E-CUBE STRATEGY CONSULTANTS

Recyclage des batteries de véhicules électriques

Panorama, perspectives et enjeux pour la mise en place de filières de recyclage de batteries de véhicules électriques permettant la réutilisation des métaux

E-CUBE STRATEGY CONSULTANTS

Octobre 2019

Avant-propos

Propriété intellectuelle et limites de responsabilité

- Cette étude est publiée par E-CUBE Strategy Consultants SA, 8 rue Royale, 75008 Paris, France (ci-après dénommé « E-CUBE Strategy Consultants »)
- Une diffusion est autorisée sous réserve que le contenu diffusé soit accompagné des présentes mentions et d'une référence à E-CUBE Strategy Consultants
- Cette étude repose en partie sur des informations publiques, diffusées par la(es) société (s) concernée(s) ou par des tiers. Ces informations n'ont pas été vérifiées ni auditées de manière indépendante par E-CUBE Strategy Consultants
- Les éléments économiques et financiers présentés dans ce document intègrent les conditions économiques, monétaires, de marché ou autres prévalant en octobre 2019 et ne préjugent pas des ajustements nécessaires si ces conditions venaient à se modifier
- Sans mention contraire, E-CUBE Strategy Consultants n'a aucune obligation de mise à jour de ce document

Introduction

L'année 2020 devrait marquer l'accélération du développement de l'électromobilité en Europe. Volkswagen, le premier constructeur mondial, a lancé la commercialisation de son premier véhicule 100% électrique grand public, l'ID 3, et au-delà, c'est toute la filière automobile qui semble s'être mise en ordre de bataille et qui compte sur l'électromobilité pour faire face aux règles plus strictes en matière d'émissions de CO2 applicables dès 2020 sur le continent.

Si les véhicules électriques (hybrides ou 100% batterie) peuvent contribuer à la réduction de la pollution associée au transport routier, des voix s'élèvent pour que le développement de l'électromobilité se fasse de manière raisonnée. La technologie batterie lithium-Ion, utilisée par l'écrasante majorité des véhicules électriques mis sur le marché est notamment l'objet d'attention. Comparativement plus fiables, et compétitives que leurs alternatives, les batteries au lithium ont permis la mise sur le marché de véhicules électriques de série à l'autonomie satisfaisante. Leur fabrication repose cependant sur l'utilisation de ressources épuisables (lithium, cobalt, nickel et manganèse notamment), à l'exploitation couteuse et énergivore et dont les circuits d'approvisionnement devront prouver leur résilience face à l'explosion des volumes de véhicules électriques mis en service.

A l'autre bout de la chaîne, les batteries de véhicules électriques génèreront des volumes significatifs de matière difficiles à recycler. Les filières de collecte et de valorisation ne sont pas adaptées à date pour recevoir ces déchets potentiellement dangereux[1] et devront mettre en place les procédés adéquats et les capacités de traitement suffisantes. Au-delà d'empêcher la mise en décharge de matériaux toxiques, l'enjeu du recyclage est de réussir à réexploiter les matériaux contenus dans les batteries, notamment les métaux pour donner corps au concept de « mine urbaine » et générer des bénéfices environnementaux et économiques.

Cette étude a pour objectif de détailler les enjeux associés à la mise en place de la filière recyclage de batteries de véhicules électriques en Europe et de donner des premiers éléments pour analyser :

- Les perspectives de croissance des besoins en recyclage de batteries de véhicules électriques d'ici 2030 et du potentiel de gisement en métaux (concept de « mine urbaine »)associé
- Les solutions mises en œuvre et la structuration du marché du recyclage des batteries lithium-ion aujourd'hui (projets notables, enjeux techniques, acteurs)
- La position qu'occupe le recyclage dans la chaîne de valeur des batteries de véhicules aujourd'hui et les opportunités pour les acteurs de faire évoluer leur modèle d'affaires

[1] *La dangerosité des déchets batteries Li-Ion est notamment débattu dans un rapport de l'INERIS de 2014 : Déchets de batteries au lithium : classement et état des lieux des filières de gestion.*

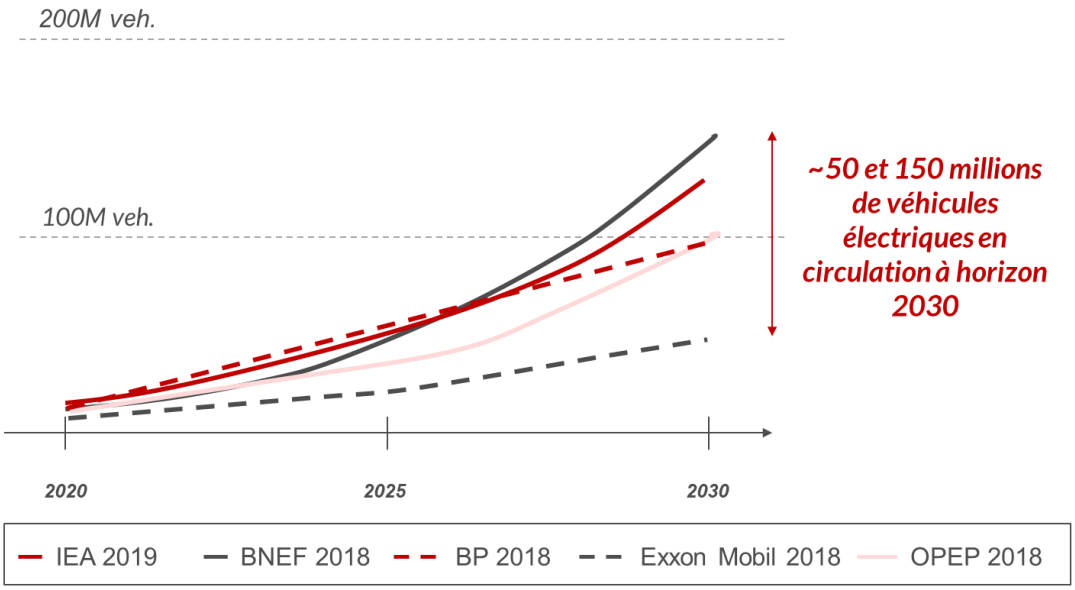
1

Le développement de la mobilité électrique en Europe et dans le Monde va positionner à moyen-terme le recyclage comme un maillon majeur de la chaîne de valeur

a. Les scénarios prospectifs s'accordent sur un fort développement de la mobilité électrique en Europe dans la prochaine décennie, notamment en Europe

Une revue des scénarios prospectifs réalisés par divers acteurs du monde énergétique permet de mesurer que tous se préparent à une explosion de la mobilité électrique dans la prochaine décennie : alors que la taille du parc automobile électrique mondial (tous types de véhicules) est estimée à environ 5 millions de véhicules en 2018, les prévisions les plus pessimistes envisagent son décuplement à horizon 2030. L'IEA considère[1] que près de 130 millions de véhicules électriques devraient circuler sur la planète à cet horizon de temps, dont près de 35 millions en Europe (Figure 1).

FIGURE 1
EVOLUTION DU PAR C DE VEHICULES ELECTRIQUES TOUS TYPES (BEV, PHEV, ETC.) SELON DIFFERENTS SCENARIOS PROSPECTIFS, PÉRIMÈTRE MONDE [2020 – 2030]

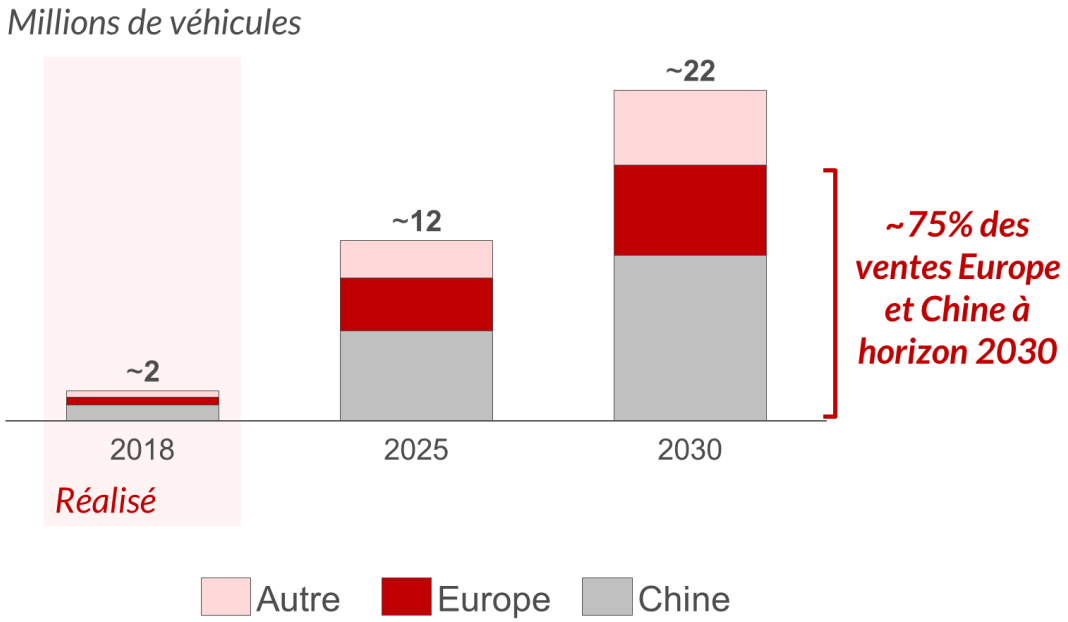


Sources : *Publication des organismes et entreprise concernés*

[1] *New Policies Scenario*

Deux zones géographiques devraient tracter le marché du véhicule électrique : l'Europe et la Chine, qui représenteraient à elles deux près de trois quarts des ventes de véhicules électriques en 2025 d'après l'IEA (Figure 2).

FIGURE 2
VENTES ANNUELLES DE VÉHICULES ÉLECTRIQUES TOUS TYPES (BEV, PHEV, ETC.), PÉRIMÈTRE MONDE 2018 – 2030



Sources : IEA

b. En conséquence, d'ici quelques années, les quantités de batteries atteignant la fin de leur 1ère vie représenteront des volumes significatifs de matériaux recyclables (Co, Ni, Li, Mg) en Europe

Les batteries électriques montées sur les véhicules atteignent la fin de leur « première vie » quelques années (~5 à 10 ans) après leur mise en service, lorsque la chute de performance impacte la conduite de manière irrémédiable (autonomie et puissance réduite, fiabilité décrue). La batterie doit alors être séparée du châssis et deux options se présentent :

1. Désassembler et recycler la batterie selon la règlementation en vigueur (voir encart dédié) ;
2. Reconditionner les cellules de batterie dans un pack modifié en vue d'une utilisation pour un usage en « seconde vie », stationnaire le plus souvent, pouvant s'accommoder de performances dégradées (par exemple : stockage résidentiel en association avec des panneaux PV). Ainsi réutilisées, les batteries peuvent encore fonctionner pendant une dizaine d'années avant leur mise hors d'usage.

Toutes les batteries mises sur le marché ont vocation à être recyclées *in fine*, mais la durée entre l'explosion du marché des véhicules électrique et celui de leur recyclage dépendra ainsi :

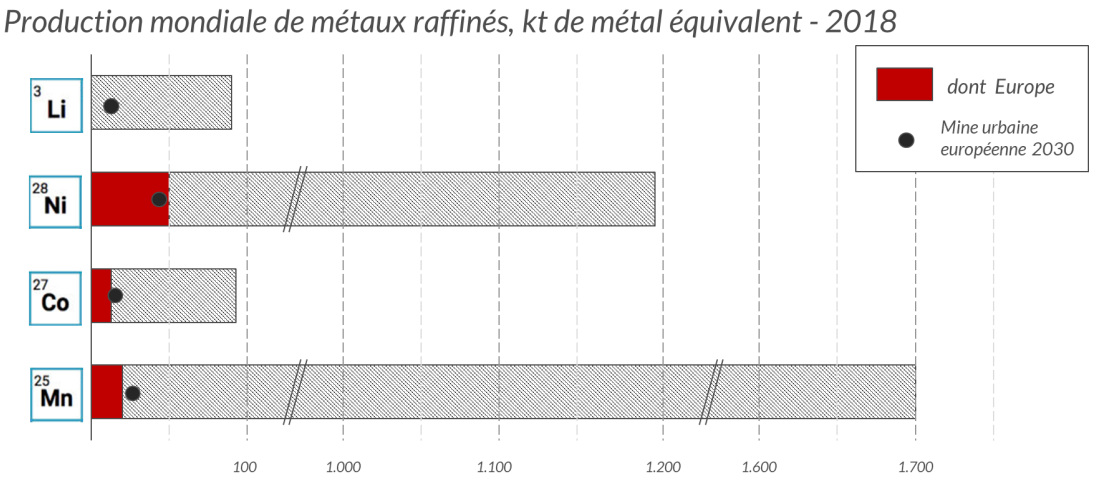
- De la durée de première vie, gouvernée par la qualité intrinsèque des équipements et leur potentielle obsolescence technologique ;
- Du taux de réutilisation en seconde vie, dépendant de la volonté et de la capacité des acteurs à mettre en place des filières de réutilisation et de la pertinence économique à le faire.

Quelles que soient les performances atteignables sur ces deux paramètres, les volumes de batteries en fin de vie à traiter à horizon 2030 seront significatifs et pourraient représenter annuellement entre ~25 et ~85 GWh à l'échelle européenne (voir encart dédié sur les analyses de volumétrie).

Le recyclage a donc le potentiel pour devenir à terme une véritable « mine urbaine » en métaux couteux renfermés dans les batteries de véhicules (lithium, nickel, cobalt et manganèse principalement). Une fois recyclés et retraités, il est envisageable de réintroduire ces métaux dans les circuits d'approvisionnement en complément de l'extraction traditionnelle. A horizon 2030, les quantités de métaux à recycler contenues dans les batteries de véhicules électriques seraient ainsi du même ordre de grandeur que les volumes de production actuels sur le territoire européen pour le nickel, le cobalt et le manganèse (Figure 3).

FIGURE 3

PRODUCTION DE MÉTAUX DE CATHODES RAFFINÉS SUR LE SOL EUROPÉEN EN 2018 ET COMPARAISON AVEC LE GISEMENT DE METAUX A RECYCLER (MINE URBAINE) A HORIZON 2030



L'Europe est définie comme l'espace économique européen (EEA). Notamment, la Russie et l'Ukraine sont exclues du périmètre.

Sources : *BRGM, EuroMines, Cobalt Institute, IEA , USGS*

Il est ainsi légitime d'étudier dans quelle mesure le recyclage des batteries de véhicules électriques pourrait s'insérer dans la chaîne de valeur globale de l'approvisionnement en matière premières.

Analyse de sensibilité: gisement de batteries à traiter en fonction de la durée de première vie et du taux de réutilisation et quantités de métaux associées

Les paramètres déterminants pour estimer le gisement de batteries à recycler sont:

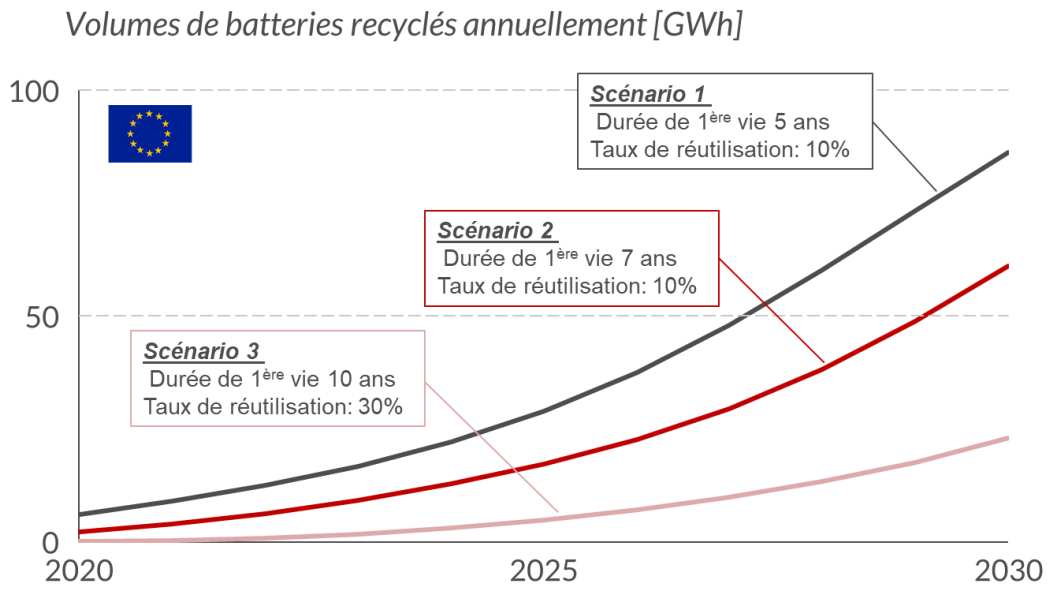
- La durée de première vie (DDV1)
- Le taux de réutilisation pour une application de seconde vie (DDV2)

Une étude de sensibilité sur ces deux paramètres, appliquée au même scénario de pénétration des véhicules électriques en Europe conduit à des différences notables sur les volumes de batteries à recycler d'ici à 2030 (Figure 4).

Si la filière peine à trouver des débouchés de seconde vie (10% de réutilisation en « seconde vie ») et si les consommateurs sont incités à remplacer leur batterie rapidement pour maintenir la performance des véhicules (~5 ans), ce sont ainsi jusqu'à ~85 GWh de batteries qui devraient être recyclées annuellement à horizon 2030 en Europe (et ce chiffre croitrait encore post 2030), soit l'équivalent de la production mondiale de cellules pour l'automobile en 2018. En revanche, ce volume chute à ~25GWh si la durée de vie est allongée de 5 ans en moyenne et si près d'un tiers des batteries parviennent à être réutilisées pour des applications de seconde vie.

FIGURE 4

VOLUMES ANNUELS DE BATTERIES ÉLECTRIQUES À RECYCLER EN EUROPE [2020 – 2030] SELON LES HYPOTHÈSES SUR LA DURÉE DE PREMIÈRE VIE ET LE TAUX DE RÉUTILISATION DES BATTERIES



Sources : *Analyse E-CUBE Strategy Consultants, d'après le scénario IEA New Policies*

Les gisements potentiels par type de métaux dépendront du type de technologies choisies pour la fabrication de cathodes de batteries électriques. A date, 4 technologies principales se partagent le marché des batteries Li-Ion installées dans les véhicules, désignées par les acronymes des métaux qu'elles renferment : NMC, NCA, LFP et LMO (Figure 5). Elles se distinguent par leurs performances (notamment la densité énergétique et la stabilité, deux qualités primordiales pour les véhicules électriques) et leur coût, gouverné pour partie par les quantités de métaux et coûteux nécessaires à leur fabrication.

FIGURE 5

REVUE DES PRINCIPALES TECHNOLOGIES DE CATHODES DE BATTERIES LITHIUM-ION POUR APPLICATIONS AUTOMOBILES

		Part de marché estimée 2018	
		UE	Chine
NMC (Li, Co, Ni, Mn)	*Alliages des 4 métaux Lithium, Nickel, Manganèse, Cobalt à des concentrations variables. Principalement développée pour l'industrie automobile en raison de leur performance élevée et de leur coût relativement faible*	◑	◑
NCA (Li, Co, Ni)	*Née de la volonté de remplacer une partie du Cobalt par de l'Aluminium dans les cathodes, la technologie NCA (Nickel, Cobalt, Aluminium) est adaptée aux solutions mobilité. TESLA a décidé de miser sur cette technologie pour accompagner son développement.*	◑	○
LFP (Li)	*Sûre, présentant une bonne durée de vie et s'affranchissant du Cobalt et du Nickel couteux, la technologie LFP (Lithium, Fe, Potassium) a accompagné le développement de l'électromobilité en Chine. Cependant, sa densité énergétique, bien plus faible que celle de ses concurrents conduit les constructeurs chinois à s'en détourner*	○	◑
LMO (Li, Mn)	*Née également de la tentative de substitution du Cobalt, la technologie LMO ($LiMn_2O_4$) est relativement ancienne. Si elle a été utilisée dans les premières versions de véhicules électriques japonais (Nissan notamment), ses performances réduites à haute température conduisent à un abandon progressif de la technologie*	◔	○

0% ○ ⟶ ● 100%

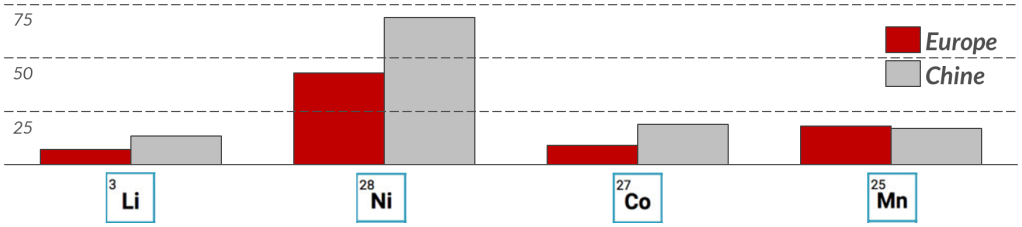
Une technologie peut se décomposer en sous catégories en fonction de la proportion massique de chaque type de métal utilisé. Pas exemple NMC 111 (33% de chaque métal), NMC 622 (60% de Nickel, 20% Manganèse, 20% Cobalt)

Sources : *Analyse E-CUBE Strategy Consultants, Revue de presse*

Les technologies NMC et NCA, sont celles qui connaissent les dynamiques de progression les plus fortes et devraient dominer le marché des batteries pour véhicules électriques à court-terme. Sur la base de projections de la pénétration des différentes technologies, et en tenant compte de leur teneur spécifique en métaux, il est ainsi possible d'estimer les quantités de métaux qui seront contenues dans les batteries de véhicules électriques recyclées (Figure 6).

FIGURE 6

VOLUMES ANNUELS DE BATTERIES ÉLECTRIQUES À RECYCLER EN EUROPE [2020 – 2030] SUR LA BASE DU SCÉNARIO IEA NEW POLICIES



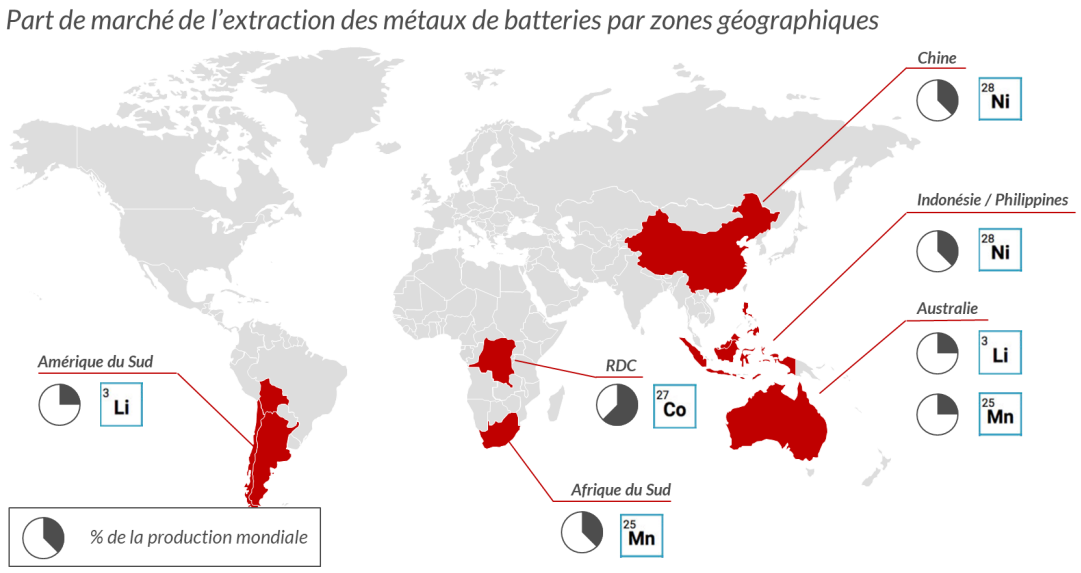
Sources : *Analyse E-CUBE Strategy Consultants, sur la base d'un scénario médian (7 ans de durée de vie batteries et 10% de réutilisation en seconde vie)*

C. Compte tenu des enjeux environnementaux, économiques, stratégiques et des contraintes réglementaires imposées en lien avec ces enjeux, le recyclage de ces matériaux devrait constituer un maillon majeur de la chaîne de valeur

L'électromobilité, si elle contribue à la réduction des émissions de polluants locaux (NOX, particules fines) et potentiellement aux émissions de gaz à effet de serre lorsqu'associée à des mix électriques décarbonnés , subit néanmoins des critiques dont les plus virulentes s'articulent autour des trois enjeux :

- L'impact environnemental en cycle de vie : l'électromobilité requiert la mise en place de procédés d'extraction de minerais épuisables et de fabrication de batteries, énergivores et générateurs de polluants (émissions de CO2, effluents contaminés, déforestation, pollution des sols, etc.) ;
- Le risque économique : le développement rapide de la production de batterie génère des tensions sur l'approvisionnement en métaux, générateurs de volatilité des prix et de tentations spéculatives qui peuvent impacter les autres secteurs de l'économie consommateurs de ces ressources. A l'échelle européenne, la balance commerciale pourrait être négativement impactée si aucun effort ne permet à terme de réduire la dépendance vis-à-vis des technologies et des usines asiatiques ;
- L'enjeu géostratégique et de dépendance nationale : la dépendance au pétrole étranger des véhicules thermiques est remplacée par une dépendance aux pays producteurs de métaux, une minorité de pays extra-européens concentrant à date une majorité des capacités de productions en minerais (lithium, cobalt notamment).

FIGURE 7
CONCENTRATION DE L'EXTRACTION DE MÉTAUX INTERVENANT DANS LA CONCEPTION DE BATTERIES (Lithium, Nickel, Manganèse, Cobalt)



Sources : USGS, année 2018

Le développement du recyclage de batterie sur le territoire européen permet d'adresser ces trois enjeux, en cherchant l'utilisation maximale des ressources à travers des agents économiques locaux et à des coûts maitrisables. Il est en parfaite cohérence avec le plan d'action sur l'économie circulaire créé par les autorités européennes en 2015 et soutenu par les fonds structurels et d'investissement européens, Horizon 2020, le Fonds européen pour les investissements stratégiques (EFSI) et le programme LIFE.

Réglementation européenne sur le recyclage de batteries

L'union européenne s'est dotée en 2006 d'un cadre législatif contraignant pour le recyclage de tous les types et tous les usages de batteries et d'accumulateurs vendus sur le territoire (Directive 2006/66/CE). Les états membres sont ainsi en droit d'exiger des producteurs de batterie qu'ils mettent en place des systèmes de collectes appropriés. Ceux-ci, ou les tiers agissant en leur nom (revendeurs) sont également redevables du coût de recyclage des batteries qu'ils mettent en circulation.

La directive spécifie également la quantité de matériau qui doit être recyclée au cours du processus. Etablie avant que les batteries de technologie Lithium-ion ne soient répandues, celles-ci ne sont pas explicitement mentionnées dans le texte et appartiennent donc à la catégorie « autres batteries et accumulateurs », soumise à une obligation de recyclage de 50% de leur masse.

L'obligation de recyclage s'entend comme la production de matières contenues dans les déchets, aux mêmes fins ou à d'autres fins mais à l'exclusion de la valorisation énergétique (incinération notamment).

2

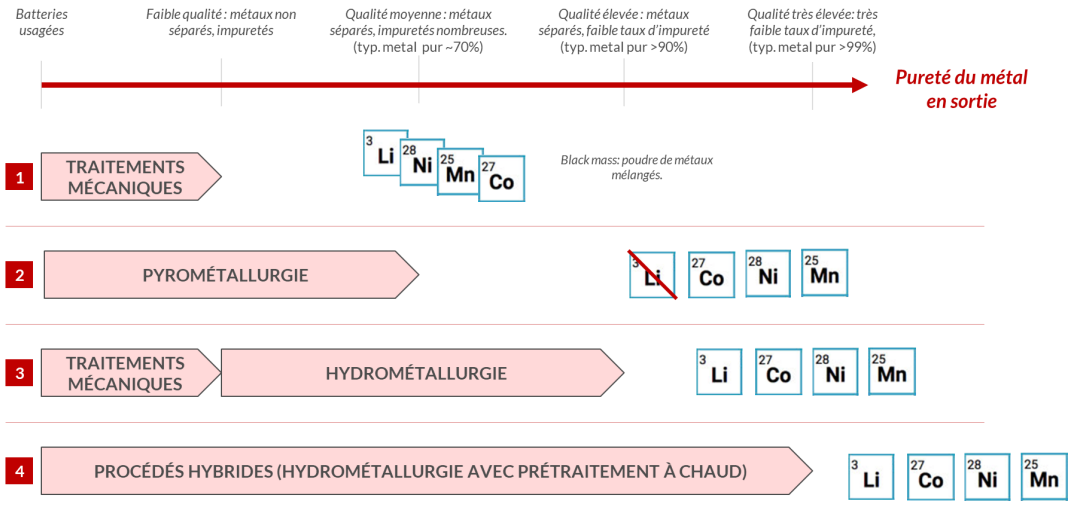
Une poignée d'acteurs se sont positionnés sur ce marché encore émergent venant de l'univers « traditionnel » du recyclage et de la métallurgie

a. La valorisation des batteries en fin de vie et de véhicules électriques en particulier est au croisement des compétences recyclage et métallurgie

Conformément aux obligations réglementaires en vigueur au sein de l'Union européenne, une filière du recyclage de batteries est en place et des centres de retraitement permettent de valoriser les métaux. Celle-ci s'appuie pour partie sur des sites et des procédés mis en place pour le recyclage de piles et accumulateurs traditionnels (Ni-Cd, Plomb, etc.). Les premières usines spécifiques au traitement des accumulateurs Li-Ion sont néanmoins apparues ces dernières années avec des procédés dédiés. La valorisation de batteries usagées s'appuie sur des compétences issues de deux métiers :

- Le recyclage : collecte, tri, séparation physique des constituants ;
- La métallurgie : opérations mécaniques, pyrométallurgie et hydrométallurgie (Figure 8).

FIGURE 8
SCHÉMATISATION DES TECHNIQUES DE RECYCLAGE LI-ION EXISTANTES



Sources : *Analyse E-CUBE Strategy Consultants, Revue de presse*

1 Les traitements mécaniques purs : ils incluent le broyage, le concassage des batteries et la séparation physique des composants. Les traitements permettent d'obtenir une poudre de faible pureté, la « black mass », dans laquelle les métaux sont mélangés (Ni, Li, Co, Mn, etc.). La black mass peut être utilisée directement dans certains procédés agricoles ou industriels (comme fertilisants, synthèse de métaux de faibles qualité), mais doit être affinée pour envisager une réutilisation industrielle des métaux ;

2 Les traitements de pyrométallurgie : ils consistent en des traitements d'oxydo-réduction à haute température (métal en fusion dans un four dédié). Très consommateurs en énergie, ils permettent de recueillir les métaux (cobalt, nickel, cuivre, fer) sous formes d'alliages ou de métaux purs de qualité moyenne. Il n'est pas possible d'extraire le lithium par ces procédés qui reste prisonnier du *slag*, dépôt de déchets au faible contenu valorisable. La pyrométallurgie permet de traiter sur une même chaîne des batteries de différentes technologies et permet de s'affranchir en partie de l'effort de tri ;

3 Les traitements d'hydrométallurgie : ils consistent en un traitement à froid de la black mass dans des solutions aqueuses et permettent de recueillir le cobalt, le nickel, le cuivre, le fer et le lithium avec des degrés de pureté potentiellement élevés (typ. métal pur ~90% voire supérieur). L'hydrométallurgie repose sur l'utilisation de solvants et de conditions de réactions très spécifiques au produit traité, et nécessite à ce titre une grande rigueur dans le tri des batteries par types de technologie. Moins énergivore que la pyrométallurgie, l'empreinte environnementale de l'hydrométallurgie est principalement liée au traitement des effluents pollués produits pendant les réactions chimiques ;

4 La combinaison de procédés de pyrométallurgie et d'hydrométallurgie : elle permet d'améliorer la séparation des composés au cours du recyclage et ainsi la qualité des matériaux en sortie de traitement. Combiner les procédés peut permettre notamment de séparer le lithium du slag à l'issue d'un traitement de pyrométallurgie. Réciproquement, les métaux préalablement traités par pyrométallurgie sont débarrassés de contenus organiques qui peuvent interférer avec les opérations d'hydrométallurgie et impacter négativement la pureté des matériaux en sortie.

b. Les premiers projets sont ainsi développés indépendamment par des acteurs de la métallurgie ou du recyclage

Le marché du recyclage des batteries lithium-ion (et donc des batteries de véhicules) en Europe peut être schématisé ainsi (Figure 9) :

- Quelques acteurs traditionnels du recyclage (Veolia/EuroDieuze, Recupyl) mettent en place des unités dédiées au traitement des batteries Li-Ion qui reposent sur un tri minutieux des batteries par types de technologie et des procédés associés, généralement par hydrométallurgie (cf. Figure 8 pour la description des procédés). Les traitements permettent l'obtention de matériaux de qualité moyenne à bonne qui nécessitent néanmoins un affinage additionnel pour pouvoir être réutilisés industriellement. Les produits de recyclage (notamment les métaux non-ferreux Li, Ni, Mn, Co) sont ainsi principalement revendus à des raffineurs comme matière première concentrée ;
- Des acteurs de la métallurgie (Eramet, Umicore, SNAM) s'attaquent également au marché du recyclage et l'envisagent comme une source d'approvisionnement en minerai alternative et complémentaire à l'extraction. Dès lors, ils intègrent le recyclage à leurs filières de production de métaux raffinés déjà en place. Ces acteurs privilégient en premier lieu la pyrométallurgie, qui leur permet de s'affranchir des contraintes de tri entre les différents types de batterie. Les produits résultants peuvent être transportés vers des centres de raffinage déjà en place, ou traités par hydrométallurgie sur place jusqu'au grade de pureté souhaité grâce à des technologies pleinement maitrisées par ces acteurs.

FIGURE 9
PANORAMA DES CENTRES DE TRAITEMENT DE BATTERIES Li-ION EN EUROPE

	OPÉRATEUR	PAYS	VILLE	TYPE DE BATTERIES TRAITÉES	TECHNOLOGIE DE RECYCLAGE	VOLUME
Acteurs de la métallurgie	umicore		Hoboken	Li-ion, NiMh	P	7000 t/an
	Floridienne / SNAM		St Quentin Fallavier	NiCd, NiMH, Li-Ion	P puis H	300 t/an
	ECOBAT TECHNOLOGIES		Darlaston	Tous types dont Li-Ion		N/A
	GLENCORE		Kristiansand	*Projet pilote de centre de traitement associé au site de raffinage (135 000 t de métal raffiné produit)*		
Acteurs du recyclage	ACCUREC		Krefeld	Li-Ion	P / H	2000 t/an
			Nivala	NiCd, NiMh, Li-Ion, Zn	M	1000 t/an
	VEOLIA PROPRETÉ SARP Industries		Dieuze	Li-Ion	H	200 t/an
	BATREC		Wimmis	Li-Ion	M + P	200 t/an
	RECUPYL		Grenoble	Li-Ion	H	110 t/an
	AEA Tech.		Sutherland	Li-Ion	H	N/A

M *Traitement mécanique* **P** *Traitement pyrométallurgie* **H** *Traitement par hydrométallurgie*

Sources : JRC 2017, Revue de presse des acteurs

Les capacités de traitement installées, d'environ ~ 10 000 tonnes de déchets par an sont à mettre en regard des prévisions de métal batteries à traiter à moyen terme estimées précédemment en partie 1 : ~50 000 tonnes de matériaux de cathode par an à partir de 2025, soit environ ~200 000 tonnes de cellules de batteries correspondante[1].

De nouvelles installations devront donc nécessairement être mises en place dans un laps de temps relativement court si l'Europe souhaite être en mesure de recycler une majorité des batteries de son propre parc de véhicules électriques. Des acteurs ont pris conscience de la nécessité de mettre en place de nouvelles filières et les premiers projets pilotes dédiés aux batteries de véhicules se mettent en place à l'image de projet ReLiEVe porté par Eramet, Suez et BASF (voir encart). La 3e partie permettra d'approfondir le positionnement des différents acteurs sur la chaîne de valeur et les opportunités de marché associées.

Projet ReLiEVe – Partenariat Eramet, BASF, SUEZ

En septembre 2019, Eramet, SUEZ et BASF ont annoncé la mise en place d'un partenariat pour la mise en place d'une filière de recyclage et réutilisation des métaux de batteries de véhicules électriques dite « en boucle fermée ». Le projet, nommé ReLiEVe (Recycling Li-ion batteries for Electric Vehicle) va recevoir près de 5 millions d'euros de financement européens[2] et prévoit, à partir de janvier 2020 et pour une durée deux ans, la mise en place à « grande échelle » d'un procédé de collecte, démantèlement et recyclage des batteries de véhicules jusqu'à la fabrication de matériaux de cathodes.

Les trois partenaires espèrent capitaliser sur leurs expertises complémentaires sur la chaîne de valeur de la production et du recyclage de batteries :

- Eramet, pour la mise en place des procédés métallurgiques
- SUEZ, pour la collecte et le démantèlement des batteries en fin de vie
- BASF pour la recomposition des matériaux actifs précurseurs et composés de cathodes

[1] *La cathode représente environ 20 à 25% du poids total de la cellule selon les technologies*

[2] *4,7 millions d'euros dispensés par le fonds EIT Raw Material. Source: communication officielle SUEZ*

c. Dans le futur, l'impératif économique pourrait gouverner le marché au-delà de l'obligation réglementaire

A date, le recyclage des batterie lithium-ion se focalise essentiellement sur la récupération de cobalt, car le coût du recyclage est compétitif par rapport à son extraction. Les procédés de recyclage sont principalement orientés vers la récupération de ce métal.

Au-delà du cobalt, les recycleurs européens doivent garantir qu'un minimum de 50% de la masse d'une batterie est valorisée. Cette contrainte, et celles plus spécifiques à chaque site de recyclage (technologie des batteries en entrée, méthodes de traitement, débouchés commerciaux sécurisés, etc.) gouvernent à date le choix des métaux récupérés. Les métaux les plus complexes à isoler font partie de la fraction de matériau fatale (entreposée en décharge). Ainsi, il est estimé que la proportion de lithium recyclée à l'échelle mondiale est inférieure à 1% de la masse contenue dans les objets en fin de vie, ce métal étant particulièrement difficile à isoler[1].

L'absence de standardisation dans les technologies de batteries et les faibles volumes de batteries en fin de vie à traiter freinent encore la mise en place de filières plus efficaces qui pourraient maximiser le taux de reconversion des métaux au-delà de l'obligation réglementaire. Cependant, le recyclage de composés non exploités à date pourrait s'avérer être économiquement rentable dans le futur à mesure que le prix des minerais augmente (voir encart prix des minerais) et que les installations de recyclage peuvent bénéficier d'économies d'échelle face à l'augmentation des volumes de batteries à traiter.

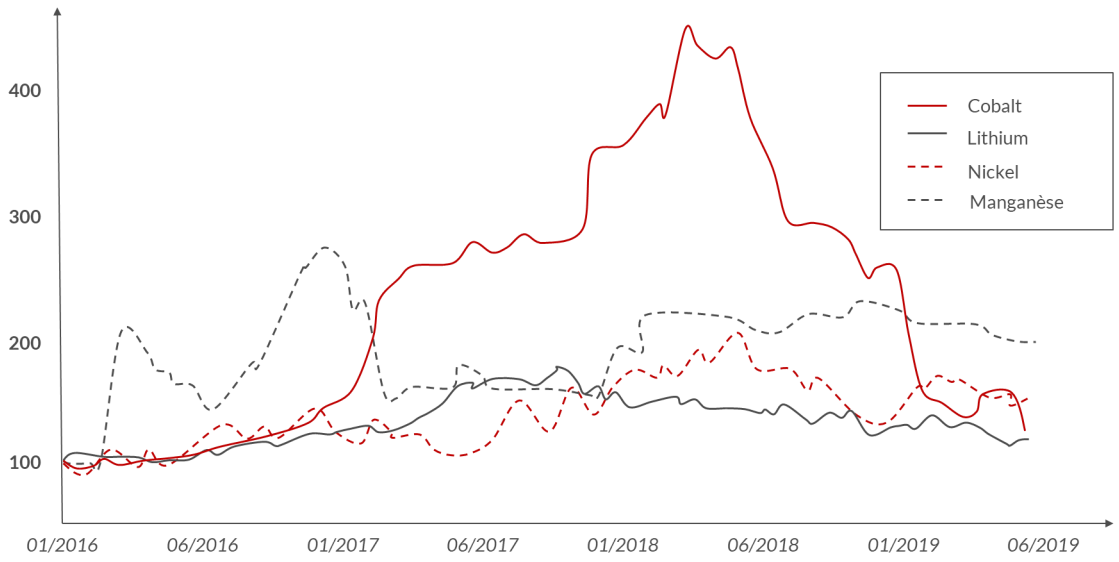
Evolution du prix des métaux de batteries: grande volatilité et tendance globalement haussière

Les matériaux de cathodes (Lithium, Nickel, Manganèse et Cobalt) ont connu des variations de prix importantes ces dernières années avec la multiplication de usages des batteries lithium-ion. Le cours du Cobalt notamment a été multiplié par plus de 4 entre 2016 et 2018 avant de redescendre à un niveau comparable à celui de début 2016 en 2019 (Figure 10).

[1] *UNEP 2013, A report of the working group on the global metal flows to the international ressource panel*

FIGURE 10

EVOLUTION DU PRIX DES MÉTAUX DE CATHODES (LITHIUM, COBALT, NICKEL, MANGANÈSE), 2016 – 2019, BASE 100 EN JANVIER 2016



Sources : *Trading Economics*

Sur le moyen/long terme, les risques de pénurie sur les métaux parfois invoqués dans la presse généraliste semblent être limités, car les réserves prouvées sont suffisantes pour répondre à la demande en batteries même dans les scénarios de pénétration de véhicules électriques les plus ambitieux. En revanche, les déséquilibres temporaires offre/demande, les problèmes d'approvisionnement et la nécessité d'extraire du minerai moins facilement accessible sont autant de raisons qui laissent envisager une augmentation du prix des matières premières et de leur volatilité à mesure que les volume de batteries mis sur le marché augmentent (probables tensions « périodiques » *a minima* entre offre et demande).

Les risques sur l'approvisionnement s'observent dès à présent. La filière d'extraction du Cobalt par exemple est fortement dépendante d'un seul pays, la République Démocratique du Congo qui compte 62% des réserves prouvées en minerai et totalise près de la moitié de l'extraction en matière première aujourd'hui[1]. A l'automne 2018, les autorités congolaises ont ainsi décidé d'augmenter la taxation sur les exportations de Cobalt de 2% à 10%. Si la filière peut s'adapter à des conditions de marché différentes (l'extraction accrue du Cobalt australien serait ainsi une réponse possible à un surcoût du Cobalt congolais), les modifications brutales de ce type ne peuvent qu'avoir un effet négatif sur la stabilité des cours du minerai.

La filière recyclage peut permettre de sécuriser une partie de l'approvisionnement en ressources et d'augmenter la résilience de l'industrie des batteries face à la volatilité du prix des matières premières dès aujourd'hui, et face à leur augmentation à court-moyen terme.

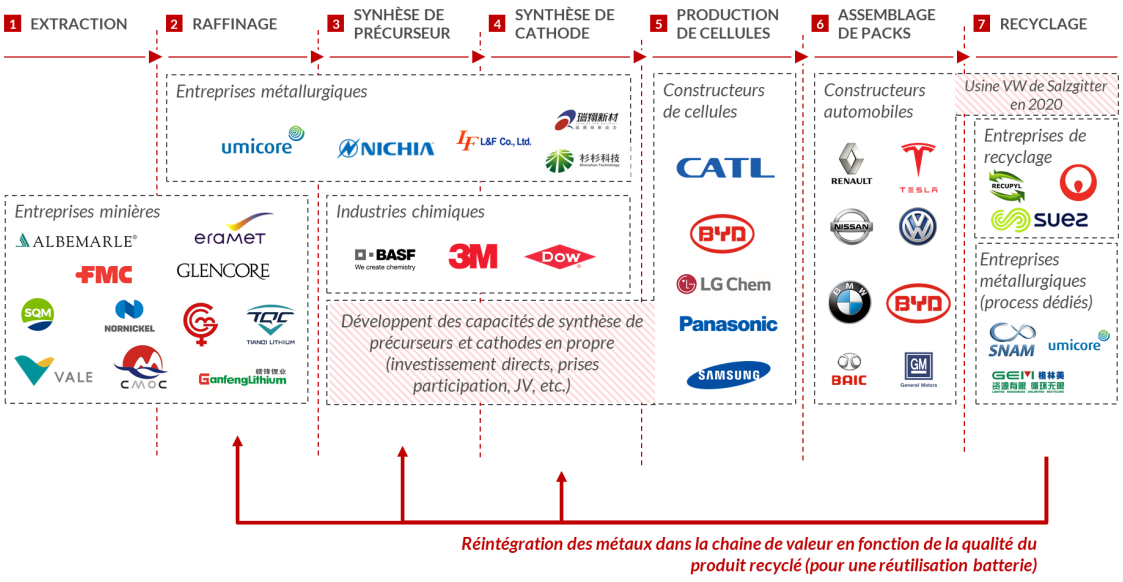
[1] *Source : US Geological Survey*

3

Pour les acteurs « traditionnels » du recyclage qui souhaitent se positionner sur les batteries, la question du business model à mettre en œuvre et notamment du niveau d'intégration sur la chaîne de valeur se pose

a. La chaîne de valeur de la production des batteries est aujourd'hui dominée à l'amont par quelques industriels internationaux et à l'aval par les leaders asiatiques de la fabrication de cellules de batteries

FIGURE 11
CHAÎNE DE VALEUR DE LA PRODUCTION DE BATTERIES DE VÉHICULES ÉLECTRIQUES (CENTRÉE SUR LES MÉTAUX DE CATHODES)



1 Extraction minière

De grands acteurs internationaux sont positionnés sur l'extraction minière de métaux clés dans la conception des batteries de véhicules. Les leaders de l'extraction par métal sont :

- Lithium : Albermarle (Pays-Bas), SQM (Chili), FMC (USA), Tianqi (Chine), Jiangxi (Chine)
- Cobalt : Glencore (Suisse), China Molybdenum (Chine), Fleurette Group (Congo), Vale (Canada), Gecamines (Congo)
- Nickel : Norilsk (Russie), Vale (Brésil), BHP (Australie), Jinchuan (Chine), Xstrata (Suisse), Eramet (France)

2 Raffinage des produits miniers

Le raffinage permet de transformer le minerai sorti de mines (concentré, mattes voire composées de faible pureté) en métal de bonne qualité avec un grade de pureté standard permettant de l'échanger sur les marchés. Si les grands acteurs internationaux de l'extraction minière disposent de capacités de raffinage des métaux en propre, certains acteurs chinois se sont spécialisés dans le raffinage (ex : Jiangsu Cobalt Nickel Metal., Shenzhen Green Eco-manufacture) et doivent assurer l'approvisionnement en minerai à travers des accords commerciaux avec des acteurs de l'extraction.

3 Synthèse des précurseurs de composants de cathodes

4 Synthèses des matériaux de cathodes

Ces deux maillons de la chaîne de valeur[1] consistent en la transformation de métaux raffinés de haute qualité en composés utilisables sur les chaînes de production de batteries. Nous distinguons ici deux étapes : premièrement la synthèse de précurseurs, composés intermédiaires entre le métal raffiné et les composés de cathodes, qui sont eux synthétisés dans un second temps.
La synthèse de ces composés repose sur des acteurs de la métallurgie et de la chimie lourde. Ces derniers peuvent être spécialisés, intégrés à des unités de traitement amont (Umicore) ou bien associés à des acteurs de l'aval (LG Chem) qui sécurisent leurs approvisionnements en précurseurs et raw material principalement à travers la prise de participation ou la création de JV avec des acteurs de la métallurgie.[2]

5 Fabrication des cellules batteries

Lors de la fabrication de cellules de batteries, les matériaux d'anode, de cathode et l'électrolyte sont assemblés au sein d'un même composant : la cellule. Le marché de la fabrication de cellules est très largement dominé par les acteurs asiatiques : BYD, CATL (Chine), LG Chem, Samsung (Corée), Panasonic (Japon). Ils totalisent à eux 5 près de ~60% de la capacité de production mondiale des batteries lithium-ion en 2018. Leurs sites de production, jusqu'à présent situés principalement sur le continent asiatique commencent à s'internationaliser : création de la Gigafactory Tesla/Panasonic aux Etats-Unis, projet d'implantation d'un site LG Chem en Pologne, etc.

[1] Il est important de noter que la frontière entre les maillons de chaîne de valeur n°2 et n°3 peut être ténue dans la mesure ou certains composés raffinés peuvent être utilisés directement comme précurseur dans la synthèse de cathodes (tel que Li2CO3 et LiOH). La description de la chaîne de valeur pourrait être précisée pour les différentes technologies de cathodes et les différents métaux mis en jeu, ce qui dépasse le cadre de cette étude.

[2] *En avril 2018, LG Chem a signé une joint-venture avec Zhejiang Huayou Cobalt pour l'établissement d'installations de production de précurseur et de composé de cathode puis a annoncé une prise de participation de 10% dans l'entreprise coréenne Chemco (Zinc) entre autres opérations visant à sécuriser l'approvisionnement en matières premières*

6 Assemblage de cellules en packs

L'assemblage des cellules en packs qui seront intégrés aux véhicules électriques est généralement réalisée par les constructeurs automobiles. Sur le site de Flins par exemple, Renault assemble ainsi les cellules fabriquées par LG Chem pour les intégrer à la Zoé produite sur le même site.

7 Recyclage

Le recyclage des batteries de véhicules électriques repose sur des procédés classiques de recyclage (traitement mécanique) mais également sur des procédés relevant de la métallurgie (pyrométallurgie, hydrométallurgie ou combinaison des deux technologies, voir encart dédié). Les sites de recyclage, localisés à proximité des centres de consommation sont répartis sur l'ensemble de la planète. Les traitements mécaniques simples conduisent à l'obtention de produits de faible pureté (black mass) mais qui peuvent convenir à des utilisations industrielles (fertilisants par exemple). Pour accéder à des marchés nécessitant des produits de pureté plus élevée, et notamment pour la réutilisation dans la conception de batteries, il est nécessaire de réintroduire les produits du recyclage suffisamment en amont dans la chaîne de valeur.

b. La réutilisation des matériaux de batteries recyclés pour la construction de batteries neuves nécessite le développement et l'investissement dans des technologies d'*upgrading*[1] complexes

Comme décrit précédemment, le recyclage des métaux contenus dans les batteries repose sur des techniques de métallurgie complexes pour isoler les différents composants et en assurer la qualité (pureté). A date, les acteurs traditionnels du recyclage, qui ne disposent que de compétences métallurgiques limitées, vendent le produit du recyclage à des acteurs spécialisés qui en assurent l'affinage en vue d'une valorisation industrielle.

La synthèse de composés de batteries nécessite des matières premières d'une très grande qualité. S'ils souhaitaient s'adresser à des clients situés plus en aval sur la chaîne de valeur (fabricants de précurseurs voire fabricants de cellules de batteries), les acteurs du recyclage seraient dans l'obligation de développer en propre des capacités d'affinage de leurs produits, de synthèse de composés et de contrôle de la qualité alignés sur les meilleurs standards du secteur, pour réaliser l'*upgrading* des métaux.

Au-delà des compétences éloignées de leur cœur de métier, l'affinage et la synthèse de composés haut de gamme reposent sur des technologies potentiellement protégées par des brevets et surtout sur des investissements initiaux conséquents.

[1] *L'upgrading s'entend ici comme l'amélioration de la pureté des minerais*

C. L'intérêt d'un repositionnement stratégique sur la chaîne de valeur et de la mise en place de capacité d'*upgrading* devra ainsi être évalué à la lumière de la valeur supplémentaire accessible

L'*upgrading* des métaux composants de batteries permet de produire des composés plus purs et transformés s'échangeant ainsi à un prix plus élevé sur les marchés. Des valeurs accessibles par les procédés d'*upgrading* peuvent ainsi être dégagées et analysées telles que:

- La marge de raffinage dans le cas de production d'un métal purifié standardisé échangeable sur les marchés
- La marge de synthèse de composés précurseur voire composés cathode lorsque l'*upgrading* est prolongé jusqu'à la transformation des métaux

Marge de raffinage

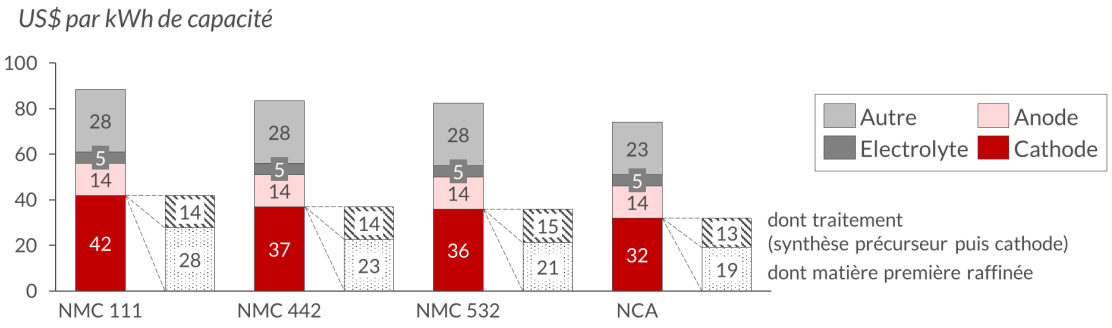
Le premium de raffinage sur le Lithium (différence entre le prix de vente du métal raffiné par rapport au minerai extrait en sortie de mine) est estimé à ~60% du prix de vente du lithium (7$ sur 12$/kg de vente de Li2CO3 de grade batterie). [1]

Marge de synthèse des composés cathode

Le traitement des matières premières de cathodes (synthèse des précurseurs puis synthèse du composé cathode) est lui estimé à ~30 à 40% du coût des cathodes à partir de matière première raffinée (Figure 12). La valeur captée par les acteurs de la synthèse de composés peut donc atteindre jusqu'à ~15$ par kWh de batterie produit.

FIGURE 12

DÉCOMPOSITION DU COÛT DES CONSTITUANTS D'UNE BATTERIE LITHIUM-ION SELON LA TECHNOLOGIE



Notes: NMC est la technologie Lithium, Nickel, Manganèse, Cobalt, la numérotation indiquant une répartition différence entre les composés. NCA est la technologie de cathode Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide

Sources : *d'après M. Wentker, M. Greenwood et J. Lecker, A bottom-Up approach to Lithium-Ion Battery Costs Modeling with a Focus on Cathode Active Materials, Février 2019*

[1] *Analyse E-CUBE sur la base des prix référencés dans le Global Lithium Wrap, CIF China. Hypothèses: transformation de la roche (spodumène) en matière première pour la production de batterie (carbonate Li2CO3 à 99,5% de pureté requis pour la synthèse de cathode de batteries)*

Conclusion

L'état des lieux effectué dans le cadre de cette étude permet d'identifier trois défis à relever pour les acteurs européens qui souhaitent se positionner sur le recyclage de batteries en vue de la réutilisation des métaux :

1 Analyser et saisir les opportunités de marché, notamment dans le contexte de l'émergence d'une filière batterie européenne

Les acteurs souhaitant se positionner sur le recyclage de batteries et la valorisation des métaux en vue de leur réutilisation devront identifier les opportunités de marché:

- En monitorant de près les avancées technologique sur les filières de recyclage et d'*upgrading* des métaux et en analysant les retours d'expérience des premiers sites mis en places;
- En analysant finement les temporalités croisées du développement de l'électromobilité et du recyclage de batteries (en fonction de la durée de vie des batteries et de leur taux de réutilisation notamment)
- En considérant la participation à des projets de développement R&D et de sites pilotes soutenus par les acteurs institutionnels.

Sur ce dernier point, les autorités européennes, à travers le projet d'*Airbus de la batterie*, témoignent de la volonté d'investir significativement (~6Mds€ annoncés pour la première phase) dans le développement de la filière batterie de véhicules sur le sol européen et d'intégrer tous les maillons de la chaîne de valeur depuis l'extraction jusqu'au recyclage au sein d'une démarche industrielle cohérente, avec l'ambition d'approvisionner ~10% de la filière de production avec des matières recyclées à horizon 2030. A l'image du projet ReLieVe (Eramet, SUEZ, BASF), bénéficiant de financements européens, les acteurs souhaitant se positionner sur le recyclage et la valorisation des métaux batteries doivent étudier dans quelle mesure l'initiative peut leur permettre d'accélérer et de crédibiliser leur démarche industrielle.

2 Estimer les coûts et les valeurs atteignables

L'opportunité d'investir dans des moyens de recyclage et d'*upgrading* devra se mesurer à la lumière des coûts atteignables et des valorisations accessibles à chacune typologie d'acteurs. L'exercice de quantification est rendu ardu par la grande variabilité des revenus espérés (cours des métaux) et par la difficulté d'anticiper les CAPEX sur des filières encore immatures (progression rapide des technologies de recyclage et de traitement des métaux).

Conclusion

Les différences entre les typologies d'acteurs porteront principalement sur les coûts atteignables :

- Les acteurs du recyclage peuvent s'appuyer sur des filières de collecte et de tri déjà existantes pour mettre en place des circuits d'approvisionnement en métaux de batteries usagées à l'amont;
- Les acteurs de la chimie et de la métallurgie bénéficient eux d'une position concurrentielle favorable pour le traitement et la synthèse de composés métalliques. En plus de leurs compétences métiers éprouvées, ils s'appuient sur des installations déjà en place et bénéficient à ce titre d'effets d'échelle inaccessibles à des nouveaux entrants. La concentration d'acteurs de fabrication de batteries et la volonté de créer des usines sans cesse plus grandes (Gigafactory de Tesla / Panasonic aux Etats-Unis) illustre cette course au gigantisme sur lesquels tous les acteurs de la filière comptent pour asseoir leur position dominante.

3 Analyser les opportunités et l'intérêt de l'intégration sur la chaîne de valeur du recyclage et de réutilisation des batteries

Quasiment tous les acteurs de la chaîne de valeur de production de batteries automobiles manifestent des velléités d'intégration au-delà de leur cœur de métier, pour sécuriser leurs débouchés (production de cathode par Umicore), l'approvisionnement en matière premières vitales (internalisation de la synthèse de précurseur par les acteurs de la fabrication de cellules de batteries) ou maitriser les coûts (mise en place par Volkswagen d'une usine de recyclage de batteries).

Au-delà d'évaluer leur capacité à s'approprier les techniques de métallurgie nécessaires, les acteurs du recyclage qui souhaiteront se repositionner sur la chaîne de valeur devront également mesurer le risque commercial associé : concurrencer directement les métallurgistes sur leur cœur de métier peut avoir des répercussions au-delà du recyclage des batteries, ces acteurs pouvant être des clients pour la valorisation de métaux autres (fer, cuivre notamment).

Réciproquement, les acteurs de la métallurgie qui souhaiteraient contrôler l'intégralité de la chaîne de recyclage et réutilisation devront s'aventurer sur le terrain de la collecte et du tri de déchets qui est éloigné de leur cœur d'activité.

La réalisation en propre de toutes les activités de la chaîne de valeur n'est pas la seule option pour réaliser l'intégration. Des opportunités de partenariats existeront entre les acteurs positionnés sur différents maillons de la chaîne de valeur : création de Joint-ventures, prises de participation, accords sur l'utilisation de brevets, contrats long-termes d'approvisionnement, etc. Ces partenariats peuvent également permettre de mieux répartir la création de valeur associée au recyclage et à la réutilisation des matériaux à terme.

Auteurs
Yoann Murat (Consultant Senior) , sous la supervision d'**Alexandre Hoffer** (Manager) et **Alexandre Bouchet** (Directeur Associé)

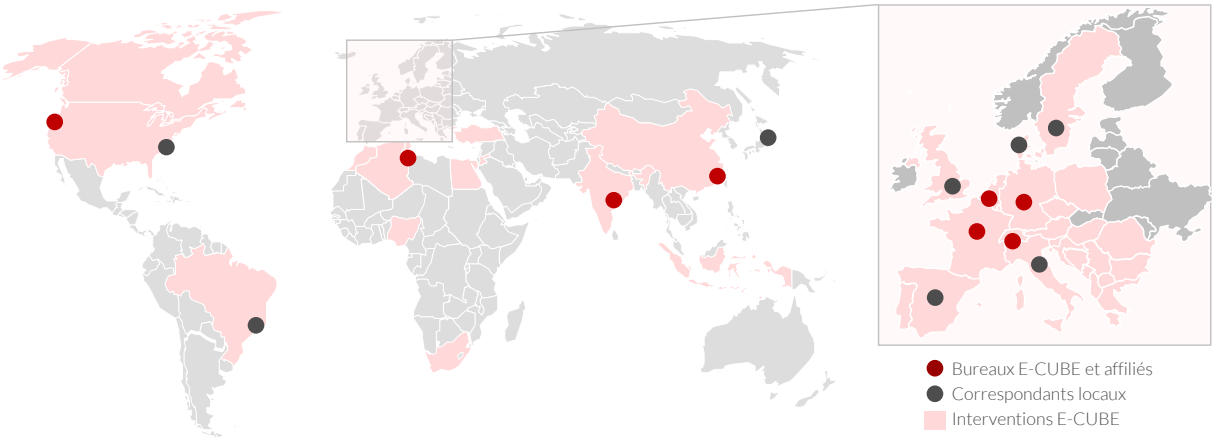
E-CUBE Strategy Consultants est un cabinet de conseil de Direction Générale exclusivement dédié aux enjeux énergétiques et environnementaux. Nous combinons les atouts de proximité, réactivité et flexibilité d'une petite équipe avec le plus haut niveau d'excellence et d'expérience d'une équipe internationale.

Nos trois domaines d'expertise en Suisse et en Europe :

- **Energie :** Accompagner les énergéticiens (électriciens et gaziers, acteurs des filières Nouveaux Renouvelables, compagnies pétrolières) dans l'anticipation et la prise en compte de l'évolution de leur environnement marché, réglementaire, concurrentiel et technologique. Assister les acteurs publics et privés dans l'évaluation ou la définition de leur stratégie afin d'intégrer les enjeux et les opportunités d'une « nouvelle donne » énergétique et environnementale.
- **Mobilité :** Accompagner les acteurs publics et privés de la mobilité (automobile, transport routier, ferroviaire, transport aérien, shipping, logistique) dans le cadre de leurs projets stratégiques, réglementaires et opérationnels. Accompagner les leaders de l'industrie et les collectivités dans la réévaluation de leur stratégie afin d'intégrer les enjeux du digital et l'essor des nouveaux modèles et usages.
- **Infrastructures :** Conduire des projets de stratégie de croissance ou d'amélioration de la performance pour des gestionnaires et opérateurs d'infrastructures. Assister les fonds d'investissement dans leurs acquisitions et prises de participation.

E-CUBE Strategy Consultants accompagne ses clients sur des problématiques globales à partir de ses bureaux à Paris, Lausanne et Bruxelles, et de ses bureaux de représentation et avec ses partenaires internationaux.

Pour plus d'informations, veuillez visiter www.e-cube.com.



Paris (France)
E-CUBE Strategy Consultants
8, rue Royale
75008 Paris

Lausanne (Suisse)
E-CUBE Strategy Consultants
Avenue de Rumine 33
CH-1005 Lausanne

Bruxelles (Belgique)
E-CUBE Strategy Consultants
Rue des Champs 64 Bte 14
B-1040 Bruxelles

Munich (Allemagne)
bozem | consulting associates
Kunstmann Straße 5
80997 München

San Franciso (USA)
Menlo Energy Economics
1925 Nero Ct
Walnut Creek, CA 94598

Tunis (Tunisie)
International Energy Consulting
4 rue Bir Essaboa, Cité Ennasr 2
2037 – Ariana - Tunis

Chennai (Inde)
E-CUBE Strategy Consultants
Plot 64, 2nd link street, Nehru Nagar, O.M.Road,
Thiruvanmiyur, Chennai

Hong Kong (Chine)
E-CUBE Strategy Consultants
Unit 1305, Tower II, Metropla-za, 23 Hing Fong Road, Kwai Fong,N.T. Hong Kong

PARIS — LAUSANNE — BRUXELLES — MUNICH — SAN FRANCISCO

TUNIS — CHENNAI — HONG KONG

Recyclage des batteries de véhicules électriques

Octobre 2019
Copyright © E-CUBE Strategy Consultants SA
www.e-cube.com

Toute reproduction sans l'autorisation de l'auteur est interdite.

Contact
Alexandre Bouchet — Directeur Associé
alexandre.bouchet@e-cube.com