).

2020

China New Solid State Law (Sept-2020):

- establishes EPR programs, where each OEMs (>8k NEVs)/battery producer is required to establish a system for storing and recycling/EOLB either by itself or engaging third party (must be made public)
- stipulates that the threshold for recycling will be greatly increased, and a formal license recognized by the state is required;
- outlines that illegal recycling and illegal disposal of hazardous waste exceeding >3 tonnes, if there is no recycling qualification certificate, will face considerable penalties;
- prohibits solid waste imports so far allowed as raw materials.

2021

Multiple directives from MIIT (Aug-Dec 2021):

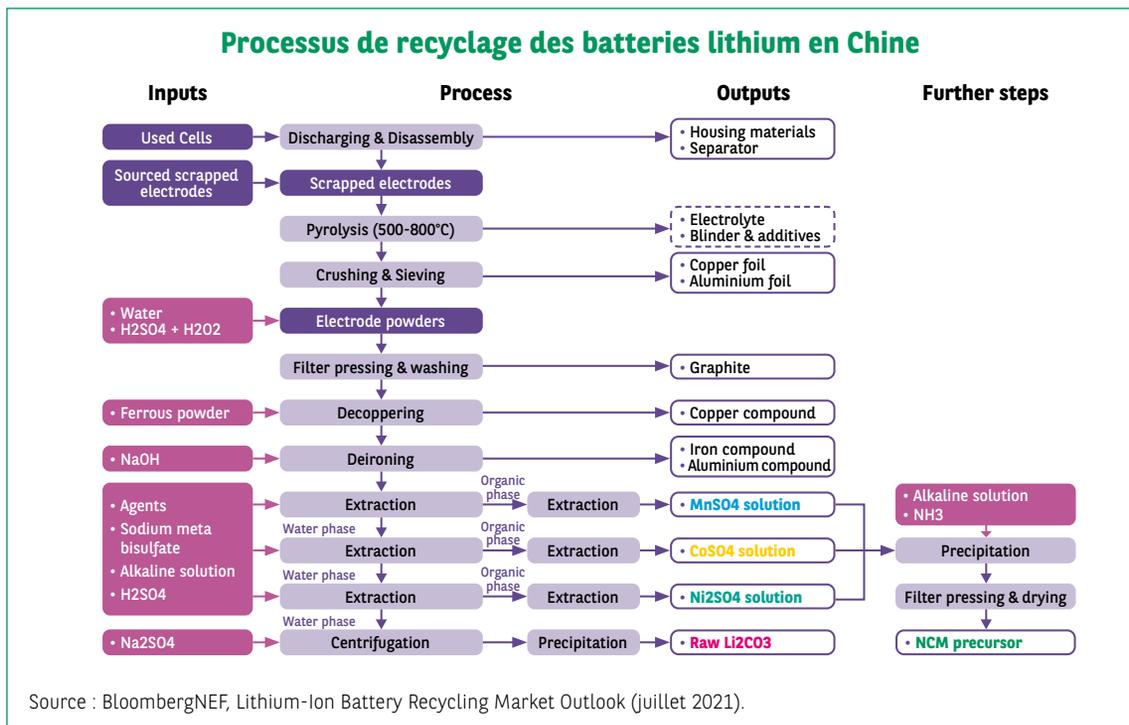
- introduces provisions for traceability and accountability of cascade utilization batteries. Includes slow light electric vehicles, base station power backup, energy storage and battery swapping applications;
- targets the emergence of a number of cascade utilisation and recycling benchmark companies.

Source : d'après les textes officiels, Rare Earth Advisory mars 2022.

7. La Chine est-elle un exemple à suivre en matière de recyclage des batteries ?

À l'issue de cette première vague de directives, les entreprises de recyclage plus petites et souvent moins chères que les entreprises de recyclage officielles se sont multipliées. Dotées de pratiques parfois dangereuses, souvent nocives pour l'environnement et aux faibles taux de recouvrement, ces ateliers de recyclage ne récupèrent pas nécessairement tous les composants des batteries et éliminent souvent de manière inappropriée des matériaux précieux et dangereux pour l'environnement. Les médias chinois rapportent que seuls 30 à 40 % des matériaux des batteries seraient aujourd'hui recyclés, loin des minimas technologiques (pyro/hydro métallurgie) et des objectifs du gouvernement central (> 80 %).

La Chine étant appelée à dominer l'industrie mondiale du recyclage des batteries lithium, il s'agit là d'un enjeu environnemental et économique majeur pour le gouvernement central (et le monde) dans le contexte du boom du véhicule électrique. Si l'amélioration de la technologie de recyclage est bien évidemment également au centre des dernières directives du gouvernement chinois, les faibles taux de récupération actuels en Chine s'expliquent néanmoins davantage par un défaut de réglementation et de standardisation.



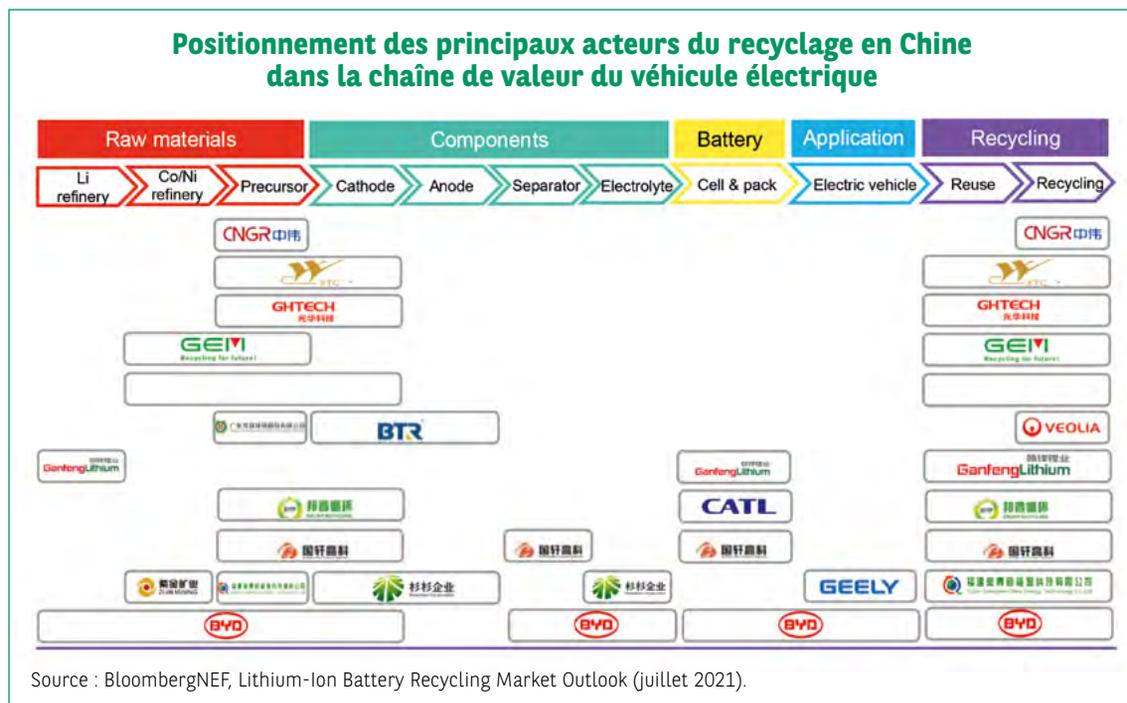
Cela explique la volonté des autorités nationales de structurer la chaîne du recyclage autour de grands acteurs, qui seront les garants de la traçabilité des batteries en seconde et en fin de vie, ainsi que de l'efficacité du recyclage de leur composants.

Le gouvernement central s'est donc montré très pragmatique, adaptant la réglementation aux évolutions de la technologie des batteries lithium et introduisant progressivement des seuils minimums de récupération par matériaux (lithium : > 85 % ; cobalt, nickel et manganèse : > 98 %). L'adoption

mi-avril par le MIIT d'une nouvelle norme pour l'hydroxyde de nickel et de cobalt brut, un produit issu du traitement intermédiaire des batteries usagées, sous le code YS-T 1460-2021, fournit d'ailleurs une illustration criante du pragmatisme des autorités chinoises. Cette nouvelle norme doit en effet faciliter l'importation et le traitement de ce produit combiné, là où les autorités distinguaient les hydroxydes de cobalt et de nickel bruts séparément. Ce produit, riche en impuretés et requérant des étapes additionnelles de purification, est devenu un produit intermédiaire de plus en plus courant dans le recyclage de batteries et pourrait constituer une source importante de flux de matériaux pour batteries à recycler.

■ Une industrie du recyclage des batteries aujourd'hui dominée par de grands opérateurs liés à l'automobile, aux fabricants de batteries ou de précurseurs

Les dernières pièces de la réglementation chinoise visent à accélérer la consolidation de l'industrie nationale de recyclage des batteries entre les mains de grands recycleurs officiels - Brunp (filiale de CATL), GEM, Huayou Cobalt, GH Tech, Ganzhou Highpower Technology, BYD ou Ganfeng Lithium - dotés de liens capitalistiques avec les OEMs (constructeurs automobiles/fabricants de batteries) et les producteurs de précurseurs pour batterie au détriment des petits ateliers non conformes. On peut d'ailleurs noter que la fondation Ellen MacArthur a récemment distingué le groupe GEM pour son action dans le recyclage des batteries usagées.



7. La Chine est-elle un exemple à suivre en matière de recyclage des batteries?

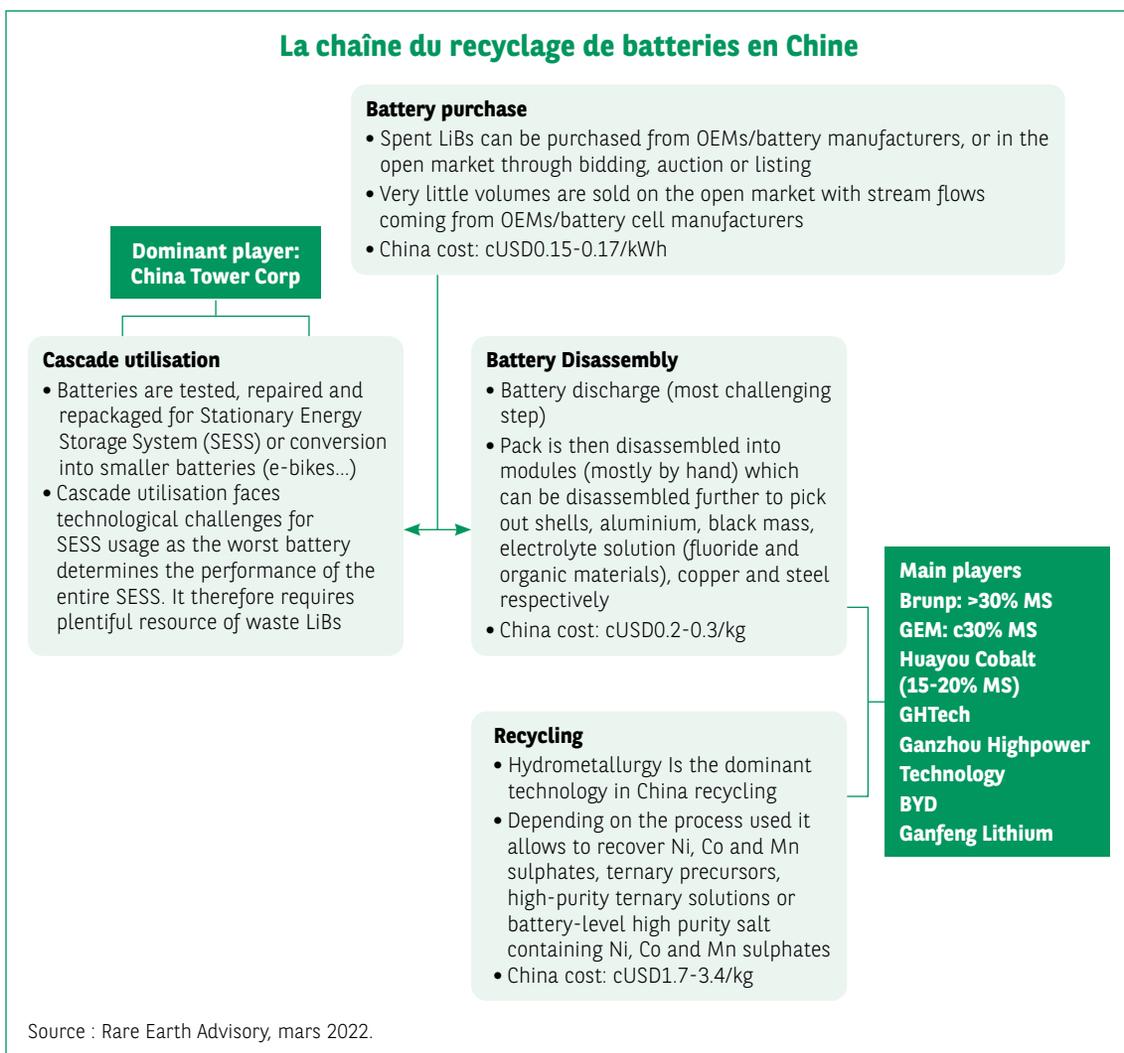
Ce n'est finalement qu'au second semestre de 2021, après la publication de son 14^e plan quinquennal (2021-25), principalement axé sur les industries du transport électrique dans tous ses aspects (infrastructure énergétique, matières premières, fabrication/réutilisation et recyclage des batteries), que Pékin publie des directives qui couvrent l'économie circulaire des batteries lithium dans sa globalité :

- en août 2021, le MIIT publie la directive intitulée « Mesures de gestion pour l'utilisation progressive des batteries de véhicules à énergie nouvelle » couvrant l'utilisation des batteries en seconde vie. Elle prévoit une collaboration entre les autorités centrales/provinciales et les industriels pour définir les dispositions relatives à la traçabilité et à la responsabilité des industries utilisant des batteries de seconde vie. Ce plan couvre la seconde vie des batteries dans la mobilité légère, l'alimentation de secours des stations de base (5G), le stockage d'énergie, l'échange de batteries. Ici, le gouvernement chinois dit qu'il encouragera « l'adoption de la location-leasing, de l'utilisation à grande échelle et de tout modèle commercial facilitant le recyclage des batteries de seconde vie. »;



- début décembre 2021, en collaboration avec d'autres départements concernés, le MIIT publie le plan « Mesures provisoires pour la gestion du recyclage des batteries de véhicules à énergie nouvelle ». Via de multiples directives, ce plan vise la mise en œuvre de la traçabilité sur le cycle de vie complet des batteries et priorise l'utilisation en cascade (seconde vie). Là encore le gouvernement central y promeut la coopération interrégionale et la synergie de la chaîne industrielle. Ce plan comprend des projets pilotes à Pékin, Tianjin, Hebei ainsi que dans 17 autres régions et implique China Tower (un fournisseur de services d'infrastructure de tour de télécommunications et l'acteur dominant en Chine sur le segment des batteries en seconde vie);
- d'autres directives publiées plus tard en décembre visent à réglementer et donner un cadre pratique pour les consommateurs, collectivités locales et les acteurs industriels, avec notamment l'introduction de normes de performance minimum selon les applications imposées aux fabricants de batteries. Le non-respect de ces standards peut donner lieu à des sanctions allant jusqu'à la destruction du site. Outre l'amélioration des réseaux de recyclage et le renforcement de la gestion de la traçabilité, Pékin met davantage l'accent sur les technologies de recyclage. Elles ciblent la création d'un certain nombre d'entreprises de référence en matière d'utilisation de seconde vie et de recyclage des batteries et visent à garantir l'accès aux financements nécessaires pour mettre en œuvre les ambitions ci-dessus à grande échelle. D'autres directives visent à s'attaquer à l'énorme tâche réglementaire consistant à garantir des normes et des pratiques garantissant la rentabilité.

La chaîne du recyclage de batteries en Chine



Normes de performance minimum adoptées en Chine en Décembre 2021

	Consumer	EV Energy	EV Power	ESS
Cell Energy	≥ 230 Wh/kg	≥ 210 Wh/kg	≥ 500 Wh/kg	≥ 145 Wh/kg
Pack Energy	≥ 180 Wh/kg	≥ 150 Wh/kg	≥ 350 Wh/kg	≥ 100 Wh/kg
Cycle Life	≥ 500	≥ 1,000	≥ 1,000	≥ 5,000
Retention	≥ 80 %	≥ 80 %	≥ 80 %	≥ 80 %

Source : The Battery Report 2021, Rare Earth Advisory, mars 2022.





8.

**QUE PENSER DU PROJET
DE RÈGLEMENT BATTERIES DE
LA COMMISSION EUROPÉENNE ?**

8. Que penser du projet de règlement batteries de la Commission Européenne ?

Fin 2020, la Commission européenne a déposé un projet de règlement sur les batteries. Il s'agit d'une législation ambitieuse qui vise à offrir un nouveau cadre prévisible et harmonisé pour la production de batteries et la gestion des batteries usagées. Ce texte est destiné à remplacer la directive de 2006, dépassée dans le contexte des rapides avancées de la technologie des batteries lithium. Le projet est ambitieux et s'inscrit dans le cadre législatif découlant du Green Deal Européen. Il constituerait le premier texte législatif fixant des critères environnementaux d'entrée sur le marché pour les batteries électriques.

Le règlement batteries vise un objectif primordial : produire des batteries durables en Europe. Le texte semble toutefois trop complexe à mettre en œuvre en l'état et doit être allégé pour mieux concilier considérations environnementales, besoins de compétitivité, et encourager ainsi l'émergence d'une chaîne de valeur locale autonome.

Ces derniers mois ont montré l'amorce d'un mouvement de structuration de l'industrie du recyclage de batteries européenne autour de partenariats

associant projet de batteries (impliquant parfois des constructeurs automobiles) et acteurs du recyclage, suivant l'exemple chinois. Nous espérons que le futur règlement communautaire sur les batteries, dont l'adoption est prévue d'ici fin 2022, donnera un cadre favorable à l'essor d'une industrie européenne du recyclage de batteries haute tension.

■ Une ambition claire de créer un cadre juridique « prévisible » et « harmonisé »

Le règlement batteries s'inscrit dans le cadre du Plan Batteries élaboré par la Commission Européenne en 2018 et accéléré depuis avec le Green Deal. La finalisation de ce texte étaient l'une des priorités de la présidence française du Conseil de l'Union européenne (PFUE). Si les choses se passent bien au Conseil européen et au Parlement, le règlement batterie devrait logiquement être adopté dans le courant de cette année. Le législateur souhaiterait même accélérer de six mois son entrée en vigueur : seules les batteries respectant un standard environnemental minimum seraient ainsi acceptées au 1^{er} Mars 2027, au lieu du 1^{er} juillet 2027.

Les 4 piliers du plan batterie de la Commission Européenne

Make sustainability the product norm in the EU, with a particular focus on resource intensive sectors where circularity potential is high: Consumer electronics, batteries and vehicles,...

EU's new growth strategy, targeting 90% reduction in CO₂ emissions for the EU to become carbon neutral by 2050 (-55% by 2030)

Circular Economy Action Plan
(March-2020)

Strategic Action Plan on Batteries
(May-2018)

European Green Deal
(Dec-2019)

New Batteries Regulation
(Dec-2020 proposal)

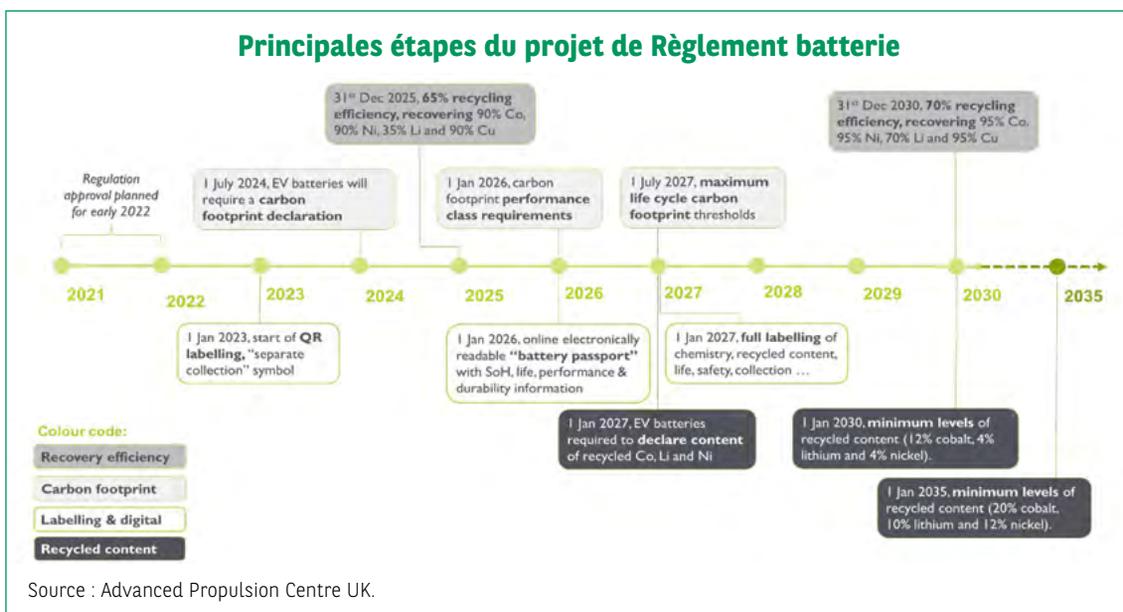
The EC promoted a cross-border/integrated plan to **develop sustainable LiB production covering the whole value chain**

European Battery Alliance
(EBA, 2017)

European Raw Material Alliance
(ERMA, 2020)

Source : Commission Européenne, Rare Earth Advisory, mars 2022.

Principales étapes du projet de Règlement batterie



Plusieurs compromis sont à l'étude, comme l'intégration des batteries de transport légers (ou « Light Means of Transport » or LTM, soit les batteries pour vélos et trottinettes électriques) exclues du texte original ou la simplification de certaines propositions afin d'en réduire la complexité. D'ici 2024, les batteries portables utilisées dans les appareils tels que les smartphones et les batteries LTM devraient être conçues pour que les consommateurs et les opérateurs indépendants puissent les enlever eux-mêmes en toute simplicité et sans danger. Il ne s'agit toutefois pas de modifier les grands équilibres du projet de règlement de la Commission, soit l'introduction de règles strictes visant à réduire l'empreinte carbone des batteries (un avantage concurrentiel clé pour l'Europe selon nous) et garantissant que la chaîne d'approvisionnement des batteries respecte en tout point les droits humains et les obligations liées au devoir de vigilance. Le rapport du Parlement européen approuvé par 584 voix pour, 67 contre et 40 absentions inscrit également des niveaux minimums de cobalt, plomb et lithium issus du recyclage dans les nouvelles batteries.

Les principales mesures, détaillées ci-dessous, peuvent être regroupées en 5 rubriques visant à établir :

- 1/** une nouvelle classification claire, différenciant les batteries par taille, puissance, application et type de chimie (plomb ou lithium);
- 2/** les objectifs minimum de taux de collecte pour les batteries portables, de récupération spécifiques par matériaux, différencié selon les familles de batterie. Le règlement prévoit en outre l'obligation de communiquer le contenu de matériaux recyclés avant la fixation d'un seuil de contenu recyclé minimum en 2030;
- 3/** la responsabilité élargie des producteurs (« Extended Producer Responsibility » ou EPR), sur un principe similaire à celui adopté en Chine (voir la question n° 6). Eurobat propose ici de préciser la notion de producteur comme suit : « Tout fabricant, importateur ou distributeur qui fournit pour la première fois une batterie à des fins de distribution ou utilisation, y compris lorsqu'elle est incorporée dans des appareils ou des véhicules, sur le territoire d'un État membre à titre professionnel »;

7. La Chine est-elle un exemple à suivre en matière de recyclage des batteries?

- 4/ un cadre réglementant l'usage des batteries industrielles en seconde vie;
- 5/ des normes pour la commercialisation des batteries de plus de 2 kWh, avec déclaration obligatoire de leur empreinte carbone à compter de 2024, d'objectifs d'empreinte carbone maximum

à respecter par la suite et le devoir de vigilance. Le devoir de vigilance consiste dans l'obligation, pour les industriels, de s'assurer du bon respect des droits humains et de l'environnement sur l'ensemble de leur chaîne d'approvisionnement.

Détail des principales mesures du projet de règlement batterie de la Commission Européenne

Classification and Definition

- Update existing legislation with a clear classification of batteries by weight (5kg), capacity (2kWh), nature (auto/industrial, portable), main chemistries (LiB, LAB).

Minimum collection, recovery and recycled content

- Min. collection for Portable batteries (>65% vs 45% by 2025) and new reporting for auto/industrial bat.
- Min. recovery for LiB (2025: 65% / 2030: 70%), with specific target by materials and LAB (2025: 75% / 2030: 80%).
- Mandatory declaration of recycled content of Li, Co and Ni by 2025; Minimum targets by 2030 (Co: 12%, Li: 4%, Ni: 4%)? Increased by 2035 (Co: 20%, Li: 10%, Ni: 12%)?

Extended Producer Responsibility (EPR)

- Clear specifications of Extended Producer Responsibility for EV (collection free of charge and without obligation to buy a new battery), industrial batteries and Producer Responsibility Obligations for portable batteries (collection free of charge to the end-user).
- It remains unclear how imported LiBs/products will be made compliant?

Second life of industrial batteries

- Used batteries are considered waste (excl. for reuse) or not? 2LB batteries are considered as new products which have to comply with the product requirements when they are placed on the market. Batteries >2kWh must have a BMS.
- Strengthened obligation on removability; new obligation of replaceability for portable batteries?

Carbon footprint and supply-chain due diligence

- Mandatory carbon footprint declaration as a condition for placing batteries >2kWh on the EU market (July-2024); performance classes (Jan-2026); and maximum life cycle footprint thresholds (July-2027).
- Voluntary (or mandatory?) supply-chain due diligence/3rd party certification for batteries >2kWh.

Source : Commission Européenne, Rare Earth Advisory, mars 2022.

En plus de la fixation de seuils minimum de collecte, de récupération et de contenu recyclé, nous trouvons particulièrement ambitieux la volonté du législateur européen de mieux encadrer les risques sociaux et environnementaux. La déclaration d'empreinte CO₂ obligatoire et le devoir de vigilance

des chaînes d'approvisionnement pour les batteries de grandes tailles constituent selon nous les étapes nécessaires à une meilleure traçabilité et transparence de la chaîne d'approvisionnement des véhicules électriques.

■ Une réglementation toutefois trop complexe à mettre en œuvre en l'état

Si les industriels soutiennent l'objectif primordial du règlement de produire des batteries durables en Europe, en conciliant les considérations environnementales et besoins de compétitivité, ils estiment néanmoins – non sans raison – que le texte de 130 pages comporte en l'état trop de sous-mesures, sources de complexité, et doit être allégé. Il soulève en effet plusieurs questions :

- 1/ l'article 16 donne beaucoup de pouvoir à la Commission Européenne, lui permettant d'élaborer/de fixer des normes, alors que celles-ci sont élaborées par des experts internationaux. Comment déterminer aujourd'hui les normes d'une technologie en pleine ébullition ?
- 2/ la mise en place d'un cadre méthodologique pour le calcul de l'empreinte carbone, du contenu

recyclé et des outils pour la mise en œuvre du devoir de vigilance (code des « mines responsables ») ne sont-ils pas des prérequis à la déclaration et la fixation d'objectifs numériques ?

- 3/ pourquoi tant de granularité ? La réglementation batterie vise à mesurer le contenu recyclé, l'empreinte carbone, l'étiquetage, la conformité, la gestion de la fin de vie, l'échange d'informations électroniques, etc. au niveau des lots de batteries !
- 4/ l'accès aux informations des Systèmes de Gestion des Batteries (BMS) et des batteries serait ouvert aux opérateurs indépendants : comment les réguler et garantir le droit de propriété intellectuelle ? Comment mettre en pratique ces mesures sur les batteries importées ?
- 5/ pourquoi ne pas clarifier la responsabilité et établir les conditions pour l'utilisation de batteries en seconde vie ?

Détail des principales mesures du projet de règlement batterie de la Commission Européenne



- **Legal clarity:** the creation of specific categories updates the 2006 Directive which had become obsolete in the context of rapid technological change. 😊
- **From directive to regulation:** equal application across Europe should help create a level playing field at EU level. 😊
- **Extended producer responsibility and recycling obligation:** clear specifications that can help shape up an Europe' 2LB/LiB recycling industry. 😊
- **Specific recycling recovery rates set for LiB and increased collection rates for portable batteries.** 😊
- **The addition of social and environmental risks** is a milestone for the establishment of a transparent and sustainable LiB supply chain. 😊



- **Art 16 empowers the EC a lot** allowing it to develop/set standards, whereas these are developed by international experts. 😞
- **Set a methodological framework first for CO₂ footprint/recycled content calculations (and supply chain due diligence):** a prerequisite before declaration and setting of numerical targets. 😞
- **A number of provisions carry high cost and administrative burden:** too much granularity from EC regulation with recycled content, CO₂ footprint, labelling, conformity, end-of life management, electronic information exchange and passport scheme at batch level! 😞
- **Access to BMS/battery information will be unrestricted to independent operators:** how feasible in particular for imported materials? 😞
- **Second life clarification:** better to set the framework conditions for reuse, remanufacture or repurpose of batteries than impose test to check if battery is technically suited for reuse. 😞

Source : Commission Européenne, Rare Earth Advisory, mars 2022.

7. La Chine est-elle un exemple à suivre en matière de recyclage des batteries ?

La charge administrative et financière supplémentaire requise par le projet de règlement pourrait en effet freiner l'essor de certains projets de batteries/ de recyclage dans l'UE, et paradoxalement avoir l'effet inverse à celui désiré par les politiques et les régulateurs européens. C'est-à-dire freiner l'émergence d'une chaîne de valeur locale autonome et propre qui profiterait paradoxalement aux grands constructeurs, équipementiers et fabricants de batteries asiatiques (chinois notamment) déjà établis, dotés d'accès aux matières premières et aux chaînes de recyclage plus structurées à ce jour.

Les associations représentant de nombreux industriels de la chaîne de valeur des batteries – de l'approvisionnement en matières premières à la fabrication de batteries, en passant par les utilisateurs de batteries et les recycleurs – soit ACEA, AVERE, CLEPA, EASE, EBRA, EGMF, EPTA, Eurobat, Eurométaux, Recharge, SolarPower Europe, ont soumis un certain nombre de propositions dans une lettre ouverte à la Commission Européenne le 21 mars, dont nous résumons les principaux points dans l'encadré ci-dessous.

Résumé des propositions formulées par les industriels dans une lettre commune soumise à la Commission le 21 Janvier 2022 :

1/ Contenu recyclé minimum :

Une approche très prudente est nécessaire sur la fixation d'un objectif de taux de contenu minimum ex-ante. Dans le cas de l'utilisation obligatoire de matières premières secondaires, les pénuries de matériaux pour batteries dans l'UE pourraient entraîner des arrêts de production ou obliger les fabricants européens à s'approvisionner en matières premières secondaires auprès de producteurs non européens.



Une exigence de contenu recyclé minimum ne soutiendrait pas la recherche d'une autonomie stratégique sur les matières premières des batteries. Cela profiterait de manière

disproportionnée à l'importation de batteries en provenance de pays non membres de l'UE, où des volumes plus importants de déchets de batteries et d'autres produits (y compris les déchets de fabrication) pour la production de matières premières secondaires sont disponibles.

L'ensemble du processus devrait également être simplifié afin de réduire la charge administrative, par exemple en rendant possible l'application en surveillant la quantité totale de matières secondaires (plomb, lithium, cobalt et nickel) utilisée par chaque entreprise chaque année sous forme de quantité agrégée, au lieu de la quantité recyclée contenu de chaque batterie individuelle.

2/ Exigences de conception et seconde vie :

L'obligation de concevoir les batteries d'une manière spécifique, telle que proposée à l'article 11, pourrait entraîner plusieurs conséquences négatives majeures qui semblent jusqu'à présent sous-estimées ou non évaluées, notamment les limites aux exigences de sécurité, de durée de



vie ou de performance nécessaires. La réglementation de l'UE devrait refléter et suivre l'évolution des progrès technologiques, y compris les améliorations de la chimie, et devrait éviter les effets de verrouillage technique, d'autant plus que le secteur se développe rapidement. Le règlement devrait fixer les objectifs généraux, tandis qu'il devrait laisser à l'industrie les choix de conception sur la manière d'atteindre ces objectifs.

Plusieurs mesures, telles que l'obligation de stocker des données sur l'état de santé ainsi que les exigences de réutilisation et de reconditionnement (art. 14 et 59), devraient être appliquées aux véhicules électriques et aux batteries de stockage d'énergie stationnaires supérieures à 2 kWh uniquement, tandis que les paramètres proposés devraient être techniquement réalisables et harmonisés au niveau international.

Le fait qu'une batterie soit techniquement adaptée à une seconde vie n'implique pas qu'il y aura une demande pour cette batterie. Le règlement devrait clarifier la responsabilité et fixer les

conditions de réutilisation, de refabrication ou de réaffectation d'une batterie, mais la décision d'appliquer les dispositions de seconde vie devrait être laissée au marché et ne devrait pas être imposée.

3/ Taux de récupération minimum :

Les mesures et les objectifs de taux de récupération minimum pour 2025/2026 et 2030 proposés devraient éviter de retarder les efforts européens visant à créer un écosystème de batteries prospère et devraient être conçus de manière à bénéficier à l'environnement sans augmenter indûment l'empreinte carbone des batteries mises sur le marché.

Cependant, des exigences excessives au-delà des taux de récupération optimaux pourraient augmenter l'empreinte carbone des batteries. Ces seuils doivent être adaptés à l'état d'avancée des technologies de recyclage et des flux de matériaux à recycler, afin d'éviter des traitements superflus et de limiter les répercussions négatives pour l'environnement et des coûts induits supplémentaires.

7. La Chine est-elle un exemple à suivre en matière de recyclage des batteries ?

4/ Empreinte carbone, performance et durabilité :

L'article 7 sur l'empreinte carbone et l'article 10 sur les performances et la durabilité s'appliqueront à toutes les batteries électriques et industrielles de plus de 2 kWh. Plusieurs propositions vont dans le sens d'étendre le périmètre à plus de batteries, alors que le périmètre actuel est déjà problématique. L'empreinte carbone et les critères de performance et de durabilité doivent être appliqués à la technologie et à l'application spécifiques de la batterie. Il n'est pas possible de définir des critères et des seuils uniformes pour toutes les batteries, ou même pour le même type de batterie, car elles fournissent des services extrêmement différents et ont des exigences techniques très diverses.

Il serait préférable d'élaborer des règles adaptées aux catégories de produits pour le calcul de l'empreinte carbone des véhicules électriques et du stockage d'énergie par batterie stationnaire et d'évaluer la possibilité de réglementer d'autres produits et applications à un stade ultérieur, à la suite d'une analyse des coûts-avantages et du potentiel d'économie d'émissions de gaz à effet de serre similaires à celles imposées par le cadre d'éco-conception.

De plus, les paramètres destinés à déterminer les performances, la durabilité et l'état de santé des batteries des véhicules électriques ne doivent correspondre qu'à ceux utilisés dans le règlement technique mondial de la CEE-ONU sur la durabilité des batteries embarquées développé par le groupe de travail sur la pollution et l'énergie. Cela signifie que les paramètres proposés dans les annexes IV et VII ne conviennent pas aux batteries de véhicules industriels ou électriques (batteries de véhicules légers ou

batteries de véhicules électriques lourds), parce qu'ils ne représentent pas les caractéristiques de performance réelles, et doivent donc être changés aussi.

5/ Restriction des substances dangereuses :

Chaque chimie de batterie disponible aujourd'hui sur le marché européen est basée sur une combinaison de métaux. Certains des métaux de la batterie ont des propriétés dangereuses. Cependant, les batteries sont des articles scellés sans risque d'exposition pour les utilisateurs finaux ou les consommateurs dans des conditions normales d'utilisation et de collecte via des systèmes de reprise et de collecte. La mise en décharge, l'incinération et l'élimination inappropriée des piles sont déjà illégales en vertu de la directive sur les batteries.



L'article 6 devrait être modifié pour faire référence aux processus REACH, SST et IED déjà existants et bénéficier ainsi de la législation horizontale existante plutôt que de créer des exigences supplémentaires spécifiques aux produits. Cela permettrait également de supprimer l'article 71 de la proposition de la Commission.

Source : d'après <https://www.eurobat.org>, site consulté le 21 mars.

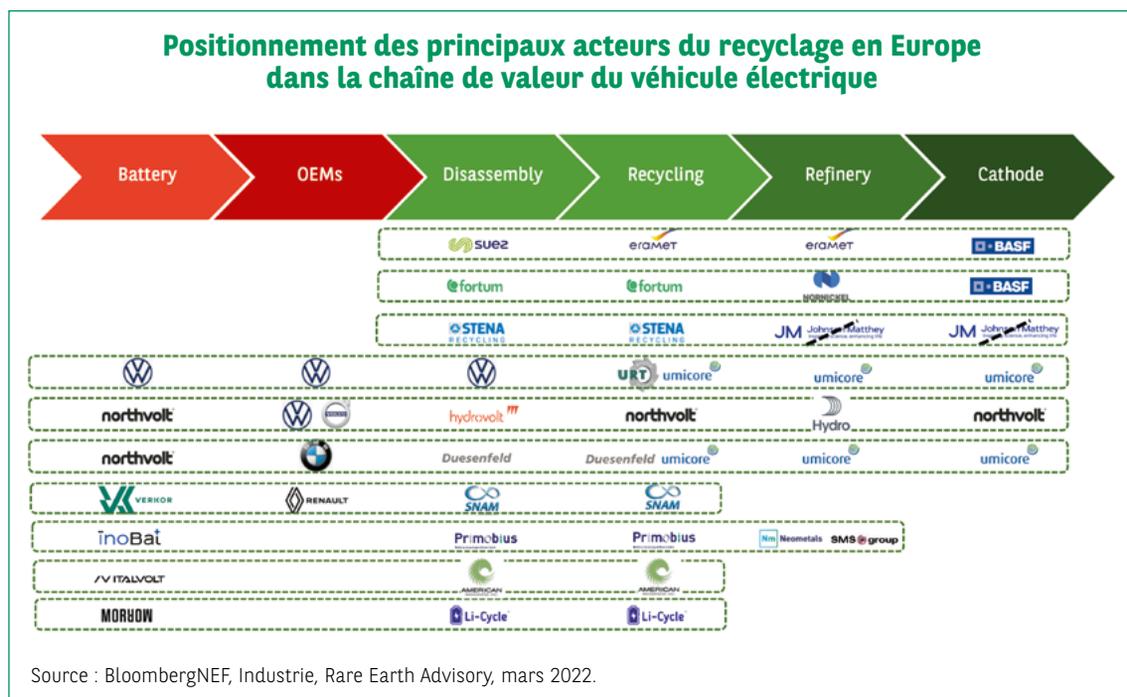
■ Un cadre nécessaire à l'établissement d'une filière de recyclage en Europe

Au-delà des complexités du texte, l'introduction de la responsabilité élargie des producteurs (« Extended Producer Responsibility » ou EPR), sous réserve que la notion de producteur soit clairement spécifiée, et la mise en place d'un cadre réglementant l'usage des batteries en seconde vie nous semble le prérequis nécessaire à l'établissement d'une réelle filière industrielle du recyclage et de la seconde vie des batteries en Europe.

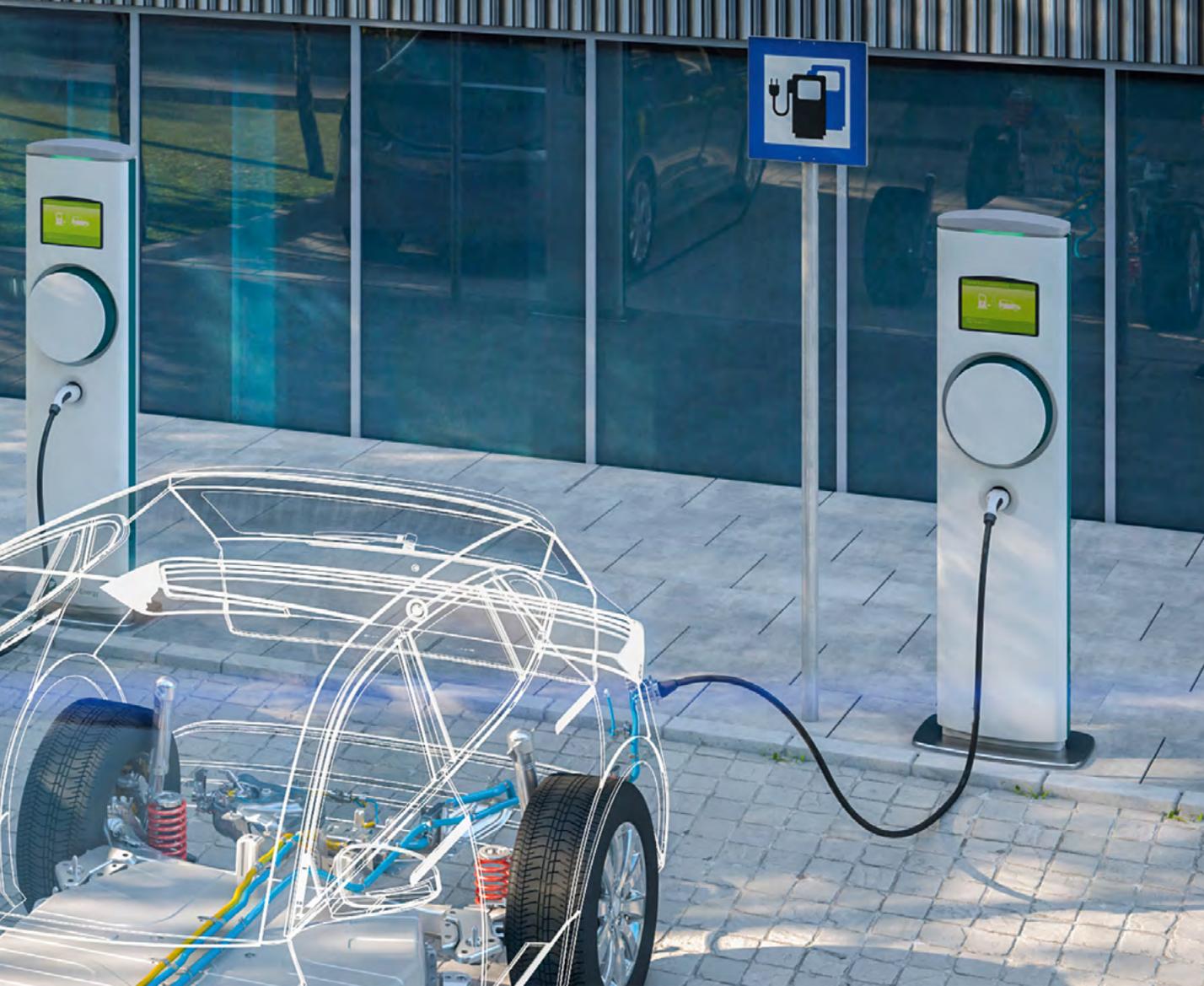
L'obligation EPR doit en effet rendre les constructeurs automobiles et fabricants de batterie, responsables de la couverture des coûts de collecte et de recyclage des batteries. Elle les pousse en outre à revendiquer le contrôle des flux de batteries (très fragmentés à ce jour), élément nécessaire à l'efficacité de leur collecte et de leur recyclage comme le montre l'exemple de la Chine.

Des mécanismes politiques efficaces, et éventuellement des incitations, seront bien sûr aussi indispensables pour encourager la collecte des batteries, l'amélioration du processus de recyclage, la réduction des coûts de recyclage, ou encore le développement des infrastructures. La multiplication des projets de gigafactories en Europe présente à cet égard une opportunité unique de structurer la filière du recyclage de batteries autour de ces usines et de déployer les capacités nécessaires au traitement des batteries en fin de vie après 2030.

Enfin il nous semble encourageant de voir émerger des partenariats associant projet de batteries et acteurs du recyclage : Northvolt-Hydro, Morrow-Li-Cycle, Verkor-Snam, Italtvolt-American Manganese ou plus récemment ACC-Umicore (usine pilote).







9.

**QUELS SONT LES PAYS EN POINTE ?
L'EUROPE ET LA FRANCE DANS TOUT CELA ?**

9. Quels sont les pays en pointe? L'Europe et la France dans tout cela?

A lors que la guerre en Ukraine a mis en évidence le problème de dépendance énergétique des pays de l'Union Européenne à la Russie, il convient de s'interroger sur le degré de dépendance encore plus important de l'Europe et des États-Unis face à la Chine tout au long de la chaîne de valeur du véhicule électrique. La maîtrise de cette chaîne de valeur et de l'approvisionnement en métaux critiques constitue selon nous un enjeu environnemental, économique et stratégique clé de la transition énergétique.

Tant en Europe qu'aux États-Unis, la production de batteries concentre pour l'heure l'essentiel des investissements laissant apparaître d'importants déficits jusqu'en 2030 en amont de la chaîne où les investissements tardent ou sont plus timides. Désormais conscients de ce risque, les pouvoirs publics des deux côtés de l'Atlantique multiplient les initiatives, pour développer et relocaliser des chaînes d'approvisionnement durable de la batterie. Les États-Unis semblent avoir une légère longueur d'avance sur l'Europe dans cette course, en particulier dans le domaine du recyclage de batteries comme en atteste la concentration de nombreuses start-ups, largement capitalisées comme Redwood Materials ou Li-Cycle. En Europe, seul Northvolt, le fabricant de batteries, est à ce jour engagé dans des projets de tailles significatives tant dans le domaine des précurseurs que du recyclage de batterie.



■ La production de batteries concentre pour l'heure l'essentiel des investissements en Europe comme aux États-Unis

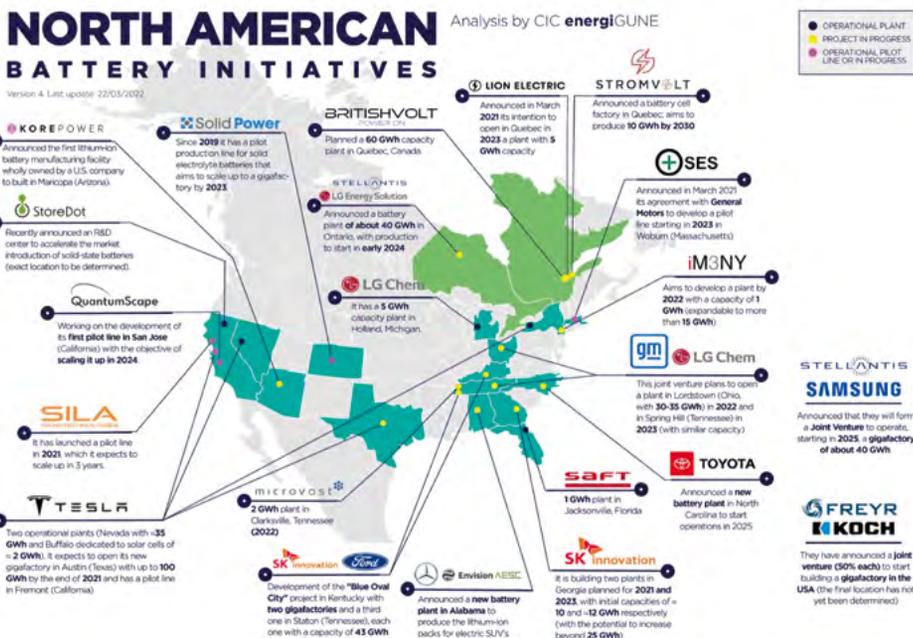
Nous avons déjà développé en question 2 la prédominance de la Chine le long de la chaîne de valeur du véhicule électrique. Pour rappel, la Chine contrôle aujourd'hui plus de 35 % de l'extraction mondiale de métaux critiques, plus de 65 % de la transformation/séparation chimique de ces matériaux (métaux raffinés, oxydes, précurseurs), plus de 75 % de la fabrication de composants (anodes, cathodes et aimants permanents) et plus de 70 % de la production de batteries lithium nécessaires à la production de véhicules électriques.

Pour l'heure tant en Europe qu'aux États-Unis, l'aval de cette chaîne de valeur, soit la production des batteries, a concentré l'essentiel des annonces de projets d'investissements, avec une nette accélération tout au long de l'année passée. À l'horizon 2030, nous estimons la capacité des projets approuvés à près de 800 GWh en Europe y compris Royaume-Uni (soit plus de 25 % de l'offre mondiale à cette date vs 2021 : 30 GWh) et à près de 600 GWh dans la région NAFTA (soit 20 % vs 2021 : 55 GWh). La multiplication continue de ces projets de gigafactories est parfaitement illustrée par les deux cartes ci-dessous réalisées et régulièrement mises à jour par CIC energiGUNE. Cette tendance s'est clairement accélérée en 2021 avec la multiplication de projets d'usines développés en partenariat avec des constructeurs automobiles occidentaux : ACC-Stellantis/Mercedes-Benz, Envision-Nissan, LG Energy Solutions-GM (Ultium), LG Energy Solution-Stellantis, LG Energy Solution-Hyundai Motors, Northvolt-Volvo Cars, Samsung-Stellantis, SK On-Fold (BlueOvalSK), SK On-Volkswagen, Tesla, Toyota, Verkor-Renault, ou Volkswagen.

Cartographie des projets de batteries en Europe



Et aux États-Unis



Source : CIC energiGUNE, site consulté en mars 2022. <https://www.cicenergigune.com/en/>

9. Quels sont les pays en pointe ? L'Europe et la France dans tout cela ?

À la lecture de ces cartes, on peut malgré tout s'interroger sur le choix en Europe de concentrer une part importante de ces projets de gigafactories dans des régions où la génération d'électricité est encore fortement carbonée comme l'Allemagne ou la Pologne. Nous estimons que moins d'1/3 des capacités projetées en Europe se situe dans des pays offrant déjà une énergie bas carbone (comme ACC, Freyr, Morrow, Northvolt, Verkor), ce qui nécessite d'accélérer le déploiement des énergies renouvelables pour diminuer l'empreinte de la production de batteries dans l'UE à l'horizon 2030.

Le plan REPowerEU élaboré en réponse à la crise énergétique actuelle pourrait apporter un élément de réponse. Outre la diversification de

l'approvisionnement en gaz, le doublement de la production de biogaz, et l'accentuation des efforts en matière d'économies d'énergie, le plan européen prévoit une accélération nette des objectifs du plan Fit-For-55 (« FF55 ») en matière d'électrification des foyers (toits solaires) et de déploiement de capacités solaires et éoliennes à l'échelle européenne (+ 20 %/an). L'ambition du gouvernement allemand de porter la part des énergies renouvelables dans la génération électrique du pays à 80 % en 2030 et 100 % en 2035 (vs. 42 % aujourd'hui) apparaît en effet comme l'une des conséquences positives de cette crise, au vu du nombre important de projets de gigafactories Outre-Rhin. De même le gouvernement britannique vise désormais 95 % de génération électrique bas carbone à l'horizon 2030.

Le plan REPowerEU suggère une accélération du déploiement des énergies renouvelables en Allemagne notamment

Axes de REPowerEU	Focus	Ambitions FF55 d'ici 2030	Mesures REPowerEU	Capacité remplacée d'ici fin 2022 (en équivalent mmc)	Capacité supplémentaire par rapport à FF55 d'ici 2030 (en équivalent mmc)
Diversification du gaz	Gaz naturel non russe	-	Diversification du GNL	50	50
		-	Diversification des importations par gazoduc	10	10
	Volumes plus élevés de biogaz	17 mmc de production de biométhane, économie de 17 mmc	Relèvement de la production de biométhane à 35 mmc d'ici 2030	3,5	18
		5,6 Mt d'hydrogène renouvelable, économie de 9 à 18,5 mmc	Relèvement de la production et des importations d'hydrogène à 20 Mt d'ici 2030	-	25-50

Axes de REPowerEU	Focus	Ambitions FF55 d'ici 2030	Mesures REPowerEU	Capacité remplacée d'ici fin 2022 (en équivalent mmc)	Capacité supplémentaire par rapport à FF55 d'ici 2030 (en équivalent mmc)
Électrification de l'Europe	Habitation	Mesures d'efficacité énergétique, économie de 38 mmc	Économies d'énergie à l'échelle de l'UE, par ex. grâce à une baisse de 1° C du chauffage dans les bâtiments, économie de 10 mmc	14	10
		Comptabilisation dans le cadre des chiffres globaux des SER ci-dessous	Déploiement accéléré des toits solaires : jusqu'à 15 TWh sur un an	2,5	Déploiement accéléré
		30 millions de nouvelles pompes à chaleur installées en 2030, économie de 35 mmc en 2030	Déploiement accéléré des pompes à chaleur sur la base d'un doublement du déploiement débouchant sur 10 millions d'unités cumulées au cours des 5 prochaines années.	1,5	Déploiement accéléré
	Secteur de l'électricité	Déploiement de 480 GW de capacités éoliennes et de 420 GW de capacités solaires, économie de 170 mmc (et production de 5,6 Mt d'hydrogène vert)	Déploiement accéléré de l'éolien et du solaire, augmentation de 20 % du taux de déploiement moyen, économie de 3 mmc de gaz, et capacités supplémentaires de 80 GW d'ici à 2030 pour tenir compte de la production accrue d'hydrogène renouvelable.	20	Les économies de gaz résultant d'un relèvement de l'ambition sont comptabilisées au titre de l'hydrogène vert, le reste relève d'un déploiement accéléré

9. Quels sont les pays en pointe ? L'Europe et la France dans tout cela ?

Axes de REPowerEU	Focus	Ambitions FF55 d'ici 2030	Mesures REPowerEU	Capacité remplacée d'ici fin 2022 (en équivalent mmc)	Capacité supplémentaire par rapport à FF55 d'ici 2030 (en équivalent mmc)
Transformation de l'industrie	Industrie à forte intensité énergétique	Accélération de l'électrification et du déploiement de l'hydrogène renouvelable	Déploiement accéléré du Fonds pour l'innovation et élargissement aux contrats d'écart compensatoire liés au carbone	Économies de gaz comptabilisées dans le cadre des objectifs liés à l'hydrogène renouvelable et aux énergies re	

Source : European Commission.

■ Les investissements en amont de la chaîne sont beaucoup plus timides et font apparaître des déficits jusqu'en 2030 aux États-Unis et en Europe

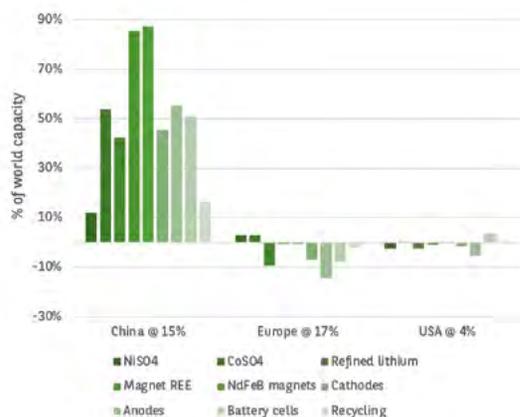
Avant de passer en revue les stratégies et alliances poursuivies par les différents constructeurs occidentaux dans la question 10, nous vous proposons ici de comparer l'état d'avancement des stratégies d'intégration amont (extraction, raffinage/séparation, composants) et de déploiement du recyclage d'ici à 2030 à l'échelle nationale de la Chine, de l'UE et des États-Unis. Pour chacune de ces régions, nous avons estimé les besoins liés aux ventes de véhicules légers électriques (xEVs) en métaux critiques raffinés (sulfate de nickel : NiSO₄, sulfate de cobalt : CoSO₄; carbonate et hydroxyde de lithium; oxydes de terres pour les aimants permanents), en composants (aimants permanents, cathode, anode) et en batteries lithium. Ces hypothèses reposent sur les taux de pénétration observés en 2021 (Chine : 15 %, Europe : 17 % et États-Unis : 4 %) et ciblés en 2025 (Chine : 20 %, Europe : 15 %, hypothèse aussi utilisée pour les États-Unis en l'absence d'objectif officiel à cette échéance). Nous avons aussi estimé la taille des marchés adressables au recyclage de batteries sur la période (déchets de production et batteries en

fin de vie). Nous avons ensuite mesuré l'écart entre les capacités installées et projetées dans chacune des régions pour déterminer un surplus ou un déficit de capacités domestiques aux différents stades de la chaîne de valeur. Nous avons ensuite rapporté ce chiffre à la capacité de production mondiale pour isoler un indicateur en % positif (surplus) ou négatif (déficit).

Cette simulation fait sans surprise apparaître une large situation surcapacitaire de la Chine tout le long de la chaîne de valeur en 2025, contre des déficits modestes en Europe (hors batterie) et aux États-Unis (hors oxydes de terres rares pour aimants permanents et recyclage).



Mesure du solde extérieur net à différents stades de la chaîne de valeur de la batterie en 2021



Et en 2025 en Chine, en Europe et aux États-Unis



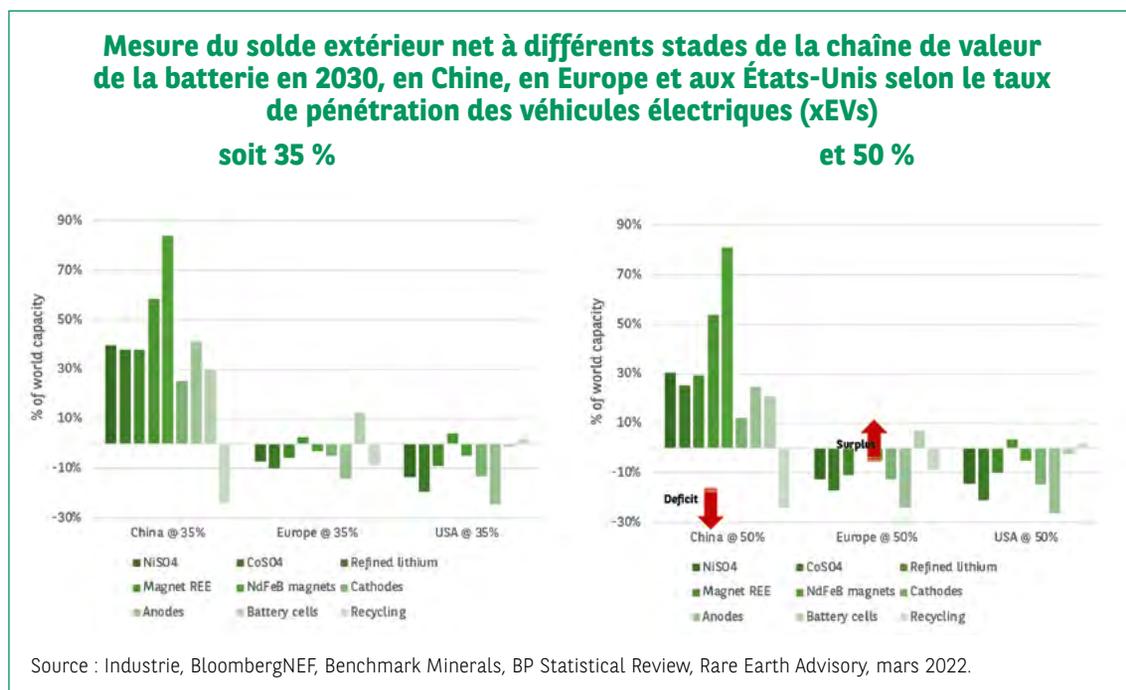
Source : Industrie, BloombergNEF, Benchmark Minerals, BP Statistical Review, Rare Earth Advisory, mars 2022.

Nous avons prolongé les simulations jusqu'en 2030 selon la même méthodologie en utilisant les objectifs officiels de taux de pénétration européens (35 %) et américains (50 %), la Chine n'ayant encore rien communiqué à ce stade. Le constat est sans appel : seule la Chine se dote de suffisamment de capacités en amont pour répondre à un objectif de plus de 35 % de pénétration de véhicules électriques en 2030. Seules les capacités de recyclage domestiques semblent insuffisantes, au vu des annonces faites à ce jour. L'Europe affiche des déficits importants hors oxydes de terres rares pour aimants permanents

et batteries. Dans le cas des États-Unis seuls les oxydes de terres rares pour aimants permanents et le recyclage sont en situation de surplus. Il convient de souligner que cette simulation est toutefois biaisée dans le cas des aimants permanents à base de terres rares et des oxydes de terres rares puisqu'elle exclut les énergies renouvelables, comme les éoliennes, beaucoup plus intensives en terres rares (il y a jusqu'à 650 kg d'aimants permanents par éolienne contre 3 kg en moyenne dans un véhicule électrique).



9. Quels sont les pays en pointe ? L'Europe et la France dans tout cela ?



Ces simulations permettent de mettre en exergue un retard évident tant en Europe qu'aux États-Unis par rapport à la Chine avec la nécessité d'accélérer les investissements en amont de la chaîne dans les deux régions. Quoique la régulation batterie soit moins avancée aux États-Unis que dans l'UE, on peut noter l'avance prise par les États-Unis (et le Canada) en matière de recyclage de batteries sur l'Europe. Dans la région, seul Northvolt affiche un plan ambitieux d'expansion conforme à son objectif de couvrir plus de 50 % de ses besoins en matières premières avec des matériaux recyclés.

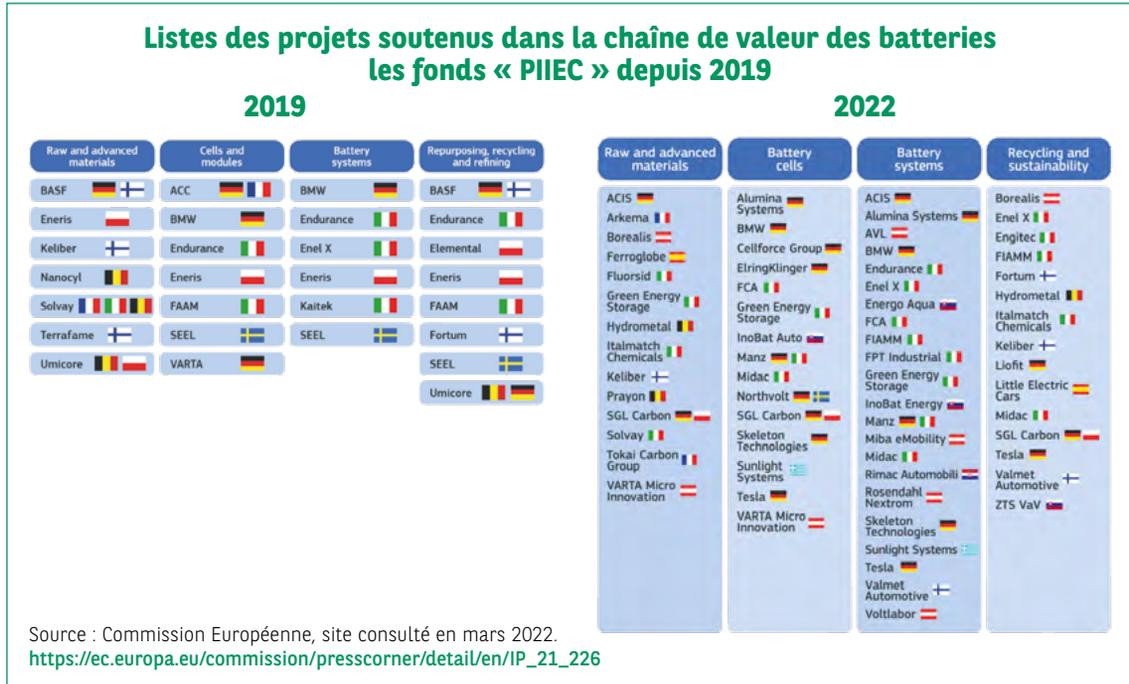
■ Conscients de ce risque, les pouvoirs publics multiplient les initiatives, avec une légère longueur d'avance des États-Unis sur l'Europe dans cette course

L'Europe a dû faire face à plusieurs déconvenues dans ses efforts d'intégration amont au cours de ces derniers mois avec l'abandon du projet lithium

de Jadar en Serbie, développé par Rio Tinto, ou la sortie des matériaux précurseurs par Johnson Matthey. Pour certains minéraux, comme le nickel ou le cobalt, l'Europe ne dispose pas de gisements viables et devra continuer de s'appuyer sur les importations, pour d'autres comme le graphite ou le lithium, il est possible de développer une offre locale (cf. saumures géothermales en Allemagne ou en France, gisements au Portugal ou en Serbie, etc.). Cela suppose de surmonter les résistances des populations locales (« NIMBY »). Mais, les initiatives gouvernementales se multiplient en Europe depuis 2019, que ce soit sous l'impulsion de l'EBA (« European Battery Alliance »), de l'ERMA (« European Raw Materials Alliance »), de l'EIB (« European Investment Bank ») et/ou directement sous l'égide de la Commission Européenne. Cette dernière a d'ailleurs autorisé en mars 2022 un deuxième Projet Important d'Intérêt Européen Commun (« PIIEC ») pour soutenir la recherche et l'innovation dans la chaîne de valeur des batteries.

Le projet, appelé « European Battery Innovation » prévoit l'engagement de 2,9 Mds EUR de financement public dans les années à venir et 9 Mds EUR

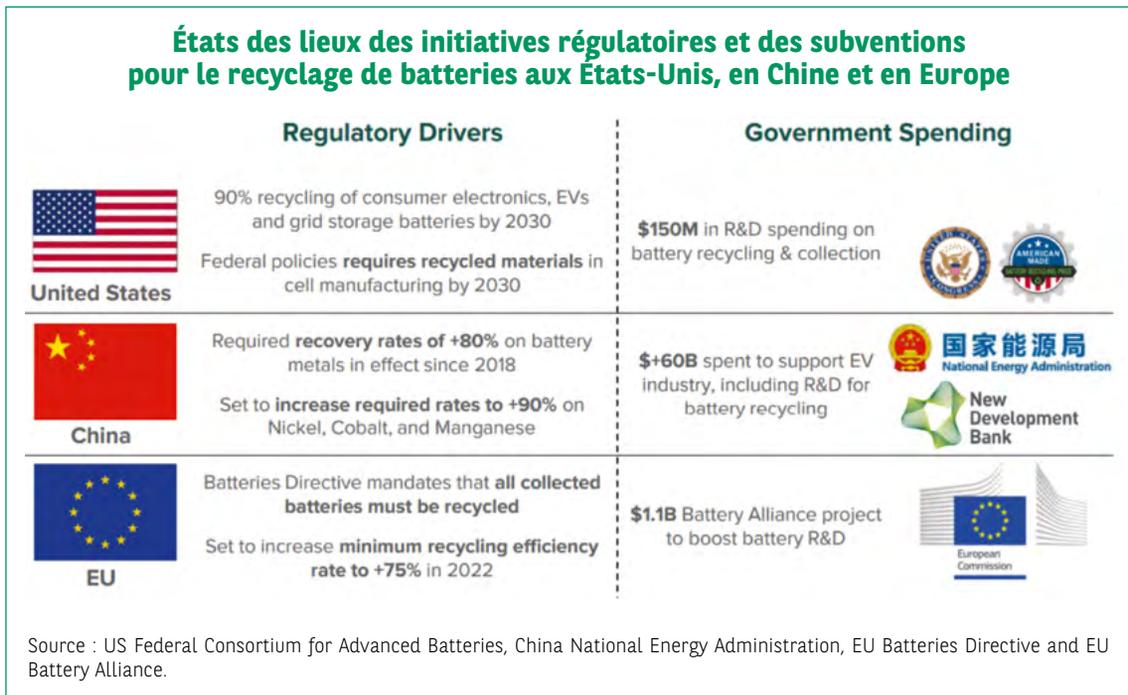
d'investissements privés. Ce plan vient compléter un plan similaire approuvé en décembre 2019 qui prévoyait 3,2 Mds EUR de financement public.



Dans la même veine, le « Department of Energy » américain a récemment annoncé le déblocage de 2,9 Mds USD (2,6 Mds EUR) de financement public pour développer une chaîne d'approvisionnement nationale de batteries. Ces fonds s'inscrivent dans l'enveloppe de l'« Infrastructure Act » qui vise 7 Mds USD destinés à la chaîne d'approvisionnement des batteries aux États-Unis au cours des 5 prochaines années. Ils soutiendront le développement de capacités de production de matériaux précurseurs, de batteries, de recyclage ainsi que les applications de seconde vie pour les batteries. Le premier volet comprend le soutien aux « installations domestiques nouvelles, modernisées ou agrandies pour le recyclage des batteries et la production de matériaux de batteries, de composants de cellules et de fabrication de batteries ». Le deuxième soutient des projets de recherche, de développement et de démonstration d'applications

de seconde vie pour les batteries. Le président Biden vient même d'invoquer une loi de 1950, le « Defense Production Act », pour encourager et sécuriser l'approvisionnement national en matériaux critiques, citant spécifiquement les besoins en lithium, nickel, cobalt, graphite et manganèse pour la production domestique de batteries. À noter que la proximité géographique et culturelle avec le Canada, joue en faveur des États-Unis dans cette course. Le Canada vient en effet de dévoiler un plan d'investissement de plus de 3 Mds USD dans son budget fédéral 2022 pour améliorer la résilience de la chaîne d'approvisionnement des batteries pour véhicules électriques. 1,2 Mds USD sera ainsi dédié à l'investissement dans de nouveaux projets de métaux et minéraux critiques, avec un accent mis sur la transformation et le recyclage de métaux et minéraux critiques à la chaîne d'approvisionnement des batteries et des terres rares.

9. Quels sont les pays en pointe ? L'Europe et la France dans tout cela ?



Dans le cas spécifique du recyclage et de la seconde vie des batteries, les États-Unis ont représenté la quasi-totalité des levées de fonds en 2021, soit près de 1,9 Mds USD, et voient de nombreuses start-ups émerger comme Redwood Materials ou Li-Cycle dotées d'importants capitaux (respectivement 3,7 Mds USD et 3,3 Mds USD) pour financer leurs plans d'expansions ambitieux (désormais tournés vers l'Europe).

Comme évoqué dans les questions n° 6 et 8, nous nous alarmons de la relative inertie de l'Europe dans ce domaine, où très peu de projets d'expansion de capacités de recyclage adaptées au traitement des déchets de production et des batteries en fin de vie de grandes tailles ont été annoncés à ce jour : Northvolt (125 kt), Primobius (50 % - SMS/50 % - Neometal : 20 kt), Stena Recycling (10 kt) et Li-Cycle-Morrow (10 kt) font figure d'exception.

Il faut s'assurer que le recyclage se fera sur le sol européen, il serait dommage de laisser repartir ces matériaux pour les racheter une deuxième fois dans un produit issu du recyclage. La course à la taille critique devenant un atout majeur pour sécuriser des alliances avec les OEMs, on peut à juste titre s'interroger sur le fait de savoir si les acteurs américains ne domineront pas l'industrie du recyclage des batteries, pour l'heure essentiellement locale, à l'image du rôle « disruptif » qu'a pu jouer un Tesla dans l'industrie automobile ? Espérons que le futur règlement communautaire sur les batteries donne l'impulsion à l'essor d'une véritable industrie européenne du recyclage de batteries haute tension.

Vous trouverez ci-dessous un état des lieux des principaux acteurs du recyclages classés par région d'implantation de leur siège social et technologie de recyclage.

Les principaux acteurs du recyclage de batterie, classés par leur siège social et leur processus de recyclage

	Pyro/Mech+Pyro	Pyro/thermal+Hydro	Mech+Hydro	Hydro-to-cathode	Direct recycling
China					
Europe					
NAFTA					

Source : Industrie, Rare Earth Advisory, mars 2022.



Et la France dans tout cela ?

En termes de production de batteries, deux projets phares sont en développement, en partenariat avec Stellantis (ACC) et Renault (Verkor) :

1/ Automotive Cell Company (ou ACC), un partenariat impliquant Saft (33 %), Stellantis (33 %) et Mercedes-Benz (33 %) qui est aussi souvent qualifié « d'Airbus de la batterie », prévoyant une première gigafactory à Douvrin (démarrage prévu en 2023 avec 8 GWh de capacités et 24-32 GWh prévus à terme). Une deuxième usine de taille similaire est programmée à Kaiserslautern (Allemagne) à l'horizon 2025. Une troisième usine est désormais à l'étude à Termoli (Italie) ;

2/ Verkor, soutenu par EIT InnoEnergy, Groupe IDEC, Schneider Electric, Capgemini, Renault Group, EQT Ventures, Arkema, Tokai COBEX, Demeter FMET et Plastic Omnium. Verkor prévoit la construction d'une gigafactory à Dunkerque (démarrage prévu en 2025 avec 16 GWh de capacités et 50 GWh prévus à terme).

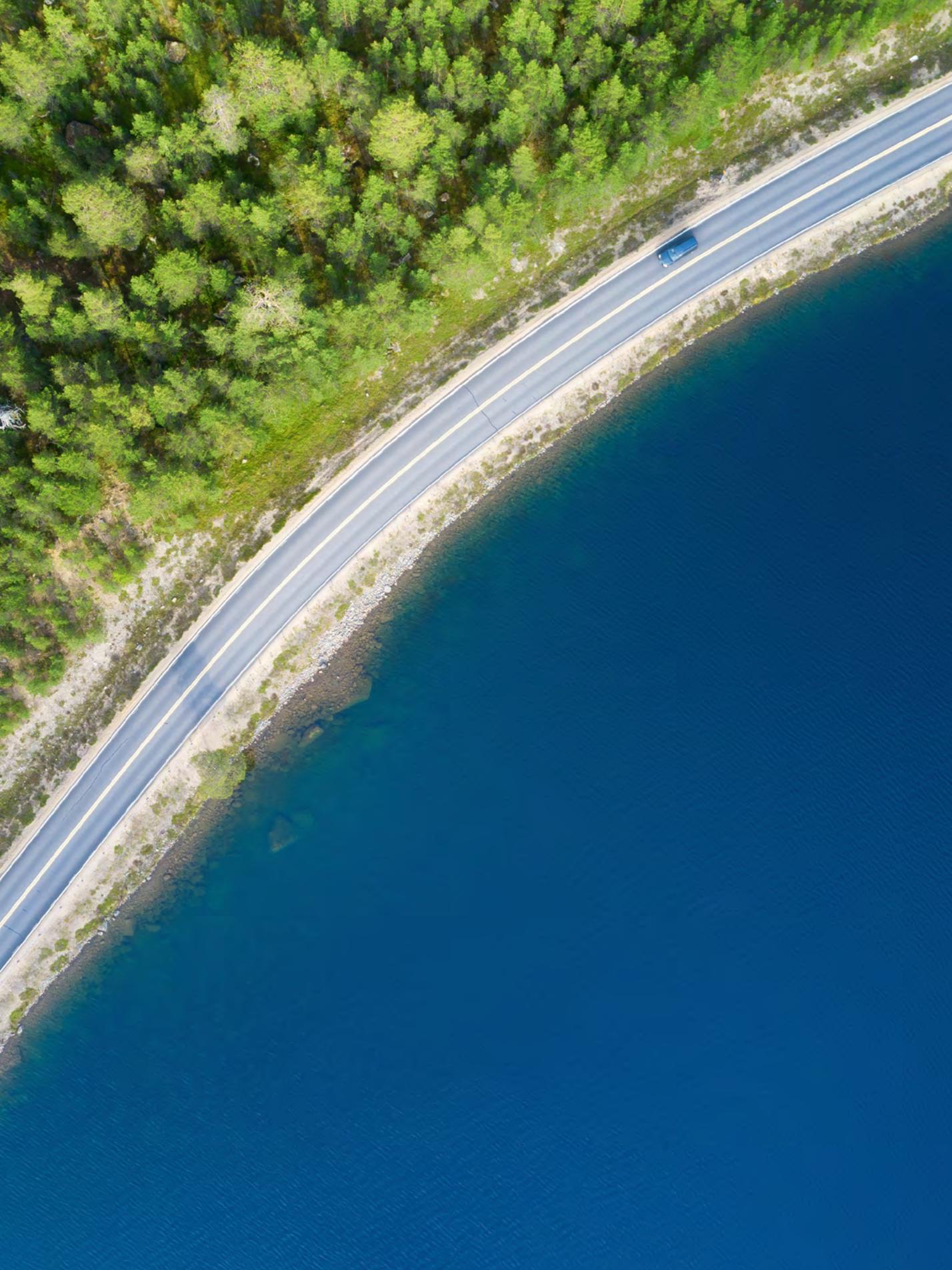


Suite à la parution du rapport Varin, le ministère de la Transition Écologique a lancé des travaux préparatoires à la constitution d'un fonds d'investissement dans les métaux stratégiques pour la transition énergétique et a annoncé travailler sur une norme ou un label, certifiable, du concept de « mine responsable », en lien avec le règlement batteries. Il y a peu d'avancées concrètes à ce stade à mentionner, en matière d'intégration amont. On peut toutefois identifier le groupe Eramet, l'un des principaux producteurs mondiaux de nickel (n° 5) et de manganèse (n° 1 pour le minerai de manganèse haute teneur et les alliages affinés de manganèse) et actionnaire majoritaire d'un projet d'extraction de lithium en Argentine (démarrage prévu pour 2024, 24 kt LCE de capacités) comme l'un des principaux acteurs nationaux de la chaîne de valeur du véhicule électrique. À noter que le groupe Eramet est aussi impliqué dans des projets de recyclage de batteries aux côtés de BASF, Suez, Chimie ParisTech et la Norwegian University of Science and Technology au sein du projet RelieVe, et par ailleurs en partenariat avec le groupe Suez. Ces projets restent toutefois à l'état d'usine pilote/de R&D à ce jour. Les autres acteurs français de la filière recyclage de batteries sont :

1/ Euro Dieuze (filiale de Veolia, 6 kt de capacité), qui collabore avec Renault et Solvay sur un projet d'usine pilote ;

2/ SNAM qui a signé un partenariat avec Verkor et dispose d'une usine pilote en phase d'expansion (5 kt) ; et **3/** Recupyl (usine pilote) ;

3/ Recupyl (usine pilote)







10.

**COMMENT L'INDUSTRIE AUTOMOBILE
S'ORGANISE-T-ELLE FACE
À CET ENVIRONNEMENT ?**

10. Comment l'industrie automobile s'organise-t-elle face à cet environnement ?

La vision d'Elon Musk, CEO de Tesla, selon laquelle la compétitivité des véhicules électriques sera de plus en plus déterminée par la chaîne d'approvisionnement plutôt que par le produit lui-même semble de plus en plus saillant dans le contexte inflationniste actuel. L'enjeu pour un constructeur automobile porte désormais davantage sur sa capacité à maîtriser sa chaîne de valeur et ses coûts pour produire des véhicules électriques en masse, que sur le fait de savoir si ses produits sont les meilleurs du marché.

Au cours des deux dernières années, tous les constructeurs traditionnels ont abandonné leur modèle industriel décentralisé : diversification des fournisseurs, des chimies et des formes, intégration amont avec la production en propre et/ou la sécurisation de contrats d'approvisionnements long-terme en matériaux critiques et en batteries, sont devenus des facteurs clés de compétitivité.

Quoique tous les constructeurs affichent des objectifs clairs en matière d'approvisionnement responsable en matériaux critiques et de circularité, force

est de constater que tous ne semblent pas avoir le même degré de maîtrise de ce nouveau modèle industriel. Au côté de Tesla, le véritable pionnier de cette révolution industrielle, Volkswagen, General Motors et Volvo Cars se distinguent de leurs pairs par leur stratégie d'intégration verticale allant jusqu'à la production de cathodes via différents partenariats industriels. En matière de recyclage, Li-Cycle, Northvolt, Redwood Materials, SNAM et Umicore sont au cœur des plus importants réseaux d'alliances.

■ Les constructeurs automobiles accélèrent leurs stratégies d'électrification...

Confrontés à la pression réglementaire, à la domination de Tesla et à l'émergence de nouveaux entrants (Lucid, Nio, Polestar, Rivian, etc.), les constructeurs automobiles traditionnels ont dû adapter leur offre et revoir en hausse les investissements ainsi que les objectifs d'électrification de leur gamme avec un virage clair en faveur du tout électrique (BEV). Même les plus réticents comme Toyota ont fortement revu à la hausse leurs plans d'électrification.



Tableau de synthèse des ambitions des constructeurs traditionnels

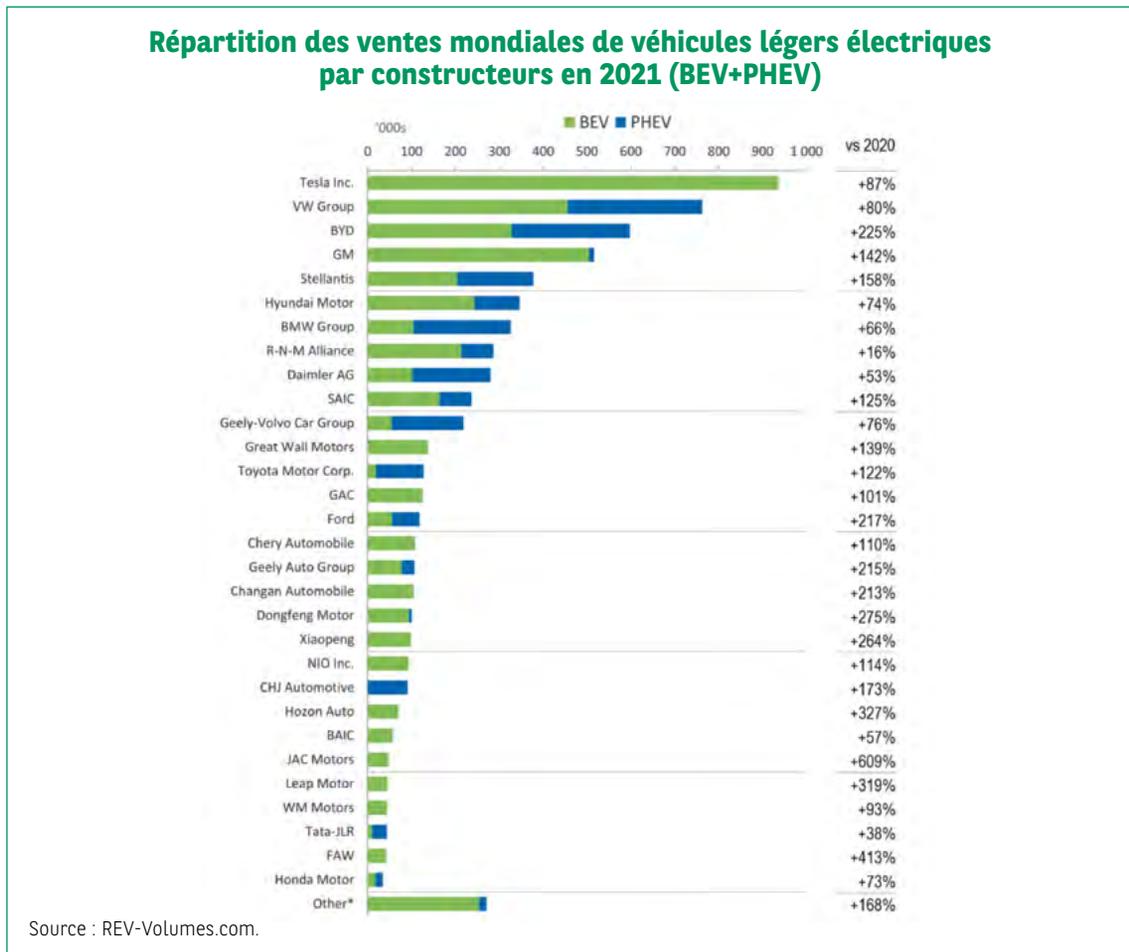
OEM	Number of BEV models	BEV sales volume	Electric vehicle aspirations		Planned investments	BEV mix (global)			xEVs (incl. PHEVs)	
			BEV penetration rate			2020	2025	2030	2020	2025
	-	1.65m BEVs by 2022 up to 20m BEVs by 2030	-	-	-	100%	100%	100%	100%	100%
	almost 70 BEVs by 2028	up to 3m BEVs by 2025	~20% BEV share by 2025, 50% by 2030 , 60% share in EU by 2030 (VW brand 70% EU, 50% in US/China)		EUR51bn in electro-mobility EUR30bn in digitalisation EUR8bn in hybridisation by 2025e	3%	20%	50%	11%	40%
	From 2025 a BEV model equivalent for every product in the line-up	-	>50% xEV by 2025, Ability for 100% EV 2030.		R&D investment of >EUR40bn in BEVs in 2022-2030	2%	20%	50%	28%	50%
	25 xEVs by 2023 13 BEVs by 2023	10m BEVs on road over 2021-30	50% BEV share by 2030 , Well over 50% CAGR 2020-25, 20% BEV CAGR 2025-30		EUR30bn in R&D for 'future-oriented tech'	2%	15%	50%	10%	25%
	35 new BEVs by 2030	-	50% BEV global BEV sales by 2030		EUR23bn over 2022-26	3%	>25%	50%	15%	>50%
	7 BEVs by 2025 (RNO brand) 1 BEV at Dacia 100% BEV Alpine brand	-	30% BEV sales by 2025e 35% hybrid sales by 2025e 100% BEV by 2030 in EU (exc-Dacia)		EUR 12bn investment as part of "Renaulution"	4%	30%	40%	8%	75%
	>8 BEVs by 2023, 23 new xEVs o.w., 15 BEVs by 2030	1m BEV by 2022	75% xEV mix in Europe (vs 50%), 55% in Japan (vs 60%) and 40% in China (unch.) by 2025 and 100% by 2030 as well as 40% in the US by 2030		EUR 15.5bn by 2026	3%	25%	40%	21%	35%
	EVs by end 2021, 45+ by 2025 and 75+ by 2030	5m BEVs by 2030	~38% xEV EU share by 2025e ~100% xEV EU share by 2030e ~31% xEV US share by 2025e 50% xEV in US for 2030		EUR30bn investment in electrification/software	2%	20%	40%	28%	30%
	23 BEVs by 2025 o/w 11 dedicated BEVs	~1.7m BEVs by 2026, 3m BEVs by 2030	BEV+FCEV = 40% in 2030, 80% 2035, 100% 2040		KRW 19t (USD 18bn) for electrification of Hyundai brand through 2030	3%	20%	40%	8%	30%
	14 BEV by 2027, of which 7 BEV on the dedicated E-GMP platform	-								
	15 xEVs by end 2020 40 xEVs, 16 BEVs by 2022	2m xEVs by 2026	100% BEV for passenger car in Europe by 2030 , 100% PHEV/BEV by 2026 in EU, 40% Global BEV by 2030		USD30bn by 2025e	1%	14%	40%	4%	20%
	30 new BEVs by 2025	>1m BEVs by 2025	100% EV for passenger cars by 2035		>USD 35bn spending in BEVs and autonomous driving by 2025e	2%	13%	40%	12%	30%
	10 BEVs by early 2020s, 15 BEVs by 2025, 30 BEVs by 2030	0.5m BEVs by 2025, 8m xEVs by 2030 (o.w. 2m BEVs/FCEVs)	35-40% EU sales BEV , 100% xEV by 2030; 8m xEVs by 2030 (vs 5.5m) o.w. 45% BEVs (vs 25%) + FCEVs		USD 13bn capex by 2025e, USD 35bn by 2030	1%	8%	20%	9%	35%
	30 BEVs by 2030, JV with Sony with first BEV model planned for 2025 / Codeveloping compact EVs with GM	2m BEVs by 2030	15% BEV share by 2030 50% HEV/PHEV share by 2030/15 80% HEV/PHEV share by 2035 100% HEV/PHEV share by 2040		USD 40bn	0%	7%	40%	11%	25%
	6 LR BEVs by 2026, Jaguar all BEV from 2026	-	JLR 20% BEV by 2026, 60% by 2030 , 100% ZEV by 2036		GBP 1bn to build EVs in the UK					
	-	0.6m BEVs by 2025	50% BEV share by 2025, 100% BEV by 2030		USD 2bn investment in electrification/software	17%			17%	50%

* Note : xEVs = BEVs + PHEVs.

Source : Rare Earth Advisory à partir des sites web des constructeurs automobiles consultés en mars 2022.



10. Comment l'industrie automobile s'organise-t-elle face à cet environnement ?



■ ...et adoptent des modèles industriels intégrés

Véritable pionnier de cette révolution industrielle, Tesla a développé une approche holistique de la chaîne de valeur du véhicule électrique depuis l'origine (y compris génération électrique et capacités de rechargement), le groupe américain ressort sans surprise comme l'acteur maîtrisant le mieux ce nouveau modèle industriel. Dans son rapport environnemental 2021, le groupe Tesla indique qu'il source en direct une part importante de ses besoins en lithium (> 95 %), cobalt (> 50 %) et nickel (> 30 %). Pour surmonter les contraintes

d'approvisionnement son PDG semble même prêt à envisager davantage d'intégration verticale comme il le déclarait à la conférence FT Future of the Car 2022 (10 mai 2022).

"We will address whatever limitations are on accelerating the world's transition to sustainable energy. It's not that we wish to buy mining companies, but if that's the only way to accelerate the transition, then we will do that."

Tesla CEO Elon Musk

Les constructeurs historiques accélèrent toutefois leur transition électrique, se dotent de plateformes dédiées à la production de véhicules électriques et répliquent le modèle d'intégration verticale de Tesla, avec leurs propres gigafactories. Le groupe BMW, dont la stratégie repose davantage sur son réseau d'alliances que sur l'internalisation de la production de batteries, fait pour l'instant figure d'exception, mais cela pourrait changer.

Confrontés à un choc technologique qui nécessite une maîtrise complète de la chaîne de valeur,

les constructeurs automobiles occidentaux ont dû abandonner leur modèle industriel décentralisé et adopter des stratégies d'intégration amont avec la production en propre des batteries, la sécurisation de contrats d'approvisionnement en matériaux critiques et le développement en interne d'une offre software, via alliances, prises de participation et/ou investissements organiques. Nous avons essayé d'établir une hiérarchie de ces différentes stratégies pour isoler les acteurs les plus en maîtrise de ce nouveau modèle industriel au terme de ces deux années de transformation à marche forcée.

Comparaison des stratégies d'intégration amont des OEMs

OEM	Rating*	In-house LIB manufacturing	Battery manufacturing Partners	CAM inhouse coverage (2030)	Cell design	Pack design	Cell chemistry	Solid State
	++	150 GWh 2025 >1,000 GWh 2030	Panasonic	??	4680 cylindric cell	Cell-to-Vehicle (CTV)	High Ni, Mn-rich, LFP	-
	++	120 GWh 2025 240 GWh 2030	Gotion, Northvolt, SK On JV	133%	Unified prismatic cell	Cell-to-Pack (CTP), CTV	High Ni, Mn-rich, LFP	QuantumScape (2024)
	++	>70 GWh 2030	Ultium JV	57%	Ultium pouch cell	Ultium pack, multiple configurations	NMCA	SES (2025)
	++	60 GWh 2030	Nothvolt JV	100%	Standardised cell	Standardised module, in-house production	NMC	-
	+	130 GWh 2025 400 GWh 2030 (vs 260)	ACC, LGES JV, Samsung SDI JV	-	Prismatic, cylindrical and pouch cell	Four platforms, CTP	LFP, Ni-based chemistry	Factorial (2026)
	+	240 GWh 2030	BlueOvalSK JV	-	IonBoost pouch cell	Flexible architecture	LFP, Ni-based chemistry	Solid Power (2025)
	+	220 GWh 2030	Envision, Verkor	-	Standardised cell	Two platforms. Standardised module, in-house production	NMC	Ionic Materials
	=	200 GWh 2030	ACC	-	Prismatic cell	CTP	LFP, Ni-based chemistry	Factorial, ProLogium, StoreDot
	=	200 GWh 2030	BYD JV, Panasonic JV	-	Prismatic cell, new structure?	Standardised module, in-house production	NMC	Toyota (2025)
	=	Pilot plant 2022?	-	-	Prismatic cell	Standardised module, in-house production	NMC	Solid Power (2025)
	-	10-30 GWh 2030	LGES JV	-	Pouch and prismatic cell	Modular Canoo platform	NMC	Solid Power (2025), Factorial (2026), SES

Source : Industrie, BloombergNEF, Rare Earth Advisory, mars 2022.

"I am trying not to be arrogant, just confident of the fact that we are going to catch up in the next couple of years with Tesla – and it's going to be a very healthy competition."

Stellantis CEO Carlos Tavares

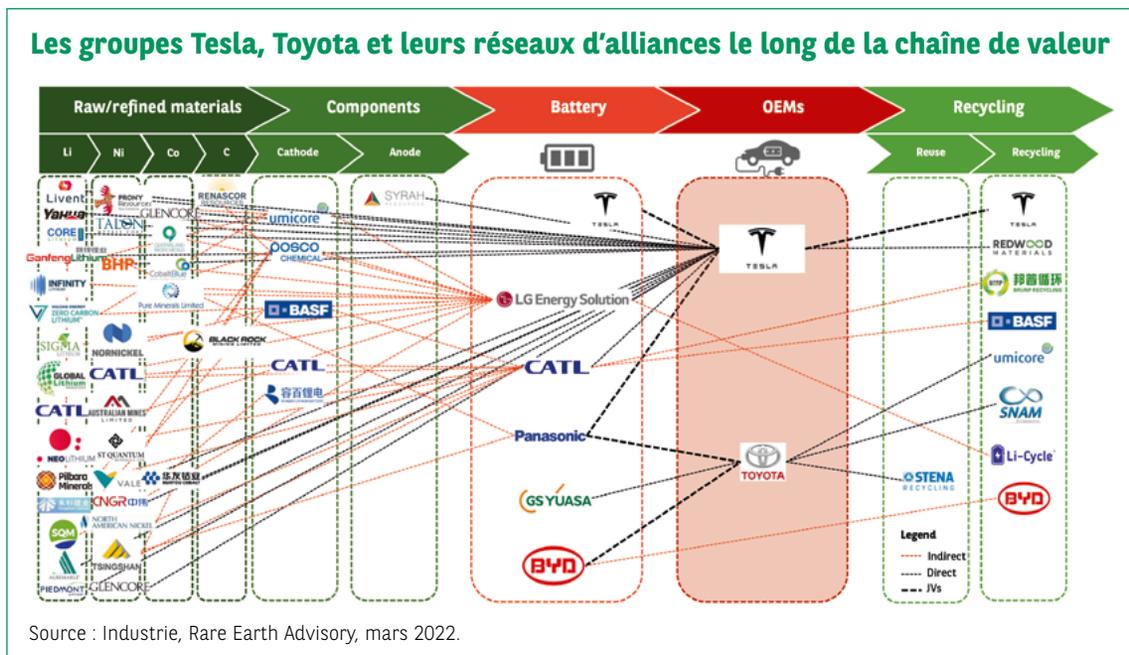
10. Comment l'industrie automobile s'organise-t-elle face à cet environnement ?

Tous les constructeurs occidentaux affichent des objectifs clairs en matière d'approvisionnement responsable en matériaux critiques et de circularité, mais on peut donc constater des divergences matérielles quant à la maîtrise de leurs chaînes d'approvisionnement respectives. Afin d'illustrer cette revue, nous vous proposons ci-dessous une cartographie des OEMs occidentaux et de leurs alliances dans la chaîne de valeur du véhicule électrique.

Les liens noirs épais signalent les partenariats directs (JVs, liens capitalistiques). Les liens fins signalent quant à eux les contrats d'approvisionnement, qu'ils soient directs (en noir) entre les constructeurs et leurs fournisseurs, ou indirects (en rouge). Ces relations de second rang sont le plus souvent centralisées autour des fabricants de batteries. On peut y constater que les fabricants de batteries CATL et LG Chem/LGES, respectivement n° 1 et 2 mondiaux, présentent les réseaux

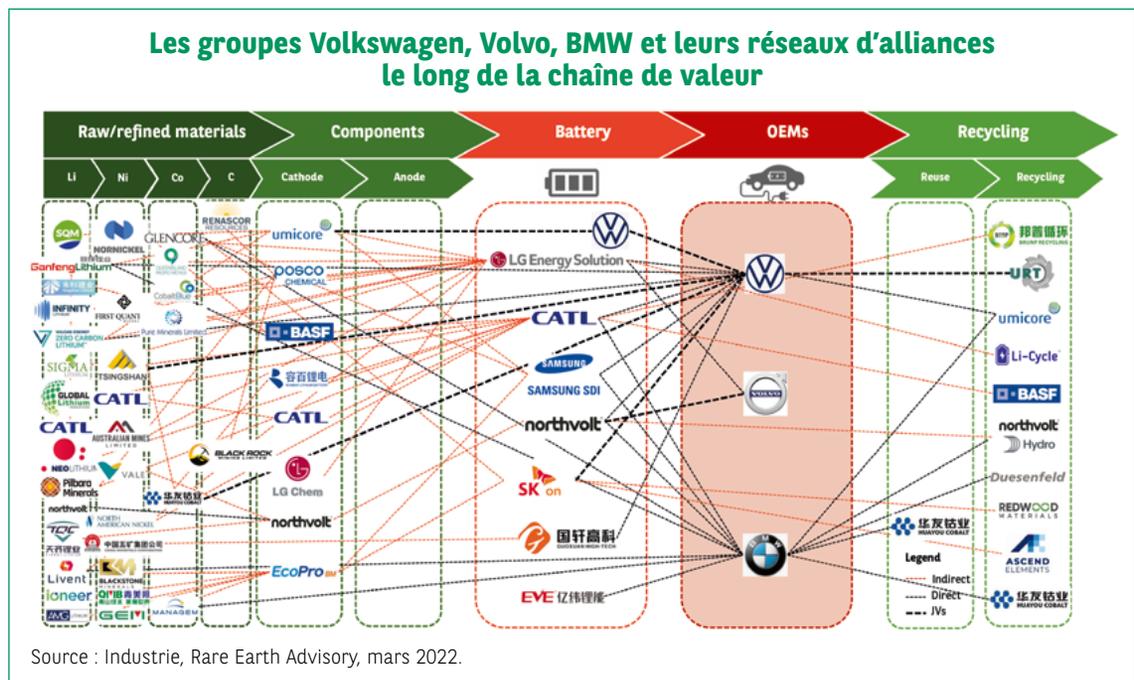
d'alliances les plus denses. Par ailleurs, le modèle industriel développé par Northvolt, combinant intégration verticale, approvisionnement en énergie bas carbone et recyclage de batterie nous semble particulièrement vertueux sur le plan environnemental, le positionnant en partenaire de choix pour les constructeurs européens.

Tesla affiche d'impressionnantes ambitions d'expansion de ses capacités de production de batteries en interne et des velléités d'intégration plus en amont (quoiqu'encore peu précises à ce stade). Disposant de nombreux contrats d'approvisionnements directs en matériaux critiques et d'une avance technologique (amélioration continue du design des batteries, de l'architecture des véhicules, recours intensif aux chimies LFP, ou software développé en interne), Tesla semble en passe de produire plus de 12,5 millions de BEV en 2030 (objectif officiel : 20 millions).



Volkswagen, General Motors et Volvo Cars se distinguent de leurs pairs par leur stratégie d'intégration verticale allant jusqu'à la production de cathodes via différents partenariats industriels : JV Umicore-Volkswagen, JV Tsingshan-Huayou Cobalt-Volkswagen, JV Posco Chemicals-General Motors ou via Northvolt dans le cas de Volvo Cars. Il est à noter que seul General Motors intègre à ce stade les oxydes terres rares et les aimants permanents dans sa stratégie d'intégration amont. Cette approche d'intégration plus en amont nous semble

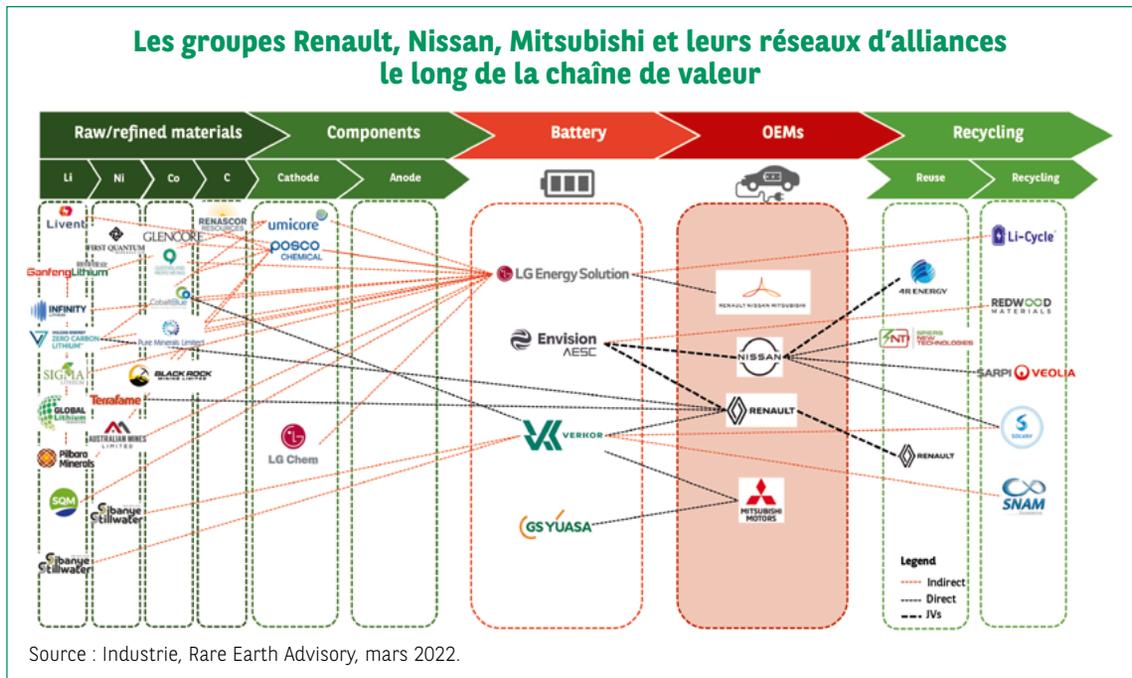
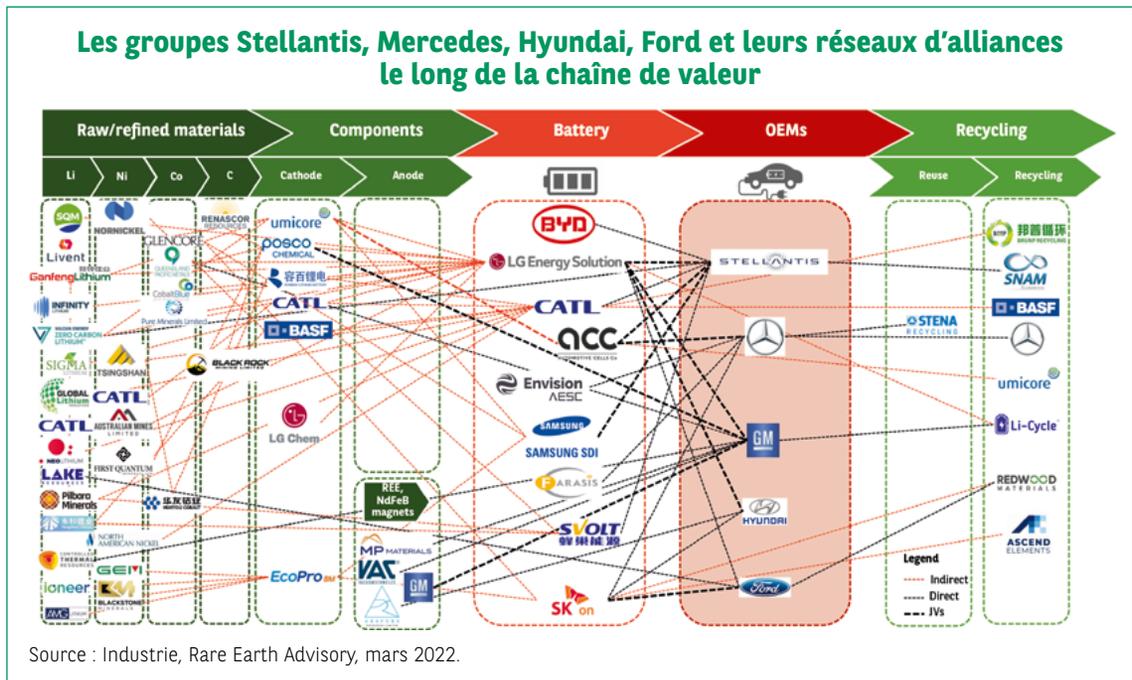
un avantage compétitif pour tous les acteurs s'appuyant sur les chimies NMC, plus riches en matériaux critiques. Sur ce sujet, Tesla apparaît comme le constructeur occidental le moins dépendant à ce type de chimie, avec près de 50 % de chimie LFP dans son mix à fin 2021. De même Stellantis et General Motors se sont montrés rassurants sur leur capacité à réduire leur dépendance au nickel dans les publications du 4^e trimestre. En revanche, Volvo Cars paraît plus lié aux chimies NMC, citant des obstacles logiciels à tout passage à la LFP.



Stellantis, Ford et l'alliance Renault-Nissan-Mitsubishi présentent des stratégies de plateformes et d'internalisation de la production de batteries à des stades d'avancement en tout point comparables

à ces 3 acteurs, mais semblent en retard dans leurs investissements directs et la constitution de réseaux d'alliances directs plus en amont de la chaîne de valeur.

10. Comment l'industrie automobile s'organise-t-elle face à cet environnement ?



Quoiqu'ils affichent des ambitions réelles en matière de production de batteries, l'état d'avancement des projets de gigafactories de Mercedes (hors ACC) et de Toyota semble en retrait par rapport à leurs concurrents à ce jour. BMW compense à nos yeux son absence de stratégie d'intégration dans la production de batterie par de nombreux contrats d'approvisionnement directs en matériaux critiques, alors que Hyundai et Kia semblent moins avancés sur l'ensemble des paramètres étudiés.

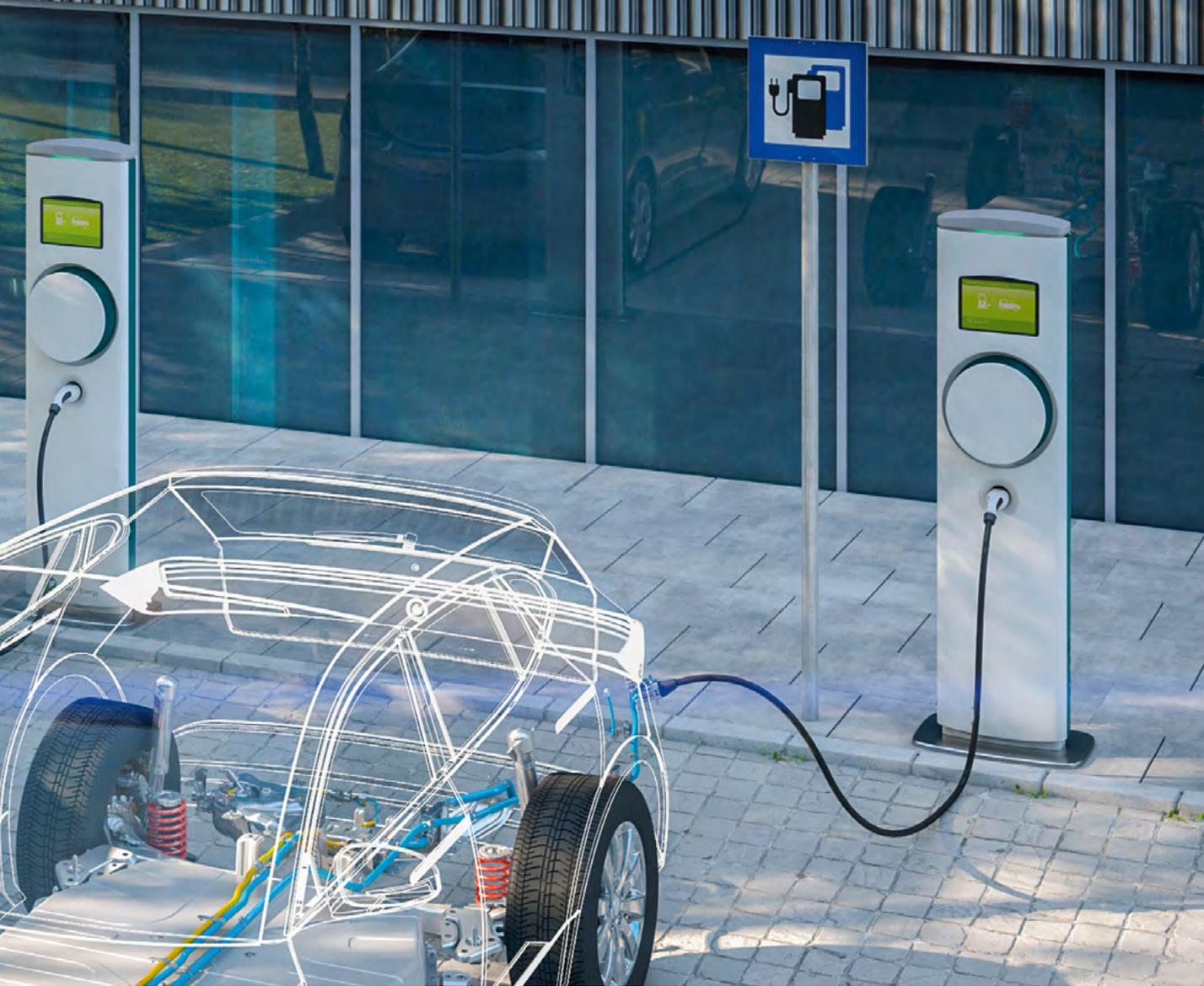
■ Li-Cycle, Northvolt, Redwood Materials, SNAM et Umicore sont au cœur des plus importants réseaux d'alliances avec les constructeurs automobiles

Avec l'entrée en vigueur prochaine de l'obligation EPR qui rendra les constructeurs automobiles et les fabricants de batterie responsables de la couverture des coûts de collecte et de recyclage des batteries, il est ici intéressant de comparer les différentes stratégies d'alliances poursuivies par les différents acteurs occidentaux en matière de recyclage :

- les start-ups comme Redwood Materials (Envision, Ford, SK On, Tesla) ou Li-Cycle (GM, LGES) tout comme les recycleurs historiques comme SNAM (Stellantis, Toyota, Verkor) et Umicore (ACC, BMW, Toyota, Volkswagen) sont au cœur des réseaux d'alliances les plus importants ;
- le modèle intégré poursuivi par Northvolt (production de cathode, fabrication et recyclage de batterie), combiné à son accès une énergie décarbonée en fait un modèle particulièrement vertueux sur le plan environnemental et un partenaire de choix pour tout constructeur soucieux de minimiser l'empreinte environnementale de sa production de batterie en cycle de vie. Ce statut est facteur favorable aux constructeurs européens partenaires du groupe : Volkswagen, BMW, Volvo. D'autres projets de batteries européens, nous semblent en mesure de dupliquer ce modèle comme Freyr en Norvège (pas de partenariat constructeur à ce jour), ou Verkor (Renault) et ACC (Stellantis, Mercedes-Benz) en France ;
- seuls Renault, Nissan et plus récemment Mercedes semblent réellement actifs dans la seconde vie.



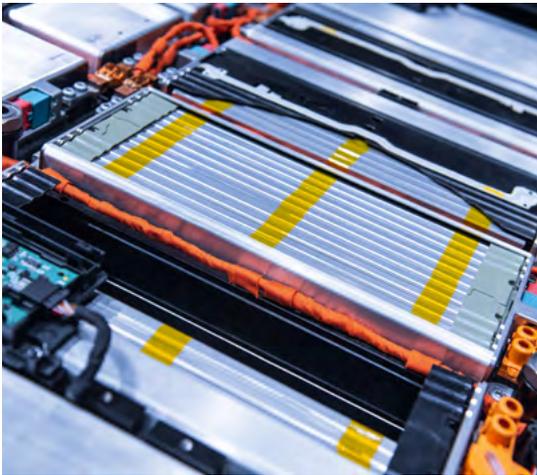




CONCLUSION

Conclusion

La seconde vie et le recyclage des batteries lithium sont l'un des enjeux essentiels du développement d'une chaîne d'approvisionnement durable du véhicule électrique. Combinés à une production de batteries et de matériaux précurseurs responsable, rationalisée voire relocalisée, le recyclage en fin de vie constitue l'un des facteurs clés d'optimisation de la gestion des ressources et de réduction de l'empreinte environnementale et sociétale élevée de la production des batteries. À terme, il peut constituer une source d'approvisionnement alternative, responsable et locale en matériaux critiques.



De nombreuses analyses en cycle de vie concordent désormais pour conclure que la plus forte intensité carbone de la production du véhicule électrique par rapport à son équivalent thermique est plus que compensée par la réduction des émissions à l'usage sur sa durée de vie, y compris dans le mix énergétique européen actuel. C'est ici que le recyclage peut contribuer à améliorer encore davantage le bilan écologique du véhicule électrique en réduisant de 40 % à 90 % de l'impact lié à l'extraction des matériaux primaires, en fonction de la technologie employée. Ce n'est pas une option, mais une nécessité si l'on veut faire basculer le transport vers un modèle circulaire vertueux.

Il convient de structurer dès aujourd'hui la filière du recyclage de batteries haute tension, encore embryonnaire à ce jour, pour pouvoir faire face au futur raz-de-marée de batterie en fin de vie qui nous touchera après 2030. La multiplication des projets de gigafactories, source d'important flux de déchets de production d'ici là, offre la chance d'établir les réseaux autour des usines de production de batteries et de développer les capacités de recyclage nécessaires au traitement de ces futurs flux.

Mais pour réellement contribuer à la réduction de l'empreinte environnementale du véhicule, la rationalisation de la chaîne de production et le recyclage des batteries doivent aussi s'accompagner :

- d'un déploiement en masse des énergies bas carbone dans les mix énergétiques nationaux : nucléaire, éolienne ou solaire. C'est peut-être une évidence mais l'adoption du véhicule électrique ne prend tout son sens que si l'énergie est elle-même générée proprement. On peut ici espérer que le plan REPowerEU élaboré en réponse à la crise énergétique actuelle permettra d'accélérer ces investissements d'ici 2030. Cela étant l'augmentation de la part des renouvelables, privilégiée dans de nombreux pays européens au détriment du nucléaire, présente elle aussi un certain nombre de défis propres. Qu'il s'agisse des besoins importants en matière d'infrastructures de stockage liés à leur nature intermittente (réseaux, smartgrids,



hydrogène, etc.) ou bien des enjeux écologiques associés à leur forte empreinte au sol et aux difficultés de recyclage des éoliennes et des panneaux solaires à la fin de leur vie utile ;

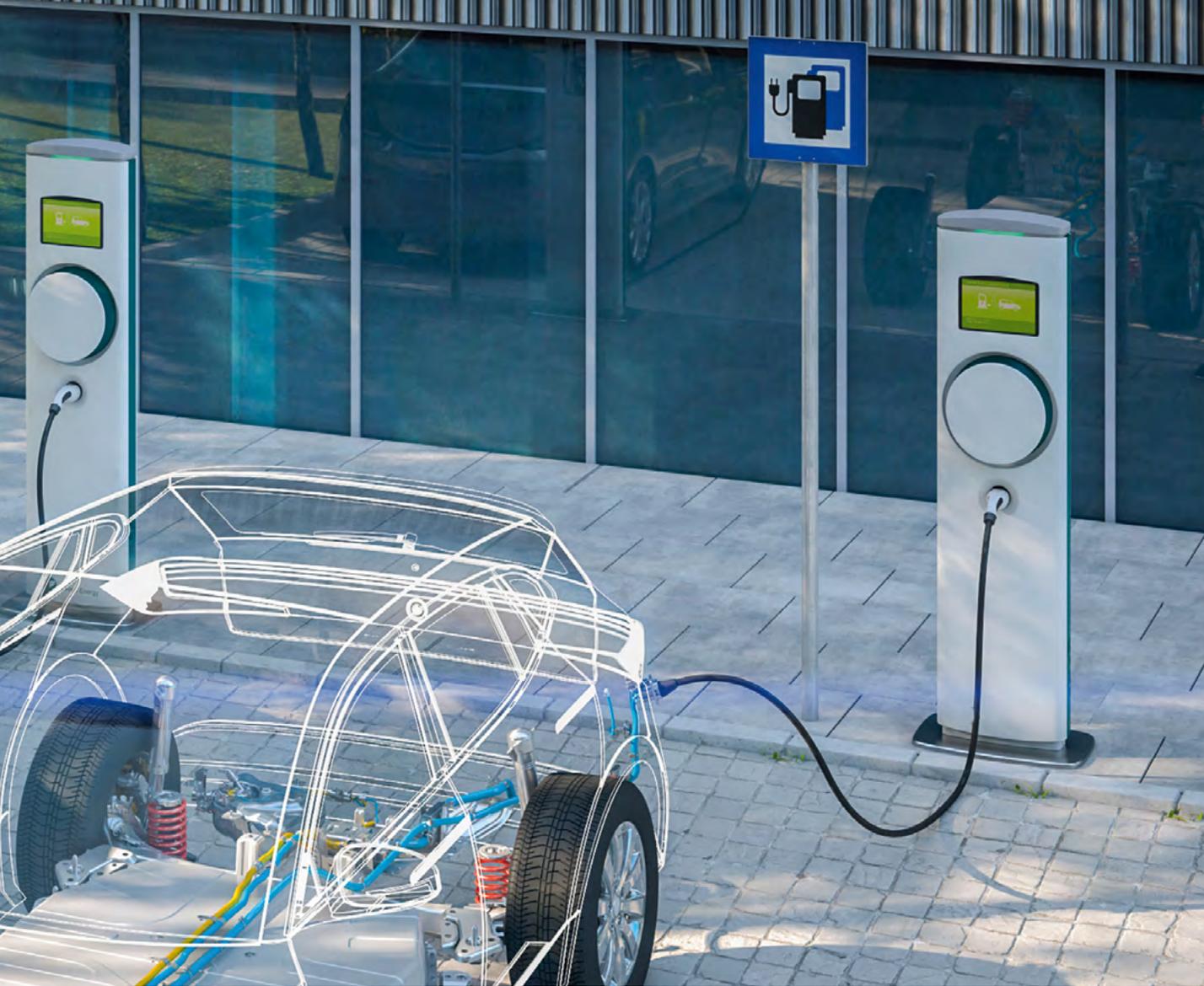
- du développement du réseau d'infrastructure de recharge aisément accessible tant primaire que pour les trajets longue distance, un facteur essentiel pour la croissance du marché du véhicule électrique. Le déploiement d'un réseau de super chargeurs, garants de temps de chargement courts sur les trajets longue distance, nous semble un paramètre particulièrement crucial pour répondre à l'anxiété kilométrique et ainsi encourager une plus grande sobriété dimensionnelle des batteries ;
- d'une plus grande sobriété dimensionnelle en réduisant la masse et la puissance des véhicules à l'inverse de la tendance de prise de poids moyen des voitures observée depuis 2009 avec l'engouement pour les SUVs, reflété dans la course à la taille des batteries. La réduction de cette surconsommation ne semble toutefois crédible qu'à partir du jour où les gouvernements des pays occidentaux seront prêts à approuver davantage de mines et d'usines de transformation chez eux, où les contraintes sociales et environnementales sont plus strictes, plutôt que de s'appuyer sur des

matériaux provenant d'horizons lointains dont les consommateurs et les régulateurs ignorent le plus souvent l'impact social et environnemental. Il y a encore trop d'opposition à ce mouvement en Europe. En l'absence de rupture technologique, développer le recyclage des batteries et relocaliser l'extraction ainsi que la transformation des matériaux plus proches du consommateur, nous semblent des paramètres clés pour réduire la surconsommation actuelle.

On le comprend aisément, les problématiques associées à l'électrification des transports sont complexes, en constante évolution et souvent interconnectées. Face à l'urgence climatique et à la nécessité de structurer rapidement une chaîne de valeur du véhicule électrique durable, ces enjeux requièrent plus que jamais une approche holistique, itérative et sans dogmatisme, trop souvent absente du débat public en Europe selon nous. On ne peut en effet que déplorer la relative inertie de l'Union Européenne tant sur les sujets intégration amont et recyclage, sources de dépendance persistante de sa chaîne de valeur. Cette approche contraste avec la vision pragmatique développée en Chine depuis plus 10 ans, dominante aujourd'hui, et désormais adoptée à marche forcée aux États-Unis.







BIBLIOGRAPHIE

■ Bibliographie

Accurec

Comparative study of Li-ion battery recycling processes.

<https://accurec.de/wp-content/uploads/2021/04/Accurec-Comparative-study.pdf>

Advanced Propulsion Center (APC)

<https://www.apcuk.co.uk/>

Automotive Cells Co (ACC)

<https://www.acc-emotion.com/>

AIE

Global EV Outlook 2021

<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>

The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions

<https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>

Apple

Environmental Progress Report 2021

https://www.apple.com/environment/pdf/Apple_Environmental_Progress_Report_2021.pdf

American Manganese

<https://americanmanganeseinc.com/>

Argonne National Laboratory

<https://www.anl.gov/>

“Energy, Greenhouse Gas, and Water Life Cycle Analysis of Lithium Carbonate and Lithium Hydroxide Monohydrate from Brine and Ore Resources and Their Use in Lithium Ion Battery Cathodes and Lithium Ion Batteries”

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344921003712>

Ascend Elements

<https://ascendelements.com/>

Battery Brunch

“The Battery Report 2021.” Volta Foundation & Intercalation

https://109ee710-a8f3-4a8a-9952-28554c7df7a5.usrfiles.com/ugd/109ee7_775f8efa3d034d439124b5431ff095a1.pdf

Battery University

<https://batteryuniversity.com/>

Benchmark Minerals Intelligence

<https://www.benchmarkminerals.com/>

BloombergNEF

<https://about.bnef.com/>

Les idées reçues sur la voiture électrique (4 épisodes)

<https://www.carbone4.com/analyse-faq-voiture-electrique>

CIC energiGUNE

World map of gigafactories

<https://cicenergigune.com/en/blog/world-map-gigafactories>

Circular Energy Storage

The dynamics of the EV battery end-of-life market

<https://circularenergystorage.com/>

Contemporary Amperex Technology Co (CATL)

<https://www.catl.com/en/>

Electrek

<https://electrek.co/>

Electrive

<https://www.electrive.com/>

Eurobat

Joint industry position paper on the Batteries Regulation

<https://www.eurobat.org/resource/joint-industry-position-paper-on-the-batteries-regulation/>

European Raw Material Alliance (ERMA)

<https://erma.eu/>

European Commission

New EU regulatory framework for batteries: setting sustainability requirements

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS_BRI\(2021\)689337_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS_BRI(2021)689337_EN.pdf)

REPowerEU: Joint European action for more affordable, secure and sustainable energy

https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en

State aid: Commission approves EUR 2.9 billion public support by twelve Member States for a second pan-European research and innovation project along the entire battery value chain

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_226

EV-Volumes

<https://www.ev-volumes.com/>

GEM Co. Ltd (GEM)

<http://en.gem.com.cn/en/UsedBatteryRecycling/index.html>

Groupe Renault

Fonctionnement d'une batterie lithium-ion

[https://www.renaultgroup.com/news-onair/actualites/voiture-electrique-comment-fonctionne-la-batterie-lithium-ion/#:~:text=Ni%2DMH\).- ,Fonctionnement%20d%27une%20batterie%20Lithium%20Dion,%27on%20appelle%20l%27%C3%A9lectrolyte](https://www.renaultgroup.com/news-onair/actualites/voiture-electrique-comment-fonctionne-la-batterie-lithium-ion/#:~:text=Ni%2DMH).- ,Fonctionnement%20d%27une%20batterie%20Lithium%20Dion,%27on%20appelle%20l%27%C3%A9lectrolyte)

ICCT

A global comparison of the life cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars

https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/12/Global-LCA-passenger-cars-jul2021_0.pdf

Li-Cycle

<https://li-cycle.com/>

Lithion

<https://www.lithionrecycling.com/>

McKinsey

Second-life EV batteries: The newest value pool in energy storage

<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/second-life-ev-batteries-the-newest-value-pool-in-energy-storage>

Minviro

Apples to Apples: Developing a framework for Environmental Impact Comparison for Lithium Chemical Products

<https://www.minviro.com/apples-to-apples-developing-a-framework-for-environmental-impact-comparison-for-lithium-chemical-products/>

Nature

Machine learning pipeline for battery state-of-health estimation

<https://www.nature.com/articles/s42256-021-00312-3>

Northvolt

<https://northvolt.com/>

RCS Global

<https://www.rcsglobal.com/>

Redwood Materials

<https://www.redwoodmaterials.com/>

Science

Resources, Conservation & Recycling : qualitative assessment of lithium ion battery recycling processes. R. Sommerville, P. Zhub, M.A. Rajaeifarc, O. Heidrichd, V. Goodship, E. Kendricka

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344920305358?via%3Dihub>

Current and future lithium-ion battery manufacturing. Y. Liu, R. Zhang, J. Wang, Y. Wang

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258900422100300X>

Stena Recycling

<https://www.stenarecycling.com/>

Tesla

Tesla 2021 Impact Report

https://www.tesla.com/ns_videos/2021-tesla-impact-report.pdf

US Department of Energy

Notice of Intent No. DE-FOA-0002677

<https://www.energy.gov/articles/biden-administration-doe-invest-3-billion-strengthen-us-supply-chain-advanced-batteries>

Umicore

<https://www.umicore.com/en/investors/>

United Nations

The Global E-waste Monitor

<https://ewastemonitor.info/>

Verkor

<https://verkor.com/produit/>

Sites web des constructeurs automobiles consultés en février-avril 2022 : BMW, BYD, Ford, General Motors, Great Wall Motors, Honda, Hyundai-Kia, Lucid, Mercedes-Benz, Nissan, NIO, Polestar, Renault, Rivian, Stellantis, Tesla, Toyota, Volkswagen, Volvo,...









www.mobility-observatory.arval.fr



@ARVAL_M_O

Auteur : Luc Pez

Iconographie : Monique Buntic

Création graphique et mise en page : Agence Arobace

Couverture : Adobe Stock - malp, inter-chapitres : Adobe Stock - Herr Loeffler, p.12 Adobe Stock - wladimir1804, p.13 Adobe Stock - Viktoriia, p.16 Shutterstock - Travepixels, p.21 Shutterstock - sdecoret, p.23 Adobe Stock - petovarga, p.28 Adobe Stock - Mango, p.29 Adobe Stock - evgenii_v, p.37 Adobe Stock - JustSuper, p.45 Shutterstock - Andrey_Popov, p.53 Adobe Stock - Serhiy Hipsky, p.57 Adobe Stock - ifeelstock, p.64 Adobe Stock - afishman64, p.66 Adobe Stock - Blue Planet Studio, p.73 Adobe Stock - frenta, p.74 Shutterstock - DigitalPen, p.78 Adobe Stock - JustSuper, p.80 Adobe Stock - ZETHA_WORK, p.83 Adobe Stock - Julia, p.86 Adobe Stock - petovarga, p.89 Adobe Stock - xiaoliangge, p.92 Adobe Stock - romaset, p.94 Adobe Stock - den-belitsky, p.98 Adobe Stock - F8 \ Suport Ukraine, p.99 Adobe Stock - ponsulak, p.106 Adobe Stock - gapyroff, p.114 Adobe Stock - Pixels Hunter, p.115 Adobe Stock - metamorworks, p.116 Adobe Stock - 504535766, p.120 Adobe Stock - Oleksij, p.124 Adobe Stock - Maren Winter, p.125 Adobe Stock - Dilok, p.129 Adobe Stock - Creadores de video, p.130 Adobe Stock - vegefox.com, p.131 Adobe Stock - raland, p.134 Adobe Stock - Gorodenkoff, p.135 Adobe Stock - jeson, p.141 Shutterstock - petrmalinak, p.144 Adobe Stock - Sergii, p.144 Adobe Stock - hrui, p.145 shutterstock - Den Rozhnovsky, p.151 shutterstock - Avigator Fortuner, p.152 shutterstock - Smile Fight.



Les enjeux du recyclage des batteries en 10 questions

La seconde vie et le recyclage des batteries lithium sont l'un des enjeux essentiels du développement d'une chaîne d'approvisionnement durable du véhicule électrique.

Combinés à une production de batteries et de matériaux précurseurs responsable, rationalisée voir relocalisée, le recyclage en fin de vie constitue l'un

des facteurs clés d'optimisation de la gestion des ressources et de réduction de l'empreinte environnementale et sociétale élevée de la production des batteries.

À terme, il peut constituer une source d'approvisionnement alternative, responsable et locale en matériaux critiques.

L'Arval Mobility Observatory

Fondé en 2002 sous le nom de l'Observatoire du Véhicule d'Entreprise, par BNP Paribas et sa filiale Arval spécialisée dans la location longue durée aux entreprises, l'Arval Mobility Observatory s'adresse à tous les acteurs concernés par les sujets liés au véhicule d'entreprise (entreprises, constructeurs, acteurs publics, presse, etc.). L'Arval Mobility Observatory s'est fixé pour mission d'informer, de former ces acteurs et de réfléchir avec eux sur les évolutions de la mobilité. Optimisation de la gestion des parcs, coûts d'usage, fiscalité, prévention des risques routiers, technologies automobiles, énergies, mobilités du futur, voitures connectées, voitures autonomes, audit de mobilité, etc., aucun sujet concernant le déplacement des collaborateurs d'entreprises n'est étranger à l'Observatoire. L'Arval Mobility Observatory publie de nombreuses études sur ces thèmes, une lettre mensuelle, organise des conférences et réunit des groupes d'utilisateurs pour mieux connaître leurs besoins et leurs souhaits dans ces domaines.

Retrouvez l'Arval Mobility Observatory sur www.mobility-observatory.arval.fr



Ce document est imprimé avec des encres végétales sur du papier issu de forêts gérées durablement par l'imprimeur ARTEPRINT. Imprimerie labellisée Imprim'Vert et certifiée ISO14001.

40 € TTC

