



Accompagner la filière auto dans la mise en œuvre de ses objectifs en matière d'économie circulaire

Recyclage Batteries #2 – rapport Final | Paris, le 30 janvier 2025

STRAT ANTICIPATION | *Be One Step Ahead*

Nous avons synthétisé les messages clés provenant des études et de nos recherches

Résumé Exécutif

RÉGLEMENTAIRE

- ▶ La **pression réglementaire** sur le recyclage des batteries en fin de vie dans l'industrie automobile est élevée et devrait s'intensifier à l'échelle mondiale
- ▶ La réglementation européenne pour les batteries **promeut une économie circulaire** avec des exigences de contenu recyclé minimum dans les batteries de véhicules électriques
- ▶ La réglementation européenne couvre **l'ensemble du cycle de vie des batteries**, de la production à la fin de vie
- ▶ Des objectifs de **valorisation des matériaux en fin de vie** sont fixés pour 2031 : **95 % pour le nickel et le cobalt, et 80 % pour le lithium**, avec une première échéance en 2027
- ▶ Des **taux d'incorporation de métaux recyclés** sont également prévus : **d'ici 2031, 6 % du nickel et du lithium et 16 % du cobalt devront être issus du recyclage, passant à 12 % pour le lithium, 15 % pour le nickel et 26 % pour le cobalt en 2035**

CHAÎNE DE VALEUR RECYCLAGE

- ▶ De nombreuses entreprises, de toutes tailles, se sont positionnées sur la collecte et le recyclage des batteries en fin de vie. NorthVolt est prévu comme leader avec une capacité de 125 kt par an
- ▶ Mais plusieurs **projets de recyclage des batteries sont déjà menacés ou annulés en raison de difficultés à garantir un approvisionnement stable en matières premières comme NorthVolt, Eramet, Orano.**
- ▶ **Les acteurs du recyclage s'organisent avec des producteurs de batteries**
- ▶ En Europe et aux États-Unis, des usines de **pyrométallurgie** se développent, notamment grâce à leur **adaptabilité aux matériaux et à la forte présence actuelle des cathodes NMC**
- ▶ L'arrivée de batteries LFP dans les approvisionnements futurs pousse de nombreux acteurs à investir dans des procédés d'hydrométallurgie
- ▶ Les **recycleurs sont exposés aux évolutions de types de cathodes**, qui influencent rentabilité et procédés ; cette incertitude complique les décisions d'investissement
- ▶ La chaîne de valeur du recyclage des batteries en Europe présente de **nombreux défis du fait de l'absence de maillons nécessaires au raffinage des métaux (cobalt, nickel, lithium) et des précurseurs pCAM**
- ▶ Les **batteries défectueuses doivent pouvoir être ouvertes pour être réparées** ou remanufacturées. Le **recyclage reste l'option privilégiée surtout dans le cas d'un accident**
- ▶ Parmi les **10 véhicules électriques les plus vendus en Europe**, au moins **4 packs de batteries sont réparables**, alors que **les autres** (principalement de constructeurs chinois ou américains) **ne le sont pas**

Nous avons synthétisé les messages clés provenant des études et de nos recherches

Résumé Exécutif

TECHNOLOGIES

- ▶ Le recyclage des batteries repose sur trois technologies principales : **pyrométallurgie, hydrométallurgie et recyclage direct**
- ▶ La pyrométallurgie extrait un mélange de métaux et des scories en partant de black mass ou de modules
- ▶ L'hydrométallurgie purifie la black mass et en sort des métaux (Lithium, Cobalt, Cuivre, Nickel).
- ▶ **Les procédés de recyclage varient et peuvent être combinés** : certains acteurs choisissent de combiner la pyrométallurgie et l'hydrométallurgie, d'autres non
- ▶ **La pyrométallurgie est efficace pour récupérer les métaux précieux mais consomme beaucoup d'énergie et n'est pas rentable pour les cathodes à faible coût, comme le LFP**
- ▶ **Certaines approches innovantes visent à améliorer l'efficacité d'extraction**, à répondre aux exigences réglementaires, et à récupérer l'électrolyte
- ▶ **La forte concurrence asiatique rend difficile d'établir des business modèles**

CHIFFRES CLEFS FRANCE

- ▶ Les besoins en rebuts de production ont été modélisés, en fonction de l'expérience des opérateurs et de la maturité des lignes de production ; **les meilleures usines atteindront 80 % d'utilisation de leur capacité effective en cinq ans**
- ▶ La durée de vie moyenne des véhicules électriques est estimée entre 13 et 26 ans, et les études montrent des durées de vie similaires entre les VE et les véhicules thermiques
- ▶ En Europe, environ 67 millions de véhicules équipés de batteries devraient être sur les routes d'ici 2030
- ▶ En Europe, **les rebuts de production resteront la source principale de batteries à recycler jusqu'à au moins 2033**
- ▶ **En Europe, la demande pour les batteries automobiles était dominée à 95 % par les technologies NMC en 2023, mais elle devrait chuter à 44 % en 2030**
- ▶ La demande en métaux critiques pour les batteries de véhicules électriques devrait atteindre 1,5 million de tonnes en 2030
- ▶ Si **100 % des batteries sont collectées et recyclées**, cela pourrait couvrir entre **16 % et 24 % de la demande en métaux pour les véhicules électriques d'ici 2030**
- ▶ **D'ici 2035, le recyclage devrait couvrir environ 10 à 20 % de la demande pour les métaux principaux des batteries**
- ▶ **A part pour le Cobalt, les taux d'incorporation proposés par la Commission Européenne sont réalisables en Europe mais avec de très faibles marges d'erreur et exige de développer l'industrie du recyclage en Europe**

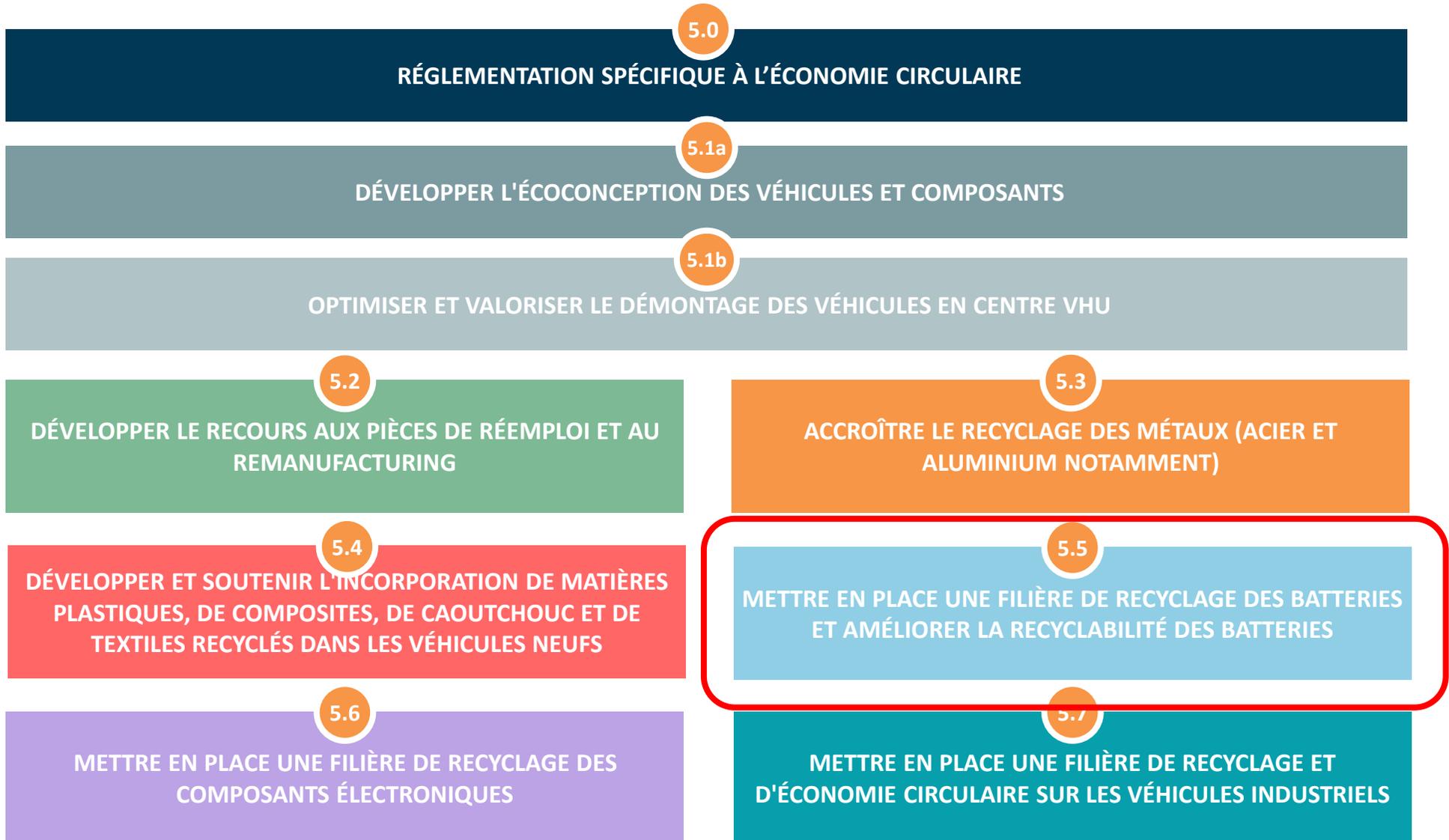
AGENDA

▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE

- ▶ ETAT DES LIEUX, CHAINE DE VALEUR ET ACTEURS
- ▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE
- ▶ REFLEXIONS SUR LA CHAINE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ ANNEXE A – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES A RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES A RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ ANNEXE D – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLES

Dans le CSFA 2024-2027, la filière automobile a défini 7 chantiers pour développer l'économie circulaire en France, nous en avons ajouté 2 : régulation & démontage

Chantiers – Description



L'étude a fait l'état des lieux avec les acteurs & les flux, détaillé les feuilles de route, définit les conditions de succès de la mise en œuvre & proposé des actions concrètes

Objectifs



PFA | FILIÈRE
AUTOMOBILE
& MOBILITÉS

FEUILLES DE ROUTE
DÉTAILLÉES &
VALIDÉES

PLAN D' ACTIONS
CONCRETS

GOUVERNANCE &
PILOTAGE DE LA
MISE EN ŒUVRE

RECOMMANDATION
AUX POUVOIRS
PUBLICS

Le projet Économie Circulaire a été mené en plusieurs étapes : les feuilles de route par chantier viennent d'être faites. Il reste à mettre en œuvre les plans d'actions...

— Projet Économie Circulaire – Description Méthodologie

ETAPES



Nous avons réalisé 110 entretiens et 5 restitutions intermédiaires sur différents chantiers depuis le début de l'étude

Point d'avancement - Entretiens & Webinars



Plus de 130 études de 100 sources distinctes ont été analysées dans le cadre des neuf chantiers du projet

Récapitulatif – Études analysées

- ▶ **137 études analysées issues de 100 sources variées** : cabinets de conseil, travaux académiques, rapports ministériels, UE, etc.

▶ 5.1b - DÉMONTAGE

- **1 étude principale** : ADEME (2022-2023)
- **9 autres études** : ADEME, WDA, Groupe Surplus Recyclage, IDDRI, FEDEREC, INDRA, Derichebourg, Galloo

▶ 5.3 - RECYCLAGE DE L'ALUMINIUM

- **3 études principales** : ADEME & Deloitte (2023), ADEME (2023), Ducker (2022)
- **8 autres études** : XERFI (2023), BRGM (2016), Mine urbaine (2022), CNI (2020), XERFI (2024), European Aluminium (2024), IRT M2P (2021), Alumobility (2024)

▶ 5.3 - RECYCLAGE DE L'ACIER

- **2 études principales** : ADEME & Deloitte (2023), ADEME (2024)
- **8 autres études** : XERFI (2023), BRGM (2016), CNI (2020), Mine urbaine (2022), IFRI (2023), (2019), Sénat (2019), CELSA (2014), IDDRI (2024)

▶ 5.4 - RECYCLAGE DES PLASTIQUES

- **6 études principales** : SystemIQ, 2 de Plastic Europe, 2 de JRC, ADEME (2022)

▶ 5.4 - RECYCLAGE DU CAOUTCHOUC

- **3 études principales** : ADEME, Elanova Lab, SNCP-LRCCP
- **3 autres études** : Michelin et Bridgestone, ICTP-CSIC (ES), Université de Mons

▶ 5.5 - RECYCLAGE DES BATTERIES

- **2 études principales** : SystemIQ, AVERE, Commission européenne

▶ 5.6 - COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

- **3 études principales** : EPoSS (2023), Christian Thomas (2020), Fondation Carmignac (2024)
- **4 autres études** : FIEEC, EECONE, ADEME, New Horizon College of Engineering

▶ 5.7 - VÉHICULES INDUSTRIELS

- **3 études principales** : CIDER (2017), ADEME, INDRA et Renault Trucks (2021), ACEA (2020)

Nous avons échangé avec 160 personnes environ, conduit 5 webinars et animé 7 Groupes de Travail

Point d'avancement - Entretiens et webinars

▶ **111 entretiens réalisés avec 158 personnes sur les différents chantiers**

▶ **5 WEBINARS RÉALISÉS :**

- Webinar - Recyclage des métaux - 05/11
- Webinar - Recyclage des plastiques et des composites - 13/11
- Webinar - Recyclage des batteries - 19/11
- Webinar - Recyclage du caoutchouc - 11/12
- Webinar - Recyclage des composants électroniques - 18/12

▶ **7 GROUPES DE TRAVAIL RÉALISÉS :**

- Groupe de travail Composants électroniques - 03/12
- Groupe de travail Plastiques - 13/12
- Groupe de travail Transport et stockage des batteries - 17/12
- Groupe de travail Démontage - 18/12
- Groupe de travail Recyclage des batteries - 19/12
- Groupe de travail Acier - 20/12
- Groupe de travail Aluminium - 09/01

Nous avons travaillé avec l'ensemble des parties prenantes sur la chaîne de valeur de l'économie circulaire : près de 100 organisations au total...

Organisations ayant participé au projet : interviews, groupes de travail, autres contributions

ENTREPRISES PRIVÉES



INSTITUTIONS PUBLIQUES



ASSOCIATIONS PROFESSIONNELLES



Pour chacun des chantiers, une feuille de route a été définie pour chaque sujet priorisé

Introduction et méthodologie des feuilles de route

5.X

STRUCTURE DE LA FEUILLE DE ROUTE POUR CHAQUE CHANTIER :

Acteurs présents et invités au premier groupe de travail

1

Présentation des sujets priorisés à la suite du premier groupe de travail

2

Pour chacun des sujets priorisés, présentation d'une feuille de route pour de potentielles nouvelles réunions du groupe de travail. La feuille de route contient :

- **Objectif du groupe de travail**
- **Résultats attendus**
- **KPIs**
- **Facteurs clés de succès**
- **Prochaines étapes**
- **Propositions de recommandations aux pouvoirs publics**

3

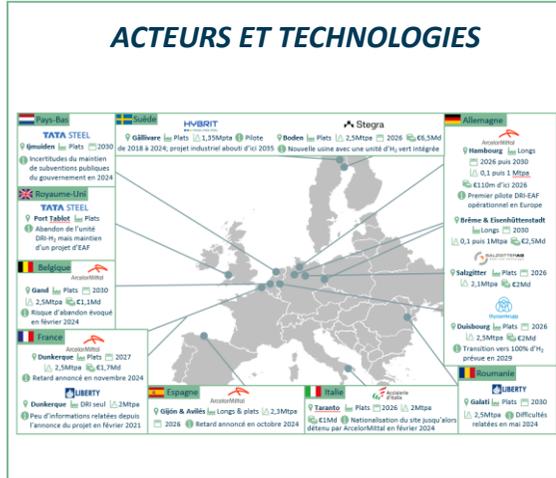
NOUS PROPOSONS À LA FIN DES FEUILLES DE ROUTE UNE PRÉSELECTION DE SUJETS À PRIORISER EN 2025 POUR LA PFA

Le projet a délivré un certain nombre de livrables qui seront partagés par la PFA avec tous les participants

Livrables du projet

1

ÉTAT DES LIEUX : CARTOGRAPHIE DES ACTEURS, FLUX & DES TECHNOLOGIES, IDENTIFICATION DES POINTS CLEFS DE SUCCÈS



2

SYNTHÈSE PAR CHANTIER

3

PROPOSITION DE FEUILLES DE ROUTE PAR CHANTIER

FEUILLE DE ROUTE

5.4 DÉVELOPPER ET SOUTENIR L'INCORPORATION DE PLASTIQUE RECYCLÉ DANS LES VÉHICULES NEUFS

5.4.1 CRÉER UN LANGAGE COMMUN ENTRE L'OFFRE ET LA DEMANDE POUR LES PLASTIQUES RECYCLÉS AUTOMOBILES EN ÉTABLISSANT DES STANDARDS CLAIRS SUR LES PRODUITS INTERMÉDIAIRES

- 1 Définition et validation de critères essentiels de performance auxquels les MPR doivent répondre, par résine et par application, favorisant ainsi l'émergence de nouveaux projets de validation des matériaux.
- 2 Identifier les pièces pour lesquelles les taux d'intégration de MPR pourraient être augmentés grâce à des standards de produits intermédiaires.
- 3 Identifier les insuffisances de disponibilité potentielle des MPR pour certaines résines
- 4 Lier les analyses précédentes aux besoins de démontage de pièces dans les VHU ainsi qu'au potentiel atteignable en boucle fermée.

5.4.2 RÉALISER UN TRAVAIL COLLECTIF AVEC LES FORMULATEURS, QUI ROULENT UN VÉHICULE EN VUE D'ÊTRE COMMUNIQUÉ DES MATÉRIEAUX RECYCLÉS ET RECYCLÉS POUR ENCOURAGER LE LANGAGE SPÉCIFIQUE DÉMARRÉ PAR LE CLERMONT

- 1 Développer des guides spécifiques incorporant un pourcentage de matériaux recyclés tout en maintenant les performances requises
- 2 Mettre en place des systèmes pour assurer la traçabilité type blockchain (origines et procédés) des matériaux recyclés dans les formulations finales.
- 3 Mesurer l'impact environnemental des nouvelles formulations pour démontrer leurs avantages par rapport aux matériaux vierges.

4

SYNTHÈSE GLOBALE DU PROJET

SYNTHÈSES

	2022	UE 27+3	FRANCE	Objectif réglementaire auto
PLASTIQUES AUTOMOBILES COLLECTÉS N DES RÉSIDUS POUR LA PRODUCTION	37%	49%	-	-
PLASTIQUES AUTOMOBILES RECYCLÉS* N DES RÉSIDUS POUR LA PRODUCTION	7%	19%	-	-
INTÉGRATION DE PLASTIQUE RECYCLÉ* DANS LE SECTEUR AUTOMOBILE N DES RÉSIDUS POUR LA PRODUCTION	5%	7%	25%	-
INTÉGRATION DE PLASTIQUE RECYCLÉ* DANS LE SECTEUR AUTOMOBILE EN BOUCLE FERMÉE N DES RÉSIDUS POUR LA PRODUCTION	<0,5% **	<1% ***	6,25%	-

PLASTIQUES PER ISSUS DE L'AUTOMOBILE ET UTILISÉS PAR AUTRES SECTEURS | Europe, 2020, tonnes, imports exports inclues

Plastiques recyclés en provenance du secteur automobile

- Recyclés vers le secteur de l'emballage
- Recyclés vers le secteur de la construction
- Recyclés vers le secteur des transports
- Recyclés vers les autres secteurs

PRINCIPES RÉGLEMENTAIRES

- 1 La législation doit adopter une approche technologique
- 2 Les définitions et indicateurs doivent être clairs et communs
- 3 Il doit y avoir une traçabilité et un contrôle sur les marchés concernés en respectant les règles
- 4 Il faut prendre en compte la complexité des chaînes de flux pour construire des boucles sur le plan industriel
- 5 Il faut des études d'impact détaillées avant de réglementer, pour évaluer si ce n'est pas préparer des matériaux avec des bonnes intentions

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES PAR MATIÈRE

- 1 Il faut des objectifs par matière, réalisés qui doivent tenir compte des grades, des valeurs de charges et des matériaux techniques, tout en étant flexibles dans le temps pour assurer une mise en œuvre progressive
- 2 Les objectifs doivent intégrer les chaînes physiques ou technologiques liées aux matières au-delà de l'incorporation de recyclé. Ils doivent pouvoir être mesurés dans le temps en fonction de la disponibilité des données
- 3 Les experts industriels existants doivent être pris en considération, avant de considérer des objectifs de recyclage ou de incorporation pour une matière & le choix de nouvelles capacités

TRACABILITÉ DES EXPERTS

- 1 Évaluer avec des indicateurs disponibles dans l'UE, sans être limités, les données publiques doivent améliorer leur qualité
- 2 Il est attendu que les données publiques disponibles en continu sur les flux non traités soient des flux régionaux par défaut et qu'il y ait une traçabilité complète vers les MPR
- 3 Il y a des problèmes similaires pour certains déchets, comme l'acier et les métaux, nécessitant une meilleure traçabilité des flux.

PARTIS DES VHS DANS DESTINATION CORRAIE AU BIEN DE L'VE | En millions de tonnes, 2017-2024

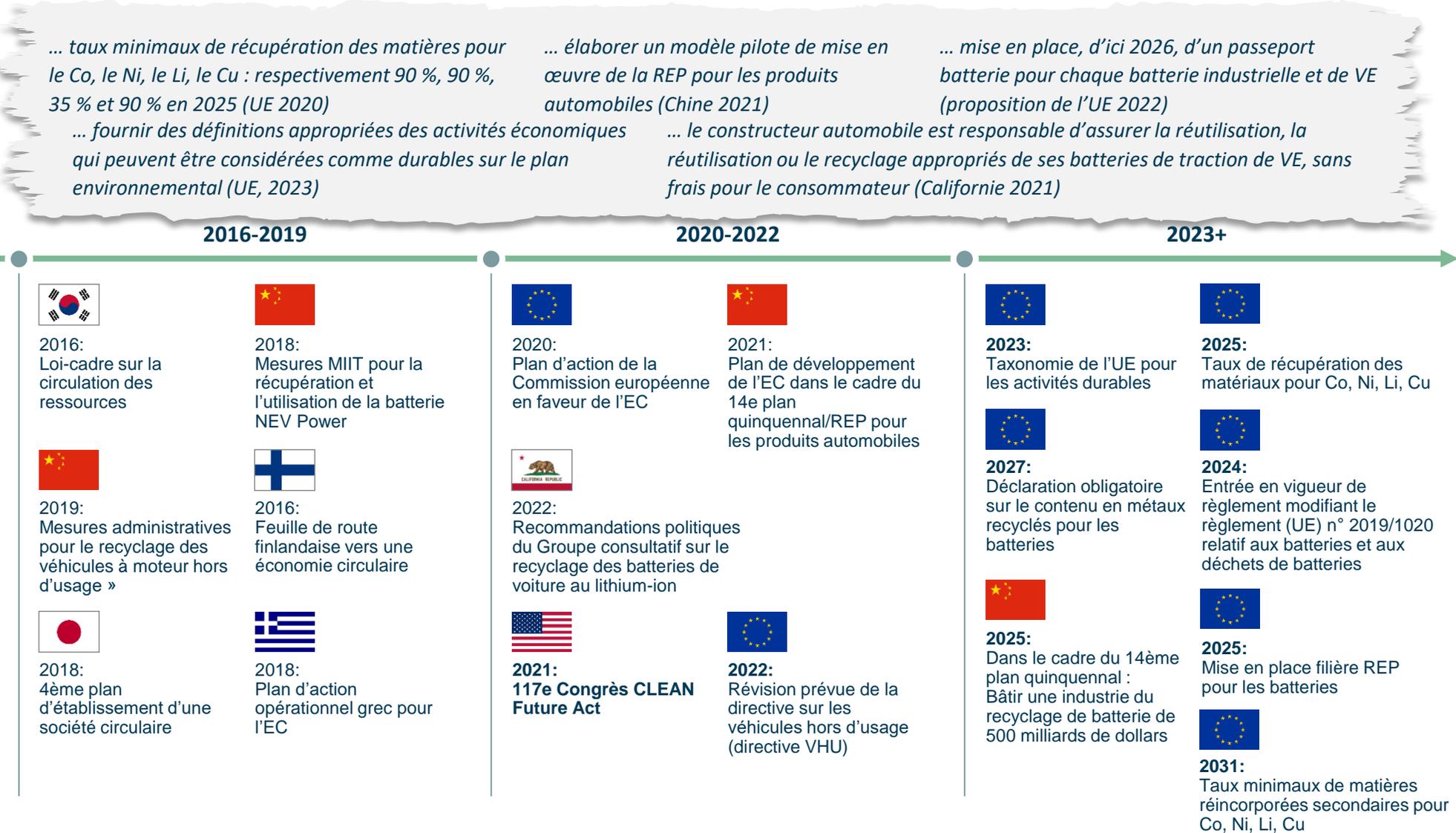
Illustration - Distribution fournie pour les VHS dans l'UE de 2019, sur les 15 millions de tonnes de déchets de l'UE, 24% ont été envoyés en destination hors UE et 76% ont été destinés à la destination nationale. Le chiffre de 24% est basé sur les données de l'UE, qui ne sont pas disponibles pour les flux de destination hors UE. Les données de destination hors UE sont basées sur les données de l'UE, qui ne sont pas disponibles pour les flux de destination hors UE.

AGENDA

- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ **ETAT DES LIEUX, CHAÎNE DE VALEUR ET ACTEURS**
 - **REGLEMENTATION EUROPENNE**
 - CARTOGRAPHIE DES ACTEURS
 - BATTERIES A REPARER OU EN FIN DE VIE
 - PROCÉDES DE RECYCLAGE DES BATTERIES LITHIUM-ION
 - NOUVELLES TECHNOLOGIES DE RECYCLAGE
 - COUTS OPEX & CAPEX DE RECYCLAGE
- ▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE
- ▶ REFLEXIONS SUR LA CHAÎNE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ ANNEXE A – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES A RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES A RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ ANNEXE D – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLES

Les exigences réglementaires liées aux batteries en fin de vie dans l'industrie automobile est élevée et devrait encore s'intensifier dans le monde entier.

Évolutions passées et futures de la réglementation

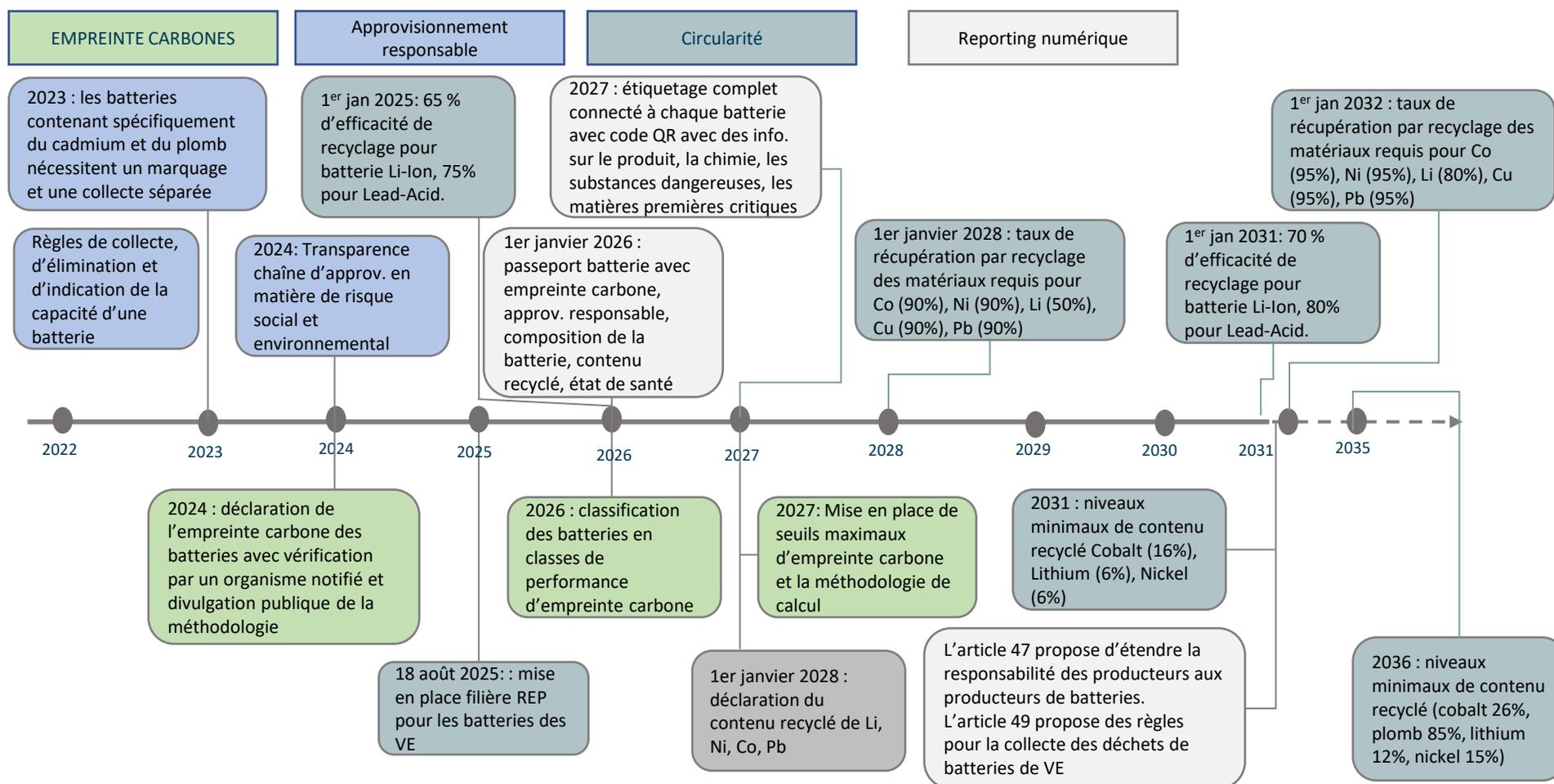


Source: Siemens Advanta
 * EC: Economie Circulaire; REP: Responsabilité Etendue Producteur

La réglementation européenne sur le recyclage des batteries promeut une économie circulaire et un contenu recyclé minimum dans les batteries des VE.

Economie Circulaire de la batterie | Cadre réglementaire de l'UE

CHRONOLOGIE DU RÈGLEMENT DE L'UNION EUROPÉENNE SUR LES BATTERIES



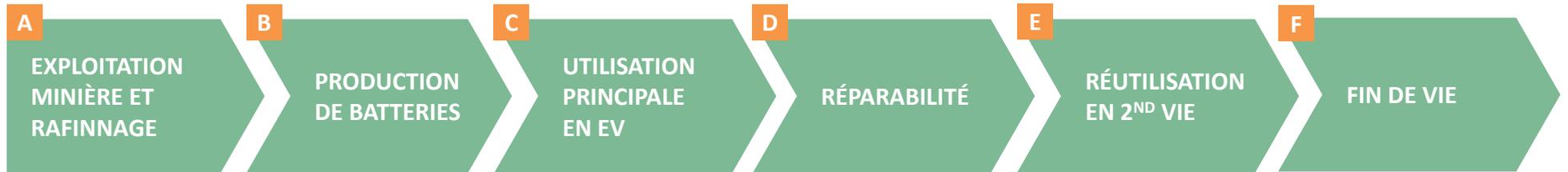
Note : L'efficacité du recyclage correspond à une « recycling efficiency », ie « le rapport, exprimé en pourcentage, obtenu en divisant la masse des fractions de sortie comptabilisées pour le recyclage par la masse de la fraction d'entrée des batteries usagées, dans le cadre d'un processus de recyclage »

Source : Analyse Strat Anticipation, Analyse T&E sur le droit de la Commission européenne, « amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC »

La régulation européenne sur les batteries couvre toutes les étapes de cycle de vie des batteries

Economie Circulaire de la batterie | Cadre réglementaire de l'UE | Décomposition sur le cycle de vie

ÉTAPES DU CYCLE DE VIE DES BATTERIES



- ▶ Approvisionnement responsable

- ▶ Incorporation du Contenu recyclé
- ▶ Empreinte carbone
- ▶ Substance dangereuse

- ▶ Durabilité de la batterie
- ▶ Accès au BMS
- ▶ Étiquetage/Chaine d'approv.
- ▶ Passeport numérique
- ▶ REP : Responsabilité élargie des producteurs

- ▶ Droit de réparer une batterie en cas de cellules défectueuses
- ▶ Demande d'accès au logiciel et aux données du BMS

- ▶ Exigences de la 2e vie
- ▶ Sécurité des batteries stationnaires
- ▶ Durabilité de la batterie

- ▶ Efficacité du recyclage & valorisation matière
- ▶ Objectifs de récupération et de réincorporation

	Valorisation matière	
	2028	2032
Nickel	90%	95%
Cobalt	90%	95%
Lithium	50%	80%

	Efficacité recyclage	
	2025	2031
Batteries Li	65%	70%
Batteries Ni-Cd	75%	80%

	Taux d'incorporation	
	2031	2036
Nickel	6%	15%
Cobalt	16%	26%
Lithium	6%	12%

Note : L'efficacité du recyclage correspond à une « recycling efficiency », ie « le rapport, exprimé en pourcentage, obtenu en divisant la masse des fractions de sortie comptabilisées pour le recyclage par la masse de la fraction d'entrée des batteries usagées, dans le cadre d'un processus de recyclage »

Source: Commission Européenne, ACEA, PFA, Strat Anticipation recherche et analyse

Le recyclage de batteries pose de nombreux défis : les alternatives en fin de vie, les pouvoirs de négociation, et la forte concurrence existante notamment en Asie.

Recyclage | Principaux défis

PRINCIPAUX DÉFIS ET BARRIÈRES À L'ENTRÉE DANS LE RECYCLAGE

CONCURRENCE DÉJÀ IMPORTANTE

- Il y a une petite fenêtre de tir pour les nouveaux entrants, avec plus de 30 projets de recyclage déjà annoncés dans l'UE.
- Les fabricants de cellules, les équipementiers automobiles et les recycleurs traditionnels cherchent tous à mener la transition énergétique et à capturer des marges.

POUVOIR DE NÉGOCIATION DES ACHETEURS

- Les marchés des matériaux raffinés sont dominés par quelques acteurs, généralement des fabricants de cathodes ou des fabricants de cellules intégrées, ce qui leur confère un pouvoir de négociation élevé.
- Les entreprises de raffinage ont besoin d'accords long terme pour récupérer les dépenses d'investissement

BARRIÈRES À L'ENTRÉE

- Les technologies actuelles nécessitent des dépenses d'exploitation et d'investissement élevées.
- Des économies d'échelle sont nécessaires pour être concurrentiels sur de nouveaux marchés.
- Incertitude due aux défis liés à la mise à l'échelle et au taux de rebut variable des fabricants de cellules et de cathodes.
- Les technologies de recyclage ont des équations économiques compliquées en fonction des cours matières

ALTERNATIVES EN FIN DE VIE

- Les applications de seconde vie retardent le moment où les batteries peuvent être recyclées.
- Des réglementations disparates sur les déchets dangereux d'un marché à l'autre peuvent compliquer le choix du recyclage et favoriser le réemploi

POUVOIR DE NÉGOCIATION DES FOURNISSEURS

- À l'heure actuelle, le volume le plus élevé de matières premières provient des déchets cellulaires des fabricants de cellules, un marché très concentré autour des quelques acteurs à l'échelle
- La fabrication des cellules est concentrée à l'échelle régionale. Les fournisseurs de batteries ont un pouvoir régional important

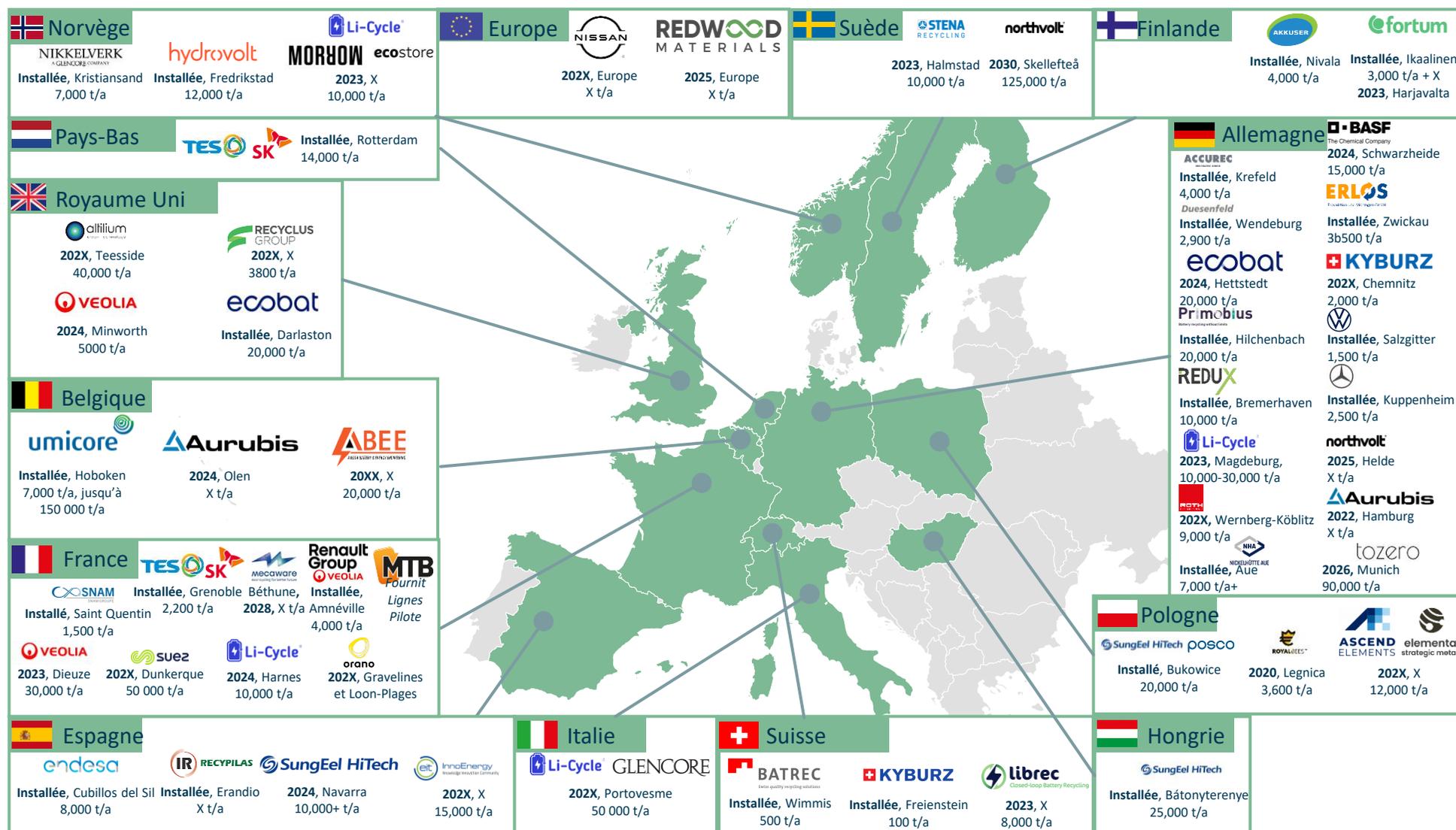
AGENDA

- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ **ETAT DES LIEUX, CHAÎNE DE VALEUR ET ACTEURS**
 - RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE
 - **CARTOGRAPHIE DES ACTEURS**
 - BATTERIES À RÉPARER OU EN FIN DE VIE
 - PROCÉDES DE RECYCLAGE DES BATTERIES LITHIUM-ION
 - NOUVELLES TECHNOLOGIES DE RECYCLAGE
 - COÛTS OPEX & CAPEX DE RECYCLAGE
- ▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE
- ▶ RÉFLEXIONS SUR LA CHAÎNE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ ANNEXE A – MODÈLE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES À RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES À RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ ANNEXE D – MODÈLE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLÉS

Des entreprises de toutes tailles se sont positionnées sur la collecte et le recyclage des batteries en fin de vie : NorthVolt devait être un des leaders avec 125 Kt par an

Recyclage | Annonce de la capacité de recyclage du lithium-ion en tonnes par an, Europe, 2024.

NON-EXHAUSTIF 

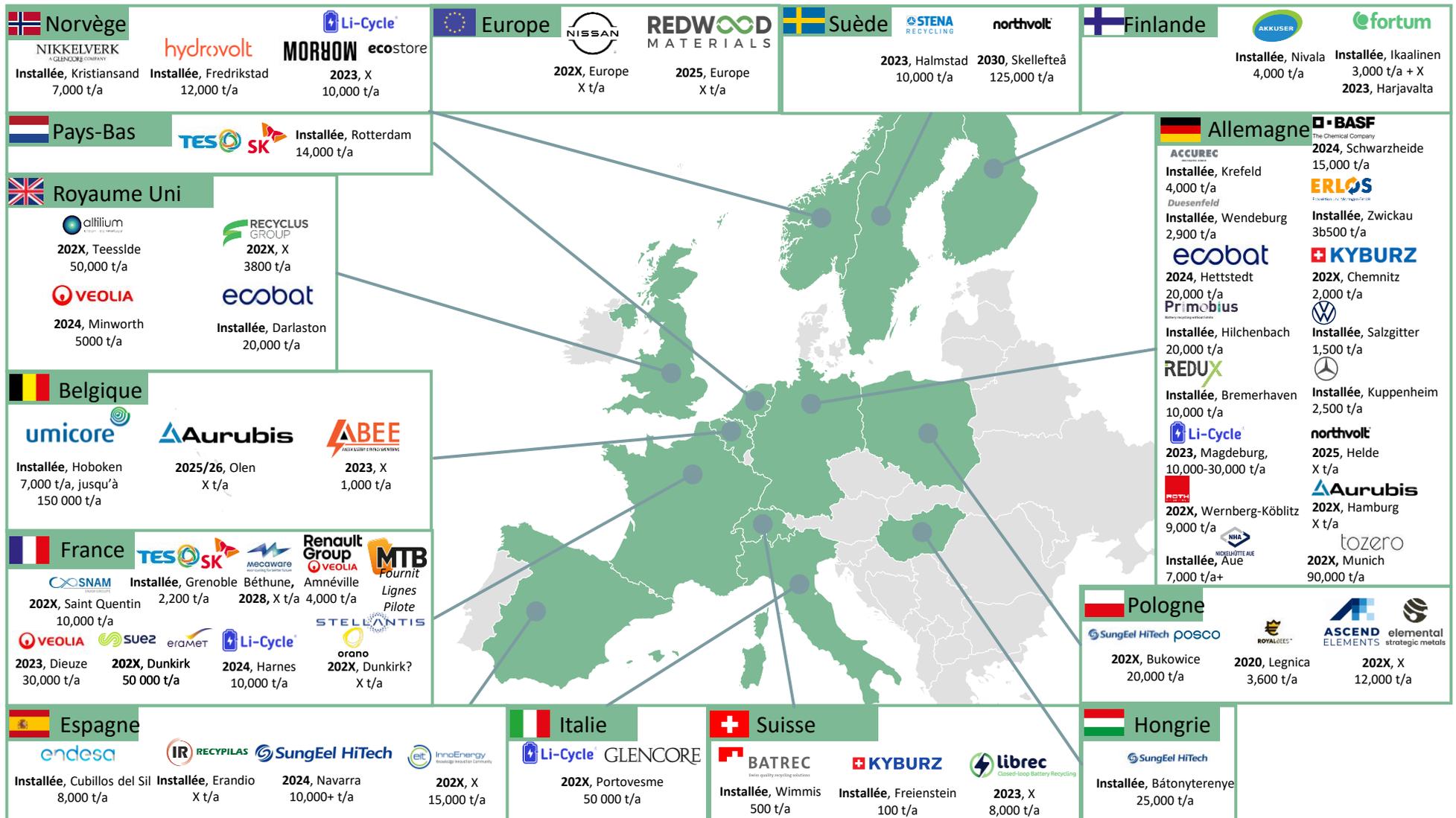


Source: Strat Anticipation, BatterieMap.de

Des entreprises de toutes tailles se sont positionnées sur la collecte et le recyclage des batteries en fin de vie : NorthVolt devait être un des leaders avec 125 Kt par an

Recyclage | Annonce de la capacité de recyclage du lithium-ion de l'entreprise en tonnes par an, Europe, 2024.

NON-EXHAUSTIF

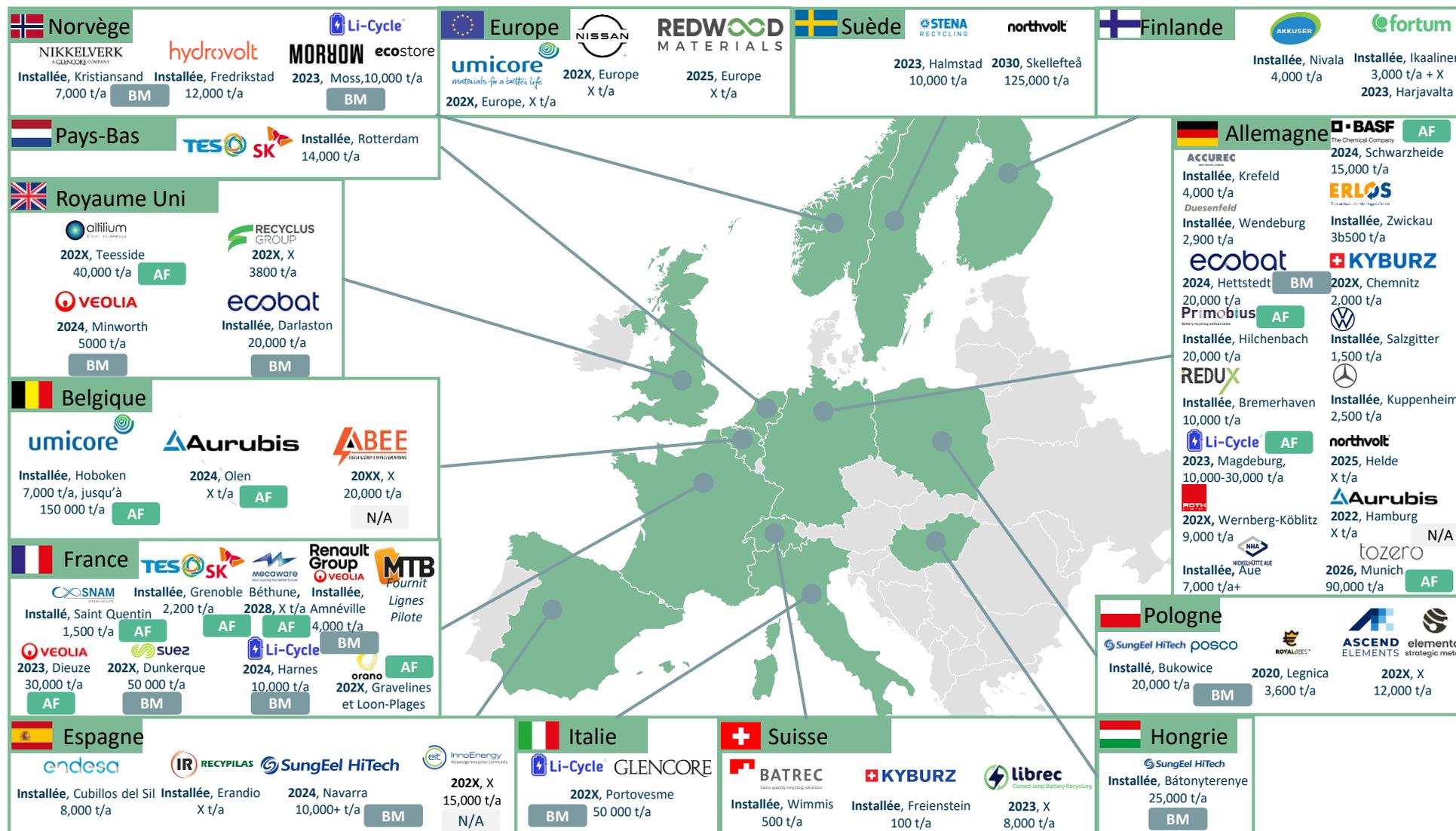


Source: Strat Anticipation, BatterieMap.de

Certains acteurs font de l'affinage, d'autres produisent simplement de la black mass pour l'export....

Recyclage | Annonce de la capacité de black mass et affinage du lithium-ion en tonnes par an, Europe, 2024.

NON-EXHAUSTIF



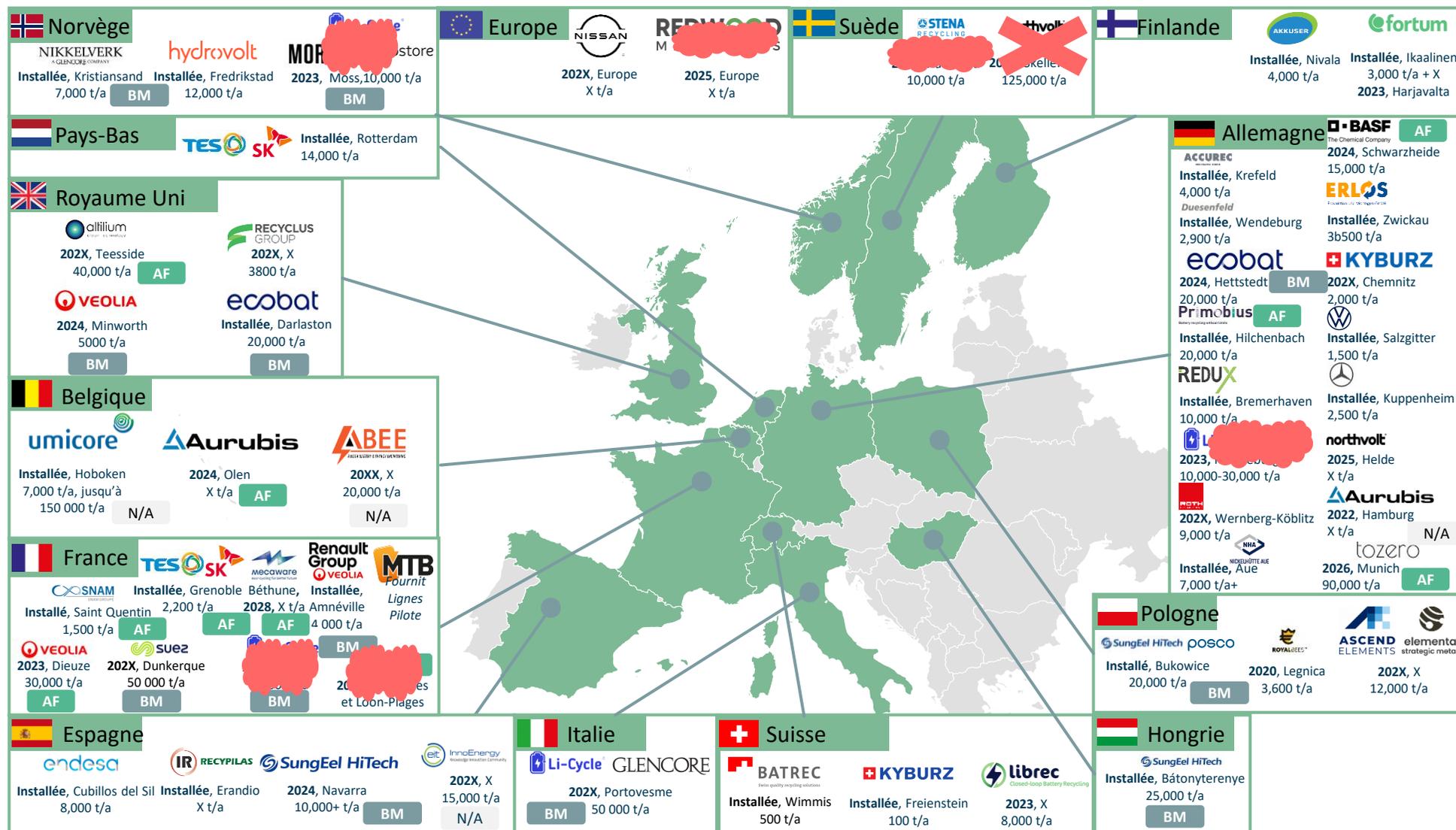
Source: Strat Anticipation, BatterieMap.de

BM Production de black mass seule (spoke) AF Production de BM et affinage (hub)

Mais un grand nombre de projets sont menacés ou annulés, notamment du fait de manque d'approvisionnement stable en matière première et par manque de demande

Recyclage | Zoom sur les projets retardés et annulés

NON-EXHAUSTIF 



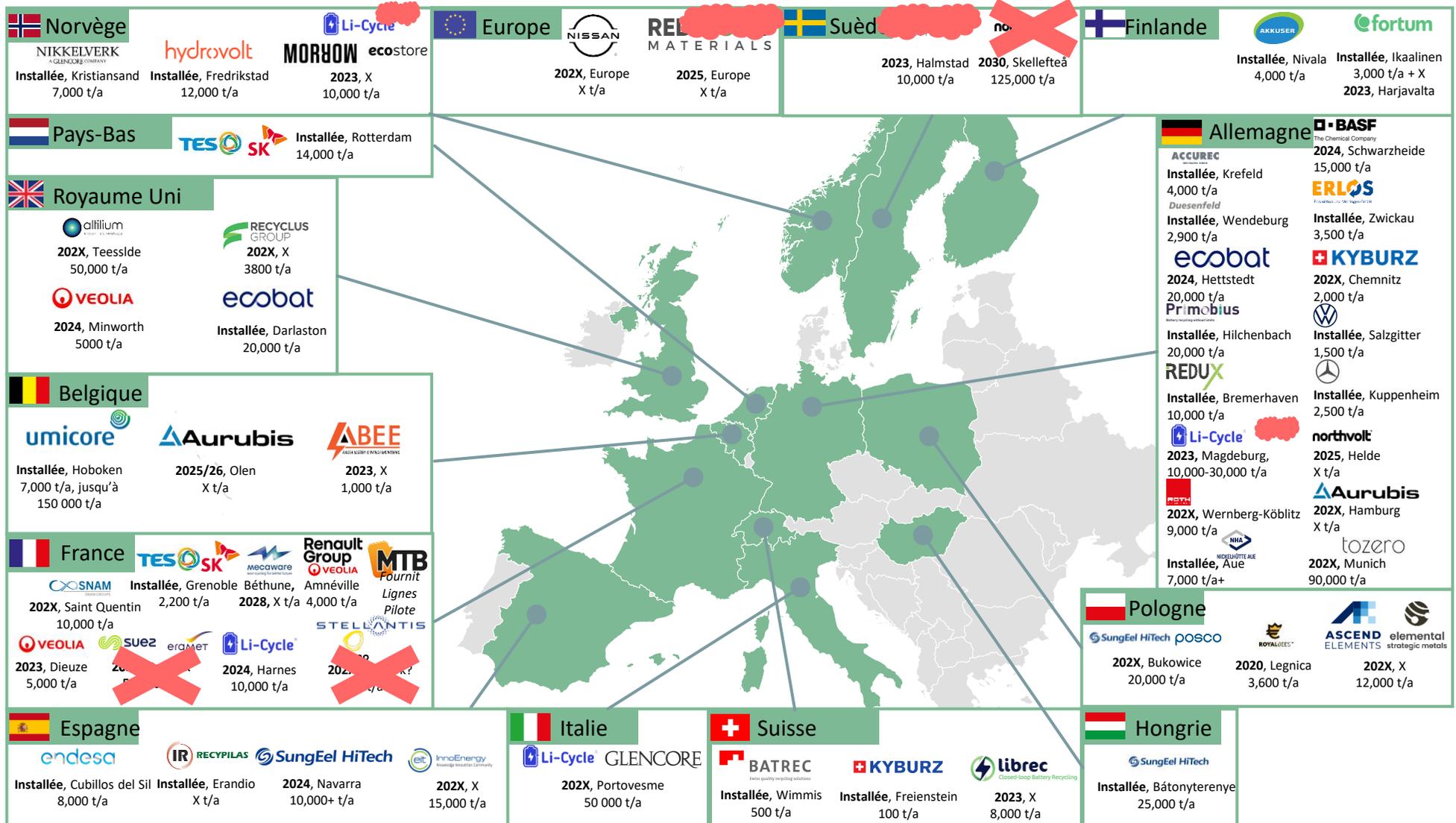
Source: Strat Anticipation, BatterieMap.de

BM Production de black mass seule (spoke)
 AF Production de BM et affinage (hub)
 ✗ Annulation Retards

Mais un grand nombre de projets sont menacés ou annulés, notamment du fait de manque d'approvisionnement stable en matière première et par manque de demande

Recyclage | Annonce de la capacité de recyclage du lithium-ion de l'entreprise en tonnes par an, Europe, 2024.

NON-EXHAUSTIF 



Source: Strat Anticipation, BatterieMap.de

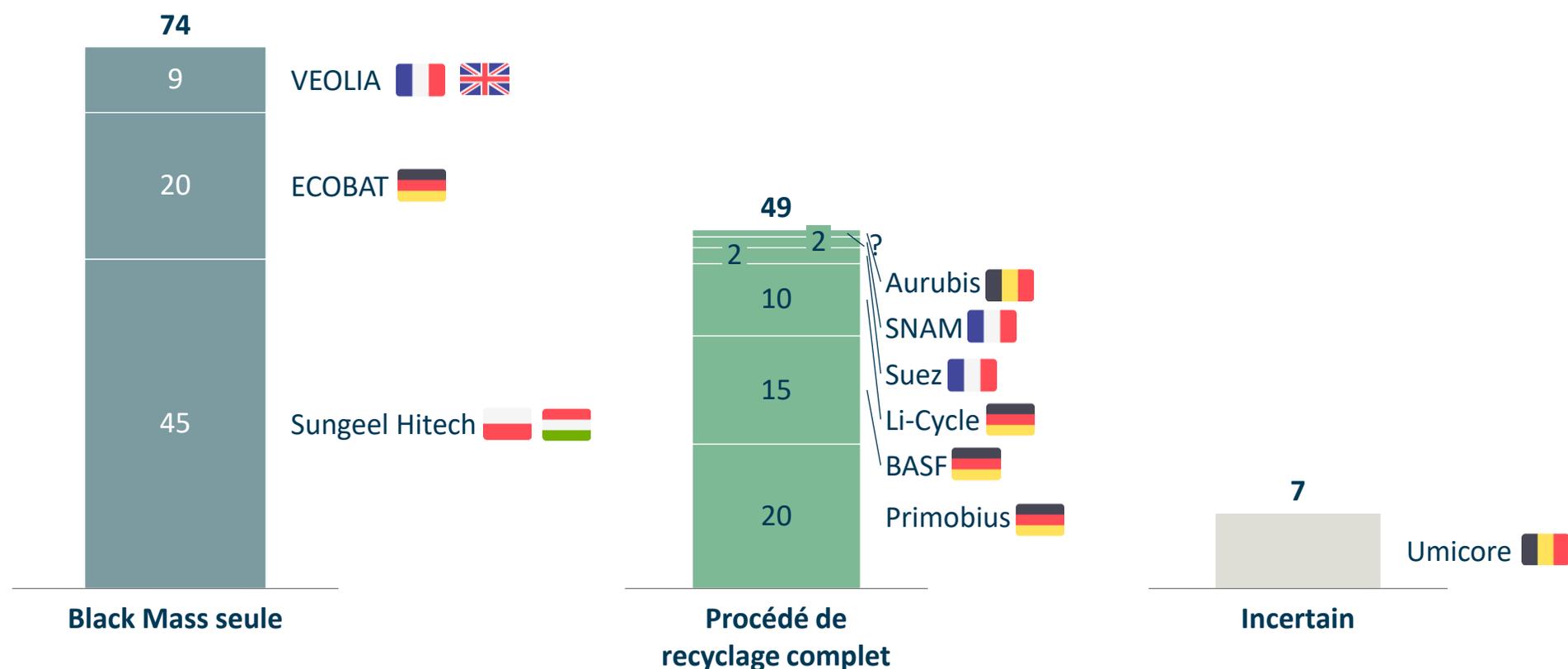
 Annulation  Retards

La capacité actuelle de recyclage de batteries en Europe est de 130 000 tonnes par an : les sites de Sungeel Hitech, Primobius et Ecobat sont les plus importants

Recyclage | Capacité installée de recyclage de batteries Li-Ion en k tonnes par an, Europe, 2024.

CAPACITÉ DE RECYCLAGE ACTUELLE EN EUROPE PAR ACTEUR |

En k tonnes d'intrants par an, 2024, 10 plus gros acteurs et emplacement des usines, non-exhaustif

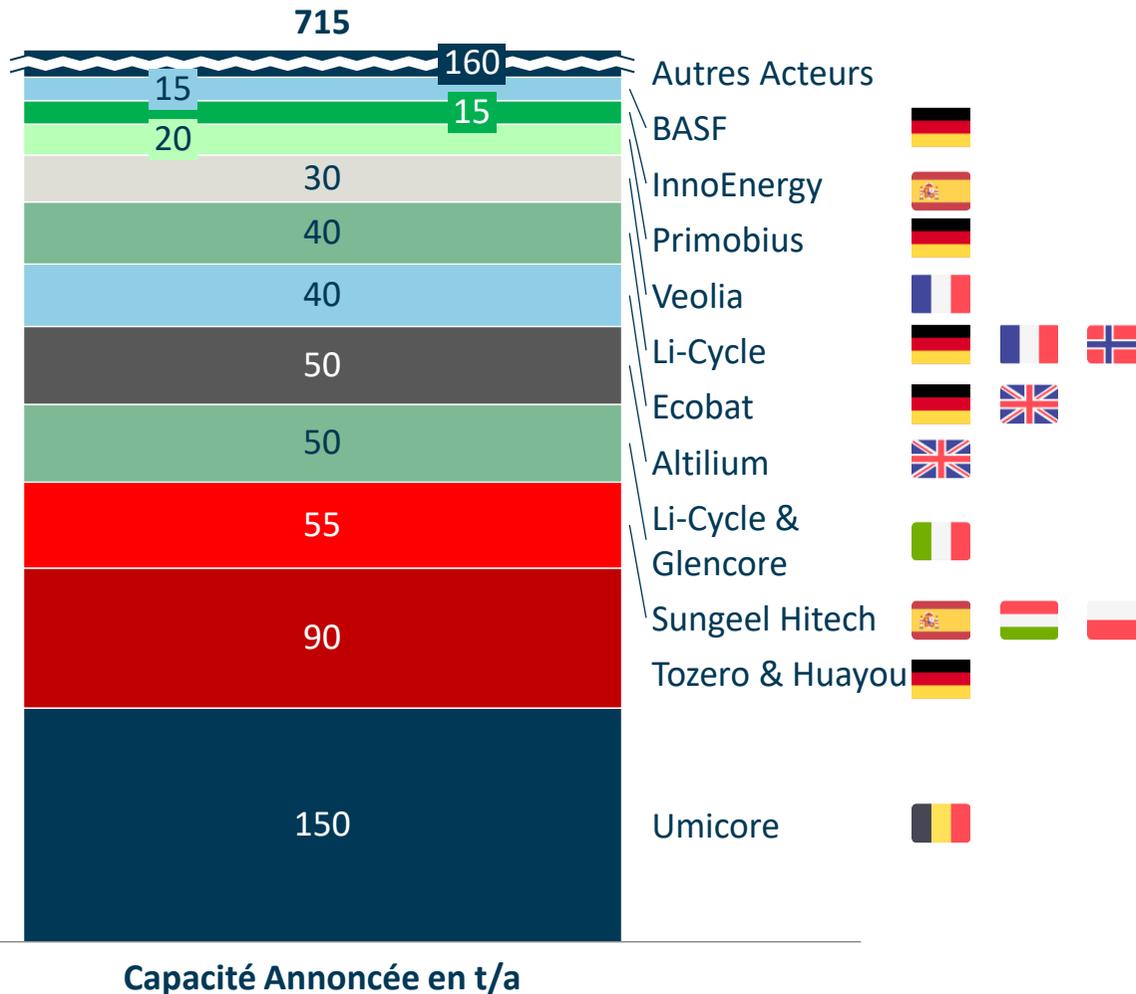


Source: Strat Anticipation, Sites et communiqués de presse des entreprises, BatterieMap.de

Les acteurs avec les annonces les plus importantes sont Umicore, suivi par deux autres acteurs : Sungeel Hitech, et une coentreprise entre Tozero et Huayou.

Recyclage | Annonce de la capacité de recyclage du lithium-ion de l'entreprise en tonnes par an, Europe, 2024.

ANNONCES D'INSTALLATION DE CAPACITÉ EN EUROPE PAR ACTEUR | k tonnes d'intrants par an, 2024, 9 plus gros acteurs et emplacement des usines, Non-Exhaustif



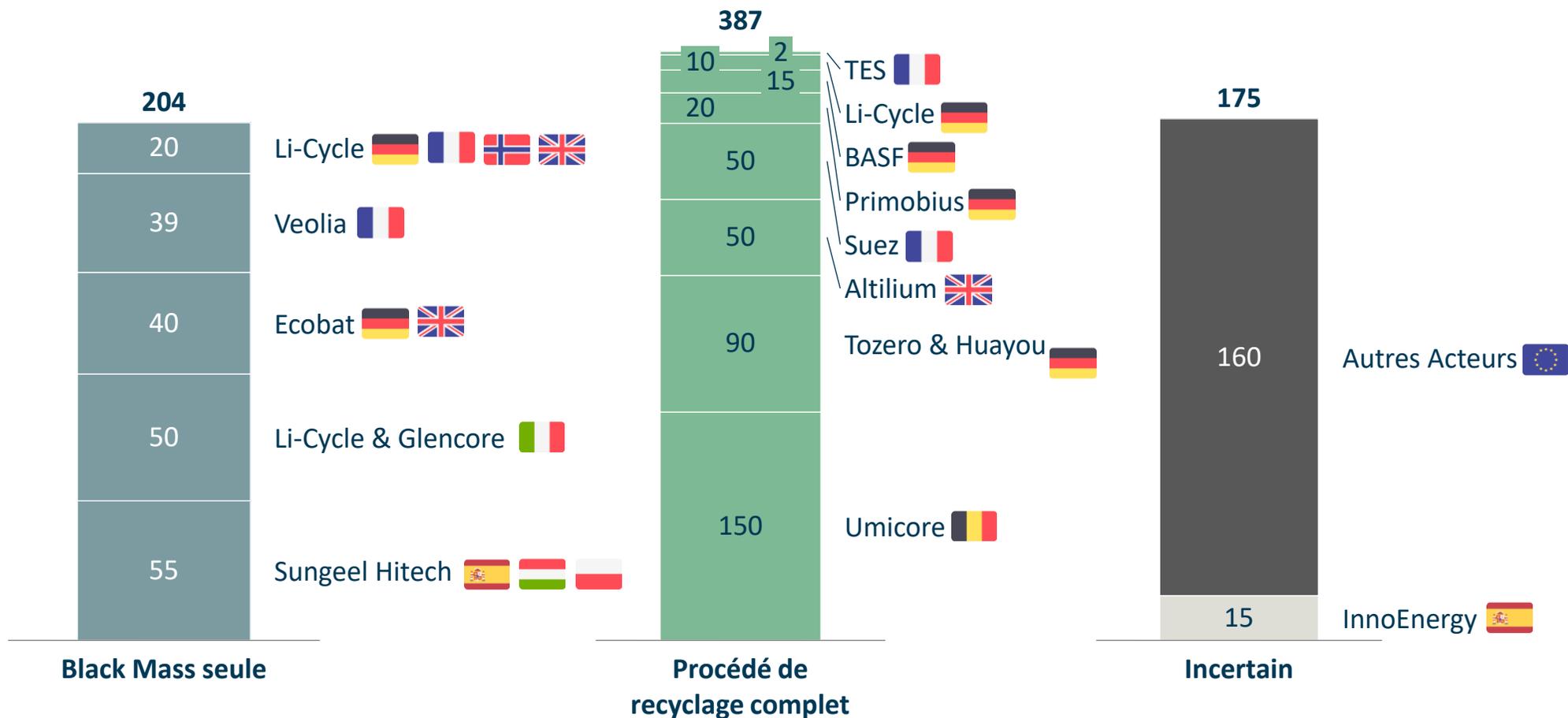
Source: Strat Anticipation, Sites et communiqués de presse des entreprises, BatterieMap.de

Les annonces les plus importantes viennent d'Umicore, suivi de trois autres acteurs : une coentreprise entre Tozero et Huayou, Li-Cycle, et Sungeel Hitech

Recyclage | Annonce de la capacité de recyclage de batteries Li-Ion en k tonnes par an, Europe, 2024.

ANNONCES D'INSTALLATION DE CAPACITÉ DE RECYCLAGE EN EUROPE PAR ACTEUR |

En k tonnes d'intrants par an, 2024, 10 plus gros acteurs et emplacement des usines, non-exhaustif



Source: Strat Anticipation, Sites et communiqués de presse des entreprises, BatterieMap.de

AGENDA

- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ **ETAT DES LIEUX, CHAÎNE DE VALEUR ET ACTEURS**
 - RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE
 - CARTOGRAPHIE DES ACTEURS
- **BATTERIES À RÉPARER OU EN FIN DE VIE**
 - PROCÉDES DE RECYCLAGE DES BATTERIES LITHIUM-ION
 - NOUVELLES TECHNOLOGIES DE RECYCLAGE
 - COÛTS OPEX & CAPEX DE RECYCLAGE
- ▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE
- ▶ RÉFLEXIONS SUR LA CHAÎNE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ ANNEXE A – MODÈLE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES À RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES À RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ ANNEXE D – MODÈLE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLÉS

L'économie circulaire des batteries repose sur les 4Rs: Réparer, Réutiliser, Recycler et Réduire. Nous aborderons la réparation avant de zoomer sur le recyclage.

4R des Batteries

A

RÉPARER ET REMANUFACTURER

- ▶ La réparation consiste à restaurer les batteries défectueuses pour prolonger leur durée de vie dans les VE. Cela implique le remplacement de modules ou cellules endommagés sans retraitement complet.
- ▶ **Exemple d'acteurs :**
 - **Tesla** remanufacture des batteries pour ses clients automobiles
 - **Renault** via ses centres spécialisés pour diagnostiquer et réparer les batteries

B

RÉUTILISER EN SECONDE VIE

- ▶ La réutilisation vise à donner une seconde vie aux batteries usagées, notamment dans des applications stationnaires (stockage d'énergie renouvelable, réseaux électriques).
- ▶ **Exemple d'acteurs :**
 - **Tesla** utilise d'anciennes batteries pour ses produits Powerwall.
 - **Nissan** et son programme xStorage, où des batteries de Leaf alimentent des bâtiments
 - **Renault** à Flins

C

RECYCLER

- ▶ Le recyclage consiste à extraire les matériaux critiques (lithium, cobalt, nickel, etc.) des batteries en fin de vie pour réduire la dépendance aux ressources primaires. Cela repose sur des procédés pyrométallurgiques ou hydrométallurgiques.
- ▶ **Exemple d'acteurs :**
 - **GanfengLithium**, leader mondial du lithium
 - **Redwood Materials**, recycle les déchets de production des usines Panasonic/Tesla

D

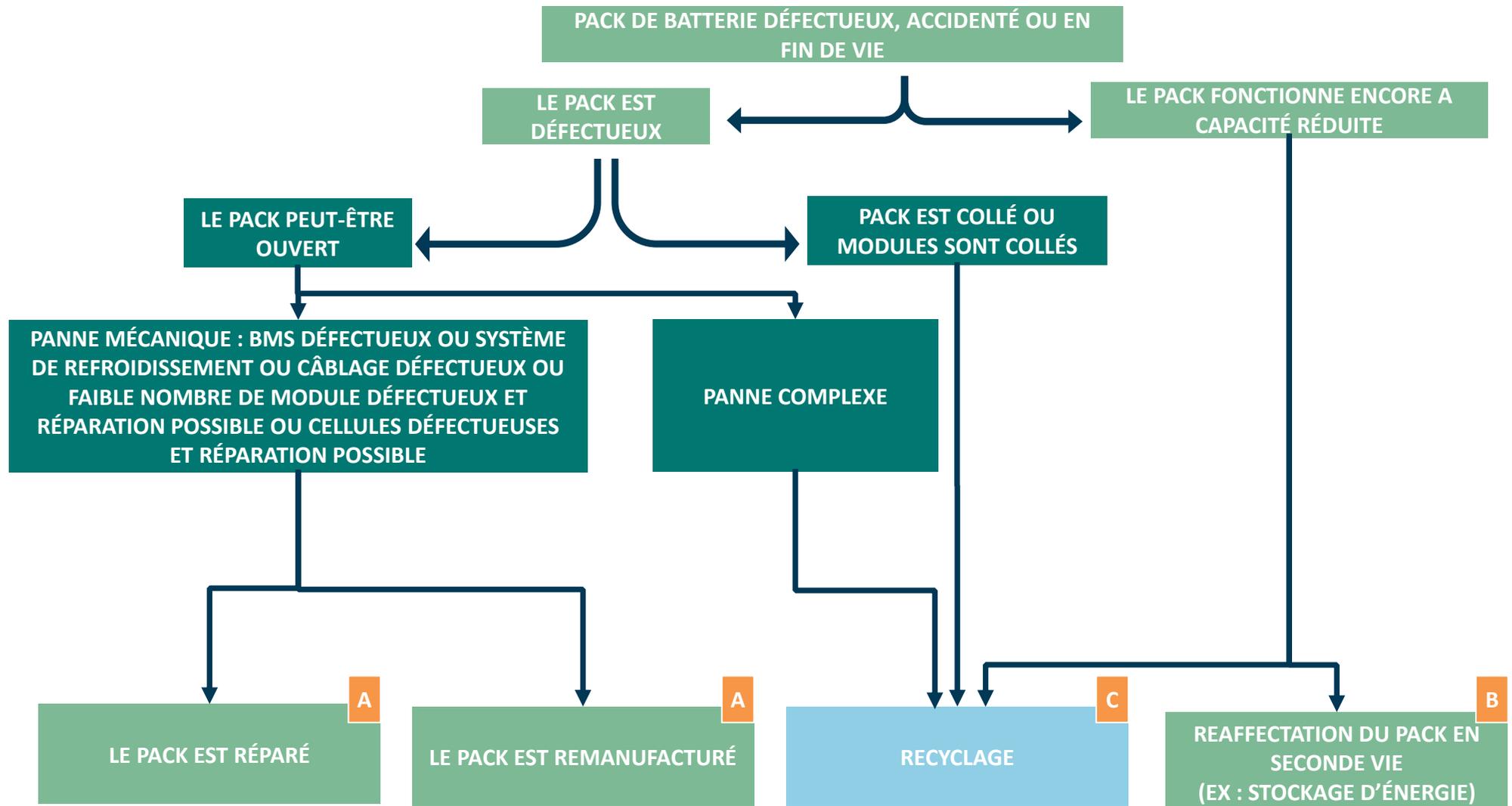
RÉDUIRE

- ▶ La réduction concerne la conception de batteries plus durables, plus légères et nécessitant moins de matériaux critiques. Cela inclut des stratégies comme l'optimisation des processus de fabrication ou l'usage de technologies alternatives (batteries LFP ou sodium-ion).
- ▶ **Exemple d'acteurs:**
 - Fabricants de batteries (**CATL, BYD, LG ES**)

Un pack de batterie défectueux doit pouvoir être ouvert pour pouvoir être réparé ou remanufacturé. L'option principale de fin de vie est le recyclage

A B C

Arbre de décision – Fin de vie et défection d'un pack de batterie



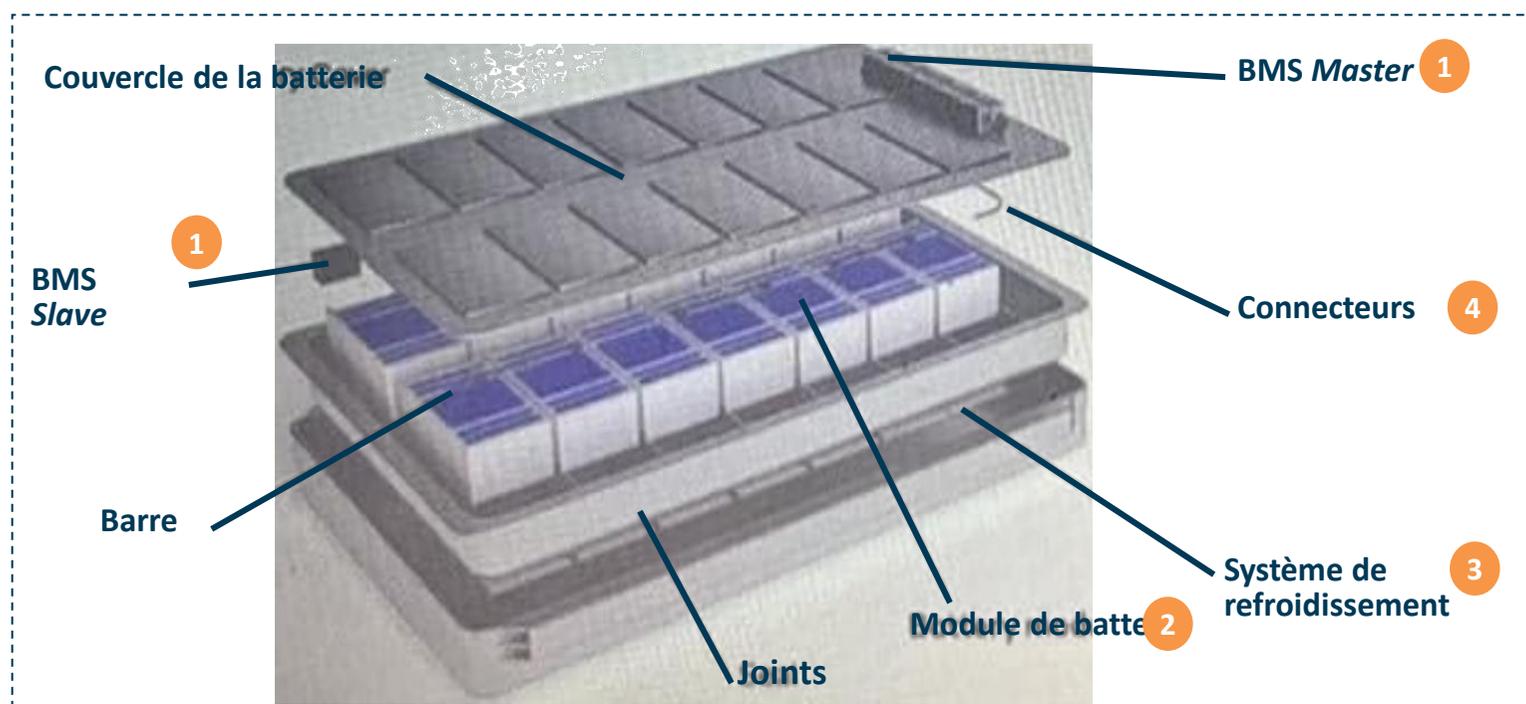
Nous avons identifié 4 types de défaillance d'une batterie: défaut BMS, problème logiciel, module défectueux, défaut du système de refroidissement et câblage.

A B

Types de défaillance d'une batterie

DÉFAUT	1 DÉFAUT ÉLECTRIQUE DU BMS OU DU LOGICIEL	2 DÉFAUT ÉLECTROMÉCANIQUE D'UNE CELLULE/D'UN MODULE DE BATTERIE	3 DÉFAUT MÉCANIQUE DU SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT	4 CÂBLE : MAUVAISE SOUDURE/ CORROSION
	RÉPARER	REPLACEMENT DU BMS DÉFECTUEUX & MAJ LOGICIELLE	ÉCHANGE OU RÉPARATION DE MODULE OU DE CELLULE	RÉPARATION DU SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT

DÉCOMPOSITION D'UN PACK DE BATTERIE



PRÉREQUIS POUR POUVOIR RÉPARER

- Procédure de démontage et de remontage en sécurité à haute tension
- Équipement d'essai et de mesure pour les modules existants
- Système de Communication avec BMS et d'analyse/ de diagnostic du BMS
- Possibilité de rééquilibrer le pack après la réparation

Parmi les 10 voitures électriques les plus vendues en Europe, au moins 4 packs de batteries sont réparables, les autres chinois ou américains ne le sont pas

Modèles les plus vendus en Europe - Réparabilité

A B

PRÉLIMINAIRE

MODÈLES DE VOITURES ELECTRIQUES LES PLUS VENDUS EN EUROPE			
RANG	MODÈLE	TYPE	PACK OUVRABLE ?
1	Tesla Model Y	SUV	Non
2	Tesla Model 3	Berline compacte	Non
3	Volkswagen ID.4	SUV	Oui
4	MG4	Berline compacte	Non
5	Skoda Enyaq	SUV	Oui
6	Fiat 500 électrique	Citadine	Non
7	Volkswagen ID.3	Compacte	Oui
8	Peugeot e-208	Compacte	Moyen
9	Dacia Spring	SUV compact	Non
10	Renault Megane e-Tech	Compacte	Oui

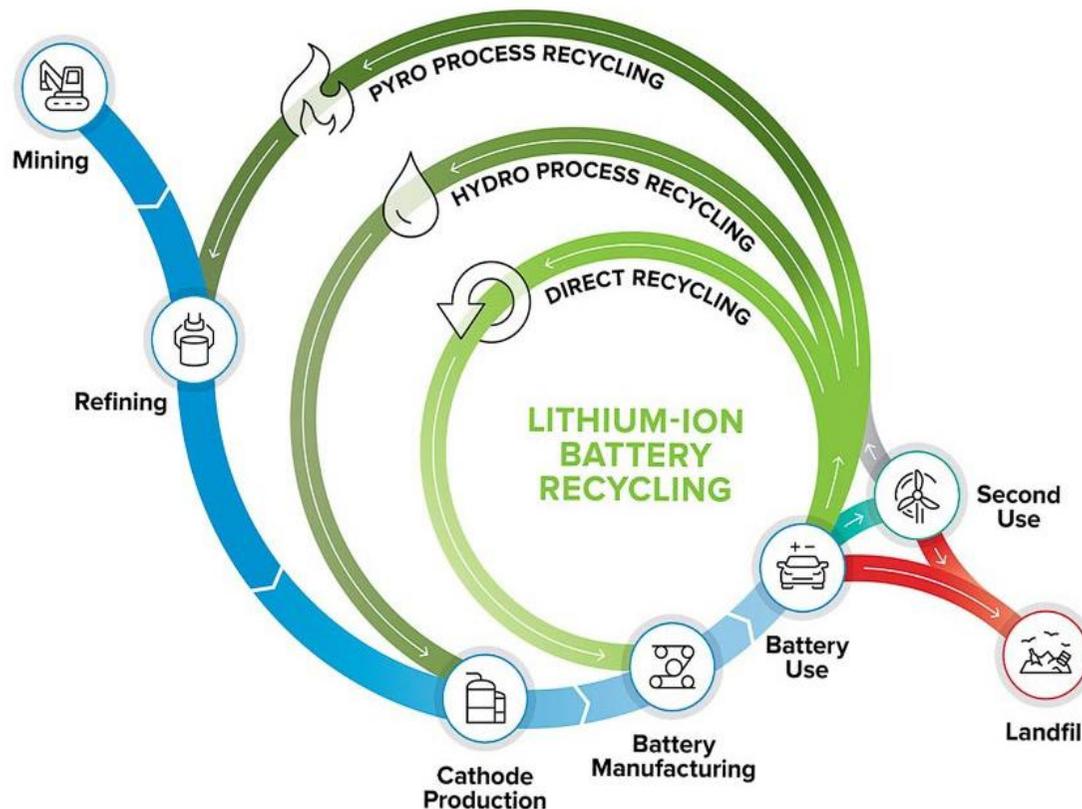
AGENDA

- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ **ETAT DES LIEUX, CHAINE DE VALEUR ET ACTEURS**
 - REGLEMENTATION EUROPENNE
 - CARTOGRAPHIE DES ACTEURS
 - BATTERIES A REPARER OU EN FIN DE VIE
- **PROCEDES DE RECYCLAGE DES BATTERIES LITHIUM-ION**
 - NOUVELLES TECHNOLOGIES DE RECYCLAGE
 - COUTS OPEX & CAPEX DE RECYCLAGE
- ▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE
- ▶ REFLEXIONS SUR LA CHAINE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ ANNEXE A – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES A RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES A RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ ANNEXE D – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLES

Pour les batteries, il existe 3 technologies de recyclage différentes : la pyrométallurgie, l'hydrométallurgie et le recyclage direct

Recyclage | Aperçu des grands types de procédés

APERÇU DE LA CHAÎNE DE VALEUR CIRCULAIRE DU RECYCLAGE



APERÇU DES TECHNOLOGIES DE RECYCLAGE

PYROMÉTALLURGIE

- ▶ Un processus d'extraction et de purification à base de chaleur.
- ▶ Une grande quantité d'énergie est nécessaire, car les Foils/Cellules sont chauffés entre 1200°C et 1600°C. Seules quelques matières premières, telles que le cobalt et le nickel, peuvent être recyclées. Le lithium, l'aluminium et le manganèse ne sont pas récupérés

HYDROMÉTALLURGIE:

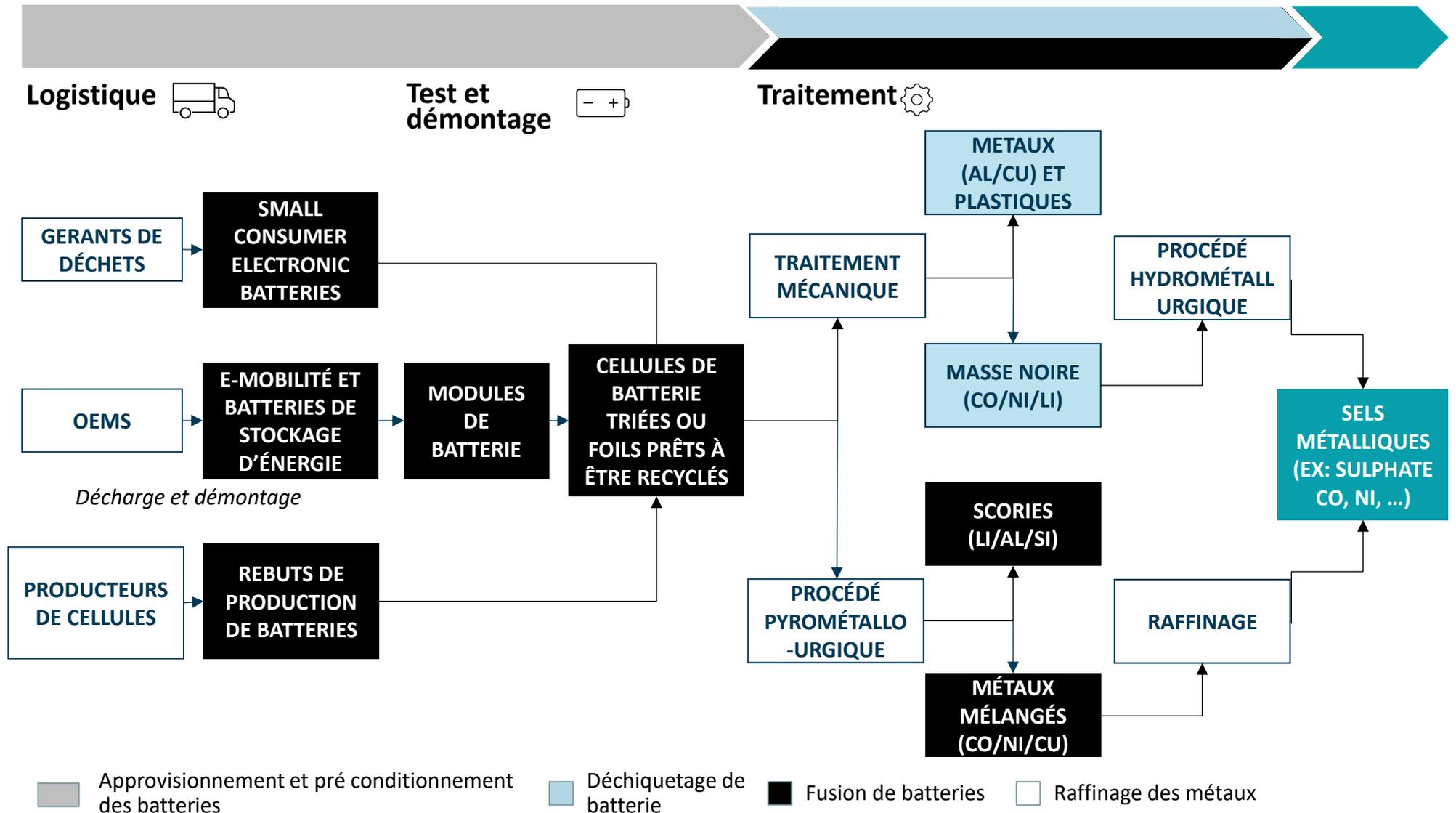
- ▶ Ce procédé est utilisé pour extraire les métaux des cellules, ce qui est réalisé en récupérant et en dissolvant les métaux sous forme de sel en étapes successives à base d'eau, la purification et la récupération du métal ciblé par précipitation sélective ou extraction électrolytique.
- ▶ Cette méthode a un fort taux de récupération mais nécessite des intrants homogènes

RECYCLAGE DIRECT

- ▶ Le recyclage direct consiste d'abord à déchiqeter la batterie pour séparer les composants de la batterie sans décomposer la structure chimique des matériaux actifs.

La pyroméallurgie donne des mélanges de métaux* et des scories*, tandis que le traitement mécanique génère la masse noire* traitée par hydroméallurgie.

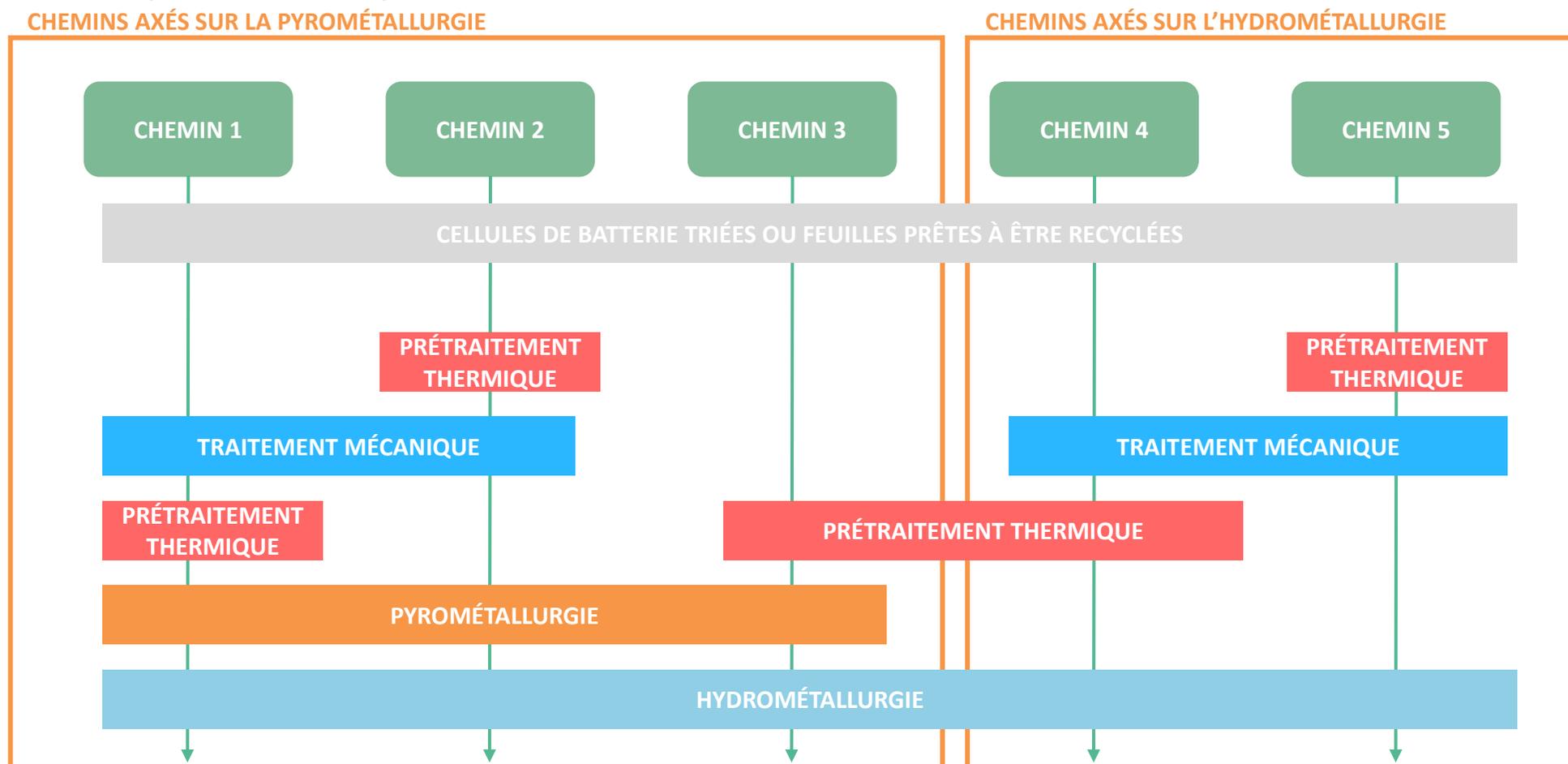
Processus de recyclage des batteries



*Mélanges de métaux = Alloy, scories = Slag, masse noire = black mass
Source: Analyse Strat Anticipation

Les processus de recyclage sont flexibles et suivent différents chemins, combinant pyrométallurgie, hydrométallurgie & traitements mécanique et thermique

Différents procédés utilisés par les acteurs de l'industrie



Exemples de Recycleurs:

GLENCORE

Cirba
Solutions

umicore

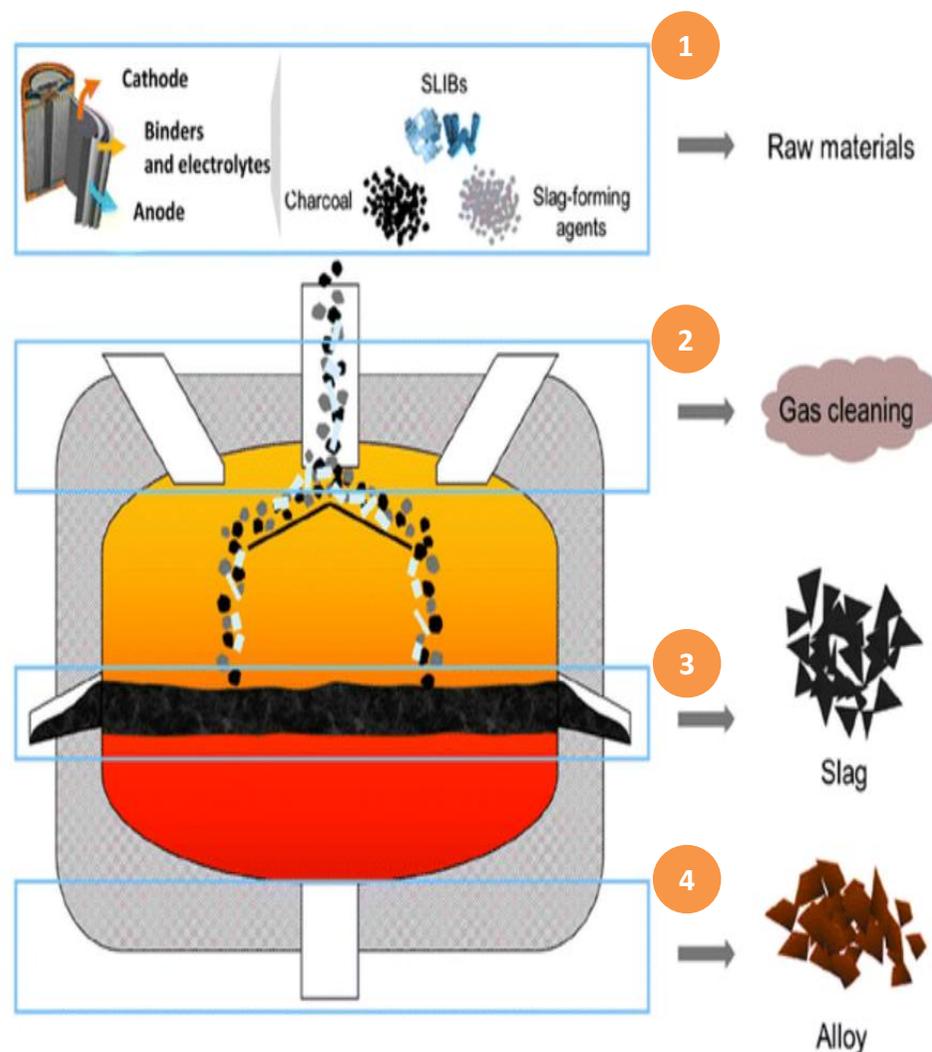
Li-Cycle®

BHP CATL

IL N'EXISTE PAS D'APPROCHE STANDARD POUR LE RECYCLAGE DES BATTERIES ; CHAQUE ACTEUR CHOISIT SON PROPRE PRÉTRAITEMENT, SA PROPRE SÉQUENCE DE PROCESSUS ET S'IL DOIT COMBINER L'HYDROMÉTALLURGIE AVEC LA PYROMÉTALLURGIE OU NON

Dans la pyroméallurgie, les "foils" métalliques sont fondues. Les impuretés sont séparées en scories et un mélange de métaux purifié est extrait qui doit être raffiné

Pyroméallurgie – Zoom sur le procédé



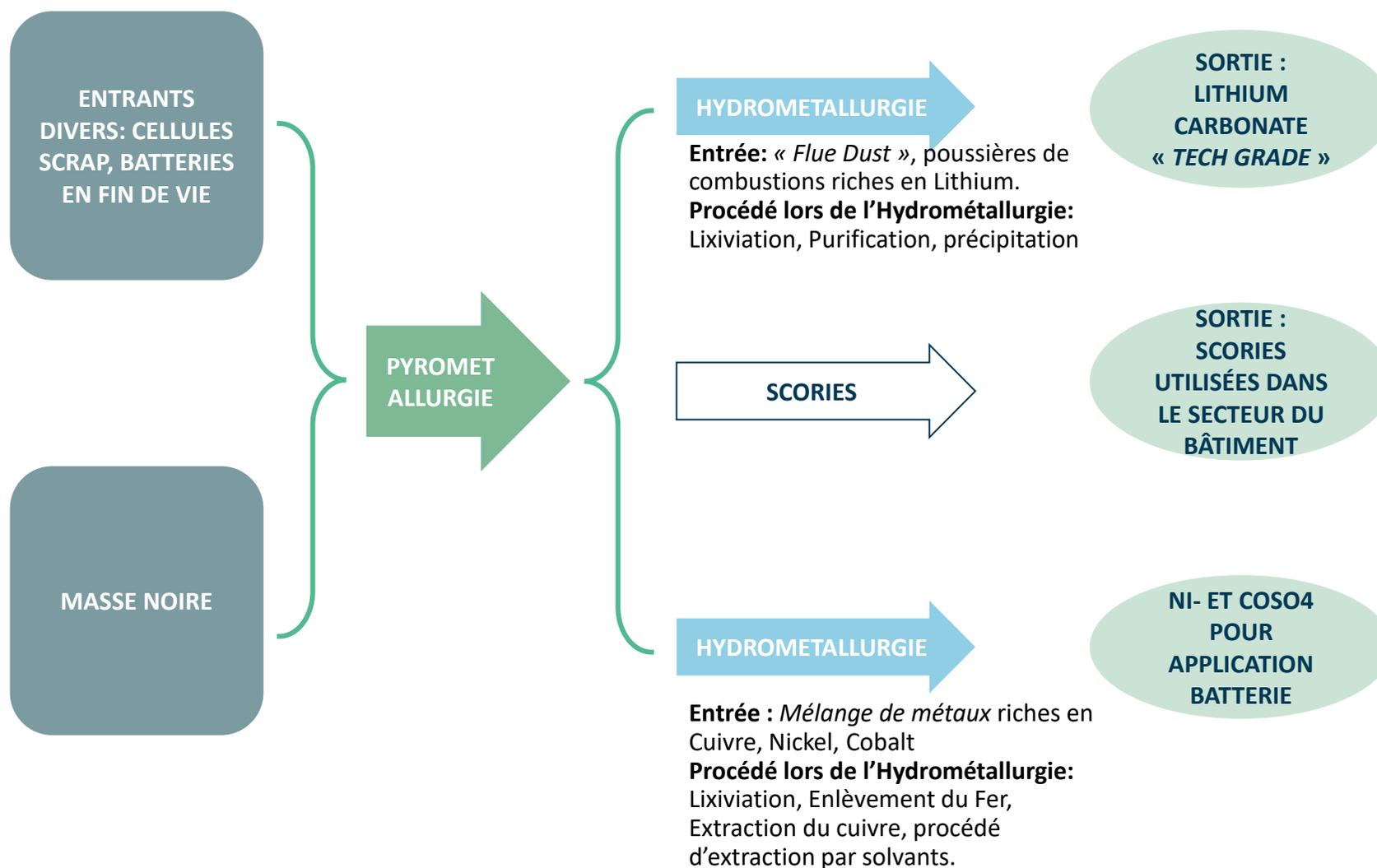
POINTS FORTS DE LA PYROMÉTALLURGIE

- **Etape 1 - Alimentation de la fournaise :** Des foils métalliques ainsi que du charbon de bois et des agents servant à former des scories sont introduits dans la fonderie.
- **Etape 2 - Préchauffage et épuration des gaz:** Au fur et à mesure que les matériaux descendent, ils traversent d'abord une première zone à haute température où se produisent les premières réactions. Les *binders* et les électrolytes se vaporisent, libérant des gaz. Ces gaz sont capturés et nettoyés, éliminant les composants volatils tels que le dioxyde de soufre ou les émissions de carbone.
T < 300°
- **Etape 3 – Formation de Scories:** À des niveaux de température plus élevés, la formation de scorie commence. Les agents formant des scories interagissent avec les impuretés du métal pour former une couche. Cette couche recueille les matériaux indésirables, qui sont ensuite éliminés, laissant derrière eux un mélange de métaux plus purifiés.
T < 700°
- **Etape 4 - Formation de mélange de métaux:** Dans la partie la plus basse et la plus chaude de la fonderie, les oxydes métalliques sont entièrement fondus par les températures élevées, créant ainsi un alliage/mélange de métaux en fusion. L'alliage purifié est collecté au fond du four. Des étapes de raffinage seront alors nécessaires.
1250° < T < 1450°

Umicore a développé une méthode de pyrométallurgie prenant différents entrants et récupérant deux sortants principaux: le Lithium et un mélange de métaux

Pyrométallurgie – Exemple du procédé d'Umicore

EXEMPLE DE PROCÉDÉ DE RECYCLAGE - UMICORE



La pyrométallurgie présente un taux de récupération élevé pour les métaux précieux, mais ne récupère pas les autres matériaux et a une consommation d'énergie élevée

Forces et faiblesses - Pyrométallurgie

FORCES DE LA PYROMETALLURGIE

- ▶ **Utilisation flexible de matières premières** : Capable de traiter différents types de batteries sans prétraitement approfondi, ce qui réduit la complexité opérationnelle.
- ▶ **Récupération élevée des métaux** : Permet une récupération de plus de 95 % pour les métaux précieux comme le nickel, le cobalt et le cuivre.
- ▶ **Destruction des PFAS** : Si la pyrométallurgie des batteries est conduite avec des températures dépassant 1 300 °C, cela permet une destruction complète des PFAS par minéralisation
- ▶ **Sécurité** : Les dangers sont contenus dans le four, ce qui minimise l'exposition directe des travailleurs

FAIBLESSES DE LA PYROMÉTALLURGIE

- ▶ **Faible récupération du lithium et du manganèse** : Alors que la pyrométallurgie excelle dans la récupération de métaux comme le nickel, le cobalt et le cuivre, elle est **moins efficace pour le lithium et le manganèse, qui sont perdus dans les scories**. La récupération de ces matériaux nécessite une étape d'hydrométallurgie supplémentaire
- ▶ **Raffinage important nécessaire pour les métaux récupérés** : Les métaux récupérés par pyrométallurgie, en particulier le lithium, l'aluminium et le manganèse, nécessitent souvent des étapes de raffinage supplémentaires par rapport au processus d'hydrométallurgie.
- ▶ **Pertes de graphite et de l'électrolyte** : Environ **20 % de la masse de la batterie (graphite) est brûlée, ainsi que 10 % (électrolyte)** pendant le processus de pyrométallurgie. Ces composants ne sont pas récupérables, ce qui réduit le taux de récupération total des ressources.
- ▶ **Consommation d'énergie élevée** : La pyrométallurgie est un processus énergivore en raison du chauffage continu requis. Il en résulte une consommation d'énergie élevée.
- ▶ **Risques pour l'environnement et la santé liés aux déchets** : Les scories générées par la pyrométallurgie peuvent contenir des métaux toxiques

Pour améliorer la pyrométallurgie, des étapes telles que l'hydrométallurgie pour affinage de la production ou un traitement mécanique sont souvent incorporées

Amélioration de la pyrométallurgie – Hydro + Pyro Route

AVANTAGES DE L'AJOUT DE L'HYDROMÉTALLURGIE À LA PYROMÉTALLURGIE :

- ▶ **Possibilité de récupérer le lithium et potentiellement le graphite** : L'hydrométallurgie après pyrométallurgie peut permettre la récupération du lithium et du graphite dans le processus de recyclage.
- ▶ **Besoins en réactifs inférieurs par rapport au procédé d'hydrométallurgie seul**: La production d'un alliage homogène diminue l'utilisation de réactifs en hydrométallurgie en raison de la réduction des contaminants.
- ▶ **Amélioration des taux de récupération par rapport au procédé de pyrométallurgie seul**: évite les pertes de matière courantes dans l'usinage mécanique, augmentant ainsi les taux de récupération globale.
- ▶ **Réduction de la consommation d'énergie par rapport au procédé d'hydrométallurgie**: Consommation d'énergie globale inférieure par rapport à l'hydrométallurgie seule, car la pyrométallurgie peut traiter des matières premières mixtes sans prétraitement approfondi

RISQUES LIÉS À L'AJOUT DE L'HYDROMÉTALLURGIE À LA PYROMÉTALLURGIE :

- ▶ **Augmentation des coûts et nécessité de mise à l'échelle**: le retraitement des scories par hydrométallurgie augmente les coûts en raison de la nécessité de traiter de plus grands volumes de matériaux
- ▶ **Réduction des avantages environnementaux** : le traitement supplémentaire augmente les émissions, ce qui réduit les avantages climatiques du recyclage.
- ▶ **Complexité accrue** : les étapes de traitement supplémentaires nécessitent plus d'infrastructure et de ressources, ce qui complique les opérations.

Le procédé de pyrométallurgie peut être amélioré, et des procédés novateurs arrivent. Le "Selective Slagging" semble être la technologie la plus prometteuse

Amélioration de la pyrométallurgie – Amélioration possible

"SELECTIVE SLAGGING" POUR DES MEILLEURS MÉLANGES DE MÉTAUX

- ▶ De nouvelles méthodes de contrôle de la composition et du comportement des scories pendant le processus de fusion permettent une élimination plus sélective des impuretés, améliorant ainsi le rendement et la pureté du métal

MODÉLISATION AVANCÉE ET TECHNOLOGIES DE FOURNAISE

- ▶ Des efforts sont en cours pour améliorer la modélisation des procédés, la conception des fours et les systèmes de refroidissement. Ces avancées améliorent le contrôle des réactions à haute température, ce qui rend la récupération des métaux plus efficace tout en réduisant les déchets de combustion

RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR RÉSIDUELLE

- ▶ Les innovations en matière de gestion de la chaleur contribuent à réduire les besoins en énergie des procédés pyrométallurgiques. Les systèmes qui récupèrent et réutilisent la chaleur générée lors de la fusion permettent une plus grande efficacité énergétique et une consommation globale de carburant plus faible

SOUFFLAGE À L'OXYGÈNE PAR LE BAS

- ▶ Cette méthode améliore l'efficacité de la fusion en favorisant l'oxydation des minerais de sulfure. Il est utilisé dans les fusions, et il réduit les émissions de dioxyde de soufre par rapport aux méthodes traditionnelles de soufflage par le haut

AGENDA

- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ **ETAT DES LIEUX, CHAÎNE DE VALEUR ET ACTEURS**
 - RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE
 - CARTOGRAPHIE DES ACTEURS
 - BATTERIES À RÉPARER OU EN FIN DE VIE
 - PROCÉDES DE RECYCLAGE DES BATTERIES LITHIUM-ION
- **NOUVELLES TECHNOLOGIES DE RECYCLAGE**
 - COÛTS OPEX & CAPEX DE RECYCLAGE
- ▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE
- ▶ RÉFLEXIONS SUR LA CHAÎNE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ ANNEXE A – MODÈLE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES À RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES À RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ ANNEXE D – MODÈLE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLÉS

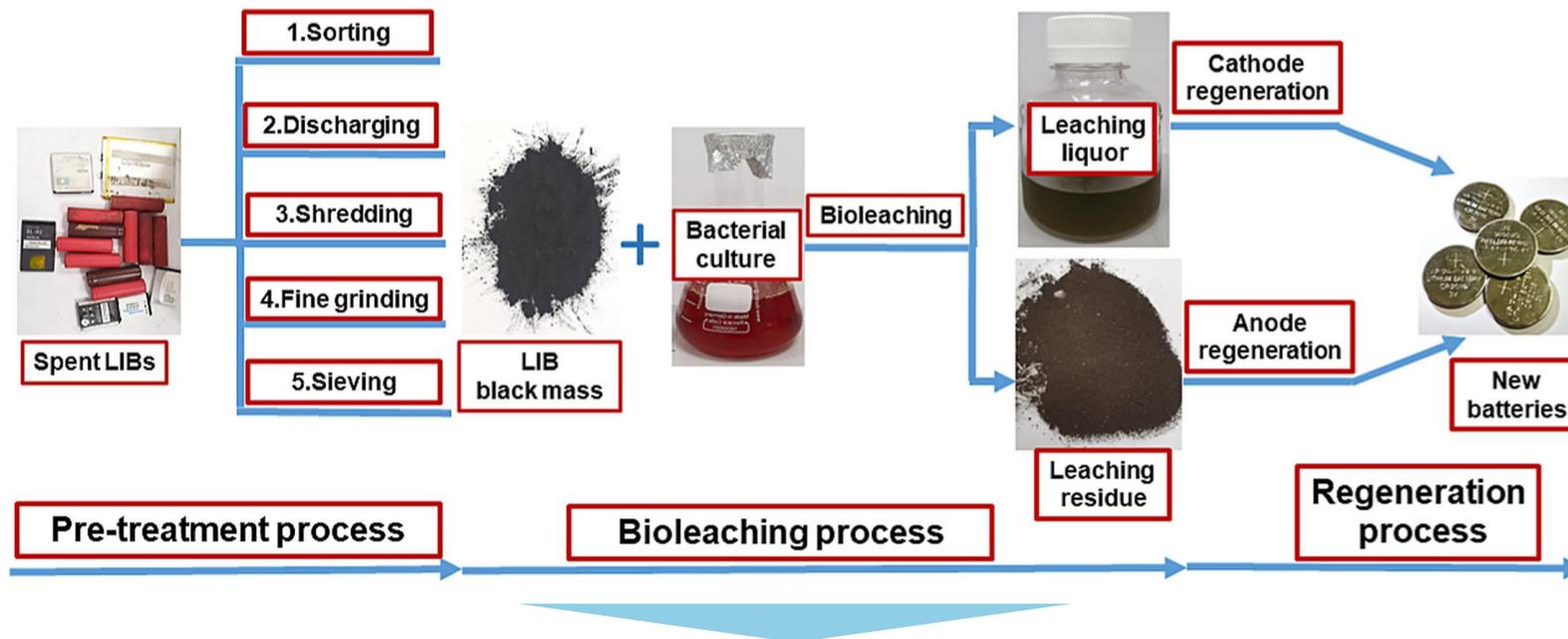
La biolixiviation des batteries est un processus vert qui utilise des bactéries pour extraire des métaux tels que le lithium, le nickel et le cobalt.

Technologie de recyclage du futur - Procédé de biolixiviation

DESCRIPTION

- ▶ La biolixiviation, également connue sous le nom de bio-extraction, utilise des microbes pour oxyder les métaux.
- ▶ Il a été longtemps utilisé dans l'industrie minière pour extraire des métaux
- ▶ La biolixiviation est maintenant utilisée pour nettoyer et récupérer les matériaux des déchets électroniques.
- ▶ Il peut cibler et récupérer des métaux individuels dans les batteries des VE.
- ▶ La biolixiviation opère à basse température et ne produit pas de déchets toxiques
- ▶ Les métaux purifiés récupérés par biolixiviation peuvent être recyclés indéfiniment

FAIT PARTIE DE (BIO)
HYDROMÉTALLURGIE

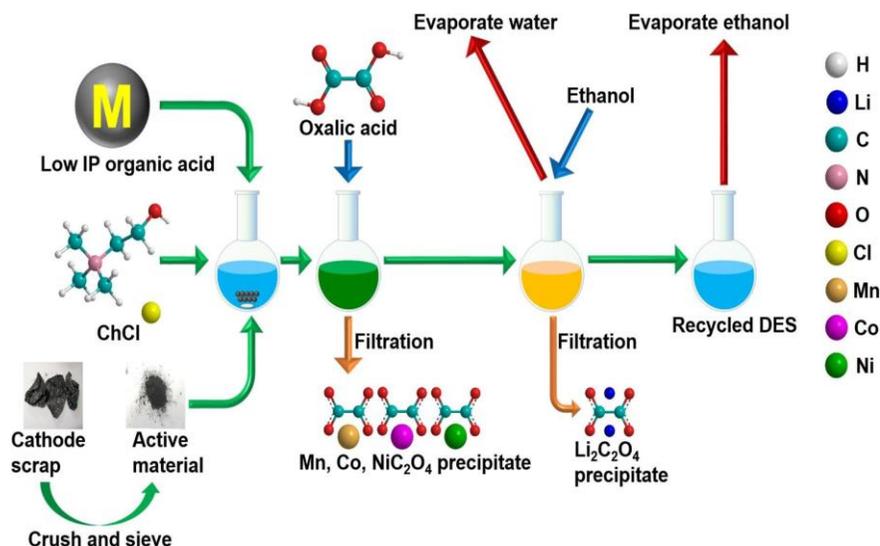


LA BIOLIXIVIATION DES BATTERIES LITHIUM-ION EST ENCORE AU STADE DE LA R&D AVEC UN TRL FAIBLE ET DEVRAIT ENTRER EN PHASE D'EXPANSION ENTRE 2030 ET 2040

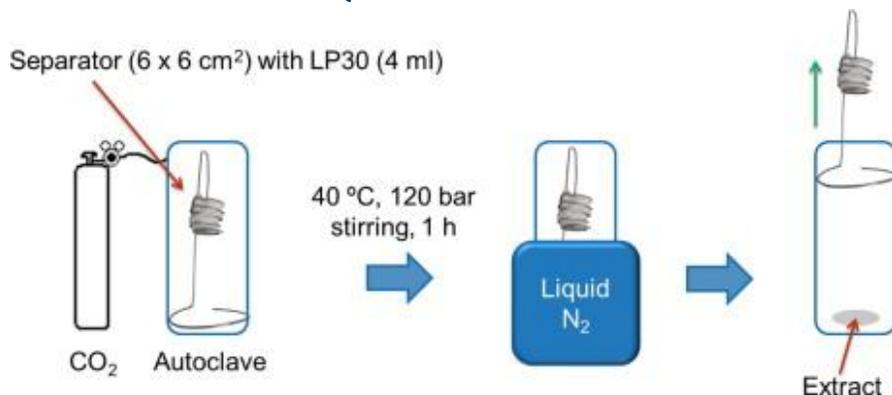
Des approches innovantes visent à obtenir une extraction efficace des métaux, à répondre aux exigences réglementaires et à récupérer le LiPF6 de l'électrolyte.

Technologie de recyclage du futur

SOLVANTS EUTECTIQUES



EXTRACTION SUPERCRITIQUE AU CO₂



INFORMATIONS CLÉS

- ▶ Le recyclage des batteries implique conventionnellement des techniques de traitement/raffinage pyrométallurgiques ou hydro métallurgiques :
- ▶ De nouvelles méthodes visent à récupérer une plus grande partie de la batterie avec une efficacité plus élevée.

SOLVANTS EUTECTIQUES :

- ▶ Attrayants pour la lixiviation des métaux,
- ▶ Ils offrent des paramètres ajustables et une sélectivité élevée.
- ▶ Moins toxiques que les acides traditionnels utilisés en hydrométallurgie

EXTRACTION SUPERCRITIQUE AU CO₂ :

- ▶ À l'étude comme méthode de récupération du sel d'électrolyte LiPF₆.
- ▶ Le LiPF₆ peut être problématique dans les flux de déchets en raison de sa propension à la formation de HF.

Les deux méthodes souffrent de :

- Processus d'extraction relativement lent.
- Exigence de températures élevées

AGENDA

- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ **ETAT DES LIEUX, CHAINE DE VALEUR ET ACTEURS**
 - REGLEMENTATION EUROPENNE
 - CARTOGRAPHIE DES ACTEURS
 - BATTERIES A REPARER OU EN FIN DE VIE
 - PROCÉDES DE RECYCLAGE DES BATTERIES LITHIUM-ION
 - NOUVELLES TECHNOLOGIES DE RECYCLAGE
- **COUTS OPEX & CAPEX DE RECYCLAGE**
- ▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE
- ▶ REFLEXIONS SUR LA CHAINE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ ANNEXE A – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES A RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES A RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ ANNEXE D – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLES

Les CAPEX pour les procédés de pyrométallurgie peuvent être jusqu'à deux fois plus élevés que ceux de l'hydrométallurgie et ont une efficacité plus basse

Forces et faiblesses - Pyrométallurgie vs hydrométallurgie

NOMBRES
PRÉLIMINAIRE

EXEMPLES D'EFFICACITÉ SUR UNE SÉLECTION DE SITES		
EMPLACEMENT DE L'USINE	MÉTHODE	EFFICACITÉ ESTIMÉE***
EU (usine 1)	Pyro	31%
EU (usine 2)	Pyro	55%
EU (usine 3)	Pyro + Hydro	70%
ASIA (usine 1)	Hydro	56%
ASIA (usine 2)	Hydro	65%
North America	Hydro	58%

METHODE	HYDROMETALLURGIE*	PYROMETALLURGIE**	Unités
CAPEX DIRECT	5 151		\$ p. tonne p.an
CAPEX INDIRECT	2959		\$ p. tonne p.an
CAPEX TOTAL	8110	10 000 - 16 000	\$ p. tonne p.an
OPEX	1560	n.d.	\$ p. tonne

METHODE	HYDROMETALLURGIE	PYROMETALLURGIE
VALEUR RÉCUPÉRÉE ATTENDUE D'UNE BATTERIE NMC 811 de 100kWh	1500\$ Ni 700\$ Co 1000\$ Li 1-100\$ Graphite	1500\$ Ni 700\$ Co 0-500\$ Li

LA COMBINAISON DES PROCÉDÉS PYRO ET HYDRO OFFRE GÉNÉRALEMENT UNE PLUS GRANDE EFFICACITÉ QUE L'UN OU L'AUTRE PROCESSUS PRIS INDIVIDUELLEMENT.
LES CHIFFRES DES DÉPENSES D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION DEVRAIENT ÊTRE ÉVALUÉS PLUS EN DÉTAIL DANS LE CADRE DE DISCUSSIONS AVEC LES ACTEURS DE L'INDUSTRIE ET DEVIENDRONT PLUS CLAIRS AU FUR ET À MESURE QUE LES PROJETS SE DÉVELOPPERONT.

*Les CAPEX pour l'hydrométallurgie sont basées sur les estimations de NeoMetals.

** Les CAPEX pour la pyrométallurgie sont calculées sur la base de "A techno-economic assessment of two recycling processes"

***L'efficacité estimée fait référence à la valeur globale de la batterie, dans l'étude "A techno-economic assessment of two recycling processes"

Source: NeoMetals, Analyse Strat Anticipation

La pyrométallurgie aura plus de mal que les autres procédés à atteindre la rentabilité sur des cathodes à faible coût (LFP), et reste adaptée au fort contenu en cobalt

Forces et faiblesses - Pyrométallurgie

LE RECYCLAGE DE BATTERIES A BESOIN DE RENTABILITÉ

- ▶ La rentabilité du recyclage dépend de la chimie des batteries, en particulier de la valeur des métaux comme le cobalt, le nickel et le lithium
- ▶ Les batteries riches en cobalt et en nickel (NMC, NCA) sont plus rentables en raison des taux de récupération des métaux et de la valeur plus élevés
- ▶ Une étude montre que pour certaines batteries NMC et LFP, les coûts de recyclage pyrométallurgie dépassent les bénéfices, ce qui entraîne un TCO négatif :

APERÇU DU CALCUL DU TCO DANS UNE ÉTUDE DE RECHERCHE AUTOUR DE LA PYROMÉTALLURGIE	
TYPE DE BATTERIE	TCO en € par tonne de LIB
NMC333	24€
NMC811	-376€
LFP	-1714€

LA PYROMÉTALLURGIE POURRAIT NE PAS CONVENIR AU RECYCLAGE DES CELLULES LFP

- ▶ Les procédés pyrométallurgies sont conçus pour récupérer les métaux de valeur (cobalt, nickel), mais les cellules LFP en sont dépourvues, ce qui réduit la rentabilité
- ▶ La récupération du lithium est souvent incomplète dans les méthodes pyrométallurgies, ce qui entraîne des pertes de matériaux et d'autres inconvénients économiques pour le recyclage des LFP
- ▶ Les cellules LFP contiennent principalement du fer et du phosphate, qui ne sont pas chers, ce qui rend la pyrométallurgie inefficace
- ▶ La rentabilité économique du recyclage du LFP est également fortement liée aux prix du marché du lithium, qui sont maintenant revenus au niveau d'avant COVID, autour de 10 000-12 000 dollars la tonne

DES USINES DE PYROMÉTALLURGIE SONT EN TRAIN D'ÊTRE ÉTABLIES EN EUROPE ET AUX ÉTATS-UNIS EN RAISON DE LEUR ADAPTABILITÉ AUX MATÉRIAUX EN ENTRÉE ET DE LA PRÉVALENCE ACTUELLE DES CATHODES NMC.

CEPENDANT, L'APPROVISIONNEMENT FUTUR DEVRA CONTENIR DES BATTERIES LFP, ET DE NOMBREUX ACTEURS SE POSITIONNENT POUR L'HYDROMÉTALLURGIE.

LES RECYCLEURS SONT FORTEMENT EXPOSÉS AUX CHANGEMENTS DANS L'ÉVOLUTION DE LA GAMME DE CATHODES, CAR DES CATHODES DIFFÉRENTES IMPLIQUENT DES ANALYSES DE RENTABILITÉ DIFFÉRENTES ET DES PROCESSUS DIFFÉRENTS.

CETTE EXPOSITION REND LES INVESTISSEMENTS DIFFICILES

AGENDA

- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ ETAT DES LIEUX, CHAINE DE VALEUR ET ACTEURS

▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE

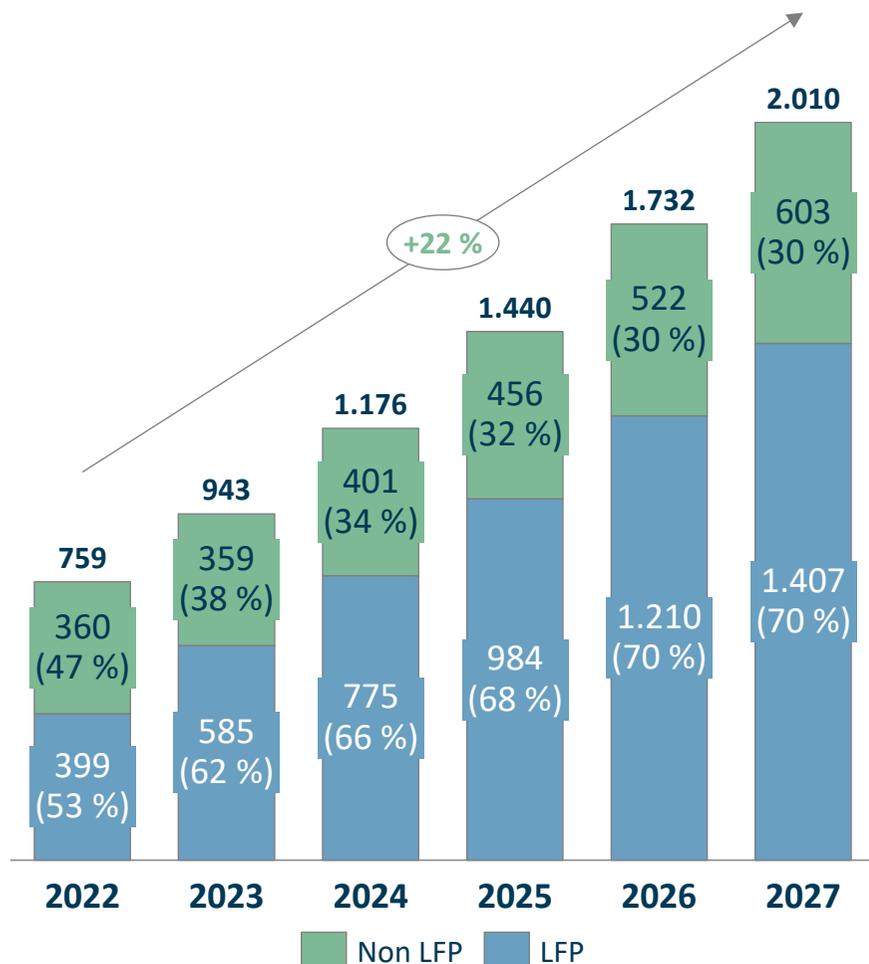
▪ ACTEURS ET PROCESSUS

- PROCESSUS ET COUTS DU RECYCLAGE – CAS DU LFP
- ▶ REFLEXIONS SUR LA CHAINE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ ANNEXE A – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES A RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES A RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ ANNEXE D – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLES

Le marché chinois s'est tourné vers les batteries LFP, avec près de 80% de l'installation récente de capacité de production pour des usines de LFP

Production et Installation de Capacité en Chine

VOLUME – PRODUCTION DE BATTERIE LI-ION, CHINE | GWh, Prédiction SMM, Batteries Li-Ion tous secteurs

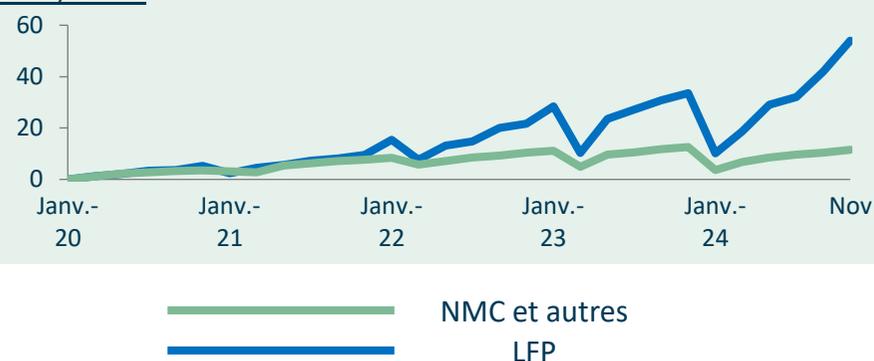


ZOOM - INSTALLATION DE CAPACITÉ DE PRODUCTION DE BATTERIE

Depuis début 2022, le LFP s'est imposé comme la batterie pour le marché Chinois. Les installations de capacité de production de batteries sont à près de 80% pour des lignes de LFP sur la période récente

CAPACITÉ INSTALLÉE EN CHINE MENSUELLEMENT - GWH						
	Juin	Jul	Août	Sept	Oct	Nov
NMC	11	11	12	12	13	13
LFP	29	32	30	38	47	55
NMC – 6 DERNIERS MOIS						70 (23%)
LFP – 6 DERNIERS MOIS						230 (77%)

Installation Mensuelle de Capacité de production de batteries – GWh, Chine



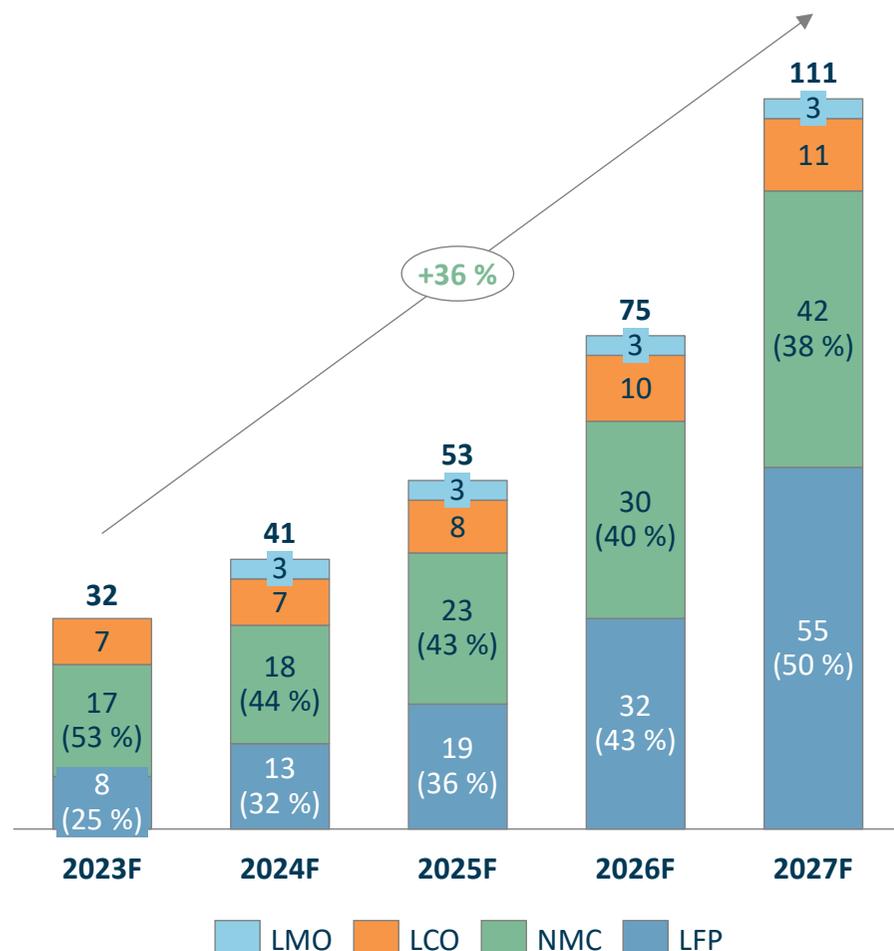
L'AJOUT DE CAPACITÉ EST LIÉ À UNE FORTE DYNAMIQUE D'INNOVATION EN TERMES DE CHIMIE

Note: La nomenclature chinoise référence les batteries selon si elles sont LFP ou « Ternaires », qui correspondent à des NMC
 Source: SMM, CABIA, CNEV, Analyse Strat Anticipation

Les batteries LFP seront la première source de batterie en fin de vie en Chine dès 2026

Marché organisé – Volumes et batteries en Cascade

VOLUME – EOL BATTERIE, CHINE | GWh, Prédiction SMM, Batteries Li-Ion tous secteurs, hors rebuts de production



ZOOM « LES BATTERIES EN CASCADE »

En Chine, la **mise en cascade des batteries** de véhicules électriques consiste à réaffecter les batteries hors d'usage, qui conservent encore 60 à 80 % de leur capacité, à des applications secondaires telles que le stockage stationnaire de l'énergie, les systèmes d'alimentation de secours ou les solutions de mobilité à faible performance. Lorsque leur capacité se dégrade en dessous de 40 à 50 %, les batteries sont démantelées et envoyées au recyclage des matériaux, achevant ainsi leur cycle de vie.

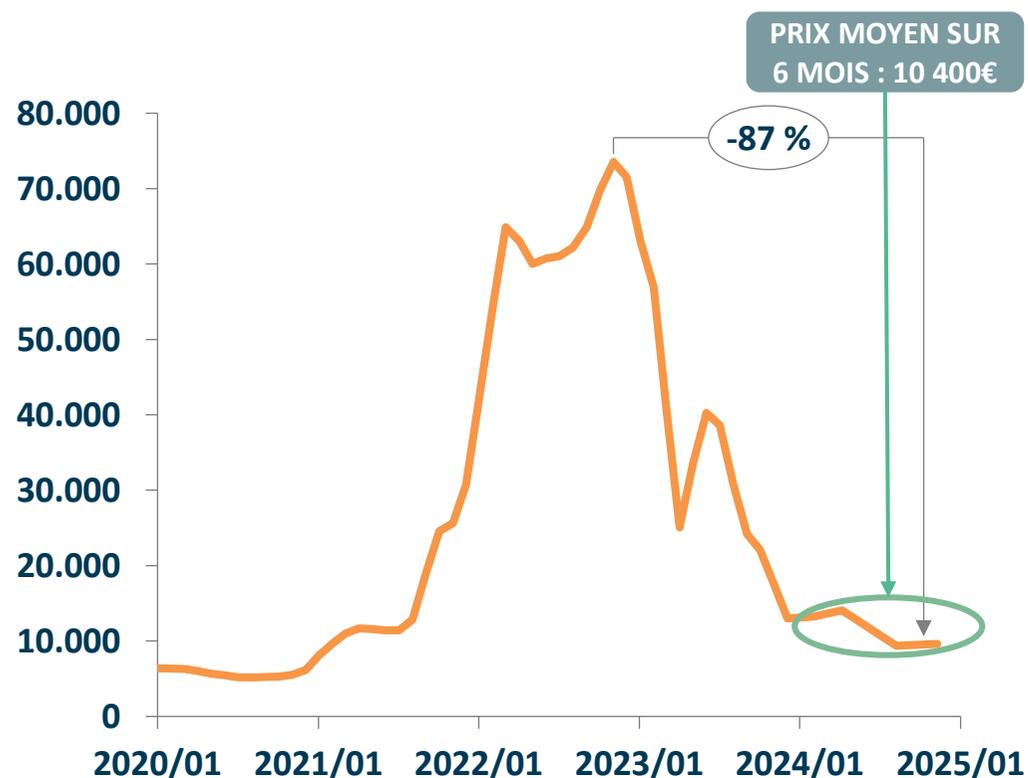
TYPE DE BATTERIES	ESTIMATION DE RÉCUPÉRATION POUR MISE EN CASCADE POUR LES VEHICULES ELECTRIQUES
NMC	20%
LFP	33%

CES BATTERIES SONT A DATE À PLUS DE 90% ISSUS DE SECTEURS À DURÉE DE VIE COURTES : MOBILITÉ LÉGÈRE; ÉLECTRONIQUE LÉGÈRE

Le haut prix du lithium pendant la période 2021-2024 a incité les acteurs à se positionner sur le recyclage, bénéficiant de conditions favorables

Prix du Lithium et recyclage

PRIX DU LITHIUM CARBONATE BATTERY GRADE | € par tonnes



— Prix - Lithium Carbonate Battery Grade

ZOOM SURCAPACITÉ DES ACTEURS DU RECYCLAGE

Entre mi 2021 et mi 2023, le fort prix du lithium rendait le recyclage de batterie LFP rentable. De nombreuses usines de recyclage se sont mises en place, avec des **capacités totales estimées supérieures à 1000 ktonnes/an** à fin 2023

TYPE DE DE CAPACITÉ - 2023	VOLUME – KTONNES/AN
Inconnu - Probablement rebuts de production	681 (e)
Ternaire	310 (e)
LFP	208 (e)
TOTAL	1200 (e)

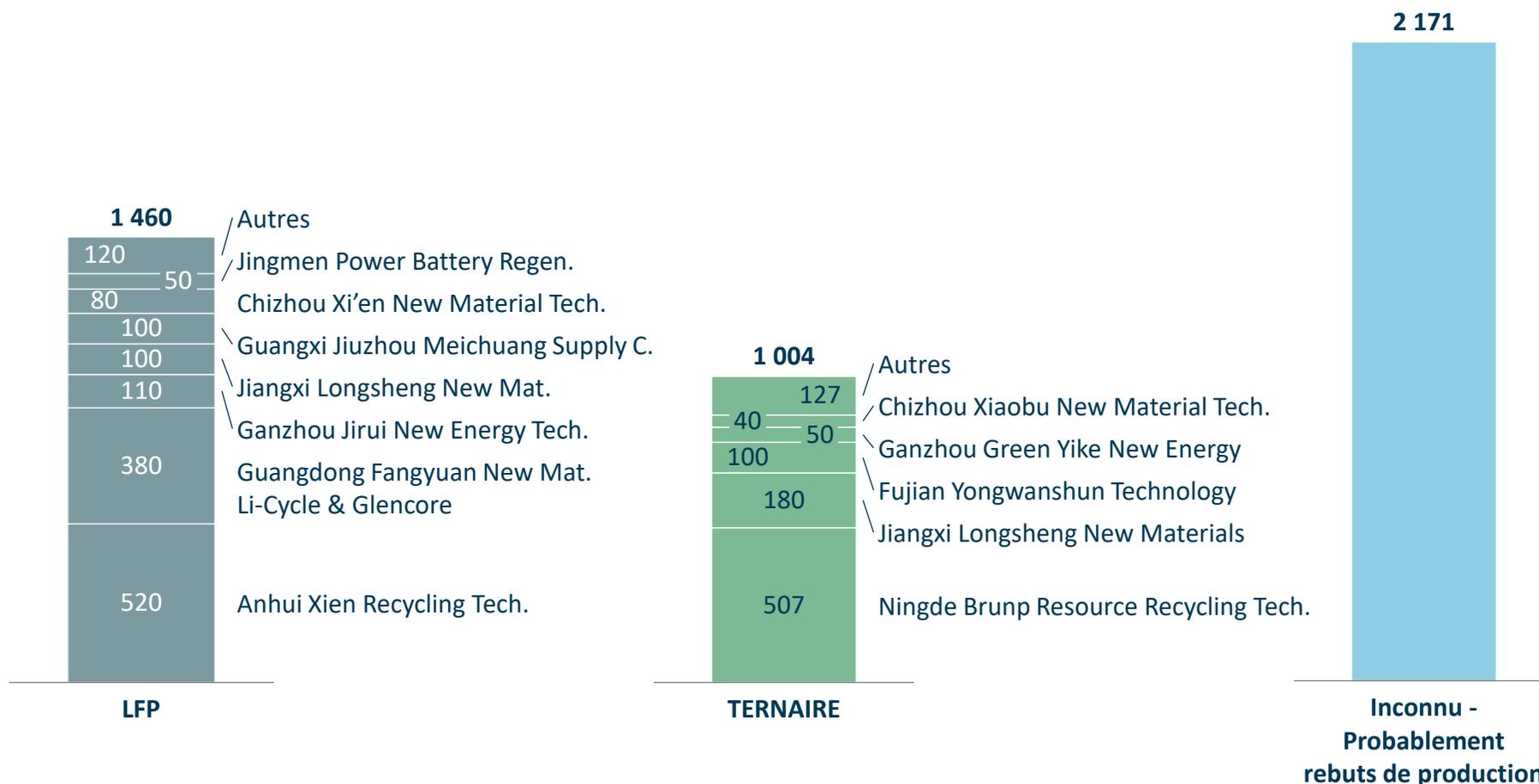
IL EXISTE UNE SITUATION DE SURCAPACITÉ DES USINES DE RECYCLAGE EN CHINE

Des projets de recyclage LFP ou ternaires ont été annoncés en Chine pour un volume d'intrants de 2 560 k tonnes par an. D'autres projets vont viser les rebuts

Recyclage | Capacité annoncée des projets LFP et ternaires en tonnes de batteries recyclées par an, Chine, 2024

EN COURS DE CONSOLIDATION

VOLUME – CAPACITÉ INSTALLÉE ET ANNONCES D'INSTALLATION DE CAPACITÉ DE RECYCLAGE EN CHINE PAR ACTEUR ET TYPE D'ENTRANTS | En milliers (k) de tonnes de batteries recyclées par an, capacité installée et annonces d'installation début 2024, non-exhaustif

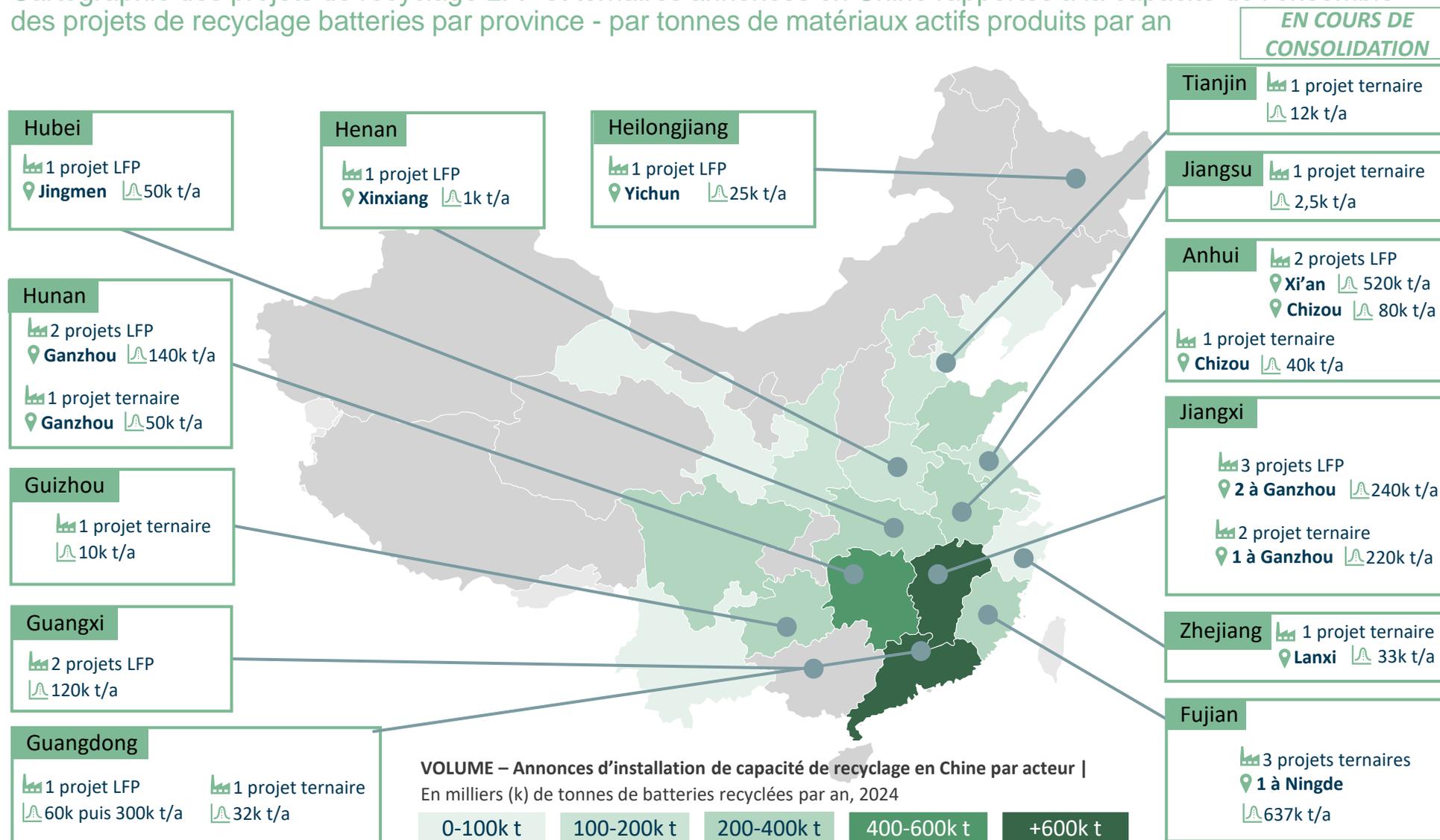


ATTENTION : LES INTRANTS POUR LES USINES DE RECYCLAGE PEUVENT ÊTRE DE NATURE DIFFÉRENTES ALLANT DES REBUTS DE PRODUCTION (CATHODES, ANODES), À DES PACKS/CELLULES/MODULES DE BATTERIES OU DE LA BLACK MASS

Source: Strat Anticipation, SMM, CBC, Sites et communiqués de presse des entreprises

Le recyclage LFP et ternaires devrait représenter une part croissante de l'ensemble des projets d'expansion en Chine

Cartographie des projets de recyclage LFP et ternaires annoncés en Chine rapportés à la capacité de l'ensemble des projets de recyclage batteries par province - par tonnes de matériaux actifs produits par an



Source: Battery News – Battery Active Materials in Europe (January 2024), recherche & analyse Strat Anticipation

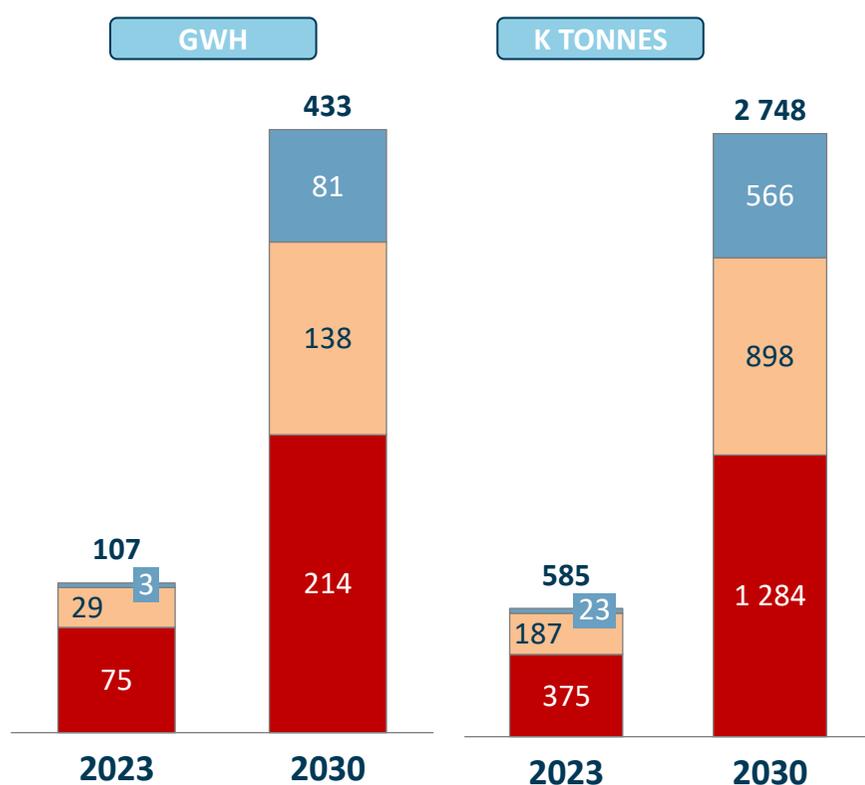
Les usines de recyclage en Chine tournent actuellement à 49% de leur capacité... Si les annonces se réalisent cette surcapacité va devenir structurelle

Recyclage | Batteries en fin de vie et capacité de recyclage

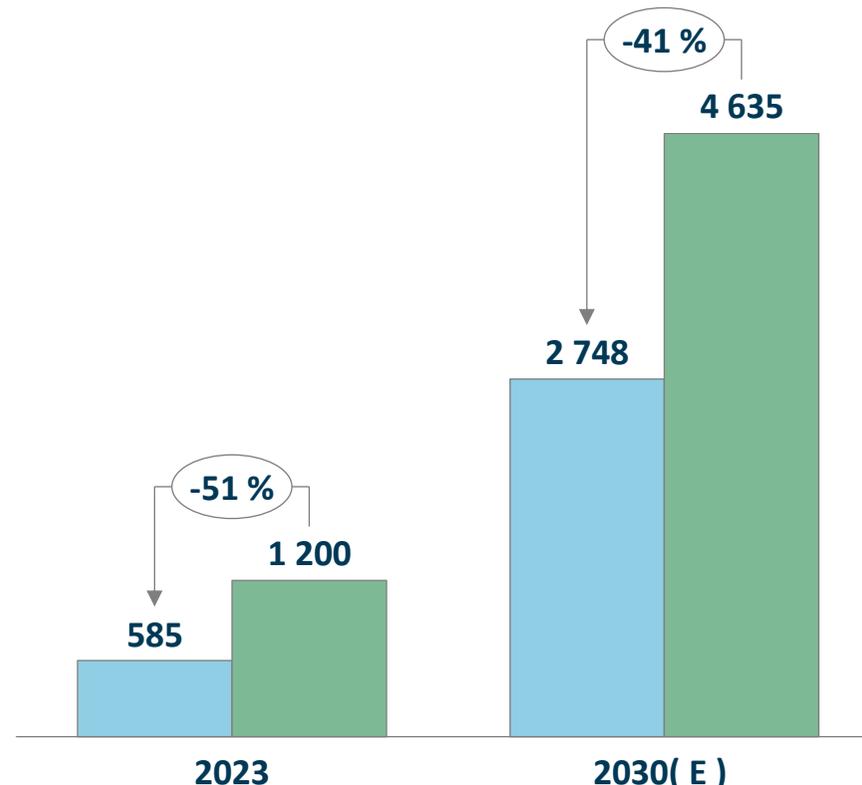
EN COURS DE CONSOLIDATION

BATTERIES EN FIN DE 1^{ère} VIE PAR TYPE DE BATTERIES ET REBUTS DE PRODUCTION | 2023-2030, GWh et équivalent ktonnes

CAPACITÉ DE RECYCLAGE INSTALÉE ET VOLUME ÉLIGIBLES AU RECYCLAGES | 2023 & estimation capacité 2030, ktonnes



- Batteries EOL - BEV et PHEV
- Batteries EOL - Autre Secteurs
- Batteries EOL - Rebuts



- Volume de batteries éligibles au recyclage
- Capacité Instalée et future

BEAUCOUP D'INCERTITUDES EXISTENT SUR LES CAPACITÉS INSTALLÉES, CAR CERTAINES GIGAFABRIQUES ONT DES FONCTIONNEMENTS INTÉGRANT LA GESTION DE REBUTS

Note: Les batteries du secteur de la mobilité légère et de l'électronique ont des durées de vie beaucoup plus courte que les BEV et PHEV
 Source: Modèles Strat Anticipation, SMM, Sites et communiqués de presse des entreprises

Le marché est organisé autour de la vente de black mass, pricé au LME à près de 70% de la valeur des sulfates de nickel & cobalt et de lithium carbonate contenus

— Marché organisé – Pricing de la black mass et des batteries / cellules

EN COURS DE
CONSOLIDATION

MARCHÉ ORGANISÉ DES DÉCHETS DE BATTERIES

DEUX PRODUITS COTÉS : BATTERIES/CELLULES VS BLACK MASS

Deux Méthodes de Pricing : Batteries/Cellules vs Black mass

- **Batteries & Cellules** : Prix fixes négociés selon les conditions du marché. Valorisation simple, basée sur des données agrégées.
- **Black mass**: Pricing basé sur les **tests de teneur en métaux** (nickel, cobalt, lithium). Approche technique, plus précise, adaptée aux fluctuations des matières premières.

ANCIENNE MÉTHODE DE PRICING – BASÉE SUR NICKEL & COBALT

Ancienne Méthode de Pricing de la Masse Noire ou Batteries/Cellules:

Focus sur le nickel et le cobalt : Prix fixés en fonction de leurs valeurs élevées sur le marché, un **coefficient unique de récupération** appliqué à ces deux métaux, pas de prise en compte du lithium, malgré son importance croissante.

Problèmes rencontrés : Volatilité des prix (ex. : flambée du lithium en 2022), répartition imprécise des coûts entre les différents métaux.

MÉTHODE ACTUELLE DE PRICING DE LA MASSE NOIRE.

Méthode Actuelle de Pricing de la Black Mass pour NMC :

Considération des prix basés sur les cours des métaux : Nickel, Cobalt, carbonate de lithium (tech grade), Chaque métal contenu dans la BM a son propre coefficient variable de valorisation selon les conditions de marché. Au plus haut les taux pouvaient atteindre ces valeurs : Nickel (71%), Cobalt (72%), Lithium (68%)

Méthode Actuelle de Pricing de la Black Mass pour LFP :

Le prix de la black mass LFP est déterminé en fonction du prix du lithium contenu et de l'offre et la demande.

LE MARCHÉ DE LA BLACK MASS EST STRUCTURÉ, AVEC UN COUT LIÉ AUX COUTS MÉTAUX SUR LE LME

AGENDA

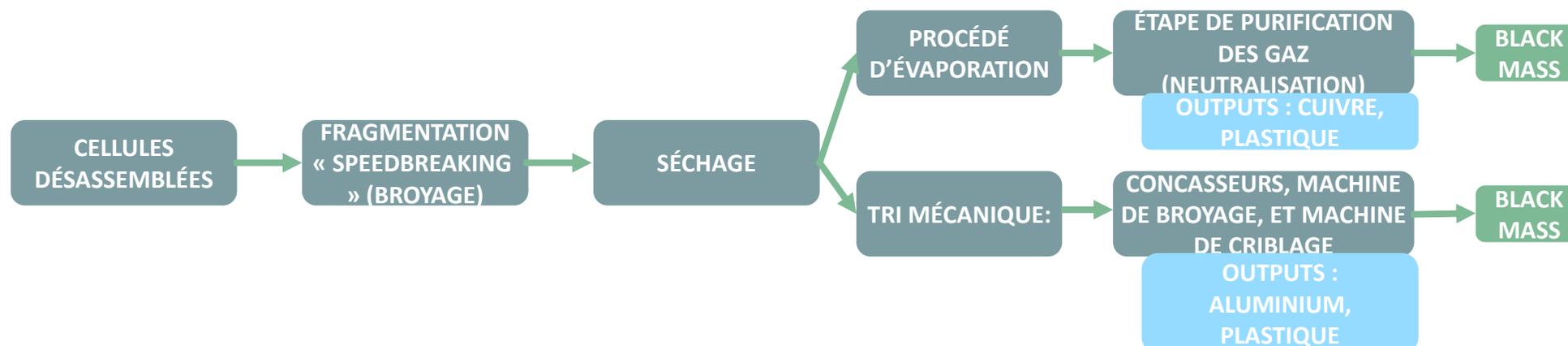
- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ ETAT DES LIEUX, CHAINE DE VALEUR ET ACTEURS
- ▶ **ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE**
 - ACTEURS ET PROCESSUS
 - **PROCESSUS ET COUTS DU RECYCLAGE – CAS DU LFP**
- ▶ REFLEXIONS SUR LA CHAINE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ ANNEXE A – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES A RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES A RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ ANNEXE D – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLES

La technologie dominante pour la transformation en BM des cellules LFP est la fragmentation électrique. D'autres méthodes utilisent un pré-traitement thermique

Recyclage du LFP – Pré-traitement

EN COURS DE
CONSOLIDATION

PRÉ-TRAITEMENT PAR FRAGMENTATION ÉLECTRIQUE



Avec les progrès technologiques, le **traitement par fragmentation électrique** est devenu la technologie principale pour la transformation des batteries LFP en black mass. Ce processus comprend la fragmentation, le séchage et la purification des gaz, suivis d'un tri mécanique à l'aide de concasseurs, de broyeurs et de machines de criblage

PRÉ-TRAITEMENT PAR TRAITEMENT THERMIQUE



En revanche, le tri par traitement thermique ajoute une étape de pyrolyse à haute température après la fragmentation initiale. Ce processus permet d'éliminer l'électrolyte et le séparateur par désorption thermique avant le broyage fin. L'azote (N₂) est introduit pour assurer la protection contre les explosions et les incendies.

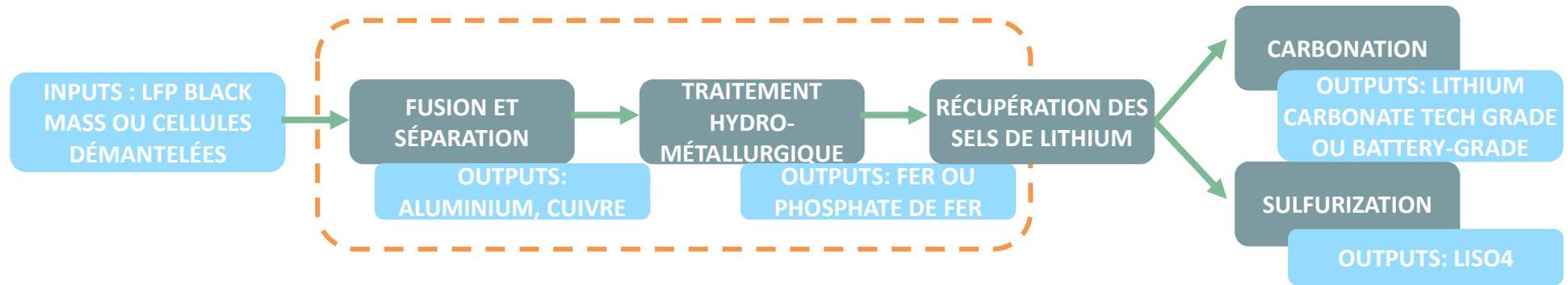
Des procédés de pyroméallurgie peuvent récupérer plus ou moins de lithium, ou récupérer également le phosphate de fer

EN COURS DE
CONSOLIDATION

Recyclage du LFP – Procédé du recyclage des cellules LFP - pyroméallurgie

PROCÉDÉ DE RECYCLAGE DES CELLULES LFP – PYROMÉALLURGIE

A



Fusion et séparation : Les déchets broyés sont soumis à une fusion à haute température. En raison de la stabilité thermique du phosphate de fer lithié, cette étape nécessite des températures élevées et des flux spécifiques. Au cours de la fusion, le lithium est séparé des autres éléments métalliques, formant des sels de lithium adaptés à une extraction ultérieure.

Traitement hydro métallurgique : Le matériau restant subit une lixiviation acide à l'aide d'acide sulfurique, d'acide chlorhydrique ou de solutions de chlorure pour dissoudre le lithium du phosphate de fer lithié stable. Cette opération sépare le lithium du fer et produit une solution riche en lithium.

Deux types d'approche existent dans l'étape de traitement hydro métallurgique:

- A.1** - Traitement léger : Il consiste en une simple récupération du lithium à l'aide d'acide sulfurique, avec des taux de récupération de l'ordre de 65%
- A.2** - Traitement avancé : Il inclut la récupération du phosphate de fer et plusieurs étapes supplémentaires pour maximiser la récupération du lithium.

Le LFP peut aussi être affiné via de l'hydrométallurgie par purification et lixiviation. Du phosphate de fer battery-grade est récupéré

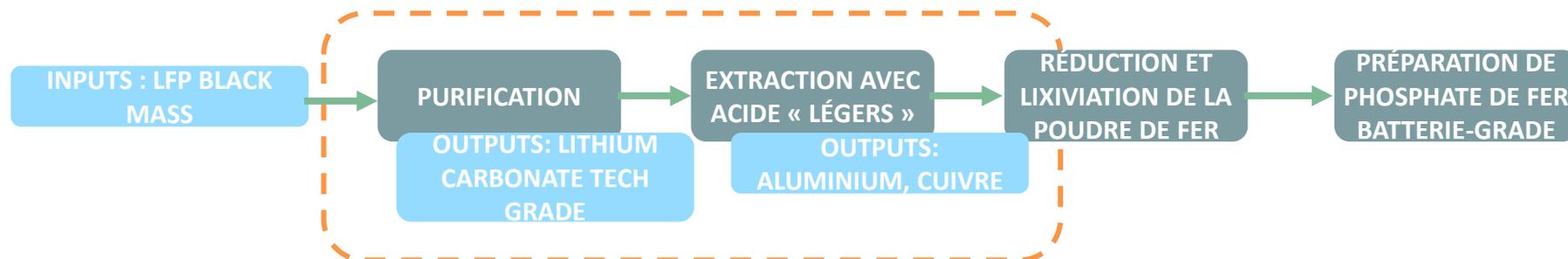
EN COURS DE
CONSOLIDATION

Recyclage du LFP – Procédé du recyclage des cellules LFP - Hydrométallurgie

PROCÉDÉ DE RECYCLAGE DES CELLULES LFP – HYDROMETALLURGIE PURE : PURIFICATION ET LIXIVIATION

B

Dans le processus de recyclage des déchets LFP, la principale valeur de récupération réside dans le carbonate de lithium et le phosphate de fer. Entre 2021 et 2023, la plupart des entreprises de recyclage se concentraient fortement sur la récupération du carbonate de lithium, qui représentait plus de 90 % de la valeur résiduelle. Cependant, avec la baisse actuelle du prix du lithium, les entreprises accordent désormais plus d'attention à la récupération du phosphate de fer.



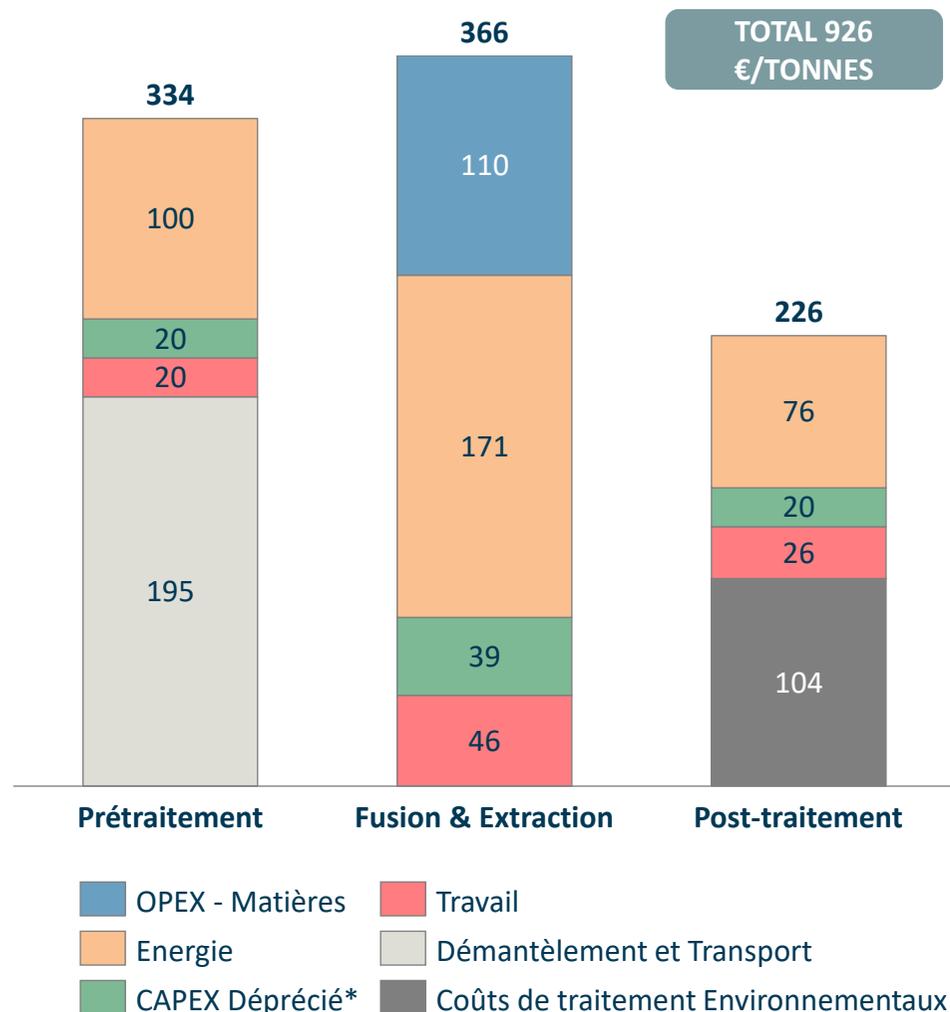
Pour un procédé avec fusion et extraction simple, les coûts de fonctionnements sont couverts par les ventes matière pour un prix du lithium supérieur à 17 900 €/kg

EN COURS DE
CONSOLIDATION

A.1

Modèle de coûts – procédé de recyclage du LFP

PROCÉDÉ DE RECYCLAGE DES CELLULES LFP – PYRO + EXTRACTION –
COÛTS DÉCOMPOSÉS, €/Tonne



RENTABILITÉ D'UN PROCESSUS PYRO + EXTRACTION EN CHINE

Ce procédé de recyclage des batteries LFP utilise la fusion pour séparer les métaux des scories. Les scories, riches en lithium, sont ensuite traitées avec de l'acide sulfurique pour extraire le lithium sous forme de sulfate. Les OPEX – Matières sont principalement de l'acide sulfurique.

Les coûts sont décrits sans achat des batteries intrantes.

ENTRANTS	RENDEMENTS ET SORTANTS
Packs de batteries LFP	65%, Lithium Sulfate

COÛTS €/tonnes	GAINS €/tonnes		
	Prix LC €/tonnes	Gains vente matière	Total
926€ / tonnes	10400	538	-388
	13000	673	-253
	17901	927	0
	26000	1346	420

LE PRIX DES BATTERIES LFP ENTRANTES DÉPENDS DU COUT DU LITHIUM ET DE L'OFFRE ET LA DEMANDE ET DONC DES COÛTS DES PROCÉDÉS DE RECYCLAGE LES PLUS PERFORMANTS. ELLES VALAIENT PRÈS DE 250€/TONNES MI-2021, ET 3700€/TONNES MI-2022

Note : Le CAPEX a été déprécié sur 10 ans
Source: CBC, SMM, Modèles de couts Strat Anticipation

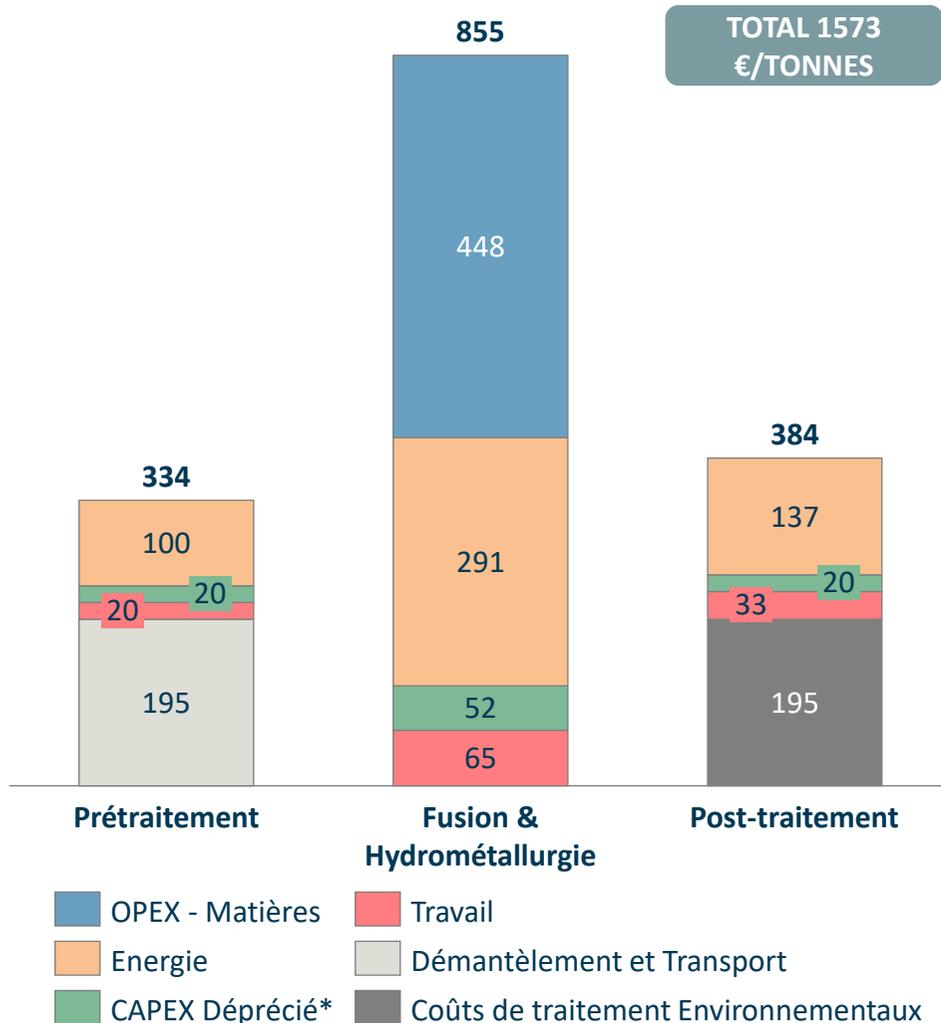
Pour un procédé avec fusion et hydrométallurgie, les coûts de fonctionnements sont couverts par les ventes matière pour un prix du lithium supérieur à 16 100 €/kg

EN COURS DE
CONSOLIDATION

A.2

Modèle de coûts – procédé de recyclage du LFP

PROCÉDÉ DE RECYCLAGE DES CELLULES LFP – PYRO +
HYDROMETALLURGIE – COÛTS DÉCOMPOSÉS, €/Tonne



RENTABILITÉ D'UN PROCESSUS PYRO + HYDRO EN CHINE

Ce procédé de recyclage traite des cellules LFP, avec une étape de fusion et de l'hydrométallurgie utilisant entre autres du Carbonate de soude, de l'Acide sulfurique, du Peroxyde d'hydrogène, du Kérosène sulfone, du phosphate de dioctyle, du phosphine diéthyle afin de récupérer plus de lithium et du phosphate de Fer. **Les coûts sont décrits sans achat des batteries intrantes.**

INTRANTS	RENDEMENTS ET SORTANTS
Packs de batteries LFP	90%, Lithium Sulfate
	95%, Phosphate de Fer

COÛTS €/tonnes	GAINS €/tonnes		
	Prix LC €/tonnes	Gains vente matière*	Total
1573€ / tonnes	10 400	1166	-407
	13 000	1352	-221
	16 087	1573	0
	26 000	2284	711

*dont 420€ de gain lié à la vente de Phosphate de Fer et autres valorisation matière, avec un prix de référence du Phosphate de Fer à 1360€/tonnes

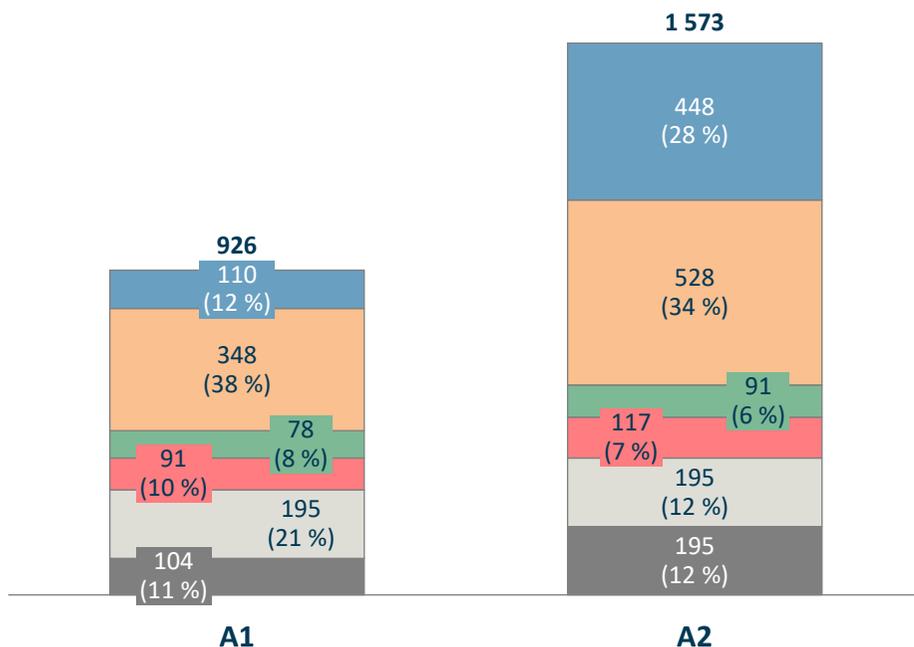
Note : Le CAPEX a été déprécié sur 10 ans
Source: CBC, SMM, Modèles de couts Strat Anticipation

Les principaux facteurs de coûts dans un processus de recyclage LFP sont liés à l'OPEX et au cout de l'énergie

Prix du Lithium et limite de rentabilité des processus de recyclage

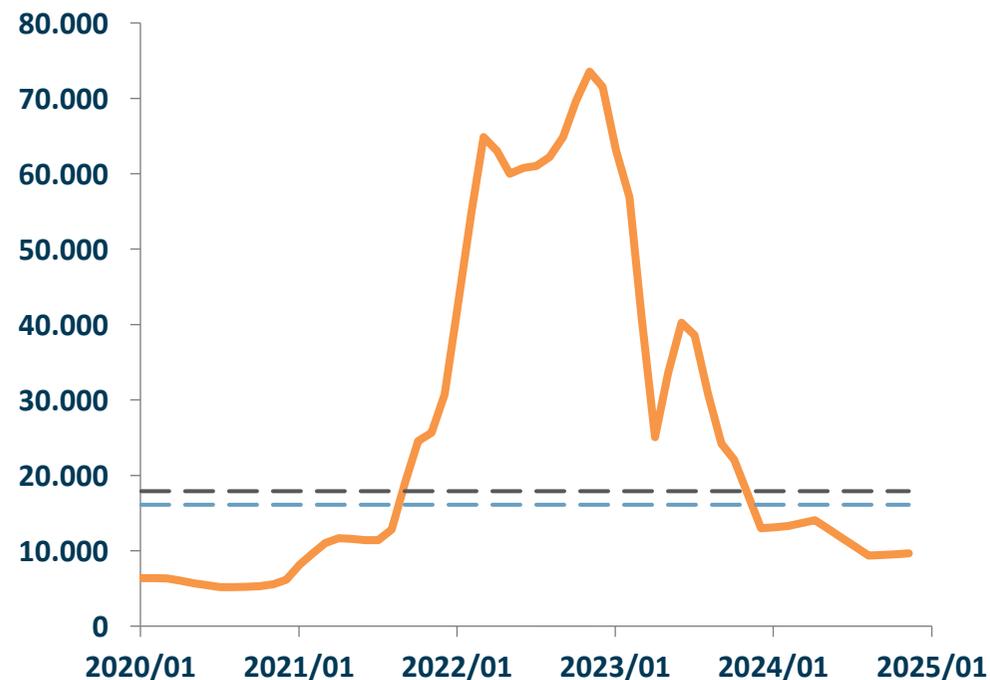
EN COURS DE CONSOLIDATION

STRUCTURE DE COUTS DE FONCTIONNEMENT POUR LE RECYCLAGE LFP | € par tonnes



- OPEX - Matières
- Energie
- CAPEX Déprécié*
- Travail
- Démantèlement et Transport
- Coûts de traitement Environnementaux

PRIX DU LITHIUM CARBONATE ET BREAKEVEN DES COUTS DE FONCTIONNEMENT DU RECYCLAGE | € par tonnes



Prix - Lithium Carbonate Battery Grade — A.1 — A.2

Note : Le CAPEX a été déprécié sur 10 ans
Source: CBC, SMM, Modèles de couts Strat Anticipation

AGENDA

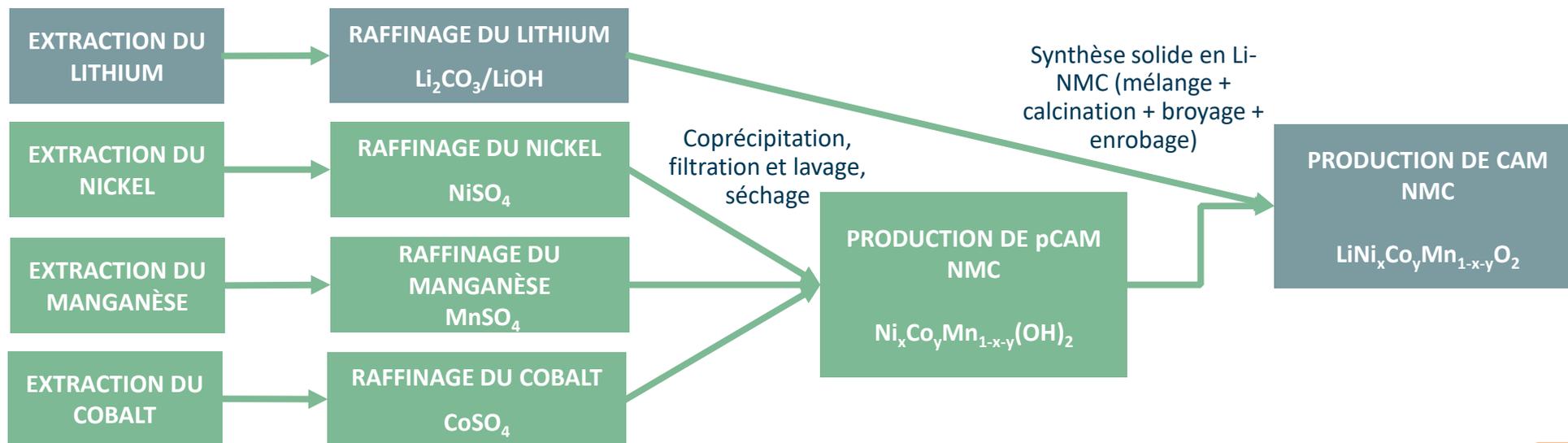
- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ ETAT DES LIEUX, CHAINE DE VALEUR ET ACTEURS
- ▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE
- ▶ **REFLEXIONS SUR LA CHAÎNE DE VALEUR DES BATTERIES**
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ ANNEXE A – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES A RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES A RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ ANNEXE D – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLES

Les procédés de production de pCAM puis de CAM NMC et LFP sont différents

Chaînes de valeur des pCAM et CAM NMC et LFP

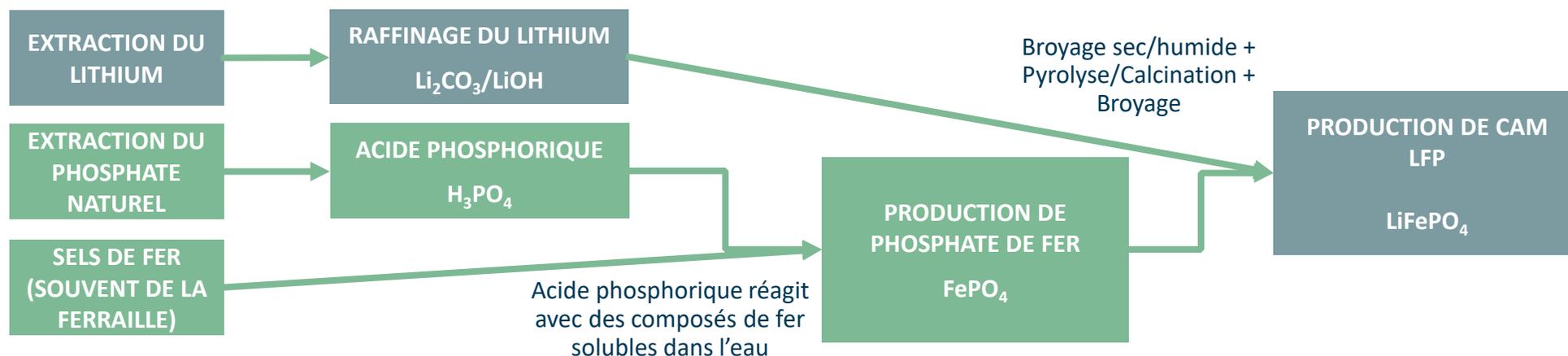
A

CHAÎNE DE VALEUR pCAM ET CAM NMC



B

CHAÎNE DE VALEUR CAM LFP



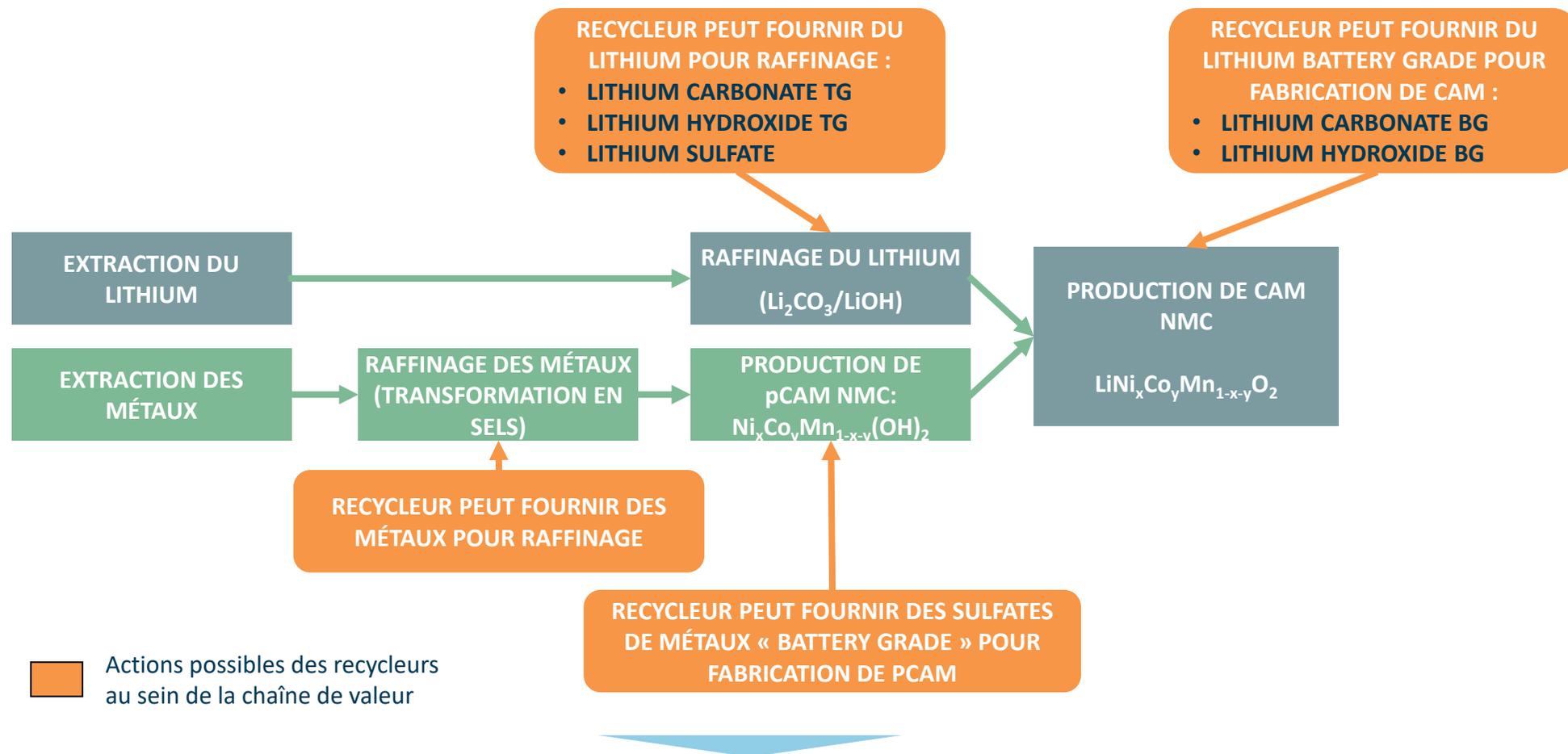
Source: PEM Aachen brochure: *Production of Lithium-ion battery Cell components* (2023 Edition), recherche & analyse Strat Anticipation

Les recycleurs vont fournir des métaux qui ont besoin d'être raffinés ou des sulfates de métaux battery-grade pour la préparation de pCAM

Chaîne de valeur des pCAM et CAM NMC

A

CHAÎNE DE VALEUR pCAM ET CAM NMC AVEC RECYCLEUR



 Actions possibles des recycleurs au sein de la chaîne de valeur

LE RECYCLEUR A POUR CLIENTS DES RAFFINEURS, DES FABRICANTS DE PCAM ET DES FABRICANTS DE CAM. LE RECYCLEUR À TOUJOURS BESOIN DE FABRICANT DE CAM POUR COMMERCIALISER SES PRODUITS.

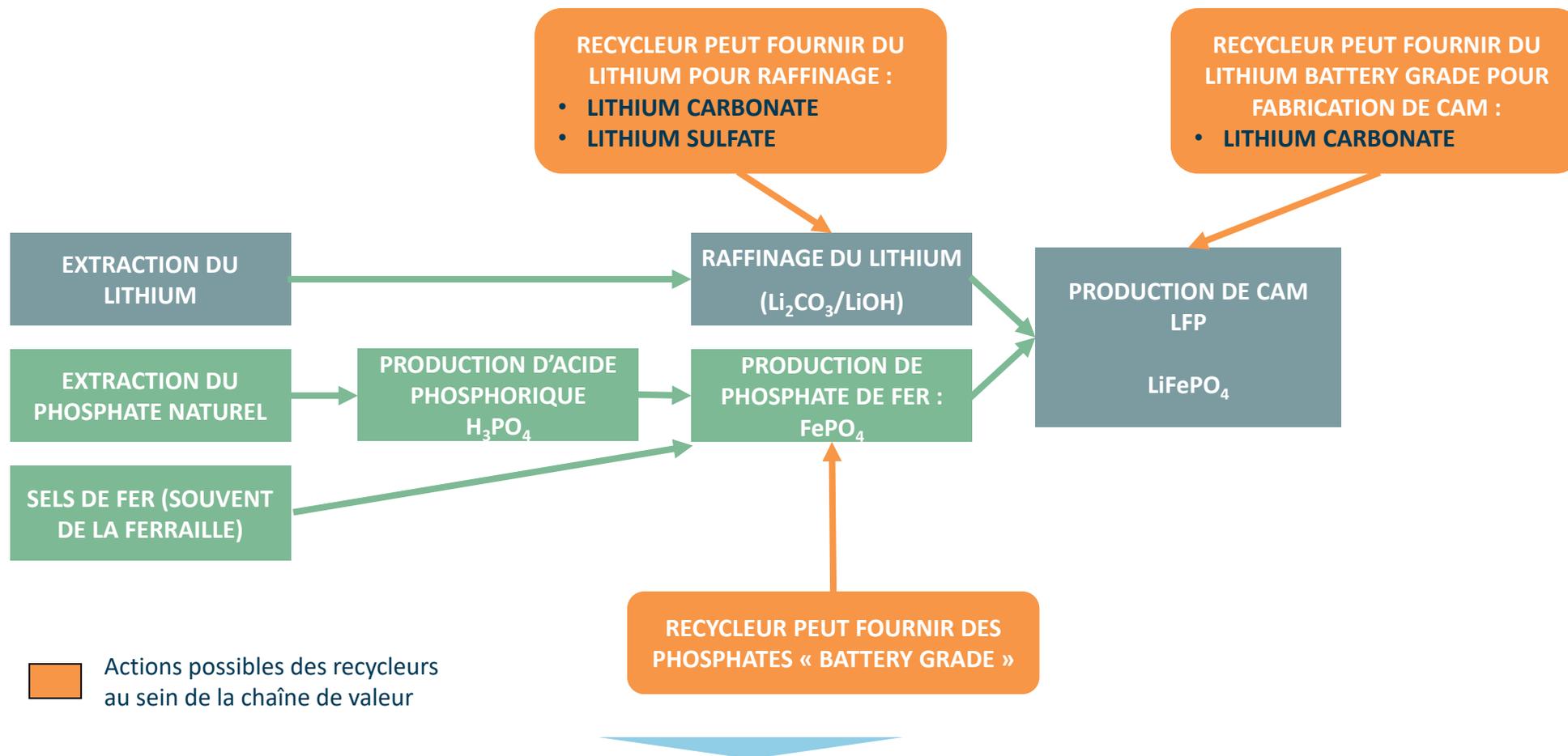
Note : BG = Battery Grade; TG = Technical Grade
Source: Analyse Strat Anticipation

Les recycleurs de LFP vont fournir du lithium pour raffinage ou directement pour production de CAM

Chaîne de valeur du CAM LFP

B

CHAÎNE DE VALEUR CAM LFP AVEC RECYCLEUR



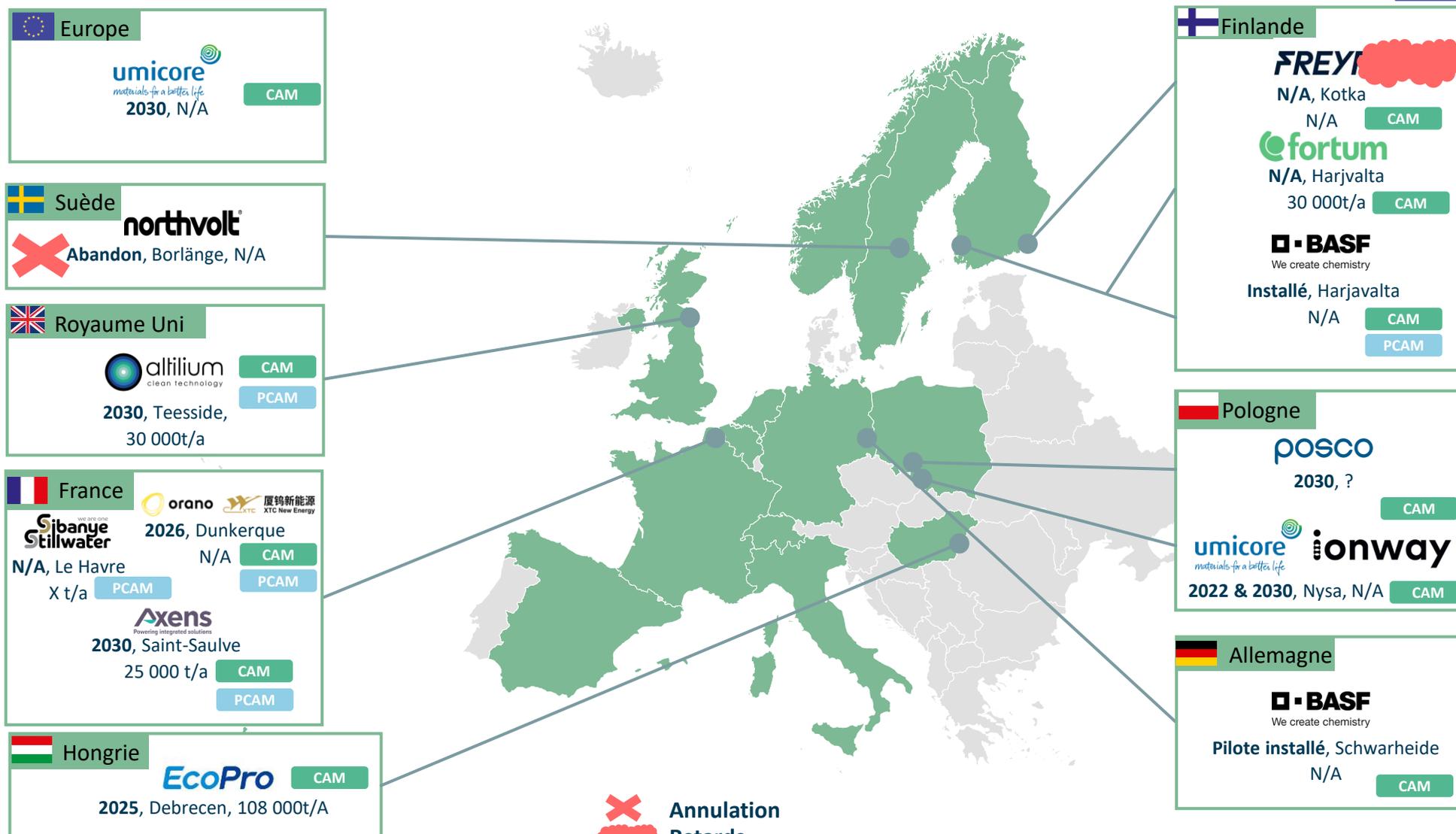
LE RECYCLEUR A POUR CLIENTS DES RAFFINEURS DE LITHIUM, DES FABRICANTS DE PCAM ET DES FABRICANTS DE CAM.
LE RECYCLEUR A TOUJOURS BESOIN DE FABRICANT DE CAM POUR COMMERCIALISER SES PRODUITS.

Note : BG = Battery Grade; TG = Technical Grade
Source: Analyse Strat Anticipation

Plus de 10 projets de matériaux actifs de cathodes (CAM) & précurseurs ont été annoncés en UE, la plupart à un niveau de développement peu mature

Cartographie des projets CAM annoncés en Europe - par tonnes de matériaux actifs produits par an

EN COURS



Note: Volumes de production en tonnes par an
 Source: Battery News – Battery Active Materials in Europe (January 2024), recherche & analyse Strat Anticipation

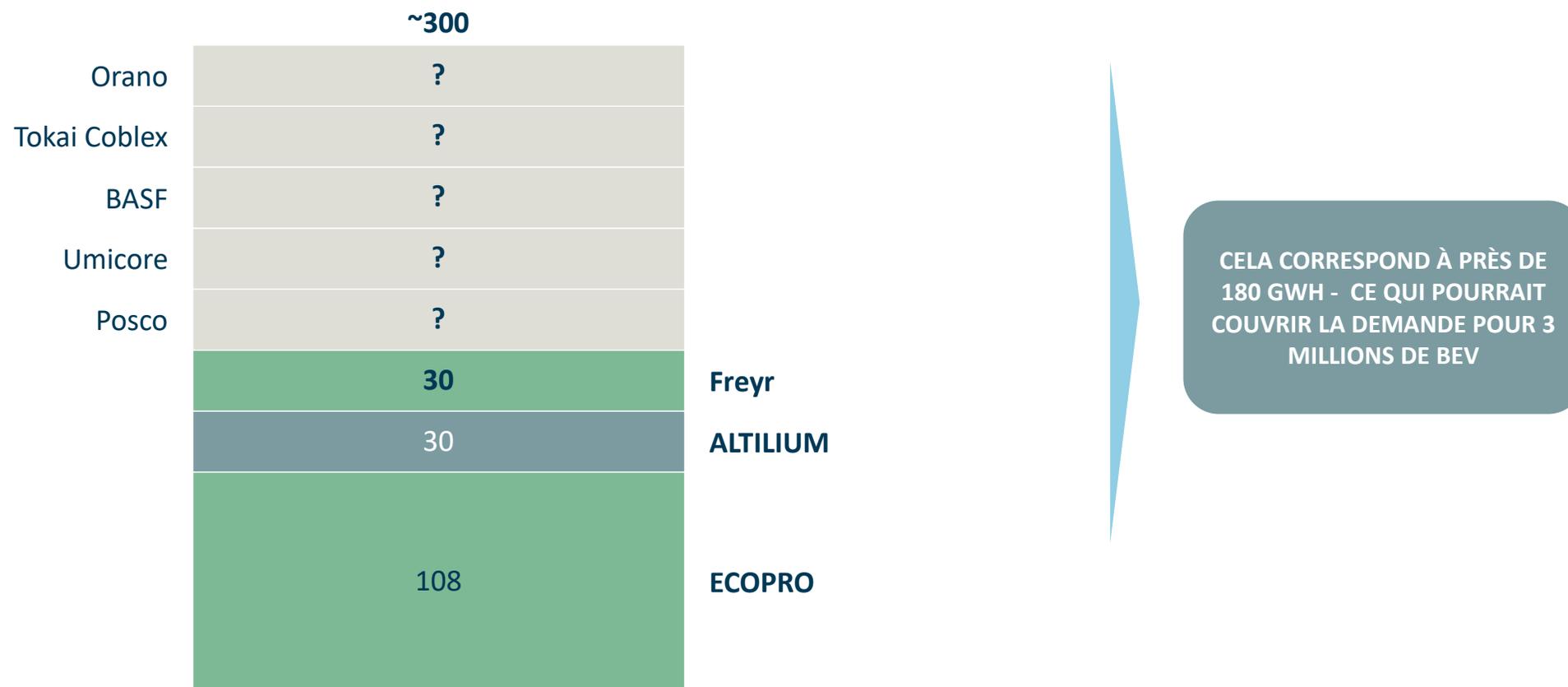
Les projets de CAM annoncés ne suffiront pas à couvrir la demande européenne. Le marché de la fabrication de CAM est très peu mature en Europe

Recyclage | Annonce de la capacité de CAM de l'entreprise en milliers de tonnes par an, Europe, 2024

EN COURS

ANNONCES D'INSTALLATION DE CAPACITÉ DE PRODUCTION DE CAM EN EUROPE PAR ACTEUR |

En k tonnes de CAM produits par an, 2024, 10 acteurs connus et emplacement des usines, non-exhaustif



CELA CORRESPOND À PRÈS DE 180 GWH - CE QUI POURRAIT COUVRIR LA DEMANDE POUR 3 MILLIONS DE BEV

Capacité Annoncée en k t/a

TABLE D'HYPOTHÈSE	TYPE DE BATTERIE	STOCHIOMETRIE	KG DE CAM/KWH	PERTES SUR LA CHAÎNE DE VALEUR
	NCM 622	LiNi0.6Mn0.2Co0.2O2	1,55	17%
	NCM 811	LiNi0.8Mn0.1Co0.1O2	1,4	
	LFP	LiFePO4	2,4	
	NMX	LiNi0.5Mn1.5O4	1,9	

Source: Battery News – Battery Active Materials in Europe (January 2024), recherche & analyse Strat Anticipation

AGENDA

- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ ETAT DES LIEUX, CHAINE DE VALEUR ET ACTEURS
- ▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE
- ▶ REFLEXIONS SUR LA CHAINE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ **SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE**
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ ANNEXE A – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES A RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES A RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ ANNEXE D – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLES

Un certain nombre de conditions ne sont pas réunies à court terme pour les projets d'affinage de batteries NMC en UE. Sans ces conditions, l'affinage se fera en Asie

Conditions pour le développement d'une industrie du recyclage - NMC

NMC

LES CONDITIONS NE SONT PAS RÉUNIES À COURT TERME POUR LANCER DES PROJETS D'AFFINAGE DE BATTERIES NMC EN EUROPE

A
LE RECYCLAGE DOIT SE DÉVELOPPER GRÂCE AUX REBUTS DE PRODUCTION DES GIGAFATORIES POUR ATTEINDRE UNE ÉCHELLE CRITIQUE À MOYEN TERME, CE QUI EST CONDITIONNÉ AU BON DÉVELOPPEMENT DES GIGAFATORIES EUROPÉENNES

B
L'AFFINAGE EN EUROPE EST CONDITIONNÉ AU MAINTIEN DU GISEMENT SUR LE SOL EUROPÉEN

C
L'AFFINAGE EN EUROPE EST ÉGALEMENT CONDITIONNÉ À LA MISE EN PLACE DE PROJETS LOCAUX DE FABRICATION DE CAM, PCAM ET DANS UNE MOINDRE MESURE DE RAFFINAGE DE LITHIUM. L'AFFINAGE EST AINSI CONDITIONNÉ À LA CONSTRUCTION COMPLÈTE D'UNE CHAÎNE DE VALEUR DE LA BATTERIE

D
L'AFFINAGE FAIT FACE À LA CONCURRENCE DES RECYCLEURS CHINOIS ET CORÉENS, QUI DISPOSENT D'UNE ÉCHELLE INDUSTRIELLE, ONT DÉJÀ AMORTI UNE PARTIE DE LEUR CAPEX, BÉNÉFICIENT D'UNE ÉNERGIE MOINS COÛTEUSE, D'UNE CHAÎNE DE VALEUR BIEN DÉVELOPPÉE POUR LES INTRANTS CHIMIQUES, AINSI QUE DE LA PROXIMITÉ D'ACTEURS DU CAM ET PCAM. CERTAINS DE CES ACTEURS PEUVENT TRAVAILLER À PERTE

Un certain nombre de conditions ne sont présentes ni à court terme ni à moyen terme pour les projets d'affinage de batteries LFP en Europe

Conditions pour le développement d'une industrie du recyclage - LFP

LFP

LES CONDITIONS NE SONT PAS RÉUNIES NI À COURT NI À MOYEN TERME POUR LANCER DES PROJETS D'AFFINAGE DE BATTERIES LFP EN EUROPE

A
LE RECYCLAGE DOIT SE DÉVELOPPER GRÂCE AUX REBUTS DE PRODUCTION DES GIGAFATORIES POUR ATTEINDRE UNE ÉCHELLE CRITIQUE À MOYEN TERME, CE QUI EST CONDITIONNÉ AU BON DÉVELOPPEMENT DES GIGAFATORIES EUROPÉENNES

B
L'AFFINAGE EN EUROPE EST ÉGALEMENT CONDITIONNÉ AU MAINTIEN DU GISEMENT SUR LE SOL EUROPÉEN

C
L'AFFINAGE EN EUROPE EST ÉGALEMENT CONDITIONNÉ À LA MISE EN PLACE DE PROJETS LOCAUX DE FABRICATION DE CAM, PCAM ET DANS UNE MOINDRE MESURE DE RAFFINAGE DE LITHIUM. L'AFFINAGE EST AINSI CONDITIONNÉ À LA CONSTRUCTION COMPLÈTE D'UNE CHAÎNE DE VALEUR DE LA BATTERIE

D
L'AFFINAGE FAIT FACE À LA CONCURRENCE DES RECYCLEURS CHINOIS ET CORÉENS, QUI DISPOSENT D'UNE ÉCHELLE INDUSTRIELLE, ONT DÉJÀ AMORTI UNE PARTIE DE LEUR CAPEX, BÉNÉFICIENT D'UNE ÉNERGIE MOINS COÛTEUSE, D'UNE CHAÎNE DE VALEUR BIEN DÉVELOPPÉE POUR LES INTRANTS CHIMIQUES, AINSI QUE DE LA PROXIMITÉ D'ACTEURS DU CAM ET PCAM. CERTAINS DE CES ACTEURS PEUVENT TRAVAILLER À PERTE

E
LES ACTEURS CHINOIS ONT UNE AVANCE ENCORE PLUS IMPORTANTE POUR L'AFFINAGE LFP

F
LE CADRE LÉGISLATIF N'EST PAS ADAPTÉ AU LFP

Cependant, des risques nombreux existent pour la mise en place d'une filière Européenne du recyclage.

Recyclage | Risques pour le marché

A

EXPORT DU GISEMENT POTENTIEL

- ▶ Export des batteries en fin de vie, limitant les matières premières recyclables en Europe
- ▶ Export du scrap des Gigafactories asiatiques implantées en Europe, ce qui est la situation actuelle
- ▶ Perte de flux critiques pour alimenter les recycleurs européens pour le scale-up des projets

B

ANNULATION ET REPORT DE GIGAFATORIES

- ▶ Annulations ou reports de Gigafactories, réduisant les volumes de scrap disponibles pour les recycleurs.
- ▶ Impact direct sur le gisement potentiel des usines de recyclage en partenariats avec ces usines.
- ▶ Absence de visibilité à long terme pour les investisseurs

C

VIABILITÉ ÉCONOMIQUE DU RECYCLAGE ET CONCURRENCE CHINOISE

- ▶ Difficulté à atteindre des économies d'échelle en Europe, difficulté d'obtenir de l'énergie à bas coût
- ▶ Coûts élevés de recyclage et faible rentabilité sur certains produits notamment les chimies LFP
- ▶ Usines chinoises en sous-capacité en Chine offrant des solutions efficaces aux acteurs Européens

D

INCERTITUDES TECHNOLOGIQUES & CHAINONS MANQUANTS

- ▶ Mismatch entre la chimie des batteries produites et celles en fin de vie.
- ▶ Chaîne de valeur de la production de batteries incomplète en Europe (pCAM, CAM). Problème de raffinage pour transformer les produits issus du recyclage en qualité « Battery Grade ».
- ▶ Evolution technologique des batteries qui pourraient conduire à des obstacles à l'intégration des matériaux recyclés

AGENDA

- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ ETAT DES LIEUX, CHAINE DE VALEUR ET ACTEURS
- ▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE
- ▶ REFLEXIONS SUR LA CHAINE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ **SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS**
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ ANNEXE A – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES A RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES A RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ ANNEXE D – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLES

Les sujets clés sont issus des 10 entretiens menés avec des acteurs impliqués dans la production et le recyclage des batteries

EN COURS

Batteries - Sujets clés remontant des interviews (1/2)

PERIMETRE

- ▶ **Collecte et recyclage des batteries NMC**
- ▶ **Pas de modèle économique en UE sur le recyclage du LFP** - se recycle en Chine.

REGLEMENTATION

- ▶ **Changements trop fréquents**, complexité de tenir une trajectoire (DGPE, DREAL, CVEZO)
- ▶ **Règlement batterie 2031**
 - **Quantités de matériaux recyclés en 2031-2036** : atteindre et prouver la quantité de matière recyclée. **Crainte : A quel tarif va-t-on pouvoir accéder aux matières recyclées ?**
 - Manque de clarté et de contrôle dans les méthodes de calcul
- ▶ **Harmonisation des réglementations** : pas les même réglementations et exigences environnementales entre les acteurs de la chaîne et entre les pays d'Europe : risque de fuite de l'industrie
- ▶ **Pas de capacité de stockage validé 27-18** en France. (Allemagne et Belgique en ont)

MATURITE TECHNOLOGIQUE

- ▶ **Pyrométallurgie** : consomme CO2, détruit le PFAS
- ▶ **Hydrométallurgie** : moins de CO2, bcp de solvants, rejets de sulfate. **Nombreux projets** alors que les technologies existantes sont plutôt sur la Pyrométallurgie.
- ▶ Bio-leaching : faible impact environnemental
- ▶ **Le recyclage des batteries n'est pas rentable** : batteries sont de moins en moins démontables et extrêmement chères et compliquées à transporter
- ▶ **En boucle fermée sur une batterie LFP** : extraction depuis l'anode d'un lithium à 99,4% de pureté, besoin de 99,8% pour l'auto : la qualité des métaux recyclés doit être « Battery grade »

MATURITE INDUSTRIELLE

- ▶ **Peu d'acteurs en Europe sont capables de recycler la diversité (familles de chimie) et les volumes** de déchets générés
- ▶ Il n'y a pas d'usine de raffinage en Europe
- ▶ **Le retard des ventes de VE et la diversité des acteurs mettent en péril de nombreux projets** de Gigafactories, donc de centres de recyclage
- ▶ **Mutualiser les investissements** pour des projets pilotes de recyclage des batteries.

LA VOLONTÉ DE RÉDUIRE LE POIDS DES BATTERIES ENTRAÎNENT LES ACTEURS À RÉDUIRE LEUR CAPACITÉ DE DÉMONTAGE CE QUI REPRÉSENTE UN FREIN MAJEUR À LEUR RECYCLABILITÉ

Les sujets clés sont issus des 10 entretiens menés avec des acteurs impliqués dans la production et le recyclage des batteries

EN COURS

Batteries - Sujets clés remontant des interviews (2/2)

DEMANDE DONNEURS D'ORDRE

- ▶ **Développer l'accès aux matières premières, le recyclage et la purification du lithium en Europe** pour faire face à la concurrence chinoise qui est mature sur l'ensemble de la chaîne de valeur et contrôle l'accès au lithium : **projet de mines à Strasbourg et dans l'Allier**
 - Créer une centrale d'achat de matière première en Europe ?
 - Permettre aux industries locales (France et Europe) d'avoir le cadre nécessaire pour se développer et arriver à une économie d'échelle, pénaliser les flux hors Europe si une solution européenne existe ?

FLUX MATIERES, PIECES, SYSTEMES & VEHICULES

- ▶ **Problème de transport de déchets dangereux** : un grand nombre de batteries sont stockées en centre VHU car transport et traitement sont très chers. (+ de 2000€)
- ▶ Traverser les frontières est très complexe : **le pré-traitement doit être réalisé dans le pays où se trouvent les gigafactories**
- ▶ Historiquement **le prétraitement de la Black mass se fait en Europe, et le recyclage en Asie**, cela est en train de changer avec le développement de projets tels que ceux d'UMICORE et BASF, ainsi que l'arrivée de nouveaux acteurs, notamment des **start-up**, dans le recyclage de la black mass.

ETATS DES LIEUX (% MATIERES RECYCLEES)

- ▶ Pas de contenu recyclé dans les batteries fabriquées en Europe
- ▶ Des batteries solides existent avec un taux de recyclabilité de 95% , utilisant de la céramique entre la cathode et l'anode
- ▶ Manque de fabricants de matériaux actifs et de raffinage de métaux en Europe.

ETUDES A ANALYSER

- ▶ A compléter

L'INCORPORATION DE MATIÈRES RECYCLÉES DANS LES BATTERIES EST SYNONYME DE SOUTIENT AU DÉVELOPPEMENT DE L'INDUSTRIE DE PURIFICATION DU LITHIUM ET DE RECYCLAGE AU NIVEAU LOCAL

AGENDA

- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ ETAT DES LIEUX, CHAINE DE VALEUR ET ACTEURS
- ▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE
- ▶ REFLEXIONS SUR LA CHAINE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS

▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION

- ▶ ANNEXE A – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES A RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES A RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ ANNEXE D – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLES



Les études et les entretiens suggèrent les sujets clés à traiter dans la phase 2 du projet : régulation (transport, fin de vie), sécurisation du gisement, démontage

Sujets clés – Batteries

DEFINIR DE MANIÈRE PRÉCISE LES INDICATEURS, FAVORISER LE TRANSPORT DU SCRAP/BATTERIES & ASSURER LA TRACABILITÉ POUR L'HOMOLOGATION

SECURISER LE SCRAP DE PRODUCTION POUR ASSURER LA BOUCLE FERMÉE & CONSTRUIRE UNE INDUSTRIE EUROPÉENNE DU RECYCLAGE DES BATTERIES

METTRE EN PLACE LES CONDITIONS POUR UN DÉMONTAGE, STOCKAGE & TRANSPORT DES PACKS DE BATTERIES EN VHU

DÉMONTÉ LES PACKS JUSQU'À LA CELLULE & OUVRIR LES CELLULES AFIN D'EXTRAIRE LES ÉLECTRODES

AMÉLIORER LA MATURITÉ DE L'HYDROMÉTALLURGIE & DU RECYCLAGE DIRECT & ÉVALUER LES COÛTS DE TRAITEMENT PAR CHIMIE

DÉVELOPPER DES NOUVELLES TECHNOLOGIES COMME LE BIOLEACHING ET LE CO₂ SUPERCRITIQUE

INSTALLER DE LA CAPACITÉ DE RAFFINAGE DE MÉTAUX COMME LE LITHIUM, COBALT ET NICKEL EN EUROPE AVEC DES SUBVENTIONS SIMILAIRES À L'IRA

ENCOURAGER DES FABRICANTS DE PCAM À S'INSTALLER EN EUROPE AVEC DES AIDES SIMILAIRES À L'IRA



Les études et les entretiens suggèrent les sujets clés à traiter dans la phase 2 du projet

Sujets clés – Batterie

CRÉER UN CADRE POUR SOUTENIR LES INVESTISSEMENTS EUROPÉENS : CONTRÔLE DES EXPORTS SUR LA BLACK MASS, DOSSIER IPCEI, « CONTENU MINIMUM EUROPÉEN », ECO-SCORE

QUELLE REP POUR LES BATTERIES ?

CLARIFICATION DU PASSEPORT BATTERIE

TRAITER LES SUJETS LOGISTIQUES DE TRANSPORT ET DE STOCKAGE ACTUEL DES BATTERIES ACCIDENTÉES: HABILITATION DE STOCKAGE, COÛT ET COMPLEXITÉ DU TRANSPORT, DIRECTIVE SEVESO?

QUELLES CONDITIONS POUR CONSTRUIRE UN RATIONNEL ÉCONOMIQUE FRANÇAIS : VOLUME MINIMUM NÉCESSAIRE POUR UNE VALORISATION À L'ÉCHELLE , QUELS INVESTISSEMENTS NÉCESSAIRES, MUTUALISATION DES PROJETS, RAFFINAGE ET PCAM EN FR/EUROPE ?

AGENDA

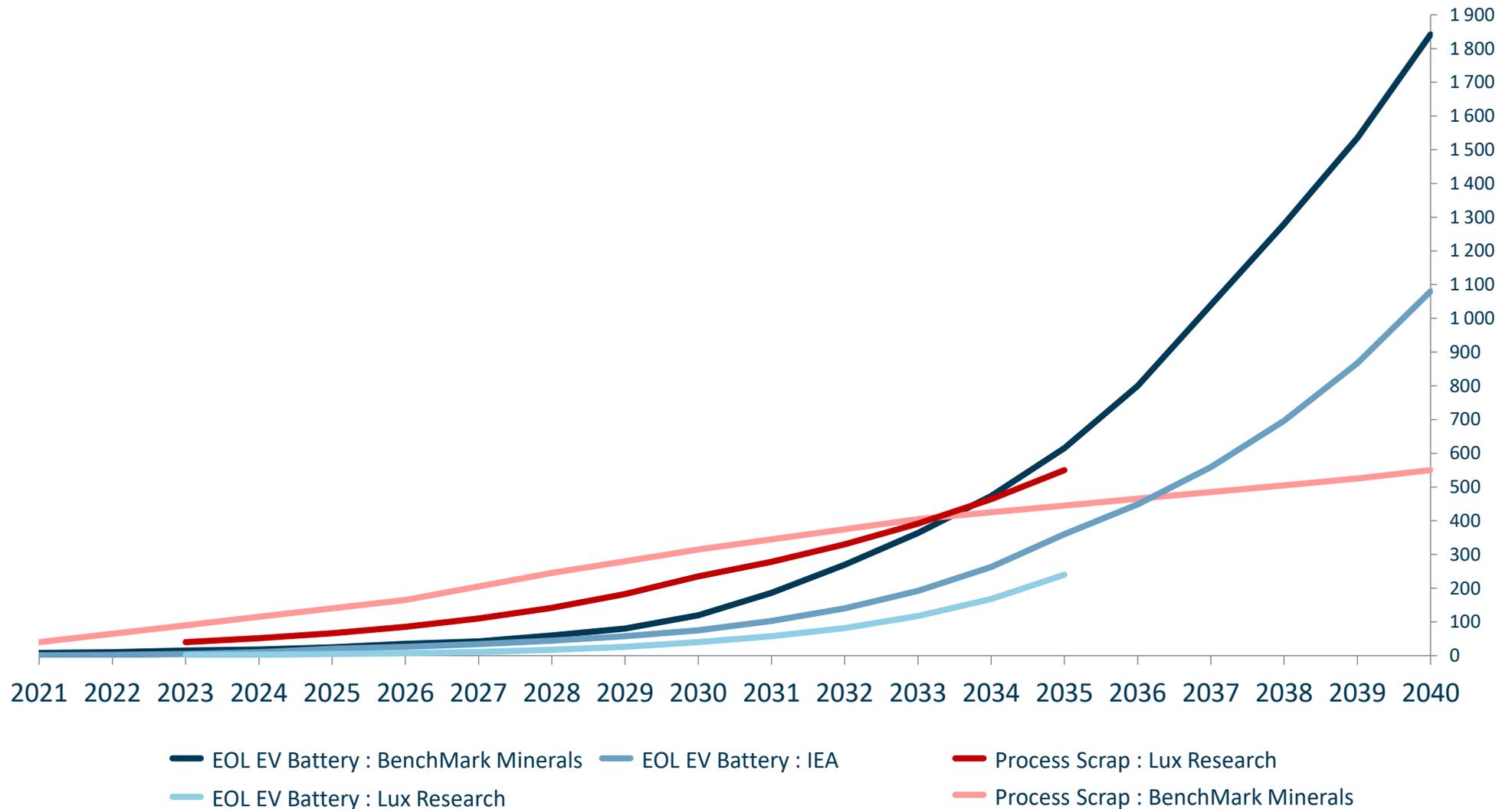
- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ ETAT DES LIEUX, CHAINE DE VALEUR ET ACTEURS
- ▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE
- ▶ REFLEXIONS SUR LA CHAINE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ **ANNEXE A – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER**
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES A RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES A RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ ANNEXE D – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLES

Plusieurs études ont évalué le potentiel de recyclage des batteries en fin de vie et les besoins de recyclage des déchets de production.

Recyclage | Prédiction du nombre de batteries disponibles pour le recyclage – Benchmark



BATTERIE AUTOMOBILE DISPONIBLE POUR LA RÉUTILISATION OU LE RECYCLAGE ET DÉCHETS DE PRODUCTION | GWh, Scope Mondial, 2015-2040



Source: Analyse Strat Anticipation, IEA, Benchmark Minerals, Lux Research

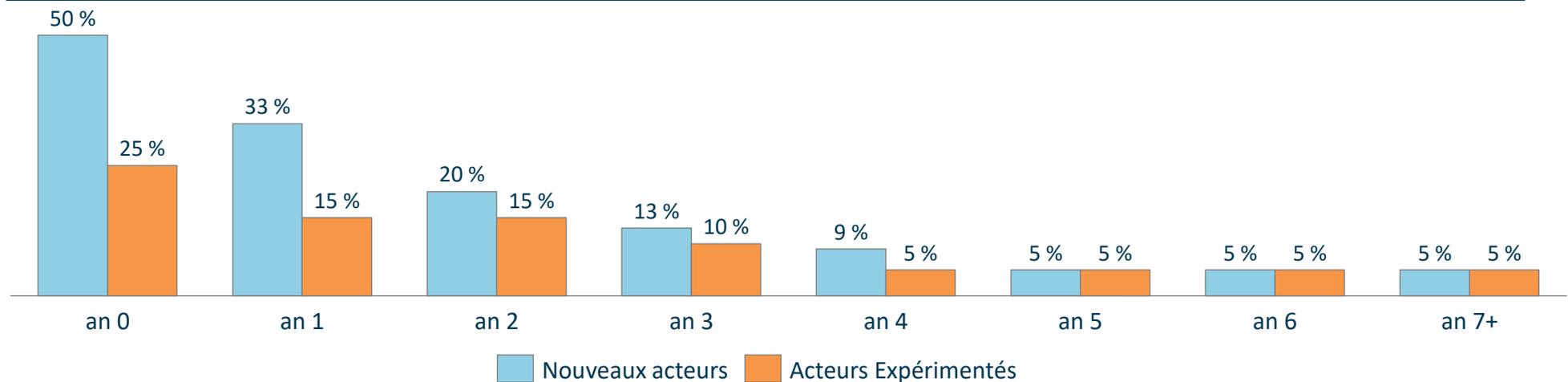
Strat Anticipation a modélisé les rebuts de production en fonction de l'expérience des opérateurs et de la durée depuis la mise en fonction de la ligne de production.

Recyclage | Prévisions du marché – Méthodologie : Offre disponible provenant des déchets de production

MODÉLISATION DES REBUTS DE PRODUCTION



HYPOTHÈSE : TAUX DE REBUT EN FONCTION DE L'ANNÉE DE MISE EN PRODUCTION DE LA CHAÎNE DE PRODUCTION DE CELLULES - POUR LES ACTEURS NOUVEAUX ET EXISTANTS | %, par année de début de production de la ligne concernée



LE TAUX DE REBUT EST DÉTERMINÉ EN COMPARANT LES MATIÈRES PREMIÈRES ENTRANT DANS LA GIGAFACORY À LA TENEUR FINALE EN MATÉRIAUX DANS DES CELLULES SANS DÉFAUT.

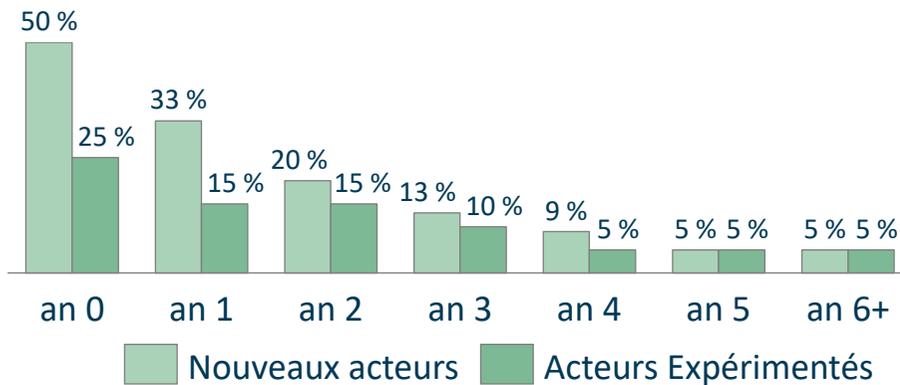
Note: Près de 30% des rebuts sont sur des produits quasi finis (cellules). 25% sont lors de la fabrication des cathodes et des anodes.
 Source: Analyse Strat Anticipation, Expert Interview, RWTH Aachen

Les taux de rebuts sont significatifs, et s'appliquent sur la capacité utilisée de l'usine. Les meilleures usines prendront 5 ans à atteindre 80% de capacité effective.

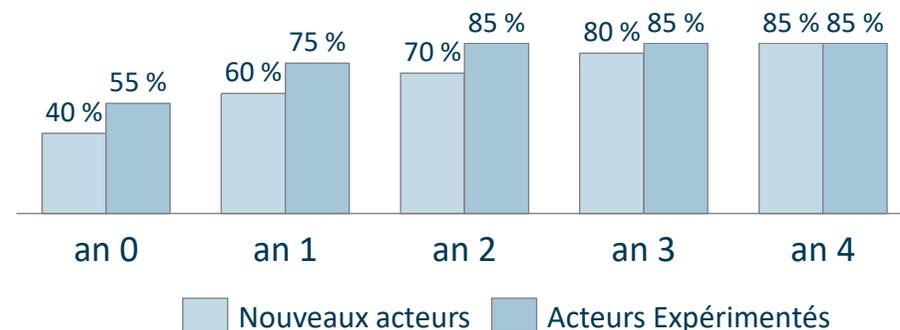
Production de batteries - Méthodologie pour la prévision du taux de rebuts

MÉTHODOLOGIE : ANALYSE DES RISQUES – REBUTS & UTILISATION DES CAPACITÉS

1 - REBUTS PAR ANNÉE DE PRODUCTION | %, par année par rapport au SOP de la ligne de production concernée



1 – UTILISATION DE LA CAPACITÉ | %, par année par rapport au SOP de la ligne de production concernée



- ▶ **Le taux de rebut reste élevé, même pour les acteurs confirmés:**
- ▶ La fabrication d'une cellule est un processus où les rebuts peuvent se produire à plusieurs étapes différentes : alignement de la cathode et de l'anode, soudage/poinçonnage laser, insertion d'électrolyte, vieillissement.
- ▶ Le passage de l'échelle du laboratoire à celle du « GWh » est un véritable défi en raison du grand nombre d'étapes de processus électro chimiques.

▶ **Hypothèse prise pour la capacité effective:**
Une capacité effective prenant en compte les rebuts et l'utilisation de la capacité a été déterminée.

	AN 0	AN 1	AN 2	AN 3	AN 4	AN 5
UTILISATION EFFECTIVE DE LA CAPACITÉ – NOUVEAUX ACTEURS	20%	40%	56%	70%	77%	81%
UTILISATION EFFECTIVE DE LA CAPACITÉ – ACTEURS EXPERIMENTÉS	41%	64%	72%	77%	81%	81%

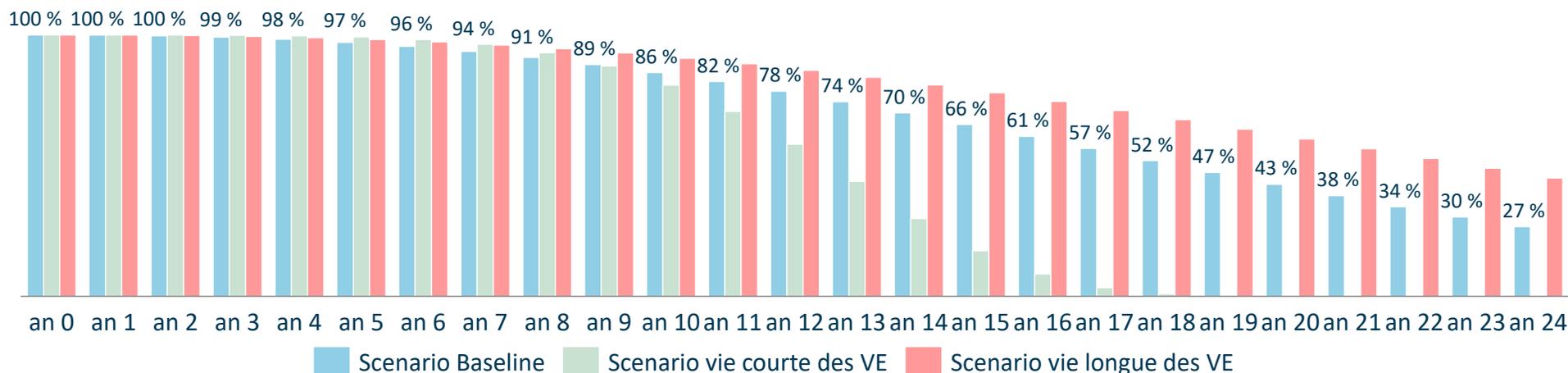
La deuxième partie des batteries à recycler proviendra des batteries en fin de vie et défectueuses. Strat Anticipation a construit un modèle pour modéliser les volumes

Recyclage | Méthodologie - batteries en fin de vie et de batteries en panne

MODÉLISATION DE LA FIN DE VIE ET DES BATTERIES EN PANNE



HYPOTHÈSE : CYCLE DE VIE DE LA BATTERIE – TAUX DE SURVIE – POURCENTAGE DE CHANCE DE RESTER DANS LE PARC AUTOMOBILE EN FONCTION DE L'ÂGE | %, par année d'utilisation, chiffres mondiaux

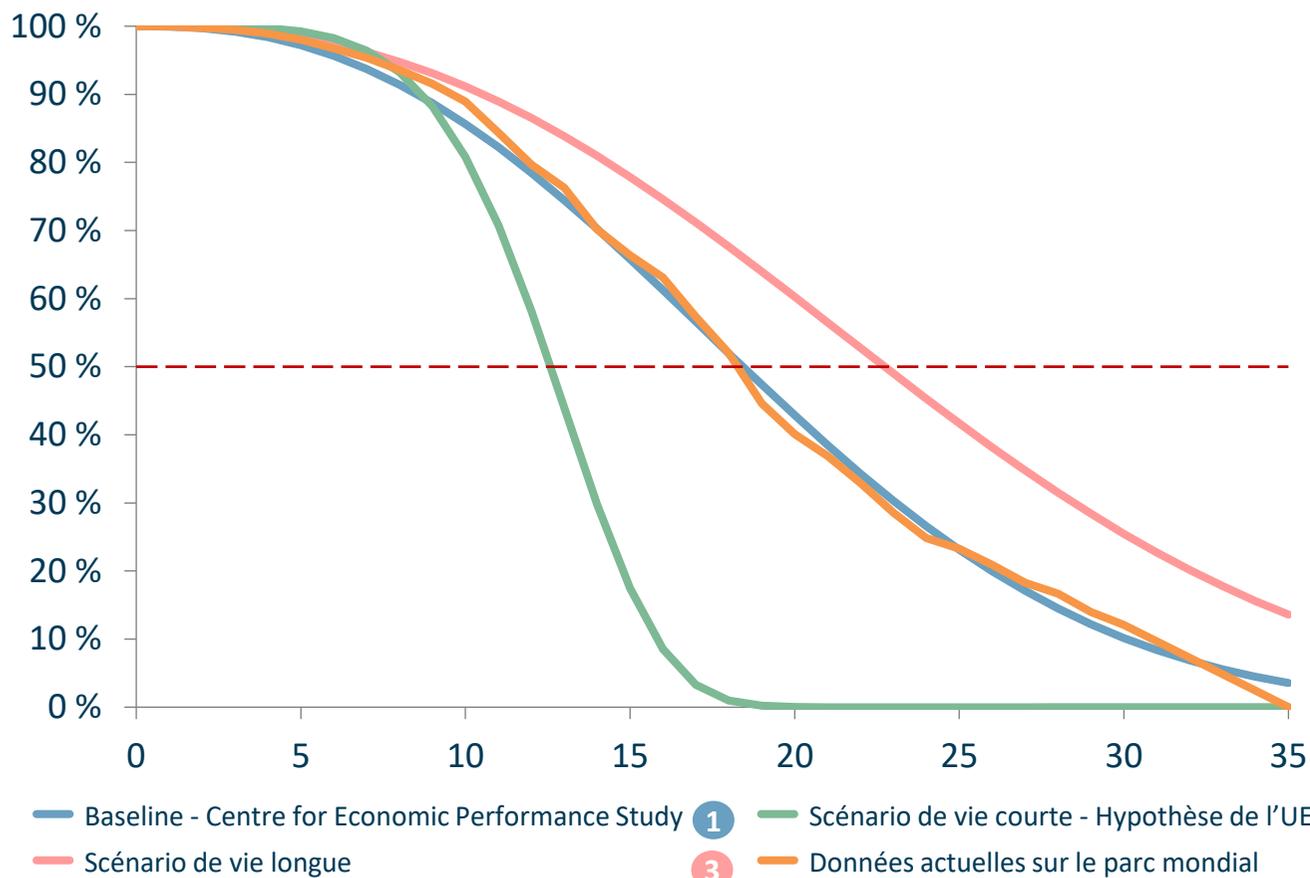


Note: Les hypothèses liées à la fin de vie des VE dans chaque scenario sont expliquées plus en détail dans les pages suivantes
 Source: Analyse Strat Anticipation

La durée de vie moyenne des véhicules électriques est estimée entre 13 ans et 26 ans, selon différentes études

Recyclage | Prévisions du marché – Méthodologie : Scénarios de distribution sur la durée de vie des VE

CYCLE DE VIE DES BATTERIES - TAUX DE SURVIE - POURCENTAGE DE CHANCE DE RESTER DANS LE PARC EN FONCTION DE L'ÂGE | %, par année d'utilisation, dans le monde entier/Royaume-Uni



DESCRIPTION DES SCÉNARIOS

- 1 L'étude du *Center for Economic Performance* a analysé les premières étapes du cycle de vie des véhicules électrifiés au Royaume-Uni à l'aide de données publiques
- 2 L'UE utilise cette courbe de Weibull dans "Study to identify and assess the feasibility of measures to enhance the impact of Directive 2006/66/EC"
- 3 L'hypothèse à long cycle est dérivée de l'étude du *Center for Economic Performance* qui considère la possibilité que la durée de vie des VE augmente dans les années à venir par rapport aux véhicules non électriques
- 4 Courbe de survie actuelle des véhicules ICE présents dans le parc automobile en Europe

DE NOMBREUSES ÉTUDES SOUS ESTIMENT LA DURÉE DE VIE DES BATTERIES DES VE

L'étude qui a la meilleure méthodologie et est la plus précise trouve des durées de vie proche du parc actuel. La durée de vie des VE et des non-VE est similaire

Recyclage | Prévisions du marché – Méthodologie : Examen des études existantes sur la durée de vie des VE

	DURÉE DE VIE DU PARC ACTUELLE	1 BASELINE CEP*	2 HYPOTHÈSE VIE COURTE	3 HYPOTHÈSE VIE LONGUE
ANALYSE STATISTIQUE ?	Oui	Oui	Non	Non
CENTRÉE SUR LES VE ?	Non	Oui	Oui	Oui
PREND EN COMPTE LA DURÉE DE VIE DES BATTERIES ?	Non	Non	Oui	Non
ETUDE A SCOPE MONIDAL ?	Oui	Non	Pas applicable	Non
DURÉE DE VIE MOYENNE (ANNÉES)	21,2	21,4	12,5	26,4
ÂGE MOYEN D'UN PARC STABILISÉ (ANNÉES)	10,7	11,0	6,9	13,6

1. LA NÉCESSITÉ DE DISPOSER DE DONNÉES STATISTIQUES

- ▶ De nombreux facteurs ont un impact sur le choix de remplacer un véhicule, notamment le prix, l'état de santé de la batterie, le commerce et d'autres aspects psychologiques. Il est impossible d'essayer de les estimer de manière indépendante et précise.
- ▶ L'analyse statistique est à privilégier. L'étude faite par l'UE et l'hypothèse du cycle long qui n'a pas de données statistiques pour les soutenir et ont de surcroît une durée de vie moyenne irréaliste.

2. DURÉE DE VIE DES VE

- ▶ L'étude doit être centrée sur les véhicules électriques, car il existe des facteurs très différents tels que la durée de vie de la batterie et l'entretien du moteur
- ▶ La distribution actuelle à vie prend en compte tous les types de véhicules et ne devrait donc pas être prise en compte. L'étude du CEP porte spécifiquement sur les VE, bien que son champ d'application ne soit que le Royaume-Uni

LA COURBE DE WEIBULL DU *CENTER FOR ECONOMIC PERFORMANCE* SEMBLE ÊTRE LA MEILLEURE POUR NOTRE ANALYSE

Note: CEP = Center for economical performance
Source: Analyse Strat Anticipation

Oui

Pas applicable

Non

En raison des incertitudes concernant le cycle de vie, nous avons élaboré trois scénarios : scénario Baseline, scénario de vie courte, et scénario de vie longue.

Recyclage | Scénarios

BASELINE

- La demande de véhicules reste comme celle des modèles de base.
- Les quantités de rebuts sont celles développées via l'analyse des taux de rebuts sur les usines de production de batteries.
- Les taux d'accidents graves sont comparables pour les voitures électriques et les voitures à moteur à combustion interne traditionnelles.
- La courbe de modélisation de la fin de vie des VE s'aligne sur les tendances observées actuellement dans les pays où le parc automobile évolue à un rythme moyen, comme l'Europe et le Japon.

SCENARIO DE VIE COURTE

- La demande de véhicules reste similaire à celle des modèles de base.
- Les quantités de rebuts sont celles développées via l'analyse des taux de rebuts sur les usines de production de batteries.
- Les taux d'accidents graves sont comparables pour les voitures électriques et les voitures à moteur à combustion interne traditionnelles.
- La courbe de modélisation de la fin de vie des VE reflète les tendances observées actuelles dans les pays dont le parc automobile évolue rapidement, comme la Chine, où l'adoption des véhicules électriques est forte et évolue rapidement.

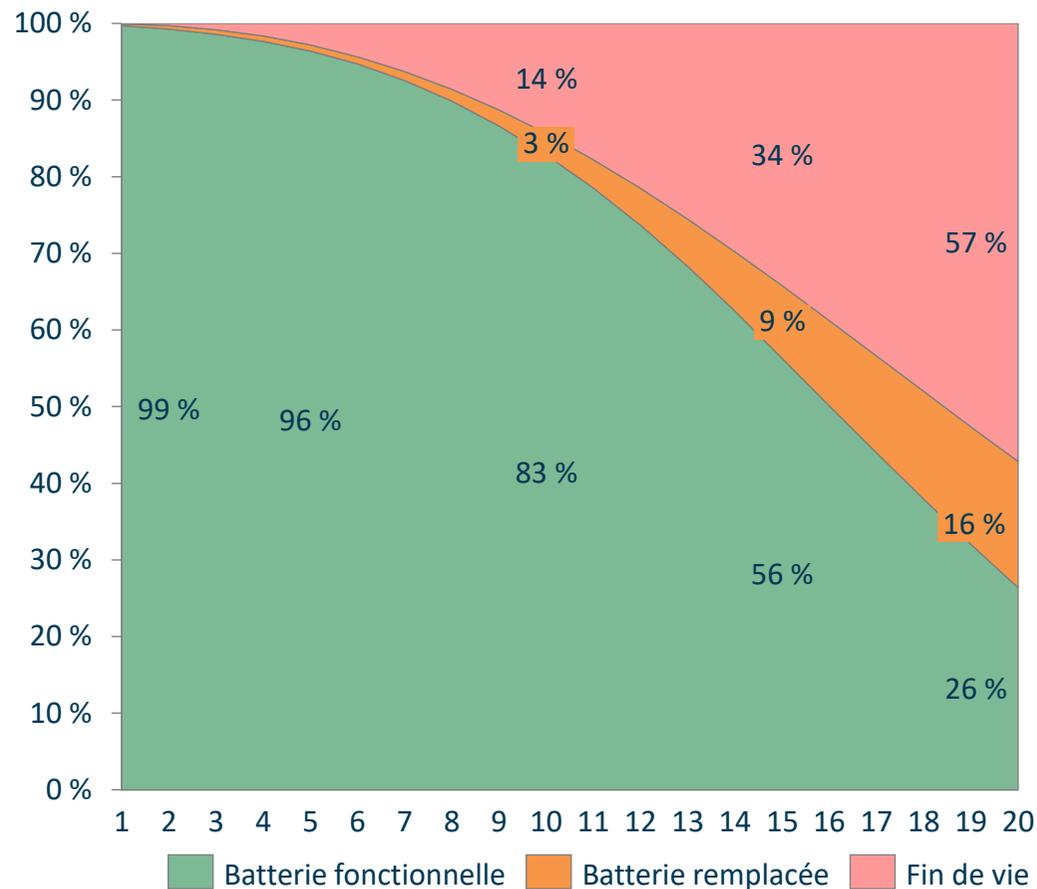
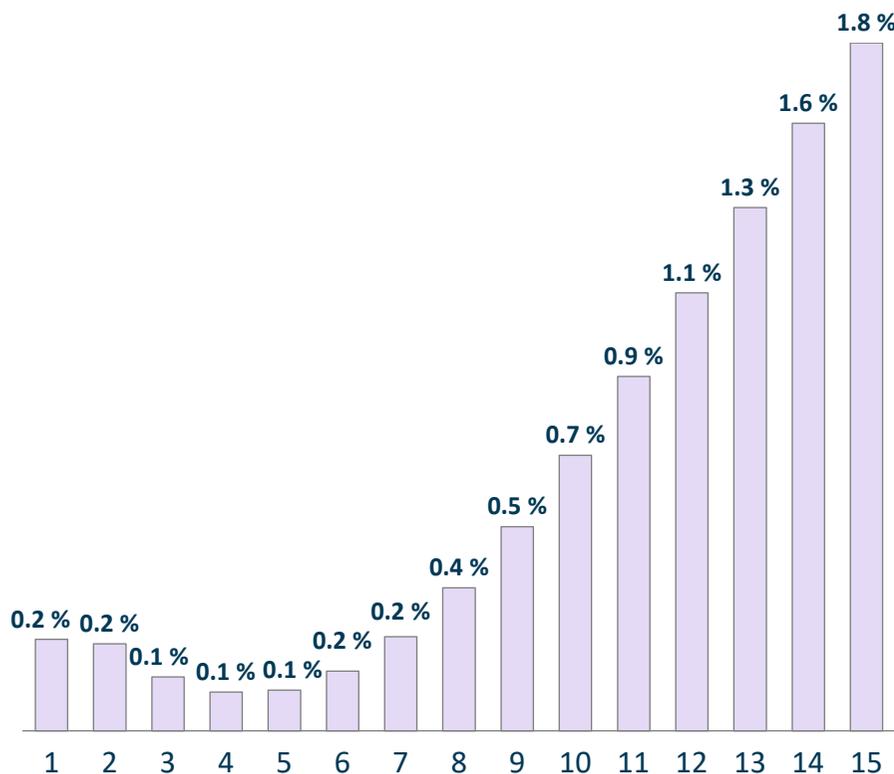
SCENARIO DE VIE LONGUE

- La demande de véhicules a un décalage par rapport au modèle de demande de base en raison du manque d'adoption des VE et des prix non décroissants. Cela conduit à une demande comprimée de voitures électriques avant 2035 (-10%)
- Les quantités de rebuts sont celles développées via l'analyse des taux de rebuts sur les usines de production de batteries.
- Les taux d'accidents mortels sont comparables pour les véhicules électriques et les voitures à moteur à combustion interne traditionnelles.
- La courbe de modélisation de la fin de vie des VE s'aligne sur les tendances observées actuellement dans les pays dont le parc automobile vieillit à un rythme élevé, comme la Russie

Enfin, un certain nombre de batteries défectueuses vont devoir être remplacées.

Recyclage | Prévisions du marché – Méthodologie : Capacité disponible provenant du remplacement

TAUX DE REMPLACEMENT DES PACKS EN FONCTION DE L'ÂGE DU PACK | % TAUX DE SURVIE EN FONCTION DE L'ÂGE DU PACK DE BATTERIE | %



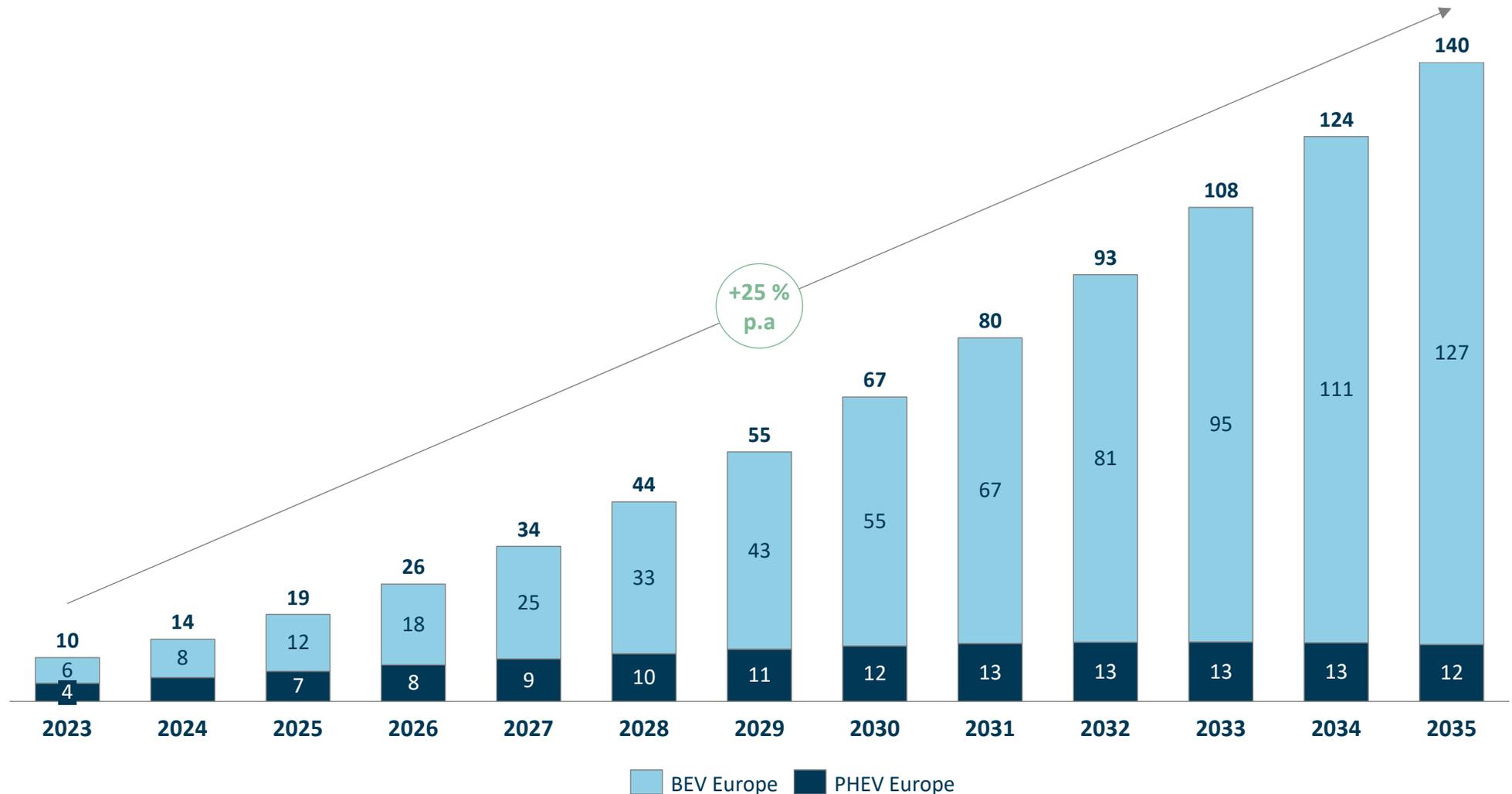
Source : Recurrent, Bloomberg NEF, Avicenne, Analyse Strat Anticipation

A 2030, près de 67 millions de véhicules avec des batteries seront dans le parc automobile en Europe.

Recyclage | Prévisions du marché – Véhicules électrifiés sur la route



BASELINE SCÉNARIO- VÉHICULE ÉLECTRIQUE SUR DANS LE PARC | PC ET LCV, BEV et PHEV, millions d'unités, Europe Étendue, 2023 - 2035



Remarque : L'importation et l'exportation de véhicules électriques n'ont pas été prises en compte
 Source: LMCA 2024, Analyse Strat Anticipation

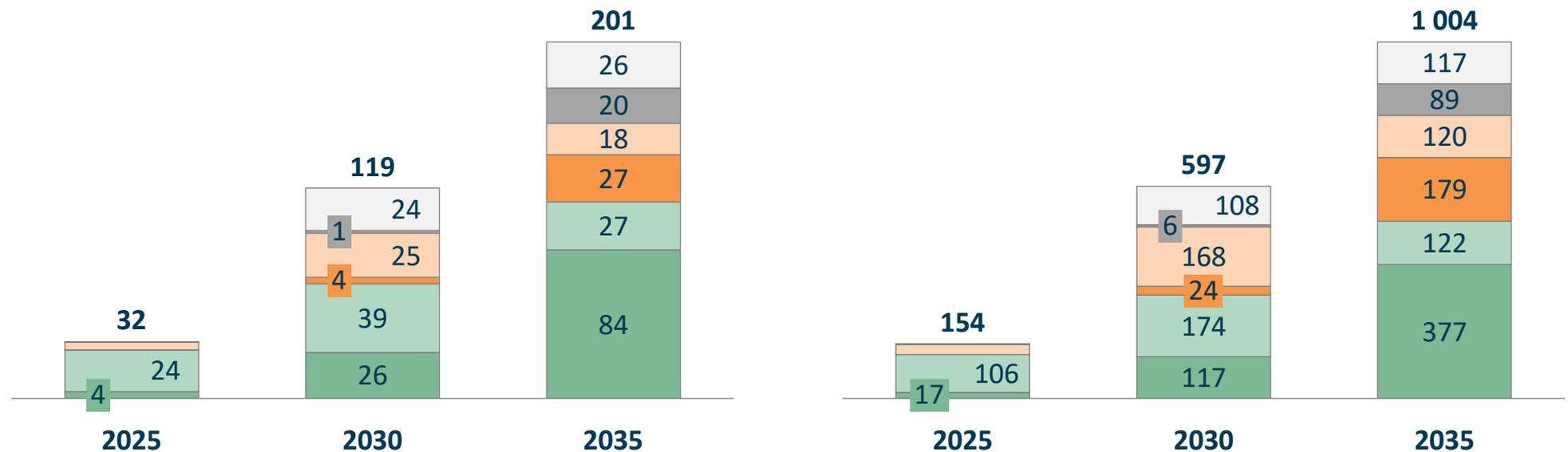
D'ici 2030, près de 600 kilotonnes de batteries devront être recyclées, avec une part significative provenant des rebuts de production des batteries LFP.



Recyclage | Prévisions du marché – Batteries disponibles pour le recyclage par Cathode

QUANTITÉ DE BATTERIES EN FIN DE VIE, A REMPLACER OU EN REBUTS DE PRODUCTION – GWH | GWH, 25-30-35, Europe

QUANTITÉ DE BATTERIES EN FIN DE VIE, A REMPLACER OU EN REBUTS DE PRODUCTION – POIDS DES CELLULES | k tonne, 25-30-35, Europe



■ NMC EOL & REMPLACÉ
 ■ LFP EOL & REMPLACÉ
 ■ AUTRES : LNMO, LMFP, NCA, SSB EOL & REMPLACÉ
■ NMC SCRAP
 ■ LFP SCRAP
 ■ AUTRES : LNMO, LMFP, NCA, SSB SCRAP

Note : Le poids à recycler est considéré au niveau des cellules.
 Source: Strat Anticipation Analyse, LMCA 2023

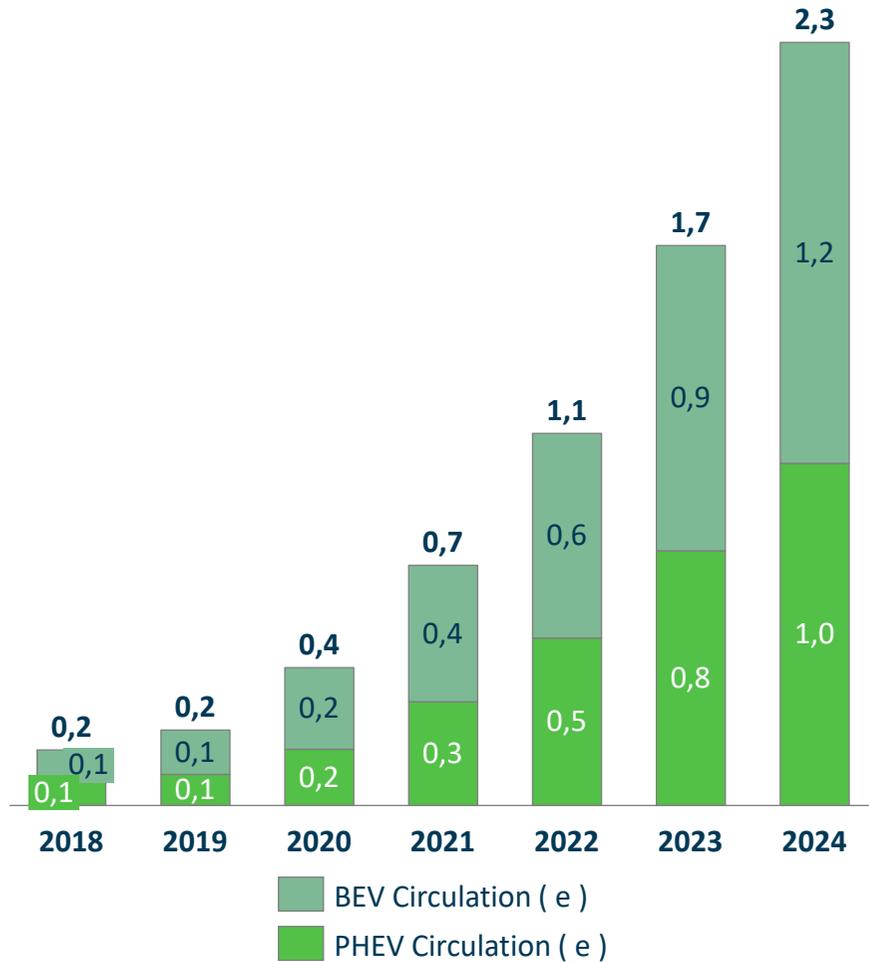
Une progression significative du nombre de véhicules électrifiés en fin de vie va avoir lieu, avec un potentiel passant de 5300 en 2024 à 18 600 en 2026

France | Volumes d'entrants - Véhicules

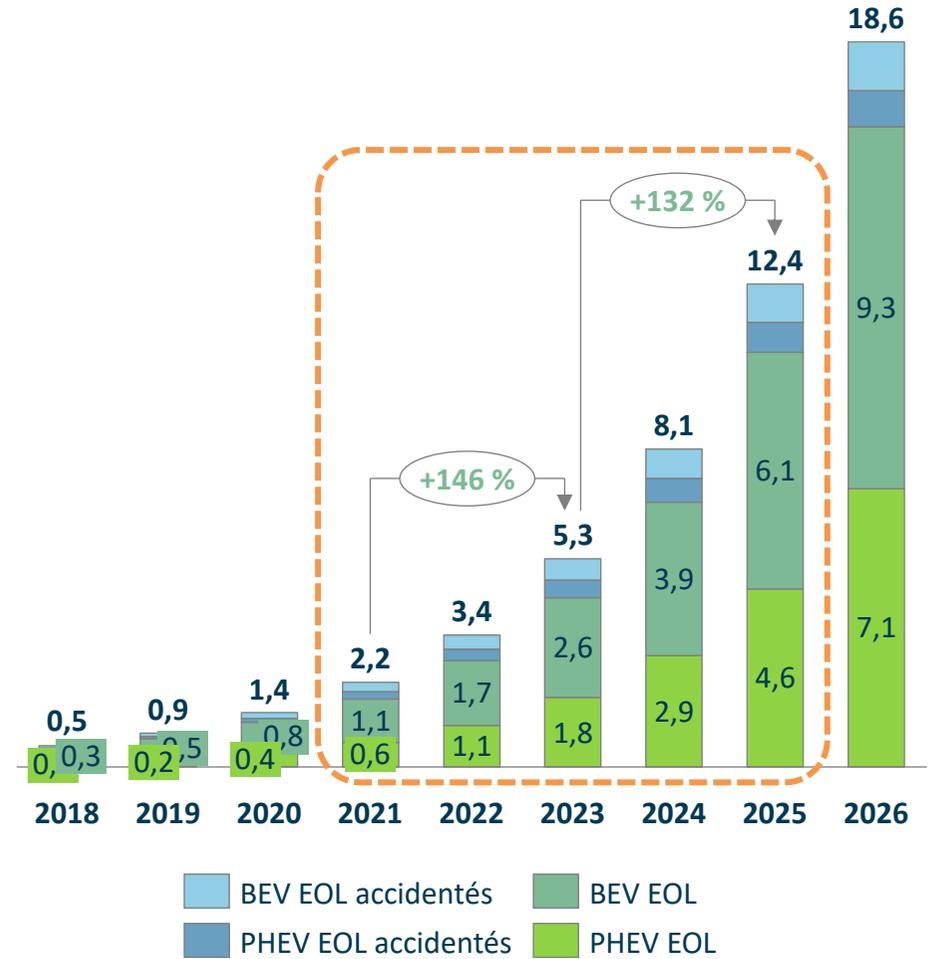
EN COURS



PARC ÉLECTRIFIÉ EN FRANCE | BEV ET PHEV, PC, millions



BATTERIES DANS VÉHICULES EN FIN DE VIE ET ACCIDENTÉES | BEV ET PHEV, PC, milliers, Données issues du modèle de parc SA



Note: les défaillances de batteries et rappels constructeurs ne sont pas considérés ici. La croissance en volumes est convexe, avec plus de 70k en 2030
 Source : PFA, Strat Anticipation,

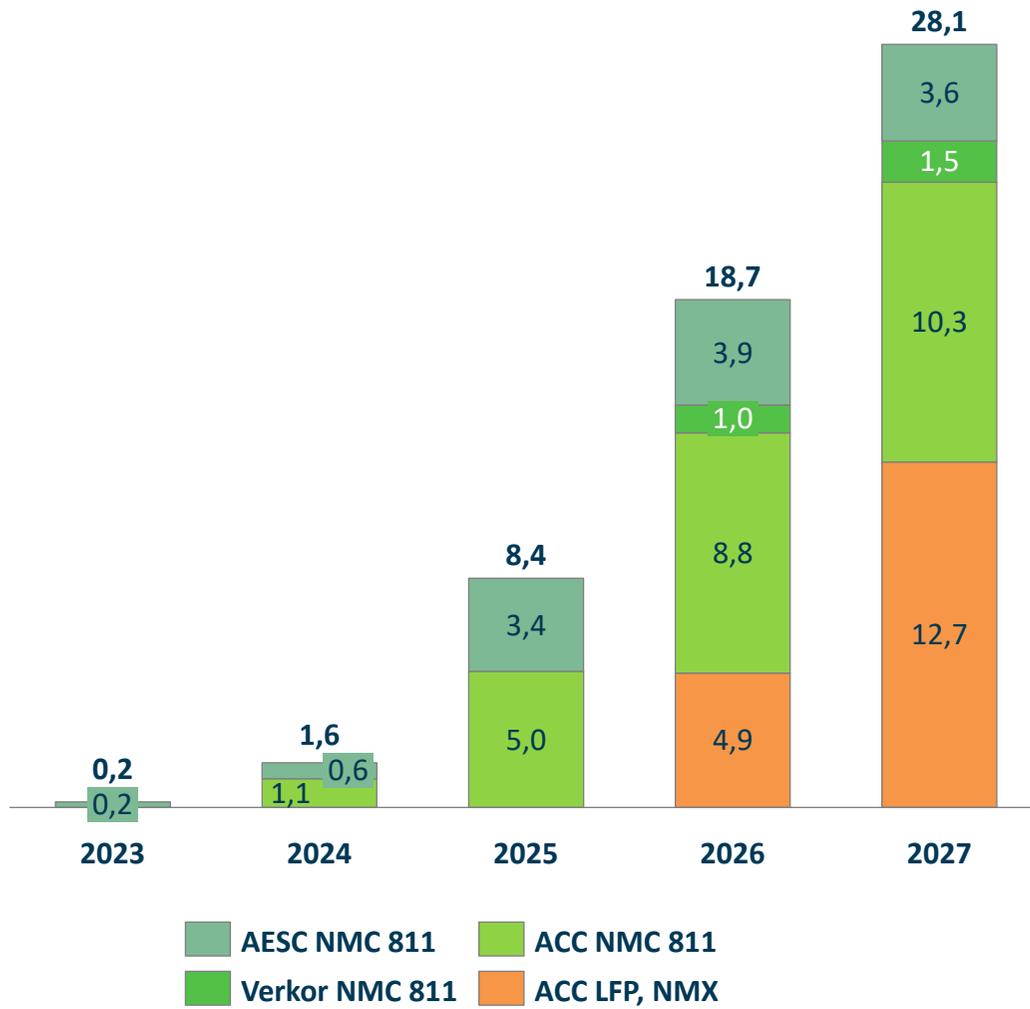
Selon un data provider, à horizon 2027, 54% de la production française de batterie devrait être liée à du NMC 811. Les 46% restants pourraient être du LFP

France | Volumes d'entrants - Batteries

EN COURS



PRODUCTION DE BATTERIES AUTOMOBILE LI ION EN FRANCE | GWh, 2023-2027



IMPACT DE LA CHIMIE SUR LA MISE EN PLACE D'UNE FILIÈRE DE RECYCLAGE

Les batteries en fin de vie proviendront principalement d'anciens modèles de véhicules et reflètent **un mix de cathode 15-20 ans en arrière**, tandis que les **rebutis de production sont directement liés à la fabrication actuelle** de batteries dans les GigaFactories. À court terme, l'essor de la production de batteries LFP nécessitera la mise en place de solutions adaptées pour leur recyclage.

Source: GlobalData Q3 2024

AGENDA

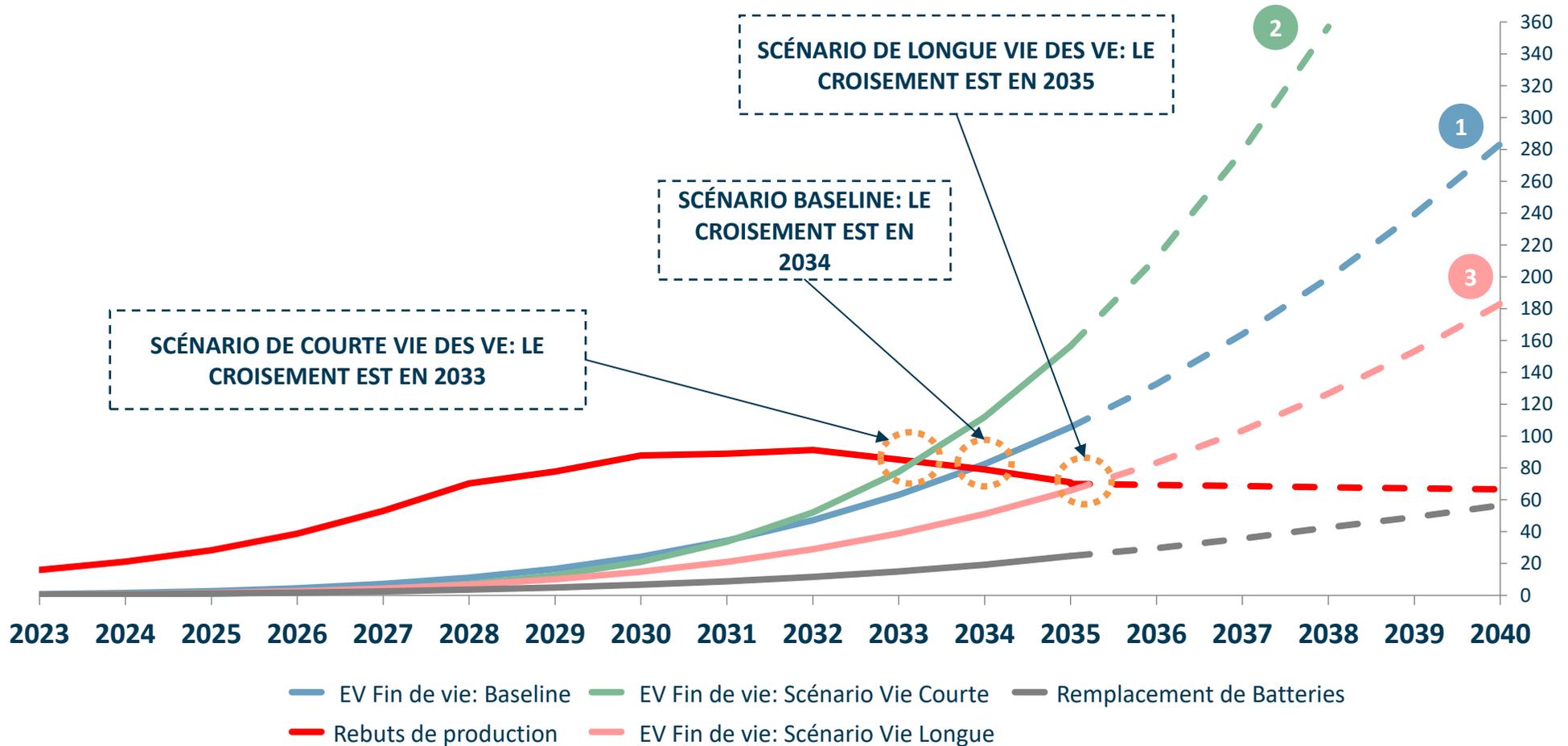
- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ ETAT DES LIEUX, CHAINE DE VALEUR ET ACTEURS
- ▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE
- ▶ REFLEXIONS SUR LA CHAINE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ ANNEXE A – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ **ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES A RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE**
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES A RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ ANNEXE D – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLES

En Europe, la source principale de batteries à recycler restera les rebuts de production jusqu'à au moins 2033.

Recyclage | Prévisions du marché – Batteries disponibles pour le recyclage



BATTERIES AUTOMOBILE DISPONIBLES POUR LA RÉUTILISATION OU LE RECYCLAGE ET REBUTS DE PRODUCTION | GWh, Europe, 2023-2040



L'INDUSTRIE DU RECYCLAGE DOIT ÊTRE DÉVELOPPÉE ET MISE À L'ÉCHELLE GRÂCE AUX REBUTS DE PRODUCTION AU COURS DE CETTE DÉCENNIE

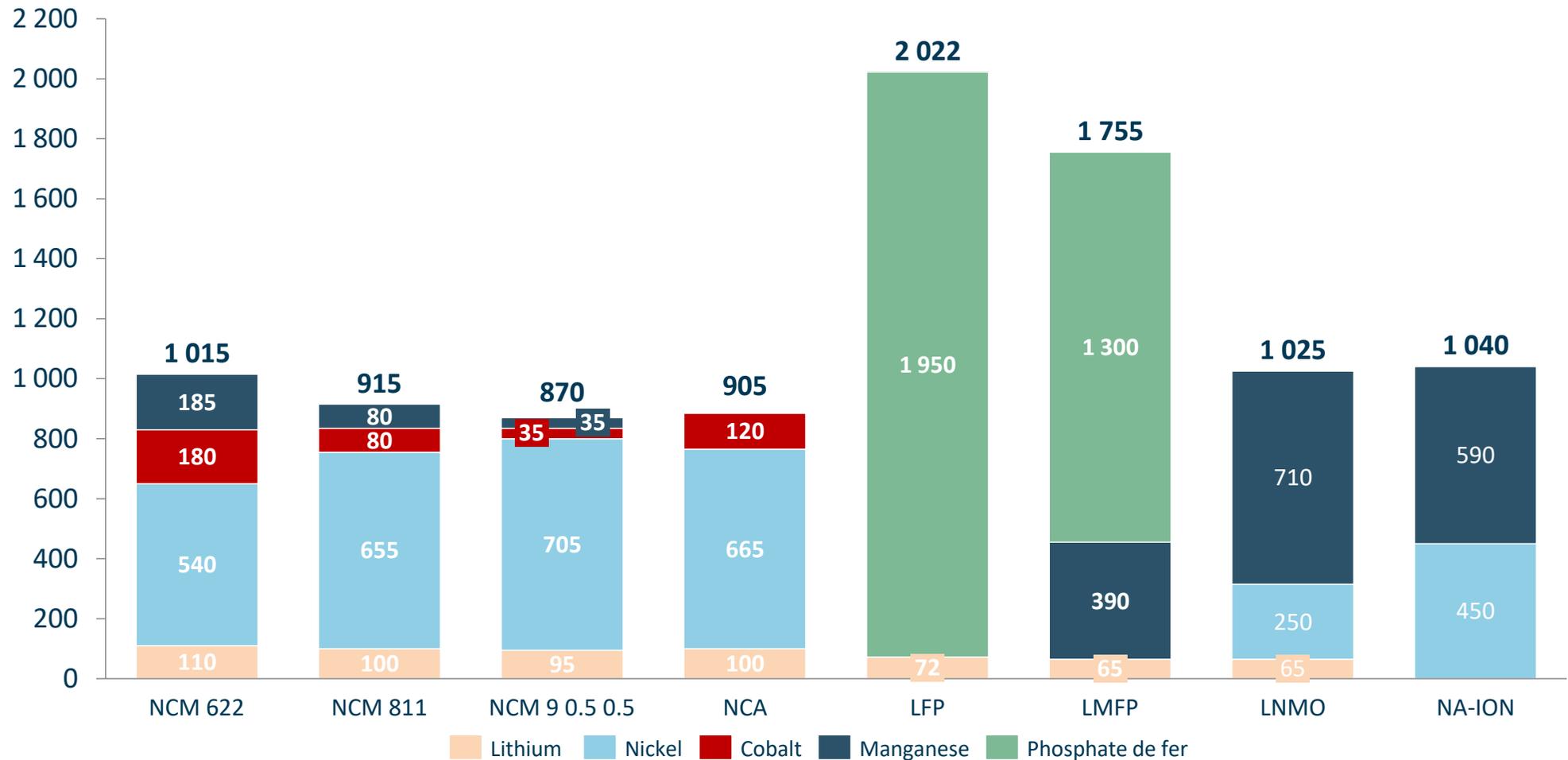
Source: Strat Anticipation Analyse, LMCA 2023

Strat Anticipation a évalué la quantité de lithium, de nickel, de cobalt, de manganèse et de phosphate en kg/KWh dans une cellule de batterie finie et fonctionnelle.

Quantité de métaux clés dans une cellule de batterie

QUANTITÉ DE MATÉRIAUX CRITIQUES DANS UNE CELLULE PAR KWH PAR TYPE DE BATTERIE |

g/KWh, NCM 622, NCM 811, NCM 9 0.5 0.5, NCA, LFP, LMFP 2022



Note: LNMO fait référence aux cathodes nickel-magnésium sans cobalt. Ces cathodes peuvent être riches en manganèse comme celle développée par Powerco pour VW, ou avec une forte teneur en Nickel comme développé par ACC pour Stellantis, ou en aluminium.

Le Na-Ion « Oxyded layer » contient du Ni et du Mn. D'autres batteries Na-Ion comme le « Prussian White » ne contiennent aucun métal critique

Source : Strat Anticipation Analyse, GoldmanSachs, Entretiens Experts, Transport & Environment

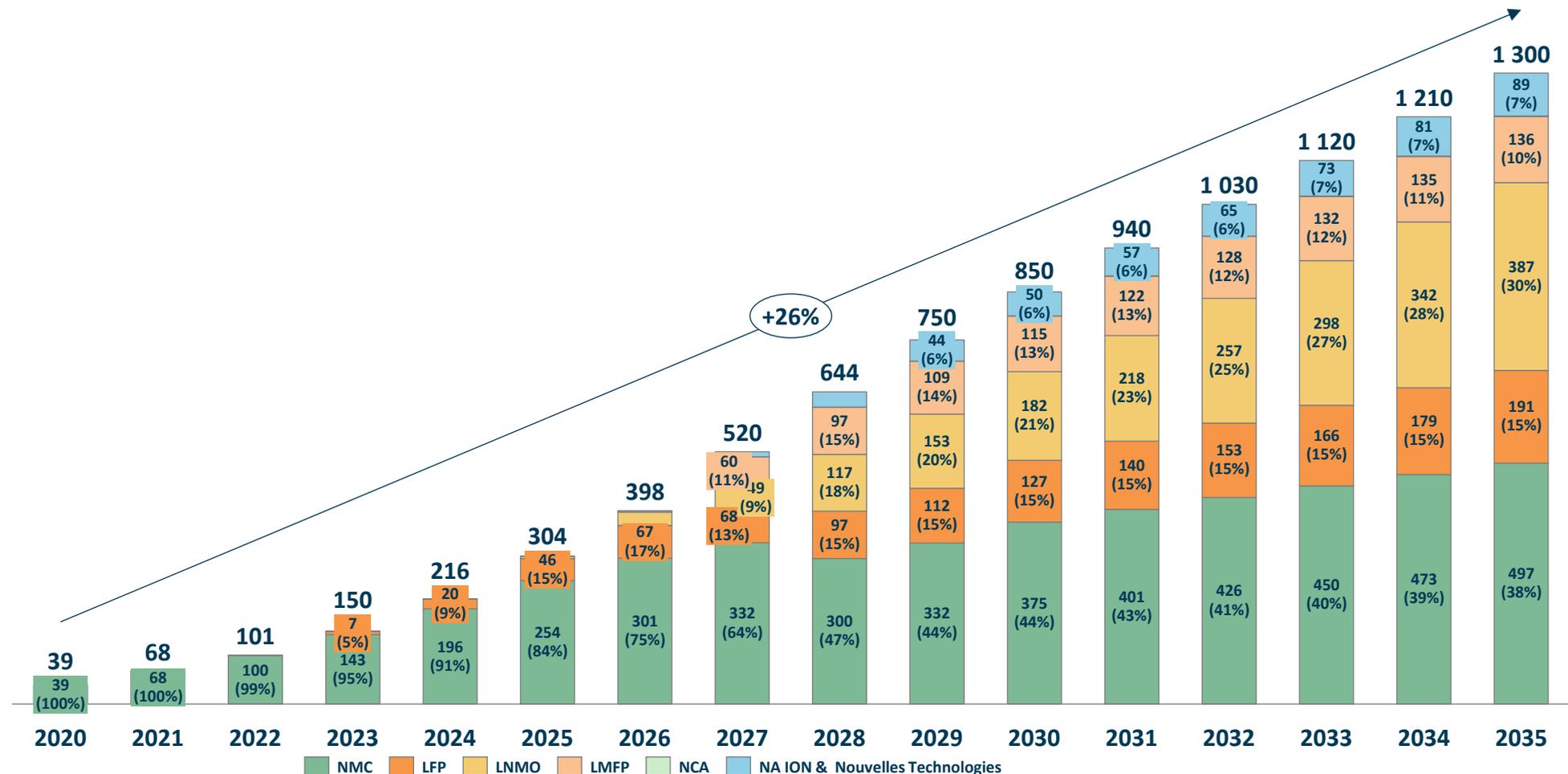
En 2023, la demande en Europe pour les batteries automobiles était à 95% NMC. En 2030, les technos NMC ne représenteront que 44% de la demande

Demande de métaux | Demande de cathodes pour les batteries automobiles - Europe



DEMANDE DE BATTERIES AU LITHIUM ET AU NA-ION PAR TYPE DE CATHODE POUR L'AUTOMOBILE EN EUROPE

| GWh, PC & LCV, Europe, 2020 – 2035. Le ratio NMC/LFP utilisé correspond à l'analyse bottom-up faite par LMCA et retraitée par Strat Anticipation



*Autres inclut NiOH, LMO, LTO, LCO

**Nouvelles technos fait référence à Li-Metal et SSB

Note: LNMO fait référence aux cathodes nickel-magnésium sans cobalt. Ces cathodes peuvent être riches en manganèse comme celle développée par Powerco pour VW, ou avec une forte teneur en Nickel comme développée par ACC pour Stellantis, ou en aluminium.

Source: LMCA 2023, Analyse Strat Anticipation

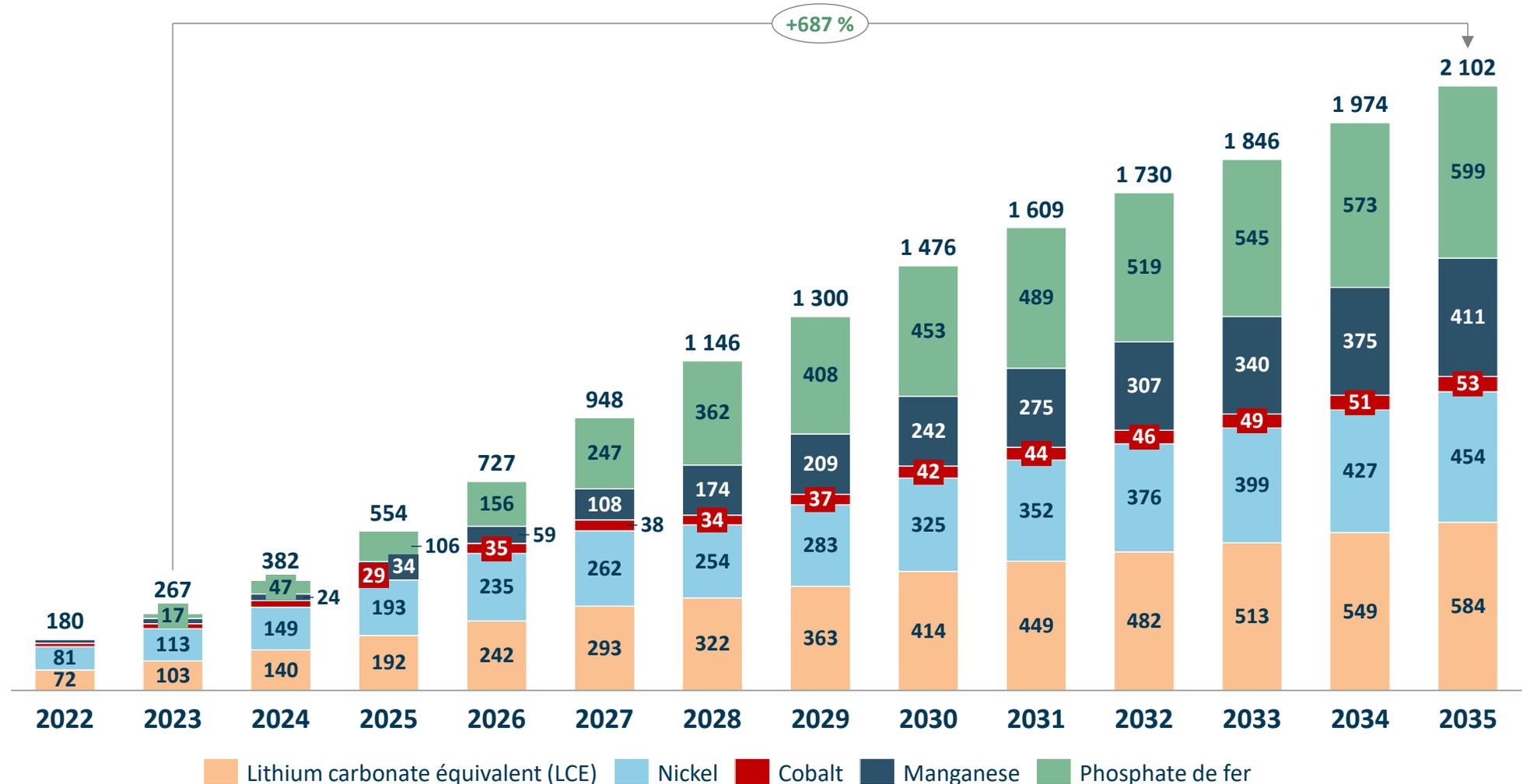
La demande en métaux critiques pour les batteries de véhicules électriques atteindra 1,5 millions de tonnes en 2030

Demande de métaux | Demande de métaux clés pour les batteries automobiles - Europe



PRÉVISIONS DE LA DEMANDE DE MÉTAUX CLÉS POUR LA PRODUCTION DE BATTERIES AU NIVEAU DE LA GIGAFACTORY* |

Mt, pour PC & LCV, Europe, 2022-2035



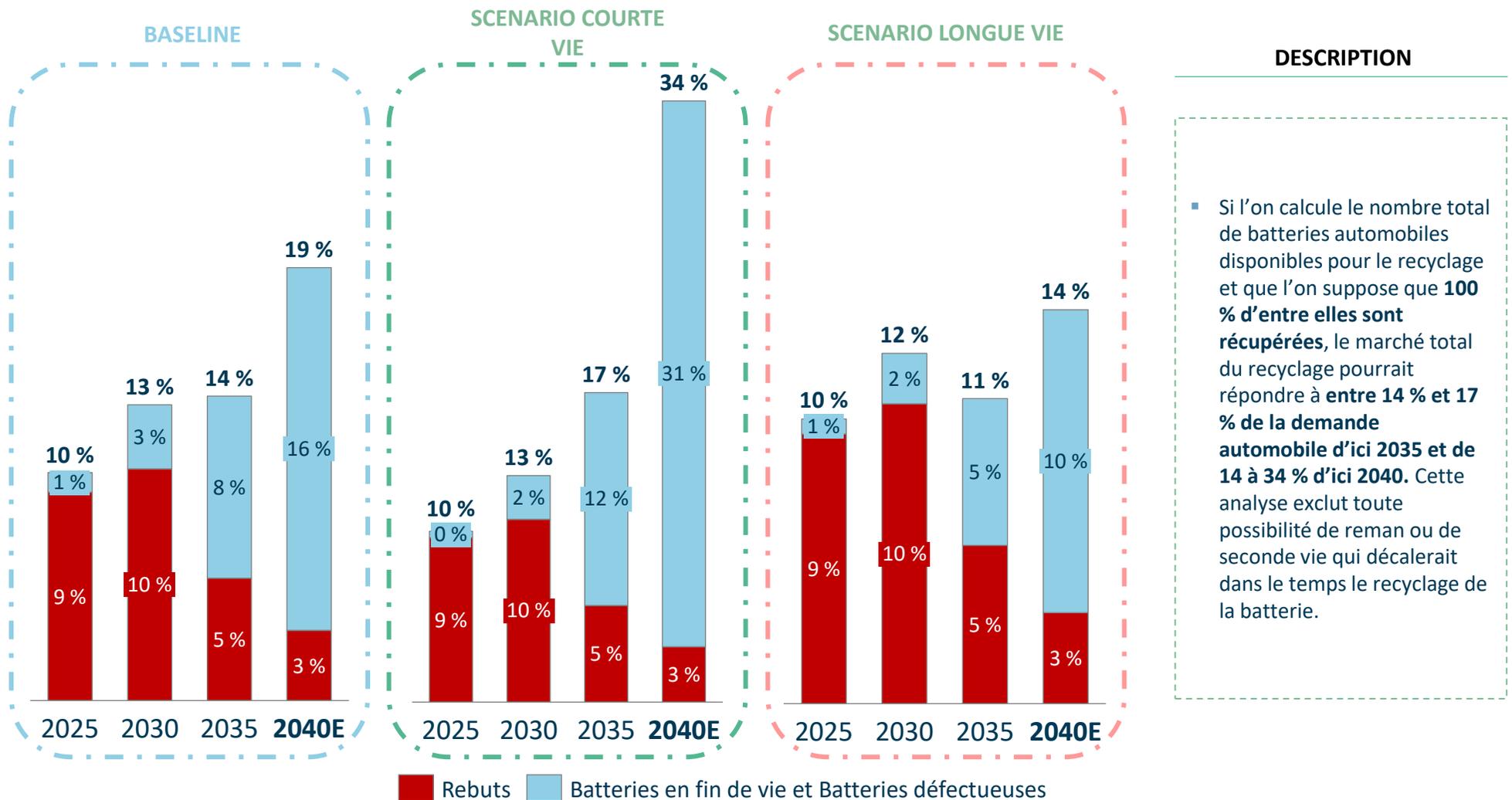
*Note: Les rebuts sont considérés ici pour une demande totale.
Source: LMCA 2023, Analyse Strat Anticipation

Si nous pensons que nous pouvons collecter et recycler 100% du gisement, le recyclage peut fournir entre 11 et 17% de la demande de métaux pour les VE en 2030

Prévisions du marché – Gisement pour le recyclage de batteries en fin de vie, défectueuses, et rebuts



GISEMENT TOTAL POSSIBLE – BATTERIES EN FIN DE VIE, DEFECTUEUSES OU REBUTS, EN POURCENTAGE DE LA DEMANDE DE MÉTAUX |
Pourcentage de la demande totale de VE, en Europe, 2025-2030-2035-2040E



DESCRIPTION

- Si l'on calcule le nombre total de batteries automobiles disponibles pour le recyclage et que l'on suppose que **100 % d'entre elles sont récupérées**, le marché total du recyclage pourrait répondre à **entre 14 % et 17 % de la demande automobile d'ici 2035 et de 14 à 34 % d'ici 2040**. Cette analyse exclut toute possibilité de reman ou de seconde vie qui décalerait dans le temps le recyclage de la batterie.

Note: Le Scrap de production correspond aux valeurs marché intégrés sur les nouveaux acteurs et les acteurs expérimentés
 Source: LMCA 2023, Analyse Strat Anticipation

Une approche basée sur la réglementation de l'UE a été utilisée pour évaluer la quantité de métaux qui sera extraite du recyclage.

Recyclage | Prévisions du marché – Méthodologie : efficacité du recyclage et niveaux minimaux de récupération



RÉGLEMENTATION DES BATTERIES – OBJECTIFS D'EFFICACITÉ DU RECYCLAGE ET DE RÉCUPÉRATION DES MATÉRIAUX

EFFICACITÉ MINIMALE DU RECYCLAGE DE LA BATTERIE FIN DE VIE		NIVEAUX MINIMAUX DE RÉCUPÉRATION DES MATÉRIAUX			
CHRONOLOGIE	TYPES DE BATTERIES	CHRONOLOGIE	MÉTAUX		
	Lithium		Co	Li	Ni
2025.12.31	65%	2027.12.31	90%	50%	90%
2030.12.31	70%	2030.12.31	95%	80%	95%

HYPOTHÈSE : RÉCUPÉRATION FINALE DES MÉTAUX

- ▶ Nous prévoyons que l'industrie sera performante, en ce qui concerne la collecte et le recyclage des matériaux, avec des taux de matériaux recyclés finaux « *battery grade* » par rapport à la quantité de matériaux en fin de vie de 50% (2030) et 70% (2035) pour le lithium, et de 70% (2030) et 80% (2035) pour les autres métaux.
- ▶ Les contraintes concernant les sources de contenu recyclé pour la fabrication des batteries vont pousser au recyclage du métal et notamment du lithium :

OBJECTIF DE CONTENU RECYCLÉ			
CHRONOLOGIE	MÉTAUX		
	Co	Li	Ni
2031.06.31	16%	6%	6%
2036.06.31	26%	12%	15%

- ▶ Nous faisons également l'hypothèse que tous les métaux recyclés issus des rebuts de production et des batteries hors d'usages iront alimenter la fabrication de batterie automobile, et ne seront pas réattribués vers d'autres secteurs.

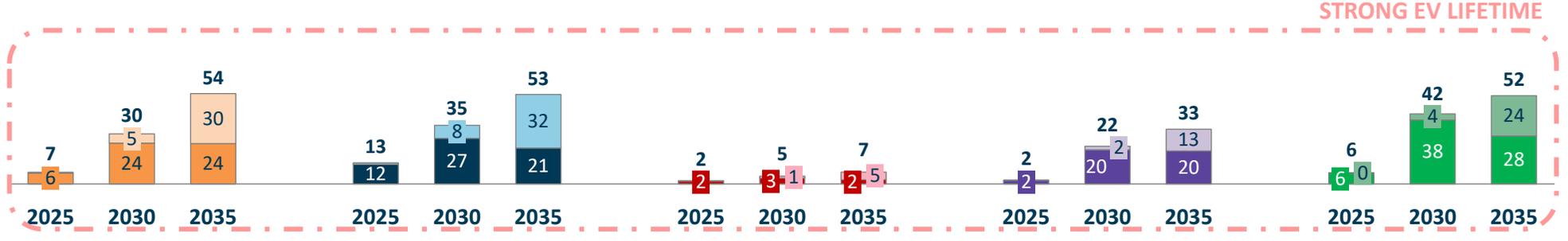
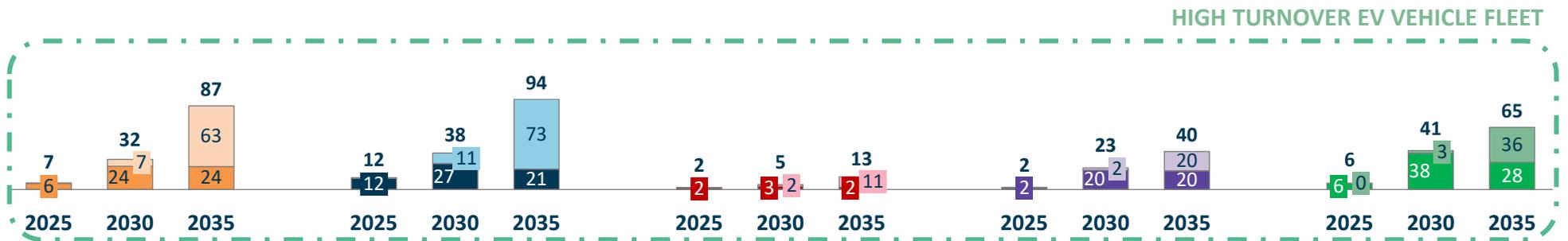
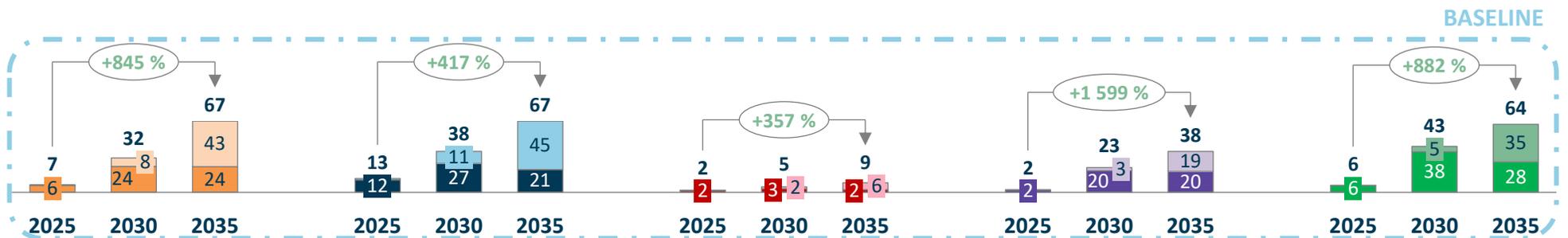
POUR AMÉLIORER CETTE APPROCHE, IL FAUDRAIT ÉVALUER LA VISION DES ACTEURS DU RECYCLAGE CONCERNANT L'EFFICACITÉ DU RECYCLAGE ET LES TAUX DE RÉCUPÉRATION

Le manganèse & le lithium recyclé connaîtront une forte croissance avec les chimies riches en manganèse & de l'amélioration des processus de recyclage du lithium.



Recyclage | Prévisions du marché – Matériaux disponibles pour le recyclage

MÉTAUX CLÉS PROVENANT DU RECYCLAGE DES BATTERIES AUTOMOBILES EN FIN DE VIE OU DÉFAILLANTES, ET DES DÉCHETS DE PRODUCTION EN EUROPE | kt, Europe, 2025-2030-2035



- Cobalt EOL & BR¹
- Iron Phosphate Scrap
- Manganese EOL & BR¹
- Nickel Scrap
- Cobalt Scrap
- Lithium (LCE) EOL & BR¹
- Manganese Scrap
- Nickel EOL & BR¹
- Iron Phosphate EOL & BR¹
- Lithium (LCE) Scrap
- Nickel Scrap

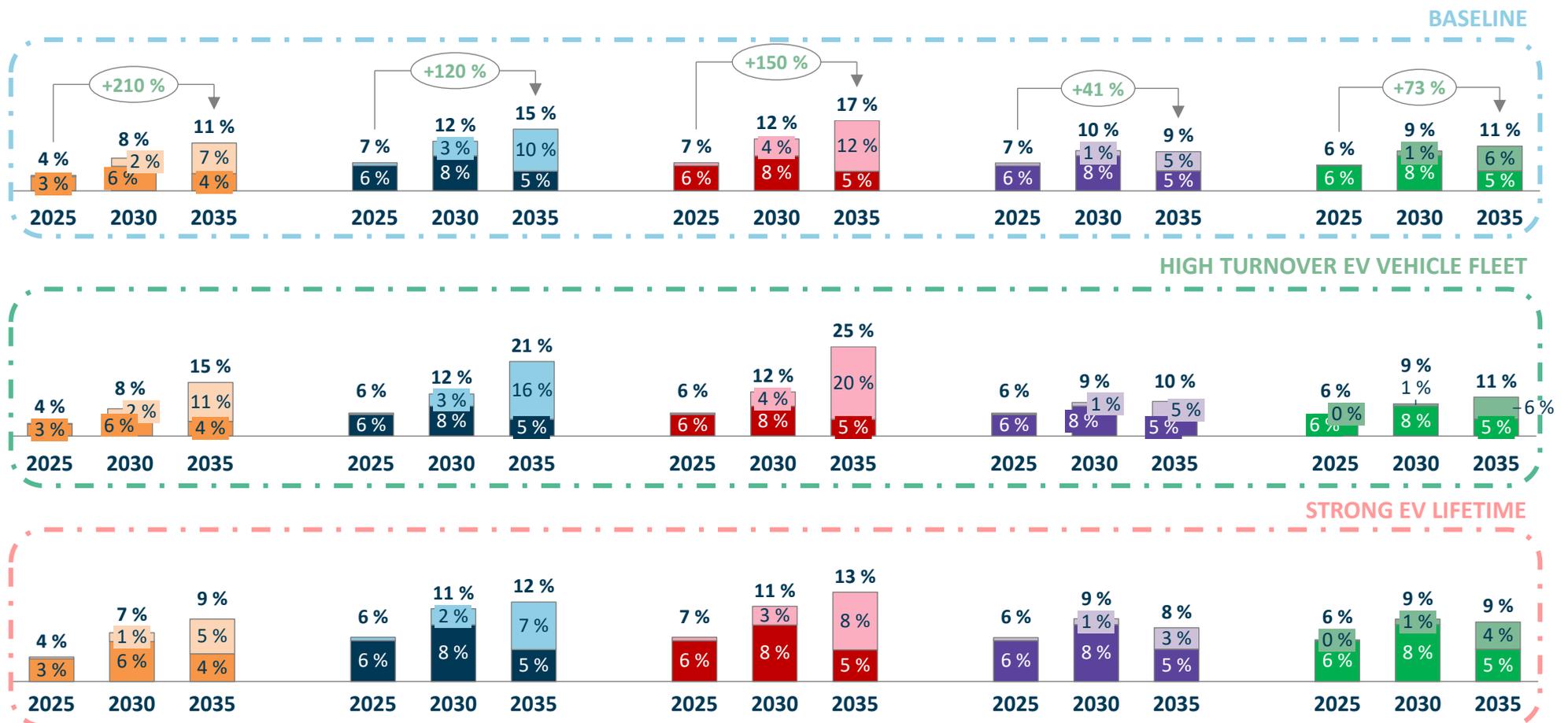
1 : Battery Replacement
Source : Analyse Strat Anticipation

Le Cobalt recyclé peut couvrir une part plus importante de la demande grâce à la sortie progressive des chimies riches en cobalt en première monte.



Recyclage | Prévisions du marché – Matériaux disponibles pour le recyclage

MÉTAUX CLÉS PROVENANT DU RECYCLAGE DES BATTERIES AUTOMOBILES EN FIN DE VIE OU DÉFAILLANTES, ET DES DÉCHETS DE PRODUCTION EN EUROPE EN POURCENTAGE DE LA DEMANDE EN MÉTAUX POUR L'AUTOMOBILE | kt, Europe, 2025-2030-2035



- Cobalt EOL & BR¹
- Iron Phosphate Scrap
- Manganese EOL & BR¹
- Nickel Scrap
- Cobalt Scrap
- Lithium (LCE) EOL & BR¹
- Manganese Scrap
- Nickel EOL & BR¹
- Iron Phosphate EOL & BR¹
- Lithium (LCE) Scrap

1 : Battery Replacement
Source : Analyse Strat Anticipation

A part pour le Cobalt, les taux d'incorporation proposés par la Commission Européenne sont réalisables en Europe mais avec de très faibles marges d'erreur.



Recyclage | Prévisions du marché – Matériaux disponibles pour le recyclage

POURCENTAGE DE LA DEMANDE DE VÉHICULES ÉLECTRIQUES ALIMENTÉE PAR DES MÉTAUX RECYCLÉS PROVENANT DE REBUTS DE PRODUCTION ET DE BATTERIES EOL PAR RAPPORT À LA NOUVELLE RÉGLEMENTATION DE L'UE – ECHELLE EUROPÉENNE

2030	OBJECTIF RÉGLEMENTAIRE DE L'UE	SCENARIO BASELINE		SCENARIO VIE COURTE		SCENARIO VIE LONGUE	
LITHIUM	6%	8%	✓	8%	✓	7%	✓
NICKEL	6%	12%	✓	12%	✓	11%	✓
COBALT	16%	12%	✗	12%	✗	11%	✗
2035	OBJECTIF RÉGLEMENTAIRE DE L'UE	SCENARIO BASELINE		SCENARIO VIE COURTE		SCENARIO VIE LONGUE	
LITHIUM	12%	11%	≈	15%	✓	9%	✗
NICKEL	15%	15%	≈	21%	✓	12%	✗
COBALT	26%	17%	✗✗	25%	≈	13%	✗✗

- Le nickel et de lithium provenant des rebuts de production et des batteries de véhicules électriques en fin de vie en Europe peut suffire à avoir des niveaux de contenu recyclé satisfaisant les taux visés. Cependant, l'approvisionnement en cobalt doit être recherché dans d'autres secteurs ou pays.
- Malgré le développement important du LFP et les efforts de l'industrie pour développer une chimie sans cobalt (Stellantis, Tesla, Volkswagen, BYD, CATL, SVOLT, ...), les batteries dépendantes du cobalt devraient rester dominantes sur le marché tout au long de la décennie, avec une part de marché de 67% en 2025 et de 58% en 2030.
- Le cobalt présente le plus grand risque de pénurie d'approvisionnement parmi les matériaux critiques. Les réserves mondiales connues sont estimées à environ 8 millions de tonnes, tandis que les besoins cumulés en cobalt pour la demande de véhicules électriques de 2020 à 2035 sont d'environ 2,1 millions de tonnes.

POUR LES PRINCIPAUX MÉTAUX, LE RECYCLAGE COUVRIRA ENVIRON 10 À 20 %* DE LA DEMANDE EN MÉTAUX À 2035

AGENDA

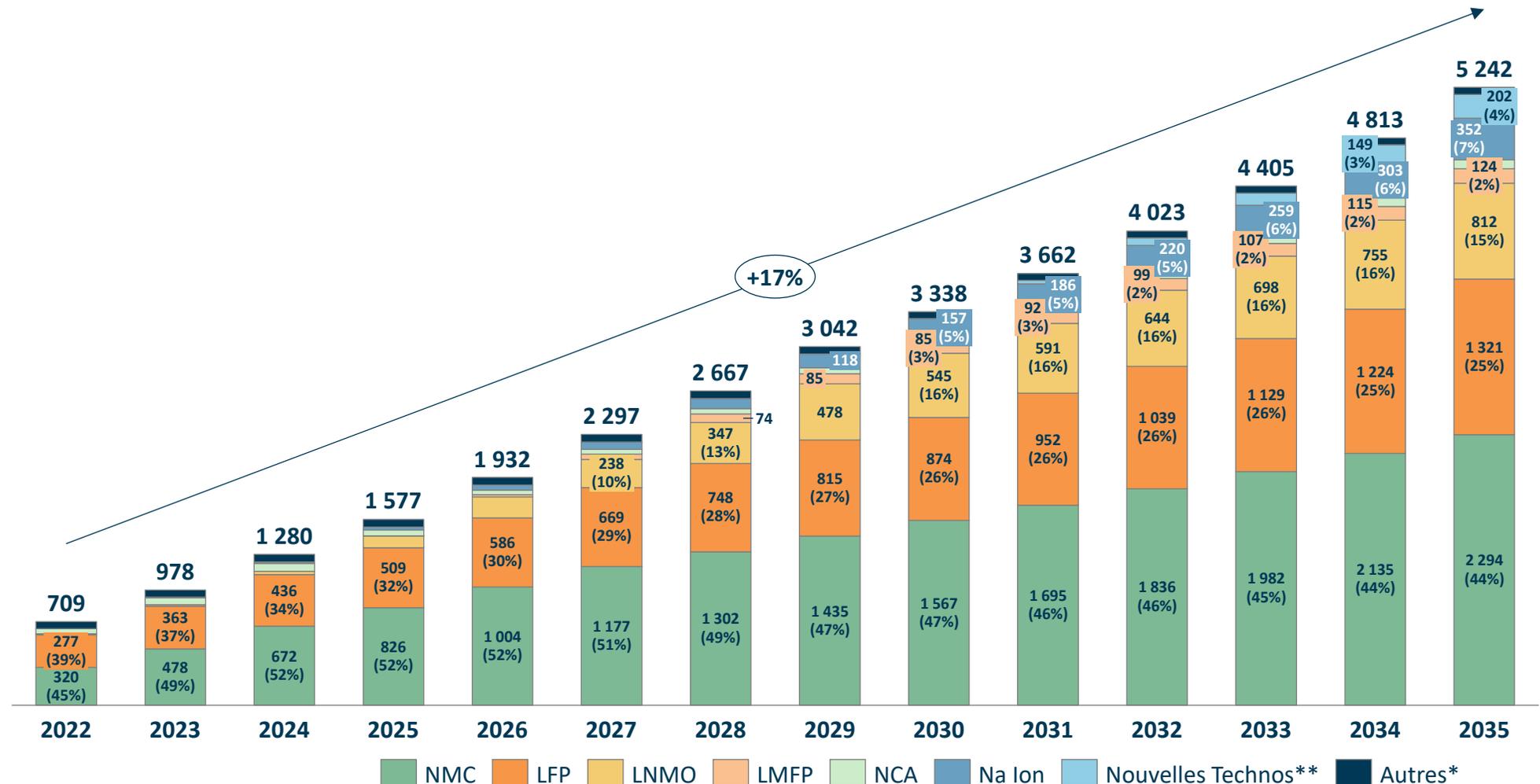
- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ ETAT DES LIEUX, CHAINE DE VALEUR ET ACTEURS
- ▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE
- ▶ REFLEXIONS SUR LA CHAINE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ ANNEXE A – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES A RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ **ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES A RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU**
- ▶ ANNEXE D – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLES

Les cathodes dominantes actuelles sont basées sur le NMC et le LFP. Ces deux technologies resteront le premier choix jusqu'en 2035

— Demande de métaux | Demande de cathodes pour les batteries

DEMANDE DE BATTERIES AU LITHIUM ET AU NA-ION PAR TYPE DE CATHODE

| GWh, Monde , 2022 – 2035. Le ratio NMC/LFP utilisé correspond à l'analyse bottom-up faite par LMCA et retraitée par Strat Anticipation



*Autres inclut NiOH, LMO, LTO, LCO

**Nouvelles technos fait référence à Li-Metal et SSB

Note: LNMO fait référence aux cathodes nickel-magnésium sans cobalt. Ces cathodes peuvent être riches en manganèse comme celle développée par Powerco pour VW, ou avec une forte teneur en Nickel comme développé par ACC pour Stellantis, ou en aluminium.

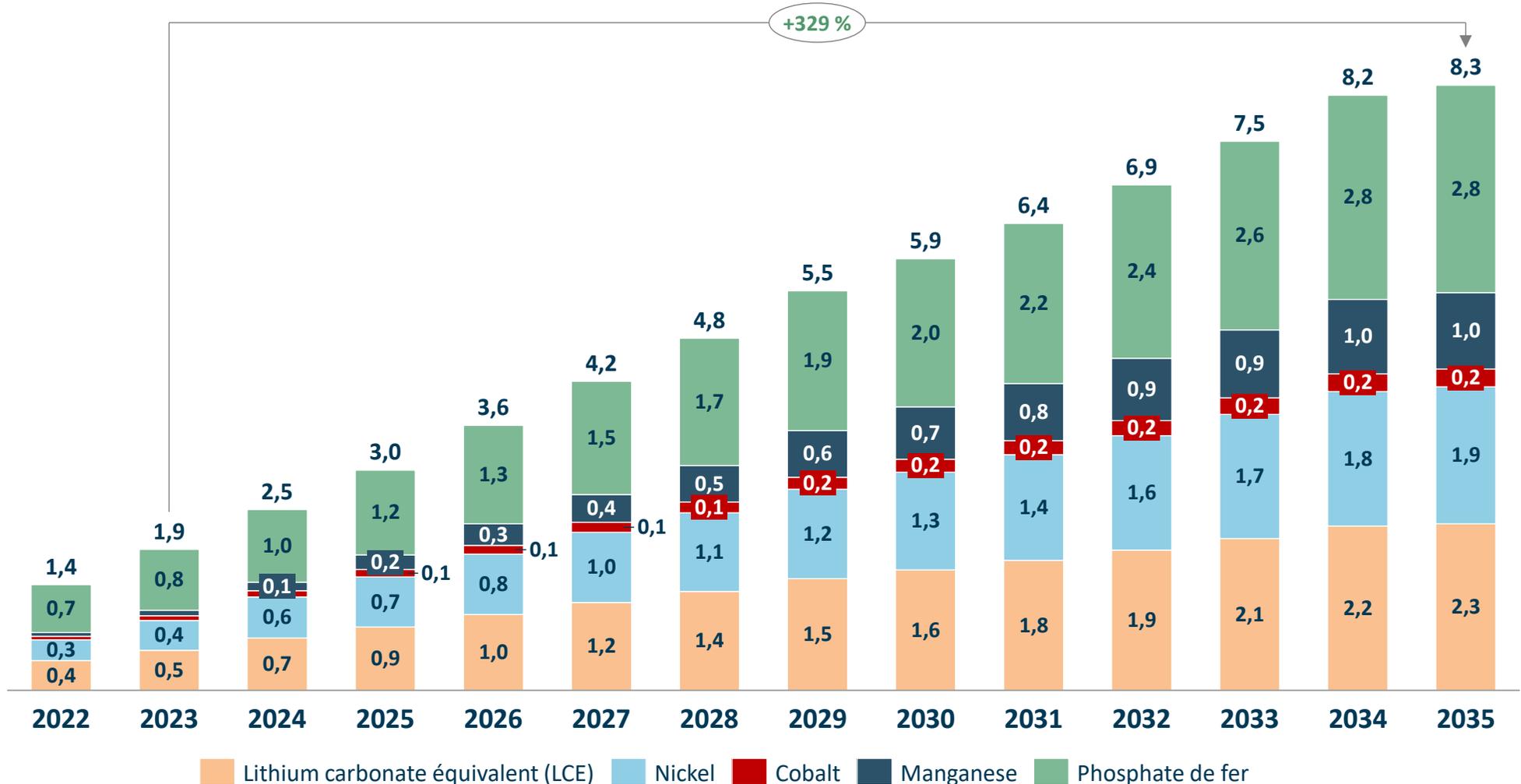
Source: LMCA 2023, Analyse Strat Anticipation

La demande de métaux critiques pour les batteries de véhicules électriques atteindra 5,9 millions de tonnes, soit une croissance de 329% entre 2023 et 2035

— Demande de métaux | Demande de métaux clés pour les batteries

PRÉVISIONS DE LA DEMANDE DE MÉTAUX CLÉS POUR LA PRODUCTION DE BATTERIES AU NIVEAU DE LA GIGAFACITORIE* |

Mt, pour PC, LCV & autres marchés d'application, Mondial, 2022-2035

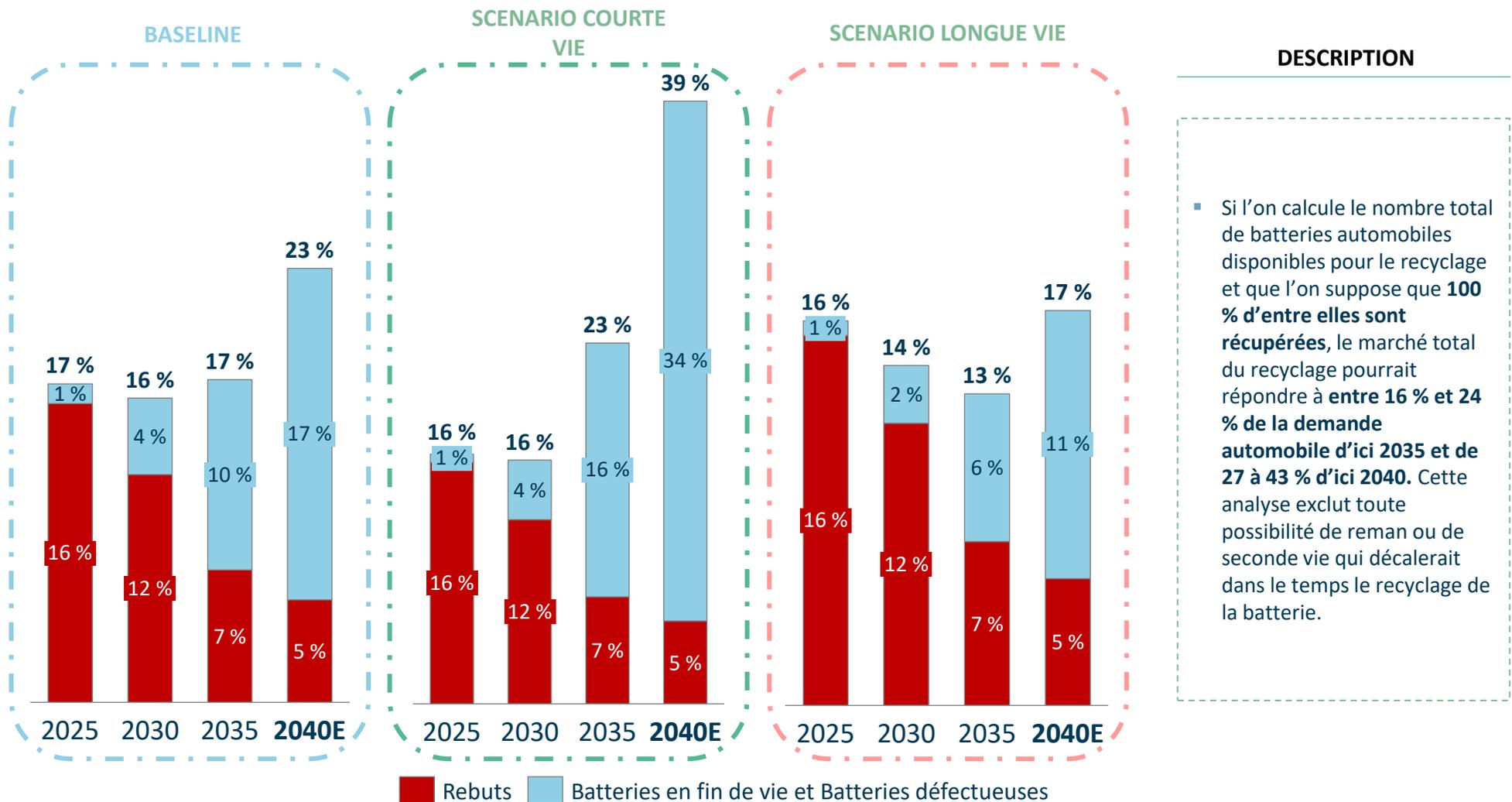


*Note: Les rebuts sont considérés ici pour une demande totale.
Source: LMCA 2023, Analyse Strat Anticipation

Si nous pensons que nous pouvons collecter et recycler 100% du gisement, le recyclage peut fournir entre 16 et 24% de la demande de métaux pour les VE en 2030

Prévisions du marché – Gisement pour le recyclage de batteries en fin de vie, défectueuses, et rebuts

GISEMENT TOTAL POSSIBLE – BATTERIES EN FIN DE VIE, DEFECTUEUSES OU REBUTS, EN POURCENTAGE DE LA DEMANDE DE MÉTAUX |
Pourcentage de la demande totale de VE, dans le monde, 2025-2030-2035-2040E



Note: Le Scrap de production correspond aux valeurs marché intégrés sur les nouveaux acteurs et les acteurs expérimentés
Source: LMCA 2023, Analyse Strat Anticipation

Une approche basée sur la réglementation de l'UE a été utilisée pour évaluer la quantité de métaux qui sera extraite du recyclage.

Recyclage | Prévisions du marché – Méthodologie : efficacité du recyclage et niveaux minimaux de récupération



RÉGLEMENTATION DES BATTERIES – OBJECTIFS DE COLLECTE ET DE RECYCLAGE

COLLECTE MINIMALE DE LA BATTERIE FIN DE VIE	
CHRONOLOGIE	TYPES DE BATTERIES
	Lithium
2025.12.31	65%
2030.12.31	70%

NIVEAUX MINIMAUX DE RÉCUPÉRATION DES MATÉRIAUX			
CHRONOLOGIE	MÉTAUX		
	Co	Li	Ni
2027.12.31	90%	50%	90%
2030.12.31	95%	80%	95%

HYPOTHÈSE : RÉCUPÉRATION DES MÉTAUX

- ▶ Nous prévoyons que l'industrie aura en moyenne 15 % de plus que l'objectif réglementaire, en particulier en ce qui concerne les matériaux qui sont chers et rentables à recycler comme le cobalt et le nickel.
- ▶ Les contraintes concernant les sources de contenu recyclé pour la fabrication des batteries vont pousser au recyclage du métal et notamment du lithium :

OBJECTIF DE CONTENU RECYCLÉ			
CHRONOLOGIE	MÉTAUX		
	Co	Li	Ni
2031.06.31	16%	6%	6%
2036.06.31	26%	12%	15%

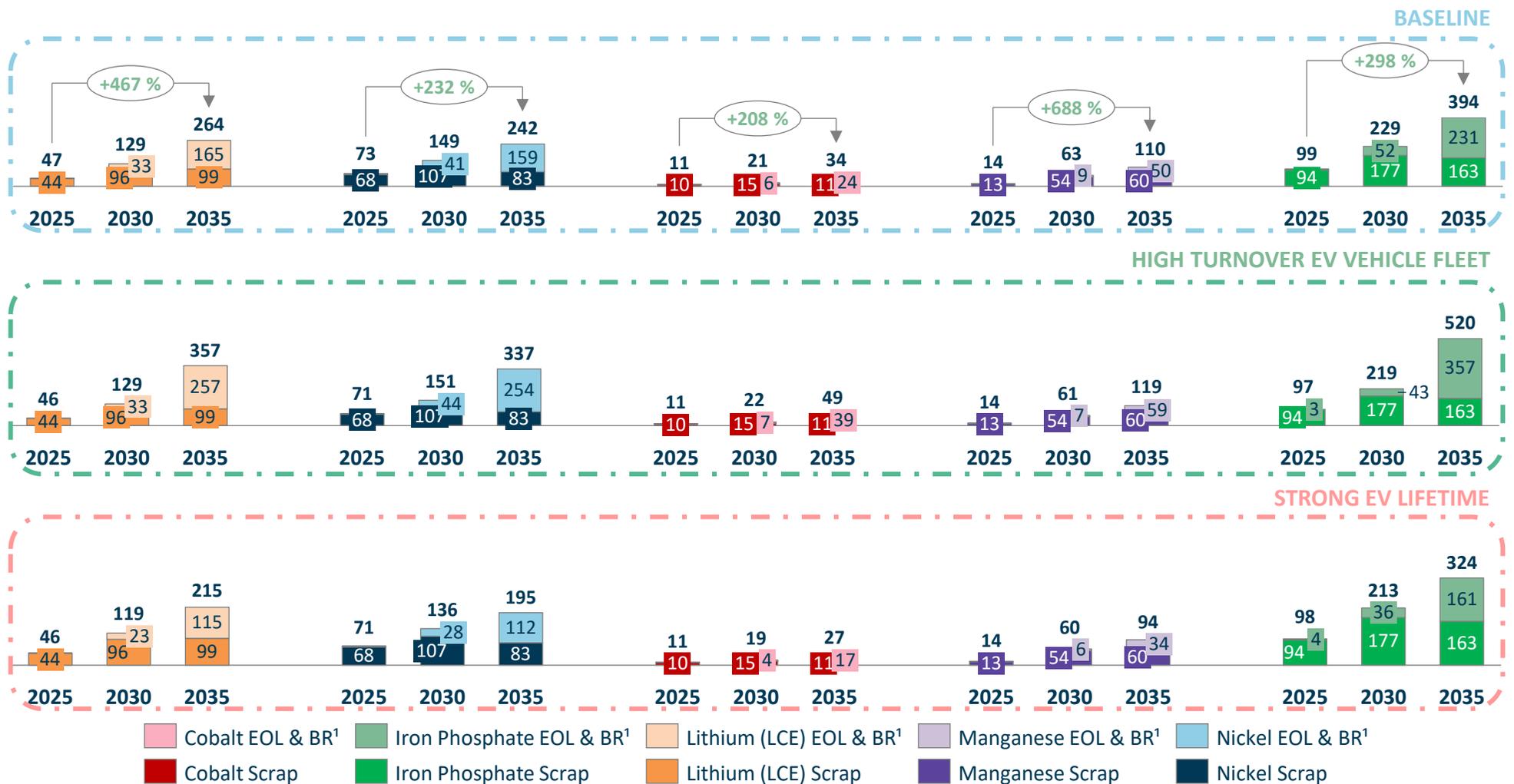
POUR AMÉLIORER CETTE APPROCHE, IL FAUDRAIT ÉVALUER LA VISION DES ACTEURS DU RECYCLAGE CONCERNANT L'EFFICACITÉ DU RECYCLAGE ET LES TAUX DE RÉCUPÉRATION

Le manganèse & le lithium recyclé connaîtront une forte croissance avec les chimies riches en manganèse & de l'amélioration des processus de recyclage du lithium.

Recycling | Market Forecast – Materials Available for recycling



KEY METALS COMING FROM EOL & REPLACEMENT AUTOMOTIVE BATTERY & PRODUCTION SCRAP – IN TOTAL | kt, Worldwide, 2025-2030-2035



1: Battery Replacement
Source : Analyse Strat Anticipation

Les taux d'incorporation proposés par la Commission Européenne sont réalisables à l'échelle mondiale, sauf pour le Cobalt.



Recyclage | Prévisions du marché – Matériaux disponibles pour le recyclage

POURCENTAGE DE LA DEMANDE DE VÉHICULES ÉLECTRIQUES ALIMENTÉE PAR DES MÉTAUX RECYCLÉS PROVENANT DE REBUTS DE PRODUCTION ET DE BATTERIES EOL PAR RAPPORT À LA NOUVELLE RÉGLEMENTATION DE L'UE – Échelle mondiale 

2030	OBJECTIF RÉGLEMENTAIRE DE L'UE	SCENARIO BASELINE		SCENARIO VIE COURTE		SCENARIO VIE LONGUE	
LITHIUM	6%	9%	✓	9%	✓	8%	✓
NICKEL	6%	13%	✓	13%	✓	12%	✓
COBALT	16%	13%	✗	13%	✗	12%	✗
2035	OBJECTIF RÉGLEMENTAIRE DE L'UE	SCENARIO BASELINE		SCENARIO VIE COURTE		SCENARIO VIE LONGUE	
LITHIUM	12%	12%	≈	17%	✓	10%	✗
NICKEL	15%	16%	✓	23%	✓	12%	✗
COBALT	26%	17%	✗✗	25%	≈	13%	✗✗

- Le pool de nickel et de lithium provenant des rebuts de production et des batteries de véhicules électriques en fin de vie peuvent avoir des niveaux de contenu recyclé satisfaisant les taux visés. Cependant, l'approvisionnement en cobalt doit être recherché ailleurs.
- Malgré le développement important du LFP et les efforts de l'industrie pour développer une chimie sans cobalt (Stellantis, Tesla, Volkswagen, BYD, CATL, SVOLT, ...), les batteries dépendantes du cobalt devraient rester dominantes sur le marché tout au long de la décennie, avec une part de marché de 67% en 2025 et de 58% en 2030.
- Le cobalt présente le plus grand risque de pénurie d'approvisionnement parmi les matériaux critiques. Les réserves mondiales connues sont estimées à environ 8 millions de tonnes, tandis que les besoins cumulés en cobalt pour la demande de véhicules électriques de 2020 à 2035 sont d'environ 2,1 millions de tonnes.

POUR LES PRINCIPAUX MÉTAUX, LE RECYCLAGE COUVRIRA ENVIRON 10 À 20 %* DE LA DEMANDE EN MÉTAUX À 2035

* : La baisse détaillée ici correspond à un taux effectif en prenant en compte une seconde vie et un recyclage non optimal (page 41)

Source : Strat Anticipation Recherche, US Geological Survey

AGENDA

- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ ETAT DES LIEUX, CHAINE DE VALEUR ET ACTEURS
- ▶ ZOOM SUR L'INDUSTRIE CHINOISE
- ▶ REFLEXIONS SUR LA CHAINE DE VALEUR DES BATTERIES
- ▶ SYNTHÈSE SUR LE RATIONNEL ÉCONOMIQUE
- ▶ SYNTHÈSE DES SUJETS REMONTÉS EN INTERVIEWS
- ▶ IDENTIFICATION DES SUJETS CLÉS POUR DISCUSSION
- ▶ ANNEXE A – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DU GISEMENT DE MATÉRIAUX BATTERIES À RECYCLER
- ▶ ANNEXE B – PRÉVISIONS DES VOLUMES DE MATIÈRES A RECYCLER EN EU & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EUROPÉENNE
- ▶ ANNEXE C – PRÉVISIONS DES VOLUMES MONDIAUX DE MATIÈRES A RECYCLER & GAP AVEC LES CIBLES DE LA RÉGULATION EU
- ▶ **ANNEXE D – MODELE STRAT ANTICIPATION DU CALCUL DE GAP ENTRE LA DEMANDE & LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX RECYCLES**



Rémi Cornubert

remi@stratanticipation.com

Mobile: +33 6 07 37 84 27

STRAT ANTICIPATION – 121 rue de Tocqueville – 75017 PARIS - FRANCE