

ÉTUDE



RECYCLAGE

des

BATTERIES

Étude d'opportunité, de développement
et de structuration de l'amont de la filière
de recyclage des batteries industrielles
au lithium, en Nouvelle-Aquitaine



RÉGION
**Nouvelle-
Aquitaine**

entreprises.nouvelle-aquitaine.fr

Préambule

La Région Nouvelle-Aquitaine, cheffe de file en matière de climat, air, énergie, se mobilise depuis plusieurs années, pour soutenir l'émergence d'une filière des batteries compétitive sur son territoire. Elle inscrit notamment cette priorité au sein de son SRDEII (Schéma Régional de Développement Economique d'Innovation et d'Internationalisation) et de sa Feuille de route NEOTERRA.

La filière Batterie est une filière stratégique pour la Région Nouvelle-Aquitaine, elle fait en effet partie de ses filières prioritaires, car elle permet d'apporter une réponse face aux enjeux énergétiques et environnementaux.

La région Nouvelle-Aquitaine concentre la majeure partie des industriels français des batteries, et l'ensemble de la chaîne de valeur est présente en Nouvelle-Aquitaine. On y distingue des acteurs de la recherche, des centres de transfert de technologie, des industriels de la chimie, du test, des producteurs de cellules et/ou systèmes de batteries, des spécialistes de la sécurité des batteries, des intégrateurs (stockage stationnaire et mobilité) et des acteurs du démantèlement et du recyclage. La filière fait notamment l'objet de développements innovants (matériaux, recyclage, ressources en minerais, tests et qualification...).

La Région Nouvelle-Aquitaine soutient le développement d'une filière des batteries compétitive sur son territoire, s'inscrivant dans une démarche d'économie circulaire. Pour cela elle renforce la recherche et le développement dans ce domaine, impulse la création de start-up, de projets collaboratifs, et favorise le développement du recyclage des batteries.

Pour structurer et soutenir l'organisation de la chaîne de valeur du recyclage des batteries sur son territoire, la Région Nouvelle-Aquitaine a engagé une étude d'opportunité, de développement, et de structuration de l'amont de la filière de recyclage des batteries industrielles au lithium.

Celle-ci vise à qualifier les enjeux et les problématiques associés au traitement des batteries industrielles au lithium, non valorisable, et à définir des préconisations d'organisation en Nouvelle-Aquitaine.

Des acteurs du démantèlement et du recyclage s'organisent déjà en région, l'étude porte donc spécifiquement sur l'amont de la chaîne du recyclage, c'est-à-dire à partir du stade de la collecte des batteries en fin de vie jusqu'à la phase de prétraitement et obtention de la black mass (ou matière active).

Sommaire

1. CONTEXTE, ENJEUX ET OBJECTIFS, METHODOLOGIE	5
1.1. CONTEXTE ET ENJEUX.....	5
1.2. OBJECTIFS.....	5
1.3. METHODOLOGIE	6
<u>PHASE 1 – ÉTAT DE L’ART DES PHASES AMONT DU RECYCLAGE DES BATTERIES AU LITHIUM INDUSTRIELLE EN FIN DE VIE</u>	7
1.4. ÉTAPE 1 – DESCRIPTION DE LA CHAÎNE AMONT DU RECYCLAGE DES BATTERIES AU LITHIUM INDUSTRIELLES.....	7
PRECISIONS TERMINOLOGIQUES : ECONOMIE CIRCULAIRE	7
TYPLOGIE DES BATTERIES AU LITHIUM INDUSTRIELLES EN FIN DE VIE	8
OPERATIONS AMONT DE RECYCLAGE DES BATTERIES AU LITHIUM INDUSTRIELLES EN FIN DE VIE	10
PRINCIPAUX ENJEUX POUR ASSURER UN RECYCLAGE EFFICIENT DES BATTERIES AU LITHIUM.....	13
RISQUES ET CONTRAINTES EN LIEN AVEC LE RECYCLAGE DES BATTERIES AU LITHIUM	14
CAS PARTICULIERS	22
1.5. ÉTAPE 2 – TYPOLOGIE DES ACTEURS ET PARTIES PRENANTES DE LA CHAÎNE AMONT	23
TYPLOGIE DES GISEMENTS POTENTIELS DE BATTERIES AU LITHIUM INDUSTRIELLES EN FIN DE VIE	23
TYPLOGIE DES ACTEURS ET PARTIES PRENANTES DE LA CHAÎNE AMONT DU RECYCLAGE DES BATTERIES AU LITHIUM INDUSTRIELLES HORS D’USAGE	26
1.6. SYNTHÈSE	29
<u>PHASE 2 – BENCHMARK DE LA CHAÎNE AMONT AUX NIVEAUX REGIONAL, NATIONAL ET EUROPEEN</u>	31
1.7. ÉTAPE 1 – POSITION ET SITUATION DE LA FRANCE EN MATIÈRE DE COLLECTE, DE TRANSPORT ET LOGISTIQUE DES BATTERIES AU LITHIUM INDUSTRIELLES HORS D’USAGE	31
DEFINITION RÉGLEMENTAIRE DES BATTERIES DITES « INDUSTRIELLES »	31
LA DIRECTIVE BATTERIES ET SA TRANSPOSITION EN FRANCE.....	31
LA PROPOSITION DE RÉGLEMENT	35
RÉGLEMENTATIONS AILLEURS DANS LE MONDE.....	37
1.8. ÉTAPE 2 – IDENTIFICATION, EN FRANCE ET EN EUROPE, DE TERRITOIRES OU DE STRUCTURES REMARQUABLES, ACTIFS DANS LA CHAÎNE AMONT DU RECYCLAGE — COLLECTE & TRI ET/OU TRANSPORT & LOGISTIQUE ET/OU PRETRAITEMENT.....	38
1.9. ÉTAPE 3 – BENCHMARK DE 5 TERRITOIRES ET/OU STRUCTURES PARMI CEUX IDENTIFIÉS DANS L’ÉTAPE 2	38
SITUATION EN FRANCE	39
SITUATION EN EUROPE.....	46
1.10. SYNTHÈSE	61

PHASE 3 – ANALYSE DE LA SITUATION ET QUALIFICATION DES ENJEUX ET OPPORTUNITES POUR LA NOUVELLE-AQUITAINE68

1.11. ÉTAPE 1 – RECENSEMENT D’ACTEURS NEO-AQUITAINS EN VUE DE LEUR POSITIONNEMENT SUR LA CHAINE AMONT DU RECYCLAGE DE BATTERIES AU LITHIUM INDUSTRIELLES	68
LA FILIERE BATTERIE EN NOUVELLE-AQUITAINE.....	68
MEMBRES DU CLUSTER ÉNERGIES-STOCKAGE MOBILISABLES SUR LA CHAINE AMONT DE RECYCLAGE.....	70
NON-MEMBRES DU CLUSTER ÉNERGIES-STOCKAGE MOBILISABLES SUR LA CHAINE AMONT DE RECYCLAGE	73

1. Contexte, enjeux et objectifs, méthodologie

1.1. Contexte et enjeux

Le basculement vers une électrification massive des voitures, annoncé pour 2025, constitue une opportunité de structurer la filière batterie en région Nouvelle-Aquitaine. Le développement d'une filière des batteries est par ailleurs un enjeu de souveraineté européenne.

Cependant, cette filière s'appuie aujourd'hui sur des matières premières extraites et raffinées hors d'Europe – en particulier en Asie.

Un rapport de 2019 du comité stratégique de filière (CSF) Mines et Métallurgie estime que les besoins totaux de traitement des batteries au lithium des véhicules électriques et hybrides, en fin de vie, pourraient s'élever à 50 000 tonnes par an dès 2027 (traitement actuel en Europe estimé à 15 000 tonnes). Ces quantités considérables – en augmentation exponentielle – de batteries en fin de vie nécessitent d'élaborer une stratégie régionale de recyclage.

Le recyclage des batteries, outre de constituer un moyen de maîtriser l'impact environnemental d'un déchet en fin de vie, se présente également comme un moyen de retrouver en Europe des ressources minérales stratégiques, dans une logique d'économie circulaire à long terme.

La Région Nouvelle-Aquitaine soutient le développement d'une **filière des batteries** sur son territoire. Dans ce cadre, une démarche responsable visant à questionner le champ du recyclage des batteries, notamment les **batteries au lithium** dites « **industrielles** » est nécessaire.

Ces batteries industrielles concernent essentiellement deux marchés :

- le **stockage embarqué** d'énergie électrique pour le **transport** et la **mobilité** (en surface ou en mode aérien) : automobile, bus, ferroviaire, aéronautique, nautisme, naval... ;
- le **stockage stationnaire** d'énergie électrique, couplé à l'introduction des énergies renouvelables (solaire photovoltaïque, éolien...).

Ces batteries industrielles ont une durée de vie assez longue (7 à 15 ans). Le volume de batteries arrivées en fin de vie s'avère encore modeste mais devrait croître de façon plus significative.

L'Europe et l'État français portent également une attention particulière à la structuration de la filière batterie. Le volet recyclage fait partie des axes de travail identifiés. Ce sujet est traité, respectivement, au sein des comités stratégiques de filières « [Nouveaux systèmes énergétiques](#) » et « [Transformation et valorisation des déchets](#) ».

1.2. Objectifs

L'étude porte sur l'**amont de la chaîne du recyclage des batteries au lithium en fin de vie** : soit de la fin de vie des batteries hors d'usage jusqu'au stade de la black mass – les étapes de « seconde vie » et de reconditionnement sont exclues.

L'objectif est de mieux appréhender les **étapes conduisant une batterie au lithium industrielle en fin de vie à la phase de traitement** du produit pour en faire un déchet (soit de la phase de collecte de la batterie en fin de vie, jusqu'à la phase de prétraitement – phases incluses).

En premier lieu, il s'agit d'acquérir une **meilleure connaissance** :

- des typologies de **problématiques** rencontrées et à venir, et dimensionner leurs impacts ;
- des **acteurs** impliqués ou à impliquer ;
- de la **logistique** associée à ces étapes (collecte, stockage, prétraitement, transport, distribution) ;
- des **coûts** associés (business model) – sous réserve de la disponibilité ou de l'accessibilité de ces informations sensibles dans la sphère publique ou auprès des experts interrogés ;
- et de bénéficier d'une vision globale du niveau de **maturité** de l'organisation de ces étapes.

En second lieu, il convient de qualifier les **enjeux** et **opportunités** associées au recyclage de ces batteries, d'en qualifier les **risques** et d'en déduire des **préconisations**

→ Cette partie n'est pas communiquée dans ce document, pour plus d'information, vous pouvez contacter Mme BEAUDUC Oriane : oriane.beauduc@nouvelle-aquitaine.fr

Les étapes de traitements des déchets proprement dits, qui sont notamment le broyage, la pyrolyse et l'hydrométallurgie, sont connues de la Région Nouvelle-Aquitaine et ne font pas l'objet de la présente étude – une récente [publication](#) (février 2020) du CSF Mines et Métallurgie décrivant de manière précise la situation.

Ces questions seront abordées et synthétisées dans les différents comptes rendus, en tenant compte des dimensions **technologique, écologique, économique, concurrentielle** et **temporelle**. Aussi, les questions de **sécurité, de réglementation, de responsabilités, de formation** et de **qualification** orienteront l'analyse.

Cette étude permettra ainsi d'établir des recommandations précises pour le développement ou le renforcement d'une filière régionale de recyclage des batteries au lithium, s'inscrivant dans une dynamique nationale et européenne de structuration de la filière. Elle pourra appuyer l'opportunité d'accueillir un centre régional dédié à la collecte, au traitement et au recyclage de batteries au lithium.

1.3. Méthodologie

Réalisation s'appuyant sur des sources ouvertes : exploitation de tous documents et travaux disponibles dans la sphère publique – recherches Internet, études et rapports, extraction de bases de données de presse, extraction de bases de données d'entreprises, sites de salons spécialisés, sites spécialisés, etc.

Réalisation s'appuyant également sur l'analyse des sites Internet des acteurs identifiés.

Réalisation s'appuyant enfin, en tant que de besoin, sur des entretiens téléphoniques directs conduits auprès d'experts identifiés par l'ADIT au cours de la mission ou de consultants spécialisés partenaires de l'ADIT.

Phase 1 – État de l'art des phases amont du recyclage des batteries au lithium industrielle en fin de vie

Cette phase a pour but de comprendre les enjeux, les opportunités, les contraintes et les parties prenantes de la chaîne amont du recyclage des batteries au lithium industrielles.

1.4. Étape 1 – Description de la chaîne amont du recyclage des batteries au lithium industrielles

Précisions terminologiques : économie circulaire

L'Agence de la transition écologique (Ademe) définit l'[économie circulaire](#) comme « un système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (bien et service), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en développant le bien-être des individus ». Le modèle économique circulaire a pour objectif de produire des biens et des services de manière durable et vise à limiter les déchets en les valorisant, par exemple comme une ressource pour la production de nouveaux biens.

L'économie circulaire s'appuie sur la valorisation des déchets au lieu de leur élimination. La règle dite des 3R (Reduce – Reuse – Recycle) est une stratégie de gestion des produits en fin de vie et des déchets qui en découlent, visant à :

- réduire (reduce) la quantité de produits qui arrivent en fin de vie ;
- réemployer ou réutiliser des produits qui deviendraient autrement des déchets¹ :
 - o on parle de réemploi (cf. article L541-1-1 du Code de l'environnement) si un produit en fin de vie est traité puis réemployé sans modification de son usage initial, par exemple, réemploi d'une batterie usagée dans un autre véhicule électrique après reconditionnement (le produit n'est pas considéré comme un déchet au sens de la réglementation),
 - o on parle de réutilisation (cf. article L541-1-1 du Code de l'environnement) si un produit en fin de vie est traité puis à nouveau utilisé mais avec modification de son usage initial, par exemple, réutilisation des éléments d'une batterie usagée pour du stockage stationnaire (juridiquement, dans ce cas de figure, le produit est considéré comme un déchet),
 - o réemploi et la réutilisation se distinguent par le passage ou non du bien (batterie) en fin de vie par le statut de déchet² ;
- recycler les matières premières (matériaux) dont sont constitués les produits en fin de vie dans le but de générer des « matière première secondaire » entrant dans la composition de nouveaux produits (des batteries et leurs composants, en boucle fermée, ou tous autres objets, en boucle ouverte) :
 - o la présente étude s'inscrit dans cette perspective.

Les composants de batteries au lithium en fin de vie qui, pour diverses raisons, n'entreraient pas dans ce schéma sont considérés comme des déchets ultimes.

¹ La réglementation européenne attribue le statut de déchet à « toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défait » – cf. art. 3 de la directive 2008/98/CE relative aux déchets.

² La Direction générale de la prévention des risques (DGPR) du ministère de la Transition écologique considère que l'utilisation d'une batterie en stockage stationnaire ou à des fins de propulsion dans un véhicule électrique relève d'un usage identique (stockage d'énergie). De ce fait, les définitions réglementaires de réemploi et de préparation en vue de réemploi s'appliqueraient aussi dans le cas de la reconversion d'une batterie de véhicule électrique en batterie pour stockage stationnaire. L'activité de traitement d'une telle batterie – alors non considérée comme un déchet – peut être pratiquée en dehors d'une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE). La DGPR précise aussi que le droit national prévoit que les opérations de préparation en vue de la réutilisation d'un objet ou composant d'un objet destiné au même usage que l'usage initial permettent une sortie du statut de déchet automatique dès lors que lesdits objet ou composant d'objet sont conformes aux réglementations produits applicables.

Typologie des batteries au lithium industrielles en fin de vie

Les [batteries électriques](#)³ sont utilisées pour du stockage électrique depuis le 19^e siècle. Elles ont été principalement utilisées jusqu'à la fin du 20^e siècle pour des applications à petite échelle (secteur du transport, applications de secours, source de courant mobile...). Les batteries au plomb ont longtemps répondu aux besoins de stockage et de mise à disposition d'énergie électrique et continuent de dominer le marché du fait de leur robustesse, leur faible prix et leur facilité d'utilisation. Les batteries Ni-Cd (nickel-cadmium), robustes et faciles d'utilisation, sont particulièrement utilisées pour les applications offshore, les transports aériens et ferroviaires et sur sites isolés du fait de leur fiabilité dans les environnements extrêmes.

Plus récemment, la mise au point de technologies à base de nickel-hydrure métallique Ni-MH (Nickel-Metal Hydride) ou de lithium-ion (Li-ion) a été motivée par la nécessité de trouver des systèmes de stockage dotés de densités d'énergie plus importantes, liée dès les années 2000 à un fort développement des applications électroniques nomades (téléphonie, informatique) et, plus récemment, au développement de la mobilité électrique (tous véhicules ou engins électriques).

Dans le contexte de forte croissance du marché de la mobilité électrique notamment, face aux enjeux environnementaux liés à la fabrication et à la fin de vie des batteries Li-ion et face au risque de déplétion des ressources utilisées pour leur fabrication (métaux stratégiques : principalement le lithium et le cobalt, le nickel dans une moindre mesure), la question du [recyclage](#) de ces batteries devient particulièrement cruciale. Pour les autres technologies de batteries (Ni-MH, Ni-Cd, Na-S, etc.), bien que les enjeux de recyclage soient importants, ils apparaissent moindres au regard des volumes considérés.

Les batteries au lithium industrielles à recycler relèvent d'une typologie très diversifiée, cette grande diversité des batteries Li-ion⁴ étant essentiellement due à la composition des cathodes⁵, constituées d'un oxyde métallique – les métaux de valeur visés par les procédés de recyclage sont principalement situés à la cathode :

- la technologie Li-métal ou plus précisément **LMP** (Lithium Metal Polymer), mise au point dès 1973, utilise une anode composée de lithium métallique et une cathode composée de phosphate de fer lithié (LiFePO_4), mais plusieurs inconvénients et l'absence de procédé pour le recyclage ont conduit au développement de la technologie Li-ion et à son abandon progressif ;
- la première génération de batteries au lithium est la technologie **LCO** (Lithium Cobalt Oxide, 1991) dont la cathode, constituée d'un oxyde mixte de cobalt et de lithium (LiCoO_2), contient jusqu'à 100 % de cobalt et reste encore utilisée pour les produits portables ;
- la technologie LCO a rapidement été remplacée dans les véhicules électriques par la technologie **LMO** (Lithium-ion Manganese Oxide, 1996), constituée d'un oxyde de lithium et de manganèse (LiMn_2O_4), moins chère car n'utilisant pas de cobalt mais avec une densité d'énergie insuffisante pour les produits portables ;
- viennent ensuite les technologies à haute teneur en nickel (80 %) avec le **NCA** (lithium Nickel Cobalt Aluminium oxide, 1999), de formule générale $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$, remarquable par sa densité d'énergie (technologie utilisée par Tesla) ;
- apparaît au même moment la technologie **LFP** (Lithium Fer Phosphate, 1998), de formule LiFePO_4 , remarquable par sa cyclabilité et sa stabilité thermique ;
- depuis 2006, la technologie **NMC** (lithium Nickel Manganese Cobalt oxide), qui permet de nombreuses variantes en jouant sur les proportions de Ni/Mn/Co, est en forte croissance, évoluant actuellement vers des

³ Une batterie d'accumulateurs est un ensemble d'accumulateurs électriques (ou éléments, ou cellules) reliés entre eux de façon à créer un générateur électrique de tension (mesurée en volts – V) et de capacité (mesurée en ampères-heures – Ah). Les accumulateurs sont basés sur un système électrochimique réversible et sont donc rechargeables par définition.

⁴ La technologie dite « lithium polymère » (Li-Po – en réalité plus correctement « lithium-ion polymère ») est une variante de la technologie Li-ion (l'électrolyte est un gel au lieu d'être liquide), peu commercialisée (aéronautique, drones).

⁵ Dans les anodes, la matière active permettant l'insertion d'ions lithium est principalement en carbone, sous forme de graphite naturel ou synthétique.

teneurs de plus en plus importantes en nickel⁶ – technologie majoritaire (avec LCO) sur les produits portables⁷ ;

- enfin, il convient de mentionner les batteries du futur à base de lithium, encore au stade de la R&D, en particulier :
 - o la technologie **lithium-air**, pour laquelle existent des prototypes de laboratoire et qui bénéficie de la R&D liée à l'amélioration des performances des batteries Li-ion (électrodes en graphène, compréhension pointue des mécanismes chimiques, stabilité des électrolytes...),
 - o les batteries **Li-S**, composée d'une anode métallique en lithium et d'une cathode en soufre et dotée d'une densité d'énergie particulièrement élevée.

Outre les électrodes (anodes et cathodes), l'électrolyte des cellules contient aussi du lithium car, le lithium étant très réactif au contact de l'eau, on utilise des électrolytes non-aqueux le plus souvent constitués de sels de lithium⁸ dissouts dans un solvant organique. Par ailleurs, les séparateurs des électrodes – des films poreux inertes vis-à-vis des électrolytes liquides utilisés – ne contiennent pas de lithium. En définitive, la fraction métallique des batteries Li-ion contient, dans des proportions variables selon leur typologie, les différents métaux suivants : aluminium (Al), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), lithium (Li), manganèse (Mn), nickel (Ni).

La diversité de composition des batteries Li-ion a des conséquences importantes en ce qui concerne leur [recyclage](#).

Eu égard à son potentiel de développement considérable, le marché de la mobilité électrique s'est imposé de fait comme le déterminant majeur des choix technologiques et industriels qui ont conduit à une large [domination](#) des batteries Li-ion. Car, bien qu'elle présente certaines limites (complexité de gestion, contraintes de sécurité, etc.), la technologie Li-ion est actuellement la seule en mesure de répondre au cahier des charges de la mobilité électrique, dont le potentiel de croissance a permis d'attirer des investissements massifs visant à augmenter les capacités de production de cellules Li-ion partout dans le monde.

Ces investissements ont permis ces dernières années une amélioration continue des performances par la R&D et une baisse des prix principalement liée à des économies d'échelle et une guerre commerciale entre fabricants. Ce contexte réduit très fortement le potentiel d'émergence de technologies alternatives à moyen terme. La domination de la technologie Li-ion perdurera ainsi au moins sur les 10 à 15 prochaines années. D'autant plus que les surcapacités actuelles et l'agressivité commerciale des fabricants à la recherche de débouchés permet l'implantation de batteries Li-ion y compris sur le marché du stockage stationnaire sur lequel la technologie ne présente pourtant pas d'atouts déterminants.

Bien que beaucoup moins important que celui de la mobilité électrique, ce marché offre lui aussi des perspectives de croissance intéressantes du fait du développement des énergies renouvelables (éolien et solaire photovoltaïque, notamment – vision à nuancer cependant, comme on le verra à l'étape 2, à propos des gisements). Mais le marché du stockage stationnaire reste plus ouvert et même si la technologie Li-ion capte aujourd'hui l'essentiel de la croissance, d'autres technologies (batteries Na-S à base de sodium-soufre, batteries à circulation, piles à hydrogène, supercondensateurs, etc.) devraient trouver leur place, notamment dans le stockage de longue durée ou de grande capacité.

⁶ Le Nickel Institute (<https://nickelinstitute.org>) prévoit une augmentation de la part des batteries au nickel dans les années à venir (2025 et au-delà). L'agence Bloomberg (www.bloomberg.com) prévoit quant à elle une très large domination des batteries NMC dans les véhicules électriques d'ici 2030, avec des teneurs en nickel de plus en plus importantes, ainsi qu'une disparition totale des technologies LMO et LFP. Voir également cette [étude](#) d'IHS Markit, page 9, sur la prédominance des batteries NMC.

⁷ Sur les véhicules électriques on trouve principalement les technologies NMC, NCA (Tesla) et LFP (constructeurs chinois) et LMO.

⁸ Le LiPF_6 – de loin le plus courant – mais aussi les sels LiBF_4 , LiClO_4 , LiCF_3SO_3 ou encore $\text{Li}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2$. À l'avenir la technologie Li-ion devrait évoluer vers des électrolytes solides inorganiques ou organiques.

Opérations amont de recyclage des batteries au lithium industrielles en fin de vie

La chaîne des opérations de recyclage des batteries au lithium en fin de vie se compose à grands traits de trois étapes principales qui vont faire intervenir des acteurs industriels ou des prestataires de service en fonction des besoins :

- la collecte des batteries, réalisée par un spécialiste de la logistique ou de la reverse logistique ;
- la préparation des batteries collectées, avec la mise en sécurité et le démantèlement du pack (packaging, carte électronique, câbles...), jusqu'à l'obtention d'éléments unitaires (à l'échelle des modules ou des cellules) ;
- le traitement de recyclage et l'affinage selon deux procédés ou combinaisons de ces procédés (voir plus loin, à propos des procédés pyrométallurgiques et des procédés hydrométallurgiques).

Dans la majorité des cas, les étapes de préparation et de recyclage sont effectuées par le même acteur. La collecte, étape purement logistique, peut faire intervenir un service de gestion de contenants spécifiques et de mise à disposition et de stockage pour le compte d'un donneur d'ordre.

Outre la collecte réalisée en amont (la prise en charge des batteries au lithium en fin de vie marque le début de la phase amont du recyclage), tout procédé de recyclage considéré dans son ensemble intègre des opérations en amont du traitement : d'une part le tri et la séparation des flux et, d'autre part, la préparation au traitement (ou prétraitement). Ces deux opérations sont détaillées ci-après.

Tri et séparation des flux

Effectuée préalablement aux opérations de traitement, il s'agit d'une phase de séparation des batteries en fonction de leur chimie : séparer les flux non compatibles pour des raisons industrielles (procédés de traitement...) ou réglementaires (autorisations...), distinguer les batteries Li-ion en fonction de la composition de leur cathode lorsque celle-ci est connue (loin d'être toujours le cas avec les batteries importées de Chine, pour une grande partie d'entre elles !), regrouper les batteries destinées à un même procédé de traitement...

Principe universel de la gestion des déchets : plus le tri est réalisé en amont et plus le recyclage pourra être potentiellement performant et le coût des procédés réduit.

Préparation ou prétraitement

Cette opération a pour but de préparer les batteries à leur prise en charge ultérieure et ceci dans des conditions garanties de sécurité pour les opérateurs et les installations, phase minimisée en amont des procédés pyrométallurgiques, plus importante en amont des procédés hydrométallurgiques dans le but de préparer une black mass (résidu pulvérulent de couleur noire) concentrant les matières actives des électrodes avec le moins d'impuretés possibles.

Les opérations spécifiquement réalisées dans la perspective du recyclage des batteries au lithium en fin de vie sont :

- décharge des batteries à travers une résistance⁹ ou dans un bain au sein d'un liquide à forte conductivité¹⁰ (solution de NaCl, CaCO₃, HCL, Na₃PO₄... – à noter que cette deuxième option, mentionnée par la littérature présente deux problèmes pratiques majeurs : i] les batteries étant le plus souvent étanches, l'immersion est inefficace ; ii] de plus une telle immersion rend très compliquée la suite des opérations de démontage et de séparation du fait de la corrosion engendrée) ;
- opérations manuelles ou mécaniques de préparation aux traitements proprement dits :
 - o démantèlement des packs de batteries pour en isoler les modules :

⁹ Décharge par résistance : décharge contrôlée pour éviter une montée en température > 90 °C susceptible de provoquer un emballement thermique.

¹⁰ Décharge en saumure : impératif de ventiler les lieux du fait d'un dégagement possible d'oxygène en fonction de la composition de la cathode susceptible de créer une explosion mais aussi des risques d'émissions de fluorure d'hydrogène généré par le contact de l'électrolyte avec de l'eau.

- séparation des éléments extérieurs (BMS : Battery Management System ou BMS, enveloppe ou casing) le cas échéant par démantèlement manuel ou automatisé,
- démantèlement de la batterie à l'échelle des packs ou des cellules (opérations manuelles, mécanisées ou par chocs électromagnétiques),
- préparation aux traitements :
 - broyage des cellules, généralement dans un environnement inerte et sec – CO₂, azote, argon, hélium – ou cryogénique (pour éviter les réactions violentes du lithium avec l'eau et la dissipation de solvants organiques fortement inflammables),
 - dissolution du PVDF (PolyVinylidène Fluorure ou polyfluorure de vinylidène) par un solvant organique pour détacher les matières actives des électrodes de leurs collecteurs en utilisant de la N-méthyl-2-pyrrolidone (NMP) – méthode efficace mais coûteuse (prix élevé et toxicité de la NMP – méthode plusieurs fois mentionnée dans la littérature mais ne fait pas l'objet d'une mise en œuvre industrielle),
 - séparation mécanique (tamisage, tri densimétrique, tri magnétique, courants de Foucault, tri aérauliques...) des plastiques, métaux ferreux, Al et Cu des collecteurs, etc., qui sont autant d'impuretés pour les procédés hydrométallurgiques ultérieurs,
 - traitements thermiques préalables : i] décomposition des matières organiques (liant PVDF, solvants organiques, plastiques...) par calcination ou pyrolyse, ii] oxydation du carbone, iii] épuration des fumées.

Ces opérations de prétraitements sont plus ou moins poussées en fonction de l'objectif final des procédés de recyclage : les procédés hydrométallurgiques ou de « valorisation directe » (dont le but est de produire des fractions pures éventuellement réutilisables pour la fabrication de nouvelles batteries – cf. infra) intégreront des opérations de prétraitement plus complexes dans le but d'éliminer un maximum d'impuretés non constitutives de la matière active des électrodes (solvants, matières organiques par exemple liants ou séparateurs, collecteurs en aluminium ou cuivre...).

Le démantèlement des batteries se fait encore manuellement mais les progrès en matière de robotique et d'intelligence artificielle laissent entrevoir la possibilité d'automatiser un jour les opérations de démantèlement jusqu'à isoler les cathodes. Le broyage des cathodes plutôt que des cellules complètes permettrait d'obtenir des fractions plus pures. Mais l'automatisation du démantèlement exige un flux entrant relativement uniforme et une standardisation des designs, or les batteries des véhicules et engins électriques présentent aujourd'hui une trop grande variété de conception aussi bien dans leur forme que dans leur composition.

Procédés de traitement

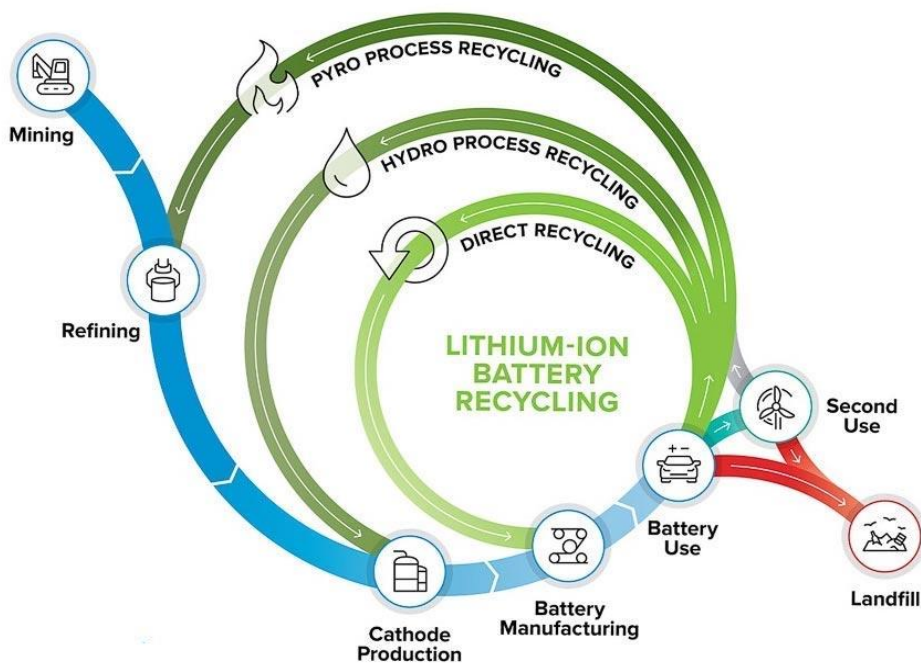
Cette phase, qui débute avec le traitement proprement dit de la black mass, est décrite succinctement et à titre indicatif car ne faisant pas partie du périmètre de la présente étude.

Sans entrer dans les détails techniques, on peut classer les procédés de [recyclage](#) des batteries en fin de vie selon deux (voire trois) logiques différentes :

- la première est fondée sur les volumes traités et passe par l'utilisation d'un procédé robuste et tolérant vis-à-vis du flux entrant, tel que la pyrométallurgie qui produit des composés métalliques valorisables directement ou en passant par des intermédiaires d'affinage, dans différents secteurs industriels (superalliages, catalyseurs, pigments, etc.) ;
- une autre approche est fondée sur la maximisation de la valeur récupérée et passe par le développement de procédés de recyclage pour chacune des natures chimiques des batteries traitées (récupérer les métaux de manière sélective exige la maîtrise des flux entrants) telles que l'hydrométallurgie ou la valorisation directe (ci-après), qui permettent potentiellement une valorisation en boucle fermée – un procédé

hydrométallurgique peut venir en complément d'un premier traitement pyrométallurgique (par exemple une calcination visant à éliminer la matière organique) ;

- le recyclage direct, moins énergivore mais encore au stade exploratoire, consiste à récupérer, régénérer et réutiliser des composants de la batterie directement sans décomposer la structure chimique (cf. schéma ci-après, *Cycle de vie de la batterie Li-ion*).



Cycle de vie de la batterie lithium-ion (source : ReCell Center, <https://recellcenter.org>).

Principaux enjeux pour assurer un recyclage efficient des batteries au lithium

Le potentiel de recyclage des batteries dans l'Union européenne est significatif et représente un triple enjeu :

- environnemental, car le recyclage permet une économie d'énergie en comparaison de l'extraction minière ;
- économique, car le développement d'une infrastructure de recyclage et d'un écosystème industriel lié au stockage électrique permettra la création d'emplois et de valeur ;
- stratégique et de souveraineté, car elle permettra la récupération de ressources minières que l'Union européenne n'exploite pas sur son sol et qu'elle pourra réinjecter directement dans son industrie (métaux stratégiques : en particulier le cobalt, le lithium et le nickel).

En Europe, la [directive 2006/66/CE](#) exige depuis 2006 le recyclage d'au moins 50 % des matériaux contenus dans les batteries et accumulateurs en fin de vie. Elle précise que le producteur a l'obligation de collecter les batteries usagées à ses frais, avant de les recycler soit par ses propres moyens, soit à l'aide d'un partenaire issu d'une filière spécialisée. Le recyclage des batteries de voiture électrique est donc une obligation qui incombe à tous les constructeurs automobiles.

L'[efficacité](#) globale du recyclage des batteries au lithium en fin de vie s'apprécie à l'aune des efficacités respectives des trois étapes suivantes : i] la collecte, ii] le prétraitement et iii] le traitement des batteries. Le taux de recyclage global (exprimé en pourcentage) est ainsi égal au produit de trois taux (%) : % collecte x % prétraitement x % traitement.

Concernant les étapes amont¹¹ de la chaîne du recyclage des batteries au lithium en fin de vie (sujet de la présente étude), les deux principaux enjeux pour assurer un recyclage efficient de ces batteries (nécessité de sécuriser les volumes de batteries à recycler en aval) sont d'optimiser les étapes de collecte (surtout) et de prétraitement (déjà bien maîtrisée).

Criticité élevée de la collecte

Un [obstacle](#) majeur au recyclage des batteries à court terme porte sur un besoin immédiat d'innovation et d'amélioration de l'infrastructure actuelle de collecte des batteries qui n'est pas optimisée pour la réutilisation rentable de matériaux de valeur en aval de la chaîne de valeur, le taux de collecte impactant directement le taux de recyclage global (cf. supra).

Criticité (plus modérée) du prétraitement

Impactant non seulement la collecte mais aussi le prétraitement, la diversité des batteries au lithium – dans leur forme et leur composition – constitue également un obstacle en raison d'un manque de normalisation. Cette grande variabilité de la conception et de la composition pose en effet un défi pour la collecte et le tri des batteries, mais rend également difficile l'automatisation des processus de démontage et de recyclage, nécessitant de coûteuses opérations manuelles pour le retrait des packs, leur démontage, le retrait des modules et la séparation des cellules.

Une [étude](#) souligne qu'en dehors de l'Europe et en l'absence de filière REP (responsabilité élargie des producteurs), les volumes de batteries collectées restent faibles et limités aux technologies à forte valeur intrinsèque (batteries au plomb en premier lieu et technologies à forte concentration en cobalt ou en nickel).

¹¹ Sur la collecte, la reverse logistique, le tri et le démantèlement des batteries au lithium, voir par exemple le [rapport](#) « WG2 : Raw Materials and Recycling Roadmap » de l'European Technology and Innovation Platform (ETIP) on Batteries (BatteRies Europe), pages 36-40.

Risques et contraintes en lien avec le recyclage des batteries au lithium

Transport et logistique

Les trois principales exigences en matière de transport et de logistique applicables aux batteries au lithium en fin de vie concernent :

- l'étiquetage, toutes opérations de transport et de logistique requérant un étiquetage de la batterie en conformité avec le Catalogue européen des déchets, qui fournit à tous les intervenants les informations utiles pour traiter l'envoi en toute sécurité,
 - o le transport de batteries en fin de vie est soumis à l'Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route (ADR) : les batteries au lithium appartiennent à la classe 9 de l'ADR (« Matières et objets dangereux divers ») et portent le numéro UN 3480, toutes les expéditions de batteries au lithium doivent porter l'étiquette de cette classe,
 - o il est également obligatoire de mentionner pour chaque batterie si celle-ci est endommagée, défectueuse ou simplement mise au rebut (les batteries endommagées ou défectueuses sont susceptibles de présenter un plus grand risque pendant le transport, en raison d'une stabilité moindre) ;
- l'emballage, l'état de la batterie déterminant son emballage et l'ADR définit des instructions d'emballage détaillées pour les batteries au lithium transportées pour élimination ou recyclage (cf. infra, *Règles de sécurité*),
 - o si la batterie n'est pas endommagée, il est de la responsabilité du transporteur/logisticien d'emballer la batterie dans un fût, une boîte ou un jerrican, en certains types de métal (avec revêtement non conducteur) ou en plastique résistant, d'éviter les courts-circuits, et de protéger la batterie des dégagements dangereux de chaleur,
 - o si la batterie est endommagée ou défectueuse mais non critique (cf. ci-après pour la définition de « critique »), le transporteur/logisticien doit placer la batterie dans un emballage intérieur et extérieur étanche, pour éviter la libération potentielle d'électrolyte et prendre toutes mesures visant à minimiser les effets des vibrations et des chocs,
 - o si la batterie est endommagée ou défectueuse et critique (c'est-à-dire susceptible de se démonter rapidement, de réagir dangereusement, de produire une flamme ou un dangereux dégagement de chaleur ou une émission dangereuse de gaz ou de vapeurs toxiques, corrosifs ou inflammables dans les conditions normales de transport – ADR), le transporteur/logisticien doit s'assurer que :
 - la température de surface extérieure du colis ne dépasse pas 100 °C,
 - aucune flamme ne peut se produire à l'extérieur de l'emballage,
 - aucun projectile ne peut sortir du colis,
 - l'intégrité structurelle de l'emballage est maintenue,
 - l'ensemble dispose d'un système de gestion du gaz ;
- le choix de la compagnie de transport, toutes n'étant pas en mesure de transporter des batteries au lithium, le donneur d'ordre doit donc s'assurer que le transporteur/logisticien :
 - o la connaissance des directives sur la manière d'expédier des batteries au lithium,
 - o est en capacité de mobiliser des personnes formées sachant manipuler les batteries au lithium de manière sûre,
 - o démontre une compréhension claire de la réglementation ADR concernant les batteries au lithium.

Règles de sécurité

Eu égard aux risques en matière de sécurité, les principales réglementations et directives relatives à chaque phase du cycle de vie des batteries au lithium sont publiées dans trois documents :

- directive sur les batteries 2006/66/CE : il s'agit d'une directive de l'Union européenne (UE) qui fournit des directives aux États membres concernant la fabrication et l'élimination des batteries dans l'UE et dont l'objectif est d'améliorer les performances environnementales des piles et accumulateurs – cette directive sera bientôt remplacée (2022) par un nouveau règlement, qui uniformisera les règles du jeu pour tous les États membres de l'UE ;
- directive générale sur la sécurité des produits DSGP/GPSD (General Product Safety Directive) : la DSGP fournit des normes pour la sécurité des produits afin de protéger les consommateurs contre les dangers potentiels, au moyen des normes EN, la norme EN pertinente pour les batteries au lithium est EN 60086-4, qui sert de point de référence pour les spécifications et les solutions techniques au stade de la conception du produit. – le respect des normes EN n'est pas obligatoire mais fortement recommandé
- ADR : l'ADR est un document des Nations unies, adopté par l'Union européenne, qui régit le transport de marchandises dangereuses par voie terrestre, le respect des règles ADR est obligatoire pour le transport des batteries au lithium – les exigences spécifiques pour ce type de batterie se trouvent à l'article 2.2.9.1.7 : toutes les batteries lithium-ion sont de classe 9 et portent le numéro UN 3480.

Plus précisément, les [règles](#) de sécurité applicables au transport et au stockage des batteries au lithium sont dictées par le type et l'état de la batterie transportée et la phase de son cycle de vie, car les risques sont variables. Différentes options sont donc à considérer, assorties d'exigences ADR spécifiques :

- cas des batteries au lithium neuves :
 - o les batteries neuves au début de leur voyage sont dans leur état le plus stable (à l'exception de celles présentant des défauts de fabrication), car elles sont chargées jusqu'à 60 à 70 % pour assurer la stabilité,
 - o les risques sont faibles mais non absents (risques thermiques et mécaniques mineurs lors du transport et de la manutention), c'est pourquoi toutes les exigences ADR, y compris l'étiquetage et l'emballage, doivent être respectées :
 - étiquetage ADR :
 - classe 9,
 - UN 3480,
 - « batterie au lithium »,
 - emballage ADR :
 - instructions d'emballage : [P903](#) ou [LP903](#) ;
- cas des batteries au lithium usagées pour réemploi ou réutilisation :
 - o la directive sur les batteries 2006/66/CE stipule que chaque producteur de batteries (ou l'organisation déléguée) a une obligation de reprise
 - o en cas de réutilisation ou de remise à neuf (remanufacturing), les batteries au lithium en route vers leur nouvel usage sont étiquetées et emballées de la même manière que les batteries au lithium neuves :
 - étiquetage ADR et emballage ADR : identiques au cas précédent,
- cas des batteries au lithium usagées non endommagées :
 - o une batterie usagée ne pouvant être remise à neuf ni réutilisée à d'autres fins obtient le statut de déchet et voit ses spécifications ADR changer,
 - o une telle batterie usagée mais non endommagée sera apportée au recycleur, en suivant ces règles d'étiquetage et d'emballage :
 - étiquetage ADR :
 - classe 9,
 - UN 3480,

- « batterie au lithium pour recyclage »,
- emballage ADR :
 - instructions d'emballage : [P909](#),
 - disposition spéciale : [SP377](#) ;
- cas des batteries au lithium endommagées et défectueuses :
 - ces batteries présentent le plus grand risque, car elles sont transportées dans un état potentiellement très instable,
 - pour l'emballage, il y a une distinction à faire entre les batteries endommagées critiques (cf. définition supra) et non critiques, les batteries endommagées dans un état critique devant être emballées de la manière la plus sûre possible, pour éviter les accidents :
 - étiquetage ADR :
 - classe 9,
 - UN 3480,
 - « batterie au lithium endommagée et défectueuse »,
 - emballage ADR :
 - instructions d'emballage : [P908](#) ou [LP904](#) si état non critique,
 - instructions d'emballage : [P911](#) ou [LP906](#) si état critique,
 - disposition spéciale : [SP376](#) ;
- stockage des batteries au lithium :
 - au terme de leur transport, les batteries arrivées à destination doivent être stockées pour une durée variable,
 - certains pays ont des réglementations spécifiques concernant le stockage, d'autres non (cas de la France, où il n'existe pas encore de réglementation pour le stockage des batteries au lithium),
 - dans ce contexte, les experts recommandent de suivre strictement les conseils de stockage listés ci-après :
 - stocker les batteries dans un espace sec et bien ventilé, à la température recommandée pour maximiser la durée de vie des batteries,
 - s'assurer que les contacts de la batterie ne peuvent pas court-circuiter et les couvrir avec la housse d'origine du fabricant ou avec du ruban isolant,
 - éviter les vibrations,
 - évitez les températures extrêmes et les changements de température,
 - ne pas placer d'objets lourds sur des boîtes contenant des batteries,
 - stocker les batteries dans les conteneurs appropriés voire utiliser des conteneurs agréés ADR pour le stockage des batteries au lithium,
 - stocker les batteries à l'écart des matériaux inflammables et combustibles,
 - ne pas stocker de batteries en quantités excessives au regard des capacités de traitements,
 - placer les batteries endommagées et les batteries neuves dans des espaces séparés,
 - placer un extincteur spécialement conçu pour le lithium à proximité des batteries,
 - collaborer avec les pompiers pour créer des compartiments de bâtiment, installer des systèmes de détection et d'extinction d'incendie et analyser les risques dans l'espace de stockage.

Transport et stockage en Allemagne

À noter la [brochure](#) récente (août 2021) et très documentée intitulée « Recycling of Lithium-Ion Batteries » réalisée par la chaire PEM (Production Engineering of E-Mobility Components) de l'université technique de Rhénanie-Westphalie RWTH Aachen (Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen) à Aix-la-Chapelle, avec l'Association des fabricants allemands de machines et d'équipements VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.) et le Battery LabFactory Braunschweig (BLB) de l'université technique de Brunswick.

Cette brochure, qui couvre l'ensemble de la chaîne de valeur du recyclage des batteries lithium-ion, consacre un paragraphe (cf. page 11 de la brochure) présentant les directives et mesures de sécurité applicables en Allemagne pour la manipulation des batteries lithium-ion lors de leur transport et de leur stockage.

Écologie et environnement

Si l'un des enjeux majeurs du recyclage des batteries au lithium en fin de vie est bien écologique et environnemental (le recyclage permettant des économies d'énergie par rapport à l'exploitation minière), ces mêmes opérations de recyclage de batteries usagées ne sont pas sans risques au regard de l'écologie et de l'environnement.

S'agissant des étapes amont de la chaîne du recyclage (périmètre de la présente étude), ces risques sont susceptibles de survenir lors des étapes de collecte, de transport et de logistique, ainsi que de prétraitement.

Les dispositions présentées ci-avant à propos du transport et de la logistique sont applicables ici.

Les installations de prétraitement des batteries relèvent, quant à elles, de la réglementation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement ([ICPE](#)).

Économie

Sous l'angle strictement économique, la question centrale est de créer une filière du recyclage rentable. À ce jour, la [rentabilité](#) de l'activité de recyclage de batteries au lithium est faible, voire négative : de nouveaux modèles d'affaires doivent se mettre en place à toutes les étapes de la filière. Au-delà du modèle initial focalisé sur la gestion environnementale de la fin de vie des batteries, et à l'instar de la concurrence asiatique, la filière française doit développer une offre complémentaire avec plus de valeur ajoutée et destinée à être utilisée dans la fabrication de nouvelles batteries. Cela lui permettra d'améliorer sa rentabilité, de financer les investissements nécessaires à l'accroissement de la capacité installée en France et de participer pleinement à la sécurisation d'approvisionnement en matières premières de la chaîne de valeur batteries.

Même s'il existe un potentiel de seconde vie des batteries, au moins à court terme (7 à 8 ans), marché sur lequel des acteurs français sont déjà positionnés, les volumes resteront cependant limités au regard des besoins de la mobilité et du recyclage et le développement de ce secteur restera dépendant de nombreux facteurs (rentabilité du recyclage, besoins en stockage d'énergie stationnaire, etc. — ce point est développé plus loin, à l'étape 2, à propos des gisements).

Les modèles d'affaires du recyclage (valeur des métaux, technologies employées le cas échéant) devront tenir compte des changements de chimie des batteries sur des périodes de dix à quinze ans. Ces périodes correspondent à l'échelle de temps habituellement nécessaire pour amortir des investissements industriels. Néanmoins, la variété des chimies de batteries à un instant donné et leur évolution dans le temps pèsent sur la rentabilité des modèles d'affaires du recyclage, notamment sur les processus hydrométallurgiques nécessaires à un recyclage en boucle fermée mais très sensibles à la stabilité en composition des produits traités. À ce titre, les recycleurs asiatiques bénéficiant déjà de volumes conséquents ont un avantage certain. Ils devraient conserver cet avantage par rapport à des acteurs européens qui vont devoir attendre une massification importante de leurs marchés avant d'atteindre les tailles critiques suffisantes pour assurer leur rentabilité.

Il est primordial que toutes les étapes de la chaîne de valeur recyclage soient en Europe, sans discontinuité, pour assurer que le produit final puisse être utilisé dans notre industrie, car sinon aucun acteur économique n'aura intérêt à développer une industrie du recyclage, si ce n'est pour répondre à minima aux exigences réglementaires. Ainsi, les recycleurs français seraient contraints de devenir des producteurs de black mass, produits intermédiaires qui sortiraient de France ou d'Europe pour alimenter des industries étrangères.

Dans le cas d'un modèle en boucle fermée, cela implique que l'industrie du recyclage ne se développera qu'en lien avec l'industrie avale de production de matériaux pour batteries, et donc avec l'émergence de gigafactories sur le sol français ou européen. Dans le cas contraire, le développement de notre filière recyclage à un niveau suffisant pour traiter tous les volumes attendus sur le marché français serait très incertain : sans demande, l'offre ne se

développerait que par la motivation réglementaire des fabricants OEM (Original Equipment Manufacturer), qui pourraient trouver des alternatives à une offre française et/ou européenne.

La France est actuellement bien positionnée pour collecter les batteries usagées, les traiter de manière à réduire leur impact environnemental et les valoriser pour en extraire des produits vendables. Elle dispose d'atouts pour devenir le leader européen du recyclage des batteries, mais se laisse distancer par ses partenaires européens et par ses concurrents internationaux. La France est en effet l'un des pays les mieux dotés en Europe en termes de couverture de la chaîne de valeur des batteries, avec des leaders mondiaux de la fabrication de batteries, du recyclage et des technologies métallurgiques de transformation. Cependant, la filière française doit accélérer ses investissements, pour conserver ses parts de marché et ne pas accroître son différentiel de compétitivité avec la concurrence étrangère.

Les acteurs extra-européens qui se sont installés dans l'Union européenne sur le segment de la fabrication des batteries devraient se développer également sur le marché du recyclage. Ces concurrents internationaux lancent en effet des programmes ambitieux, tout à la fois en termes de capacités de traitement et de maximisation de la valeur ajoutée (produits de qualité batterie – mode en boucle fermée).

Un risque identifié par la filière serait de réduire l'industrie française à un rôle de fournisseur de produits intermédiaires et peu raffinés (sous forme de black mass) à d'autres recycleurs hors de France. Ces derniers contrôleraient ainsi la ressource secondaire, à forte valeur ajoutée, et en priveraient les filières industrielles françaises et européennes.

À l'heure actuelle, le [recyclage](#) des batteries permet uniquement de produire des métaux d'alliages, qui n'ont aucune utilité pour la fabrication de nouvelles batteries. L'objectif est donc de développer un modèle en boucle fermée afin de pallier cette limitation. Le lithium constitue généralement près de 1 % du poids total de la batterie alors que le cobalt et le nickel environ 3 % chacun. Au niveau européen, l'objectif est qu'en 2030, 10 % des besoins en cobalt soient remplis par le recyclage des batteries usagées.

La [structuration](#) de la filière de recyclage des batteries au lithium fait face à plusieurs difficultés :

- en premier lieu la diversité des batteries au lithium, aussi bien sur leurs formes respectives (petits formats de batteries portables, grands formats de batteries pour la mobilité électrique contenant un système électronique de gestion BMS [Battery Management System], diversité d'agencement des packs, etc.) que sur leurs compositions variées (LCO, LMO, NCA, NMC, LFP cf. supra, *Typologie des batteries au lithium industrielles en fin de vie*), entraînent une hétérogénéité des flux entrants, qui rend difficile la standardisation des opérations de prétraitement (et affecte aussi le rendement global des procédés de traitement, donc le rendement global du recyclage).
- en second lieu, la teneur en cobalt qui a la plus forte valeur, a tendance à diminuer dans les nouvelles chimies de batteries, ce qui dégrade l'intérêt économique du recyclage. Le cours du lithium qui ne représente que 2 à 3 % du poids des batteries reste par ailleurs trop faible pour que sa récupération (trop coûteuse aujourd'hui) change l'équation économique du recyclage – les experts prédisent que dans les années à venir, le gisement de batteries au lithium va évoluer vers une diminution des teneurs en cobalt et une augmentation des teneurs en nickel dans les cathodes et d'ici cinq ans devraient également arriver sur le marché des batteries à électrolyte solide et probablement une utilisation plus importante de silicium dans les anodes.

Pour l'heure (données 2019 susceptibles d'évoluer), seul le recyclage des batteries au lithium à forte teneur en cobalt (type LCO), ainsi que le recyclage des batteries de type Ni-MH sont rentables.

À noter que le potentiel de réduction des coûts de recyclage se situe principalement en amont de la chaîne de recyclage (périmètre de l'étude), sur les opérations de prétraitement (en particulier décharge, démontage et démantèlement, etc.). Mais le développement de l'automatisation du démantèlement, qui apparaît comme un levier important, ne peut s'envisager sans une coopération avec les fabricants et assembleurs de batteries et leur implication dans une démarche d'écoconception. En effet, la rationalisation de ces activités n'est possible que par une standardisation au moins partielle de la configuration des batteries (qui permet l'automatisation du démontage

et du démantèlement) et un accès aux informations du système de gestion de la batterie (BMS) pour optimiser les tests des cellules (en vue de leur réemploi).

Dans son [rapport](#) de février 2020, le CSF Mines et Métallurgie rappelle les principaux éléments suivants en matière d'organisation, de coûts et de création de valeur sur l'amont de la chaîne du recyclage :

- collecte des batteries au lithium issues de la mobilité et des applications stationnaires (batteries industrielles) :
 - o les modes de gestion de la collecte sont déjà structurés, notamment autour des fabricants OEM,
 - o la majorité des acteurs choisissent une organisation en système individuel avec la contractualisation d'acteurs spécialistes de la logistique ou des recycleurs capables d'assurer la collecte,
 - o le business modèle est purement de la reverse logistique et les coûts associés à cette partie sont clairement liés aux volumes et à la capacité des acteurs à massifier les flux en des points stratégiques,
 - o avec l'augmentation des volumes dans les années à venir, ces coûts devraient être moins importants pour les donneurs d'ordres,
 - o néanmoins, les risques associés à ces batteries et la réglementation du transport de matières dangereuses ne permettront peut-être pas de diminuer très significativement les coûts,
 - o de plus, dans le cas des batteries endommagés, les besoins en emballages spécifiques et homologués pourraient devenir significatifs avec la pénétration sur le marché des véhicules électriques, ces emballages pourraient nécessiter la création de services de gestion, de contrôle et de réparation particuliers,
 - o enfin, certaines batteries, notamment celles issues du secteur automobile, pourront nécessiter une première expertise afin de les réorienter vers des applications spécifiques de seconde vie, elles renforceront par conséquent les besoins en diagnostic et démantèlement ;
- diagnostic et démantèlement :
 - o cette étape est indispensable pour assurer la sécurité des installations et des personnes,
 - o de plus, elle offre une meilleure efficacité du recyclage par l'extraction d'éléments, de pièces ou de matériaux de qualité qui peuvent être réorientés vers des filières existantes,
 - o l'étape de démantèlement est aujourd'hui majoritairement manuelle est le business model associé est fortement dépendant des OPEX (dépenses d'exploitation),
 - o la standardisation des modèles et l'augmentation des volumes pourront néanmoins permettre, à terme, une automatisation de cette étape par la robotisation.

Modèles d'affaires¹²

Aujourd'hui, au regard des volumes traités, de la valeur créée et des variations des cours des métaux, le niveau de rentabilité de l'activité de recyclage des batteries lithium issues de la mobilité reste faible, voire négatif. Afin de pérenniser la filière et de financer les investissements nécessaires, l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur devront donc partager la valeur créée mais également les risques associés à la variation des cours des métaux : des modèles d'affaires doivent ainsi se mettre en place pour créer de la valeur aux différents niveaux de la chaîne du recyclage (collecte, démantèlement, traitement etc.).

Réglementation

¹² Sur ce sujet, voir par exemple ce [rapport](#) du cabinet Element Energy, aux pages 44-47, section 5.1 Economics of recycling.

En Europe, les opérations de collecte, de transport, de stockage et de recyclage des batteries au lithium sont réglementées par la [directive 2006/66/CE](#)¹³ sur les batteries et la transposition de cette directive dans le droit national.

La réglementation influence le marché des batteries en interdisant ou en limitant par exemple l'utilisation de certaines substances (mercure, cadmium, plomb...). Mais c'est surtout dans le domaine de la fin de vie que la réglementation joue un rôle structurant important. Elle peut agir de manière plus ou moins contraignante sur l'orientation des flux. En limitant par exemple les contraintes sur les activités de réemploi, en orientant les flux vers le recyclage par des interdictions d'enfouissement, en mettant en œuvre des filières à responsabilité élargie du producteur (REP) qui obligent les metteurs en marché à organiser la gestion opérationnelle et financière de leurs batteries en fin de vie. La réglementation peut également imposer une obligation de résultat sur le taux de collecte, les rendements de recyclage ou encore le respect de normes environnementales. Ainsi la réglementation est un levier majeur pour la structuration de la filière de recyclage. Elle influe aussi bien sur les capacités que sur les procédés à mettre en œuvre.

Pour les [experts](#), en l'absence de réglementations contraignantes (obligation de recyclage et obligation de financement type filière REP), seule une faible quantité de batteries en fin de vie est réellement recyclée. Et de rappeler que la réglementation déjà avancée en Europe et au Japon continue de promouvoir le développement des activités de recyclage. Le levier réglementaire semble nécessaire afin de mobiliser et orienter les flux de batteries en fin de vie vers des opérateurs de recyclage. La promesse de volumes importants, la garantie d'un financement des opérations de collecte et traitement sont des éléments essentiels pour donner une visibilité aux industriels et leur permettre d'investir dans de nouvelles capacités et de nouveaux procédés.

Les dispositions réglementaires prévues par la directive 2006/66/CE et leur transposition dans le droit des États membres sont aujourd'hui insuffisantes ou inadaptées. Pour moderniser la législation européenne sur les batteries, la Commission européenne a présenté le 10 décembre 2020 une proposition de [règlement](#)¹⁴ visant à garantir la durabilité et la compétitivité de la fabrication et de la fin de vie des batteries. Pour la Commission, le nouveau cadre juridique est destiné à encourager les acteurs du marché à investir dans des technologies de recyclage qui, autrement, ne seraient pas développées parce qu'elles ne sont pas compétitives en termes de coûts par rapport à la production de matières premières primaires. La proposition vise notamment à améliorer la collecte et le recyclage des batteries en fin de vie, ainsi que la valorisation des métaux qu'elles contiennent.

Pour mémoire, les aspects réglementaires font l'objet d'un développement spécifique à la phase 2 (cf. étape 1).

Sécurité

De premiers éléments, présentés en 2014 dans une [étude](#) de l'Ineris¹⁵, relatifs à l'accidentologie comme au contenu en substances dangereuses, suggèrent – mais sans complètement l'établir – qu'un classement automatique et officiel des déchets de batteries au lithium en fin de vie comme dangereux (selon les propriétés H1-H15 du Code de l'environnement) est envisageable (création de nouvelles rubriques – assorties d'une * – de la nomenclature déchet). Pour l'Ineris, le caractère dangereux d'un déchet n'est pas un obstacle à sa valorisation du point de vue réglementaire : cette classification et les contraintes qui en découlent ont pour seul objectif d'alerter les acteurs sur les dangers associés à cette matrice, sans pour autant empêcher son intégration au cycle de l'économie circulaire.

La nomenclature européenne des déchets permet de classer les déchets d'accumulateurs. L'extrait ci-après du rapport de l'Ineris de 2014 (page 22) indique qu'à cette date, les batteries au Pb et au Ni-Cd sont classées en tant que

¹³ Intitulé complet : Directive 2006/66/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux piles et accumulateurs ainsi qu'aux déchets de piles et d'accumulateurs et abrogeant la Directive 91/157/CEE du Conseil.

¹⁴ Proposition de Règlement du Parlement européen et du Conseil relatif aux batteries et aux déchets de batteries, abrogeant la directive 2006/66/CE et modifiant le règlement (UE) 2019/1020.

¹⁵ Ineris : Institut national de l'environnement industriel et des risques.

déchets dangereux (cf. *), mais que les autres batteries (notamment Li-ion) n'ont pas d'entrée spécifique (code 16 06 05 de la nomenclature).

N° rubrique	Déchets
CHAPITRE 16 : DECHETS NON DECRITS AILLEURS DANS LA LISTE	
16 06 01*	Accumulateurs au plomb
16 06 02*	Accumulateurs Ni-Cd
16 06 03*	Piles contenant du mercure
16 06 04	Piles alcalines (sauf rubrique 16 06 03*)
16 06 05	Autres piles et accumulateurs
16 06 06*	Electrolytes de piles et accumulateurs collectés séparément

Si les contraintes de sécurité, maîtrisées dans la phase d'utilisation, ne font pas obstacle au développement du marché des batteries Li-ion, des mesures spécifiques sont nécessaires au niveau de la gestion de la fin de vie. Les risques sont généralement bien maîtrisés par les acteurs spécialisés du recyclage de batteries. En revanche, les filières connexes telles que DEEE¹⁶ ou VHU¹⁷ confrontées à des flux de batteries en croissance, parfois endommagées, sont fortement exposées aux risques et continuent à travailler à la mise en œuvre et la diffusion de procédures de [sécurisation](#) de leurs opérations.

Le recyclage¹⁸ des batteries Li-ion est une opération [délicate](#) qui pour l'heure est très peu automatisée en raison de l'absence de normes de standardisation relatives à la conception des packs de batteries. Comportant de nombreuses étapes effectuées manuellement, le recyclage batteries au lithium est de ce fait une opération dangereuse qui expose leurs utilisateurs aux [risques professionnels](#) suivants :

- risque électrique (l'énergie résiduelle des packs de batteries peut être importante) ;
- risque d'emballage thermique, d'incendie et d'explosion (solvant organique composant l'électrolyte, à base de sels de lithium fluoré ou chloré, instable et très inflammable, réagissant facilement avec l'eau en produisant des gaz toxiques) ;
- risque chimique (production de gaz toxiques comme le fluorure d'hydrogène HF, exposition à des matériaux potentiellement cancérogènes) ;
- risque de troubles musculosquelettiques (TMS – nombreuses opérations manuelles, charges importantes).

Selon une [étude](#) de 2019, l'analyse d'accidentologie à l'échelle de la France – accès à des données exhaustives via la base de données [Aria](#) (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) du Bureau d'analyse des risques et pollutions industriels (Barpi), qui recense l'ensemble des accidents technologiques sur le territoire Français – démontre que les lieux de stockages spécifiques de batteries Li-ion ne sont pas les plus sujets aux accidents et que ceux-ci sont rares dans les installations de recyclage de batteries. En effet, pour ces acteurs spécialisés et formés à la gestion du risque incendie, les conditions de stockage, de transport et manutention, les procédés de prise en charge dans les centres de recyclage (décharge des batteries, prise en charge des batteries endommagées) ainsi que les procédés de traitement (broyage en atmosphère inerte), font l'objet de procédures spécifiques et adaptées. La technologie Li-ion évolue par ailleurs vers des électrolytes solides moins inflammables voire pas du tout dans le cas des électrolytes solides inorganiques.

Concurrence

¹⁶ DEEE : déchets d'équipements électriques et électroniques.

¹⁷ VHU : véhicules hors d'usage.

¹⁸ Sur la sécurité du recyclage des batteries au lithium, voir par exemple le [rapport](#) « WG2 : Raw Materials and Recycling Roadmap » de l'European Technology and Innovation Platform (ETIP) on Batteries (BatteRies Europe), pages 54-63.

Selon le CSF Mines et Métallurgie (cf. le [rapport](#) de février 2020), l'industrie française dispose d'atouts significatifs pour devenir un acteur majeur du recyclage des batteries lithium, notamment grâce à la présence sur le territoire national d'un nombre important d'acteurs du recyclage maîtrisant toutes les étapes de la collecte, de la transformation et de la valorisation des batteries. Ces entreprises françaises disposent par ailleurs actuellement d'un avantage concurrentiel par rapport aux autres acteurs européens avec une offre globalement plus importante en termes de capacité et de très bonnes compétences technologiques leur permettant d'être plus innovantes et potentiellement plus compétitives.

Les auteurs ce rapport considèrent que l'écosystème français est bien positionné pour devenir le leader européen du recyclage des batteries tout en prenant garde de ne pas se laisser distancer par ses partenaires européens ni par ses concurrents internationaux qui investissent massivement dans des programmes ambitieux.

Cas particuliers

La fin de vie des batteries au lithium peut survenir de façon prématurée, et ce plus ou moins tôt au regard de leur durée de vie théorique – 10 ans ou plus. Il y a par exemple les cas évidents de batteries provenant de véhicules ou engins électriques accidentés ou celui de batteries défectueuses détectées dans un atelier de réparation automobile (« garagiste »). À la réflexion, des batteries au lithium à tous les stades de leur cycle de vie sont susceptibles de n'être plus fonctionnelle (batteries hors d'usage) et ne pouvoir être ni réemployées ni réutilisées : elles doivent donc être recyclées. Il semble que des batteries au lithium puissent être recyclées très en amont de leur cycle de vie, certaines [sources](#) indiquant des taux rebuts dans les usines de production (« gigafactories ») de batteries lithium-ion pouvant atteindre jusqu'à 25 % de la production. Cette valeur, qui paraît « énorme » est confirmée par [Christophe Pillot](#), directeur chez Avicenne Energy, selon qui « certains sites des groupes asiatiques affichent des taux de rebut de 20 à 25 % en Europe ». Selon [MTB Recycling](#), le taux de rebuts de production serait d'environ 10 % pour les gigafactories.

Lorsqu'un véhicule électrique accidenté ou en fin de vie parvient à la casse, sa batterie est démontée. Si la batterie Li-on est trop endommagée, par exemple suite à un grave accident, elle voyage dans une caisse spécifique en métal, un « [sarcophage](#) » équipé de capteurs et d'un système d'extinction automatique anti-incendie.

L'ensemble de ces situations ou problématiques spécifiques est documenté plus haut dans le chapitre relatif aux risques et contraintes (cf. section *Risques et contraintes en lien avec le recyclage des batteries au lithium, Transport et logistique*).

1.5. Étape 2 – Typologie des acteurs et parties prenantes de la chaîne amont

Typologie des gisements potentiels de batteries au lithium industrielles en fin de vie

Selon le périmètre de la présente étude, les batteries au lithium industrielles hors d'usage (en fin de vie) destinées au recyclage proviennent de deux grands domaines d'usages :

- le stockage embarqué d'énergie électrique, destiné à fournir l'électricité nécessaire au fonctionnement des équipements et solutions de transport et de mobilité (hors solutions portatives) ;
- le stockage stationnaire d'énergie électrique, visant à garantir l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité et pour lequel on distingue deux types de solutions :
 - o les solutions dites « devant le compteur » :
 - définition : solutions de stockage reliées aux systèmes de production et aux réseaux de transmission et de distribution,
 - marchés clients : producteurs, gestionnaires de réseaux,
 - services : stabilisation de la tension et de la fréquence du réseau électrique, intégration des énergies renouvelables intermittentes,
 - o les solutions dites « derrière le compteur » :
 - définition : solutions de stockage situés au niveau des consommateurs d'électricité,
 - marchés clients : industrie, services, bâtiment résidentiel,
 - services : fourniture de solutions de secours en cas de coupure électrique, réduction de la facture énergétique pendant les heures de pointe, intégration des énergies renouvelables locales.

On a donc deux principaux gisements et, dans chaque voie (« embarqué » ou « stationnaire »), tous les stades du cycle de vie des batteries sont en principe éligibles au recyclage, selon que la fin de vie d'une batterie donnée intervienne prématurément ou conformément à la durée d'utilisation théoriquement programmée.

Pour estimer les gisements potentiels de batteries au lithium industrielles en fin de vie, il apparaît à ce stade intéressant d'apporter un éclairage sur les stocks et les flux des batteries en présence, en particulier s'agissant :

- du potentiel de seconde vie des batteries, passant d'un usage embarqué à un usage stationnaire ;
- de la comparaison des volumes de batteries alloués respectivement aux usages embarqués et aux usages stationnaires.

Seconde vie incertaine des batteries au lithium

Une étude récente sur le recyclage et le réemploi des batteries a mis en évidence d'importantes incertitudes sur le potentiel de réemploi des batteries au lithium.

Dans le prolongement de cette étude, et eu égard au contexte d'évolution rapide que connaît le marché des batteries, avec notamment avec la montée en puissance des technologies au lithium liée principalement au développement du marché de la mobilité électrique (véhicules électriques), et en considération de plusieurs barrières et verrous actuellement à lever pour que des projets dits de « seconde vie¹⁹ » – encore peu nombreux – puissent voir le jour, le Réseau coopératif de recherche sur les déchets et l'environnement (Record, <https://record-net.org/>) a récemment lancé un appel d'offres (date limite d'envoi des réponses initialement fixée au 10 décembre 2021 et reportée au 7 janvier 2022) portant sur la seconde vie des batteries, dans le but d'établir un état des connaissances et des éléments prospectifs y relatifs.

¹⁹ Sur la seconde vie des batteries, voir par exemple le rapport « WG2 : Raw Materials and Recycling Roadmap » de l'European Technology and Innovation Platform (ETIP) on Batteries (BatteRies Europe), pages 50-54.

Cette étude vise en particulier à :

- évaluer le gisement potentiel des batteries usagées utilisables en seconde vie, en France et en Europe ;
- réaliser un état de l'art technicoéconomique des diverses solutions possibles de seconde vie avec établissement des retours d'expérience d'opérations réalisées en France et dans le monde ;
- identifier les barrières à lever concernant la réutilisation de batteries en seconde vie et proposer des solutions.

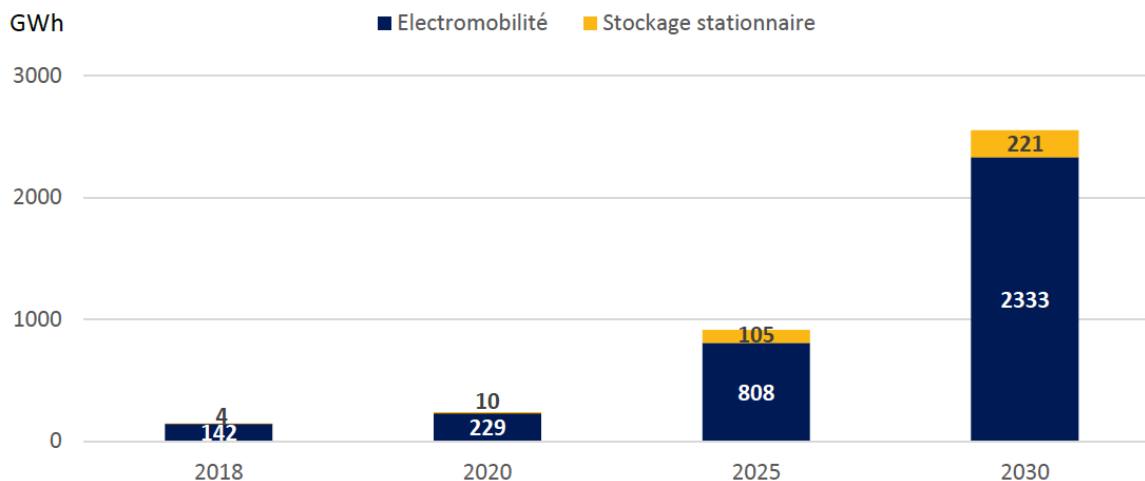
À signaler également cette étude de [RTE](#) (voir pages 50-52), publiée en mai 2019, relative aux *Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique*, dans laquelle le gestionnaire du réseau de transport d'électricité (RTE) estime incertains les débouchés économiques associés à l'utilisation des batteries de seconde vie pour les batteries des véhicules électriques comme solution de stockage d'énergie connectée au réseau électrique. Pour RTE, cette utilisation n'est pas pertinente, fonctionnellement et économiquement, préconisant plutôt de recycler les batteries de véhicules électriques en fin de première vie.

Usages embarqués très majoritaires devant les usages stationnaires

L'essor de l'électromobilité – en particulier le segment des voitures électriques, grâce à un fort soutien des politiques publiques – est le principal moteur du marché des batteries. Le stockage stationnaire d'électricité est un marché encore émergent pour lequel les besoins sont principalement tirés par l'intégration des énergies renouvelables (solaire photovoltaïque et éolien) et le remplacement des centrales de pointe (découplage de la production et de la consommation électrique dans le temps grâce au stockage via des batteries. Qu'il s'agisse de répondre aux besoins de stockage des producteurs d'électricité alimentant le réseau ou à ceux de particuliers disposant de petites capacités de production, dans les deux cas le marché est encore embryonnaire et fortement dépendant des politiques publiques d'aide et d'incitation.

Le schéma ci-après, repris d'un [rapport](#) de l'Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques (OSFME), présente les perspectives du marché mondial des batteries à l'horizon 2030 (évolution de la demande mondiale en batteries pour l'électromobilité et le stockage stationnaire, volumes exprimés en GWh²⁰, en fonction du temps). Les besoins mondiaux en solutions de stockage embarqué pour le transport et la mobilité seront multipliés par un facteur 10, pour passer de 229 GWh en 2020 à 2 333 GWh en 2030. Les besoins du stockage stationnaire alimenteront également la croissance du marché en volume mais dans une bien moindre mesure cependant : la demande mondiale pour ce type de service énergétique passera de 10 GWh en 2020 à 221 GWh en 2030. À noter qu'en 2030, la Chine, avec – mais loin devant – l'Union européenne et les États-Unis, représenteront près des trois quarts du marché mondial.

²⁰ GWh : gigawatt-heure, soit 10⁶ kilowatt-heure (kWh).



Électromobilité versus stockage stationnaire (source : d'après [Strategic Research Agenda](#) de l'European Technology and Innovation Platform [ETIP] on Batteries [BatteRies Europe])²¹.

Selon le [rapport](#) (février 2020) du CSF Mines et Métallurgie à propos du potentiel de déploiement du nouveau stockage par batteries dans les systèmes électriques français et européen, le stockage par batterie se fera par opportunité ces prochaines années et, s'il est admis qu'un marché du stockage stationnaire pour les batteries s'installera progressivement, même à horizon 2030, ce marché restera très mineur par rapport à celui de la mobilité. Les travaux du CSF Mines et Métallurgie prévoient les quantités de batteries à recycler suivantes :

- batteries issues de la mobilité, qui arriveront sur le marché du recyclage :
 - o ordres de grandeurs des volumes de batteries lithium à recycler :
 - avant 2027, le flux annuel des batteries à recycler en Europe est inférieur à 9 000 tonnes/an ou 6 000 tonnes/an selon la durée de vie des batteries, respectivement 10 ans ou 15 ans,
 - dès 2027, le flux annuel des batteries à recycler en Europe dépasse largement 20 000 tonnes/an,
 - un marché du recyclage des batteries émerge à partir de 2027 : 50 000 tonnes/an de batteries à recycler (en forte augmentation par la suite), soit 25 000 à 30 000 tonnes de cellules,
 - les capacités européennes de traitement sont estimées entre 15 000 et 20 000 tonnes/an (de batteries) aujourd'hui : les acteurs européens, dont les recycleurs français, devront multiplier par trois leurs capacités de traitement à cette date ;
- batteries issues du stockage stationnaire, les batteries actuellement sur le réseau sont en très faible quantité (quelques MWh²²) :
 - o les flux annuels arrivant au recyclage à terme (10 à 15 ans) sont de quelques centaines de MWh, pas avant 2035-2040.

Selon les projections actuelles, le stock de batteries de véhicules électriques à recycler devrait passer, en France, de 50 000 tonnes en 2030 à un million de tonnes en 2040, les constructeurs automobiles prédisant que 27 millions de véhicules électriques seront en circulation en Europe en 2030, selon [Jean-Marc Boursier](#), directeur général adjoint de Suez (dont l'objectif est de capter un tiers de ce gisement).

²¹ Des valeurs de mêmes ordres de grandeur ont été publiées en 2020 par l'entreprise américaine d'information économique [IHS Markit](#) (voir l'[étude](#) d'IHS Markit, page 7).

²² MWh : mégawatt-heure, soit 10³ kilowatt-heure (kWh).

Dans une [étude](#) de 2019, l'association Record prédisait, en combinant des hypothèses de croissance de marché, de durée de vie des batteries et de taux de réemploi, que les volumes de batteries et plus particulièrement des batteries Li-ion en fin de vie doubleraient tous les 5 ans à partir de 2020 en Europe.

Sans fournir de données quantitatives, la Commission européenne estime que la demande mondiale de batteries va être multipliée par 14 d'ici 2030 par rapport à son niveau de 2018, l'Union européenne devant représenter 17 % de cette demande. Le nombre de batteries lithium serait multipliée par 700 entre 2020 et 2040, selon le Comité économique et social européen (CESE), dans un [avis](#) rendu récemment (mars 2021) pour augmenter la durabilité des batteries au sein de l'Union européenne – avis cité [ici](#).

Enfin, le recyclage des batteries lithium-ion est un pilier stratégique pour l'Alliance européenne pour les batteries [EBA](#) (European Battery Alliance, www.eba250.com), selon laquelle le marché des véhicules électriques – bien qu'il soit encore marginal – est en forte croissance, rappelant que si les véhicules électriques ne représentent encore que 0,8 % du parc automobile mondial, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) estime que les véhicules électriques pourraient représenter entre 15 et 30 % des ventes de véhicules en 2030.

Au terme de cette section, considérant d'une part les fortes incertitudes sur la seconde vie des batteries au lithium et, d'autre part, la prédominance des usages embarqués – pour le transport et la mobilité – sur les usages stationnaires, en matière de stockage d'énergie électrique, il apparaît qu'à l'horizon 2030, le principal gisement de batteries au lithium industrielles en fin de vie sera constitué des batteries issues de la mobilité électrique.

Typologie des acteurs et parties prenantes de la chaîne amont du recyclage des batteries au lithium industrielles hors d'usage

Il s'agit dans cette section, et ce à partir d'informations disponibles dans la sphère publique ou émanant de travaux d'experts, d'apporter un éclairage aussi précis que possible sur la typologie des acteurs et diverses parties prenantes impliqués dans le recyclage des batteries au lithium industrielles en fin de vie, à savoir :

- les acteurs détenant les gisements de batteries en fin de vie ;
- les acteurs de la collecte ;
- les acteurs du transport et de la logistique ;
- les acteurs du prétraitement des batteries ;
- les autres parties prenantes publiques ou privées identifiées (par exemple : acteurs de la sécurité et du contrôle, acteurs de la formation et des qualifications, etc.).

Une source instructive en matière d'identification de ces acteurs est l'initiative européenne Reneos (www.reneos.eu), plateforme Web proposant des solutions sur mesure pour la collecte, la logistique et le recyclage (mais aussi le réemploi ou la réutilisation) des batteries Li-ion en fin de vie en Europe (principalement), lancée en décembre 2018 à l'initiative de l'organisation environnementale Bebat (Belgique, www.bebat.be) et de ses organisations sœurs européennes : GRS Batterien (Allemagne, www.grs-batterien.de), Cobat (Italie, www.cobat.it), BatteRiretur (Norvège, <https://batteriretur.no>), Stibat (Pays-Bas, www.stibat.nl).

Ce réseau s'appuie sur d'autres partenaires de collecte dans le cadre de programmes de conformité à but non lucratif : Asekol (Slovaquie, www.asekol.sk), Ecopilas (Espagne, www.ecopilas.es), Ecobat (République tchèque, <https://en.ecobat.cz>), Electrão (Portugal, www.electrao.pt), SNRB (Sistemul Național de Reciclare a Bateriilor, Roumanie, www.snr.org), WEEE Ireland (Irlande, www.weeeireland.ie), Re-Battery (Grèce, www.rebattery.gr). Dans d'autres pays (Royaume-Uni, France, Autriche, Pologne, Suisse), Reneos s'associe à des organisations à but lucratif. En 2021, Reneos compte 19 membres dans plus de 15 pays. À noter également que les partenaires de Reneos sont

en attente du futur [règlement](#) dont un projet a été présenté par la Commission européenne a le 10 décembre 2020 (cf. phase 2, étape 1).

Reneos propose une large gamme de services pour coordonner la gestion des batteries Li-ion en fin de vie : conformité légale, collecte, transport et logistique, stockage, démantèlement, applications de seconde vie (à la demande), recyclage.

La plateforme Reneos s'adresse à une grande variété d'acteurs détenteurs ou potentiellement détenteurs de batteries Li-ion en fin de vie (Reneos s'appuie sur l'expertise des collecteurs nationaux) :

- constructeurs automobiles ;
- importateurs automobiles ;
- concessionnaires automobiles ;
- garages automobiles ;
- transporteurs ;
- démonteurs de voitures ;
- casses automobiles ;
- fabricants ou fournisseurs de batteries ;
- partenaires de stockages de batteries ;
- centres de diagnostic de batteries ;
- centres de réparation de batteries ;
- installations de réemploi ou de réutilisation de batteries ;
- recycleurs de batteries.

Cette typologie est cohérente avec la typologie des différents acteurs issue d'une [étude](#) de l'Ademe réalisée en 2017 et portant sur l'*Évaluation de la filière des piles et accumulateurs (P&A) industriels* :

- les metteurs en marché ou producteurs,
 - o c'est-à-dire les fabricants, importateurs et distributeurs de P&A ;
- les intégrateurs de systèmes,
 - o c'est-à-dire les assembleurs de solutions de P&A ;
- les détenteurs,
 - o c'est-à-dire les utilisateurs finaux* de P&A ;
- les intermédiaires de maintenance, collecte, massification ou tri,
 - o c'est-à-dire tous les acteurs intermédiaires entre un producteur (ou un détenteur) et un recycleur : collecteurs de déchets, éco-organismes, prestataires de tri et de démantèlement, négociants, prestataires de maintenance, acteurs de la démolition ;
- les recycleurs,
 - o c'est-à-dire toutes les installations de traitement final et acteurs de la seconde vie des batteries.

* cette catégorie d'acteurs (usages) est bien détaillée par l'étude Record de 2019 déjà citée (cf. tableau *Segmentation du marché des batteries*, à la page 10 de cette [étude](#)).

La typologie établie à partir de l'initiative Reneos est également cohérente avec la typologie des différents acteurs mobilisés dans le cadre du projet structurant n° 5 *Développer une filière intégrée de recyclage des batteries lithium*, du [contrat de la filière](#) Mines et Métallurgie, à savoir :

- les recycleurs ([Eramet](#), [Snam](#), [Euro Dieuze Industrie](#), [Récupyl](#), [Métal Blanc](#)) ;
- les producteurs de métaux ([Eramet](#), [Imerys](#), [MSSA](#)) ;
- les producteurs de cellules ([Blue Solutions](#), [Saft](#)) ;
- les constructeurs OEM ([Renault-Nissan-Mitsubishi](#), [Stellantis](#), [PFA CCFA](#), [Cisma](#)) ;
- les énergéticiens ([RTE](#), [EDF](#), [UFE](#)).

D'autres acteurs vont entrer dans le jeu, notamment les acteurs de la formation. Ainsi, l'entreprise Verkor²³, qui porte le projet d'une [gigafactory](#) de batteries électriques à Grenoble (Isère), est en discussion avec l'un des deux organismes de formation qui ont signé à l'été 2021 un [accord-cadre](#) pour déployer en France les formations de l'Académie européenne de la batterie (projet européen de formation à cette technologie), [Apave](#) et [IFP Training](#). Selon une étude de la Commission européenne, l'Union européenne aura besoin de 800 000 salariés pour les différentes industries de la batterie d'ici à 2025, dont 150 000 en France, où trois usines de batteries sont déjà annoncées. Disposer de ces compétences est primordial pour positionner l'Europe sur cette technologie et limiter la casse sociale que risque d'entraîner la disparition de pans entiers de l'industrie, à l'instar du moteur thermique. L'EBA Academy propose des modules de formation aux technologies de la batterie, généraux ou très techniques, des matières premières au recyclage, prêts à être utilisés par les organismes de formation partenaires. L'Académie de la batterie souhaite proposer des formations sur l'ensemble de la chaîne de valeur, y compris le recyclage. L'État français a signé, le 6 juillet 2021, un [partenariat](#) avec l'incubateur européen [EIT InnoEnergy](#) (Institut européen d'innovation et de technologie EIT, European Institute of Innovation and Technology – ex-KIC – chargé d'accompagner la transition énergétique) pour déployer l'Académie européenne de la batterie en France et déployer en France les formations de l'Alliance européenne de la batterie EBA (European Battery Alliance).

D'autres acteurs encore sont attendus sur la chaîne de valeur – pour certains déjà positionnés –, en particulier les prestataires de l'inspection, du contrôle, des essais, de l'analyse, de la certification, de la sécurité et des risques, par exemple [Apave Certification](#), [Bureau Veritas](#), [CNPP](#), [SGS](#), etc.

En apportant des exemples concrets grâce à l'identification (étape 2) et la caractérisation (étape 3) d'acteurs, de territoires, de projets, d'initiatives et de pratiques emblématiques ou exemplaires, la phase 2 de la présente étude (benchmark de la chaîne amont) permettra d'illustrer et d'affiner la typologie des acteurs et parties prenantes de la chaîne amont du recyclage des batteries au lithium industrielles en fin de vie, autant que la typologie des gisements potentiels de ces batteries.

À titre d'exemple, on peut citer la stratégie du groupe belge [Umicore](#), actuellement l'un des acteurs mondiaux les plus avancés sur le recyclage des batteries Li-ion. En Europe la chaîne complète de recyclage est organisée autour de plusieurs sites correspondant à autant de pôles de compétences spécifiques. La collecte, le tri des flux, la décharge et le démantèlement sont fait sur le site de Hanau (Allemagne), le traitement par pyrométallurgie pensé spécifiquement pour un flux de batteries, se fait sur le site d'Hoboken (Belgique) alors que l'affinage par voie hydrométallurgique pour produire des matériaux de haute qualité (en particulier du CoSO_4 et NiSO_4 pour les batteries Li-ion) est réalisé sur le site de Olen (Belgique) et utilise un procédé maîtrisé.

D'autres exemples d'entreprises françaises ou européennes spécifiquement positionnées sur tels ou tels maillons de la chaîne amont du recyclage (collecte, transport et logistique, prétraitement) sont présentés en phase 2.

présentés en phase 2.

²³ Pour cette entreprise, la [formation](#) constitue le principal enjeu de la mobilité électrique.

1.6. Synthèse

Cette phase a pour but de comprendre les tenants et aboutissants de la chaîne amont du recyclage des batteries au lithium industrielles – description de la chaîne amont, grands enjeux, opportunités, risques et contraintes, gisements, acteurs et parties prenantes.

Diversité des batteries

Il existe une grande variété de batteries au lithium industrielles mais les experts prévoient que la technologie NMC (lithium nickel manganese cobalt oxide) sera prédominante dans les véhicules électriques d'ici 2030, avec des teneurs en nickel de plus en plus importantes (et de moindres teneurs en cobalt), au détriment d'autres catégories de batteries au lithium – types LMO (lithium-ion manganese oxide) et LFP (lithium fer phosphate), par exemple. La diversité de forme et de composition des batteries au lithium industrielles est un frein à un recyclage efficace des batteries.

De la collecte à la black mass

La chaîne amont de recyclage des batteries au lithium industrielles en fin de vie débute avec la collecte des batteries hors d'usage, se poursuit avec le tri et la séparation des flux, la préparation des batteries collectées et triées, incluant leur mise en sécurité, la décharge et le démantèlement du pack jusqu'à l'extraction des modules et des cellules. Viennent alors les opérations de prétraitement jusqu'à l'obtention de la black mass (résidu pulvérulent de couleur noire concentrant les matières actives des électrodes – fin de la chaîne amont).

Enjeux

L'efficacité globale du recyclage des batteries au lithium hors d'usage s'apprécie à l'aune des efficacités respectives des trois étapes suivantes (dans cet ordre) :

- i] la collecte ;
- ii] le prétraitement ;
- iii] le traitement des batteries.

Le taux de recyclage global (exprimé en pourcentage) est ainsi égal au produit de trois taux (%) : % collecte x % prétraitement x % traitement.

Optimiser l'efficacité de chacune de ces étapes – en particulier la collecte et le prétraitement pour ce qui concerne la chaîne amont du recyclage – apparaît critique en vue de sécuriser les volumes de batteries à recycler en aval et, plus globalement, le modèle économique sur l'ensemble de la chaîne de valeur. Un obstacle majeur au recyclage des batteries porte sur la nécessité d'innover et d'améliorer à brève échéance l'infrastructure de collecte des batteries, ainsi que les opérations de prétraitement.

Risques et contraintes

Les acteurs de la chaîne amont de recyclage des batteries au lithium industrielles exercent leurs activités dans un environnement qui présente de multiples risques ou contraintes, notamment en matière de :

- variabilité des types de batteries et situations rencontrées ;
- transport, logistique et stockage ;
- sécurité ;
- écologie et environnement ;
- économie et compétitivité ;
- réglementation.

Gisements de batteries

Au regard du potentiel de seconde vie des batteries – aujourd’hui incertain – et de la nette prédominance (en volumes) des batteries issues du stockage embarqué d’énergie électrique (électromobilité) devant celles provenant du stockage stationnaire, il apparaît qu’à l’horizon 2030, le principal gisement de batteries au lithium industrielles hors d’usage sera constitué des batteries issues de la mobilité électrique. Selon les projections actuelles, le stock de batteries de véhicules électriques à recycler devrait passer, en France, de 50 000 tonnes en 2030 à un million de tonnes en 2040.

Acteurs et parties prenantes

Divers acteurs ou parties prenantes sont positionnés sur la chaîne amont du recyclage des batteries au lithium industrielles hors d’usage, à savoir :

- des acteurs détenant les gisements de batteries en fin de vie (voir ci-après) ;
- des acteurs de la collecte ;
- des acteurs du transport, de la logistique et du stockage (collecte, transport, logistique et stockage font souvent intervenir un acteur tiers pour le compte d’un donneur d’ordre) ;
- des acteurs du prétraitement des batteries (dans de nombreux cas, les étapes de prétraitement et de recyclage – chaîne aval – sont effectuées par le même acteur, un « recycleur ») ;
- d’autres parties prenantes publiques ou privées positionnées de manière plus périphérique sur la chaîne de valeur (acteurs de la formation et des qualifications, prestataires de l’inspection, du contrôle, des essais, de l’analyse, de la certification, de la sécurité et des risques).

Tous les stades du cycle de vie des batteries sont en principe éligibles au recyclage, selon que la fin de vie d’une batterie donnée intervienne prématurément ou conformément à la durée d’utilisation théoriquement programmée. Les données de la plateforme européenne [Reneos](#), complétées par notre analyse, permettent ainsi de recenser une grande variété de détenteurs de batteries au lithium industrielles en fin de vie (hors énergéticiens – cf. stockage stationnaire) :

- filière automobile :
 - o constructeurs automobiles,
 - o importateurs automobiles,
 - o concessionnaires automobiles,
 - o garages automobiles,
 - o démonteurs de voitures,
 - o casses automobiles,
 - o usages : propriétaires, gestionnaires, exploitants, opérateurs de flottes ou parcs publics ou privés de véhicules ou engins terrestres routiers ou ferroviaires de transport ;
- filière batteries :
 - o fabricants ou fournisseurs de batteries, modules ou cellules (metteurs en marché ou producteurs – fabricants, importateurs, distributeurs – et intégrateurs de systèmes ou solutions),
 - o partenaires de stockages de batteries,
 - o centres de diagnostic de batteries,
 - o centres de réparation et maintenance de batteries,
 - o installations de réemploi ou de réutilisation de batteries,
 - o recycleurs de batteries et acteurs apparentés (collecteurs, prestataires de tri et de démantèlement, acteurs de la démolition et du traitement de déchets, entreprises de la métallurgie).

Phase 2 – Benchmark de la chaîne amont aux niveaux régional, national et européen

Cette phase a pour objectif de recenser et caractériser les diverses pratiques et/ou organisations et/ou structururations de la chaîne amont du recyclage des batteries au lithium industrielles.

1.7. Étape 1 – Position et situation de la France en matière de collecte, de transport et logistique des batteries au lithium industrielles hors d'usage

Pour mémoire, il s'agit dans cette étape d'identifier et de caractériser les lois, réglementations et normes en vigueur ou en projet en France, les politiques et stratégies françaises, ainsi que les pratiques ou organisations structurantes à l'échelle nationale, en resituant celles-ci dans le contexte de la réglementation européenne actuellement en évolution (cf. directive batteries de 2006 et sa révision en cours).

Définition réglementaire des batteries dites « industrielles »

Une [étude](#) de l'Ademe réalisée en 2017 et portant sur l'*Évaluation de la filière des piles et accumulateurs (P&A) industriels* rappelle la définition des différentes catégories de piles et accumulateurs. La réglementation distingue trois grandes catégories de piles et accumulateurs (cf. [article R. 543-125](#) du Code de l'environnement) :

- piles et accumulateurs portables :
 - o piles, piles boutons, assemblages en batterie ou accumulateurs qui sont scellés, sont susceptibles d'être portés à la main et ne sont ni des piles et accumulateurs automobiles ni des piles ou accumulateurs industriels ;
- piles et accumulateurs automobiles :
 - o piles ou accumulateurs destinés à alimenter un système de démarrage, d'éclairage ou d'allumage ;
- piles et accumulateurs industriels :
 - o piles ou accumulateurs conçus à des fins exclusivement industrielles ou professionnelles ou utilisés dans tout type de véhicule électrique.

Les batteries au lithium industrielles incluses dans le périmètre de la présente étude relèvent de cette dernière catégorie.

La directive batteries²⁴ et sa transposition en France

La directive batteries

En Europe, les opérations de collecte sélective, de transport, de stockage et de recyclage des batteries au lithium sont réglementées par la [directive 2006/66/CE](#)²⁵ sur les batteries et la transposition de cette directive dans le droit national de chaque État membre.

La directive batteries contrôle les types de batteries pouvant être mises sur le marché communautaire et définit les actions qui doivent être entreprises en fin de vie de ces batteries. L'objectif de cette directive est de restreindre

²⁴ Le recyclage des batteries au lithium tombe également sous le coup de la [directive 2000/53/CE](#)²⁴ sur les véhicules hors d'usage (directive VHU), qui fixe des objectifs pour la réutilisation, le recyclage et la valorisation des véhicules hors d'usage (VHU) et de leurs composants (y compris les batteries) – voir par exemple ce [rapport](#) du cabinet Element Energy, aux pages 42-43, section 4.4.2 Directive on End-of-Life Vehicles (EoLV).

²⁵ Intitulé complet : Directive 2006/66/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux piles et accumulateurs ainsi qu'aux déchets de piles et d'accumulateurs et abrogeant la Directive 91/157/CEE du Conseil.

l'utilisation de produits chimiques dangereux (par exemple le cadmium ou le mercure) dans les batteries et d'assurer une élimination et un traitement appropriés des batteries usagées.

Cette directive fixe des objectifs de collecte pour chaque type de batteries et rend obligatoire la collecte et le recyclage des batteries industrielles. Elle fixe les valeurs cibles à atteindre pour les taux de recyclage des matériaux contenus dans les piles et accumulateurs : pour les batteries industrielles, la directive fixe un objectif de rendement de recyclage au moins égal à 50 % (classement des batteries au lithium industrielles dans la catégorie « autres types de piles et accumulateurs »²⁶) en poids moyen des déchets de batteries industrielles (à horizon de septembre 2011).

En matière de responsabilité au regard de la collecte et du recyclage, la directive 2006/66/CE prévoit une « responsabilité élargie des producteurs » (REP) pour les piles et accumulateurs industriels, en plaçant la responsabilité de la collecte et du recyclage sur le producteur de batteries ou le metteur sur le marché de l'Union européenne. Selon l'[Ademe](#), la majorité des producteurs industriels et metteurs sur le marché de batteries industrielles s'organisent librement, de manière individuelle ou collective, en faisant appel à des prestataires de collecte privés ou en incluant la collecte et l'élimination des piles et accumulateurs industriels dans le cadre de leurs opérations de maintenance et service. Cette responsabilité peut également être déléguée à l'utilisateur final : les détenteurs des piles et accumulateurs industriels gèrent alors eux-mêmes la collecte et le traitement, au travers de dispositifs de collecte qui leur sont propres. Toujours selon l'Ademe, des producteurs peuvent avoir recours à des éco-organismes pour la collecte de batteries des engins de la petite mobilité électrique (vélos, trottinettes, scooters...).

À travers la mise en œuvre d'une filière à responsabilité élargie du producteur (REP²⁷), la directive batteries – qui reste le texte de référence s'appliquant aujourd'hui à la filière – fixe l'obligation pour les États membres de mettre en place des systèmes garantissant que l'ensemble des piles et accumulateurs soient collectés en vue de leur recyclage.

Transposition de la directive batteries

La transposition de la directive 2006/66/CE relative aux piles et accumulateurs ainsi qu'aux déchets de piles et d'accumulateurs est réalisée notamment par le décret n° 2009-1139 du 22 septembre 2009. La directive batteries est ainsi codifiée aux articles R. 543-124 à R. 543-134 du Code de l'environnement (soit la section 7 du chapitre III du Titre IV du Livre V de la partie réglementaire du Code de l'environnement) – voir cette [note](#) sur le site du ministère de la Transition écologique.

Le décret n° 2009-1139 du 22 septembre 2009, qui a été complété par les décrets n° 2011-828 du 11 juillet 2011 et n° 2012-617 du 2 mai 2012, étend la responsabilité élargie des producteurs (REP) à tous les piles et accumulateurs mis sur le marché national destinés à y être vendus ou utilisés et en particulier les piles et accumulateurs professionnels. L'application du décret permet l'amélioration globale du suivi de la filière via notamment la mise en place et le suivi des piles et accumulateurs industriels, ainsi que la création d'un registre national des producteurs de piles et accumulateurs et l'enregistrement obligatoire des producteurs et des opérateurs de traitement.

La directive batteries a pour objectif d'améliorer le fonctionnement de la filière de collecte et de traitement, via notamment le recyclage des déchets de piles et accumulateurs, grâce aux dispositions suivantes :

- accentuation des restrictions dans l'utilisation de certaines substances dangereuses (mercure, cadmium) dans les piles et accumulateurs mis sur le marché communautaire ;

²⁶ Autres valeurs cibles, à titre indicatif : batteries plomb (taux \geq 65 %), batteries nickel/cadmium (taux \geq 75 %). La directive batteries a été conçue avec les batteries portables à l'esprit, le marché de l'électromobilité étant peu développé dans les années 2000, mais les batteries utilisées dans les véhicules électriques sont mentionnées dans la directive et sont classées parmi les « batteries industrielles », devant être recyclées à 50 % de leur poids en fin de vie.

²⁷ À consulter : Évaluation de la filière des piles et accumulateurs (P&A) industriels, [Ademe](#), 2017.

- extension du principe de collecte sélective à l'ensemble des déchets de piles et accumulateurs, qu'ils contiennent ou non des substances dangereuses, et introduction d'un objectif de taux de collecte de 25 % des piles et accumulateurs mis sur le marché en 2012 et 45 % en 2016 ;
- extension du principe de responsabilité élargie des producteurs pour la gestion de la fin de vie des piles et accumulateurs qu'ils mettent sur le marché, qu'il s'agisse de piles ou d'accumulateurs portables, automobiles ou industriels ;
- introduction de rendements minimaux de recyclage pour les déchets de piles et accumulateurs (compris entre 50 et 75 % selon les cas) ;
- création d'un registre national des producteurs de piles et accumulateurs portables, et l'enregistrement obligatoire des producteurs et des opérateurs de traitement.

En France, trois arrêtés ministériels accompagnent la transposition de la directive 2006/66/CE :

- l'arrêté du 9 novembre 2009 modifié par l'arrêté du 26 octobre 2011 relatif au transit, au regroupement, au tri et au traitement des piles et accumulateurs usagés prévus à l'article R. 543-131 du chapitre III du Titre IV du Livre V de la partie réglementaire du Code de l'environnement ;
- l'arrêté du 18 novembre 2009 modifié par l'arrêté du 6 août 2015 relatif à la procédure d'enregistrement et de déclaration au registre national des producteurs de piles et accumulateurs prévu à l'article R. 543-132 du Code de l'environnement, et définissant les acteurs soumis aux exigences, ainsi que la nature des informations qui doivent être déclarées,
 - o en application de ce dernier arrêté, le ministère en charge de l'Environnement (ministère de la Transition écologique et solidaire) a délégué à l'Ademe la mise en place et la gestion du registre national des piles et accumulateurs – depuis janvier 2014, ce registre est regroupé avec tous les registres et observatoires des filières REP sur le site Internet du Système déclaratif des filières REP ([SyDeREP](#)²⁸),
 - o ce cadre réglementaire prévoit d'une part l'enregistrement en ligne des producteurs et des opérateurs de traitement et, d'autre part, la déclaration annuelle des quantités de piles et accumulateurs mis sur le marché, ainsi que des quantités de déchets de piles et accumulateurs collectés et traités selon toutes les catégories – notamment batteries industrielles,
 - o l'arrêté modifié prévoit à ce jour que la déclaration annuelle des quantités mises sur le marché soit réalisée par les éco-organismes agréés pour le compte de leurs producteurs adhérents (le cas échéant) – les dates de déclaration à l'Ademe ont été fixées au plus tard le 31 mars de chaque année pour être homogène avec les autres filières REP,
 - o tous les acteurs de la filière – et ce à quelque étape que ce soit de la vie des piles et accumulateurs considérés – sont tenus à leurs obligations en matière de déclaration auprès de l'Ademe (producteurs, acteurs de la collecte, opérateurs de traitement, etc.) ;
- l'arrêté du 6 août 2015, abrogeant l'arrêté modifié du 18 novembre 2009 fixant les cas et conditions dans lesquels les obligations relatives au taux de cadmium dans les piles et accumulateurs portables ne s'appliquent pas.

La directive 2006/66/CE a été modifiée par la directive 2013/56/UE du 20 novembre 2013 relative aux piles et accumulateurs ainsi qu'aux déchets de piles et accumulateurs, qui a pour objectifs de restreindre l'utilisation de substances dangereuses dans les piles et accumulateurs et de faciliter l'extraction des piles et des accumulateurs usagés intégrés dans les équipements électriques et électroniques. Et les dispositions de la directive 2013/56/UE du 20 novembre 2013 ont été transposées en droit national par trois textes réglementaires publiés au Journal officiel de la République française :

²⁸ La plateforme SyDeREP rassemble les registres et observatoires de toutes les filières REP, notamment ceux des piles et accumulateurs.

- le décret 2015-849 du 10 juillet 2015 relatif à la mise sur le marché de piles et accumulateurs et à la collecte et au traitement de leurs déchets ;
- l'arrêté du 6 août 2015, abrogeant l'arrêté modifié du 18 novembre 2009 (cf. supra, taux de cadmium dans les piles et accumulateurs portables etc.) ;
- l'arrêté du 6 août 2015, modifiant l'arrêté du 18 novembre 2009 (cf. supra, procédure d'enregistrement et de déclaration etc.).

En application de l'article 8 de la directive 2006/66/CE, trois organisations ont été mises en place en France pour la collecte des déchets de piles et accumulateurs, respectivement pour :

- les piles et accumulateurs portables (non détaillé ici) ;
- les piles et accumulateurs automobiles (non détaillé ici) ;
- les piles et accumulateurs industriels :
 - o les producteurs ont l'obligation de mettre en place des systèmes de reprise des déchets qui en sont issus puis, d'en assurer le traitement,
 - o ils peuvent également prévoir par contrat avec l'utilisateur final que ce dernier reprend à sa charge la gestion de la fin de vie (cf. article R. 543-130 du Code de l'environnement).

De nombreux textes de référence encadrent la filière, à l'échelle européenne et à l'échelle nationale – cf. le [rapport](#) annuel (2021) de l'Ademe portant sur les piles et accumulateurs (données 2020), qui dresse un état des lieux de la filière des piles et accumulateurs en France, sur la base des éléments recueillis via la plateforme des Systèmes déclaratifs des filières à responsabilité élargie des producteurs ([SyDeREP](#)) et d'éléments d'analyses qualitatives provenant des acteurs de la filière.

En résumé, la [directive 2006/66/CE](#) définit des objectifs de taux de collecte et d'efficacité de recyclage. Selon cette directive, toutes les batteries industrielles en fin de vie doivent être collectées et recyclées, la collecte étant principalement réalisée par les fabricants eux-mêmes ayant un contrat direct avec un recycleur. Cette directive prévoit un objectif de recyclage (efficacité de recyclage hors valorisation énergétique) au moins égal à 50 % (en masse des matériaux contenus dans les batteries) pour les batteries au lithium industrielles en fin de vie – voir le [rapport](#) « WG2 : Raw Materials and Recycling Roadmap » de l'European Technology and Innovation Platform (ETIP) on Batteries (Batteries Europe), pages 46-47. Concernant les limitations actuelles, il n'y a pas d'exigence quant au type de matériau à recycler. Chaque recycleur est libre de choisir quel matériau est recyclé pour autant que l'efficacité de recyclage atteigne 50 %. Par conséquent, il n'y a pas d'objectif spécifique sur la récupération des matières premières stratégiques ou critiques – par exemple le cobalt et le lithium extraits des cathodes ou encore le graphite des anodes, selon la chimie des batteries. Les dispositions réglementaires prévues par la directive batteries et leur transposition dans le droit des États membres sont aujourd'hui insuffisantes ou inadaptées. C'est pourquoi, en vue de faire évoluer la législation européenne sur les batteries, la Commission européenne a présenté en décembre 2020 le projet de règlement détaillé ci-après.

La proposition de règlement

À l'issu d'un processus de révision de la directive 2006/66/CE²⁹ – prévu par l'article 23 de celle-ci – et pour adapter la législation européenne sur les batteries aux nouveaux enjeux, la Commission européenne a présenté le 10 décembre 2020 une proposition de [règlement](#)³⁰ visant à garantir la durabilité et la compétitivité de la fabrication et de la fin de vie des batteries (le règlement abrogera la directive batteries). Ce nouveau cadre juridique est destiné à encourager les acteurs du marché à investir dans des technologies de recyclage. La proposition vise en particulier à améliorer la collecte et le recyclage des batteries en fin de vie, ainsi que la valorisation des métaux qu'elles contiennent³¹.

Alors que la directive 2006/66/CE portait principalement sur la gestion des batteries usagées, le projet de règlement couvre l'ensemble du cycle de vie des piles et accumulateurs et porte sur de nouveaux enjeux propres à la fabrication des batteries (empreinte carbone, mises sur le marché, approvisionnement responsable en matières premières, etc.). Eu égard à l'importance stratégique des batteries, et afin de réduire au minimum leurs effets délétères sur l'environnement, le nouveau règlement établit un cadre complet couvrant tous les types de batteries et portant sur l'ensemble de leur cycle de vie, depuis le processus de production et les exigences de conception jusqu'au recyclage et à la seconde vie, en passant par le contenu recyclé des batteries.

La proposition de règlement établit des exigences spécifiques à chaque étape de la chaîne de valeur des batteries, en particulier s'agissant de la chaîne amont du recyclage. Pour avoir une incidence significative sur le marché des batteries de l'Union européenne, de telles mesures doivent être juridiquement contraignantes. Mais pour la Commission, ce cadre réglementaire modernisé doit aussi apporter une sécurité juridique aux opérateurs économiques de l'ensemble de la chaîne de valeur des batteries, de façon à favoriser des investissements de grande ampleur.

Le nouveau règlement proposé contient des exigences contraignantes en ce qui concerne les domaines suivants :

- le caractère durable et la sécurité :
 - o règles relatives à l'empreinte carbone, proportions minimales de contenu recyclé, critères de performance et de durée, paramètres de sécurité ;
- le marquage et l'information :
 - o stockage d'informations sur le caractère durable et de données concernant l'état de santé et la durée de vie prévue ;
- la gestion de la fin de vie :
 - o responsabilité élargie des producteurs, objectifs et obligations de collecte, rendements de recyclage, taux de matières valorisées ;
- les obligations des opérateurs économiques découlant des exigences relatives aux produits et des mécanismes de devoir de diligence ;
- l'échange électronique d'informations.

La proposition contient en outre des dispositions contraignantes en matière de marchés publics écologiques et des dispositions facilitant le contrôle de l'application des règles relatives aux produits, à savoir les règles concernant

²⁹ Pour mémoire, la directive 2006/66/CE a été modifiée ou complétée à plusieurs reprises, notamment par la directive 2008/12/CE du 11 mars 2008, la directive 2008/103/CE du 19 novembre 2008, la directive 2013/56/UE du 20 novembre 2013, la décision 2008/763/EC du 29 septembre 2008, la décision 2009/603/EC du 5 août 2009, la décision 2009/851/CE du 25 novembre 2009, le règlement n°1103/2010 du 29 novembre 2010, le règlement n° 493/2012 du 11 juin 2012 – cf. ce [rapport](#) 2021 de l'Ademe, pages 49-52. Un tableau synoptique des textes réglementaires français s'appliquant aux piles et accumulateurs est présenté dans ce même [rapport](#) 2021 de l'Ademe, pages 52-54.

³⁰ Proposition de Règlement du Parlement européen et du Conseil relatif aux batteries et aux déchets de batteries, abrogeant la directive 2006/66/CE et modifiant le règlement (UE) 2019/1020.

³¹ À consulter également, cette [page](#) de la Commission européenne

l'évaluation de la conformité, la notification des organismes d'évaluation de la conformité, la surveillance du marché et les instruments économiques.

Pour protéger la santé humaine et l'environnement, le nouveau règlement vise à interdire l'utilisation de substances toxiques (par exemple mercure, cadmium) et à réduire les risques dus à la mauvaise gestion des déchets en renforçant les obligations de collecte séparée des déchets de batteries avec une exigence garantissant l'absence totale de perte notamment pour les batteries au lithium industrielles – interdiction totale de la mise en décharge des déchets de batteries. De nouveaux objectifs sont fixés pour les batteries au lithium et des objectifs spécifiques à atteindre d'ici à 2025 et 2030 sont fixés pour la valorisation des matières précieuses (cobalt, lithium, nickel).

La Commission propose notamment de fixer une limite de poids (5 kg) pour différencier les batteries portables (< 5 kg) et les batteries industrielles (\geq 5 kg), et de créer une nouvelle catégorie pour les batteries de véhicules électriques.

Eu égard aux critères de développement durable et de sécurité, à partir du 1^{er} janvier 2027, la teneur en cobalt, en plomb, en lithium et en nickel recyclés des batteries industrielles et des batteries de véhicules électriques à stockage interne devra être déclarée. À partir du 1^{er} janvier 2030, les batteries neuves mises sur le marché devront respecter des proportions minimales de contenu recyclé, contribuant ainsi à boucler la boucle des matières : 12 % de cobalt, 85 % de plomb, 4 % de lithium et 4 % de nickel. Et à partir du 1^{er} janvier 2035, ces proportions seront augmentées : 20 % de cobalt, 10 % de lithium et 12 % de nickel (la part du plomb – 85 % – reste inchangée).

S'agissant de la collecte des batteries, seulement 10 % du lithium contenu dans les batteries au lithium industrielles est actuellement recyclé. La Commission souhaite agir aux différentes étapes du cycle de vie des batteries, notamment en augmentant les taux de collecte des déchets de batteries, grâce aux mesures suivantes :

- augmenter l'objectif de collecte séparée des batteries portables en le portant de 45 % actuellement à 65 % en 2025 puis à 70 % en 2030,
 - o dans cette perspective, la fixation d'un objectif spécifique pour les déchets de batteries provenant des moyens de transport légers est envisagée, étant donné que ce secteur est appelé à se développer ;
- renforcer l'obligation existante de collecte applicable à toutes les batteries de véhicules automobiles, batteries industrielles et batteries de véhicules électriques, en introduisant des obligations spécifiques en matière de communication d'informations afin de faciliter le contrôle de l'application de la législation – interdiction de la mise en décharge des déchets de batteries.

Concernant la fin de vie des batteries au lithium industrielles, la Commission envisage les rendements de recyclage des batteries et taux de valorisation des matières suivants :

- d'ici 2025 :
 - o rendement de recyclage : 65 %,
 - o taux de valorisation des matières : cobalt (Co) : 90 %, lithium (Li) : 35 %, nickel (Ni) : 90 %, cuivre (Cu) : 90 % ;
- d'ici 2030 :
 - o rendement de recyclage : 70 %,
 - o taux de valorisation des matières : cobalt (Co) : 95 %, lithium (Li) : 70 %, nickel (Ni) : 95 %, cuivre (Cu) : 95 %.

Au bénéfice des utilisateurs finals comme des opérateurs économiques, les batteries devront faire l'objet d'un marquage fournissant, de manière visible, lisible et indélébile les informations nécessaires à leur identification et à celle de leurs principales caractéristiques : durée de vie, état de santé, capacité, exigence de collecte séparée,

présence de substances dangereuses, risques pour la sécurité, etc., autant d'informations visant à améliorer la traçabilité et qui devront être fournies au moyen d'inscriptions appropriées (codes QR...).

Par ailleurs, pour renforcer la transparence sur le marché des batteries, la proposition met en place un système commun d'échange électronique – un espace de données interconnecté sur les batteries – qui permettra d'enregistrer des informations sur chaque modèle de batterie mis sur le marché de l'Union, et de communiquer ces informations au public. Ce système de données sera relié, par l'intermédiaire du dispositif de marquage retenu (code QR ou autre), à chaque passeport numérique de batterie, garant de la traçabilité des batteries et leur gestion.

Le nouveau règlement s'appliquera aux batteries fabriquées en dehors de l'Union et il reviendra à l'importateur ou au distributeur de garantir la conformité des batteries importées aux exigences du règlement.

Concernant le calendrier, le 10 décembre 2020, la Commission européenne a ouvert une période de consultation sur sa nouvelle proposition de règlement relative aux batteries durables sortie le même jour. Les acteurs intéressés avaient jusqu'au 1^{er} mars 2021³² pour donner leur avis et alimenter le futur débat législatif entre le Parlement européen et le Conseil. Les négociations entre les eurodéputés et les États membres sont toujours en cours en janvier 2022, sous l'influence du lobbying des entreprises³³. Une adoption définitive du texte est attendue au plus tard en 2022, et probablement pas avant le second semestre 2022 selon l'Association des fabricants européens de batteries automobiles et industrielles [EuroBat](#) qui rappelle la complexité d'une proposition très technique. Le règlement pourrait entrer en vigueur le 1^{er} juillet 2023 (source : proposition de règlement et Ademe).

Réglementations ailleurs dans le monde

Bien que ce volet ne fasse pas partie du périmètre de la présente étude (couverture géographique restreinte à l'Europe et à la France), il est apparu utile d'en donner un aperçu succinct, à titre indicatif. Dans le prolongement de l'[étude Record](#) de 2019 citée en phase 1, l'Ademe et Record ont organisé conjointement une [journée technique](#) visant à présenter, échanger et débattre des derniers travaux réalisés par l'Ademe et Record en matière de recyclage, d'écoconception et de seconde vie des batteries. Une [présentation](#) de Frédéric Sanchez (entreprise [Recy'Stem Pro](#)) portait spécifiquement sur une comparaison entre le cadre réglementaire en vigueur en Europe concernant la gestion des batteries en fin de vie d'une part et, d'autre part, les dispositions réglementaires applicables dans d'autres pays du monde (États-Unis, Chine, Japon, Canada, Australie, Amérique du Sud), sous l'angle des impacts des réglementations sur le recyclage des batteries au lithium dans ces différentes géographies.

³² La proposition a fait l'objet d'une analyse d'impact sur la base de l'évaluation de la directive batteries, de [consultations](#) des parties prenantes au sujet du projet de règlement, ainsi que de différentes études d'appui.

³³ Fin septembre 2021, l'Association des fabricants européens de batteries automobiles et industrielles [EuroBat](#) a publié un [rapport](#) pour peser sur les négociations en cours, un des points de vigilance mis en avant par cette prise de position concerne une clarification de la notion de « producteur » de batterie. Et début septembre 2021, cette même association publiait un « [position paper](#) » de portée plus générale sur la proposition de règlement. Enfin, début octobre 2021, l'Association des constructeurs européens d'automobiles ([ACEA](#)) estimait, également dans un « [position paper](#) », que le projet de règlement contient plusieurs « lacunes involontaires » risquant d'entraver le potentiel d'innovation des constructeurs automobiles européens et que des exigences trop contraignantes (jugées comme telles par l'ACEA) pourraient s'avérer contreproductives en provoquant une forte hausse du prix des véhicules électriques et compromettant l'effort d'électrification de la mobilité.

1.8. Étape 2 – Identification, en France et en Europe, de territoires ou de structures remarquables, actifs dans la chaîne amont du recyclage – collecte & tri et/ou transport & logistique et/ou prétraitement

L'étape 2 de la phase 1 a permis d'établir une typologie des acteurs et parties prenantes de la chaîne amont du recyclage des batteries au lithium industrielles hors d'usage (cf. section 3.1.2, *Typologie des acteurs et parties prenantes de la chaîne amont*).

La présente étape (Identification etc.) et la suivante (ci-après section 3.2.3, *Étape 3*) permettent d'illustrer et d'affiner cette typologie en identifiant et caractérisant, en France et en Europe, les acteurs positionnés, les territoires actifs, les projets, initiatives et pratiques emblématiques ou exemplaires.

1.9. Étape 3 – Benchmark de 5 territoires et/ou structures parmi ceux identifiés dans l'étape 2

L'objet de cette étape 3 étant de caractériser les géographies et les acteurs à l'œuvre dans la chaîne amont du recyclage, il a été jugé opportun, dans un souci de cohérence d'ensemble, de ne pas dissocier « identification » (étape 2) et « caractérisation » (étape 3) mais plutôt de fusionner les contenus de ces deux étapes.

L'étape 2-3 qui suit propose ainsi d'identifier et de caractériser simultanément chaque entité, selon une lecture privilégiant les géographies, en commençant par le cas de la France puis en élargissant à l'Europe.

Situation en France

Contrat de la filière Mines et Métallurgie

En France, une importante initiative structurante de portée nationale en matière de recyclage des batteries – et donc a fortiori en matière de collecte, de transport et de logistique des batteries au lithium industrielles hors d'usage – est portée par la filière Mines et Métallurgie. Cette [filière](#) rassemble les acteurs de l'extraction minière, de l'élaboration, de la première transformation et du recyclage des métaux ferreux et non ferreux, ainsi que les forges et fonderies.

Pour répondre aux enjeux de la filière, le [contrat de la filière](#) Mines et Métallurgie a retenu 7 projets structurants, en particulier le projet structurant n° 5 *Développer une filière intégrée de recyclage des batteries lithium* (voir encadré ci-après, pages 18-19 du contrat de filière).

<p>ENJEU 4 : ECONOMIE CIRCULAIRE</p> <p>Projet structurant 5 : Développer une filière intégrée de recyclage des batteries lithium</p> <p>Thèmes : économie circulaire, transition écologique</p> <p>Pilotage du projet : Eramet</p> <p>Acteurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recycleurs (Eramet, SNAM, Euro Dieuze Industrie, Récupyl, Metal Blanc), producteurs de métaux (Eramet, Imerys, MSSA), producteurs de cellules (Blue Solutions, SAFT), OEMs (Renault Nissan, PSA, PFA CCA, CISMA), énergéticiens (RTE, EDF, UFE), organismes publics (CEA Liten, Ademe), administration (DGALN, DGE) <p>Contexte :</p> <p>La France compte déjà des acteurs présents dans le recyclage des batteries, à savoir les batteries au plomb, PAS, NiMH et aussi les batteries lithium. Ce dernier type de batteries devrait connaître le plus fort développement, avec des volumes en très forte croissance à partir de 2022-25.</p> <p>L'industrie française dispose d'atouts significatifs pour devenir un acteur majeur du recyclage des batteries lithium, avec un nombre important d'acteurs du recyclage maîtrisant toutes les étapes de la collecte, de la transformation et de la valorisation des batteries. Ces entreprises françaises ont actuellement un avantage concurrentiel par rapport aux autres acteurs européens avec une offre plus importante en termes de capacité et de très bonnes compétences technologiques leur permettant d'être plus compétitives et plus innovantes.</p> <p>Le paysage industriel du recyclage des batteries va évoluer fortement ces prochaines années : de nouvelles capacités vont devoir être créées et la filière va devoir renforcer son développement dans un cadre d'économie circulaire, avec des taux de recyclage plus élevés (plus de métaux recyclés) et des produits plus technologiques (réutilisables par l'industrie de la batterie, avec une maximisation de la valeur ajoutée).</p> <p>Nous avons aujourd'hui l'opportunité d'utiliser cette filière de recyclage des batteries lithium pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - construire une filière batteries française, - sécuriser notre approvisionnement en métaux stratégiques. <p>A tous ces égards, le développement de cette filière doit être anticipé, structuré entre acteurs privés et accompagné par les pouvoirs publics. Son caractère stratégique doit être reconnu au niveau national.</p> <p>Objectifs et calendrier prévisionnel :</p> <p>Ce projet constitue le deuxième volet de la mission batterie du CNI et réunit les mêmes acteurs. A l'instar de l'Alliance Européenne de la Batterie, l'objectif de ce groupe de travail est de créer une émulation transversale et de proposer à tous les acteurs de la filière de définir ensemble les principaux enjeux de leur chaîne de valeur pour, ensuite, être un support à différents développements industriels spécifiques.</p> <p style="text-align: right;">18</p>	<p>Ce projet est aujourd'hui unique par la diversité de ses participants et permet :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de partager un consensus actuel sur l'évolution possible des différents marchés sous-jacents (y compris le marché de la seconde vie des batteries) ; - d'établir une vision partagée des enjeux technologiques et des différents modèles d'affaires vertueux entre les parties prenantes, notamment quant au développement d'une filière offrant des produits de qualité batteries, ce qui permettra à la filière française de s'organiser de manière collective ; cela passe aussi par un benchmark de la filière par rapport à ses concurrents européens et asiatiques ; - d'établir un diagnostic des bénéfices et impacts environnementaux de la filière à travers notamment la réalisation d'une étude ACV⁶ sur la conception, l'utilisation et le recyclage des batteries, dans l'optique de concentrer les efforts de la filière sur ses atouts différenciants et spécifiquement créateurs de valeur ; - d'être force de proposition sur les sujets réglementaires et de soutien public à la R&D. <p>Un premier diagnostic et des propositions aux pouvoirs publics ainsi que l'ACV seront émis T1 2019.</p> <p>A l'issue de ces premiers travaux, une feuille de route de R&D et de déploiement industriel sera établie dans la continuité du premier volet de la mission batterie du CNI.</p> <p>Engagements réciproques entre l'Etat et la filière :</p> <p>Filière : lancement de programmes de R&D nécessaires et de projets industriels pilotes si les conditions économiques et réglementaires le permettent</p> <p>Etat : prise en compte des résultats de l'étude, notamment pour favoriser la création d'une filière matériaux pour batteries intégrée à une filière complète batterie de la conception à la fin de vie</p> <p style="text-align: right;">19</p>
--	---

La recherche et l'identification – en France comme en Europe (régions, territoires...) – d'acteurs, de groupes d'acteurs ou d'organisations publics ou privés (consortiums, puissances publiques...) à l'origine d'initiatives, de projets, ou démontrant la mise en œuvre de pratiques emblématiques ou exemplaires, ou encore ayant élaboré une « feuille de route », une « stratégie » ou un « plan » en vue de structurer une filière industrielle de recyclage des batteries au lithium industrielles sur l'ensemble de la chaîne de valeur ou plus particulièrement sur la chaîne amont du recyclage de ces batteries, ont été réalisées en suivant la méthodologie présentée ci-avant (cf. section *Plan d'actions, Méthode et moyens mis en œuvre*).

Ces recherches ont été menées de manière « agnostique » à l'aide de mots clés et descripteurs couvrant le mieux possible les domaines d'expertises relatifs au champ sémantique (lexical) défini par la Région Nouvelle-Aquitaine (cf. section *Contexte, enjeux et objectifs*), en s'assurant que ces investigations convergent bien vers l'entité « Nouvelle-Aquitaine » qui est active en la matière (voir notamment [Néo Terra](#), page 64 et 65, la [fiche action n° 42](#) relative au développement de solutions énergétiques propres pour les mobilités et le stockage stationnaire d'énergie,

ainsi que le [Plan](#) de transitions et de reconquête technologique Nouvelle-Aquitaine Rebond – ceci permettant de valider positivement la pertinence des mots clés et descripteurs utilisés. À titre indicatif, les mots clés et descripteurs ont été diversement utilisés dans les équations de recherche : seuls ou en combinaison, français vs anglais, opérateurs logiques AND/OR/NOT/NEAR, mots ou expressions au singulier vs pluriel, permutations, etc.

Outre la Nouvelle-Aquitaine, les Hauts-de-France sont le seul territoire français désireux de structurer une filière de recyclage des batteries au lithium industrielles hors d'hors d'usage.

Situation dans les Hauts-de-France

Dans le cadre de la dynamique Rev3 (Troisième révolution Industrielle), la Région Hauts-de-France a lancé en février 2021 un appel à manifestation d'intérêt ([AMI](#)³⁴, date limite d'envoi des réponses fixée au 15 avril 2021) lié au recyclage et au réemploi des batteries, dans l'objectif d'identifier le plus exhaustivement possible l'essentiel des initiatives, des actions ou des projets en lien avec les différentes problématiques liées au recyclage et aux réemplois des batteries – les initiatives peuvent se placer sur le plan réglementaire, de l'écoconception, de la sécurité, du potentiel de recyclage versus le potentiel de réemploi en seconde vie, de la recherche d'un équilibre économique lié à la valeur ajoutée des métaux et matériaux récupérés, etc.

Dans le contexte de l'implantation de la [gigafactory](#) d'Automotive Cells Company ([ACC](#) – coentreprise française créée par Stellantis et TotalEnergies), qui fabriquera des batteries pour voitures électriques à Douvrin (Pas-de-Calais, Hauts-de-France) et l'essor programmé de la mobilité électrique, la Région ambitionne ainsi de bâtir une filière globale de recyclage et de réemploi des batteries. Il s'agit également de regrouper les acteurs en consortiums – entreprises, bureaux d'études, centres techniques, universités et grandes écoles, etc. – pour constituer une filière régionale pérenne et renforcer la capacité de recyclage en Hauts-de-France.

Cet AMI, qui s'adresse assez largement aux différentes typologies de batteries dédiées aux principaux marchés dominants – petite et grande mobilités électriques, stockage stationnaire d'énergie électrique, mais aussi batteries dédiées à l'électronique nomade –, vise notamment la chaîne amont du recyclage des batteries (collecte, transport et logistique, prétraitement). Les projets attendus (notamment projets de type collaboratifs public-privé) peuvent relever d'une part des technologies et procédés industriels et, d'autre part, de la mise en œuvre des principes de l'économie circulaire.

La Région Hauts-de-France accompagnera ainsi [4 projets](#) pour un montant total de plus de 1,5 million d'euros, dont le projet Tonso Bongo porté par le laboratoire de recherche et de développement TND basé à Quesnoy-sur-Deûle (Nord, Hauts-de-France), qui développera un procédé innovant dédié au recyclage des batteries au lithium.

À noter la présence en région Hauts-de-France du pôle de compétitivité [Team2](#) dédié aux « technologies de l'environnement appliquées aux matières et aux matériaux » (Team2), spécialisé dans la recherche et les applications industrielles relatives aux écotechnologies, aux écomatériaux, au recyclage et à la dépollution. Le 9 février 2021, le pôle Team2 a organisé un premier webinar d'envergure européenne (voire internationale) sur la thématique du « recyclage des batteries pour la mobilité électrique » (voir le [programme](#) et un bref [compte-rendu](#) de ce webinar). Fort du succès de ce premier événement, le pôle Team2 a organisé le 30 juin 2021, sur le même format, un second webinar consacré à l'hydrométallurgie et la pyrométallurgie, deux technologies pour la récupération des métaux stratégiques ([programme](#) et [compte-rendu](#) du webinar).

³⁴ AMI distinct de l'AMI [Recyclage](#) lancé en mars 2021 en association avec la [Satt Nord](#), [HDFID](#) (Hauts-de-France Innovation Développement) et le réseau [UniRev3](#).

Entreprise Snam

En France, l'un des acteurs les plus avancés en matière de recyclage des batteries est le groupe Snam. La Société nouvelle d'affinage des métaux ([Snam](#)) est une entreprise dont les activités portent principalement sur la collecte et recyclage des [batteries](#) (batteries Industrielles, déchets de production, etc.).

Snam est autorisée à [collecter](#) en Europe les batteries industrielles et les déchets issus des activités de production et à les acheminer vers ses centres de retraitement. L'entreprise s'appuie sur son réseau de partenaires logistiques³⁵ présents dans les principaux pays Européens – dans plus de 15 pays en Europe, il existe un point d'apport volontaire Snam où la collecte est réalisable.

Signalées par les détenteurs de batteries (concessionnaires, etc.) via un logiciel dédié, les batteries sont transportées jusqu'à l'usine par la société, qui facture les constructeurs de frais de « logistique et recyclage ». Snam dispose d'un sarcophage pour transporter les batteries de véhicules électriques accidentés et expédier aux services après-vente les packs endommagés – container équipé d'un système d'extinction d'incendie, d'une bâche isolante et d'un manomètre.

Snam, en collaboration avec le CEA et le CNRS, purifie du lithium pour l'incorporer à du béton (boucle ouverte) et produit également à petite échelle des sulfates de nickel au grade de pureté nécessaire à la fabrication de cathodes (boucle fermée). Pour [Éric Nottez](#), le président de Snam, « il ne faut pas s'enfermer dans l'idée de refabriquer une batterie à partir d'une batterie », affirmant que sur ce marché émergent, il y aura « de la place pour des fournisseurs de black mass de qualité », à côté d'acteurs cherchant à intégrer la chaîne de valeur du recyclage des batteries en boucle fermée.

Snam a le contrat national des trottinettes [Lime](#) : parce que les engins de la mobilité douce, avec les vélos, ont des durées de vie plus courtes, ils constituent un premier gisement pour apprendre sur les contraintes économiques, techniques et industrielles.

Projet ReLieVe

Fin 2019, l'entreprise minière et métallurgique [Eramet](#) s'est associée aux compétences de Suez et de BASF dans le cadre du projet collaboratif de recherche et d'innovation [ReLieVe](#) (Recycling of Li-ion batteries for electric Vehicle) – avec le soutien académique de [Chimie ParisTech](#) et de la Norwegian University of Science and Technology ([NTNU](#)).

Ce projet est financé – à partir de janvier 2020 et pour une durée de deux ans – à hauteur de 4,7 millions d'euros par l'Union européenne ([EIT RawMaterials](#) – à plus de 60 %) et les trois partenaires industriels pour développer un procédé technologique en boucle fermée (upcycling – procédé développé depuis 2018) de recyclage des batteries lithium-ion utilisées dans les véhicules électriques, et structurer une filière intégrée de recyclage, de la collecte et du démantèlement des batteries en fin de vie, au recyclage des éléments qu'elles contiennent, jusqu'à la fabrication de nouveaux matériaux d'électrodes. Le procédé de recyclage vise la récupération et la valorisation de l'ensemble des métaux de valeur – cobalt, nickel, lithium et manganèse, notamment. Il permet de traiter des batteries en fin de vie mais aussi les rebuts de fabrication de nouvelles batteries provenant des gigafactories.

³⁵ En matière de transport et de logistique, des acteurs tels que [Gefco](#) (Groupages express de Franche-Comté – hors réseau Snam), une entreprise internationale française de logistique industrielle, se positionnent également : Gefco propose ainsi une solution intégrée conforme aux réglementations pour la [logistique](#) des batteries au lithium-ion, en particulier s'agissant de la gestion de la fin de vie et du recyclage des batteries.

Dans ce [programme](#), chaque entreprise du consortium a un positionnement qui lui est propre sur la chaîne de valeur :

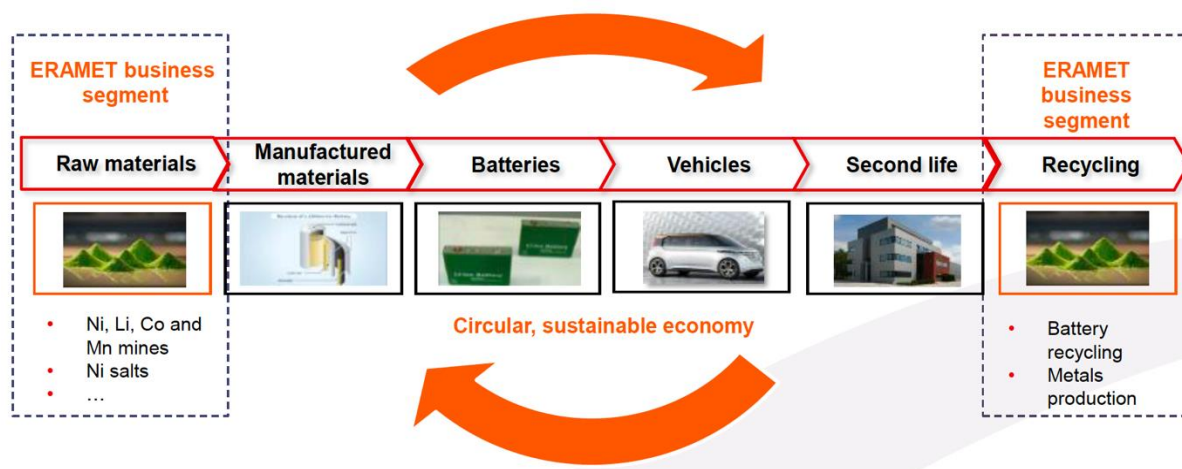
- [Suez*](#), pour la collecte et le démantèlement des batteries, la décharge des cellules, le transport et la logistique, la mise en œuvre d'outils d'automatisation ;
- [Eramet*](#), pour le développement du procédé de recyclage en boucle fermée, grâce à une unité de recyclage flexible, adaptant ses conditions de traitement à la nature de la chimie des batteries lithium-ion traitées et en cohérence avec les qualités chimiques attendues pour les produits finaux (expertise de Chimie ParisTech), ainsi qu'un pilotage intelligent basé sur des outils de modélisation (appui de la NTNU) – dans ce processus, Eramet réalise le prétraitement des batteries et la production de la black mass ;
- [BASF](#) (division [Catalyseurs](#)), pour la fabrication des matériaux actifs de cathodes et qualification de précurseurs des batteries lithium-ion (par exemple le sulfate de nickel).

* Suez et Eramet sont tous deux positionnés sur la chaîne amont du recyclage.

Le programme [ReLieVe](#) s'est achevé en [décembre 2021](#). Plusieurs campagnes de tests menés à l'échelle laboratoire puis à l'échelle pilote au centre d'innovation du groupe – [Eramet Ideas](#) (Innovation, Development, Engineering for Advanced Solutions) – ont permis de récupérer l'ensemble des éléments de valeur (nickel, cobalt, lithium, manganèse) avec de très hauts niveaux de rendement et de les transformer en nouveaux métaux de qualité batterie – valorisation sous forme de sels métalliques de grade batterie par voie hydrométallurgique.

En mai 2021, Eramet et Suez (sans BASF) ont souhaité renforcer leur [coopération](#) sur le recyclage des batteries lithium-ion en Europe, entamant une « réflexion industrielle sur l'opportunité de lancer une première usine et déterminer quel serait son modèle économique, pour aboutir à un plan d'action » dans le prolongement dès la fin 2021 du programme ReLieVe, selon [Jean-Marc Boursier](#), directeur général adjoint de Suez chargé des opérations. Suez vise « 15 à 20 % du marché européen à l'horizon 2030, avec une première installation en France en 2025 ou 2026 d'une capacité de 10 000 à 15 000 tonnes par an », selon [Jean-Marc Boursier](#), dont l'objectif est, d'ici là, de sécuriser la collecte des batteries.

Pour Sophie Lebouil, R&D Program Manager chez Eramet, le projet ReLieVe s'inscrit dans une stratégie visant à étendre le portefeuille du groupe sur des marchés à forte valeur ajoutée. Eramet propose ainsi une opportunité de guichet unique pour permettre un approvisionnement durable en matières premières utilisées dans la chaîne de valeur des batteries pour véhicules électriques (voir schéma ci-après).

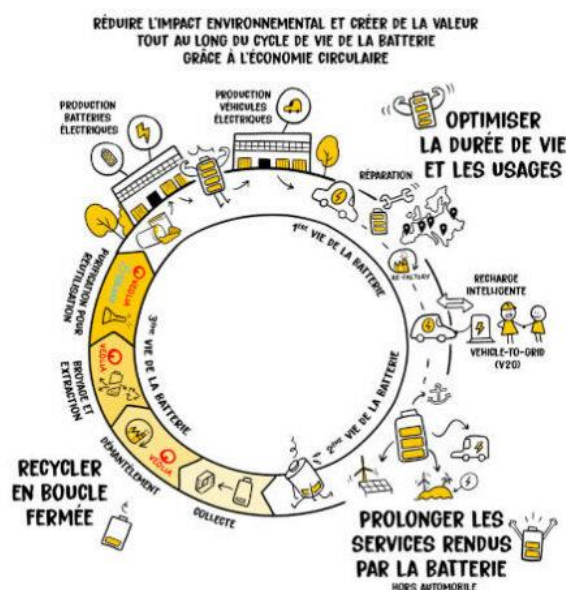


La stratégie d'Eramet et le projet ReLieVe (source : [Sophie Lebouil](#), Eramet Ideas).

Consortium Renault-Veolia-Solvay

En septembre 2020, le groupe belge Solvay et Veolia avaient conclu un [partenariat](#) visant à optimiser le recyclage des batteries lithium-ion des véhicules électriques. À cette date, le consortium était déjà en contact avec un constructeur automobile et des fabricants de cellules de batteries pour mettre en œuvre conjointement les meilleures technologies et compétences en vue de la collecte des batteries hors d'usage et leur démantèlement (Veolia spécialiste de la gestion optimisée des ressources), ainsi que l'extraction et la purification des métaux (cobalt, nickel, lithium) incorporables dans des batteries neuves (Solvay, spécialiste de la chimie et des matériaux avancés).

En mars 2021, Renault, Veolia et Solvay ont [annoncé](#) la création d'une usine pilote en France pour recycler (boucle fermée) les métaux contenus dans les batteries électriques (cf. illustration ci-après).



Recyclage en boucle fermée (source : groupe Renault).

Le groupe Renault a ainsi rejoint le consortium créé en septembre 2020 par Veolia et Solvay dans la perspective de mettre en place un « écosystème circulaire des métaux issus des batteries électriques en Europe » à même de collecter et démanteler les batteries, puis d'en extraire les métaux stratégiques (cobalt, nickel, lithium) et de purifier en vue de les réutiliser dans la fabrication de nouvelles batteries – objectif de réutiliser au moins 95 % de chacun de ces trois métaux dans la fabrication de batteries neuves

Au sein du consortium, Renault collecte les batteries à recycler en s'appuyant sur son réseau commercial, des partenaires logistiques et sa filiale [Indra](#). La [ReFactory](#) à Flins-sur-Seine (Yvelines, Île-de-France) prévoit l'installation d'une ligne de démantèlement de véhicules et de batteries électriques à partir de 2024, afin d'augmenter sa capacité à recycler et s'approvisionner en pièces et matières en boucles courtes.

Veolia apporte son savoir-faire dans la collecte, le transport, le démantèlement, le broyage et le recyclage de batteries lithium-ion par des procédés hydrométallurgiques grâce à son usine de traitement et de valorisation de batteries au lithium industrielles usagées située à Dieuze (Moselle, Grand Est) – filiale de Sarpis Veolia [Euro Dieuze Industrie](#). Une fois le diagnostic posé et la sécurisation de la batterie achevée (décharge), la phase de déconstruction et de broyage des composants et des cellules débute (prétraitement), avant l'extraction effective des métaux contenus (traitement, sur un autre site de Veolia situé au nord de Metz) – les composants non cellulaires sont réutilisés ou recyclés pour des alliages spécifiques dans de nouvelles applications industrielles (aluminium, câbles, acier, plastiques...).

Enfin, Solvay³⁶ met à disposition son expertise dans l'extraction chimique des métaux stratégiques (cobalt, nickel, lithium, manganèse, cuivre) récupérables à partir de la black mass produite par Veolia et la purification de ces métaux à un niveau de pureté tel qu'ils puissent être utilisés dans la fabrication de nouvelles batteries (boucle fermée).

Projet RecyVaBat

Dans le cadre du projet [RecyVaBat](#)³⁷ (Recyclage et Valorisation de Batteries), [Orano](#) s'est associé en 2021 à plusieurs partenaires industriels et de recherche – [Paprec](#), [MTB Recycling](#), [Saft](#), [CEA-Liten](#) – pour tester une nouvelle méthode de recyclage des métaux stratégiques³⁸ (cobalt, lithium, nickel...) contenus dans les batteries lithium-ion des véhicules électriques, dans la perspective de fabriquer de nouveaux matériaux de cathodes et valoriser l'ensemble des matières issues des batteries, grâce à un procédé peu énergivore et offrant un taux de recyclage élevé, présentant ainsi une empreinte environnementale réduite.

Ce consortium d'industriels français vise la maîtrise de toute la chaîne de valeur du recyclage en combinant les compétences de chacun, à savoir (voir schéma ci-après) :

- Paprec, qui assure la collecte et le démantèlement des packs de batteries ;
- MTB Recycling, dont les équipements permettent la préparation des matériaux³⁹ ;
- Orano, qui assure le recyclage des matières :

³⁶ Des négociations sur le site d'implantation d'une ligne pilote sont en cours : la Région Nouvelle-Aquitaine a fait une proposition pour le site de La Rochelle, Solvay doit annoncer sa décision à la Région courant été 2022 (source : Région Nouvelle-Aquitaine).

³⁷ Voir également le communiqué de presse du [CEA](#).

³⁸ Il est également prévu de récupérer le graphite, le cuivre, l'aluminium, les matières ferreuses, les plastiques, les séparateurs et le casing des batteries ainsi que l'électrolyte.

³⁹ Le pôle recyclage et centre essai de MTB (MTB Recycling) est spécialisé dans le recyclage des métaux non ferreux. MTB est un recycleur, également un équipementier du recyclage, notamment un fabricant de machines dédiées au traitement des batteries au lithium industrielles (par exemple, la Drycell Box) – mais l'entreprise n'est pas positionnée sur la chaîne amont du recyclage en tant que tel, elle est un [équipementier](#) de la chaîne aval.

- deux pilotes industriels seront construits dans les nouvelles installations du Centre d'innovation en métallurgie extractive (CIME) sur le site d'Orano à Bessines-sur-Gartempe (Haute-Vienne, Nouvelle-Aquitaine⁴⁰) afin de conduire les essais techniques et les tests sur le procédé :
 - un premier [pilote](#) de prétraitement permettra de séparer les différents constituants, avec d'un côté la matière concentrée en un mélange de métaux et de l'autre les éléments tels que les plastiques, les matières ferreuses, etc.,
 - le second pilote hydrométallurgique aura pour objectif de purifier et récupérer séparément les matériaux comme le lithium, le nickel, le cobalt et le manganèse,
- ces matériaux purifiés seront ensuite envoyés au CEA (CEA-Liten) pour la fabrication de matériaux de cathode, puis testés par l'entreprise Saft à Nersac, près d'Angoulême (Charente, Nouvelle-Aquitaine), afin de s'assurer qu'ils conviennent à la fabrication de nouvelles batteries,
- les tests des procédés de recyclage sur les deux pilotes doivent s'échelonner de 2021 à 2023 et devraient permettre le traitement de l'équivalent de 300 tonnes de batteries par an :
 - si ces tests s'avèrent concluants, l'exploitation industrielle du procédé pourrait être opérationnelle dès 2024 ou 2025 et à l'horizon 2030, l'objectif serait le recyclage de plus de 10 000 t de batteries de véhicules électriques,
 - le consortium pourrait alors traiter l'équivalent de 9 à 12 000 tonnes de matériaux nécessaires à la fabrication cathodes dans son usine hydrométallurgique,
 - selon Orano (Didier David, directeur du projet de recyclage des batteries de véhicules électriques chez Orano), la première installation industrielle devrait pouvoir traiter l'équivalent de 40 % du marché européen en 2030 ;
- le CEA-Liten, qui apporte son expertise pour innover sur l'ensemble du cycle ;
- Saft (filiale à 100 % de TotalEnergies), entreprise spécialisée dans la conception, la fabrication et la commercialisation d'accumulateurs électriques à usage industriel – fabrication de nouveaux éléments de batteries à partir des matières recyclées par Orano.

Orano : Acteur majeur de l'énergie nucléaire et du recyclage des combustibles

→ Coordinateur du projet et contributeur des parties mise en sécurité et traitement des matières et élaboration des matériaux de cathode (Lots 2, 3 & 4)



Paprec Group (division DEEE) : Leader français du recyclage de déchets

→ En charge de la partie démantèlement des packs Batteries (Lots 1 & 2)



MTB Manufacturing (Isère) : Équipementier et ingénieuriste de solutions de recyclage

→ Contributeur de la partie mise en sécurité et traitement des matières (Lot 2)



Saft : Fabricant de batteries

→ Assure la fabrication des cellules/modules à partir des matériaux de cathode produits (Lots 3 & 4)



CEA (Liten) : Organisme public de recherche intervenant sur les énergies bas carbone

→ Développement de la partie mise en sécurité et récupération des matière (Lots 2, 3 & 4)



Le consortium RecyVaBat (source : Orano Mining).

⁴⁰ Le projet RecyVaBat répond aux critères du plan de relance initié par le Gouvernement ainsi qu'à la feuille de route des projets soutenus par la Région Nouvelle-Aquitaine : à ce titre, il bénéficie de subventions à hauteur 6,1 millions d'euros attribuées par France Relance pour le consortium et 334 000 euros par la Région. [Coût total du projet, sur deux ans : 22 millions d'euros.](#)

Situation en Europe

Alliance européenne des batteries

Le caractère stratégique des batteries et la domination des acteurs asiatiques ont poussé la Commission européenne à annoncer, en octobre 2017, un projet d'Alliance européenne des batteries (EBA, [European Battery Alliance](#)).

L'EBA est une plateforme de mise en commun des travaux et des capacités de financements des différents acteurs de la filière des batteries. C'est une alliance multidimensionnelle – projet pas uniquement industriel – qui encourage également la formation, la R&D, etc. Elle a pour ambition de couvrir l'ensemble de la chaîne de valeur, de l'approvisionnement au recyclage en passant par la production de batteries, dans une logique d'écosystème. Le recyclage des batteries lithium-ion est un pilier stratégique pour l'EBA. Dans cette dynamique, un [plan d'action](#) stratégique en faveur des batteries, publié en 2018, a été adopté en 2019.

Des instruments sont mis à la disposition des acteurs pour encourager le financement de la filière – par exemple la Banque européenne d'investissement ([BEI](#)). Un outil stratégique particulier utilisé par l'EBA est le dispositif de financement des projets industriels PIIEC (projets importants d'intérêt européen commun – important projects of common european interest, IPCEI) – projets de rupture en matière d'innovation et d'infrastructure (voir infra).

L'EBA couvre des projets industriels dont la maturité technologique est élevée (TRL 7-9). Les projets moins avancés (TRL 4-8) ont pu bénéficier, sur la période allant de janvier 2019 à décembre 2021, de financements dans le cadre de la plateforme de recherche et innovation [BatteRies Europe](#) – European Technology and Innovation Platform (ETIP) [BatteRies Europe](#)⁴¹. Enfin, le projet plus amont (TRL 1-3) bénéficie de l'initiative de recherche [Battery 2030+](#).

PIIEC

Un premier PIIEC associant sept États – en particulier l'Allemagne et la France mais aussi la Belgique, la Finlande, l'Italie, la Pologne et la Suède – a été lancé en décembre 2019, pour un montant total de 3,2 milliards d'euros. Il concerne 17 grandes entreprises de la filière, positionnées sur l'ensemble de la chaîne de valeur, des matières premières au recyclage, en passant par la fabrication des cellules et modules : extraction d'hydroxyde de lithium par le finlandais [Keliber Oy](#), la production de matériaux actifs de cathode par l'allemand [BASF](#) (projet de construire une usine de production de précurseurs de matériaux actifs de cathode en Finlande), la fabrication de cellules par l'allemand [Varta](#), la construction d'une usine pour la production de matériaux de cathode (en Pologne) par le belge [Umicore](#) ou encore la construction de gigafactories de batteries par Automotive Cells Company ([ACC](#) – coentreprise française créée par Stellantis et TotalEnergies) – projet en Allemagne, via Opel contrôlé par Stellantis.

Plus précisément, les 17 participants à ce projet paneuropéen de recherche et leurs partenaires sont positionnés sur les quatre domaines suivants (voir illustration ci-après) :

- les matières premières et les matériaux avancés ;
- les cellules et les modules ;
- les systèmes de batteries ;
- la réaffectation, le recyclage et le raffinage – domaine portant sur les processus innovants pour la collecte, le démantèlement, la réaffectation, le recyclage et le raffinage des matériaux recyclés.

⁴¹ Le 19 février 2021, le groupe de travail (cf. *Working groups and Task Forces*) de [BatteRies Europe](#) dédié aux matières premières et au recyclage (WG2 - Raw materials and recycling) a publié sa [feuille de route](#) – tous les passages de ce document portant sur la chaîne amont du recyclage ont été exploités dans le cadre de la présente étude.

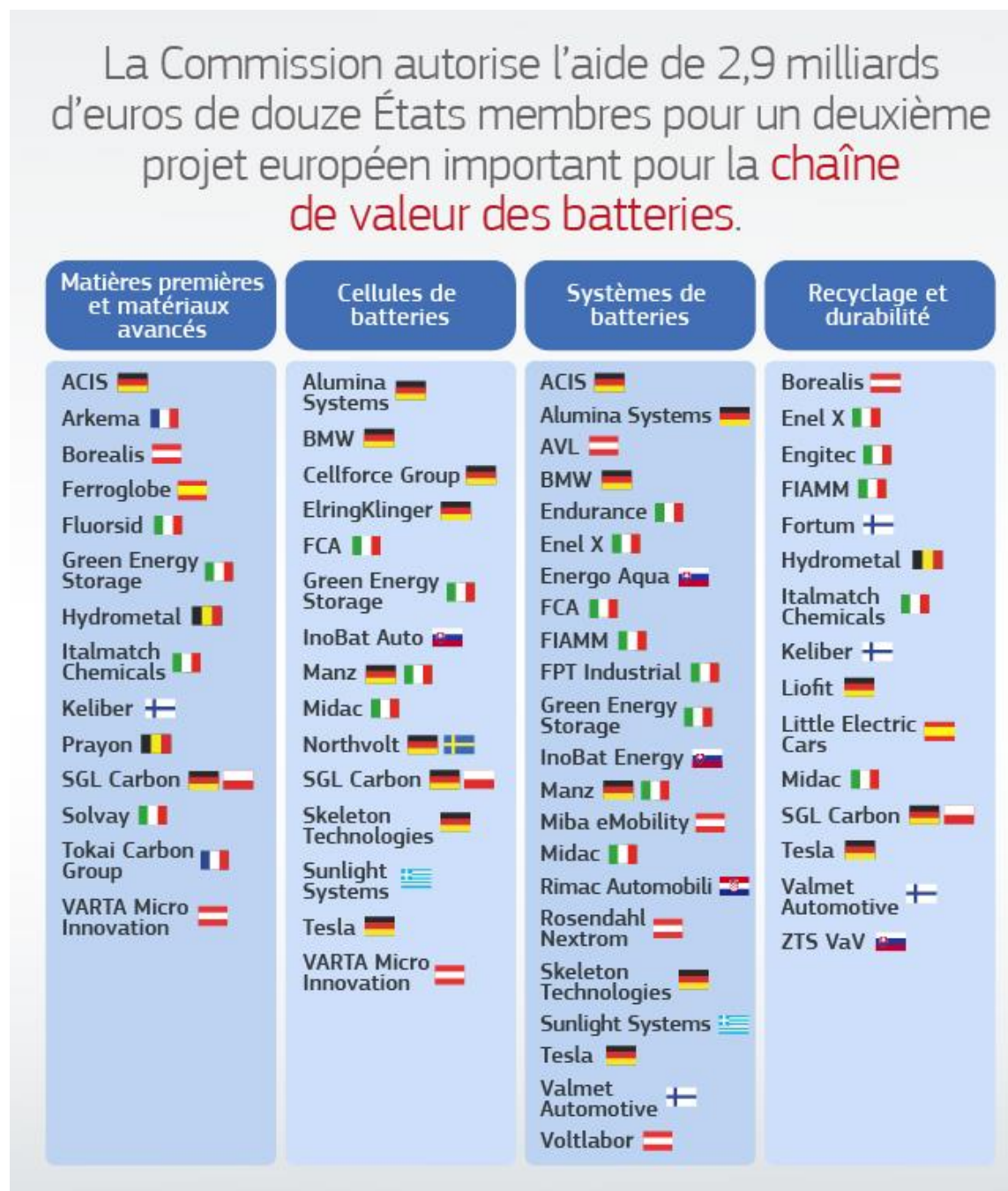
La Commission autorise l'aide de 3,2 milliards € de sept États membres pour un projet d'intérêt européen commun pour la chaîne de valeur des batteries



Les participants⁴² au 1^{er} PIIEC (source : [Commission européenne](#)).

⁴² À consulter également, ce [rapport](#) (décembre 2020) de l'Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques (OSFME), pages 85-93, pour tous détails concernant les acteurs positionnés sur le segment du recyclage.

Un deuxième PIIEC a vu le jour en janvier 2021 associant douze États membres (Allemagne, Autriche, Belgique, Croatie, Espagne, Finlande, France, Grèce, Italie, Pologne, Slovaquie, Suède) et pour un montant de 2,9 milliards d'euros. Ce programme concerne 42 entreprises industrielles de la filière de toutes tailles (BMW, Fiat Chrysler Automobiles, Tesla, Rimac Automobili, Northvolt, Arkema, FCA, ElringKlinger... – y compris startups et PME), positionnées sur l'ensemble de la chaîne de valeur, réparties dans quatre domaines – les mêmes que pour le premier PIIEC (voir illustration ci-après).



Les participants au 2^e PIIEC (source : [Commission européenne](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/st121221_01)).

À consulter : cet appel à manifestation d'intérêt (AMI) du 25 janvier 2022 pour des batteries durables et innovantes, sur le site du ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance.

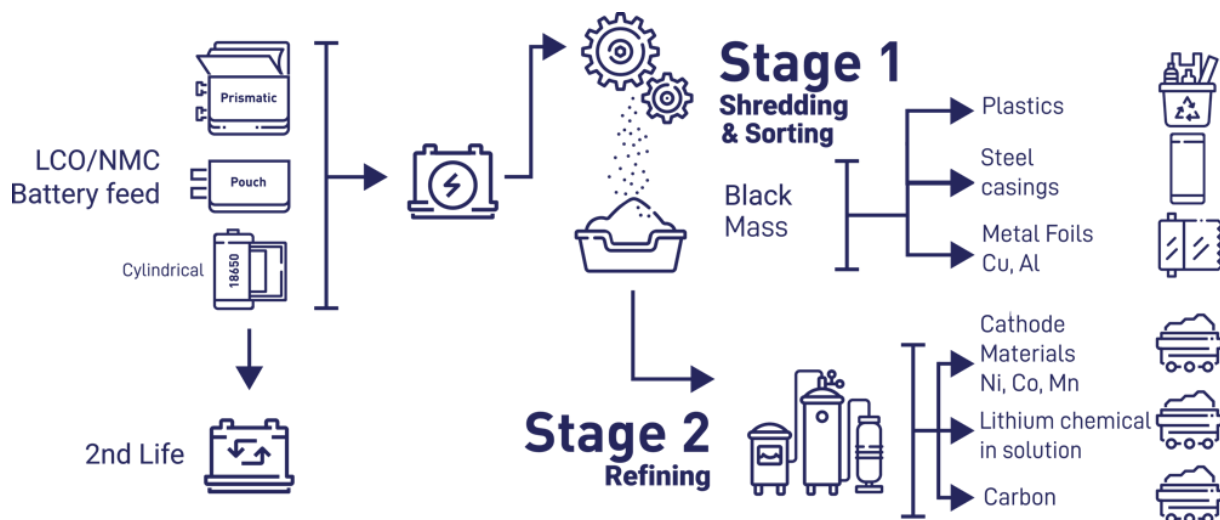
Situation en Allemagne

Primobius

En Allemagne, une initiative phare est portée par Primobius. À l'été 2020, l'entreprise australienne [Neometals](#) – spécialisée dans les minéraux et matériaux avancés, notamment pour le stockage de l'énergie – s'est associée avec le groupe allemand [SMS group](#), spécialisé dans la construction de machines industrielles à destination de l'industrie métallurgique, pour former la joint-venture [Primobius](#), dont la vocation est de mettre au point et commercialiser une solution de recyclage des batteries lithium-ion en fin de vie – ou mises au rebut pour diverses raisons (défaillances, accidents, déchets de production, etc.).

Cette coentreprise, qui a commencé à construire son [démonstrateur](#) à l'échelle industrielle à Hilchenbach en Allemagne en mars 2021, souhaite entrer dans sa phase commerciale dès 2023. Primobius vise la récupération de plus de 90 % des métaux (cobalt, lithium, nickel, manganèse) selon un degré de pureté compatible avec leur réutilisation dans la production de nouvelles cathodes et cellules de batteries.

Le processus mis en œuvre est configuré selon les deux étapes – i] broyage et tri, ii] raffinage hydrométallurgique – réalisées sur le même site industriel, telles qu'indiquées dans le schéma ci-après.



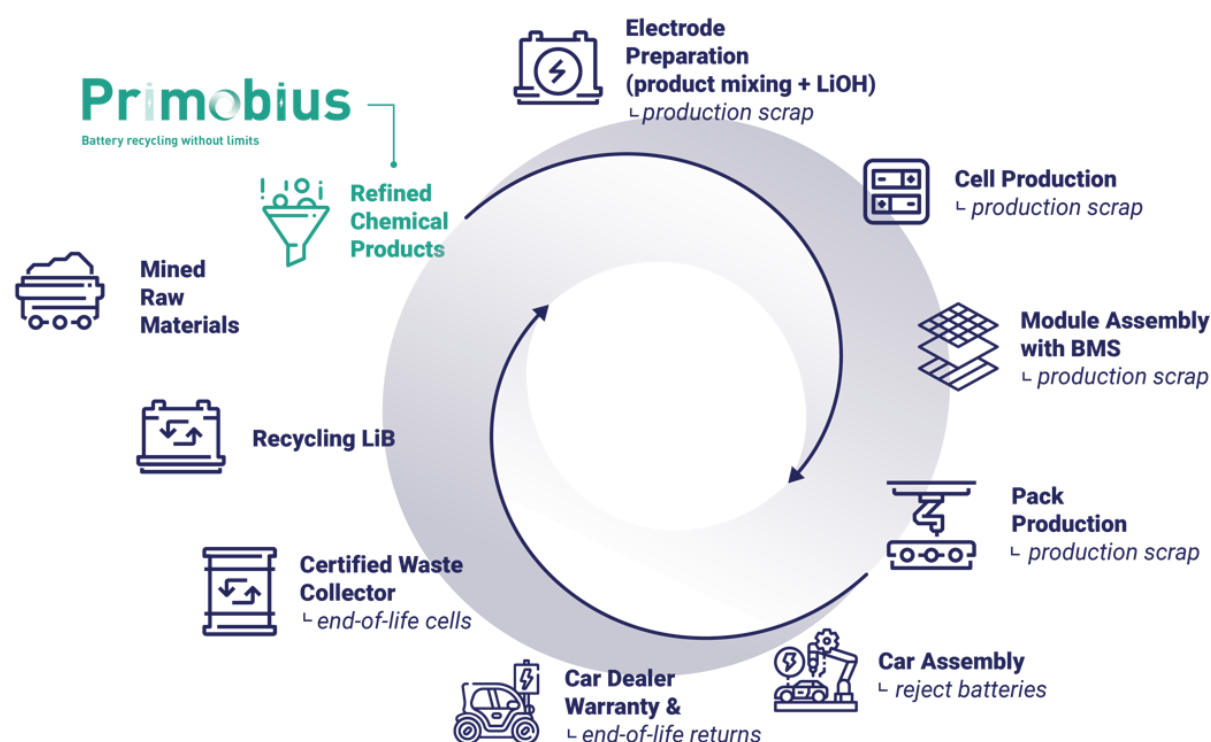
Processus de recyclage en deux étapes (source : Primobius).

Ce schéma montre notamment que Primobius est positionnée (en partie seulement) sur la chaîne amont du recyclage dans la mesure où l'étape 1 (broyage et tri) fait bien partie du prétraitement⁴³, à l'issue duquel la black mass est obtenue. Mais Primobius n'est pas impliquée dans les étapes situées plus en amont (collecte, transport, logistique, stockage) du prétraitement des batteries. Pour autant, dans son modèle économique, Primobius envisage d'installer de telles usines à proximité immédiate des points de collecte des batteries à recycler, non seulement pour des motifs économiques (opérations de transport, de logistique et de stockage réduites au minimum) mais aussi pour des raisons de sécurité (en réduisant le risque d'incendie et de fuites de substances dangereuses).

⁴³ À noter que le processus Primobius permet de s'affranchir de l'étape de décharge des batteries.

Pour Primobius, de telles installations ont vocation à recycler des batteries hors d'usage mais aussi tous matériaux issus de la chaîne de production des batteries et de leurs composants (voir schéma ci-après).

Typical Value Chain for Automotive LiBs



Chaîne de valeur du recyclage selon Primobius (source : Primobius).

Parmi les partenaires de Primobius figurent l'Association européenne de recyclage des batteries [EBRA](#) (European Battery Recycling Association), ainsi que l'Alliance européenne pour les batteries [EBA](#) (European Battery Alliance).

Autres acteurs remarquables de la chaîne amont du recyclage

D'autres entreprises actives sur la chaîne amont du recyclage méritent d'être mentionnées, par exemple Accurec, positionnée notamment sur la [collecte](#), le [packaging](#), le [transport](#) et la logistique, le [stockage](#), le [démantèlement](#), etc.

Autre recycleur majeur de batteries lithium-ion outre-Rhin : Duesenfeld, qui début ses activités de [recyclage](#) au stade du prétraitement (décharge des batteries) mais n'effectue pas les opérations amont.

À signaler également, la fondation [GRS Batterien](#) (Gemeinsames Rücknahmesystem für Batterien), collecteur des batteries de vélos électriques en Allemagne – membre de Reneos (cf. section 3.1.2, pages 32-33).

En outre, l'entreprise allemande de recyclage de métaux [Nickelhütte Aue](#) (NHA) est positionnée (notamment) sur le [recyclage](#) des batteries au lithium (critiques ou non critiques) issues de l'industrie automobile (et chariots élévateurs) : sur la chaîne amont, cette société propose des solutions de transport conforme à l'ADR⁴⁴, ainsi que des solutions d'emballage pour tous les types de batteries au lithium – outre le recyclage proprement dit.

À signaler par ailleurs, l'entreprise Promesa (le lien <http://promesa-tec.de/> est désormais inactif), leader européen du recyclage du lithium-ion, est passé dans le giron de l'entreprise de recyclage des batteries [Ecobat](#) en juillet 2021. Avec l'acquisition de Promesa, Ecobat s'affiche comme le seul fournisseur en Europe à même de proposer à ses

⁴⁴ Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route (ADR).

clients une gamme complète de services de recyclage des batteries lithium-ion, depuis la collecte, la décharge et le démantèlement des batteries jusqu'à leur broyage et leur tri, ainsi que l'organisation de la production de black mass. Enfin, l'entreprise [Redux](#) (groupe autrichien Saubermacher), qui propose sur la chaîne amont du recyclage la collecte et la [décharge](#) des batteries, leur [démontage](#), leur [prétraitement](#) thermique, préalablement à leur [traitement](#) mécanique.

Situation en Belgique

Umicore

En Belgique, un acteur incontournable est l'entreprise [Umicore](#), un groupe [mondial](#) spécialisé dans la technologie des matériaux et le recyclage – Umicore figure parmi les acteurs mondiaux les plus avancés sur le recyclage des batteries Li-ion. Les activités de recyclage sont prises en charge par la division [Cobalt & Specialty Materials](#) d'Umicore, spécialisée dans le recyclage, le raffinage, la transformation et la commercialisation de produits chimiques de spécialité à base de cobalt et de nickel.

Depuis 2006, Umicore propose des services de recyclage pour les batteries lithium-ion (notamment) de toutes les applications possibles à travers le monde, en particulier l'[électromobilité](#) et les [rebut de production](#).

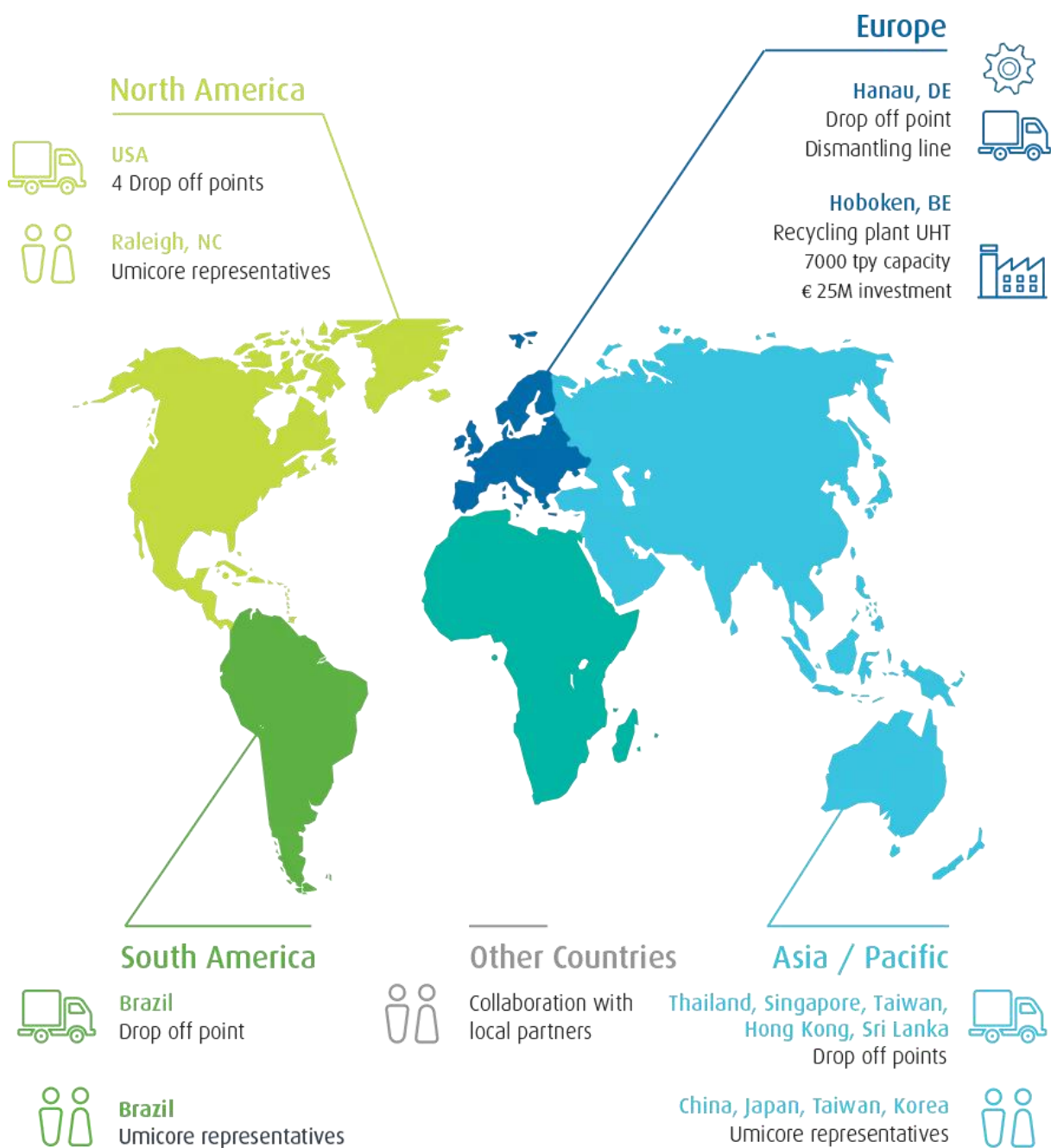
Pour faciliter le transport – en vue de leur recyclage – des batteries issues de l'électromobilité, Umicore a constitué un réseau international de points de dépôt et service de démontage de ces batteries en fin de vie (soutien logistique apporté par des spécialistes internes). Les batteries y sont collectées, mises en sécurité, stockées et préparées pour le transport vers le site de démantèlement d'Umicore situé à Hanau (Land de Hesse) – extraction des modules et cellules, préalablement à leur traitement ultérieur dans un four UHT (ultrahaute température). Ces points de dépôt appartiennent soit à Umicore, soit sont gérés par des partenaires externes.

En Europe, Umicore est présent à Hanau (point de dépôt, collecte, tri des flux, décharge, ligne de démantèlement) et à Hoboken (district d'Anvers) en Belgique, où se trouve une unité de recyclage UHT (voir carte ci-après). Les composants des batteries obtenues après le démantèlement (Hanau) sont :

- les divers matériels du pack (câbles en cuivre, acier, plastiques...) – matériaux ultérieurement traités par des recycleurs locaux certifiés ;
- les composants électroniques – matériaux ultérieurement traités par la division [Precious Metals Refining](#) d'Umicore ;
- les modules et cellules des batteries – matériaux ultérieurement traités à l'usine d'Umicore à Hoboken.

Quant aux rebuts de production des batteries, principalement constitués de cellules défectueuses, de diverses chutes métalliques (copeaux...) ou encore de poudres métalliques, ceux-ci sont également collectés grâce au réseau de points de dépôt et soutien logistique évoqués plus haut, puis acheminés à l'usine de Hoboken pour y être traités.

Le [procédé de recyclage](#) mis en œuvre à Hoboken combine un traitement pyrométallurgique (Hoboken) et un processus hydrométallurgique (site d'Olen) à même de traiter – selon Umicore – tous les types et toutes les tailles des batteries Li-ion. L'installation de Hoboken, avec son four UHT, a une capacité de 7 000 tonnes de batteries par an, ce qui correspond à environ 35 000 batteries de véhicules électriques ou encore près de 2 millions de batteries de vélos électriques.



Présence d'Umicore en Europe⁴⁵ et dans le monde (source : Umicore).

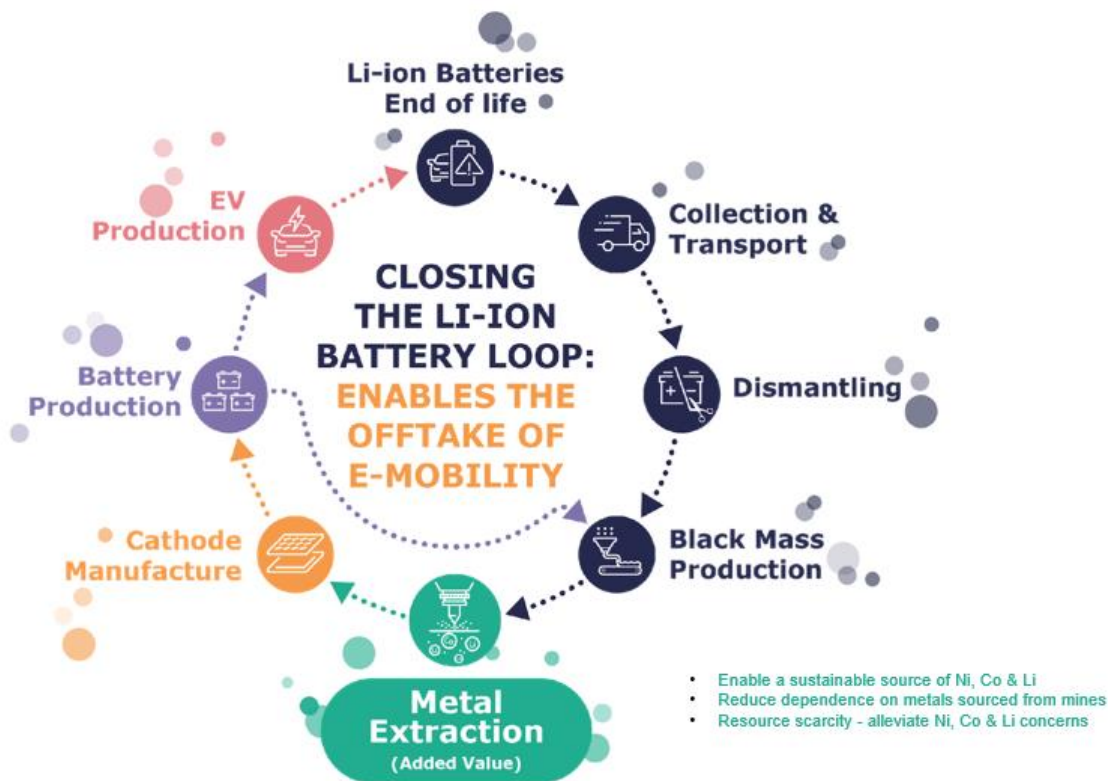
⁴⁵ Les sites industriels d'Umicore implantés en [France](#) ne paraissent pas impliqués dans le recyclage des batteries Li-ion.

Solvay

En Belgique, un autre acteur incontournable est le groupe de chimie [Solvay](#).

Pour mémoire, Solvay⁴⁶ s'est allié avec Veolia (en 2020), puis Renault (en 2021) au sein d'un consortium à l'origine d'un programme de [recyclage](#) en boucle fermée des batteries Li-ion industrielles (voir illustration ci-après), dans lequel Solvay met à disposition son expertise en matière d'extraction et de purification de métaux stratégiques (cf. section *Situation en France, Consortium Renault-Veolia-Solvay*).

Chemistry Closes the Li-Ion EV Batteries Loop



Recyclage en boucle fermée (source : Solvay).

L'extraction et la purification des métaux stratégiques (cobalt, nickel, lithium, manganèse...) à partir de la black mass sont réalisées par un [procédé](#) industriel hydrométallurgique propre à Solvay.

Sortbat

Autre acteur remarquable, l'entreprise [Sortbat](#), spécialisée dans le tri, la sécurisation, la collecte, la réutilisation et le démantèlement des batteries – endommagées ou non – en vue de leur recyclage.

Sortbat propose ainsi la mise en sécurité, la collecte et le stockage de batteries au lithium industrielles (issues de la mobilité ou d'usages industriels), que ces batteries soient endommagées ou non – Sortbat réalise déjà de telles [opérations](#) pour de grands constructeurs automobiles et industriels. Sortbat est également positionnée sur le [démontage](#) des batteries de véhicules électriques.

⁴⁶ Les sites industriels de Solvay implantés en [France](#) ne paraissent pas impliqués dans le recyclage des batteries Li-ion.

Sortbat collabore avec plusieurs entreprises en Europe :

- en Belgique, avec :
 - o [Reneos](#) (cf. supra, pages 32-33),
 - o [Revatech](#),
 - o [Suez Belgique](#),
 - o [Umicore](#) ;
- en Allemagne, avec :
 - o [Accurec](#) ;
- en France, avec :
 - o [Snam](#) ;
- en Espagne, avec :
 - o [Ecopilas](#) ;
- en République tchèque, avec :
 - o [ECOBAT Logistics](#).

Bebat

Enfin, l'organisation environnementale belge [Bebat](#) – membre et fondatrice de Reneos (cf. section 3.1.2, à propos de Reneos, pages 32-33) – propose des [solutions](#) sur mesure pour la collecte, la logistique et le recyclage, ainsi que le réemploi ou la réutilisation des batteries Li-ion en fin de vie.

Situation en Norvège (Scandinavie)

Cluster EYDE

Le travail le plus important sur la réutilisation et le recyclage des batteries est actuellement réalisé par le [cluster EYDE](#), le Centre norvégien d'expertise pour l'industrie des procédés durables. Ce cluster regroupe des fournisseurs régionaux et des entreprises multinationales, ainsi que des organismes de recherche et des établissements d'enseignement.

Le cluster EYDE porte un projet collaboratif intersectoriel appelé [BATMAN](#) (lithium-ion BATteries – norwegian opportunities within sustainable end-of-life MANagement, reuse and new material streams), dont l'objectif est de trouver de nouvelles opportunités de recyclage et de réutilisation des batteries Li-ion en permettant aux entreprises d'identifier les opportunités de création de valeur, de prendre des décisions stratégiques et de mieux comprendre quand investir dans le développement de produits et les installations.

Coentreprise Norsk Hydro-NorthVolt

Une autre initiative phare en Norvège en matière de recyclage des batteries au lithium concerne le rapprochement, en 2020, entre le groupe norvégien [Norsk Hydro](#) et le géant suédois des batteries [NorthVolt](#) (voir ci-après, Situation en Suède) dans le cadre d'une [coentreprise](#) dédiée au recyclage des batteries de véhicules électriques et l'exploitation des mines urbaines en Norvège. La nouvelle société – [HydroVolt](#) – ambitionne de construire une installation pilote de recyclage à Fredrikstad (Norvège), qui devait être opérationnelle en 2021. L'installation aura la capacité de traiter plus de 8 000 tonnes de batteries par an, de les broyer et de les trier pour récupérer l'aluminium et d'autres métaux.

Situation en Suède (Scandinavie)

Northvolt

[Northvolt](#)⁴⁷ est une jeune pousse suédoise fondée en 2016 par deux anciens cadres de Tesla. Son ambition est de devenir le fabricant de batteries lithium-ion le plus écoresponsables au monde en mettant en place une intégration verticale totale de ses activités sur l'ensemble de la chaîne de valeur des batteries, de l'extraction minière au recyclage des batteries, en passant par la fabrication des cellules.

Elle a reçu le soutien des autorités suédoises et de la Banque européenne d'investissement (BEI) qui lui a octroyé trois prêts, dont le premier (février 2018, 52 millions d'euros) était destiné à financer l'usine pilote (Northvolt Labs) et le dernier (juillet 2020, 350 millions d'euros) sert à financer la construction de la première méga-usine (Northvolt Ett). Northvolt a également reçu de l'aide du Fonds européen pour les investissements stratégiques (FEIS), le principal pilier du Plan d'investissement pour l'Europe.

Northvolt bénéficie en outre du soutien financier de nombreux acteurs industriels et fonds d'investissement privés, dont en particulier la banque d'affaires Goldman Sachs et le constructeur automobile allemand [Volkswagen](#) qui, en 2019, est devenu l'un des actionnaires de référence de Northvolt avec 20 % des parts de son capital. Au total, Northvolt a sécurisé quelque 13 milliards d'euros de financement d'ici 2030 à la fois sous forme d'endettement et de capitaux propres⁴⁸. Elle a par ailleurs noué de nombreux partenariats avec des entreprises clientes ou fournisseurs, dont le constructeur automobile allemand BMW, le groupe helvético-suédois de biens d'équipement ABB, le constructeur de camions suédois Scania, le groupe allemand Siemens, le fabricant suédois d'équipements miniers Epiroc, etc.

La première réalisation de Northvolt a été la mise sur pied d'une usine pilote (Northvolt Labs) à Västerås (à une centaine de kilomètres à l'ouest de Stockholm). Opérationnelle depuis 2019 et dotée d'une capacité de production annuelle de plus de 350 MWh, Northvolt Labs héberge une ligne de fabrication de démonstration utilisée pour qualifier et industrialiser des produits et des processus avec les clients.

Après avoir démontré le succès de son pilote industriel, la compagnie s'est lancée en octobre 2019 dans la construction de sa première méga-usine, Northvolt Ett, pour un investissement de 4 milliards d'euros. Appelée à devenir la première méga-usine opérationnelle en Europe, Northvolt Ett a commencé sa production en [décembre](#) 2021 pour produire 16 GWh de capacité de batteries par an dans sa phase initiale, 32 GWh par an en 2025, puis ultérieurement 40 GWh/an. Les batteries produites seront conçues pour être utilisées dans l'automobile, le stockage en réseau et les applications industrielles et portables.

Northvolt a fait de la réduction de l'empreinte environnementale de son usine l'un de ses avantages compétitifs. L'usine est localisée à Skellefteå en Laponie suédoise dans une région qui abrite un important pôle de production de matières premières et d'exploitation minière, et où la production d'électricité peut être garantie à 100 % renouvelable (hydroélectricité, éolien), ce qui était l'une des exigences essentielles du projet. Northvolt compte en effet s'approvisionner localement en matières premières en s'assurant que le raffinage ait lieu à proximité de la mine afin de créer une chaîne d'approvisionnement la plus courte, la plus durable et la plus transparente possible. Généralement achetée auprès de fournisseurs externes par les fabricants de batteries, la cathode des cellules seront produites directement par Northvolt afin de minimiser ses coûts et d'assurer une totale transparence de toute la chaîne d'approvisionnement.

Suite à l'entrée de Volkswagen au capital de Northvolt en juin 2019, une coentreprise a été créée entre les deux sociétés pour édifier une autre méga-usine (Northvolt Zwei) en Allemagne, à Salzgitter (Land de Basse-Saxe), dont la capacité initiale sera de 16 GWh/an avant d'atteindre 24 GWh/an – construction lancée en 2021, usine opérationnelle en 2024.

⁴⁷ À consulter, ce [rapport](#) (décembre 2020) de l'Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques (OSFME), pages 79-81.

⁴⁸ Le groupe basé à Stockholm a levé [500](#) millions de dollars (environ 507 millions d'euros) de capital en septembre 2020 auprès d'acteurs privés plutôt que de solliciter des fonds publics pour se financer.

Une caractéristique majeure du projet Northvolt est d'être pensé dans une logique d'économie circulaire. Northvolt entend récupérer une grande partie des matières premières nécessaires à la confection de nouvelles batteries dans les batteries usagées. Northvolt prévoit d'atteindre une part de marché de 25 % en Europe, avec 50 % de matières premières issues de batteries recyclées d'ici 2030.

À l'été 2020, Northvolt a lancé la construction de son usine pilote de recyclage (pilote industriel). Située à Västerås (juste à côté de Northvolt Labs), elle doit permettre de valider les procédés industriels qui seront nécessaires pour recycler les batteries de voiture à grande échelle. À l'heure actuelle, le démontage des batteries à recycler est effectué à la main. L'une des ambitions majeures de Northvolt est de concevoir un système de démontage automatisé qui devrait permettre non seulement d'accélérer le processus, mais également de le rendre plus sûr, sachant qu'il n'y a pour l'heure pas de standardisation dans la conception des batteries, ce qui oblige les installations de recyclage à élaborer des plans pour chaque modèle de batteries de voiture. L'autre difficulté du recyclage est que le processus de séparation des éléments internes de la batterie est, actuellement, relativement lent et complexe, quelle que soit la méthode utilisée (l'hydrométallurgie, la pyrométallurgie et le recyclage direct). Au contraire d'Umicore (cf. supra, *Situation en Belgique*) qui utilise un procédé pyrométallurgique, Northvolt, de même que Duesenfeld (cf. supra, *Situation en Allemagne*), privilégie la méthode hydrométallurgique dont l'empreinte environnementale est nettement moins élevée.

En cas de succès de l'installation pilote de recyclage, une usine de recyclage à grande échelle sera construite juste à côté de la Northvolt Ett, à Skellefteå. Il est prévu qu'elle soit opérationnelle dès 2022, avec une capacité de recyclage de 25 000 tonnes de cellules de batterie par an. À titre de comparaison, on estime qu'un million de voitures électriques génèrent 250 000 tonnes de batteries en fin de vie. Northvolt a également prévu, dans le cadre d'un partenariat noué en juin 2020 avec la société norvégienne Norsk Hydro, de construire une autre usine de recyclage des batteries de véhicules électriques en Norvège à partir de 2021 (cf. supra, *Situation en Norvège, Coentreprise Norsk Hydro-NorthVolt*).

Stena Recycling

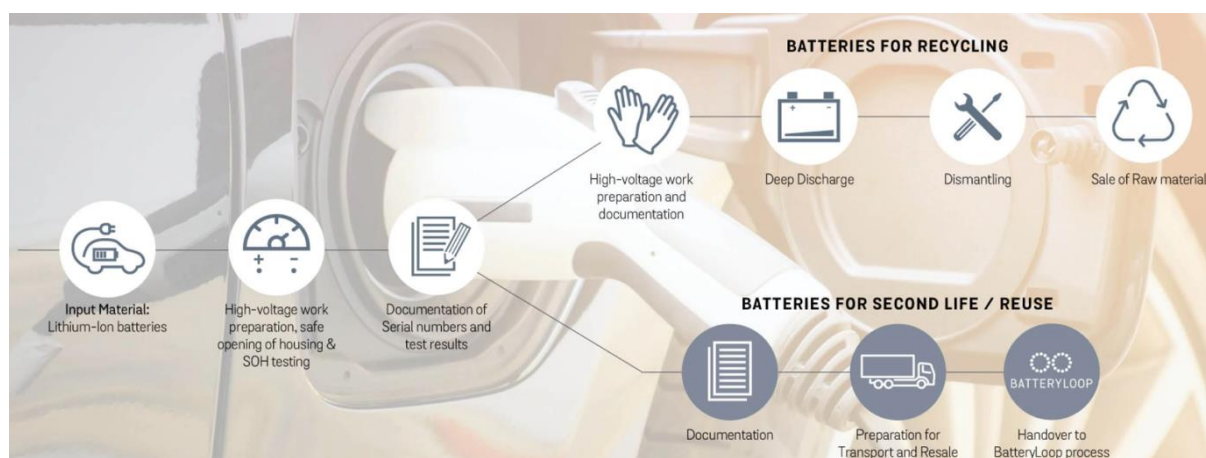
Le pionnier suédois du recyclage [Stena Recycling](#) a débuté à l'[automne](#) 2021 la construction – [annoncée](#) fin juin 2021 – d'une nouvelle usine de recyclage de batteries à Halmstad (ouest de la Suède, entre Göteborg et Malmö), à proximité du site industriel Stena Nordic Recycling Center. L'entreprise envisage de recycler les batteries à grande échelle à partir de 2023. À l'issue de la première phase de construction (premier trimestre de 2023), le système devrait avoir une capacité annuelle de 10 000 tonnes de batteries (batteries de voitures électriques mais pas uniquement). L'investissement est de l'ordre de 250 millions de couronnes suédoises (environ 24,5 millions d'euros).

Stena Recycling investit également dans une infrastructure de collecte et de tri des batteries destinées à être acheminées vers l'usine d'Halmstad. De tels centres de collecte et de tri ont déjà été construits en Suède (plus de 90 installations de collecte rien que pour la Suède), en Pologne et en Allemagne. D'autres au Danemark, en Finlande, en Norvège et en Italie sont en projet. L'objectif de Stena Recycling est de créer un réseau de collecte des batteries à l'échelle de l'Europe pour alimenter l'usine d'Halmstad (voir la carte ci-après).



Présence de Stena Recycling en Europe (source : Stena Recycling).

Stena Recycling est positionnée sur l'ensemble de la chaîne de valeur du recyclage des batteries, depuis la collecte des batteries en fin de vie jusqu'à la commercialisation des matériaux recyclés – y compris la seconde vie via la filiale [BatteryLoop](#) Technologies. Stena Recycling collabore depuis avril 2021 avec le chimiste britannique [Johnson Matthey](#) pour le [raffinage](#) des matériaux de batteries en boucle fermée (voir illustration ci-après).



Positionnement de Stena Recycling sur la chaîne de valeur (source : Stena Recycling).

Plus globalement, Stena Recycling inscrit ses activités dans un schéma d'économie circulaire (voir illustration ci-après).



Économie circulaire selon Stena Recycling (source : Stena Recycling).

Situation en Finlande

Accord Fortum-BASF-Nornickel

En mars 2020, l'entreprise finlandaise [Fortum](#), le groupe allemand de chimie [BASF](#) et la société russe spécialisée dans l'exploitation et la transformation du nickel et du palladium⁴⁹ [Norilsk Nickel](#) (ou [Nornickel](#)) ont signé un [accord](#) d'intention de créer un cluster de recyclage en boucle fermée, par hydrométallurgie, de batteries issues des voitures électriques, à Harjavalta (sud-ouest de la Finlande).

Cette initiative rappelle le partenariat formé par Eramet, BASF et Suez dans le cadre du projet ReLieVe sur la période 2020-2021 (cf. section *Situation en France, Projet ReLieVe*). Pour mémoire, en mai 2021, Eramet et Suez avaient souhaité – mais sans BASF – poursuivre leur [collaboration](#) sur le recyclage des batteries lithium-ion en Europe

L'entreprise finlandaise Fortum, suite à l'acquisition de l'entreprise finlandaise [Crisolteq](#) en janvier 2020, est à même de recycler plus de 80 % (en masse) des matériaux des batteries lithium-ion grâce à un nouveau procédé industriel mécanique et hydrométallurgique à faible teneur en CO₂, qui permet de récupérer les minéraux précieux de la batterie (cobalt, nickel, lithium, manganèse) en vue de les réutiliser dans la fabrication de nouvelles batteries (Fortum revendique la remise en circulation de 95 % des métaux précieux contenus dans la black mass).

En amont du recyclage proprement dit (chaîne amont), Fortum propose un service incluant la collecte, la mise en sécurisé, la manipulation, le transport (avec emballages appropriés, partenaires logistiques) et le stockage (avec matériel ad hoc) des batteries lithium-ion en fin de vie (endommagées, hors d'usage, défectueuses et faisant l'objet de campagnes de rappel), et ce préalablement à leur recyclage. Fortum propose également une gamme de services ou de solutions de recyclage pour les fabricants de batteries tout au long de la chaîne de valeur de la production de batteries (déchets de production de batteries, batteries défectueuses, gestion ou traitement de déchets dangereux, etc.).

AkkuSer Oy

⁴⁹ Nornickel exploite et transforme aussi – dans une moindre mesure – l'or, le platine, le cuivre et le cobalt.

Autre acteur finlandais à mentionner en matière de recyclage des batteries est l'entreprise [AkkuSer](#), principalement centrée sur le recyclage des batteries Li-ion. Entre autres types de batteries, AkkuSer réceptionne des batteries Li-ion usagées collectées en Finlande, mais aussi dans d'autres pays européens (Suède, Danemark, Allemagne, Autriche, Pologne).

Les batteries sont triées dans des lignes de tri semi-automatiques (opérations manuelles). Après le tri, chaque type de batterie a sa propre filière de recyclage : le traitement des batteries Li-ion est réalisé dans les installations d'AkkuSer.

Situation au Royaume-Uni

Projet ReLib

Le projet (amont) [ReLiB](#) (Reuse & Recycling of Lithium-ion Batteries) est porté par la [Faraday Institution](#), un institut de recherche britannique visant à faire progresser la science et la technologie des batteries. Ce [projet](#), qui associe des acteurs de la recherche académique et une quinzaine de partenaires industriels sur 5 ans (1^{er} mars 2018 au 31 mars 2023), vise à concevoir et à développer des voies de recyclage alternatives qui pourraient fournir aux entreprises britanniques un avantage concurrentiel. Le projet utilise une gamme de techniques physiques, chimiques et biologiques pour séparer et récupérer les matériaux contenus dans la gamme complète de compositions de batteries actuellement utilisées.

L'ambition du projet ReLib est de mettre au point des démonstrateurs à même de :

- démonter toutes batteries de manière plus sûre et beaucoup plus rapide que ne le permettent les techniques actuelles ;
- réduire l'impact environnemental en minimisant l'utilisation de produits chimiques ;
- minimiser l'intervention humaine en utilisant la robotique avancée pour automatiser la plupart des processus ;
- récupérer une grande partie des matériaux d'origine sous une forme réutilisable ;
- maintenir des flux de matériaux de grande valeur pour améliorer l'économie du recyclage.

Ce projet est segmenté en trois grands volets (Work Stream), portant en partie sur la chaîne amont du recyclage :

- Work Stream 1 (Pack to Cell – du pack à la cellule) :
 - o axe de travail [WS1](#) dédié au développement d'un démontage automatisé rapide et efficace de packs de véhicules complets et de tests hiérarchiques intégrés ;
- Work Stream 2 (Cells to Materials – des cellules aux matériaux) :
 - o [WS2](#) consacré à l'étude du démontage des cellules de différentes formes, de la séparation et du tri, du démontage automatisé et la concentration des flux de déchets résiduels pour le 3^e axe, en particulier la récupération des anodes et des cathodes ;
- Work Stream 3 (Delivering Recycling – livraison des éléments recyclés) :
 - o [WS3](#) consacré à l'étude de la refabrication des matériaux récupérés en matériaux de cathode et d'anode, en électrodes et en cellules, du processus de refabrication et de mise à niveau des matériaux, des performances des matériaux récupérés dans les cellules remanufacturées et des caractéristiques de conception facilitant le démantèlement facilité et automatisé des packs et des modules.

G&P Batteries

[G&P Batteries](#) est l'un des principaux acteurs en matière de collecte, de tri et de recyclage de batteries usagées au Royaume-Uni – en particulier les [batteries industrielles](#) et, parmi celles-ci, les batteries au lithium.

G&P Batteries fait partie du groupe ECOBAT Technologies et, dans le but d'unifier toutes les sociétés de collecte basées au Royaume-Uni, en Allemagne, en Autriche et en Pologne, G&P Batteries est devenue [ECOBAT Logistics](#) en 2018.

Situation aux Pays-Bas

Stibat

Stibat – association à but non lucratif – est l'un des principaux collecteurs de batteries au Pays-Bas. Membre du réseau européen [Reneos](#) (cf. section 3.1.2, pages 32-33), Stibat propose divers services et solutions relevant de l'économie circulaire, en particulier en matière de collecte, transport et logistique, stockage, démantèlement et [recyclage](#) des batteries au lithium industrielles (électromobilité) en fin de vie.

Nowos

À mentionner également l'entreprise [Nowos](#), spécialisée dans la réparation de batteries lithium-ion pour le marché de la mobilité électrique. Nowos possède deux centres de réparation opérationnels, l'un basé aux Pays-Bas, à Amsterdam, l'autre en France, à Amplepuis (Rhône, Auvergne-Rhône-Alpes).

L'entreprise propose notamment des services de [logistique](#) mutualisés dans plusieurs pays européens (Pays-Bas, France, Allemagne, Royaume-Uni, Italie) : collecte, transport et stockage en vue du recyclage des batteries au lithium.

Situation en Suisse

Batrec Industries

Filiale du groupe [Veolia](#), au sein de [Sarp Industries](#), [Batrec Industries](#) est une entreprise spécialisée dans le recyclage des déchets dangereux (déchets industriels spéciaux). Batrec est l'un des principaux collecteurs de batteries en Suisse.

Batrec Industries propose également ses services en matière de transport et de logistique depuis les sites de collecte (clients de l'entreprise) jusqu'à l'usine de traitement située à Wimmis (canton de Berne).

Batrec Industries prend en charge les batteries au lithium des véhicules électriques.

Situation en Espagne

UTE Vilomara

Cet [acteur](#) ne paraît pas impliqué dans le recyclage des batteries au lithium industrielles.

1.10. Synthèse

Cette phase a pour objectif de recenser et caractériser en France et en Europe les diverses pratiques et/ou organisations et/ou structurations de la chaîne amont du recyclage des batteries au lithium industrielles. Les cibles du benchmark identifiées et caractérisées sont présentées par géographies.

Directive batteries

Les activités de recyclage des batteries au lithium industrielles (en particulier les opérations de la chaîne amont – collecte sélective, transport et logistique, stockage, prétraitement) sont jusqu'à aujourd'hui encadrées par la réglementation européenne actuellement en évolution, à savoir la directive batteries de 2006 ([directive 2006/66/CE](#)) et la transposition de cette directive dans le droit national de chaque État membre, et sa révision en cours (projet de règlement).

Cette directive définit des objectifs de taux de collecte et d'efficacité de recyclage. Selon cette directive, toutes les batteries industrielles en fin de vie doivent être collectées et recyclées, la collecte étant principalement réalisée par les fabricants eux-mêmes ayant un contrat direct avec un recycleur. Cette directive prévoit un objectif de recyclage (efficacité de recyclage hors valorisation énergétique) au moins égal à 50 % (en masse des matériaux contenus dans les batteries) pour les batteries au lithium industrielles en fin de vie.

Mais il n'y a pas d'exigence quant au type de matériau à recycler, chaque recycleur étant libre de choisir quel matériau est recyclé pour autant que l'efficacité de recyclage atteint 50 %. Par conséquent, il n'y a pas d'objectif spécifique sur la récupération des matières premières stratégiques ou critiques – par exemple le cobalt et le lithium extraits des cathodes ou encore le graphite des anodes, selon la chimie des batteries. Les dispositions réglementaires prévues par la directive batteries et leur transposition dans le droit des États membres sont aujourd'hui insuffisantes ou inadaptées. C'est pourquoi, en vue de faire évoluer la législation européenne sur les batteries, la Commission européenne a présenté en décembre 2020 un projet de règlement.

Proposition de règlement

La Commission européenne a présenté le 10 décembre 2020 une proposition de [règlement](#) visant à garantir la durabilité et la compétitivité de la fabrication et de la fin de vie des batteries, et qui abrogera la directive batteries. Cette proposition vise en particulier à améliorer la collecte et le recyclage des batteries en fin de vie, ainsi que la valorisation des métaux qu'elles contiennent. Une version définitive de ce nouveau règlement est attendue au plus tard en 2022 (second semestre) pour une entrée en vigueur au 1^{er} juillet 2023.

Alors que la directive 2006/66/CE portait principalement sur la gestion des batteries usagées, le projet de règlement couvre l'ensemble du cycle de vie des piles et accumulateurs et porte sur de nouveaux enjeux propres à la fabrication des batteries. La proposition de règlement établit des exigences spécifiques à chaque étape de la chaîne de valeur des batteries, en particulier s'agissant de la chaîne amont du recyclage. Pour avoir une incidence significative sur le marché des batteries de l'Union européenne, de telles mesures doivent être juridiquement contraignantes. Mais pour la Commission, ce cadre réglementaire modernisé doit aussi apporter une sécurité juridique aux opérateurs économiques de l'ensemble de la chaîne de valeur des batteries, de façon à favoriser des investissements de grande ampleur.

Concernant spécifiquement la gestion de la fin de vie des batteries au lithium industrielles, le nouveau règlement proposé contient notamment des exigences contraignantes relatives à la responsabilité élargie des producteurs, aux objectifs et obligations de collecte, aux rendements de recyclage et aux taux de matières valorisées.

À noter que la Commission propose de fixer une limite de poids (5 kg) pour différencier les batteries portables (< 5 kg) et les batteries industrielles (\geq 5 kg), et de créer une nouvelle catégorie pour les batteries de véhicules électriques.

Eu égard aux critères de développement durable et de sécurité, à partir du 1^{er} janvier 2027, la teneur en cobalt, en plomb, en lithium et en nickel recyclés des batteries industrielles et des batteries de véhicules électriques à stockage interne devra être déclarée. À partir du 1^{er} janvier 2030, les batteries neuves mises sur le marché devront respecter

des proportions minimales de contenu recyclé, contribuant ainsi à boucler la boucle des matières : 12 % de cobalt, 85 % de plomb, 4 % de lithium et 4 % de nickel. Et à partir du 1^{er} janvier 2035, ces proportions seront augmentées : 20 % de cobalt, 10 % de lithium et 12 % de nickel (la part du plomb – 85 % – reste inchangée).

S'agissant de la collecte des batteries, la Commission souhaite agir aux différentes étapes du cycle de vie des batteries, notamment en augmentant les taux de collecte des déchets de batteries, grâce aux mesures suivantes :

- augmenter l'objectif de collecte séparée des batteries portables en le portant de 45 % actuellement à 65 % en 2025 puis à 70 % en 2030,
 - o dans cette perspective, la fixation d'un objectif spécifique pour les déchets de batteries provenant des moyens de transport légers est envisagée, étant donné que ce secteur est appelé à se développer ;
- renforcer l'obligation existante de collecte applicable à toutes les batteries de véhicules automobiles, batteries industrielles et batteries de véhicules électriques, en introduisant des obligations spécifiques en matière de communication d'informations afin de faciliter le contrôle de l'application de la législation – interdiction de la mise en décharge des déchets de batteries.

La Commission envisage par ailleurs les rendements de recyclage des batteries et taux de valorisation des matières suivants :

- d'ici 2025 :
 - o rendement de recyclage : 65 %,
 - o taux de valorisation des matières : cobalt (Co) : 90 %, lithium (Li) : 35 %, nickel (Ni) : 90 %, cuivre (Cu) : 90 % ;
- d'ici 2030 :
 - o rendement de recyclage : 70 %,
 - o taux de valorisation des matières : cobalt (Co) : 95 %, lithium (Li) : 70 %, nickel (Ni) : 95 %, cuivre (Cu) : 95 %.

Situation en France

Contrat de la filière Mines et Métallurgie

En France, une importante initiative structurante de portée nationale en matière de recyclage des batteries est portée par la filière Mines et Métallurgie. Pour répondre aux enjeux de la filière, le [contrat de la filière](#) Mines et Métallurgie a retenu 7 projets structurants, en particulier le projet structurant n° 5 *Développer une filière intégrée de recyclage des batteries lithium*. Les travaux engagés par le comité stratégique de filière (CSF) Mines et Métallurgie ont également donné lieu à deux publications en [2019](#) et [2020](#).

AMI dans les Hauts-de-France

En France, les investigations ont permis de distinguer la Région Hauts-de-France qui, dans le cadre de la dynamique Rev3, a lancé en février 2021 un appel à manifestation d'intérêt ([AMI](#)) lié au recyclage et au réemploi des batteries, pour identifier les initiatives, actions ou des projets en lien avec les différentes problématiques liées au recyclage et aux réemplois des batteries.

En région Hauts-de-France, ces activités sont adossées au pôle de compétitivité [Team2](#) dédié aux « technologies de l'environnement appliquées aux matières et aux matériaux » (Team2), spécialisé dans la recherche et les applications industrielles relatives aux écotechnologies, aux écomatériaux, au recyclage et à la dépollution.

Entreprise Snam

En France, l'un des acteurs les plus avancés en matière de recyclage des batteries est le groupe Snam. Les activités de la Société nouvelle d'affinage des métaux ([Snam](#)) portent principalement sur la collecte et recyclage des [batteries](#) (batteries Industrielles, déchets de production, etc.). L'entreprise [collecte](#) en Europe les batteries industrielles et les

déchets issus des activités de production et les achemine vers ses centres de retraitement, avec l'appui de son réseau de partenaires logistiques présents dans plus de 15 pays Européens.

Projet ReLieVe

Fin 2019, l'entreprise minière et métallurgique [Eramet](#) s'est associée aux compétences de Suez et de BASF dans le cadre du projet collaboratif de recherche et d'innovation [ReLieVe](#) (Recycling of Li-ion batteries for electric Vehicle) – avec le soutien académique de [Chimie ParisTech](#) et de la Norwegian University of Science and Technology ([NTNU](#)). Ce projet vise à développer un procédé technologique en boucle fermée de recyclage des batteries lithium-ion utilisées dans les véhicules électriques, et structurer une filière intégrée de recyclage, de la collecte et du démantèlement des batteries en fin de vie (y compris les rebuts de fabrication de nouvelles batteries provenant des gigafactories), au recyclage des éléments qu'elles contiennent, jusqu'à la fabrication de nouveaux matériaux d'électrodes.

Dans ce programme, démarré janvier 2020 et terminé en décembre 2021, chaque entreprise du consortium a un positionnement qui lui est propre sur la chaîne de valeur :

- [Suez](#)*, pour la collecte et le démantèlement des batteries, la décharge des cellules, le transport et la logistique, la mise en œuvre d'outils d'automatisation ;
- [Eramet](#)*, pour le développement du procédé de recyclage en boucle fermée, grâce à une unité de recyclage flexible, adaptant ses conditions de traitement à la nature de la chimie des batteries lithium-ion traitées et en cohérence avec les qualités chimiques attendues pour les produits finaux (expertise de Chimie ParisTech), ainsi qu'un pilotage intelligent basé sur des outils de modélisation (appui de la NTNU) – dans ce processus, Eramet réalise le prétraitement des batteries et la production de la black mass ;
- [BASF](#) (division [Catalyseurs](#)), pour la fabrication des matériaux actifs de cathodes et qualification de précurseurs des batteries lithium-ion (par exemple le sulfate de nickel).

* Suez et Eramet sont tous deux positionnés sur la chaîne amont du recyclage.

Consortium Renault-Veolia-Solvay

En septembre 2020, le groupe belge Solvay et Veolia avaient conclu un [partenariat](#) visant à optimiser le recyclage des batteries lithium-ion des véhicules électriques. En mars 2021, Renault, Veolia et Solvay ont [annoncé](#) la création d'une usine pilote en France pour recycler (boucle fermée) les métaux contenus dans les batteries électriques.

Au sein du consortium, Renault collecte les batteries à recycler en s'appuyant sur son réseau commercial, des partenaires logistiques et sa filiale [Indra](#). La [ReFactory](#) à Flins-sur-Seine (Yvelines, Île-de-France) prévoit l'installation d'une ligne de démantèlement de véhicules et de batteries électriques à partir de 2024, afin d'augmenter sa capacité à recycler et s'approvisionner en pièces et matières en boucles courtes.

Veolia apporte son savoir-faire dans la collecte, le démantèlement, le broyage et le recyclage de batteries lithium-ion par des procédés hydrométallurgiques grâce à son usine de traitement et de valorisation de batteries au lithium industrielles usagées située à Dieuze (Moselle, Grand Est) – filiale de Sarpi Veolia [Euro Dieuze Industrie](#). Une fois le diagnostic posé et la sécurisation de la batterie achevée (décharge), la phase de déconstruction et de broyage des composants et des cellules débute (prétraitement), avant l'extraction effective des métaux contenus (traitement, sur un autre site de Veolia situé au nord de Metz) – les composants non cellulaires sont réutilisés ou recyclés pour des alliages spécifiques dans de nouvelles applications industrielles (aluminium, câbles, acier, plastiques...).

Enfin, Solvay met à disposition son expertise dans l'extraction chimique des métaux stratégiques (cobalt, nickel, lithium, manganèse, cuivre) récupérables à partir de la black mass et la purification de ces métaux à un niveau de pureté tel qu'ils puissent être utilisés dans la fabrication de nouvelles batteries (boucle fermée).

Projet RecyVaBat

Dans le cadre du projet [RecyVaBat](#) (Recyclage et Valorisation de Batteries), [Orano](#) s'est associé en 2021 à plusieurs partenaires industriels et de recherche – [Paprec](#), [MTB Recycling](#), [Saft](#), [CEA-Liten](#) – pour tester une nouvelle méthode de recyclage des métaux stratégiques (cobalt, lithium, nickel...) contenus dans les batteries lithium-ion des véhicules électriques, dans la perspective de fabriquer de nouveaux matériaux de cathodes et valoriser l'ensemble des matières issues des batteries

Ce consortium d'industriels français vise la maîtrise de toute la chaîne de valeur du recyclage en combinant les compétences de chacun, à savoir :

- Paprec, qui assure la collecte et le démantèlement des packs de batteries ;
- MTB Recycling, dont les équipements permettent la préparation des matériaux⁵⁰ ;
- Orano, qui assure le recyclage des matières :
 - o deux pilotes industriels seront construits dans les nouvelles installations du Centre d'innovation en métallurgie extractive (CIME) sur le site d'Orano à Bessines-sur-Gartempe (Haute-Vienne, Nouvelle-Aquitaine⁵¹) afin de conduire les essais techniques et les tests sur le procédé :
 - un premier [pilote](#) de prétraitement permettra de séparer les différents constituants, avec d'un côté la matière concentrée en un mélange de métaux et de l'autre les éléments tels que les plastiques, les matières ferreuses, etc.,
 - le second pilote hydrométallurgique aura pour objectif de purifier et récupérer séparément les matériaux comme le lithium, le nickel, le cobalt et le manganèse,
 - o ces matériaux purifiés seront ensuite envoyés au CEA (CEA-Liten) pour la fabrication de matériaux de cathode, puis testés par l'entreprise Saft à Nersac, près d'Angoulême (Charente, Nouvelle-Aquitaine), afin de s'assurer qu'ils conviennent à la fabrication de nouvelles batteries,
 - o les tests des procédés de recyclage sur les deux pilotes doivent s'échelonner de 2021 à 2023 et devraient permettre le traitement de l'équivalent de 300 tonnes de batteries par an :
 - si ces tests s'avèrent concluants, l'exploitation industrielle du procédé pourrait être opérationnelle dès 2024 ou 2025 et à l'horizon 2030, l'objectif serait le recyclage de plus de 10 000 tonnes de batteries de véhicules électriques,
 - le consortium pourrait alors traiter l'équivalent de 9 à 12 000 tonnes de matériaux nécessaires à la fabrication cathodes dans son usine hydrométallurgique,
 - selon Orano (Didier David, directeur du projet de recyclage des batteries de véhicules électriques chez Orano), la première installation industrielle devrait pouvoir traiter l'équivalent de 40 % du marché européen estimé en 2030 ;
- le CEA-Liten, qui apporte son expertise pour innover sur l'ensemble du cycle ;
- Saft (filiale à 100 % de TotalEnergies), entreprise spécialisée dans la conception, la fabrication et la commercialisation d'accumulateurs électriques à usage industriel – fabrication de nouveaux éléments de batteries à partir des matières recyclées par Orano.

Situation en Europe

Alliance européenne des batteries - PIIEC

La Commission européenne a annoncé, en octobre 2017, un projet d'Alliance européenne des batteries (EBA, [European Battery Alliance](#)), une plateforme de mise en commun des travaux et des capacités de financements des différents acteurs de la filière des batteries, couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur, de l'approvisionnement au

⁵⁰ Le pôle recyclage et centre essai de MTB (MTB Recycling) est spécialisé dans le recyclage des métaux non ferreux. MTB est un recycleur, également un équipementier du recyclage, notamment un fabricant de machines dédiées au traitement des batteries au lithium industrielles (par exemple, la Drycell Box) – mais l'entreprise n'est pas positionnée sur la chaîne amont du recyclage en tant que tel, elle est un [équipementier](#) de la chaîne aval.

⁵¹ Le projet RecyVaBat répond aux critères du plan de relance initié par le Gouvernement ainsi qu'à la feuille de route des projets soutenus par la Région Nouvelle-Aquitaine : à ce titre, il bénéficie de subventions à hauteur 6,1 millions d'euros attribuées par France Relance pour le consortium et 334 000 euros par la Région. [Coût](#) total du projet, sur deux ans : 22 millions d'euros.

recyclage en passant par la production de batteries, dans une logique d'écosystème. Un [plan d'action](#) stratégique en faveur des batteries, publié en 2018, a été adopté en 2019. Un outil stratégique particulier utilisé par l'EBA est le dispositif de financement des projets industriels PIIEC (projets importants d'intérêt européen commun – important projects of common european interest, IPCEI).

Un [premier PIIEC](#) associant sept États – en particulier l'Allemagne et la France mais aussi la Belgique, la Finlande, l'Italie, la Pologne et la Suède – a été lancé en décembre 2019, pour un montant total de 3,2 milliards d'euros. Il concerne 17 grandes entreprises de la filière, positionnées sur l'ensemble de la chaîne de valeur, des matières premières au recyclage, en passant par la fabrication des cellules et modules.

Un [deuxième PIIEC](#) a vu le jour en janvier 2021 associant douze États membres (Allemagne, Autriche, Belgique, Croatie, Espagne, Finlande, France, Grèce, Italie, Pologne, Slovaquie, Suède) et pour un montant de 2,9 milliards d'euros. Ce programme concerne 42 entreprises industrielles de la filière de toutes tailles (y compris startups et PME), positionnées sur l'ensemble de la chaîne de valeur.

Situation en Allemagne

Primobius

En Allemagne, une initiative phare est portée par Primobius. À l'été 2020, l'entreprise australienne [Neometals](#) – spécialisée dans les minéraux et matériaux avancés, notamment pour le stockage de l'énergie – s'est associée avec le groupe allemand [SMS group](#), spécialisé dans la construction de machines industrielles à destination de l'industrie métallurgique, pour former la joint-venture [Primobius](#), dont la vocation est de mettre au point et commercialiser une solution de recyclage des batteries lithium-ion en fin de vie – ou mises au rebut pour diverses raisons (défaillances, accidents, déchets de production, etc.).

Primobius est positionnée (en partie seulement) sur la chaîne amont du recyclage (broyage et tri) avec production de black mass. Mais Primobius n'est pas impliquée dans les étapes situées plus en amont (collecte, transport, logistique, stockage) du prétraitement des batteries. Dans son modèle économique, Primobius envisage d'installer de telles usines à proximité immédiate des points de collecte des batteries à recycler, non seulement pour des motifs économiques (opérations de transport, de logistique et de stockage réduites au minimum) mais aussi pour des raisons de sécurité (en réduisant le risque d'incendie et de fuites de substances dangereuses).

De telles installations ont vocation à recycler des batteries hors d'usage mais aussi tous matériaux issus de la chaîne de production des batteries et de leurs composants.

Situation en Belgique

Umicore

En Belgique, un acteur incontournable est l'entreprise [Umicore](#), un groupe [mondial](#) spécialisé dans la technologie des matériaux et le recyclage – Umicore figure parmi les acteurs mondiaux les plus avancés sur le recyclage des batteries Li-ion. Les activités de recyclage sont prises en charge par la division [Cobalt & Specialty Materials](#) d'Umicore, spécialisée dans le recyclage, le raffinage, la transformation et la commercialisation de produits chimiques de spécialité à base de cobalt et de nickel.

Pour faciliter le transport – en vue de leur recyclage – des batteries issues de l'électromobilité ou des rebuts de production des batteries, Umicore a constitué un réseau international de points de dépôt et service de démontage de ces batteries en fin de vie (soutien logistique apporté par des spécialistes internes). Les batteries y sont collectées, mises en sécurité, stockées et préparées pour le transport vers le site de démantèlement d'Umicore situé à Hanau (Land de Hesse) – extraction des modules et cellules, préalablement à leur traitement ultérieur dans un four UHT (ultra haute température). Ces points de dépôt appartiennent soit à Umicore, soit sont gérés par des partenaires externes.

En Europe, Umicore est présent à Hanau (point de dépôt, collecte, tri des flux, décharge, ligne de démantèlement) et à Hoboken (district d'Anvers) en Belgique, où se trouve une unité de recyclage UHT.

Solvay

En Belgique, un autre acteur incontournable est le groupe de chimie [Solvay](#) qui s'est allié avec Veolia (en 2020), puis Renault (en 2021) au sein d'un consortium à l'origine d'un programme de [recyclage](#) en boucle fermée des batteries Li-ion industrielles, dans lequel Solvay met à disposition son expertise en matière d'extraction et de purification de métaux stratégiques (cf. Consortium Renault-Veolia-Solvay).

Sortbat

Autre acteur remarquable, l'entreprise [Sortbat](#), spécialisée dans le tri, la sécurisation, la collecte, la réutilisation et le démantèlement des batteries – endommagées ou non – en vue de leur recyclage.

Sortbat propose ainsi la mise en sécurité, la collecte et le stockage de batteries au lithium industrielles (issues de la mobilité ou d'usages industriels). Sortbat collabore avec plusieurs entreprises en Europe, notamment [Reneos](#) – à l'instar de l'organisation environnementale belge [Bebat](#), membre et fondatrice de Reneos, qui propose des [solutions](#) sur mesure pour la collecte, la logistique et le recyclage, ainsi que le réemploi ou la réutilisation des batteries Li-ion en fin de vie.

Situation en Norvège

Cluster EYDE

Le travail le plus important sur la réutilisation et le recyclage des batteries est actuellement réalisé par le [cluster EYDE](#), le Centre norvégien d'expertise pour l'industrie des procédés durables. Ce cluster regroupe des fournisseurs régionaux et des entreprises multinationales, ainsi que des organismes de recherche et des établissements d'enseignement. Le cluster EYDE porte un projet collaboratif intersectoriel appelé [BATMAN](#) (lithium-ion BATteries – norwegian opportunities within sustainable end-of-life MANagement, reuse and new material streams).

Coentreprise Norsk Hydro-NorthVolt

Une autre initiative phare en Norvège en matière de recyclage des batteries au lithium concerne le rapprochement, en 2020, entre le groupe norvégien [Norsk Hydro](#) et le géant suédois des batteries [NorthVolt](#) (voir ci-après, Situation en Suède) dans le cadre d'une [coentreprise](#) dédiée au recyclage des batteries de véhicules électriques et l'exploitation des mines urbaines en Norvège. La nouvelle société – [HydroVolt](#) – ambitionne de construire une installation pilote de recyclage à Fredrikstad (Norvège), qui devait être opérationnelle en 2021. L'installation aura la capacité de traiter plus de 8 000 tonnes de batteries par an, de les broyer et de les trier pour récupérer l'aluminium et d'autres métaux.

Situation en Suède

Northvolt

[Northvolt](#) est une jeune pousse suédoise fondée qui ambitionne de devenir le fabricant de batteries lithium-ion le plus écoresponsables au monde en mettant en place une intégration verticale totale de ses activités sur l'ensemble de la chaîne de valeur des batteries, de l'extraction minière au recyclage des batteries, en passant par la fabrication des cellules.

À l'été 2020, Northvolt a lancé la construction de son usine pilote de recyclage (pilote industriel). Située à Västerås (juste à côté de Northvolt Labs), elle doit permettre de valider les procédés industriels qui seront nécessaires pour recycler les batteries de voiture à grande échelle. À l'heure actuelle, le démontage des batteries à recycler est effectué à la main. L'une des ambitions majeures de Northvolt est de concevoir un système de démontage automatisé.

En cas de succès de l'installation pilote de recyclage, une usine de recyclage à grande échelle sera construite. Northvolt a également prévu de construire, avec la société norvégienne Norsk Hydro, une autre usine de recyclage des batteries de véhicules électriques en Norvège à partir de 2021.

Stena Recycling

Le pionnier suédois du recyclage [Stena Recycling](#) a débuté à l'[automne](#) 2021 la construction – [annoncée](#) fin juin 2021 – à Halmstad, d'une nouvelle usine de recyclage de batteries, que l'entreprise envisage de recycler à grande échelle à partir de 2023.

Stena Recycling investit également dans une infrastructure de collecte et de tri des batteries destinées à être acheminées vers l'usine d'Halmstad. De tels centres de collecte et de tri ont déjà été construits en Suède (plus de 90 installations de collecte rien que pour la Suède), en Pologne et en Allemagne. D'autres au Danemark, en Finlande, en Norvège et en Italie sont en projet. L'objectif de Stena Recycling est de créer un réseau de collecte des batteries à l'échelle de l'Europe pour alimenter l'usine d'Halmstad.

Situation en Finlande

Accord Fortum-BASF-Nornickel

En mars 2020, l'entreprise finlandaise [Fortum](#), le groupe allemand de chimie [BASF](#) et la société russe spécialisée dans l'exploitation et la transformation du nickel et du palladium Norilsk Nickel (ou [Nornickel](#)) ont signé un [accord](#) d'intention de créer un cluster de recyclage en boucle fermée, par hydrométallurgie, de batteries issues des voitures électriques, à Harjavalta.

En amont du recyclage proprement dit (chaîne amont), Fortum propose un service incluant la collecte, la mise en sécurisé, la manipulation, le transport (avec emballages appropriés, partenaires logistiques) et le stockage (avec matériel ad hoc) des batteries lithium-ion en fin de vie (endommagées, hors d'usage, défectueuses et faisant l'objet de campagnes de rappel), et ce préalablement à leur recyclage. Fortum propose également une gamme de services ou de solutions de recyclage pour les fabricants de batteries tout au long de la chaîne de valeur de la production de batteries (déchets de production de batteries, batteries défectueuses, gestion ou traitement de déchets dangereux, etc.).

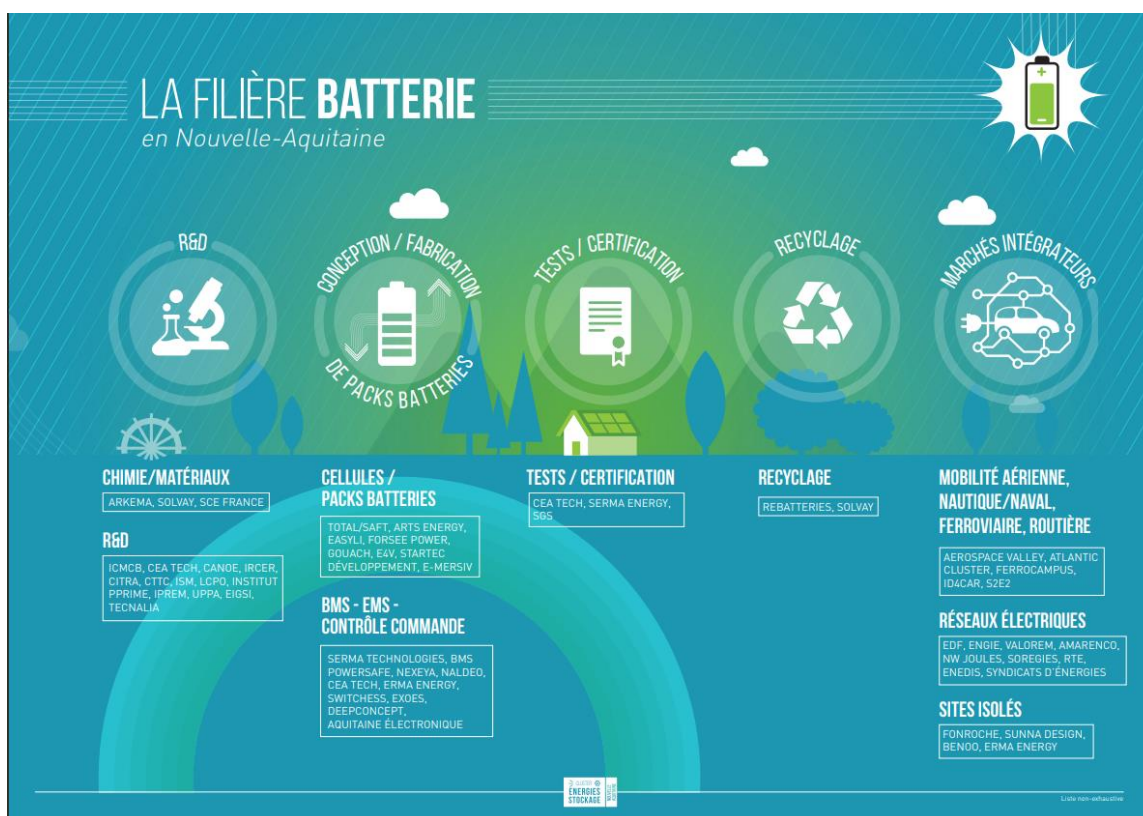
Phase 3 – Analyse de la situation et qualification des enjeux et opportunités pour la Nouvelle-Aquitaine

Cette phase a pour finalité de recenser et caractériser les acteurs néo-aquitains actifs (ou en passe de l'être) en matière de recyclage de batteries au lithium industrielles et leur positionnement sur la chaîne amont du recyclage et, à la lumière des enseignements des phases 1 & 2, d'en déduire les enjeux et opportunités pour la région Nouvelle-Aquitaine. Il s'agit aussi d'estimer les besoins régionaux en recyclage de batteries au lithium industrielles (volumes, gisements, temporalité⁵²).

1.11. Étape 1 – Recensement d'acteurs néo-aquitains en vue de leur positionnement sur la chaîne amont du recyclage de batteries au lithium industrielles

La filière batterie en Nouvelle-Aquitaine

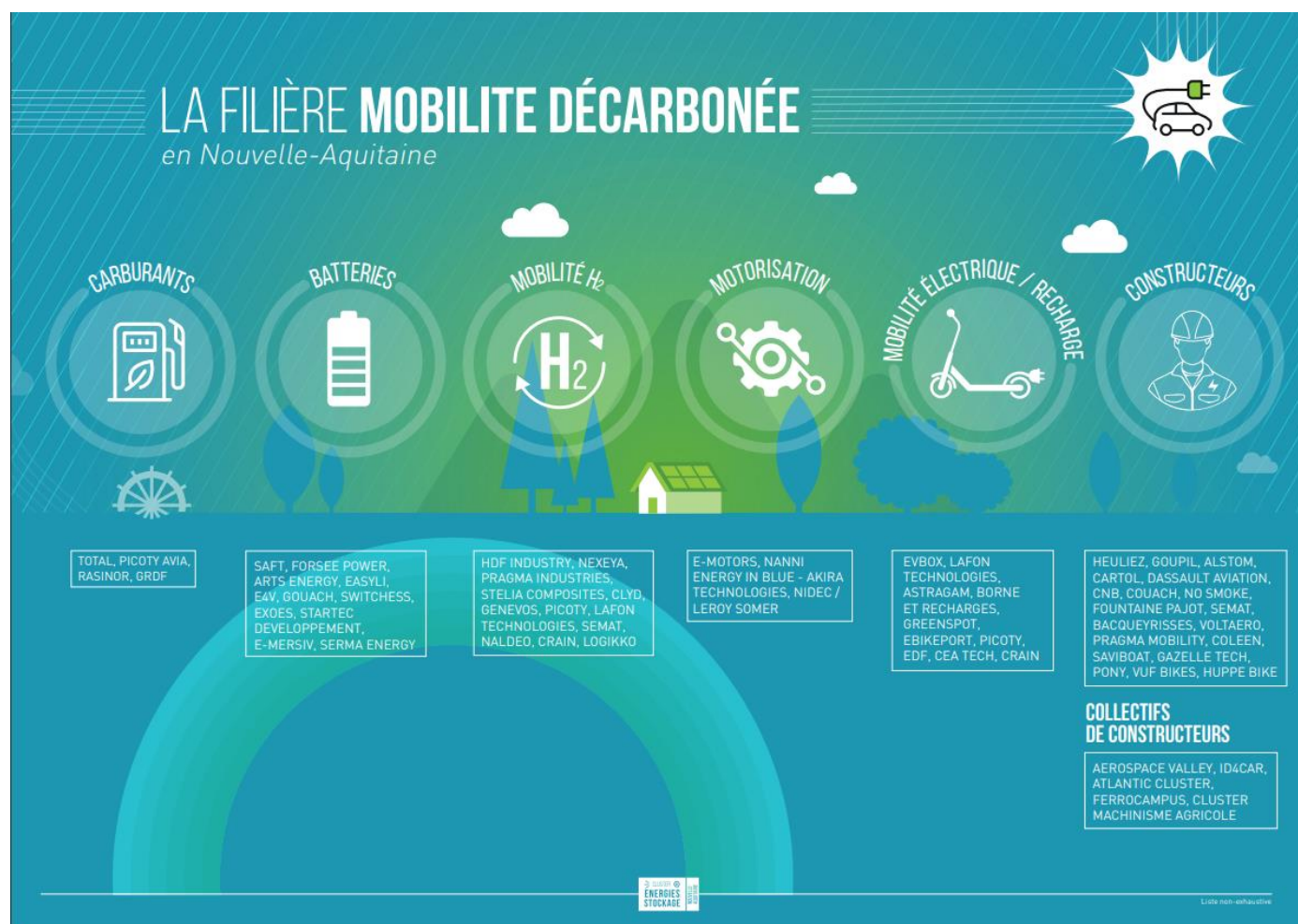
Selon le [cluster Énergies-Stockage Nouvelle-Aquitaine](#), le territoire régional compte une grande partie des industriels français de la filière batterie. En Nouvelle-Aquitaine, cette filière est composée d'acteurs présents sur l'ensemble de la chaîne de valeur : R&D, chimie et matériaux, électronique, BMS (Battery Management Systems), fabricants de cellules et de packs, etc. (voir illustration ci-après).



La filière batterie en Nouvelle-Aquitaine (source : [cluster Énergies-Stockage Nouvelle-Aquitaine](#)).

⁵² Sous réserve de la disponibilité ou de l'accessibilité de ces informations dans la sphère publique ou auprès des experts interrogés.

Certains de ces acteurs sont également parties prenantes de la filière mobilité décarbonée régionale (voir illustration ci-après).



Filière mobilité décarbonée en Nouvelle-Aquitaine (source : [cluster Énergies-Stockage Nouvelle-Aquitaine](#)).

Certains acteurs de la filière batterie régionale (prise dans son ensemble) sont membres du cluster Énergies-Stockage Nouvelle-Aquitaine, d'autres non : les deux parties qui suivent visent à identifier, parmi les membres du cluster Énergies-Stockage comme parmi les non-membres, les acteurs néo-aquitains actifs (ou susceptibles de l'être – acteurs mobilisables) sur la chaîne amont du recyclage des batteries au lithium industrielles.

Par ailleurs, une proposition de positionnement de ces acteurs sur la chaîne amont du recyclage des batteries au lithium industrielles est présentée en annexe (voir à la section 4, *Annexes*) – source : analyse ADIT et avis de la Région Nouvelle-Aquitaine et de ses partenaires (cluster Énergies-Stockage Nouvelle-Aquitaine, ADI Nouvelle-Aquitaine), sur la base des informations connues ou disponibles (sources ouvertes, sites Internet des acteurs identifiés, enquête & entretiens téléphoniques).

Membres du cluster Énergies-Stockage mobilisables sur la chaîne amont de recyclage

Effectif : acteurs au nombre de 27 (75 % de l'effectif).

Alternatives Énergies

[Alternatives Énergies](#) est un spécialiste de la conception et de l'intégration de solutions de propulsion électrique ou hybrides pour les navires.

Aquitaine Électronique

[Aquitaine Électronique](#) (groupe AECE) est un fabricant de matériels et équipements électroniques spécialisé dans l'étude, la conception, la réalisation, l'industrialisation et l'intégration d'ensembles fonctionnels pour différents secteurs industriels.

ARTS Energy

[ARTS Energy](#) conçoit et fabrique des batteries rechargeables à base de différentes technologies et applications.

BMS PowerSafe

[BMS PowerSafe](#) (groupe Startec Développement), spécialisée dans l'intelligence des systèmes embarqués, conçoit et fabrique des systèmes de gestion de batteries intelligents pour assurer la sécurité des packs batteries.

Canoe

La plateforme technologique « composites & matériaux avancés » [Canoe](#) (Composites en Aquitaine, Nanostructures OrganiquEs) est un centre R&T spécialisé en matériaux et procédés avancés (formulation polymère, fonctionnalisation, mise en œuvre, fabrication additive, robotisation, intégration de capteurs, caractérisation), qui réalise des études R&D (étude de faisabilité, prototypage, scale-up, essai...), participe à des projets coopératifs de R&D en réponse à des besoins industriels. Canoe est l'unique membre du pôle de compétitivité [Aerospace Valley](#) à être positionné sur le recyclage.

CEA Tech

Le [CEA Tech](#) en Nouvelle-Aquitaine est positionné sur les batteries innovantes.

Compositadour

[Compositadour](#) : centre de recherche et développement et de formation, en particulier sur les technologies robotiques. Compositadour, projet structurant du pôle de compétitivité [Aerospace Valley](#), est partenaire de l'École supérieure des technologies industrielles avancées ([Estia](#)) à Bidart (Pyénées-Atlantiques, Nouvelle-Aquitaine).

Cluster Aquitaine Chimie Durable

Le cluster [Aquitaine Chimie Durable](#) structure et anime la filière [Chimie & Matériaux](#) de la Nouvelle-Aquitaine.

E4V :

[E4V](#) conçoit et développe des solutions batteries au lithium (technologie LFP – Lithium-ion Fer Phosphate).

easyLi

[easyLi](#) conçoit et fabrique des solutions innovantes de stockage d'énergie sur batteries lithium-ion sur-mesure.

[e-Mersiv](#)

[e-Mersiv](#) (groupe Startec Développement) est spécialisée dans les batteries lithium-ion hautes performances.

[FieldBox.ai](#)

[FieldBox.ai](#) est un spécialiste du développement et déploiement de solutions d'intelligence artificielle dans les opérations industrielles.

[Forsee Power](#)

[Forsee Power](#) est spécialisé dans les systèmes de batteries lithium-ion intelligentes pour différents marchés et applications (en particulier applications de mobilité – véhicules lourds, comme les bus, les trains et les bateaux, véhicules de chantier, agricoles, industriels, mais aussi deux à quatre roues).

[Naldeo](#)

[Naldeo](#) regroupe compétences et expertises techniques en matière de conseil et ingénierie pour l'énergie et l'environnement, en particulier s'agissant des déchets.

[Neogy](#)

[Neogy](#) (groupe Startec Développement) est une société spécialisée dans la conception et la production de systèmes de stockage d'énergie électrique.

[Nexeya](#)

[Nexeya](#) est spécialisée dans la conception et le développement d'équipements électroniques critiques pour différents secteurs (énergie, industrie automobile, etc.).

[Preditic](#)

[Preditic](#), entreprise spécialisée dans le développement de solutions logicielles pour le secteur industriel notamment (Industrie 4.0), propose son expertise en collecte, exploitation et visualisation de données et leur analyse par intelligence artificielle (Machine Learning, Deep Learning).

[Rebattery France](#)

[Rebattery](#) est positionnée sur le marché de l'entretien et de la réparation des batteries.

[Rescoll](#)

Entreprise spécialisée dans la recherche appliquée sur les matériaux (polymères, notamment), [Rescoll](#) est une société privée de prestations de services technologiques.

[S2E2](#)

Le pôle de compétitivité [S2E2](#) couvre les régions Centre-Val de Loire, Pays de la Loire et Nouvelle-Aquitaine. Positionné de longue date sur la thématique batterie, S2E2 s'est emparé plus récemment du sujet du recyclage et de la seconde vie des batteries (voir par exemple ce [webinaire](#) organisé le 18/03/2022 par le pôle).

Saft

[Saft](#) (groupe TotalEnergies) est spécialisée dans la conception, la fabrication et la commercialisation d'accumulateurs électriques à usage industriel. Saft est partenaire du projet RecyVaBat, aux côtés des entreprises [Orano](#), [Paprec](#), [MTB Recycling](#) et [CEA-Liten](#) (cf. sections 3.2.2 et 3.2.3, *Situation en France, Projet RecyVaBat*). En Nouvelle-Aquitaine, usines de production à Nersac, près d'Angoulême (Charente) et Poitiers (Vienne), et centre de recherche et de développement à Bordeaux.

Serma Energy

[Serma Energy](#) est une plateforme de conseil, d'expertise et de test pour l'industrialisation de produits et solutions de l'énergie et la mobilité électrique. La plateforme, qui couvre l'ensemble de la chaîne de valeur, est organisée en 3 départements : batteries, électronique de puissance, machines électriques. Serma Energy est implantée sur le parc technologique [AMPeRIS](#) de Pessac – programme qui vise à fédérer les entreprises industrielles innovantes autour de trois pôles dont un consacré à la chimie des matériaux.

Serma Technologies

[Serma Technologies](#), spécialiste des technologies de l'électronique, accompagne ses clients tout au long du cycle industriel dans les phases de R&D, d'ingénierie, de fabrication et de maintenance.

L'entreprise propose des activités d'expertise technologique, d'analyse, de contrôle, de test, de conseil et de formation notamment sur les batteries et leurs composants et matériaux constitutifs (par exemple essais et tests abusifs de batteries).

Sofresid Engineering

[Sofresid Engineering](#) est une société d'ingénierie proposant des prestations relatives au développement et à l'amélioration de sites industriels, depuis la conception jusqu'à la mise en service des outils de productions.

Solvay

Outre la fabrication de produits formulés à base de terres rares, le site de [Solvay](#) à La Rochelle abrite un laboratoire de recherche et d'innovation pour l'activité « terres rares » du groupe – expertise dans la séparation et la purification des terres rares et la fabrication de produits de haute technologie.

Startec Développement

[Startec Développement](#) est spécialisée dans la conception et la fourniture de technologies pour la transition énergétique dans les secteurs de la mobilité électrique, du stockage d'énergie et de l'éclairage hors réseau (off-grid) au travers de 3 spécialités : packs batteries spéciaux ; systèmes d'alimentation, convertisseurs et onduleurs, électronique de pilotage de batteries (BMS).

Tecnalía France

[Tecnalía](#) est un centre de R&D multisectoriel et multitechnologique espagnol, membre de la Basque Research and Technology Alliance ([BRTA](#)).

Non-membres du cluster Énergies-Stockage mobilisables sur la chaîne amont de recyclage

Effectif : acteurs au nombre de 9 (25 % de l'effectif).

ACC

Automotive Cells Company ([ACC](#) – coentreprise française créée par Stellantis et TotalEnergies) développe et fabrique des batteries. Fin septembre 2021, ACC a inauguré son centre de R&D à Bruges, près de Bordeaux.

Cluster Aquitaine Robotics

Le cluster [Aquitaine Robotics](#)⁵³ rassemble les acteurs – entreprises, organismes de recherche et formation, utilisateurs – de la robotique manufacturière et logistique, de service, et en milieu ouvert de Nouvelle-Aquitaine.

Le cluster compte près de 130 [membres](#), par exemple l'entreprise [Semso](#) (groupe [AQMO](#)), équipementier spécialisé dans la fabrication de machines à la demande et de machines spéciales à grandes cadences, pour les secteurs de l'agroalimentaire (moyens de production sur ligne entièrement robotisée) et pharmaceutique (moyens de production et de contrôle) mais en capacité de servir d'autres secteurs industriels (moyens de production adaptés aux besoins) – automatique, robotique, mécatronique, vision industrielle.

Exoès

[Exoès](#) est une société de développement technologique qui conçoit, développe et fabrique des composants et des systèmes de gestion thermique. Exoès intervient dans les domaines tels que les batteries, l'électronique de puissance et les machines électriques pour des applications embarquées.

Gouach

Gouach développe des batteries lithium-ion renouvelables, entièrement réparables et durables destinées notamment au marché de la mobilité électrique, le stockage stationnaire et l'outillage. Cette activité est couplée à une activité de récupération et de revalorisation de cellules lithium-ion.

ID4CAR

Le pôle de compétitivité [ID4CAR](#) couvre les régions Bretagne, Pays de la Loire et Nouvelle-Aquitaine. ID4CAR est positionné et/ou en veille à la fois sur la thématique « batterie » et sur la thématique « recyclage » – y compris le recyclage de batteries.

Orano

[Orano](#) est partenaire du projet RecyVaBat, aux côtés des entreprises [Saft](#), [Paprec](#), [MTB Recycling](#) et [CEA-Liten](#). Dans le cadre de ce projet, Orano assure le recyclage des matières (cf. sections 3.2.2 et 3.2.3, *Situation en France, Projet RecyVaBat*).

⁵³ À noter outre-Rhin ([Bade-Wurtemberg](#)), le projet d'usine DeMoBat pour le démantèlement et le recyclage assistés par robots des batteries de traction et des moteurs de véhicules électriques. Un consortium de 13 partenaires, qui allie universitaires et industriels (Siemens, Mercedes-Benz, etc.), est coordonné par l'Institut Fraunhofer pour l'ingénierie de fabrication et l'automatisation ([IPA](#) – Institutsleiter des Fraunhofer Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung).

Paprec

[Paprec](#) est une entreprise spécialisée dans la gestion des déchets industriels et ménagers (collecte, vente de matières premières issues du recyclage, gestion de déchets ultime, valorisation organique, etc.). Paprec est partenaire du projet RecyVaBat, aux côtés des entreprises [Saft](#), [Orano](#), [MTB Recycling](#) et [CEA-Liten](#). Dans le cadre de ce projet, Paprec assure la collecte et le démantèlement des packs de batteries (cf. sections 3.2.2 et 3.2.3, *Situation en France, Projet RecyVaBat*).

Dans le cadre du projet RecyVaBat, le site Paprec D3E de Cestas, près de Bordeaux, disposant d'une activité de démantèlement de petites piles, va développer une activité de recyclage de batteries de véhicules électriques – le pilote en construction sera opérationnel dès 2023. En fonction des enseignements du site pilote, cette activité sera étendue à d'autres sites Paprec D3E capables d'accueillir ces opérations : 7 sites D3E existants + 1 site ouvert près de Rennes en 2020, soit un potentiel de 8 sites en 2024. Source : Région Nouvelle-Aquitaine.

SwitchESS

[SwitchESS](#) est spécialisée dans la conception, la fabrication et la commercialisation de solutions de stockage stationnaires (cf. « ESS » : Energy Storage System) reconfigurables en temps réel pour applications stationnaires (recharge de véhicules électriques, insertion d'énergie renouvelable sur le réseau), basées sur une architecture de batteries lithium-ion à cellules commutées. Expertises : électronique de puissance, gestion d'énergie, logiciel temps-réel. SwitchESS est membre du pôle de compétitivité [S2E2](#).

Voltéo

[Voltéo](#) est spécialisée dans la vente de batteries, piles et accumulateurs.

Les préconisations déduites à partir des enjeux et opportunités associées au recyclage de ces batteries pour le territoire de la Nouvelle-Aquitaine sont incluses dans l'étude mais ne sont pas présentées dans ce document. Pour plus d'information, vous pouvez contacter Mme BEAUDUC Oriane : oriane.beauduc@nouvelle-aquitaine.fr.



Oriane BEAUDUC
 Chargée de mission Filière Batterie

 oriane.beauduc@nouvelle-aquitaine.fr

 06 25 19 85 89

PORTAGE : **Région Nouvelle-Aquitaine**
 RÉALISATION : Cabinet ADIT
 PERIODE DE RÉALISATION : début décembre 2021 à fin mars 2022



RÉGION
Nouvelle-Aquitaine