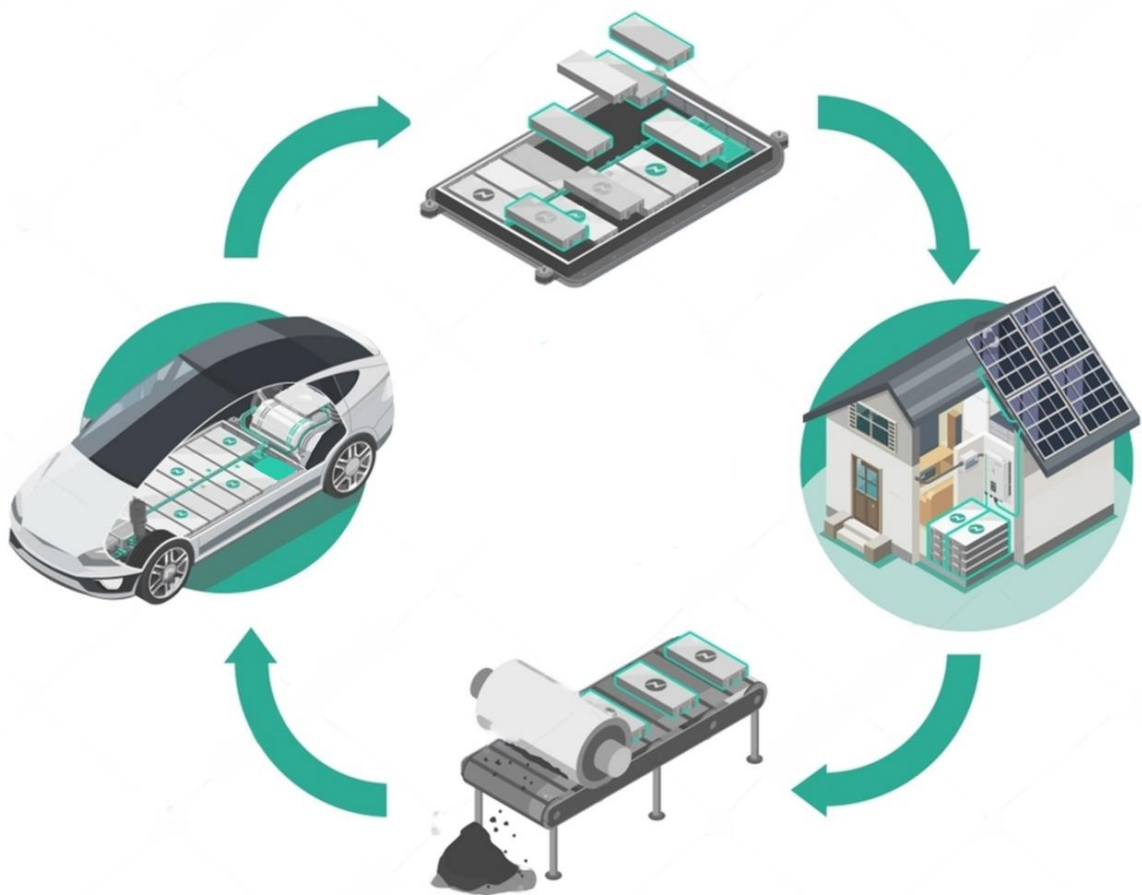


Vies de la batterie du véhicule électrique

Enjeux et recommandations aux décideurs publics



Sommaire

Liminaire	3
Résumé exécutif	4
1. Introduction.....	8
1.1. La batterie du véhicule électrique.....	8
1.2. Evolution du marché du véhicule électrique.....	11
1.3. Panorama des acteurs de l'écosystème de la batterie.....	12
1.4. Création de valeur par la batterie.....	14
2. Cadre réglementaire du traitement des batteries des véhicules électriques.....	15
2.1. Le nouveau Règlement batterie européen.....	15
2.2. Mesures notoires du nouveau Règlement européen	18
2.3. Les concepts clés autour de la vie de la batterie	20
2.4. Les principaux constats du groupe de travail.....	23
3. Schéma des transitions : une approche multi-vies de la batterie.....	25
4. Enjeux techniques et sécurité.....	27
4.1. Réparabilité de la batterie	27
4.2. Traitement de la batterie par les constructeurs automobiles et les centres VHU	30
4.3. Cas d'affectation à l'usage stationnaire.....	34
4.4. Les principaux constats du groupe de travail.....	37
5. Enjeux économiques et environnementaux.....	39
5.1. Facteurs économiques	39
5.2. Facteurs environnementaux.....	45
5.3. Autres facteurs significatifs	46
5.4. Synthèse des observations.....	47
6. Conclusion et recommandations	49
7. Annexes	52
Annexe 1 : Performances et sécurité des batteries lithium-ion	52
Termes et abréviations	56
A propos.....	57

Liminaire

L'**Avere-France**, l'association nationale pour le développement de la mobilité électrique, le Club Stockage d'énergies de l'**ATEE**, l'Association Technique Energie Environnement, et **Wavestone** ont uni leurs efforts pour lancer un Groupe de Travail (GT) commun intitulé « **Vies de la batterie du véhicule électrique** ». Ce groupe réunit les compétences et expertises des acteurs de la mobilité électrique, de l'énergie et du stockage stationnaire afin d'analyser les différentes trajectoires possibles d'extension de la durée d'exploitation des batteries de véhicules électriques.

La mission principale du GT est **d'identifier à la fois les facteurs clés et potentielles barrières, aussi bien techniques, économiques que réglementaires, au développement d'une filière de réutilisation des batteries**. À travers ce rapport, nous espérons clarifier les enjeux et les possibilités offertes par les batteries des véhicules électriques au-delà de leur utilisation initiale dans le véhicule. Les conclusions et recommandations issues de ce travail seront destinées aux acteurs des filières automobile et stockage, ainsi qu'aux décideurs politiques nationaux et européens. L'objectif est de fournir une base solide et argumentée pour soutenir les décisions stratégiques en lien avec la gestion et l'optimisation de l'exploitation de la batterie du véhicule électrique.

Le GT a adopté une approche collaborative, impliquant des experts de divers horizons pour garantir une vision complète et équilibrée des problématiques liées à la vie des batteries. Après avoir réalisé un premier cadrage des enjeux, des ateliers d'échanges ont été menés avec le groupe d'experts qui nous ont permis de structurer notre réflexion autour des 3 axes suivants :

- **Cadre réglementaire** : analyse des mesures et des définitions du Règlement batterie européen ;
- **Enjeux techniques** : analyse des défis techniques liés à la réutilisation des batteries pour d'autres applications, de mobilité comme de stockage stationnaire ;
- **Enjeux économiques & environnementaux** : l'intérêt économique et environnemental de poursuivre l'utilisation des batteries (ou de leurs composants) issues de la mobilité électrique dans des usages dits de « seconde vie ».

L'Avere-France et l'ATEE souhaitent remercier les membres de ce GT, notamment les contributeurs : AVERE Europe, BIB Batteries, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives - Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux (CEA Liten), Groupe Surplus Recyclage, Groupe Volkswagen France, Mobilians et Mobivia.

Résumé exécutif

La transition énergétique et l'augmentation rapide du nombre de véhicules électriques et hybrides rechargeables en France et en Europe entraîneront un **volume important de batteries en fin de vie dans les 10 à 15 ans à venir. Il est prévu que 8,5 millions de véhicules électriques circuleront en France d'ici 2030**, avec un stock de batteries en fin de première utilisation estimé à environ 200 GWh pour 2030 et 1 300 GWh pour 2040. Bien qu'une partie de ces batteries ne **conservent** pas une performance suffisante en l'état pour leur application d'origine, elles conservent une capacité de stockage suffisante pour des usages tels que la micro-mobilité et le stockage stationnaire d'énergie. Divers acteurs cherchent alors à optimiser cette valeur avant de procéder au recyclage.

Face à cette situation, deux associations, **l'Avere-France** (mobilité électrique) et le **Club Stockage d'énergies de l'ATEE**, avec l'appui de **Wavestone**, ont créé un Groupe de Travail (GT) pour **explorer les possibilités d'exploitation des batteries des véhicules électriques après une première utilisation**. L'objectif est d'identifier les défis réglementaires, techniques et économiques entravant ces transitions et de proposer des solutions pour les surmonter.

Le Règlement UE 2023/1542, adopté en 2023, vise à instaurer une chaîne de valeur sûre, durable et éthique pour les batteries, en mettant l'accent sur des enjeux tels que l'empreinte carbone, la santé publique, la sécurité technique et l'approche circulaire. Il définit des notions clés comme le réemploi, le remanufacturage, la réaffectation et le recyclage des batteries et de leurs composants. Cependant, la notion de réparabilité des batteries n'a pas de définition explicite. En effet, bien que ce terme soit utilisé dans le texte du Règlement « Batteries », il n'apparaît pas dans la section « définitions », ce qui laisse un espace d'interprétation, notamment sur la limite entre la réparation et le remanufacturage des batteries, dont les conséquences juridiques de l'opération par exemple sont différentes d'un point de vue de transfert de la responsabilité élargie des producteurs (REP).

Le GT a identifié deux facteurs clés permettant de prolonger la durée totale d'exploitation de la batterie et de réduire le coût de sa transition vers des usages autres que ceux d'origine, dits de "seconde vie" :

- La conception de batteries réparables « by design »¹ ;
- La possibilité pour les acteurs tiers d'accéder aux données historiques détaillées sur l'exploitation de la batterie pour évaluer son état de santé (SOH : State of Health) et ses performances.

En effet, la réaffectation des batteries pour des usages de seconde vie, comme le stockage stationnaire d'énergie, peut présenter des avantages économiques et environnementaux pour la société. Cependant, le passage vers la seconde vie est confronté à des défis économiques tels que les coûts de diagnostic et de transition. A cet égard, la réparabilité des batteries faciliterait l'accès à ses composants et réduirait le coût de leur réemploi ou leur passage en seconde vie.

Pour accompagner le développement de la filière, le GT constate également que toute opération sur la batterie ou ses composants doit être effectuée par un centre agréé, respectant des règles de sécurité strictes, avec certification du matériel et formation des travailleurs. Les différences

¹ Le terme « by design » signifie que la réparabilité des batteries est prévue dès sa conception. Ceci implique entre autres une émission par le fabricant de la batterie d'un manuel détaillé et contraignant pour l'ensemble des procédures de sa réparation.

entre certains standards et normes applicables aux usages mobiles et stationnaires peuvent aussi être vues comme des barrières au développement de la filière de la seconde vie.

L'exploitation optimale des batteries de véhicules électriques après leur première vie nécessite une collaboration étroite entre les acteurs de la mobilité électrique et du stockage d'énergie. Les recommandations du rapport visent à soutenir les décideurs politiques et industriels dans la mise en place de stratégies efficaces pour la gestion et l'optimisation de la vie des batteries, tout en répondant aux défis environnementaux et économiques.

Sur la base des travaux, **le GT a formulé 4 recommandations** visant à encourager le développement de la filière de la seconde vie :

- 1) Clarifier les termes définis par la réglementation
- 2) Converger sur les règles communes pour la collecte, la transmission et l'exploitation des données de la batterie
- 3) Soutenir l'exploitation, la réparabilité et la standardisation de la batterie du véhicule électrique
- 4) Créer les conditions favorables de l'émergence de la filière en matière de protection des opérateurs et sécurité des sites

Pour permettre la mise en œuvre de ces recommandations, **le GT préconise aux pouvoirs publics de créer un chantier ad hoc pour favoriser la concertation des acteurs de l'écosystème** autour des différents enjeux identifiés.

L'ensemble de ces recommandations sont détaillées ci-dessous :

1) Clarifier les termes définis par la réglementation

- Intégrer une définition de la « réparabilité » des batteries d'une façon claire dans la réglementation, en explicitant notamment les différences techniques et juridiques entre « réparation » et « remanufacturage » des batteries ou de leurs composants, en particulier du point de vue du transfert de la responsabilité (REP) ;
- Proposer une harmonisation des termes « 1ère vie » et « 2nde vie » des batteries, communément utilisés par les parties prenantes de l'écosystème batterie et mobilité électrique.

2) Converger sur les règles communes pour la collecte, la transmission et l'exploitation des données de la batterie

- L'accès aux informations détaillées sur l'exploitation de la batterie pendant la 1^{ère} vie facilite la transition vers les usages de la 2^{nde} vie et en réduit sensiblement le coût. Ainsi, il est important de rendre possible la mise à disposition non-discriminatoire de données dynamiques relatives aux batteries, sous réserve d'engager des initiatives de convergence sur les règles communes pour la collecte, la transmission et l'exploitations de ces données, et du respect des règles en matière de protection des données (RGPD), notamment d'accord

du client, et des dispositions des règlements européens. Ce cadre standardisé, à préciser, facilitera le partage des « données » de la batterie pour permettre la réparation, le remanufacturage, le réemploi ou la réaffectation.

- Garantir le libre choix des consommateurs en offrant aux opérateurs indépendants un accès effectif, équitable et non discriminatoire aux interfaces et outils de diagnostic, supports techniques et données.

3) Soutenir l'exploitation, la réparabilité et la standardisation de la batterie du véhicule électrique

- Promouvoir l'élaboration de normes communes pour des techniques de conception, d'assemblage et de tests qui facilitent l'entretien, la réparation et la réaffectation des batteries et de leurs composants ;
- Inciter les constructeurs automobiles et les producteurs de batteries à adopter le concept de réparabilité « by design », permettant d'étendre de manière garantie et sécurisée la durée d'exploitation de la batterie du véhicule électrique ;
- Encourager les producteurs de batteries à développer des solutions et des pièces standardisées, compétitives et accessibles dans la durée aux opérateurs tiers, afin de permettre la réparation ou la mise à niveau des véhicules tout au long de leur cycle de vie et ce, même après la fin de la disponibilité des technologies d'origine.

4) Créer les conditions favorables à l'émergence de la filière en matière de compétitivité, d'industrialisation et de sécurisation des activités.

- Structurer et renforcer la qualification des professionnels de la batterie pour garantir des interventions sûres et efficaces, que ce soit pour leur usage initial, le réemploi ou la seconde vie.
- Promouvoir le développement de sites pilotes et d'outillages dédiés, tout en certifiant les matériels utilisés dans les centres de traitement des batteries, afin d'assurer la compétitivité, l'excellence opérationnelle et la sécurité des installations.
- Définir et harmoniser, en concertation avec l'ensemble des parties prenantes, des procédures de certification et des bonnes pratiques de sécurité couvrant toutes les étapes du cycle de vie des batteries.

Créer un chantier ad-hoc qui servira aux pouvoirs publics de lieu privilégié de concertation avec l'ensemble des parties prenantes afin d'identifier et de lever les barrières au développement de la filière batterie, de la mobilité électrique et du stockage.

Ce chantier, piloté par une instance neutre mandatée par les pouvoirs publics, devra être ouvert à l'ensemble des acteurs concernés, notamment :

- Aux membres de l'écosystème de la mobilité électrique (fabricants de batterie, constructeurs automobiles, constructeurs de pièces détachées, réparateurs de véhicules, centres VHU, etc.) ;
- Aux membres de l'écosystème du stockage stationnaire (porteurs de projets, fournisseurs des installations, installateurs, exploitants des batteries, etc.) ;
- Aux acteurs du système électrique (gestionnaire de réseaux de distribution et de transport, fournisseurs d'électricité, agrégateurs, etc.).

Ce chantier devrait permettre de **favoriser le dialogue et la coopération entre les acteurs principaux des différents écosystèmes** de la première et de la seconde vie. Il pourra aborder divers aspects techniques, économiques, législatifs et réglementaires, ainsi que contractuels, concernant la réparabilité des batteries, le partage des données des véhicules et le développement des filières associées aux différentes vies des batteries.

En parallèle, ce chantier devra également se pencher sur la création d'un cadre pédagogique destiné au grand public, afin qu'il puisse mieux comprendre les enjeux liés à la mobilité électrique, notamment en termes de transition énergétique et de dépendance aux matériaux critiques. Ce cadre pédagogique devra éclairer, entre autres, sur les aspects économiques et environnementaux, afin de permettre aux consommateurs de faire des choix éclairés quant à leur futur véhicule électrique. Il pourra partager également des bonnes pratiques pour préserver la batterie et prolonger sa durée de vie.

Vies de la batterie du véhicule électrique

Enjeux et recommandations aux décideurs publics

1. Introduction

1.1. La batterie du véhicule électrique

La batterie comme assemblage de composants

Notre GT se concentre spécifiquement sur les batteries lithium-ion rechargeables destinées à l'alimentation des véhicules électriques. **Le terme "batterie" fait référence à l'ensemble complet du système**, englobant plusieurs composants : les cellules électrochimiques, le module de gestion de la batterie, le dispositif de refroidissement, l'emballage, les contacts, les câblages électriques ainsi que le système de gestion de batterie intégré (Battery Management System – BMS).

Vue éclatée d'une batterie de BMW iX3

BMW



Types de batteries des véhicules électriques

Les constructeurs adoptent des stratégies différentes quant aux technologies de batteries pour leurs véhicules électriques. Il est essentiel de distinguer deux aspects : la chimie des cellules (LFP, NMC, etc.) et le design du pack (dissociable ou non dissociable).

Les différentes chimies de batteries

Les batteries se déclinent en fonction de la chimie de leur cathode, qui détermine leurs caractéristiques en termes de coût, de densité énergétique et de durabilité :

- **Les batteries LFP (Lithium - Fer - Phosphate)** : cette technologie est plus économique car elle utilise moins de métaux nobles comme le cobalt ou le nickel. Elles offrent une grande longévité et une meilleure stabilité thermique, mais leur densité énergétique est plus faible que les autres types de batteries, ce qui les rend légèrement moins performantes en termes d'autonomie.
- **Les batteries NMC (Nickel - Manganèse - Cobalt)** : ces batteries offrent une densité énergétique plus élevée, ce qui se traduit par une meilleure autonomie pour les véhicules. Cependant, leur coût de production est plus élevé en raison de la présence de métaux rares comme le cobalt et le nickel. Elles sont aussi plus sensibles aux cycles de charge et décharge, ce qui peut affecter leur longévité.

La conception du pack batterie

Outre la chimie des cellules, la conception du pack de la batterie est un autre critère essentiel. Il existe 2 catégories de batteries :

- **Les batteries non dissociables** : le bloc batterie est constitué de modules non dissociables du caisson et non démontables. Ces batteries, dont les composants sont soudés, sont considérées comme économiquement irréparables par l'assureur compte tenu du coût de remplacement intégral de la batterie. Ces batteries non dissociables limitent les possibilités de réparation et de réutilisation, pouvant ainsi compromettre le développement de la filière de la seconde vie. A noter que le fait de remplacer intégralement la batterie augmente cependant le taux de disponibilité des matériaux recyclés² et que les contraintes d'incorporation de matières recyclées sont également moins importantes pour ce type de batterie.

Les batteries dissociables (ou modulaires) : le bloc batterie est constitué de modules dissociables et démontables. Ce concept permet de « standardiser » le pack de batteries et d'intervenir en cas de besoin pour remplacer uniquement les éléments nécessaires. Les constructeurs qui ont fait ce choix ont également déployé des sites permettant d'effectuer ces réparations. Dans la majorité des cas, il s'agit de remplacer les modules qui composent cette batterie, le caisson ou le système de gestion de batterie. Leur coût de production est bien plus élevé que celui des batteries non dissociables, car elles nécessitent une conception plus complexe pour faciliter le démontage. En revanche, le coût d'intervention en cas de sinistre, tout comme le coût environnemental, sont eux bien moins importants puisqu'on ne remplace que les éléments défectueux et non la batterie complète.

Actuellement, le marché de l'électro-mobilité est largement tourné vers la vente de véhicules électriques. Face à la concurrence sur les prix et aux exigences de performances accrues, les constructeurs adoptent des stratégies différentes en matière de conception de batteries. Certains choisissent de réduire les coûts en optant pour des batteries non dissociables, tandis

² Voir partie 2 sur la réglementation pour les obligations de recyclage.

que d'autres préfèrent investir dans des batteries réparables dès la conception. Si la première approche permet de proposer des véhicules plus accessibles à court terme, l'option réparable présente des avantages significatifs en termes de durabilité et de maintenance, en facilitant la réparation et le remplacement de composants défectueux. Cette stratégie contribue également à une meilleure gestion du cycle de vie des batteries et à une réduction des déchets. À noter que l'utilisation de batteries non réparables peut entraîner des défis supplémentaires pour les constructeurs, notamment en cas de défaut de fabrication, où la réparation du véhicule devient plus complexe et coûteuse.

Durée de vie des batteries des véhicules électriques d'origine

Bien que l'essor des véhicules électriques soit relativement récent, les constructeurs ont déjà un certain recul sur la durée de vie qui leur permet cependant d'estimer une plage de 10 à 15 années d'utilisation normale de la batterie, soit environ 1000 à 1500 cycles de charge, avant qu'elle n'atteigne un seuil limite de 70% de sa capacité initiale.

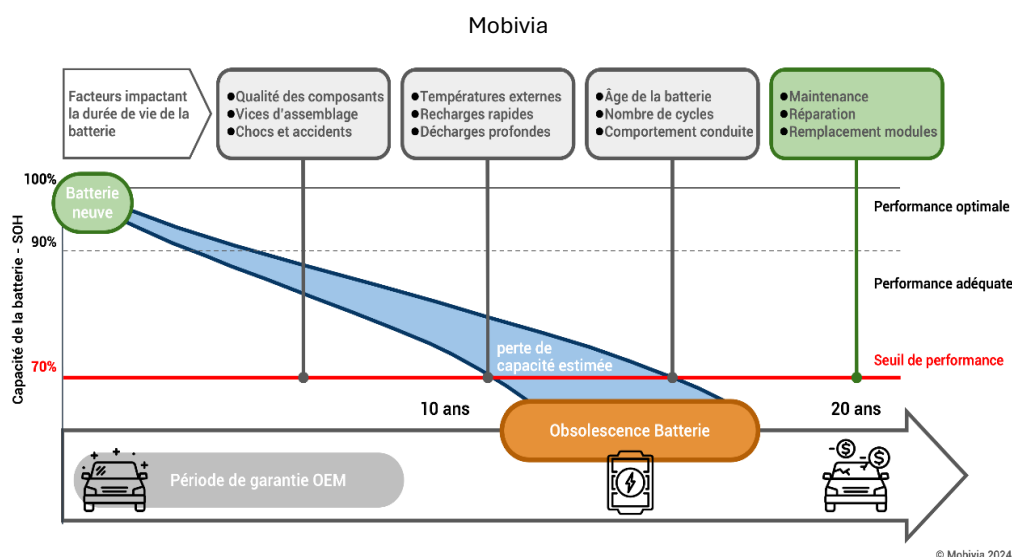
Cette durée de vie pourrait néanmoins être très variable d'un véhicule à l'autre selon les facteurs rencontrés à l'usage :

- Même en utilisation normale, l'âge et le nombre de cycles de recharge viennent inexorablement altérer l'état de la batterie. Par exemple, en évitant de descendre en dessous de 20 % et de charger au-delà de 80%, on préserve la batterie.
- L'entretien, la réparation, voire l'amélioration de composants permettent néanmoins de prolonger la durée de vie de la batterie dans sa configuration d'origine.
- La garantie du constructeur (généralement de 8 années) ne devrait concerner que les rares occurrences de vices de fabrication ;
- Les batteries des véhicules accidentés sont aujourd'hui mises au rebut par mesure conservatoire, en raison des risques accrus de dysfonctionnement et de départ de feu ;
- Les anomalies de charges (décharges profondes, recharges rapides excessives, températures externes sévères...) accélèrent la dégradation du SOH des batteries ;

Comme illustré dans la figure suivante, il existe donc un véritable enjeu lié à la durée de vie et l'obsolescence du véhicule électrique si la batterie ne peut assurer une performance durable. Alors que la fiabilité des pièces et des motorisations électriques pourrait permettre d'envisager d'étendre l'usage du véhicule au-delà des 20 ans³ – permettant un meilleur rendement des matériaux utilisés, et pour le consommateur, une utilisation plus durable au regard du prix d'acquisition du véhicule – la non réparabilité des batteries et l'impossibilité d'en prolonger la durée de vie peut s'avérer une cause d'obsolescence et de perte pécuniaire pour l'automobiliste, constituant un non-sens environnemental autant que sociétal.

³ A raison d'une dégradation moyenne annuelle des véhicules de 1,8%, la durée de vie des véhicules pourrait attendre 20 ans, selon une étude réalisée en 2024 par Geotab sur 10 000 véhicules électriques.

Batterie et véhicule : Enjeux de durée de vie et d'obsolescence



1.2. Evolution du marché du véhicule électrique

La France, tout comme l'Europe, connaît une accélération de son processus d'électrification dans le secteur du transport routier, marquée par l'interdiction de la vente des véhicules légers à moteur thermique neufs d'ici 2035 (2040 pour les véhicules lourds). En France, le nombre de véhicules électriques (VE) se rapproche des 1,8 millions fin juin 2024⁴, avec des prévisions d'atteindre 8,5 millions de VE en 2030, soit environ 20% du parc automobile léger⁵. En 2040, on s'attend à ce que plus de 40 % du parc automobile léger soit électrique. D'ici 2050, la trajectoire de référence prévoit une électrification à hauteur de 95 % du parc de véhicules légers français, soit près de 36 millions de véhicules électriques. Quant aux transports lourds, il est prévu d'atteindre entre 25 000 et 50 000 véhicules lourds en 2030 et 120 000 en 2035, selon le Bilan Prévisionnel de RTE (2023).

La capacité des batteries des véhicules électriques varie en fonction des modèles et des constructeurs : allant généralement de 30 kWh à plus de 100 kWh pour les véhicules particuliers et plusieurs centaines de kWh⁶ pour les poids lourds. Compte tenu de l'évolution de l'électrification du secteur du transport routier et en anticipant une durée de vie moyenne de la batterie allant de 1000 à 1500 cycles de charge⁷, **on s'attend à ce qu'un volume considérable de batteries provenant des véhicules électriques arrive sur le marché d'ici 10 à 15 ans⁸.**

La question de l'optimisation de ce potentiel est de plus en plus abordée par les acteurs des écosystèmes de la mobilité électrique et du stockage d'énergie, rendant la gestion du cycle de vie une priorité. Après une première utilisation dans un véhicule, ces batteries conservent un potentiel énergétique significatif, qui peut être exploité pour diverses applications : mobiles, dans le même véhicule ou un autre, et stationnaires, comme soutien au stockage d'énergies

⁴ « Baromètre des immatriculations des véhicules électriques et hybrides rechargeables », Avere-France, Juin 2024

⁵ « Bilan Prévisionnel 2023 : Point d'étape », RTE, 2023

⁶ La transition de l'autocar vers des technologies zéro émission (Avere-France et France Hydrogène, 2023)

⁷ Predictive Models Of Li-ion Battery Lifetime, NREL, 2014

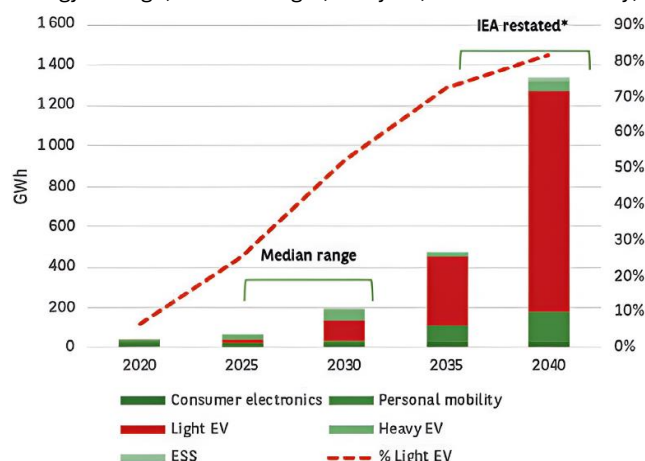
⁸ AIE, Circular Energy Storage, Roland Berger, Li-Cycle, Rare Earth Advisory, mars 2022

renouvelables. Elles peuvent également être recyclées pour récupérer les matières premières, ce qui devient progressivement une exigence réglementaire à l'échelle européenne.⁹

Cependant, prévoir la quantité exacte de batteries en fin de vie issues des véhicules électriques reste très difficile, et les estimations varient considérablement selon les sources et les hypothèses considérées¹⁰. L'Agence Internationale de l'Energie prévoit au niveau mondial un gisement de batteries d'environ 170 GWh pour 2030 et 1 300 GWh pour 2040.

Estimation mondiale de la quantité de batteries en fin de vie par application d'ici 2040

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



*données de l'AIE retraitées pour intégrer les batteries pour équipements électroniques

1.3. Panorama des acteurs de l'écosystème de la batterie

Acteurs de l'écosystème

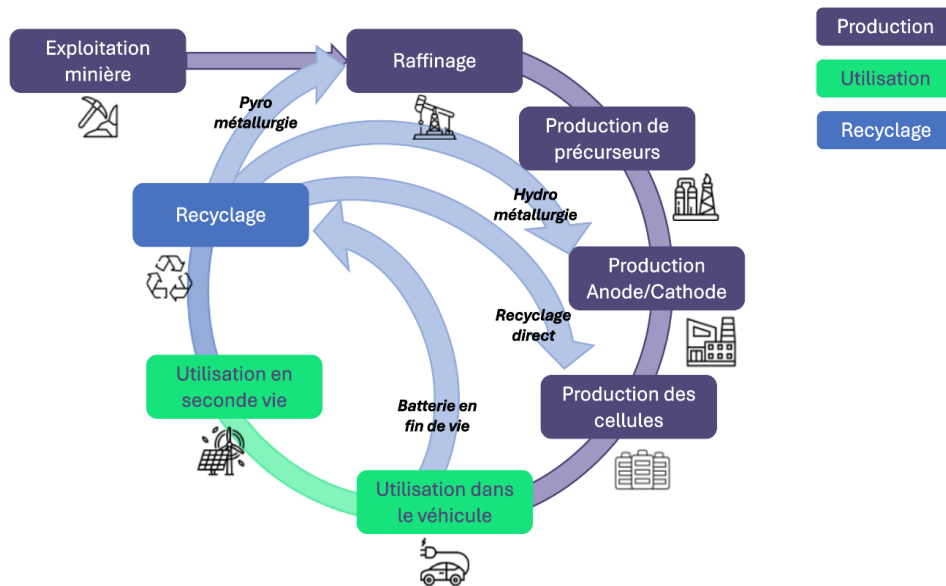
La chaîne de valeur de la batterie pour véhicules électriques est interconnectée et implique plusieurs acteurs, chacun jouant un rôle crucial dans la conception, la fabrication, l'assemblage, la distribution et la gestion de ces batteries. La figure ci-dessous présente une vue d'ensemble des principaux acteurs impliqués dans la chaîne de valeur lorsqu'on intègre la seconde vie.

⁹ Précisé dans la suite du rapport. Règlement (UE) 2023/1542 du Parlement européen et du Conseil du 12 juillet 2023 relatif aux batteries et aux déchets de batteries

¹⁰ Croissance du marché, taille moyenne des batteries, durée de vie du véhicule...

La chaîne de valeur de la batterie du véhicule électrique

Schéma adapté de Rare Earth Advisory, 2022



Une liste plus exhaustive est développée ci-dessous :

- **Extraction minière** : les matières premières nécessaires (lithium, cobalt, nickel, manganèse, graphite) sont extraites dans divers pays pour la plupart non européens (Australie, RDC, Russie, Amérique du Sud, etc.) et sont plus ou moins critiques ;
- **Raffinage** : les matières premières sont purifiées et transformées en produits à valeur ajoutée, principalement en Chine ;
- **Fabrication des composants de cellules** : les matériaux raffinés sont combinés pour créer par exemple les électrodes des cellules de batteries, principalement en Asie (Chine, Japon) ;
- **Fabrication des cellules** : les cellules sont actuellement fabriquées très majoritairement en Asie (Chine, Corée, Japon) et un peu aux États-Unis. Des premières usines européennes ont commencé leurs productions récemment ;
- **Fabrication des batteries** : les entreprises conçoivent et produisent les batteries, avec une production en majorité hors UE, bien que des usines soient déjà en service ou soient en développement en Europe pour être au plus proche des intégrateurs, c'est à dire les constructeurs automobiles ;
- **Fabrication des véhicules** : les batteries sont ensuite intégrées aux véhicules par les constructeurs. A noter que les véhicules électriques sont de plus en plus fabriqués en Europe, pour le marché européen même s'il y a eu ces dernières années une augmentation des importations de VE en Europe ;
- **Fourniture de technologies et composants** : des entreprises fournissent des systèmes de gestion thermique de batterie, contrôleurs de charge, etc. ;
- **Distribution et vente au détail** : concessionnaires, magasins spécialisés, garages ;
- **Réutilisation et réparation** : des acteurs spécialisés reconditionnent les batteries pour diverses applications après leur première utilisation, comme les acteurs du stockage stationnaire, centres VHU, etc. ;
- **Recyclage** : les batteries sont recyclées pour récupérer les matières premières ;
- **Régulation et gouvernance** : les gouvernements et administrations établissent des normes et incitations pour soutenir le développement marché des véhicules électriques ;

- **Consommateurs finaux** : les acheteurs de véhicules électriques influencent directement la demande, notamment selon une logique de prix d'achat.

Souveraineté européenne et initiatives

La chaîne de valeur de la fabrication des batteries pour véhicules électriques, interdépendante et complexe, repose largement sur des pays hors de l'Union Européenne, avec une domination asiatique et notamment chinoise. Cependant, les efforts récents de l'UE visent à renforcer la souveraineté européenne en stimulant l'industrie minière locale et en promouvant l'innovation dans toute la chaîne de valeur.

Pour réduire cette dépendance, l'UE et les constructeurs européens cherchent à intégrer la production de batteries et le recyclage sur le territoire européen. Le "Green Deal" de l'UE et l'initiative "European Battery Innovation" visent à renforcer la souveraineté européenne et à promouvoir l'innovation dans la chaîne de valeur des batteries. Des investissements significatifs sont prévus pour stimuler l'industrie minière locale et encourager le recyclage, notamment par le biais de subventions publiques.

Également, le Règlement européen 1542/2023 régit les aspects liés aux batteries et à leur fin de vie, renforçant la compétitivité et la durabilité de l'industrie européenne. A ce titre la partie 2 de ce rapport présente une analyse réglementaire détaillée.

1.4. Création de valeur par la batterie

À la fin de leur première vie dans un véhicule électrique, les batteries conservent une valeur économique importante, que divers acteurs cherchent à exploiter au mieux. Les principaux récepteurs de ces batteries usagées sont les centres de Véhicules Hors d'Usage (VHU), les réseaux des constructeurs automobiles et les garages, chacun jouant un rôle spécifique dans leur gestion.

- **Les centres VHU** se chargent de la dépollution, du démontage et de la préparation des batteries en vue de leur recyclage.
- **Les constructeurs automobiles**, quant à eux, s'en servent pour gérer les stocks, effectuer la maintenance et anticiper les besoins en matière première.
- **Les garages** collectent les batteries usagées lors des remplacements et peuvent parfois les valoriser en vendant certaines pièces détachées.

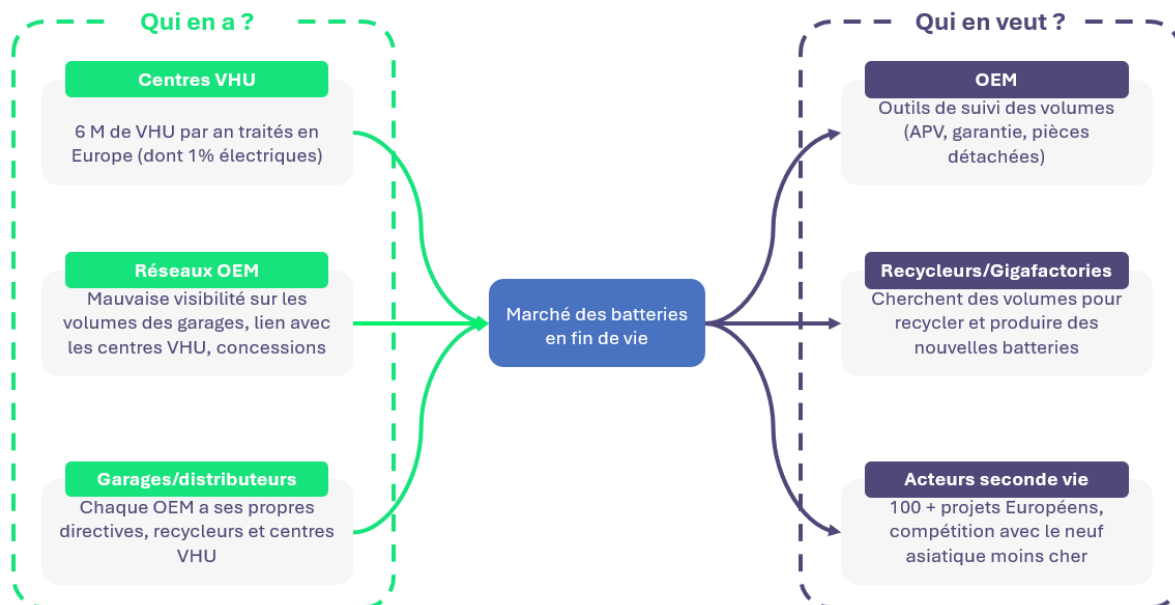
Divers acteurs tels que les constructeurs automobiles, les gigafactories et les recycleurs s'efforcent également de récupérer ces batteries afin d'en extraire les matières premières. Ces ressources sont ensuite réinjectées dans la fabrication de nouvelles batteries, conformément aux réglementations en vigueur. Il est cependant important de noter que, dans de nombreux cas, ces acteurs ne tirent pas pleinement parti du potentiel énergétique résiduel des batteries. Leur valorisation se limite souvent aux composants et matériaux.

En parallèle, de plus en plus d'acteurs, notamment ceux de la **seconde vie**, cherchent à valoriser les batteries pour leur potentiel énergétique restant. Ils réutilisent les batteries dans des applications comme le stockage stationnaire, ou dans la mobilité, pour des véhicules moins exigeants tels que les navettes urbaines, vélos électriques ou véhicules industriels. Cette approche permet d'allonger le cycle de vie des batteries sans passer directement par le recyclage, réduisant les déchets et la consommation de nouvelles ressources.

Une collaboration entre les différents acteurs est cruciale pour tirer au mieux partie du potentiel de ces batteries.

Gisement de batteries en fin de vie

Schéma adapté de BIB Batterie



2. Cadre réglementaire du traitement des batteries des véhicules électriques

2.1. Le nouveau Règlement batterie européen

Depuis 2006, les **batteries et les déchets de batteries sont réglementés au niveau de l'UE** dans le cadre de la Directive 2006/66/CE du 6 septembre 2006 relative aux piles et accumulateurs ainsi qu'aux déchets de piles et d'accumulateurs. Cette Directive fixait des règles de mise sur le marché et de gestion des déchets des piles et accumulateurs, sans mettre l'accent sur la durabilité de ces produits.

En 2017, la Commission a lancé l'Alliance européenne pour les batteries afin de construire en Europe une chaîne de valeur des batteries innovante, durable et compétitive à l'échelle mondiale en Europe et d'assurer l'approvisionnement en batteries nécessaires pour la décarbonisation des secteurs des transports et de l'énergie.

En décembre 2020, sous l'impulsion de l'alliance, la Commission Européenne a proposé de réviser cette Directive en raison de nouvelles conditions socio-économiques, de développements technologiques, de nouveaux marchés et de nouvelles utilisations de batteries.

Le **17 août 2023 est entré en vigueur un nouveau Règlement « Batteries »**, officiellement dénommé « Règlement (UE) 2023/1542 du Parlement européen et du Conseil du 12 juillet 2023 *relatif aux batteries et aux déchets de batteries, modifiant la Directive 2009/98/CE et le Règlement (UE) 2019/ 1020 et abrogeant la Directive 2006/66/CE* »¹¹.

Pour les batteries industrielles rechargeables, de Moyens de Transport Léger (MTL)¹² et celles de véhicules électriques, ce Règlement sera applicable à partir du 18 août 2027 soit 18 mois après la date d'entrée en vigueur de l'acte délégué prévu par ce Règlement.

Ce Règlement s'inscrit dans la « nouvelle stratégie de croissance de l'Europe » (communément appelée « Pacte Vert pour l'Europe ») et vise donc une mise sur le marché de « *batteries durables pour une économie circulaire et climatiquement neutre* » selon les termes de la Commission européenne. Il s'inscrit également dans l'exécution du plan d'action européen de 2018 plaçant les batteries au centre de sa politique industrielle.

Le nouveau texte s'applique à **toutes les catégories de batteries** (dont les batteries de véhicules électriques) ayant été produites, importées, mises « sur le marché ou mises en service [...] au sein de l'Union », indépendamment de leurs caractéristiques (forme, volume, composition, finalité, etc.).

Il est cependant important de noter que ce Règlement **ne s'applique que partiellement à certaines catégories de batteries, dont les batteries usagées**, pour lesquelles il n'existe que des exigences minimales pour leur transfert.

Le champ d'application du Règlement couvre tous les intervenants du cycle de vie des batteries, notamment :

« Le fabricant, le mandataire, l'importateur, le distributeur ou le prestataire de services d'exécution des commandes ou toute autre personne physique ou morale qui est soumise à des obligations liées à la fabrication, la préparation en vue d'un réemploi, la préparation en vue d'une réaffectation, la réaffectation ou le remanufacturage des batteries, la mise à disposition ou la mise sur le marché de batteries, y compris en ligne, ou leur mise en service ».

Le Règlement prévoit de nouvelles exigences en matière de durabilité, de sécurité et de performance énergétique des batteries, qui varient selon leur catégorie: les opérateurs économiques doivent s'assurer de respecter les restrictions relatives aux **substances dangereuses**, les **pourcentages de contenu recyclé** de cobalt, de plomb, de lithium ou de nickel, ainsi que les exigences de **performance et de durabilité** pour les batteries industrielles rechargeables et les batteries de véhicules électriques.

De manière synthétique, les nouvelles obligations pesant sur les intervenants du cycle de vie des batteries sont :

- Pour les fournisseurs :
 - *Contrôles nécessaires dans la chaîne d'approvisionnement*
 - *Réduction de l'impact CO₂*
 - *Conformité des matériaux avec les requis réglementaires*

¹¹ Il est à noter que ce Règlement est applicable directement dans les États-membres conformément aux dispositions de l'article 288 du Traité sur le Fonctionnement de l'Union Européenne (TFUE). En effet, contrairement aux directives européennes qui nécessitent une loi de transposition pour être applicables au niveau national, les Règlements sont d'application directe.

¹² MTL est l'abréviation de Motocyclette légère, qui désigne un 2 roues donc la puissance est inférieure à 11 Kw.

- *Utilisation de matériaux recyclés*
- Pour la fabrication de la batterie :
 - *Réduction de l'impact CO₂ lié à la production et l'obligation de déclaration d'empreinte carbone¹³*
 - *Utilisation de matériaux recyclés dans la construction d'une batterie neuve*
 - *Documentation plus complète et conforme à fournir, incluant un marquage permettant d'identifier le producteur, les informations générales des batteries, la durée moyenne minimale d'utilisation ou leur capacité de rechargement ou non, ainsi que leur composition*
 - *Déclaration de conformité*
- Caractéristiques et utilisation des batteries :
 - *Implémentation d'un Passeport Batterie*
 - *Nouvelles obligations concernant la disponibilité et la longévité des batteries / cellules de batteries*
 - *Obligation d'information de l'utilisateur final concernant l'état de santé et la durée de vie des batteries*
 - *Transmission de données techniques*
- Fin de vie de la batterie :
 - *Obligation pour les distributeurs de vérifier la conformité de la batterie*
 - *Schéma de récupération des batteries en fin de vie avec taux de collectes à respecter*
 - *Prérequis pour la réutilisation de la batterie en 2ème vie, ou pour sa remise en état*
 - *Obligations de recyclage en fin de vie. A noter que ce dernier point ne change pas la situation pour les producteurs. Seuls les objectifs de performance de recyclage sont revus à la hausse.*
- **L'obligation d'étiquetage et de marquage**, relatifs aux informations générales des batteries, la durée moyenne minimale d'utilisation ou leur capacité de rechargement ou non, ainsi que leur composition.

*Une des mesures phares sur ce plan est l'institution d'un **passeport batterie**, c'est-à-dire un enregistrement électronique qui sera, à partir du 18 février 2027, associé à chaque batterie MTL, industrielle d'une capacité supérieure à 2 kWh ou de véhicule électrique, mise sur le marché.*
- **Un devoir de diligence** relatif aux batteries pour certains opérateurs économiques, dans le but de maîtriser les risques sociaux et environnementaux inhérents à l'extraction, à la transformation et au commerce de certaines matières premières et matières premières secondaires utilisées pour la fabrication des batteries.

*A cet égard, les acteurs économiques concernés seront soumis à une **obligation de gestion des risques associés à leur propre chaîne d'approvisionnement** en lien avec les batteries, dans le cadre de leur système plus global de gestion des risques.*

¹³ Prenant la forme « d'une étiquette visible, bien lisible et indélébile indiquant la classe de performance liée à l'empreinte carbone de la batterie [...] et déclarant la classe de performance liée à l'empreinte carbone à laquelle correspond le modèle de batterie concerné d'une unité de fabrication ».

Le Règlement prévoit une obligation de mettre sur le marché des produits dont **la batterie est facilement retirable et remplaçable par l'utilisateur** final pendant toute la durée de vie du produit.

Il établit également des **conditions favorables au partage sans discrimination des informations** nécessaires pour la conception, de la fabrication et de la réparation des batteries SLI et des batteries de véhicules électriques, avec « **tout fabricant, installateur ou réparateur intéressé d'équipements** pour les véhicules des catégories M, N et O, comme le prévoit le Règlement (UE) 2018/858 ».

Enfin, il fait appel à la Commission Européenne qui devrait encourager **l'élaboration de normes pour des techniques de conception et d'assemblage des batteries** qui facilitent leurs entretien, réparation et réaffectation.

2.2. Mesures notoires du nouveau Règlement européen

2.2.1. Responsabilité élargie du producteur (REP)

La **mise en place d'une REP**¹⁴ pour la gestion des batteries a pour objectif de :

- Collecter tous les déchets de batteries de VE ;
- Financer les coûts de collecte, de transport, de traitement et de recyclage des batteries ;
- Rendre compte de la collecte des batteries et des déchets de batteries ;
- Fournir aux utilisateurs finaux et aux opérateurs de déchets des informations sur les batteries et sur la réutilisation et la gestion appropriées des batteries usagées.

Il est à noter que l'on entend par "gestion des déchets" la collecte, le transport, la valorisation et l'élimination des déchets, y compris la supervision de ces opérations et l'entretien des sites d'élimination, ainsi que les actions entreprises en tant que négociant ou courtier.

Le nouveau Règlement précise le périmètre d'application et les responsabilités des producteurs de la batterie, qui était encore flou sous la régulation précédente.

Désormais, sont considérés comme producteurs de la batterie les opérateurs économiques mettant à disposition sur le marché, pour la première fois sur le territoire d'un État membre, une batterie neuve, mais également ceux qui mettent sur le marché des batteries ayant fait l'objet d'une préparation en vue d'un réemploi, d'une préparation en vue d'une réaffectation, d'une réaffectation ou d'un remanufacturation.

Lorsque les batteries résultant d'opérations de préparation en vue du réemploi, de préparation en vue de la réaffectation, de réaffectation ou de remanufacturation sont mises à disposition sur le marché, le nouveau Règlement prévoit une possibilité de partager entre les producteurs de batteries impliqués les coûts suivants :

- Les coûts de collecte et de transport des déchets de batteries ;
- Les coûts relatifs à la fourniture des informations relatives à la prévention et à la gestion des déchets de batteries ;
- Les coûts liés à la collecte de données et à leur communication aux autorités compétentes.

¹⁴ Cette mesure du Règlement batterie s'inscrit dans le cadre général européen des filières à responsabilité élargie des producteurs (REP).

Un acteur économique qui met sur le marché une batterie résultant d'une préparation en vue du réemploi, d'une réparation, ou d'un remanufacturage est considéré comme le producteur d'une telle batterie en application de ce Règlement et est soumis à une responsabilité étendue du producteur (REP) ou à un devoir d'acceptation

Les modalités et les critères d'attribution et de partage éventuel entre les opérateurs économiques des frais liés à la REP seront publiés sous forme d'un acte délégué.

2.2.2. Obligation de recyclage

Des objectifs d'efficacité de recyclage, de récupération de matériaux et de contenu recyclé seront introduits progressivement à partir de 2025. Toutes les batteries usagées collectées devront être recyclées afin d'atteindre un niveau élevé de récupération, notamment pour les matières premières critiques telles que le cobalt, le lithium et le nickel. En mettant en place des objectifs de plus en plus stricts en matière d'efficacité de recyclage et de récupération des matériaux, la Réglementation favorise la réintroduction de matériaux critiques dans la conception de nouvelles batteries.

Les objectifs définis sont les suivants :

- Concernant la quantité totale des matériaux récupérés et pour les batteries au Lithium :
 - *Fin 2025 : 65 % du poids moyen des batteries*
 - *Fin 2030 : 70 % du poids moyen des batteries*

- Spécifiquement pour les niveaux de cobalt, plomb, lithium et nickel récupérés :

Taux de recyclage des matériaux de batteries

	Cobalt	Cuivre	Plomb	Lithium	Nickel
Fin 2027	90%	90%	90%	50%	90%
Fin 2031	95%	95%	95%	80%	95%

Taux d'incorporation de matériaux recyclés dans la construction d'une batterie VE

	Cobalt	Plomb	Lithium	Nickel
A partir du 18 août 2031	16%	85%	6%	6%
A partir 18 août 2036	26%	85%	12%	15%

Afin de garantir l'atteinte de ces différents objectifs, les producteurs devront établir des circuits de collecte de leurs batteries et de recyclage permettant l'accès aux matériaux recyclés, en quantité suffisante pour répondre aux exigences réglementaires.

Il est impossible d'évaluer à ce jour la capacité des acteurs concernés à atteindre ces objectifs en matière d'incorporation de matériaux recyclés.

2.2.3. Accès aux données de la batterie/BMS

Un an après l'entrée en vigueur de l'acte délégué prévu par ce Règlement, toutes les batteries de véhicules électriques devront stocker les données nécessaires dans leur système de gestion de batterie (BMS) pour évaluer l'état de santé et prédire la durée de vie des batteries. L'Etat d'Energie Certifié est un paramètre essentiel pour les batteries de VE. Les données pertinentes¹⁵ doivent être mises à disposition de l'utilisateur final ou de tout tiers agissant en son nom pour évaluer la valeur résiduelle de la batterie, faciliter sa préparation à la réutilisation, la réutilisation, la remise à neuf, ainsi que sa mise à disposition à des agrégateurs indépendants. Ces données doivent être mises à jour quotidiennement, accessibles en lecture seule, ses composants et en respectant la propriété intellectuelle des fabricants.

La Commission Européenne est habilitée, via l'adoption d'un acte délégué, à modifier les paramètres permettant de déterminer l'état de santé et la durée de vie prévue des batteries, en tenant compte de l'évolution du marché et des progrès technologiques.

2.2.4. Passeport batterie

A partir du 18 février 2027, chaque batterie sera accompagnée d'un "passeport batterie" accessible via un QR code, permettant le suivi et le traçage de la batterie, tout en fournissant des informations telles que les matériaux utilisés, l'intensité carbone, la composition (y compris toute substance dangereuse), l'origine des matériaux, les détails sur la réparation, la réutilisation, le démontage, le recyclage, la récupération, et l'état de santé.

Ce passeport s'appuiera sur des standards ouverts, fourni dans un format interopérable et accessible via le QR code apposé sur la batterie. Le passeport permettra d'accéder aux informations sur les paramètres de performance et de durabilité de la batterie lors de sa mise sur le marché et lors de tout changement d'état. En cas de réparation ou de réutilisation, la responsabilité du registre de la batterie sera transférée à l'opérateur économique chargé de mettre sur le marché ou mettre en service la batterie industrielle ou de véhicule électrique. La Commission adoptera un acte délégué 36 mois après l'entrée en vigueur pour préciser les détails relatifs aux personnes autorisées à accéder aux données du passeport et les modalités de traitement de ces données. A noter que les obligations de mise à jour du passeport seront transférées en cas de refabrication de la batterie.

2.3. Les concepts clés autour de la vie de la batterie

2.3.1. Ce que définit le Règlement européen

Ce Règlement et la Directive 2008/98/CE précisent une définition claire aux différents usages de la batterie en sa fin de première vie :

- **Réemploi** : la réutilisation directe complète ou partielle de la batterie pour la finalité initiale pour laquelle elle a été conçue¹⁶ ;
- **Préparation en vue du réemploi** : toute opération de contrôle, de nettoyage ou de réparation en vue de la valorisation, par laquelle des batteries ou ses composants devenus des déchets sont préparés de manière à être réutilisés sans autre opération de prétraitement.

¹⁵ La liste de données ainsi que les acteurs qui y auront accès nécessite d'être explicitée.

¹⁶ Il peut par exemple s'agir d'une batterie en bon état provenant d'un véhicule accidenté.

- **Réaffectation** : toute opération qui a pour résultat qu'une batterie, qui n'est pas un déchet, ou des parties de celle-ci sont utilisées à des fins ou pour des applications autres que celle pour laquelle la batterie a été initialement conçue¹⁷ ;
- **Préparation en vue d'une réaffectation** : toute opération par laquelle un déchet de batterie, ou des parties de celui-ci, sont préparés de manière à pouvoir être utilisés à des fins ou pour des applications autres que celles pour lesquelles ils ont été initialement conçus ;
- **Remanufacturation** : toute opération technique réalisée sur une batterie usagée qui comprend le démontage et l'évaluation de tous ses éléments et modules de batterie et l'utilisation d'un certain nombre d'éléments et de modules de batterie qui sont neufs, usagés ou issus de la valorisation de déchets, ou d'autres composants de batterie, en vue de rétablir la capacité de la batterie à au moins 90 % de la capacité nominale initiale, et lors de laquelle l'état de santé de tous les éléments de batterie individuels ne diffère pas de plus de 3 % entre les éléments, et qui a pour résultat une utilisation de la batterie pour la même finalité ou application que celle pour laquelle la batterie a été initialement conçue¹⁸ ;
- **Valorisation** : utilisation des déchets à des fins utiles en remplacement d'autres matières.

Après avoir été mise sur le marché ou mise en service pour la première fois au sein de l'Union Européenne, une batterie peut faire l'objet d'un réemploi, d'une réaffectation, d'un remanufacturation, d'une préparation en vue d'un réemploi ou d'une préparation en vue d'une réaffectation.

- Une batterie usagée est considérée comme ayant déjà été mise sur le marché lorsqu'elle a été mise à disposition sur le marché pour la première fois en vue de son utilisation ou de sa distribution ;
- À l'inverse, les batteries ayant fait l'objet d'une préparation en vue d'un réemploi, d'une préparation en vue d'une réaffectation, d'une réaffectation ou d'un remanufacturation sont considérées comme étant de nouveau mises sur le marché et devraient donc également respecter le présent Règlement.

En outre, conformément au cadre de l'Union relatif à la réglementation des produits, une batterie usagée qui a été importée d'un pays tiers est considérée comme mise sur le marché lorsqu'elle entre dans l'Union pour la première fois. Par conséquent, une batterie qui a fait l'objet d'un réemploi, d'une réaffectation, d'un remanufacturation, d'une préparation en vue d'un réemploi ou d'une préparation en vue d'une réaffectation et qui a été importée d'un pays tiers devrait également respecter le présent Règlement.

¹⁷ Il peut par exemple s'agir d'une batterie issue d'un VE, ou d'un de ses composants, utilisés pour du stockage stationnaire ou dans un autre véhicule dont le type ou le modèle ne sont pas ceux du véhicule d'origine.

¹⁸ Il peut par exemple s'agir du reconditionnement d'une batterie en remplaçant ses modules.

2.3.2. Au-delà du Règlement : le concept de "seconde vie" et son articulation avec les définitions Règlementées

Bien que la réglementation européenne fournisse des lignes directrices strictes concernant le cycle de vie et la gestion des batteries, **elle ne définit pas explicitement les termes "première vie", "seconde vie" voire "troisième vie" pour les batteries des véhicules électriques**¹⁹.

Cependant, ces concepts sont largement utilisés dans l'industrie et revêtent une importance croissante pour permettre de prolonger la durée de vie de la batterie en maximisant son utilisation et de promouvoir l'économie circulaire.

Dans le cadre de cette étude et conformément au vocabulaire couramment utilisé, nous nous référons aux définitions suivantes :

Première vie de la batterie

La première vie d'une batterie de VE commence à partir de sa mise en service initiale dans un véhicule électrique. Durant cette période, la batterie est utilisée pour alimenter le véhicule et répondre aux exigences de performance en termes de capacité et de puissance. Le réemploi de la batterie fait ainsi partie de sa « première » vie.

La phase de la première vie de la batterie ou de l'un de ses composants se termine lorsque ces derniers sont démontés du véhicule électrique pour être recyclés ou réaffectés²⁰.

Seconde vie de la batterie

La seconde vie d'une batterie ou d'un de ses composants fait référence à leur utilisation après leur retrait du véhicule électrique dans le cadre d'une réaffectation. Les applications de la « seconde vie » d'une batterie incluent, sans être exclusives, le stockage stationnaire d'énergie, l'alimentation de secours ou, les applications industrielles. Il peut également s'agir des usages portables ainsi que des usages mobilité, dans des véhicules autres que ceux d'origine, soumis à des exigences moins strictes de durée de fonctionnement ou de distance parcourue (véhicules industriels, agricoles, deux roues...)

Le processus de transition vers une seconde vie implique donc les phases de préparation en vue de réaffectation et de réaffectation, conformément aux définitions fournies par le Règlement (UE) 2023/1542, citées dans la partie précédente.

Troisième vie de la batterie et autres usages

En théorie, une batterie ou ses composants pourraient entrer dans une "troisième vie" après leur seconde utilisation, bien que cela soit moins commun. **Cette troisième phase pourrait inclure des applications encore moins exigeantes en matière de performances ou des projets expérimentaux.**

A l'heure actuelle, **le marché de « troisième vie » des batteries est quasi-inexistant.** A moyen et surtout long terme, il pourrait s'agir d'un marché de niche, mais les incertitudes sont fortes

¹⁹ La définition de la seconde vie a fait son apparition en décembre 2020 dans le projet du Règlement 2023/1542, en l'assimilant à la réaffectation : « Les batteries réaffectées (seconde vie) sont considérées comme de nouveaux produits devant respecter les exigences applicables aux produits lors de leur mise sur le marché... ». Cette définition a cependant disparu de la version finale du texte.

²⁰ On évoque souvent le cas où lorsque de la « première » vie de la batterie sa capacité chute en dessous d'un seuil critique, généralement autour de 70 à 80 % de sa capacité initiale, ce qui la rend moins efficace pour une utilisation dans un véhicule électrique, mais toujours fonctionnelle pour d'autres applications moins exigeantes comme le stockage stationnaire.

pour effectuer des projections en la matière. Cette phase n'a donc pas fait l'objet de travaux par le GT.

Fin de vie de la batterie - recyclage

Lorsque la batterie ou l'un de ses composants ne peuvent plus être réutilisés efficacement, ils doivent être recyclés pour permettre la récupération des matériaux qu'ils contiennent, bouclant ainsi leur cycle de vie et soutenant l'économie circulaire. Ce processus de recyclage est strictement encadré par la réglementation nationale et européenne.

2.3.3. Articulation entre les notions de la « première » et « seconde » vie des batteries avec les définitions réglementées

Dans le souci de faciliter et de rationaliser les discussions sur les vies des batteries, les membres du GT ont souhaité expliciter l'articulation entre les définitions réglementées (réemploi, réaffectation, remanufacturation et valorisation) définies dans le Règlement (UE) 2023/1542, et les concepts de première et seconde vies de la batterie :

- **Réemploi** : peut être considéré comme un prolongement de la première vie de la batterie dans la mesure où celle-ci ne change pas d'usage.
Cependant, il peut aussi être considéré comme usage de seconde vie puisque la batterie change de véhicule. La clarification de cette articulation serait bénéfique pour éviter toute confusion dans les échanges et les prises de position des parties prenantes ;
- **Réaffectation** : fait référence à la seconde vie de la batterie puisqu'elle est extraite du véhicule et réaffectée à un autre usage que celui pour lequel elle a été initialement conçue ;
- **Remanufacturation** : peut intervenir tout au long du cycle de vie de la batterie soit pour prolonger la première vie de la batterie soit pour assurer le passage à la seconde voire troisième vie, en permettant de restaurer la capacité et les performances initiales de la batterie ;
- **Valorisation** (de la matière) : intervient en fin de vie de la batterie après une ou plusieurs vies d'utilisation lorsque celle-ci est considérée comme déchet.

2.4. Les principaux constats du groupe de travail

Le GT a identifié plusieurs points d'interrogation relatifs au contenu, à l'interprétation et l'application du Règlement « Batteries » en vigueur, notamment :

- **Définitions des différents termes** : la législation en vigueur n'établit pas de correspondances explicites entre les définitions réglementées telles que « la réutilisation », « la préparation à la réutilisation », « la réaffectation », « la préparation à la réaffectation », « le remanufacturation » et les termes « 1ère vie », « 2nde vie » et « 3ème vie » des batteries, communément utilisés par les parties prenantes de l'écosystème batterie et mobilité électrique ;
- **Réparation des batteries** : bien que le terme « réparation » soit utilisé dans le texte du Règlement « Batteries », il n'apparaît pas dans la section « définitions », ce qui laisse un

espace d'interprétation, notamment sur les conséquences juridiques de l'opération de réparation, d'un point de vue de transfert de la responsabilité élargie des producteurs (REP). En effet, dans le cas d'une intervention sur la batterie par un réparateur, comment la garantie sur la batterie est-elle gérée et doit-on considérer à cette occasion un transfert de responsabilité vers le réparateur concerné ?

- **Réparabilité des batteries** : le nouveau Règlement fait référence à la possibilité de démontage et de diagnostic des batteries des VE par les opérateurs tiers, notamment dans le cadre de préparation en vue de la réaffectation. Cependant, la notion de réparabilité de la batterie n'est pas explicitement présente dans le texte, à l'exception d'une recommandation envers la Commission Européenne "d'encourager l'élaboration de normes pour des techniques de conception et d'assemblage qui facilitent l'entretien, la réparation et la réaffectation des batteries et des assemblages-batteries... » ;
- **Partage et exploitation des données relatives à l'état de santé de la batterie des VE** : le nouveau Règlement établit le droit des propriétaires des batteries et de leurs représentants légaux, ainsi que des opérateurs indépendants ou des opérateurs de gestion des déchets (et leurs représentants) d'accéder aux informations sur l'état de la santé de la batterie en se basant sur l'indicateur appelé « état de l'énergie certifiée » (SOCE)²¹ qui sera calculé et fourni par le système de gestion de la batterie (BMS). Cependant, peu d'informations sont disponibles à date sur les algorithmes qui seront utilisés pour ce calcul, notamment le niveau de leur transparence et de leur standardisation, leur champ d'application, ainsi que la teneur des garanties qui y seront associées.

Ces éléments semblent pourtant fondamentaux au regard de la réduction des incertitudes sur les perspectives des batteries, notamment dans le cas de leur réaffectation ou préparation au réemploi ou réaffectation.

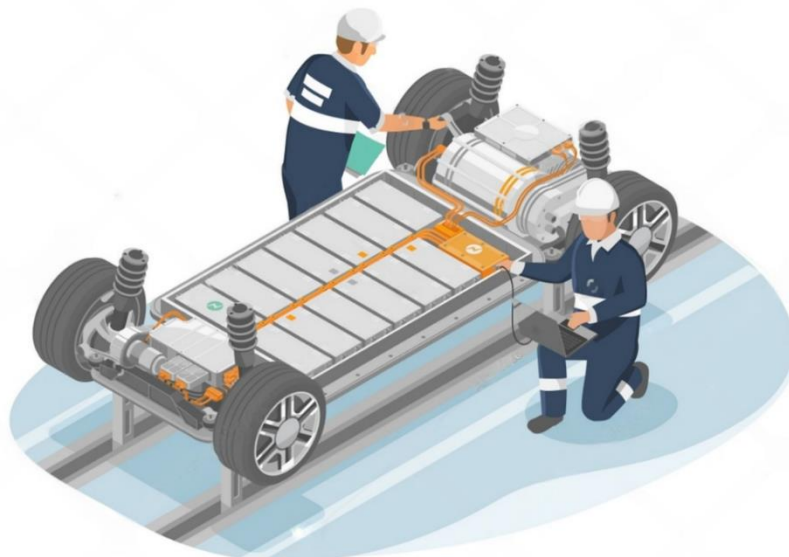


Image : Shutterstock

²¹ Il n'existe pas encore de définition précise du SOCE. Contrairement au SOH qui est un indicateur technique dont la méthode de calcul varie d'un acteur à l'autre, le SOCE se veut un indicateur réglementé dont la méthode de calcul sera harmonisée voire normalisée.

3. Schéma des transitions : une approche multi-vies de la batterie

En s'appuyant sur les différentes définitions du Règlement batterie développées précédemment dans ce rapport, les membres du GT ont souhaité illustrer les différentes étapes de vie d'une batterie de véhicule électrique, de son état neuf jusqu'au recyclage. La figure ci-après présente les divers schémas des transitions de la batterie, en tenant compte des définitions d'usages proposées par le Règlement ainsi que des notions de première et seconde vie.

L'utilisation de la batterie dans son véhicule d'origine dépend des performances attendues du véhicule et de la capacité de la batterie à les maintenir. **Lorsqu'elle ne répond plus à ces exigences ou doit faire l'objet d'une réparation, un diagnostic doit être réalisé pour décider de son avenir.** Tout au long de son cycle de vie, la batterie va passer par plusieurs arbitrages déterminants pour la transition entre ses différentes utilisations.

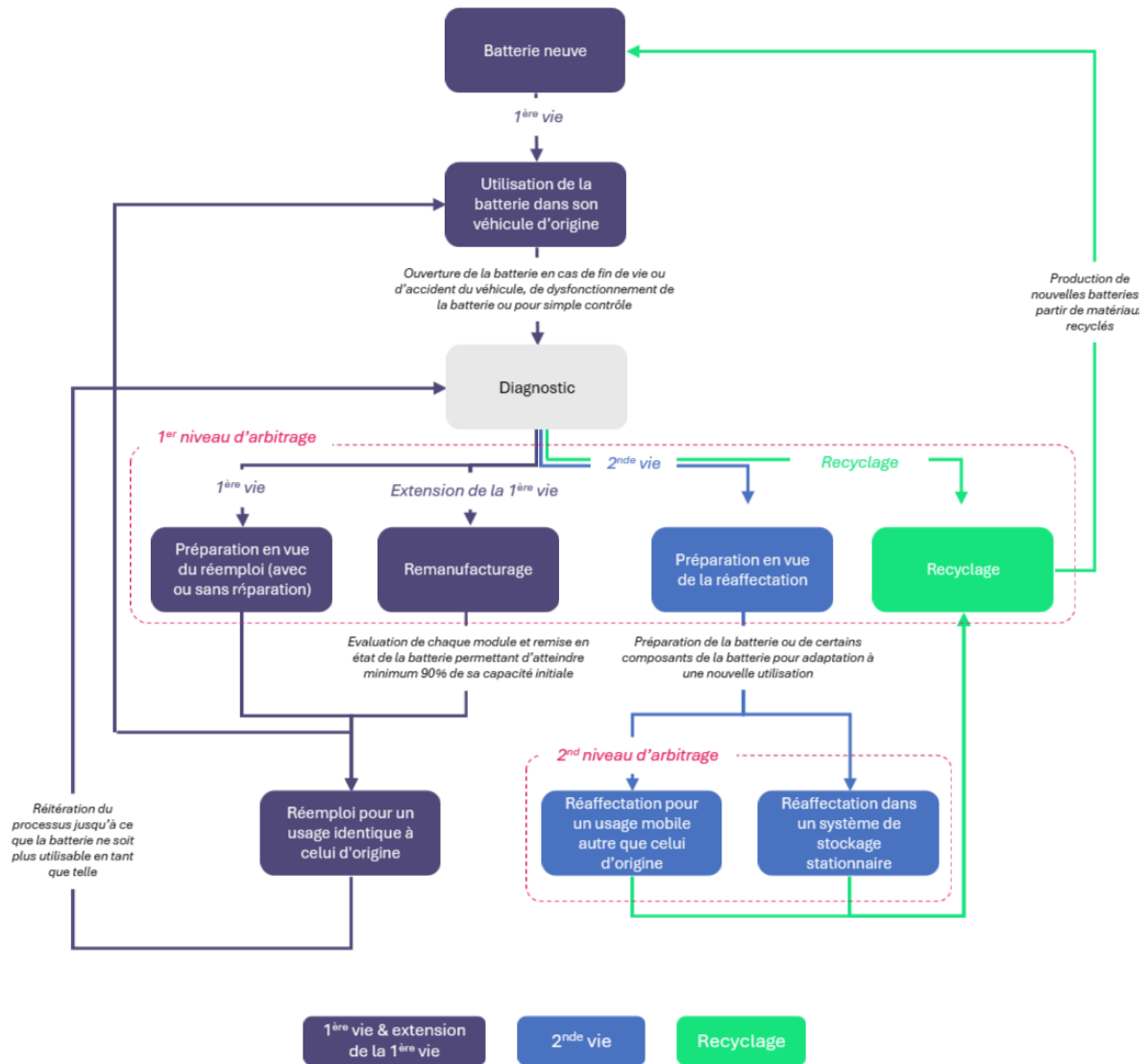
Premier arbitrage : réemploi, réaffectation ou recyclage ?

A l'issue d'une utilisation dans un véhicule électrique, pour cause d'accident, de dysfonctionnement ou de simple contrôle, la batterie est retirée. Une inspection visuelle minutieuse des packs est effectuée pour détecter des anomalies telles que des cellules gonflées, des fuites d'électrolyte ou des signes de surchauffe. Ensuite, un diagnostic complet sera effectué afin de vérifier l'intégrité de la batterie et d'évaluer son état de santé, notamment sa capacité restante. Selon les résultats, il est décidé de prolonger la vie de la batterie (réemploi, réaffectation et remanufacturation), ou de l'envoyer directement au recyclage pour valorisation de ses composants. L'avenir de la batterie à l'issue de ce premier arbitrage dépend de plusieurs facteurs, notamment le modèle économique du détenteur de la batterie, ainsi que les performances techniques de celle-ci à l'issue du test.

Deuxième arbitrage : quel usage pour la réaffectation ?

Une fois le choix de la réaffectation validé, un second niveau d'arbitrage s'impose afin d'identifier l'usage futur de la batterie en seconde vie : soit pour une utilisation mobile différente de celle d'origine, soit pour une utilisation en stockage stationnaire. Ce choix repose sur plusieurs critères : modèle économique du détenteur de la batterie, l'inspection des packs, le niveau de dommages, l'état de santé de la batterie, la disponibilité des pièces détachées nécessaires ainsi que les coûts engendrés par les différentes étapes de réaffectation. En comparant ces coûts à la valeur résiduelle de la batterie, le propriétaire de la batterie décide de la meilleure réaffectation possible.

Schéma des transitions de la batterie de VE



4. Enjeux techniques et sécurité

4.1. Réparabilité de la batterie

La question des différentes vies des batteries de véhicules électriques ne peut être dissociée des phases amont de leur cycle de vie. La conception initiale des batteries, notamment les choix d'agencement et de spécificités des composants, conditionne leur réutilisation future pour d'autres applications.

Comme détaillé précédemment, le Règlement UE 2023/1542 acté le 12 juillet 2023 reste muet sur l'absolue nécessité d'une conception modulaire des batteries VE, accessibles en après-vente, et indispensable aux exigences de :

- **Réparabilité** en cas d'éléments dégradés ou défectueux ;
- **Démantèlement** en vue d'un réemploi ou d'une réaffectation de tout ou partie de leurs composants.

Or ces deux prérequis de réparabilité et de réutilisation des composants sont incontournables pour lutter contre l'obsolescence prématurée des batteries d'une part, et accompagner la totalité du cycle de vie du véhicule lui-même à des conditions abordables et accessibles pour l'utilisateur. **Comme développé dans l'introduction, deux types de batterie de véhicules électriques sont disponibles sur le marché : dissociables (donc réparables) et non dissociables (donc non réparables).**

4.1.1. Enjeux de la modularité des batteries et de leur réparabilité

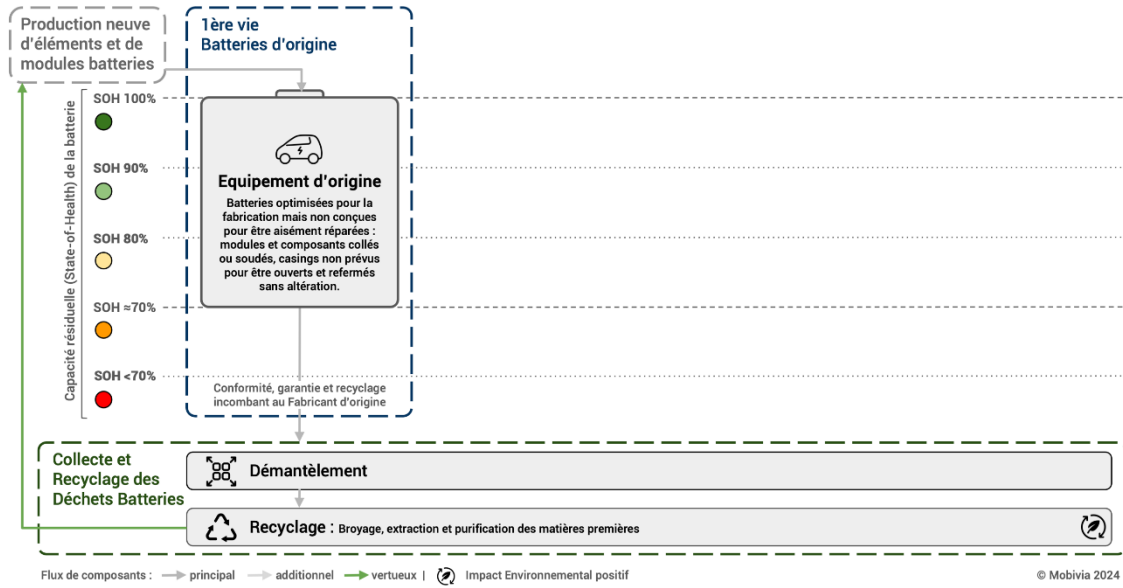
La réparabilité et le remanufacturage des batteries jouent un rôle crucial pour prolonger leur durée de vie, et l'aligner avec celle du véhicule électrique, réduisant ainsi leur impact environnemental et permettant d'accélérer le développement de la mobilité électrique. Avec la moitié des véhicules en circulation ayant plus de 10 ans et plus de 80 % des automobilistes achetant des véhicules d'occasion, les défaillances de batteries non réparables pourraient poser un risque financier.

Seules la démontabilité des batteries, l'accessibilité et l'extractibilité des composants, ainsi que la capacité à réparer et prolonger la vie des batteries à moindre coût permet d'engager une gestion responsable et durable des batteries, par là-même des véhicules électriques, et en même temps de proposer un véhicule électrique à un coût raisonnable pour les consommateurs à plus faibles revenus.

Au-delà même de la capacité à prolonger la durée de vie de la batterie dans son véhicule d'origine, c'est l'exigence de réparabilité qui va permettre d'ouvrir la voie au réemploi, au remanufacturage ou à la réaffectation des batteries, de leurs modules ou de leurs composants. Comme l'indiquent les deux figures suivantes, les batteries non réparables sont directement destinées au recyclage alors que les batteries réparables peuvent voir leur durée de vie prolongée dans l'usage mobile comme dans le stationnaire. Et même lorsqu'elles sont destinées au recyclage, leur démantèlement peut être compliqué. **La réparabilité est donc indispensable pour offrir une nouvelle vie à la batterie.**

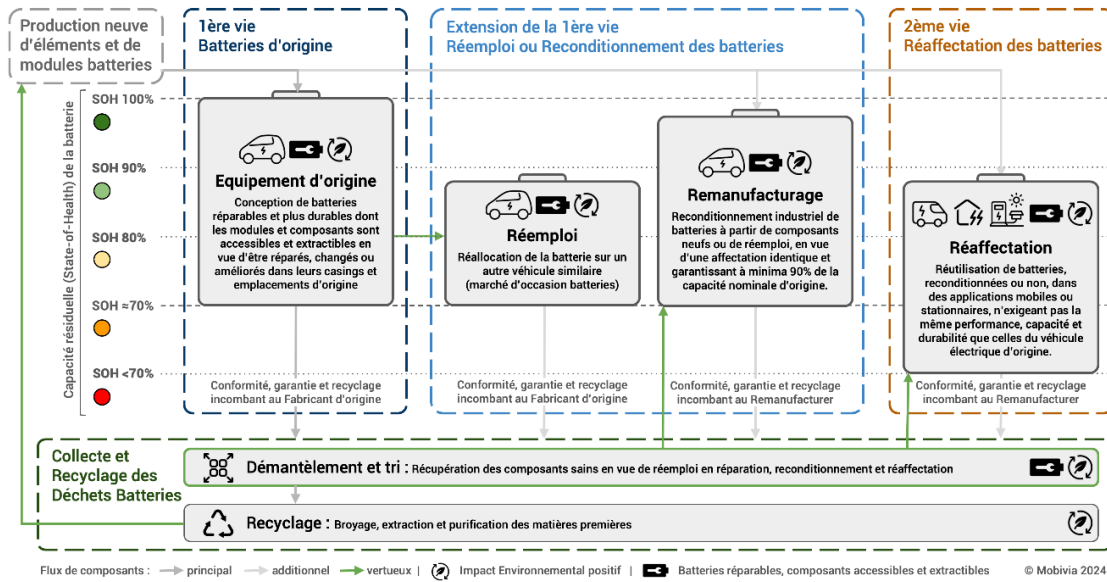
Cycle de vie des batteries de VE non réparables

Mobivia



Cycle de vie des batteries de VE réparables

Mobivia








4.1.2. Autres éléments à prendre en compte pour la réparabilité des batteries

Les batteries des véhicules électriques sont des équipements complexes qui doivent être entièrement intégrés au reste du véhicule, communiquant avec ses différents systèmes. Elles sont interfacées avec les trois boucles essentielles qui les composent :

- La boucle **électrique** de haute puissance, qui alimente la motorisation mais également l'ensemble des équipements basse-tension ;
- La boucle **électronique**, qui contrôle la batterie mais doit également s'interfacer avec l'ensemble du logiciel embarqué ;
- La boucle **thermique**, qui assure la température optimale de la batterie et est reliée aux périphériques de chauffage et de climatisation du véhicule.

Le pack batterie doit pleinement s'interfacer avec le reste du véhicule

Mobivia

Approche globale de la réparation VE			
		Pack batterie	En périphérie
 Boucle électrique haute-tension	<ul style="list-style-type: none"> ● Modules de cellules de batterie ● Busbars reliant les modules ● Dispositifs de sécurité et (pyro-)fusibles 	<ul style="list-style-type: none"> ● Chargeur (AC>DC) et fusibles intégrés ● Onduleur (DC>AC) et fusibles intégrés ● Moteur électrique et e-transmission ● Réseau de câblages et protection 	
 Boucle électronique de contrôle	<ul style="list-style-type: none"> ● BMS Master (casing spécifique) ● BMS esclave (interne pack) ● Capteurs et actionneurs 	<ul style="list-style-type: none"> ● Interfaces avec l'électronique véhicule ● Unités de contrôle 	
 Boucle thermique de refroidissement	<ul style="list-style-type: none"> ● Circuit de refroidissement interne ● Electrovanne ● Pâte thermique 	<ul style="list-style-type: none"> ● Pompes liquide refroidissement ● Compresseurs clim du liquide thermique ● Chauffage liquide thermique 	

© Mobivia 2024

La réparation, ainsi que le réemploi, le remanufacturage ou la réaffectation des batteries et de leurs composants doivent prendre en compte l'ensemble des boucles essentielles et garantir le bon fonctionnement du pack ainsi que des systèmes périphériques. **Cette tâche ne peut être réalisée sans un accès adéquat aux données de la batterie.** En effet, les données, qui sont cruciales pour le bon fonctionnement des logiciels ainsi que pour les outils de contrôle et de diagnostic, sont toutes aussi importantes que la disponibilité des composants d'origine ou des pièces de rechange. L'opérateur doit avoir accès à ces données et à la documentation technique des sous-ensembles, tout en étant capable de reprogrammer les parties logicielles pour rétablir les configurations d'origine ou procéder aux mises à jour nécessaires.

4.1.3. Évolutivité des équipements d'origine

Les technologies des batteries pour véhicules électriques évoluent rapidement, et il est naturel que de nouvelles générations finissent par remplacer progressivement les anciennes. Dans ce contexte d'évolution continue, il est essentiel de garantir la maintenance et le bon

fonctionnement des véhicules déjà en circulation. Cela implique de trouver des solutions pour la réparation des batteries existantes et d'assurer la disponibilité des composants d'origine, même après l'arrêt de leur fabrication.

Dans ce contexte, la notion de réparabilité devient cruciale : il est essentiel de garantir que les véhicules en circulation puissent être réparés, malgré les évolutions technologiques. Cela repose sur la disponibilité de pièces de rechange homologuées, assurant le maintien des performances des batteries. Il sera également important de faciliter les processus de réhomologation afin qu'ils ne deviennent pas un obstacle, ni en termes de complexité ni de coûts, permettant ainsi l'intégration d'améliorations sans compromettre la sécurité ni la performance des batteries.

Là encore, **l'accès aux données de la batterie est essentiel** : il faut garantir la possibilité d'accéder aux composants et de reprogrammer la partie logicielle, que ce soit pour une utilisation dans le véhicule d'origine, ou une réaffectation en vue d'autres applications mobiles ou stationnaires.

4.2. Traitement de la batterie par les constructeurs automobiles et les centres VHU

Un véhicule est classé comme Véhicule Hors d'Usage (VHU) lorsqu'il atteint la fin de sa vie utile et ne peut plus être économiquement réparé et en toute sécurité. Cette classification intervient généralement en cas d'accidents graves, de défaillances mécaniques majeures, de vieillissement avancé, d'usure, de non-conformité aux normes de sécurité ou environnementales ou par décision volontaire du propriétaire, ou de l'assureur dans le cas d'un Véhicule Economiquement Irréparable (VEI). Une fois devenu VHU, le véhicule doit être pris en charge par un centre agréé pour être selon les réglementations en vigueur, dépollué, démonté et recyclé conservé en état ou vendu en pièces détachées. Le centre VHU peut également sortir la batterie du statut de déchet en la préparant pour être réemployée ou réaffectée à un autre usage.

Bien que les véhicules électriques et hybrides aient connu une forte croissance cette dernière décennie, les VHU de ces catégories restent peu nombreux, offrant ainsi aux filières de recyclage le temps de se préparer à une augmentation future des besoins. Actuellement, **les VHU sont majoritairement thermiques, avec seulement 4 % de véhicules électriques**. Selon une étude de l'ADEME de 2023²², le nombre de VHU électriques resterait faible jusqu'en 2025-2030, mais commencerait à croître significativement à partir de 2030, avec un équilibre entre véhicules thermiques et électrifiés attendu vers 2040. Les prévisions indiquent que les véhicules électriques pourraient atteindre entre 309 000 et 359 000 unités en **2040**, représentant **un potentiel de batteries de 8 à 10 GWh**²³.

L'étude souligne également un intérêt croissant pour l'économie circulaire, rendue possible par la réparabilité, en mettant à disposition des pièces détachées répondant ainsi aux besoins futurs du marché d'occasion. Une hausse de la revente de ces pièces est d'ailleurs prévue d'ici 2035.

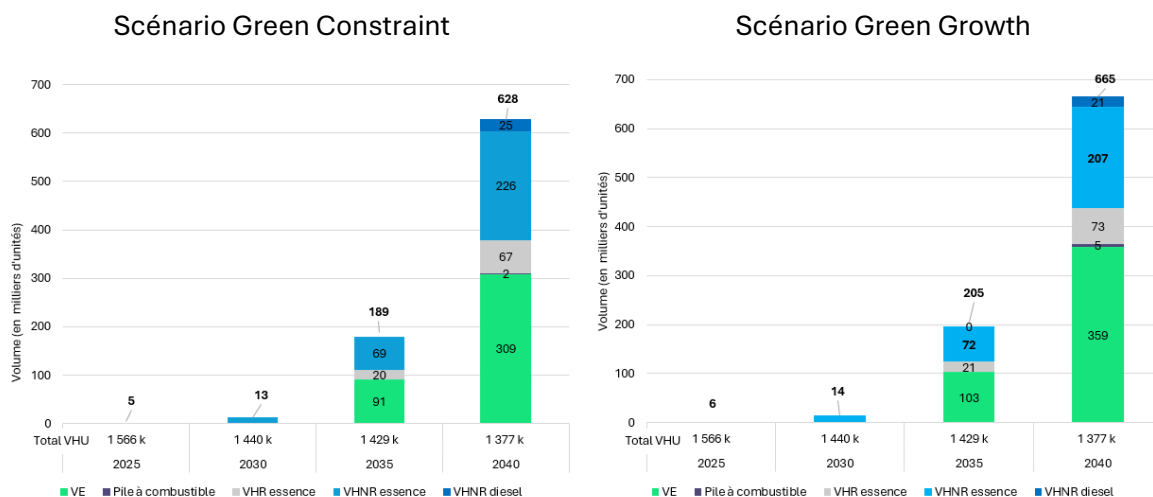
²² COPPENS Mélanie, DULBECCO José Rafael, RDC Environnement. CHOLIN Julien, NIAKAN Farzad, GRIVET Roch-Eloi, BIPE-BDO Advisory. LECOINTRE Eric, GRANDIN Thomas, ADEME. 2023. Impact de l'électrification du parc de voitures sur la filière de traitement des véhicules hors d'usage (VHU). 103 pages

²³ Ce chiffre est purement indicatif, basé sur une estimation : en tenant compte d'une capacité de batterie moyenne de 40 kWh et d'un SOH de 70 %.

Cependant, cette prolongation de la vie des batteries pourrait retarder leur entrée dans le flux de VHU, réduisant ainsi la taille du gisement et la disponibilité des matières critiques recyclées.

Evolution du volume VHU électrifiés (total)

ADEME, 2023



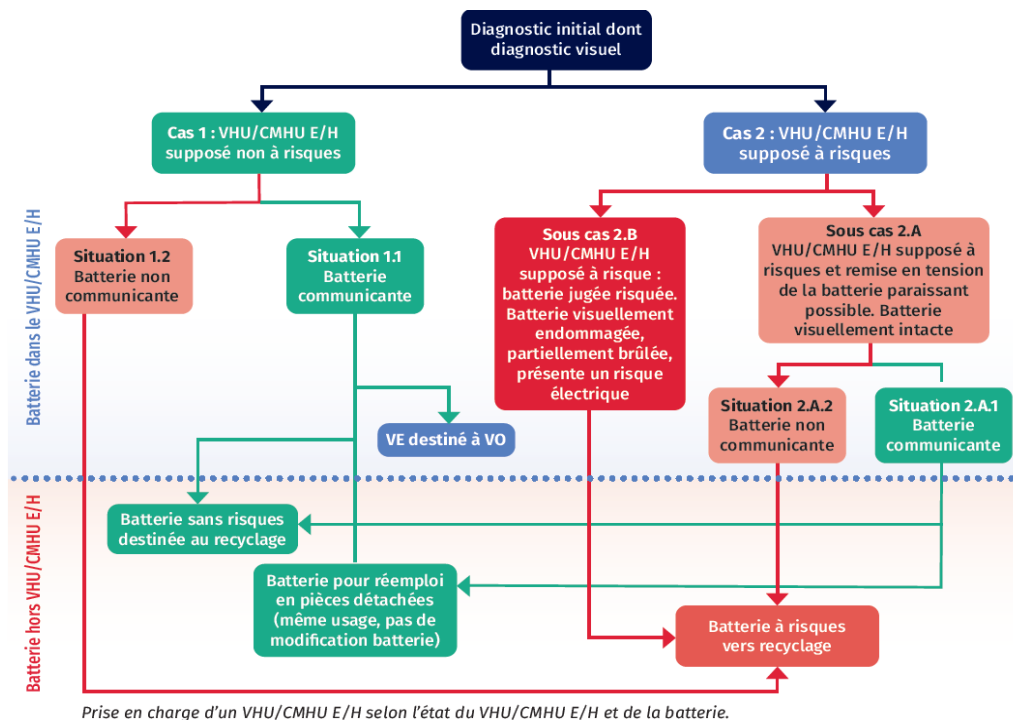
4.2.1. Vision d'ensemble

Le traitement des batteries dans un centre VHU suit un processus spécifique illustré dans la figure ci-dessous. **Deux critères principaux déterminent le traitement de la batterie : le niveau de risque estimé et la communicabilité.** A partir de l'examen visuel et/ou de l'examen plus approfondi de ses données, dans le cas d'une batterie communicante, le centre VHU décide d'orienter la batterie vers le recyclage ou le réemploi dans le même véhicule ou un autre véhicule similaire. Les batteries non à risques nommées « Produits » et les batteries à risques nommées « Déchets » ne doivent pas être mélangées afin de limiter les risques²⁴ sur le centre et son personnel.

²⁴ Risques détaillés dans l'annexe 1 : Performances et sécurité des batteries lithium-ion

Filière actuelle de la gestion des VHU électriques et hybrides en France

Mobilians (2024)²⁵

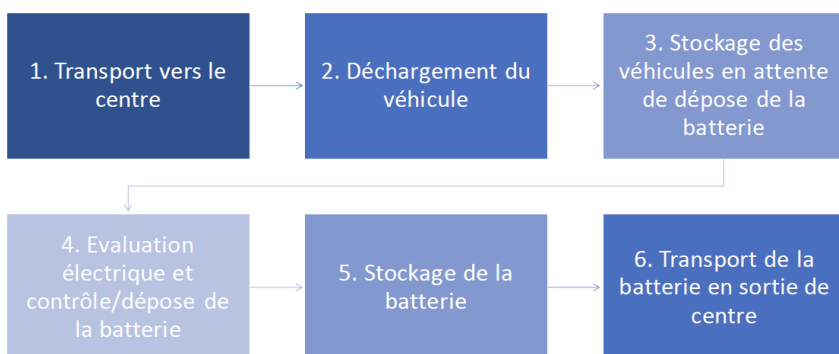


4.2.2. Les étapes de traitement des VHU électriques

L'étude Mobilians énumère 6 bonnes pratiques pour chaque étape du traitement des véhicules électriques et hybrides par les centres VHU, depuis la récupération du véhicule jusqu'à la destination finale, comme indiqué dans la figure ci-dessous.

Les 6 étapes de traitement des véhicules électriques et hybrides dans les centres VHU

Mobilians (2024)



²⁵ Mobilians, 2024. Recommandations et bonnes pratiques pour le traitement des véhicules électriques et hybrides par les centres VHU/CMHU

Sans entrer dans les détails de chaque étape, ce qui ne relève pas de l'objet du présent livrable, ces recommandations mettent l'accent sur deux notions clés :

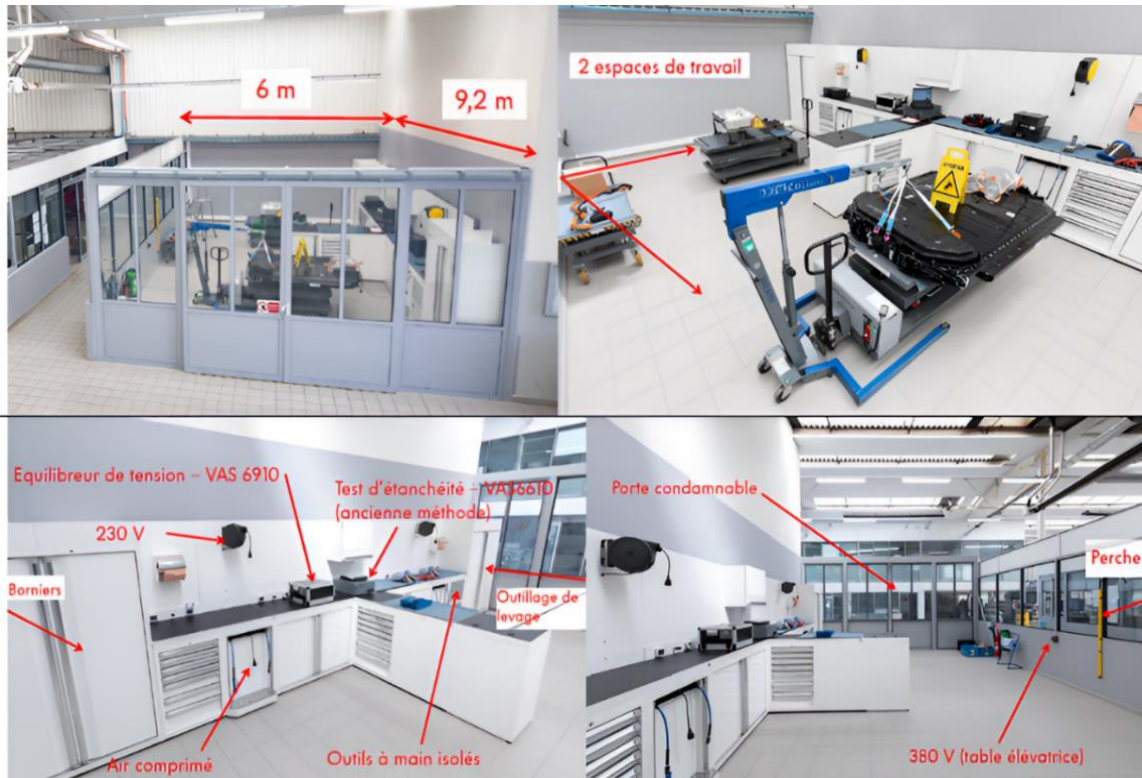
- **Sécurisation des lieux** : que ce soit pour le déchargement ou le stockage, les centres VHU doivent respecter des règles strictes de sécurité afin de limiter les risques associés aux batteries. Cela comprend l'obligation de mise en place de distances de sécurité entre les batteries, les véhicules, les bornes de recharge, les bâtiments, etc. Le rapport insiste également sur l'importance d'assurer la sécurité de la zone de traitement à l'aide de dispositifs de surveillance de la température et de mesures d'extinction (bac à sable, etc.). Les centres doivent donc vérifier régulièrement le bon fonctionnement de leurs équipements pour s'assurer qu'ils respectent les normes de sécurité en vigueur. Ces mesures visent à prévenir les incidents potentiellement dangereux, tels que les incendies ou les fuites de substances toxiques.
- **Formation et habilitation des opérateurs** : les opérateurs doivent posséder les habilitations adéquates pour assurer la sécurité lors des opérations de transport, d'évaluation électrique et de dépose de véhicules hors d'usage, compte tenu du danger que représente la batterie. Également, les opérateurs doivent utiliser lorsque cela est nécessaire, un équipement de protection approprié, comme un écran facial, des gants isolants et un tapis isolant. Pour s'adapter aux nouvelles recommandations de traitement des VHU électrifiés, les centres VHU devront investir dans la formation du personnel et les équipements nécessaires, représentant un coût total d'investissement de 20,5 M€ par centre sur la période 2022-2040 (ADEME, 2023).

Le traitement de la batterie issue d'un véhicule électrique suit un chemin différent dans chaque centre, qu'il s'agisse d'un réparateur, d'un garage, d'un centre VHU ou d'un constructeur automobile. Les figures ci-dessous illustrent les mesures de sécurité des ateliers dédiés à la manipulation de la batterie chez un constructeur automobile (Groupe Volkswagen France).

Des discussions sont aujourd'hui en cours pour déterminer plus précisément quelles doivent être les solutions à mettre en place en matière de détection, de protection et remédiation des risques associés à la manipulation de la batterie comme les incendies.

Illustration des mesures de sécurité et des ateliers chez un constructeur automobile

Groupe Volkswagen France



4.3. Cas d'affectation à l'usage stationnaire

En plus de permettre de prolonger la durée d'exploitation de la batterie, la réaffectation des batteries de véhicules électriques à des usages stationnaires représente un intérêt considérable dans la transition vers des systèmes énergétiques plus durables, résilients et économiquement viables.

Les applications possibles du stockage stationnaire sont variées, mais l'une des principales réside dans le stockage d'énergies renouvelables dites "intermittentes", où les batteries permettent de stocker l'énergie solaire ou éolienne pour une utilisation ultérieure, assurant ainsi une fourniture continue et stable de l'électricité et ce, même en l'absence de soleil ou de vent. Les batteries stationnaires peuvent également être utilisées pour la gestion de la demande énergétique, en stockant l'électricité pendant les périodes de faible demande et en la libérant lors des pics de consommation, contribuant ainsi à l'équilibrage du réseau électrique et à la réduction des coûts énergétiques.

Ces batteries de seconde vie peuvent être installées sur un site résidentiel, commercial et même industriel.

4.3.1. Le passage de la mobilité au stationnaire

Les étapes clés de la transition de la batterie vers le stockage stationnaire sont décrites ci-dessous :

1. **Diagnostic et choix pour l'avenir de la batterie** : la première étape consiste à réaliser un diagnostic complet de la batterie, pour déterminer ses capacités et le type d'application stationnaire dans lequel elle pourrait être intégrée. Une fois l'application choisie il faut déterminer si le pack batterie complet ou seulement certains modules seront réaffectés. Cette décision dépend de l'état des différents modules ainsi que de la compatibilité avec le système stationnaire dans lequel il sera intégré. Plusieurs tests pourraient alors être envisageables :
 1. **Over The Air Diagnostic** : calculer le SOH à partir des données de la batterie. Ce test est instantané si les données sont accessibles, ce qui n'est pas encore le cas à date.
 2. **On Board Diagnostic** : calculer le SOH à partir des données de l'ordinateur embarqué du véhicule. Le test prend quelques minutes, à condition de disposer d'un dongle adapté et de la logistique nécessaire pour se connecter et dialoguer avec le véhicule.
 3. **Cycle recharge/décharge** : calculer le SOH à partir des tests de recharge et de décharge réels. Le test prend quelques heures, à condition de disposer des équipements et de la logistique nécessaire.
2. **Préparation en vue de la réaffectation** : à l'issue de ces arbitrages, la batterie doit être préparée pour être intégrée au système d'application stationnaire. Cette préparation peut consister en une réparation ou un remanufacturage et doit permettre d'adapter la batterie à son nouvel usage. L'intégration d'un nouveau BMS, d'un système de refroidissement adapté peuvent être nécessaires. Cette étape est conditionnée par la réparabilité de la batterie.
3. **Respect des normes et exigences spécifiques à l'utilisation stationnaire** : avant de mettre en service la batterie réaffectée, il est impératif de vérifier que le système de batterie respecte les normes et exigences spécifiques à son utilisation stationnaire pour garantir la sécurité et la fiabilité du système dans son nouvel environnement. Cela inclut l'obtention des certifications nécessaires.
4. **Raccordement et mise en service** : installation de la batterie sur le site, connexion au réseau électrique ou à d'autres systèmes, et mise en service.

4.3.2. Défis à surmonter :

L'utilisation de batteries de seconde vie pour le stockage stationnaire présente plusieurs défis importants à surmonter :

- **Durée de vie réelle de la batterie** : il existe des incertitudes significatives concernant la durée de vie restante et les capacités réelles des batteries ou des modules de batteries en raison de l'accès limité aux données d'utilisation en 1^{ère} vie. Cette limitation complique considérablement le diagnostic précis et l'évaluation de l'état de santé des batteries, rendant difficile la prédiction de leur performance future dans un nouvel environnement d'utilisation et compliquant leur valorisation économique. A ce jour, la recherche et développement est encore limitée dans le secteur de la seconde vie de la batterie ; de nombreux projets de démonstration ont toutefois prouvés la bonne adéquation technique des performances de batteries stationnaires de seconde vie vis-à-vis des attendus des services adressés.
- **Coûts associés à la réaffectation** : les coûts associés au reconditionnement et à l'adaptation des batteries de seconde vie peuvent s'avérer élevés et dépendent fortement du cas envisageable. Ces coûts peuvent même dépasser ceux de l'achat de batteries neuves

qui sont spécifiquement conçues pour des applications stationnaires, notamment les batteries asiatiques neuves. Le processus de remise à neuf des batteries nécessite souvent des interventions techniques complexes et des ajustements pour répondre aux exigences du nouvel usage, ce qui peut augmenter les coûts de main-d'œuvre et de matériel.

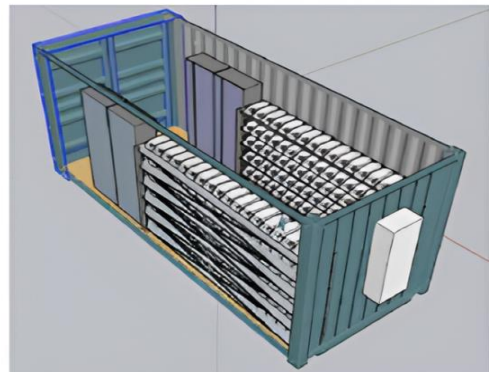
- **Applications des normes de sécurité** : les différences de normes et de réglementations entre les applications mobiles et stationnaires représentent un autre obstacle de taille. Les batteries conçues pour un usage mobile doivent répondre à des standards de sécurité, de performance et d'efficacité énergétique différents de ceux requis pour les applications stationnaires. Cela complique la certification et la mise en conformité des batteries de seconde vie pour une nouvelle utilisation, nécessitant souvent des démarches administratives supplémentaires et des tests de conformité rigoureux, notamment pour la protection incendie.
- **Disponibilité des packs** : pour garantir un fonctionnement optimal, il est souvent nécessaire de coupler des packs provenant de véhicules électriques (EV) de la même marque et ayant un niveau d'usure similaire. Cependant, cela peut limiter la flexibilité d'approvisionnement. Une solution pourrait consister à explorer l'intégration technique de packs de différentes marques, mais cette option soulève des complexités supplémentaires. En effet, les packs couplés n'auront pas subi un vieillissement identique, ce qui rend indispensable l'ajout d'un système de gestion avancé, au-delà du BMS traditionnel, capable de gérer des batteries avec des états de santé variables. Des réflexions sont en cours pour surmonter ces obstacles.

La question du passage au stationnaire présente plusieurs défis à surmonter, nécessitant une collaboration entre les acteurs de la première vie et de la seconde vie²⁶. Ces défis cumulés pourraient rendre l'intégration de batteries de seconde vie dans des systèmes de stockage stationnaire complexe et coûteuse, posant des questions sur leur viabilité économique et technique à long terme.

²⁶ Des travaux sont en cours dans le cadre de la Commission AFNOR U21 permettant d'identifier les exigences générales en matière de réaffectation (IEC 63330 ED1) et remanufacturation (IEC 63338 ED1).

Conteneur de 1 MWh avec batteries de seconde vie issues de véhicules électriques

BIB Batterie



4.4. Les principaux constats du groupe de travail

Le GT a identifié plusieurs points d'attention relatifs aux aspects techniques et sécurité des batteries, notamment :

- **Réparabilité « by design »** : la conception de batteries réparables pour les véhicules électriques peut faciliter leur transition vers des usages en seconde vie. En rendant les batteries plus facilement réparables, il devient possible de réduire les coûts liés au diagnostic, au démontage, au transport et à l'intégration des batteries dans des installations de seconde vie par exemple. Cela permet de prolonger leur utilisation et favoriser l'économie circulaire.
- **Accès transparent et non discriminatoire aux données du véhicule** : la réparation, ainsi que toute autre manipulation de la batterie, nécessitent un accès adéquat, transparent et non discriminatoire aux données de celle-ci pour garantir le bon fonctionnement des logiciels. Le réparateur doit avoir accès à ces données, à la documentation technique des sous-ensembles, à l'historique des tâches effectuées, tout en étant capable de reprogrammer les parties logicielles pour rétablir les configurations d'origine ou procéder aux mises à jour nécessaires. Cet accès est indispensable pour pouvoir réaliser les arbitrages nécessaires à la transition de la batterie. Cet accès nécessite d'engager des initiatives de standardisation et de respecter les règles en matière de protection des données - RGPD - (notamment d'accord du client) et les dispositions des règlements européens. Cela

supposera de traiter, dans ce cadre, de l'accès aux données mais également de leur format et des modalités de transfert de celles-ci.

- **Sécurisation des lieux et certification du matériel :** pour garantir une réparabilité efficace et compétitive, il est essentiel de permettre aux opérateurs tiers, qualifiés et certifiés de pouvoir réaliser la réparation, le réemploi ou la réaffectation des batteries, sans restriction ni discrimination. Les centres de réparation ou d'exploitation des véhicules, comme les centres de traitement des VHU, doivent se conformer à des règles de sécurité strictes, en particulier dans les zones de traitement et de test des batteries, afin de minimiser les risques liés aux réactions chimiques. Cela implique plusieurs critères, notamment le respect de distances spécifiques, l'utilisation de matériel approprié et certifié et l'adhésion à des normes de sécurité établies. Ces exigences s'appliquent également à l'utilisation des batteries en seconde vie pour le stockage stationnaire, où des normes de sécurité et de certification distinctes doivent être strictement respectées.
- **Formation et habilitation des personnels :** comme développé dans la section « sécurité de la batterie » en Annexe, la batterie présente des risques non négligeables si les mesures de sécurité ne sont pas respectées. Il est donc important de confier ce travail à des personnels formés et qualifiés pour ce rôle. Les travailleurs doivent être correctement habilités pour assurer la sécurité lors des opérations de transport, d'évaluation électrique et de dépose de véhicules hors d'usage, compte tenu du danger que représente la batterie. Un suivi de leurs habilitations avec l'évolution des technologies de la batterie est indispensable. Également, lorsque la manipulation présente un risque, les opérateurs doivent utiliser un équipement de protection approprié, tel qu'un écran facial, des gants isolants et un tapis isolant.



Image : Shutterstock

5. Enjeux économiques et environnementaux

Selon différentes estimations institutionnelles²⁷, le volume de batteries de VE en fin de première vie et pouvant donc faire l'objet d'un réemploi ou une réaffectation atteindrait entre 10 et 30 GWh en Europe à horizon 2030 (175 GWh au niveau mondial).

Se pose donc la question de l'intérêt économique et environnemental de la poursuite de l'utilisation des batteries (ou de leurs composants) issues de la mobilité électrique dans des usages dits de « seconde vie », moins exigeantes en termes de performances.

Les gains économiques et environnementaux potentiels représentent à cet égard une condition *sine qua non* de l'émergence de la filière de la seconde vie des batteries issues de la mobilité électrique.

Ci-dessous sont présentés les principaux facteurs qui définissent ces gains potentiels.

5.1. Facteurs économiques

Sur le plan économique, deux visions complémentaires doivent être considérées :

- **Vision sociétale** : gain économique potentiel de la seconde vie des batteries (ou de leurs composants) pour la collectivité. Cette vision prend en compte l'intérêt de l'ensemble des acteurs concernés, dont les consommateurs / utilisateurs des VE ;
- **Vision « stratégie d'acteur »** : gain économique potentiel d'un acteur ou d'un groupe d'acteurs, lié à l'utilisation des batteries (ou de leurs composants) de la seconde vie.

5.1.1. Vision sociétale

Il s'agit de **comparer la valeur nette que la batterie d'un véhicule électrique peut créer durant sa première vie pour l'ensemble des acteurs concernés** (dans le VE d'origine et/ou en réemploi) avec celle que la même batterie créerait pendant sa première et puis sa deuxième vie.

Cette comparaison peut être réalisée dans le cadre d'une analyse coût-bénéfice (ACB), dont les trois principales étapes sont :

- La construction d'au moins deux scénarios (celui de référence et alternatif) ;
- La caractérisation et la quantification de l'ensemble des coûts et bénéfices potentiels générés par la batterie durant toute sa vie et le calcul de ses bénéfices nets pour chaque scénario ;
- La comparaison des bénéfices nets des scénarios et la réalisation des analyses de sensibilité.

Ci-dessous est présenté un exemple simplifié d'étapes de l'ACB.

Construction des scénarios de référence et alternatif

²⁷ CEA, Artelys, ATEE, ADEME. 2022. Annexe à l'étude PEPS5, Rapport sur la seconde vie des batteries. 49 pages.

Eléments communs pour les deux scénarios

- Hypothèses générales
 - Coût de l'électricité consommée par le VE et son évolution dans le temps ;
 - Taux d'actualisation ;
- Véhicule et son usage :
 - Type de véhicule ;
 - Caractéristiques techniques et économiques de la batterie (type, coût, capacité...);
 - Profil de l'utilisateur du VE (distances journalières, hebdomadaires, mensuelles et annuelles parcourues, horaires d'utilisation du VE, type de borne et stratégie de recharge du VE...)

Eléments spécifiques pour chaque scénario

- Stratégie de l'utilisation de la batterie

Scénario de référence	Scénario alternatif
<p>La batterie est utilisée dans le VE jusqu'au moment où, à cause de son vieillissement, sa capacité maximale passe sous un seuil préétabli (par exemple un SoH de 70%).</p> <p>Après cette étape, la batterie est démontée du VE et envoyée au recyclage.</p>	<p>La batterie est utilisée dans le VE jusqu'au moment où la décision est prise de l'affecter à un autre type d'usage (stationnaire par exemple)²⁸.</p> <p>Après cet arbitrage, la batterie est exploitée jusqu'au moment où sa capacité maximale passe sous un seuil préétabli (par exemple, 60% de son SoH).</p> <p>Après cette étape, la batterie est envoyée au recyclage.</p>

²⁸ Cette décision peut être prise par rapport à sa capacité restante (qui a priori peut être supérieure au seuil minimal de l'exploitation de la batterie dans le VE), mais peut aussi reposer sur d'autres critères (tel que l'âge de la batterie ou le nombre total de cycles réalisés) ou encore en cas d'accident du véhicule qui n'affecte pas la batterie (dont le SoH est supérieur au seuil minimal accepté pour l'usage de la batterie dans le véhicule)

- Les valeurs créées et les coûts associés sont :

Etapes de vie	Scénario de référence		Scénario alternatif	
	Valeurs créées	Coûts	Valeurs créées	Coûts
Première vie	/ Valeur associée au roulage (€/km parcouru) / Éventuelle valeur résultant des services de flexibilité que le VE fournit au système électrique (dans le cadre du V1G ou V2X ²⁹)	/ Coûts relatifs à la recharge du VE (électricité, service de comptage...) pour le roulage et pour la fourniture potentielle des services de type V2X / Coûts relatifs à l'entretien, la réparation et le diagnostic de la batterie	/ Identique au scénario de référence. / Eventuelle valeur si la batterie est réemployée avant de transitionner vers la seconde vie	/
Transition première vie – seconde vie	-	-	-	/ Coûts de diagnostic spécifique à la réaffectation / Coûts de démontage du VE / Coûts de transport et de stockage / Coûts d'intégration dans l'installation de la seconde vie (dans le cas où la valorisation en l'état est impossible), dont le coût de BMS, de l'électronique de puissance et de « Balance of plant » (refroidissement, génie civil...)
Seconde vie	-	-	/ Valorisation des services de flexibilité que la batterie fournit au système électrique	/ Coûts relatifs à la recharge de la batterie (électricité, service de comptage...) / Coûts relatifs à la gestion, l'entretien, la réparation et le diagnostic de la batterie pendant sa seconde vie
Recyclage	/ Valorisation des matériaux recyclés	/ Coûts de diagnostic, de démontage, de transport et de recyclage	/ Valorisation des matériaux recyclés	/ Coûts de diagnostic, de démontage, de transport et du recyclage

²⁹ concept qui prévoit la possibilité d'une recharge bidirectionnelle de la batterie du VE, en permettant à cette dernière de réinjecter l'électricité sur le réseau ou dans l'installation électrique d'un client résidentiel ou d'un immeuble, dans le but de leur apporter des services de flexibilité.

- Observations :

Les postes de coûts présentant le plus d'incertitudes sont ceux relatifs à la transition entre la première et la seconde vie, notamment :

- Les coûts de diagnostic spécifique à la réaffectation ;
- Les coûts de démontage du VE ;
- Les coûts de transport et de stockage ;
- Les coûts d'intégration dans l'installation de la seconde vie.

Toutefois, la nature de ces incertitudes n'est pas la même :

- **Les coûts de diagnostic et ceux de démontage des batteries ou de leurs composants** sont sensibles à l'effet d'échelle, ainsi qu'à leur facilité d'accès. La facilité d'accès aux données sur l'historique de l'utilisation de la batterie en vue du diagnostic fait également partie des facteurs d'incertitude pour ces postes de coûts ;
- **Les coûts de transport et de stockage des batteries et de leurs composants** dépendent très sensiblement de la réglementation technique en vigueur sur la gestion des batteries et de leurs déchets. Les incertitudes liées à l'évolution de cette réglementation se répercutent ainsi sur la vision des coûts correspondants ;
- Enfin, **le coût d'intégration des batteries ou de leurs composants dans l'installation de seconde vie** dépend très sensiblement du type d'installation, mais également du niveau de compatibilité entre le design des batteries et de leurs composants et celui de l'installation de la seconde vie.

Quant aux **bénéfices attendus**, notamment ceux apportés par la batterie au système électrique pendant les première et seconde vies, un grand nombre de travaux théoriques et expérimentaux ont été réalisés ou sont en cours de réalisation pour estimer la valeur que le stockage stationnaire ou les batteries des VE peuvent apporter au système électrique³⁰.

Ci-dessus à titre illustratif sont présentés les principaux services de flexibilité que le stockage d'électricité peut fournir au système électrique (**liste non exhaustive**) :

Quel service ?	Paramètres clés	Quel emplacement de stockage ?
Energy Shifting <ul style="list-style-type: none"> ● Utiliser le stockage pour les arbitrages (achats / ventes) sur les marchés de gros de l'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> ● Rendement de la technologie ● Spreads de prix ● Volatilité des prix ● Capacité à anticiper les prix 	<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Front of the meter</i> (grandes installations raccordées au réseau électrique et ayant très souvent accès au marché de gros d'électricité)
Time of use tariff (TOU) <ul style="list-style-type: none"> ● Utiliser le stockage pour optimiser la facture d'un 	<ul style="list-style-type: none"> ● Rendement du stockage ● Spreads du TOU 	<ul style="list-style-type: none"> ● Clients tertiaires et industriels ● Clients résidentiels

³⁰Etudes PEPS-4 et PEPS-5 (Etudes sur le potentiel du stockage d'énergie en France), coordonnées dans le cadre du Club de Stockage de l'Energie de l'ATEE.

<p>consommateur en répondant à des signaux tarifaires</p> <ul style="list-style-type: none"> (ex: heures pleines, heures creuses) 	<ul style="list-style-type: none"> Granularité du TOU (pour le dimensionnement) 	
<p>Peak shaving</p> <ul style="list-style-type: none"> Utiliser le stockage pour réduire la puissance souscrite d'un client 	<ul style="list-style-type: none"> Courbe de consommation du client Méthode et niveau de tarification de la puissance (très variable en fonction des pays, voire des régions) Risque Règlementaire élevé Capacité à anticiper la consommation 	<ul style="list-style-type: none"> Clients tertiaires et industriels
<p>Autoconsommation</p> <ul style="list-style-type: none"> L'ajout de stockage à une installation photovoltaïque pour augmenter les taux d'autoconsommation et/ou d'autoproduction 	<ul style="list-style-type: none"> Profil de consommation Tarification Réglementation concernant les injections des auto-consommateurs sur le réseau 	<ul style="list-style-type: none"> Clients tertiaires et industriels Clients résidentiels (les services des VE inclus)
<p>Réglages primaire (FCR) et secondaire (aFRR) de fréquence</p> <ul style="list-style-type: none"> FCR: Le marché européen et régional existe et est ouvert aux installations de stockage (depuis 2017 en France), avec enchères hebdomadaires aFRR: Le marché du réglage secondaire de fréquence est ouvert au stockage depuis le 18 juillet 2024, avec les enchères gérées par RTE. Selon la CRE, c'est « le second relais de croissance pour les batteries en France »³¹ 	<ul style="list-style-type: none"> Durée de stock Disponibilité de la connexion (pour le <i>behind the meter</i>) Stratégie de gestion de charge efficace / optimale. Dimensionnement selon la stratégie de participation (Incertitude sur les trames de certification) 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Front of the meter</i> (grandes installations raccordées au réseau électrique et ayant très souvent accès au marché de gros d'électricité) Clients tertiaires et industriels Clients résidentiels³²
<p>Peak capacity</p> <ul style="list-style-type: none"> Le marché de la capacité est un des moyens pour encourager des investissements dans une capacité fiable 	<ul style="list-style-type: none"> Disponibilité pendant l'hiver Longueur de stock Capacité à fournir des services systèmes sur une durée réglementée (enjeu pour le stockage avec une courte durée de stock) 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Front of the meter</i> (grandes installations raccordées au réseau électriques et ayant très souvent accès au marché de gros d'électricité) Clients tertiaires et industriels

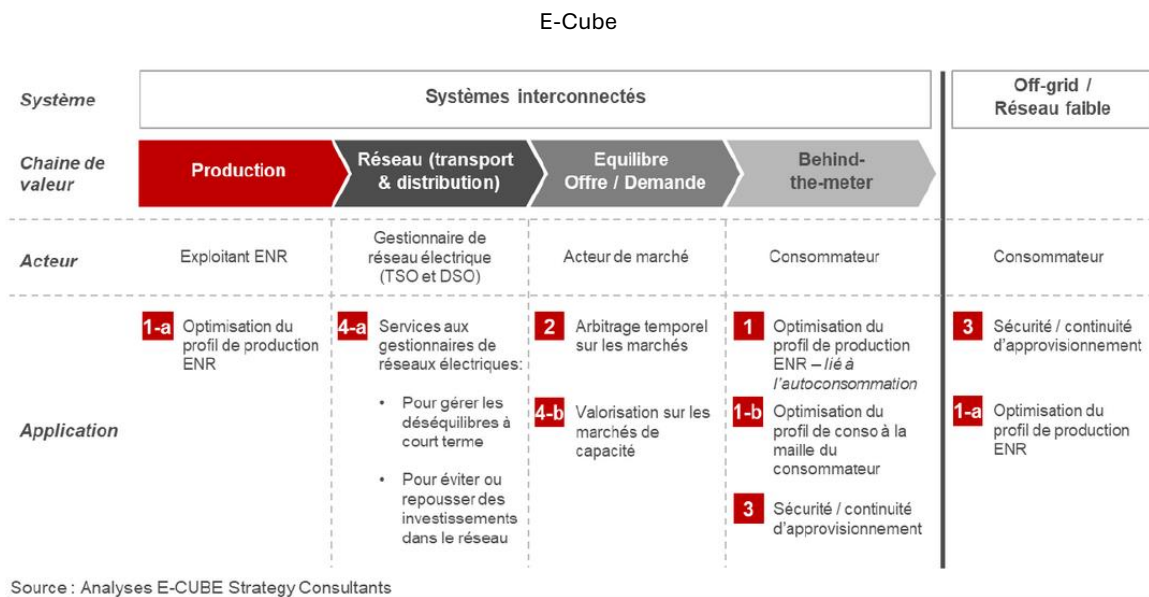
³¹ Colloque Stockage ATEE 2023, Présentation de Dominique Jamme, Directeur Général de la CRE (Page 9)

³² A date, ce n'est pas possible sans agrégation permettant d'atteindre une puissance minimale.

En observant ces différents types de services que le stockage peut fournir au système, une forte influence des performances des installations de stockage, mais également de la législation, de la réglementation technique et du design des marchés, est constatée sur la valeur de ces services.

Un schéma synthétique ci-dessous illustre l'articulation des services considérés avec les différents maillons de la chaîne de valeur du stockage :

Relation entre les services analysés et les divers maillons de la chaîne de valeur du stockage



5.1.2. Vision « stratégie d'acteurs »

Quelle que soit la valeur économique des batteries de seconde vie pour la collectivité, **leur déploiement n'est possible que si leur utilisation par les acteurs concernés s'avère suffisamment rentable**

Ainsi, sous l'angle « modèles d'affaires », la question principale peut être formulée comme suit :

« Quelle solution est la plus économique entre acheter une batterie neuve ou une batterie de seconde vie ? ».

La comparaison porte ainsi sur deux batteries (ou deux composants de batteries) ayant **des caractéristiques techniques comparables** (capacité maximale, C-rate³³, intensité de courant maximale, etc.), mais **dont les coûts totaux pour l'utilisateur sont différents**.

Il s'agit des coûts d'achat, d'installation et d'exploitation de la batterie ou de ses composants, des aides éventuelles ou de la valorisation des autres mécanismes de soutien, mais également **du coût du risque lié à leur dégradation précoce**.

³³ C-rate est le rapport entre le courant i appliqué à la batterie (mesuré en Ampères) sur la capacité C de la batterie (mesurée en Ampères-heures)

Ce risque est particulièrement significatif pour les équipements en seconde vie, qui se rapproche progressivement d'un point appelé « coude de vieillissement » (ou « aging knee »), moment à partir duquel une baisse subite des performances de la batterie est observée, ce qui marque la fin de la vie de la batterie, même pour les usages peu exigeants en performances.

Malgré un nombre important de travaux académiques et industriels, il n'existe pas à jour de méthode sûre et facile d'accès pour anticiper ce point de « coude de vieillissement » avec un niveau de certitude suffisamment élevé³⁴.

La mesure de la capacité de charge de la batterie (SOH) est un indicateur communément utilisé pour caractériser l'état de vieillissement de la batterie, mais il ne permet pas, à lui seul, de prédire la future trajectoire de son vieillissement, ni le moment de l'arrivée de la batterie à son « coude de vieillissement ».

On peut cependant s'entendre sur le fait que :

- La connaissance détaillée de l'historique d'exploitation de la batterie durant sa première vie ;
 - et la bonne visibilité des profils prévisionnels d'exploitation pendant sa seconde vie,
- permettent d'améliorer la qualité de diagnostic des batteries à la fin de leur première vie, notamment quant à l'estimation du nombre potentiel de cycles restants et donc de la durée calendaire cible d'exploitation avant leur fin de vie définitive.

Cette dernière observation est importante pour identifier les principaux facteurs qui jouent sur les perspectives de l'émergence de la filière de la seconde vie des batteries issues de la mobilité électrique.

5.2. Facteurs environnementaux

Puisque l'impact environnemental négatif de la filière batterie n'est généralement pas pris en compte dans les analyses économiques évoqués ci-dessus, des **métriques et indicateurs environnementaux appropriés s'avèrent nécessaires pour quantifier les bénéfices environnementaux** de la seconde vie des batteries.

L'empreinte carbone d'une batterie peut être citée à titre d'exemple de métrique à suivre, dont le calcul nécessite un grand nombre d'informations sur l'ensemble du cycle de vie de la batterie : la nomenclature et l'origine des matériaux qui la constitue, les procédés utilisés pour la fabrication et l'assemblage de ses composants, le type d'usage et le lieu d'exploitation de la batterie, etc.

Une étude réalisée en 2023 par Carbon 4 sur l'empreinte carbone des batteries Li-ion³⁵ a montré que plus de 80 % de l'empreinte carbone d'une batterie Li-ion dépend des matériaux qui la composent, plutôt qu'à son assemblage ou à son utilisation.

³⁴ « Accélération et caractérisation du vieillissement pour l'étude des batteries des véhicules électriques en première vie », Romain Tabusse, Thèse soutenue à l'Université Bourgogne Franche-Comté le 18 octobre 2023. Ou encore « Knee point prediction for lithium-ion batteries using differential voltage analysis and degree of inhomogeneity », Marion Fuhrmann, Laurent Torcheux, Yo Kobayashi, Journal of Power Sources, Volume 621, 2024

³⁵ « Increase the accuracy of carbon footprint for Li-ion battery » Carbone4, mai, 2023.

Ainsi, la prolongation de la durée d'exploitation de la batterie grâce à son usage en seconde vie pourrait contribuer à réduire l'empreinte carbone de chaque kWh de la batterie utilisée.

Cet enjeu de la seconde vie d'une batterie peut être considéré par les pouvoirs publics indépendamment de la performance économique de cette dernière, surtout si les gains environnementaux escomptés de la seconde vie des batteries s'avèrent substantiels.

Une étude de type ACV (analyse de cycle de vie) serait nécessaire pour produire une analyse comparative des empreintes carbone d'une même batterie utilisée soit uniquement en première vie (scénario de référence), soit en première et deuxième vies (scénario alternatif).

La scénarisation d'une telle analyse comparative pourrait être similaire à l'analyse coût-bénéfice présentée précédemment.

5.3. Autres facteurs significatifs

En complément des enjeux économiques et environnementaux de la seconde vie des batteries issues de la mobilité électrique (ou de leurs composants), doivent également être prises en compte les **considérations liées à la souveraineté** européenne (accès aux ressources critiques), ainsi qu'à l'émergence d'une filière industrielle de réaffectation et reconditionnement des batteries issues de la mobilité électrique.

Sur le plan de la souveraineté nationale, nous pouvons citer l'étude de RTE (« Futurs énergétiques 2050 ») où la question **d'accès aux principales ressources stratégiques** intègre l'équation globale des équilibres du système électrique national à long terme. Cette étude montre que les deux principales ressources stratégiques associées au stockage électrochimique à base de lithium (lithium et cobalt) ont un niveau de criticité moyen ou élevé, avec une tendance majoritairement stable ou croissante (voir le tableau ci-dessous).

Ainsi, dans une perspective de long terme, la prolongation de l'utilisation des batteries ou de leurs composants dans le cadre de la seconde vie pourrait réduire la pression sur l'extraction de matériaux critiques. Contrairement à un recyclage où seule une partie des matériaux est réutilisable pour produire de nouvelles batteries, la seconde vie permet d'exploiter 100 % des matériaux critiques présents dans les batteries, tout en répondant aux besoins de plusieurs secteurs (électromobilité, stockage stationnaire...). Cela contribue ainsi à atténuer la demande d'extraction de nouvelles ressources, stabilisant ou même réduisant leur criticité globale à l'échelle de l'ensemble des secteurs utilisateurs.

Matrice de criticité des ressources-clés en 2020 et les tendances à venir

	Réserves disponibles		Monopole sur l'approvisionnement et la production		Dimension stratégique/ conflit d'usage		Substituabilité		Recyclabilité		Impacts social et environnemental	
	2020	tendances à venir	2020	tendances à venir	2020	tendances à venir	2020	tendances à venir	2020	tendances à venir	2020	tendances à venir
Cuivre	●	↗	●	=	●	=	●	=	●	↘	●	=
Argent	●	=	●	=	●	= ou ↗	●	= ou ↘	●	= ou ↘	●	=
Silicium	●	= ou ↗	●	↗ ou ↘	●	= ou ↗	●	↘	●	↘	●	↘
Uranium	●	= ou ↗	●	=	●	=	●	=	●	= ou ↘	●	=
Lithium	●	= ou ↗	●	↗	●	=	●	=	●	=	●	= ou ↘
Cobalt	●	= ou ↗	●	=	●	=	●	=	●	↘	●	= ou ↘

● niveau de criticité faible
 ● niveau de criticité moyen
 ● niveau de criticité élevé
↘ niveau de criticité à la baisse
 ↗ niveau de criticité à la hausse
 = niveau de criticité identique

D'autre part, l'émergence d'une nouvelle filière industrielle de réaffectation et remanufacturation des batteries représente un défi social, avec comme objectif une création des emplois stables à forte valeur ajoutée.

5.4. Synthèse des observations

L'analyse des enjeux de la seconde vie des batteries issues de la mobilité électrique ou de leurs composants permet d'établir les constats suivants :

- La généralisation de la seconde vie des batteries issues de la mobilité électrique ou de leurs composants peut apporter à la collectivité des bénéfices économiques, environnementaux, sociaux et contribuer à la souveraineté nationale ;
- Toutefois, **plusieurs conditions doivent être réunies pour permettre l'émergence de la filière** de la seconde vie des batteries, notamment :
 - Doit être quantifié de manière transparente et opposable l'intérêt économique et environnemental de l'usage des batteries issues de la mobilité électrique ou de leurs composants d'un point de vue sociétal (analyse coût-bénéfice) ;
 - Doit être acquise l'adhésion de l'ensemble des parties prenantes, via une répartition équitable des coûts, des bénéfices et des risques liés à la réaffectation ou au remanufacturation des batteries issues de la mobilité électrique ou de leurs composants ;
- Mais également :
 - La réduction des coûts liés au passage de la première à la seconde vie de la batterie (diagnostic, qualification, démontage, transport & stockage, intégration dans l'installation de la seconde vie). L'effet d'échelle, ainsi qu'à la facilité d'accès aux batteries du VE et à leurs composants sont des facteurs clés de cette réduction ;

- L'accès aux données détaillées sur l'historique de l'utilisation de la batterie pendant sa première vie. Ce facteur permet de réduire le coût du diagnostic et de qualification des batteries en fin de première vie, mais surtout contribue à la réduction des incertitudes et donc des risques liés à une dégradation accélérée des performances des batteries ou de leurs composants ;
- Une meilleure visibilité sur les évolutions législatives et réglementaires affectant l'exploitation et le traitement des batteries. Elle est nécessaire entre autres pour mieux anticiper les modes d'usage des batteries en seconde vie, et réduire le risque de non-rentabilité des modèles d'affaires correspondants.

6. Conclusion et recommandations

Les enjeux associés à la mobilité électrique et au stockage de l'énergie sont particulièrement forts et nécessitent une régulation claire, précise et équitable ainsi qu'une coordination entre les principaux acteurs des écosystèmes du stockage stationnaire et de la mobilité électrique. Pour assurer le développement durable et sécurisé de la mobilité électrique, il est crucial que les pouvoirs publics adoptent des mesures favorisant la réparabilité des batteries, garantissant l'accès aux données essentielles et renforçant la sécurité et la formation des professionnels.

Sur la base des travaux, le GT a formulé 4 recommandations visant à encourager le développement de la filière de la seconde vie :

- 1) Clarifier les termes définis par la réglementation
- 2) Converger sur les règles communes pour la collecte, la transmission et l'exploitation des données de la batterie
- 3) Soutenir l'exploitation, la réparabilité et la standardisation de la batterie du véhicule électrique
- 4) Créer les conditions favorables de l'émergence de la filière en matière de protection des opérateurs et sécurité des sites

Pour permettre la mise en œuvre de ces recommandations, le GT préconise aux pouvoirs publics de créer un chantier ad hoc pour favoriser la concertation des acteurs de l'écosystème autour des différents enjeux identifiés.

L'ensemble de ces recommandations sont détaillées ci-dessous :

Préconisation 1

Clarifier l'usage des termes définis par la Réglementation

- Intégrer une définition de la « réparabilité » des batteries d'une façon claire dans la réglementation, en explicitant notamment les différences techniques et juridiques entre « réparation » et « remanufacturation » des batteries ou de leurs composants, en particulier du point de vue du transfert de la responsabilité (REP) ;
- Proposer une harmonisation des termes « 1ère vie » et « 2nde vie » des batteries, communément utilisés par les parties prenantes de l'écosystème batterie et mobilité électrique.

Préconisation 2

Converger sur les règles communes pour la collecte, la transmission et l'exploitation des données de la batterie

- L'accès aux informations détaillées sur l'exploitation de la batterie pendant la 1^{ère} vie facilite la transition vers les usages de la 2^{nde} vie et en réduit sensiblement le coût pour. Ainsi, il est important de rendre possible la mise à disposition non-discriminatoire de données dynamiques relatives aux batteries, sous-réserve d'engager des initiatives de convergence

sur les règles communes pour la collecte, la transmission et l'exploitations de ces données, et du respect des règles en matière de protection des données (RGPD), notamment d'accord du client, et des dispositions des règlements européens. Ce cadre standardisé, à préciser, facilitera le partage des « données » de la batterie pour permettre la réparation, le remanufacturage, le réemploi ou la réaffectation.

- Garantir le libre choix des consommateurs en offrant aux opérateurs indépendants un accès effectif, équitable et non discriminatoire aux interfaces et outils de diagnostic, supports techniques et données.

Préconisation 3

Soutenir l'exploitation, la réparabilité et la standardisation de la batterie du véhicule électrique

- Promouvoir l'élaboration de normes communes pour des techniques de conception, d'assemblage et de tests qui facilitent l'entretien, la réparation et la réaffectation des batteries et de leurs composants ;
- Inciter les constructeurs automobiles et les producteurs de batteries à adopter le concept de réparabilité « by design », permettant d'étendre de manière garantie et sécurisée la durée d'exploitation de la batterie du véhicule électrique ;
- Encourager les producteurs de batteries à développer des solutions et des pièces standardisées, compétitives et accessibles dans la durée aux opérateurs tiers, afin de permettre la réparation ou la mise à niveau des véhicules tout au long de leur cycle de vie et ce, même après la fin de la disponibilité des technologies d'origine.

Préconisation 4

Créer les conditions favorables à l'émergence de la filière en matière de compétitivité, d'industrialisation et de sécurisation des activités.

- Structurer et renforcer la qualification des professionnels de la batterie pour garantir des interventions sûres et efficaces, que ce soit pour leur usage initial, le réemploi ou la seconde vie.
- Promouvoir le développement de sites pilotes et d'outillages dédiés, tout en certifiant les matériels utilisés dans les centres de traitement des batteries, afin d'assurer la compétitivité, l'excellence opérationnelle et la sécurité des installations.
- Définir et harmoniser, en concertation avec l'ensemble des parties prenantes, des procédures de certification et des bonnes pratiques de sécurité couvrant toutes les étapes du cycle de vie des batteries.

Créer un chantier ad-hoc qui servira aux pouvoirs publics de lieu privilégié de concertation avec l'ensemble des parties prenantes afin d'identifier et de lever les barrières au développement de la filière batterie, de la mobilité électrique et du stockage.

Ce chantier, piloté par une instance neutre mandatée par les pouvoirs publics, devra être ouvert à l'ensemble des acteurs concernés, notamment :

- Aux membres de l'écosystème de la mobilité électrique (fabricants de batterie, constructeurs automobiles, constructeurs de pièces détachées, réparateurs de véhicules, centres VHU, etc.) ;
- Aux membres de l'écosystème du stockage stationnaire (porteurs de projets, fournisseurs des installations, installateurs, exploitants des batteries, etc.) ;
- Aux acteurs du système électrique (gestionnaire de réseaux de distribution et de transport, fournisseurs d'électricité, agrégateurs, etc.).

Ce chantier devrait permettre de **favoriser le dialogue et la coopération entre les acteurs principaux des différents écosystèmes** de la première et de la seconde vie. Il pourra aborder divers aspects techniques, économiques, législatifs et réglementaires, ainsi que contractuels, concernant la réparabilité des batteries, le partage des données des véhicules et le développement des filières associées aux différentes vies des batteries.

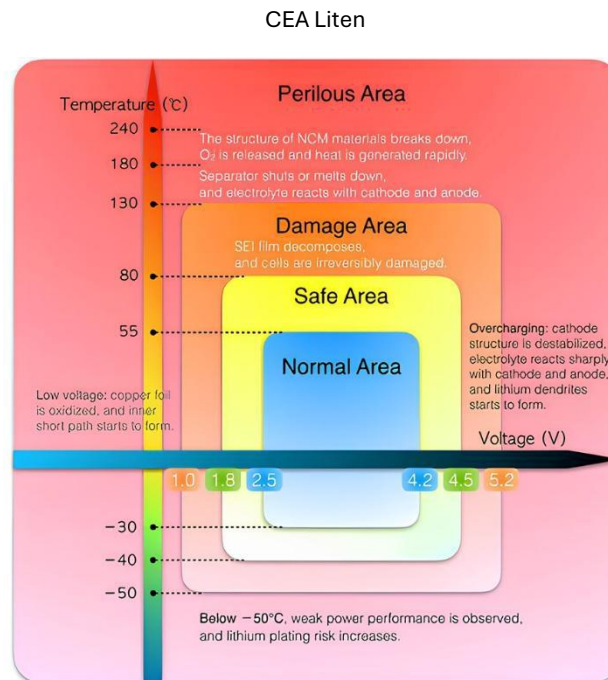
En parallèle, ce chantier devra également se pencher sur la **création d'un cadre pédagogique destiné au grand public**, afin qu'il puisse mieux comprendre les enjeux liés à la mobilité électrique, notamment en termes de transition énergétique et de dépendance aux matériaux critiques. Ce cadre pédagogique devra éclairer, entre autres, sur les aspects économiques et environnementaux, afin de permettre aux consommateurs de faire des choix éclairés quant à leur futur véhicule électrique. Il pourra partager également des bonnes pratiques pour préserver la batterie et prolonger sa durée de vie.

7. Annexes

Annexe 1 : Performances et sécurité des batteries lithium-ion

L'utilisation et la réutilisation des batteries de véhicules électriques lithium-ion comportent des risques importants, en particulier lorsqu'elles sont soumises à des conditions d'utilisation abusives et à mesure qu'elles vieillissent.

Zones de fonctionnement de la technologie Lithium-ion



En fonctionnement normal, lorsque la batterie est intacte, les risques chimiques sont quasi-inexistants. La conception étanche des batteries lithium-ion empêche tout contact avec l'électrolyte, un composant interne corrosif et inflammable. **Mais lorsqu'elle est soumise à des conditions d'utilisation extrêmes, la batterie devient instable** ce qui peut entraîner une dégradation accélérée de ces composants et augmente les risques de surchauffe, de fuites chimiques, et dans les cas les plus graves, d'incendie ou d'explosion.

Pour garantir un fonctionnement optimal et sûr, il est crucial de respecter les limites de fonctionnement définies par le fabricant. Ces limites concernent notamment la tension, le courant et la plage de température autorisée. Le non-respect de ces consignes peut altérer les performances de la batterie, accélérer son vieillissement et, dans les cas extrêmes, engendrer des problèmes de sécurité. La surcharge, en particulier, est à proscrire absolument.

Pour minimiser les risques liés aux batteries lithium-ion, la mise en place d'un système de gestion de batterie (BMS) est indispensable, ce qui est le cas de la majorité des batteries aujourd'hui. Ce système intelligent surveille en permanence des paramètres clés tels que la tension, le courant, la température et l'état de charge de la batterie. Le BMS joue un rôle crucial dans la prévention des incidents en déclenchant des actions correctives en cas de détection d'anomalies. Pour une sécurité renforcée, il est recommandé d'opter pour un BMS doté de plusieurs niveaux de

surveillance redondants et d'assurer un design sécurisé de la batterie pendant la phase de conception.

Emballlement thermique : le risque premier

L'emballement thermique représente le risque le plus redouté lors de l'exploitation des batteries lithium-ion. Cette réaction exothermique incontrôlée peut générer une chaleur intense, des fumées toxiques, des incendies voire des explosions.

Divers facteurs peuvent être à l'origine d'un emballement thermique comme :

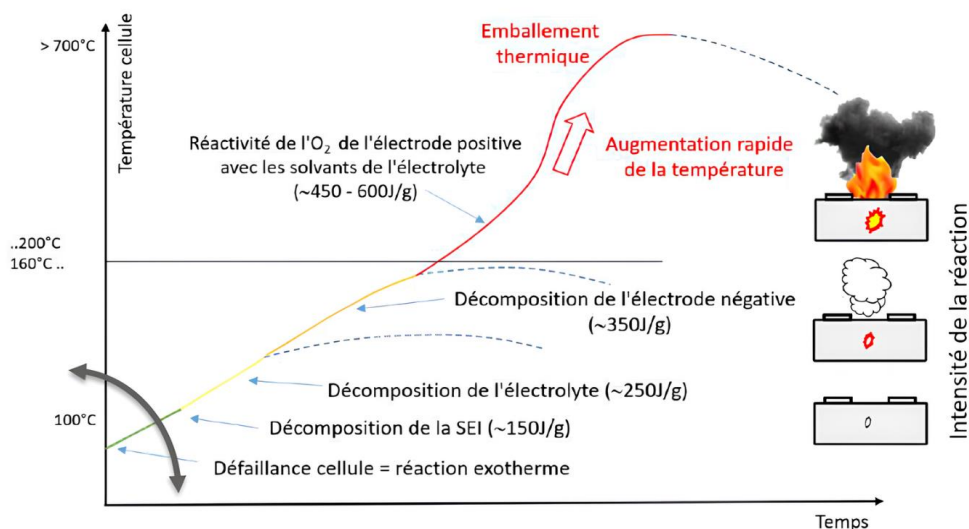
- **Les défauts internes** (conception des cellules : matériaux, qualité de fabrication, sécurité interne) ;
- **Les abus mécaniques** (peu probable en stationnaire) ;
- Les températures excessives (canicule, feu externe) ;
- **L'abus électrique** (court-circuit, surcharge).

La pente initiale de la réaction d'une batterie lithium-ion lors d'un incident dépend de trois facteurs principaux :

- **Le type d'agression** : la nature de l'agression subie par la batterie, comme un court-circuit, une surchauffe ou une perforation, influence directement la rapidité et l'intensité de la réaction ;
- **L'état de la batterie avant l'événement** : l'état de santé de la batterie avant l'agression joue un rôle important. Une batterie neuve et en bon état aura tendance à réagir différemment d'une batterie usée ou dégradée. Le niveau de charge (SOC) et l'état de santé (SOH) de la batterie sont des indicateurs clés à prendre en compte ;
- **L'intensité de la défaillance** : plus l'agression est intense, plus la réaction sera rapide et violente. Un court-circuit de forte intensité, par exemple, peut déclencher une réaction explosive, tandis qu'un court-circuit de faible intensité peut entraîner une réaction lente et progressive.

Cinétique d'une réaction d'emballement thermique Li-ion

CEA Liten



La compréhension du comportement des batteries face à divers incidents internes et agressions extérieures est cruciale pour permettre de prolonger la vie des batteries en toute sécurité. C'est pourquoi les centres de recherche mènent de nombreux tests pour évaluer la réaction des batteries à ces sollicitations (ex. surcharge, court-circuit, surchauffe, test au clou, etc).

Une tendance se dessine quant aux comportements des batteries, mais le nombre encore assez limité de batteries disponibles pour les tests et les caractéristiques uniques de chaque batterie rendent quasi impossible la réalisation d'essais destructifs standardisés. Il existe néanmoins des normes pour les tests de sécurité. En particulier, toute batterie Li-ion doit avoir passé avec succès les tests UN 38.3 pour pouvoir être transportée et donc commercialisée.

Impact du vieillissement sur la sécurité des batteries lithium-ion

Le vieillissement des batteries lithium-ion est un phénomène naturel, accentué par certains facteurs, qui affecte inéluctablement les performances et la sécurité de celles-ci. Si l'état de santé (SOH) d'une batterie permet d'évaluer son état de capacité restante, il ne reflète pas toujours fidèlement le niveau de risque réel. En effet, deux batteries avec un SOH identique peuvent présenter des réactions très différentes en cas d'incident.

Des réactions variables à un même SOH :

Une batterie vieillie peut avoir une réactivité moindre qu'une batterie neuve, car elle contient moins d'énergie et ses cellules sont plus résistantes. À l'inverse, une autre batterie vieillie peut présenter une réactivité plus élevée en raison d'une fragilisation interne. Cette fragilisation peut être causée par divers facteurs, tels que la formation de dendrites, la dégradation de l'électrolyte ou la corrosion des électrodes. **La connaissance du SOH ne permet pas donc de conclure sur le niveau de sécurité, amélioré ou dégradé, d'une batterie vieillie.**

Sensibilité accrue aux événements anormaux :

Le vieillissement rend les batteries lithium-ion plus sensibles aux événements anormaux, quand bien même celui-ci a un impact minime sur leur SOH. Un choc mécanique, par exemple, peut causer des dommages internes et augmenter le risque de court-circuit. Une surcharge, même limitée, peut fortement détériorer la stabilité thermique de la batterie, la rendant plus susceptible de s'emballer thermiquement en cas de défaillance.

Influence des conditions de fonctionnement en première vie :

Les conditions de fonctionnement durant la première vie d'une batterie lithium-ion influencent également son vieillissement et, par conséquent, sa sécurité ultérieure. Des cycles de charge/décharge profonds ou à des températures extrêmes accélèrent le vieillissement.

Impact des différents types de dégradations internes :

Les différents types de dégradations internes qui surviennent dans une batterie lithium-ion vieillie n'ont pas tous le même impact sur sa sécurité. La perte de capacité, par exemple, est généralement moins préoccupante que la formation de dendrites ou la dégradation de l'électrolyte. Les dendrites, ces excroissances dendritiques qui se forment sur l'électrode négative, peuvent percer le séparateur et provoquer un court-circuit interne, tandis que la dégradation de l'électrolyte peut entraîner une augmentation de la résistance interne et une diminution de la stabilité thermique.

Sécurité des batteries en seconde vie : défis et préconisations

Après une première utilisation, les batteries, même en conservant leurs performances, sont bien plus exposées aux risques cités précédemment. C'est pourquoi il est crucial d'avoir une compréhension approfondie du comportement des batteries et une gestion précise des risques associés.

Reconnaître et écarter les batteries à risque

Avant de réutiliser des batteries, il est crucial d'exclure celles qui ont été soumises à des conditions anormales telles que la surcharge, les températures excessives ou les chocs. Une inspection visuelle minutieuse des packs est également nécessaire pour détecter des anomalies telles que des cellules gonflées, des fuites d'électrolyte ou des signes de surchauffe. Ces vérifications préliminaires permettent d'écarter les batteries susceptibles de présenter des défauts, les rendant inadaptées à une seconde vie.

Utiliser les données du BMS pour une analyse approfondie

Il est essentiel d'analyser les données du système de gestion de batterie (BMS). Ce système surveille en permanence des paramètres clés comme la tension, la température et le courant, et peut fournir des indications sur l'état de santé et les performances de la batterie. L'analyse de ces données permet de prévenir les incidents potentiels et de garantir une utilisation sécurisée des batteries en seconde vie. Il est donc important de mettre à disposition d'une façon non discriminatoire les données issues du BMS à des tiers afin de bien analyser l'historique de la batterie durant sa vie.

Mener des travaux de recherches approfondis sur la sécurité des batteries

La recherche sur la sécurité des batteries vieillies doit se poursuivre, en mettant un accent particulier sur l'impact des conditions de fonctionnement lors de leur première vie et sur la compréhension des liens entre vieillissement et sécurité. Cela inclut des études approfondies sur les mécanismes de dégradation des matériaux actifs, l'interaction avec l'électrolyte et la dynamique de la SEI, afin d'améliorer la prédictibilité de la performance et de la sécurité des batteries réutilisées.

Termes et abréviations

aFRR – automatic Frequency Restoration Reserve (Réserve secondaire)

ACV – Analyse de Cycle de Vie

BMS – Battery Management System

FCR – Frequency Containment Reserve (Réserve primaire)

GT – Groupe de Travail

EnR – Energies Renouvelables

Li-ion – Lithium-iOn

OEM - Original Equipment Manufacturer

REP – Responsabilité Elargie du Producteur

SOC – State of Charge

SOCE – State of Certified Energy

SOH – State of Health

UE – Union Européenne

VE – Véhicule Electrique

VEB – Véhicule Electrique à Batterie

VHR – Véhicule Hybride Rechargeable

VHU – Véhicule Hors Usage

A propos

Avere-France (Association nationale pour le développement de la mobilité électrique)

Depuis 1978, l'Avere-France fédère l'ensemble des acteurs de l'écosystème de la mobilité électrique dans les domaines industriel, commercial, institutionnel et associatif. Elle adresse ainsi la mobilité électrique utilisant des véhicules à batterie, hybrides rechargeables ou pile à combustible, des deux-roues, véhicules légers ainsi que les poids lourds et bus.

La présence, parmi nos 270 adhérents, de constructeurs, d'énergéticiens, d'utilisateurs mais aussi de collectivités territoriales nous permet de disposer d'une expertise sur tous les axes de la chaîne de valeur de l'écosystème, des types d'énergie, et des moyens de mobilité. L'Avere-France est également depuis 2016 le pilote d'Advenir, un programme de financement de points de recharge, de formation et de sensibilisation du grand public.



Contact :

Clément MOLIZON, Délégué Général

clement.molizon@avere-france.org

www.avere-france.org

Le Club stockage d'énergies de l'ATEE (Association technique énergie environnement)

L'**ATEE**, l'Association technique de l'énergie et de l'environnement, a été créé pour promouvoir la maîtrise de l'énergie sur une base technique. Au sein de l'ATEE, le Club Stockage des énergies rassemble l'ensemble des professionnels de la filière stockage (organisations institutionnelles, porteurs de projets, énergéticiens, réseaux, intégrateurs, agrégateurs, fournisseurs de service, bureaux d'étude, fabricants, instituts de recherche).



Contact :

Vincent LALY, Délégué Général du Club Stockage de l'ATEE

v.laly@atee.fr

<https://atee.fr/energies-renouvelables/club-stockage-denergies>

Wavestone

Wavestone, l'un des tous premiers cabinets de conseil indépendant en France - qui compte aujourd'hui plus de 5 500 collaborateurs à travers l'Europe, l'Amérique du Nord et l'Asie - dispose d'expertises sectorielles de premier plan ainsi que d'un portefeuille de savoir-faire transverses qui lui permettent d'adresser à 360° les grands programmes de transformation.

Le secteur de l'Énergie et celui de la Mobilité et des Transports comptent parmi les industries principales sur lesquelles le cabinet est positionné, avec des missions combinant des savoir-faire et des compétences business, technologiques et développement durable.

Wavestone est coté sur Euronext à Paris, et labellisé Great Place to Work®.

The logo for Wavestone, featuring the word "WAVESTONE" in a bold, blue, sans-serif font. The letter "V" is stylized with a diagonal line through it.

Contact :

Clément LE ROY, Partner

Clement.leroy@wavestone.com

www.wavestone.com

