

Batteries des véhicules électriques

Anticiper les enjeux de la fin de vie

La présente note expose les différents enjeux et barrières techniques, économiques, et réglementaires liés à la gestion de la fin de vie des batteries des autobus électriques. Elle présente également des préconisations pour maximiser la valeur de ces actifs, de l'extension de la vie initiale à la valorisation en fin de cycle.

Table des matières

1. Introduction	4
2. Technologies	5
Composition chimique	5
Capacité	5
Durée de vie	6
Modes de recharge	6
3. Réglementation.....	7
Règlement UE 2023/1542	7
(1) La gestion de la fin de vie	7
(2) Durabilité environnementale : des objectifs liés au recyclage	7
(3) Sécurité et substances dangereuses : renforcement des restrictions de l'utilisation de substances dangereuses	8
(4) Étiquetage et marquage : mise en place d'un « Passeport batterie »	8
(5) La responsabilité élargie des producteurs (REP) de batteries	9
4. Contexte et enjeux structurels	10
Enjeu technique et technologique	10
Enjeu sur la demande.....	10
Enjeu de souveraineté industrielle	11
5. Passage d'un modèle linéaire à une approche circulaire	12
Prolongation de la durée de vie initiale	13
Seconde vie	15
Exemples d'applications	15
Les défis de la seconde vie	15
6. Le recyclage	17
Prospective.....	17
Les types de déchets de batterie	17
Les principales voies de recyclage	17
Prétraitement.....	18
Enjeux économiques.....	18
7. Conclusion.....	19
Sources	20
Annexes.....	21

Résumé exécutif

L'électrification des transports collectifs constitue un levier essentiel de la transition énergétique et de la décarbonation des mobilités. Les autobus électriques, dont le fonctionnement repose sur des batteries lithium-ion de forte capacité, connaissent un déploiement rapide sous l'effet des politiques publiques nationales et européennes. Cette évolution soulève toutefois de nouveaux enjeux liés à la gestion de la fin de vie des batteries, qui concentrent des matières premières stratégiques telles que le lithium, le nickel et le cobalt.

Le marché des batteries de véhicules électriques est aujourd'hui dominé par deux technologies : les chimies NMC (nickel-manganèse-cobalt), privilégiées pour leur autonomie et leur faible impact environnemental, et les batteries LFP (lithium-fer-phosphate), davantage reconnues pour leur robustesse et leur coût plus faible.

Face à l'augmentation attendue des volumes de batteries en fin de vie au cours des prochaines décennies, le développement de filières performantes de collecte, réemploi, et recyclage devient un enjeu industriel, environnemental et stratégique majeur. La dépendance aux importations de matières premières critiques impose de renforcer notre souveraineté européenne et de sécuriser les approvisionnements.

A ce titre, le cadre réglementaire européen a été profondément consolidé avec l'adoption du Règlement (UE) 2023/1542 relatif aux batteries. Ce texte instaure une approche couvrant l'ensemble du cycle de vie des batteries et fixe des objectifs ambitieux en matière de collecte, de recyclage, de récupération des matériaux stratégiques, d'incorporation de matières recyclées et de traçabilité. Ces dispositions traduisent la volonté de l'Union européenne de structurer une filière intégrée, durable et compétitive.

Le développement de cette industrie mobilise une chaîne de valeur complexe et encore fragile en Europe, réunissant de nombreux acteurs, et marquée par de fortes incertitudes économiques et industrielles.

La fin de vie d'une batterie ne se limite pas à son recyclage immédiat. Le basculement d'un modèle linéaire vers une approche plus circulaire du traitement de la batterie suppose qu'elle conserve encore suffisamment de capacité résiduelle pour d'autres applications, notamment dans le stockage stationnaire d'énergie. Le développement de ces usages de « seconde vie » constitue un levier important d'allongement de la durée de vie des batteries et de valorisation des ressources utilisées.

Le développement de ces nouveaux usages demeure encore confronté à un certain nombre d'obstacles. Les coûts liés au diagnostic, au démontage, à la remise en état et à la réaffectation des batteries, et à la complexité des technologies, peuvent rapidement limiter leur rentabilité économique. La conception du design des batteries et l'accès aux données historiques d'exploitation apparaissent comme des facteurs déterminants pour évaluer l'état de santé et le potentiel de réutilisation des batteries, et renforcer la confiance des acteurs du marché.

Dans ce contexte, la présente note dresse un état des lieux des technologies de batteries utilisées dans les véhicules électriques, du cadre réglementaire applicable et des principaux enjeux associés à leur fin de vie. Elle analyse les perspectives offertes par la seconde vie et le recyclage, et met en lumière les défis techniques, économiques et industriels qui conditionnent le développement d'une véritable économie circulaire des batteries.

1. Introduction

La transition vers une mobilité décarbonée s'accompagne d'une électrification rapide du transport routier, soutenue par des objectifs climatiques ambitieux et un renforcement progressif des exigences réglementaires européennes. Dans ce contexte, les véhicules électriques, et en particulier les autobus électriques pour les transports collectifs, constituent un levier majeur de réduction des émissions de gaz à effet de serre en milieu urbain et offrent une alternative durable et décarbonée aux motorisations thermiques traditionnelles.

Sous l'effet des politiques publiques favorisant l'électrification des flottes, le nombre de batteries mises sur le marché connaît actuellement une croissance soutenue. Cette dynamique laisse présager l'émergence, dans les dix à quinze prochaines années, d'un volume significatif de batteries arrivant en fin de vie. Selon les estimations de l'association RECORD, le gisement français de batteries issues de la mobilité pourrait atteindre environ 150 000 tonnes à l'horizon 2040, tandis que le gisement européen dépasserait 1,1 million de tonnes. L'essor de ces technologies s'accompagne toutefois de nouveaux enjeux stratégiques liés à la gestion de leur fin de vie. Les batteries embarquées dans les véhicules électriques contiennent en effet des matières premières critiques telles que le lithium, le nickel ou le cobalt, dont l'approvisionnement demeure fortement dépendant de pays tiers.

Dans un contexte marqué par une augmentation soutenue de la demande mondiale, et face aux préoccupations croissantes en matière de souveraineté industrielle, l'anticipation de la gestion des batteries de véhicules électriques en fin de vie constitue désormais un enjeu majeur tant d'un point de vue environnemental qu'économique.

La fin de vie d'une batterie ne se limite pas à son recyclage. Lorsqu'elles ne présentent plus les performances requises pour leur application d'origine, de nombreuses batteries conservent encore une capacité résiduelle suffisante pour être utilisées dans d'autres applications moins exigeantes, notamment le stockage stationnaire d'énergie, les infrastructures de recharge ou certaines solutions de mobilité légère. Ces usages dits de « seconde vie » permettent de prolonger leur durée d'exploitation et d'améliorer leur bilan économique et environnemental avant leur recyclage final.

Le développement de ces filières s'inscrit dans le cadre du Règlement (UE) 2023/1542 relatif aux batteries, qui vise à instaurer une chaîne de valeur durable, souveraine, et circulaire. Il fixe de nouvelles exigences couvrant l'ensemble du cycle de vie des batteries, depuis leur conception jusqu'à leur recyclage.

Dans ce contexte, la présente note vise à analyser les enjeux liés à la fin de vie des batteries de véhicules électriques en examinant les perspectives offertes par le réemploi, la seconde vie et le recyclage. Elle s'attache à identifier les principaux éléments réglementaires, techniques, économiques et industriels qui structurent aujourd'hui le développement de cet écosystème, et propose un certain nombre de recommandations pour limiter le vieillissement des batteries et orienter les décisions stratégiques de la filière.

2. Technologies

Les bus électriques sont équipés de batteries haute capacité qui stockent l'énergie nécessaire pour alimenter l'ensemble des composants électriques du bus : les moteurs électriques, la climatisation, l'éclairage, les équipements électroniques. La batterie est le plus souvent située sur le toit ou dans le compartiment moteur à l'arrière du véhicule.

Deux technologies de batteries **lithium-ion** pour véhicules électriques prédominent à ce jour sur le marché : les batteries **LFP** (Lithium Fer Phosphate) et **NMC** (Nickel Manganèse Cobalt), qui sont toutes les deux dénommées par la composition de leur cathode.

Technologie	Batteries NMC Nickel - Manganèse - Cobalt	Batteries LFP Lithium - Fer - Phosphate
Autonomie	Elevée	Plus faible
Coûts	Elevés Présence de métaux rares (cobalt, nickel)	Plus économique Moins de métaux nobles
Longévité	Sensibilité aux cycles de charge et décharge	Meilleure longévité et stabilité thermique
Impact environnemental de fabrication	Extraction de ressources critiques (cobalt, nickel) Emissions de GES élevées Fabrication plus énergivore	Extraction de matériaux abondants (fer, phosphate) Faibles émissions de GES
Recyclabilité	Plus simple	Techniquement complexe
Applications	Bus longue distance ou interurbains	Bus urbains à arrêts fréquents avec recharges

Tableau comparatif des technologies de batteries

La chimie NMC est actuellement la technologie la plus répandue pour les véhicules électriques en France. Dans le transport urbain, elle est privilégiée pour les bus qui doivent assurer une journée complète de service sans recharge intermédiaire.

Bien que moins chères, les batteries LFP restent pour leurs parts plus discrètes en raison d'une autonomie plus faible.

Composition chimique

Une batterie est constituée d'un assemblage d'une dizaine de modules composés de 10 à 15 cellules. Elle regroupe des matériaux de différentes catégories de valeur, allant d'une valeur faible (plastique du boîtier, acier, emballage aluminium des modules) à une valeur plus élevée pour les métaux critiques, notamment le lithium, le cobalt, le nickel et le cuivre, en raison de fortes tensions sur leur approvisionnement depuis des pays étrangers.

Capacité

La dégradation est un processus naturel au cours duquel la batterie perd de sa capacité de stockage au fil du temps. On considère qu'elle perd 20% à 25% de sa capacité initiale au bout de 7,5 ans.

Durée de vie

La durée de vie de la batterie des autobus électriques varie **entre 8 et 10 ans**, alors que l'exploitation de ces véhicules varie entre 10 à 15 ans, nécessitant généralement un remplacement des batteries à mi-vie. On considère qu'une batterie **a atteint sa fin de première vie lorsqu'elle atteint 70% de sa capacité**.

- **Durée vie d'une batterie** : 8-10 ans
- **Durée vie d'un véhicule électrique** : 10-15 ans
- **Autonomie** : 200 km à 300 km
- **Prix d'une batterie** : 150 000€ à 250 000€ (30% à 50% du prix du bus)
- **1^{ère} vie d'une batterie** : Entre 100% et 70% de sa capacité initiale

Modes de recharge

La **stratégie de recharge** des autobus électriques joue un rôle clé sur l'utilisation et le vieillissement de la batterie. Les modes de recharge se distinguent en 3 catégories. La charge lente durant la nuit est la méthode la plus courante.

	Charge rapide	Charge lente	Charge d'opportunité
Quand ?	▪ Pendant les courts temps d'arrêts aux points d'arrêts de bus	▪ Pendant les longues périodes d'inactivité des bus	▪ A certains arrêts du trajet
Où ?	▪ En ligne ou aux terminus	▪ Au dépôt	▪ A des arrêts spécifiques
Comment ?	▪ Via des pantographes aux arrêts de bus	▪ Via une borne de recharge électrique	▪ Via des pantographes aux arrêts de bus
Combien ?	▪ Recharge partielle	▪ Recharge complète	▪ Recharge partielle
Durée ?	▪ Aux points d'arrêts : quelques secondes ▪ Aux terminus : 6 à 8 minutes	▪ 4 à 6 heures	▪ Environ 20 minutes

3. Réglementation

Règlement UE 2023/1542

Le 28 juillet 2023, l'Union Européenne (UE) a adopté son nouveau règlement « Batteries »¹ qui harmonise les normes à travers les Etats membres en fixant un cadre juridique complet, couvrant l'ensemble du cycle de vie des batteries depuis leur fabrication jusqu'à la gestion des déchets qui en sont issus. Ce texte s'applique à différents types de batteries, parmi lesquelles les batteries des véhicules électriques, et couvre à la fois les batteries produites dans l'UE et importées. Ses premières dispositions s'appliquent depuis le 31 décembre 2025.

Le règlement introduit plusieurs grandes obligations :

(1) La gestion de la fin de vie

Afin d'éviter que les batteries devenues des déchets ne soient perdues, mais plutôt réaffectées ou remanufacturées, la Commission européenne fixe plusieurs mesures visant à promouvoir leur seconde vie.

D'une part, la réaffectation et le remanufacturage font l'objet d'une reconnaissance officielle :

- La **réaffectation** désigne toute opération qui permet d'utiliser une batterie, qui n'est pas une batterie usagée, pour une application pour laquelle elle n'a pas été conçue à l'origine
- Le **remanufacturage** désigne toute opération technique effectuée sur une batterie usagée en vue de restaurer sa capacité à au moins 90 % de sa capacité nominale d'origine

Le règlement fixe de nombreuses dispositions visant à faciliter la mise en œuvre des opérations de réaffectation et de remanufacturage et à garantir leur réalisation dans des conditions respectueuses de l'environnement et de la santé humaine.

Il définit également des objectifs précis de collecte pour les différents types de batteries, en imposant aux opérateurs économiques de se doter de systèmes de collecte gratuits des batteries usagées pour l'utilisateur final (article 62.1).

(2) Durabilité environnementale : des objectifs liés au recyclage

L'amélioration de la durabilité des batteries tout au long de leur cycle de vie est au cœur de ce règlement qui fixe des objectifs de collecte et de recyclage.

Des objectifs de rendement de recyclage, de récupération de matériaux et d'intégration de contenu recyclé sont introduits progressivement à différentes échéances. 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, afin de favoriser leur réintroduction dans de nouvelles batteries.

A noter que les activités de recyclage permettent de réduire les émissions de carbone d'une tonne équivalent CO2 par tonne de batteries recyclées.²

Le règlement fixe 3 grandes obligations :

1. D'une part, des **objectifs minimaux de rendement de recyclage pour les batteries au lithium**

¹ 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

² La Revue de l'Institut Veolia – Facts reports n°23, Industrie et déchets : sur la voie de l'économie circulaire (2021)

- A partir du 31 décembre 2025 : 65 % du poids moyen des batteries
- A partir du 31 décembre 2030 : 70 % du poids moyen des batteries

2. D'autre part des objectifs de pourcentages minimaux de recyclage (récupération) des matériaux suivants :

		Cobalt	Cuivre	Lithium	Plomb	Nickel
Objectif de récupération minimal	A partir du 31 décembre 2027	90%	90%	50%	90%	90%
	A partir du 31 décembre 2030	95%	95%	80%	95%	95%

3. Enfin, l'intégration obligatoire d'un contenu minimal de matériaux recyclés dans les nouvelles batteries de véhicules électriques mises sur le marché :

		Cobalt	Lithium	Plomb	Nickel
Taux minimal d'incorporation de matériaux recyclés	A partir du 18 août 2031	16%	6%	85%	6%
	A partir du 18 août 2036	26%	12%	85%	15%

Il est à noter que le règlement porte une attention accrue à **la facilité de démontage** pour certaines catégories de batteries (notamment LMT et portables). Toutefois, cette exigence ne s'étend pas aux batteries de véhicules électriques, alors même que la complexité de leur design demeure un frein majeur à leur valorisation en fin de vie.

A travers ces mesures, l'Union Européenne souhaite encourager le développement d'une véritable économie circulaire de la batterie électrique.

(3) Sécurité et substances dangereuses : renforcement des restrictions de l'utilisation de substances dangereuses

Le nouveau règlement européen 2023/1542 introduit des mesures visant à renforcer la restriction de substances dangereuses, et définit des limites précises et plus strictes quant à la présence de mercure et cadmium. Toutefois, les batteries courantes des véhicules électriques ne contiennent généralement pas ces métaux lourds, et ne sont *a priori* pas concernées.

(4) Étiquetage et marquage : mise en place d'un « Passeport batterie »

Afin de garantir une meilleure transparence et traçabilité de l'information tout au long de la vie des batteries des véhicules électriques, l'Union Européenne fixe des obligations strictes en matière d'étiquetage et de marquage. L'article 77 du règlement prévoit qu'à partir du 18 février 2027, chaque batterie de véhicule électrique mise sur le marché est associée à un enregistrement électronique, dénommé le « **Passeport Batterie** », qui contient des informations générales et spécifiques à la batterie, permettant notamment d'identifier le producteur, la durée d'utilisation, la capacité de la batterie, ses performances et sa composition chimique dont l'origine des matières premières, l'empreinte carbone, le contenu de matériaux recyclés, des détails sur la réparation et la réutilisation, ou encore le démontage et le recyclage. Cette mesure a pour objectif de **renforcer la transparence** et permettre l'accès à une **information claire, lisible et facilement identifiable** par les utilisateurs et les professionnels du secteur.

Ces données doivent être mises à jour quotidiennement, accessibles en lecture seule, et dans un format interopérable. Un guide pour la mise en œuvre du passeport batteries est prévu pour accompagner les acteurs dans cette nouvelle obligation.

(5) La responsabilité élargie des producteurs (REP) de batteries

La législation française, via le principe de la Responsabilité Élargie du Producteur (REP), rend les fabricants et les importateurs responsables de la gestion de la fin de vie de leurs produits. Le nouveau règlement européen Batteries fixe de nouvelles règles relatives à la responsabilité élargie des producteurs visant à garantir un niveau élevé de protection de l'environnement et de la santé dans l'Union Européenne. Le texte en précise le périmètre d'application et les exigences minimales. Par l'article 56, sont désormais considérés comme producteurs de batteries :

- les opérateurs économiques mettant à disposition sur le marché, pour la première fois sur le territoire d'un État membre, une batterie neuve
- les opérateurs économiques mettant à disposition sur le marché des batteries ayant fait l'objet d'une préparation en vue d'un réemploi, d'une réaffectation, ou d'un remanufacturage

Le texte prévoit que **les fabricants seront désormais responsables de la collecte et du recyclage des batteries** et doivent en assumer les coûts. Depuis le 18 août 2025, les producteurs sont tenus d'adopter une politique de diligence claire et conforme aux standards internationaux.

Transposition en France

Le décret n°2024-1221 du 27 décembre 2024 transpose le Règlement 2023/1542 en droit français dans le Code de l'environnement en modifiant le cadre légal de la Responsabilité Élargie du Producteur (REP) pour la filière des batteries. Le texte précise notamment les modalités de mise en œuvre de la responsabilité, les exigences pour la gestion des déchets et l'information.

4. Contexte et enjeux structurels

Dès 2017, la France a soutenu l'Alliance européenne des batteries visant à encourager le développement d'une offre européenne.

En 2018, elle a lancé le Plan Batteries visant à accélérer l'émergence d'une filière de production en France à travers l'implantation d'usines sur le territoire.

En 2021, la Stratégie nationale sur les batteries a pris sa suite, intégrée aux objectifs de France 2030, pour renforcer et amplifier les actions du premier Plan Batteries. Le développement d'une offre nationale complète, de l'extraction des matériaux au recyclage, en constitue l'un des axes prioritaires. Afin de poursuivre les efforts dans cette démarche, les objectifs se portent désormais sur les segments amont et aval de la chaîne de valeur des batteries. La Stratégie nationale batteries s'articule également avec la Stratégie nationale « Recyclabilité, Recyclage et Réincorporation des matériaux » (3R) qui cible notamment des métaux stratégiques pour les technologies de batteries.

La Stratégie 3R (Recyclabilité, Recyclage et Réincorporation)

La Stratégie 3R constitue un axe majeur du plan d'investissement France 2030. Elle place les batteries électriques au cœur de ses préoccupations en raison de leur caractère stratégique et de la présence de métaux critiques comme le lithium. Avec un budget global de 600 M€, la stratégie vise notamment à financer le déploiement industriel, en particulier des unités de recyclage des batteries et l'adaptation des outils industriels pour intégrer des matières premières recyclées.

Enjeu technique et technologique

La gestion des batteries en fin de vie est par nature complexe en raison de nombreux défis techniques et technologiques. Les batteries au lithium-ion sont classées comme des déchets dangereux en raison de leur composition chimique et impliquent des procédures de manipulation et de transport extrêmement strictes et contraignantes.

L'hétérogénéité des chimies de batteries coexistantes sur le marché (LFP, NMC) complexifie encore davantage la standardisation des démarches de gestion de la fin de vie, notamment au niveau des processus de démantèlement et de recyclage.

Enjeu sur la demande

La Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) constitue la feuille de route de la France pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. Le secteur des transports, premier contributeur aux émissions de gaz à effet de serre, se situe au cœur de cette mutation. L'accélération de la mobilité électrique est dictée par un arsenal législatif de plus en plus strict pour atteindre les objectifs climatiques nationaux et européens. Ces choix de politiques publiques ont impulsé une croissance mondiale inédite du marché des véhicules électriques, et donc des batteries qui y sont intégrées.

Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la demande mondiale de batteries pour véhicules électriques sera multipliée par 4 d'ici 2030, et par 7 d'ici 2035 (par rapport à 2023), dans un scénario où les politiques actuelles seraient maintenues. Alors que **la quantité de batteries en fin de vie qui devront être traitées dans les prochaines années dépasse largement les capacités actuelles de traitement**, le développement d'un écosystème de gestion de la fin de vie des batteries et la mise en place d'un cadre politique et réglementaire structuré constituent des enjeux majeurs.

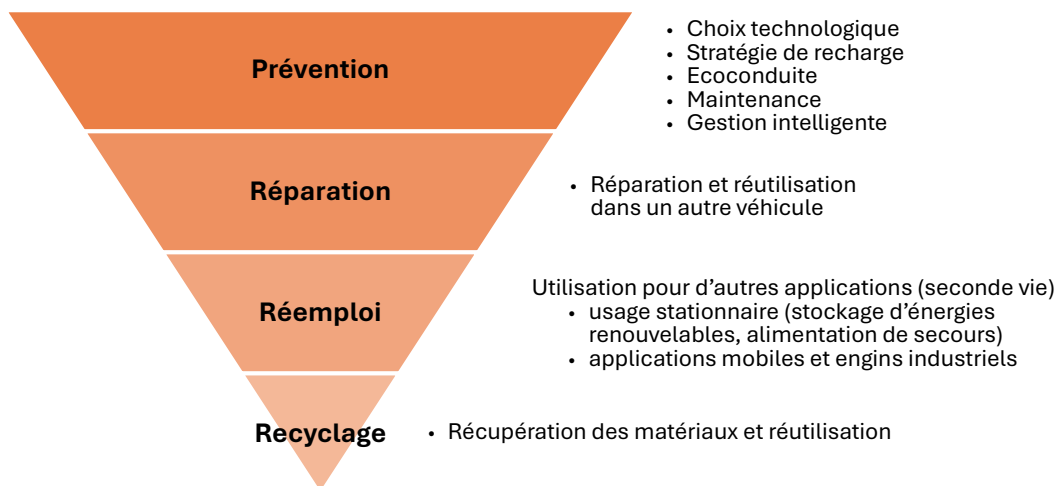
Enjeu de souveraineté industrielle

La France reste encore aujourd'hui confrontée à des enjeux forts de dépendance pour l'accès aux matières premières, leur transformation et la fabrication de cellules. Les **métaux stratégiques** nécessaires à la fabrication des batteries, notamment **le cuivre, le nickel, le lithium et le cobalt, sont majoritairement importés de pays étrangers** et constituent des ressources limitées en tension. D'autre part, 83% de la **production des batteries est située en Asie**, notamment en Chine (contre seulement 7% en Europe). Cette dépendance à l'étranger pour la production pose un véritable enjeu de souveraineté industrielle.

5. Passage d'un modèle linéaire à une approche circulaire

A l'échelle mondiale, un gisement de 2 à 4 millions de batteries de véhicules électriques pourrait arriver en fin de vie à horizon 2035, et atteindre 12 à 20 millions d'ici 2050.

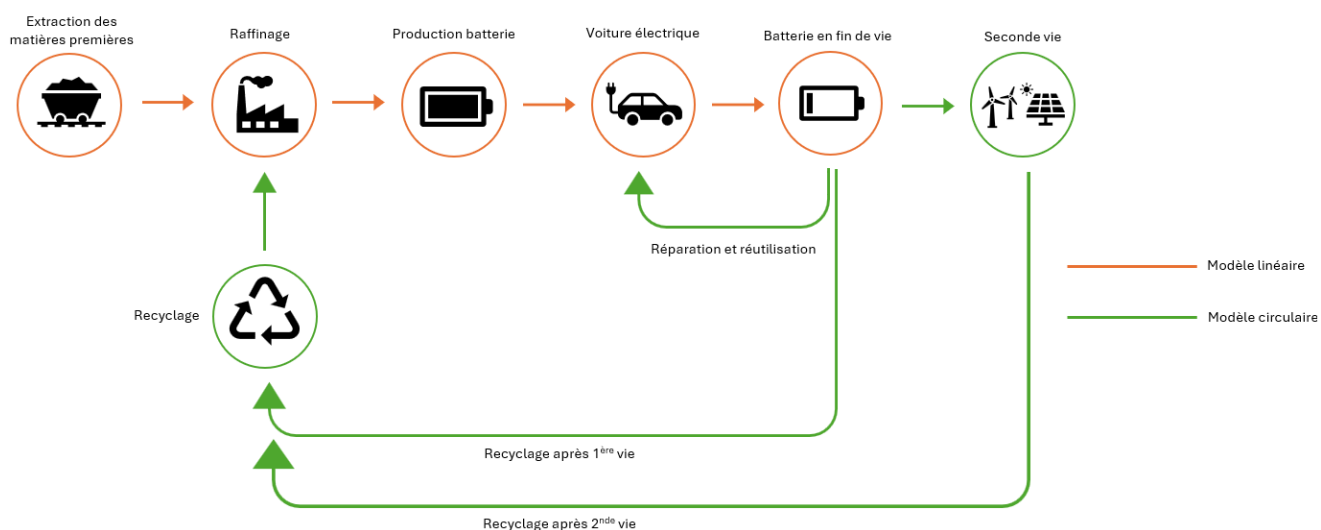
La mise en place de **stratégies et une planification de la gestion de la fin de vie des véhicules électriques** apparaît donc indispensable pour répondre aux défis de la filière.



Hiérarchie de la fin de vie des déchets appliquée aux batteries de véhicules électriques

La hiérarchie de la fin de vie des déchets préconise d'abord la mise en place de mesures de **prévention** afin de prolonger au maximum la durée initiale de la vie de la batterie. Puis, les batteries peuvent être **réparées**, mais également avoir une **seconde vie** lors d'utilisation pour d'autres applications, avant d'être **recyclées** pour en récupérer les matières premières.

L'enjeu consiste à favoriser le **passage d'un modèle initialement pensé de façon linéaire à un modèle circulaire**.



Prolongation de la durée de vie initiale

Afin de retarder au maximum la fin de vie des batteries électriques, un certain nombre d'actions de prévention peuvent permettre d'en maintenir au maximum la capacité initiale. Au cours de sa première vie, la capacité de la batterie se situe entre 80% et 100%. Aussi, un certain nombre de **bonnes pratiques d'utilisation** peuvent être préconisées pour en améliorer la longévité.

Recommandations

Niveau de charge

Maintenir un niveau de charge compris entre 20% et 80% permet de mieux préserver les éléments chimiques qui composent la batterie.

Température et conditions météorologiques

Les batteries des véhicules électriques sont particulièrement sensibles aux températures trop intenses : une température très élevée accélère la dégradation chimique des composants, tandis qu'une température très basse réduit l'autonomie de la batterie. Il est ainsi recommandé **d'éviter de s'exposer aux températures extérieures extrêmes**. Prévoir également des stationnements dans des endroits ombragés l'été ou dans des parkings permet également de protéger la batterie.

La recharge de la batterie, pour être performante, doit se situer dans une **plage de température adaptée, comprise en 15°C et 35°C**. Il est également déconseillé de recharger une batterie qui a déjà beaucoup chauffé après un trajet, en raison du risque de surchauffe.

Charges longues vs charges rapides

Les charges longues dégradent la batterie qui chauffe sur une période étendue. Il est ainsi préconisé d'opter pour des **charges courtes régulières (10% à 15%)**.

Fréquence d'utilisation

Les batteries des véhicules électriques s'abîment plus rapidement lorsqu'elles ne sont pas très utilisées. Une **utilisation régulière du véhicule** permet donc de limiter le vieillissement de ses batteries.

Adopter l'écoconduite

L'**écoconduite** passe par un usage optimal de la batterie permettant de limiter son vieillissement, par exemple :

- Eviter les accélérations brutales
- Adopter une conduite lente et fluide
- Evitez l'usage excessif du chauffage ou de la climatisation

Maintenance / entretien

Un **entretien régulier** est essentiel pour maximiser la longévité de la batterie. A ce titre, il est intéressant de consulter les guides des constructeurs dont les préconisations sont adaptées au modèle de véhicule et de batterie considéré.

La **vérification des pneus et du système de refroidissement** liquide, qui permet de réguler la température et de limiter les surchauffes, n'est également pas à négliger.

Gestion intelligente & mise à jour logicielle (BMS)

Le recours à des **outils de gestion intelligente** de flotte ou de **télématique embarquée** peuvent contribuer à ralentir le vieillissement des batteries électriques (planification intelligente de recharge, etc...). De même, il est recommandé de suivre les mises à jour logiciel des constructeurs qui améliorent régulièrement à distance les algorithmes du BMS (Battery Management System). Certaines évolutions sur la gestion thermique et la stratégie de recharge peuvent contribuer à limiter certains mécanismes de vieillissement de la batterie.

La remanufacture d'une batterie, c'est-à-dire la combinaison réparation et réemploi, est généralement envisagée pour les batteries des véhicules électriques ayant un état de santé supérieur à 90 %. La batterie peut alors être réutilisée pour le même usage initial.

Seconde vie

Si la batterie ne peut plus être utilisée pour son application initiale dans les véhicules électriques, et qu'il n'est pas possible de la réparer, il peut être envisagé de l'exploiter pour d'autres usages nécessitant moins de capacité.

En effet, lorsque la capacité d'une batterie électrique diminue et qu'elle n'est plus adaptée à son utilisation initiale dans un véhicule électrique, elle conserve généralement entre 70% et 80 % de sa capacité initiale. Il peut donc être envisagé de l'utiliser pour d'autres applications nécessitant moins de capacité, avant d'être recyclée. Ce réemploi prolonge l'utilité et la valeur économique des batteries tout en réduisant leur empreinte environnementale globale.

Lors de la seconde vie, la durée de vie des batteries de véhicules électriques s'allonge de 5 années supplémentaires soit près de 50%.

Selon les estimations de l'association RECORD, à horizon 2040, le gisement de batteries éligibles à la seconde vie atteindra 45 ktonnes en France, et près de 300 à 350 ktonnes en Europe.

Exemples d'applications

☞ Majoritairement **pour des usages stationnaires**, généralement dans des systèmes de moyenne ou petite taille.

- **Systèmes de stockage**, généralement associés à la production d'énergies renouvelables

- ✓ Stocker l'énergie pour la rediffuser dans le réseau lors des pics de consommation
- ✓ Pallier les limites des EnR (intermittence, dépendance aux fluctuations météorologique)

- **Systèmes d'alimentation de secours**

- ✓ Télécommunications
- ✓ Alimentation de réserve (UPS) pour les datas centers, hôpitaux, bâtiments commerciaux

- **Stations de recharge de véhicules électriques**

- **Systèmes domestiques** pour l'autoconsommation collective

☞ Plus à la marge, **pour des applications mobiles et engins industriels en remplacement des batteries acide-plomb** : par exemple pour les batteries de démarrage automobile, pour les engins industriels (par exemple les chariots élévateurs), pour la micromobilité ou l'électromobilité urbaine (véhicules frigorifiques, etc), l'éclairage public ou encore les voitures de karting.

Les défis de la seconde vie

La filière de la seconde vie des batteries électriques reste encore confrontée à de nombreux défis. En effet, l'adéquation entre l'état de santé et de performance de la batterie en fin de première vie, et les besoins pour les nouvelles applications en seconde vie doit pouvoir être vérifiée. Ce diagnostic recouvre plusieurs aspects de nature très différente.

➤ L'état de santé de la batterie

Connaître l'état de santé de la batterie à la fin de sa première vie est donc primordial afin de déterminer notamment la capacité restante, l'efficacité énergétique et la présence de cellules défaillantes.

Différents critères permettent d'**identifier le potentiel de réutilisation** des batteries en fin de première vie.

- L'absence de signes de dégradation extérieurs
- Un niveau de capacité de la batterie supérieur à 70% de sa capacité initiale
- Un accès détaillé à l'historique des données opérationnelles telles que l'amplitude des cycles de charge-décharge, l'exposition thermique, le mode de charge (rapide ou lente) ou le type de conduite, afin de déterminer l'état de dégradation de la batterie.
- Un accès aux données du constructeur sur la 1^{ère} vie de la batterie

➤ Les enjeux techniques et technologiques

Certaines difficultés se posent quant à la complexité et l'incertitude sur certains critères techniques et technologiques.

- L'**absence de standardisation du design des batteries**, qui certes facilite l'innovation chez les fabricants, mais constitue un frein au développement de la seconde vie en raison de l'hétérogénéité des technologies sur le marché
- L'**hétérogénéité des profils de dégradation**, avec des profils de vieillissement des batteries de véhicules électriques qui sont très hétérogènes suivant les conditions d'utilisation qu'elles ont supportées lors de la première vie
- La **méfiance des constructeurs** autour des incertitudes techniques de la seconde vie qui rendent les batteries moins attractives

➤ Les enjeux économiques

L'essor de la filière de la seconde vie des batteries dépend avant tout de sa **rentabilité économique**. Or, la variabilité des coûts de transition – diagnostic, démontage, transport, stockage et intégration – constitue un frein notable. L'enjeu réside dans la capacité à maîtriser ces coûts pour que le prix final de la batterie reste compétitif et proportionné à son nouvel usage.

La filière de la seconde vie des batteries est donc en pleine structuration mais manque encore de maturité et d'un cadre réglementaire adapté. Certaines initiatives ont été identifiées en Europe, allant de la simple R&D à des projets de démonstrateurs, voire à certaines offres commerciales.

Et après la seconde vie ?

Lorsque la capacité d'une batterie de seconde vie passe en-dessous de 50%, elle n'est plus considérée comme suffisamment performante pour assurer l'activité demandée. Le recyclage peut alors être envisagé.

6. Le recyclage

A l'étape de la fin de vie, les batteries de véhicules électriques peuvent être recyclées pour conserver une partie des métaux critiques qui les constituent, et dont l'approvisionnement reste aujourd'hui largement concentré hors d'Europe. Le recyclage constitue donc une nécessité environnementale et stratégique qui doit être anticipée. En effet, les déchets de batteries sont liés aux volumes de batteries produites 10 à 15 ans auparavant (durée de vie), et qui sont actuellement encore très faibles étant donné le peu de véhicules électriques vendus dans les années 2010 en France. Toutefois, les prévisions indiquent que ces derniers constitueront la majorité de l'offre en 2030.

Prospective

Selon l'Institut Veolia, le marché mondial du recyclage des batteries de véhicules électriques, particulièrement actif en Chine, connaît une croissance exponentielle passant de 200 000 tonnes en 2021 à 7 millions de tonnes en 2035 de batteries éligibles au recyclage.

Selon l'Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques (OSFME), les volumes d'approvisionnements de l'UE en lithium seraient multipliés par 18 d'ici 2030, et par 60 d'ici 2050. Quant aux besoins en cobalt, les besoins seraient multipliés par 5 en 2030, et 15 en 2050. A l'échelle mondiale, la demande de lithium pourrait être multipliée par un facteur entre 6 et 13 par rapport à son niveau de 2023 selon l'Agence Internationale de l'Energie (AIE).

Ces chiffres mettent en lumière une **dissonance fondamentale entre la cadence rapide du déploiement des véhicules électriques et le manque de maturité de la filière du recyclage** des batteries, confrontée à un décalage majeur entre la capacité de traitement actuelle et les besoins futurs.

Les types de déchets de batterie

Les déchets de batteries à traiter sont de 2 types :

- Les rebuts de production, qui représentent plus de 50% des volumes, et constituent des déchets provenant de la production de la batterie
- Les batteries en fin de vie, dont les volumes restent actuellement très faibles mais seront amenés à augmenter rapidement

Les estimations du taux de recyclage mondial des batteries souvent citées dans les médias sont de 5%, mais de récentes études estiment que plus de la moitié des batteries lithium-ion arrivant en fin de vie sont collectées et recyclées. Toutefois, les statistiques mondiales sur les taux de recyclage des batteries lithium-ion restent aujourd'hui difficiles à établir.

Les principales voies de recyclage

Il existe actuellement **3 technologies de recyclage** des batteries de véhicules électriques, qui se distinguent notamment par leurs procédés, leur efficacité, et leur impact énergétique et environnemental. Un tableau synthétique et comparatif de ces 3 procédés industriels se trouve en annexe 1.

Alors que le **recyclage direct** (i) semble encore trop peu mature, l'**hydrométallurgie** (ii) apparaît comme la voie de recyclage privilégiée en raison de sa capacité à récupérer plus de matériaux, notamment le lithium, et de son empreinte environnementale et énergétique plus faible. La

pyrométallurgie (iii) reste le procédé historique le plus simple, mais son rendement est moins intéressant et son investissement initial plus coûteux.

Prétraitement

Avant tout recyclage, une étape de prétraitement de la batterie doit être respectée au cours de laquelle elle subit un processus de démantèlement, qui va être plus ou moins complexe suivant la chimie de la batterie et l'hétérogénéité des designs. **Une batterie démontable sera plus aisément recyclée** qu'une batterie en pack non démontable, qui nécessitera des étapes de traitement supplémentaires et ajoutera des coûts de main-d'œuvre.

Enjeux économiques

Jusqu'à présent, la **viabilité économique du marché du recyclage** des batteries est restée limitée en raison du faible prix des matières premières et du manque de volumes de batteries arrivant en fin de vie à traiter. En effet, le coût de récupération du lithium recyclé n'est pas suffisamment compétitif par rapport au coût de production à partir de gisements naturels.

L'exemple du projet Eramet

L'arrêt du projet Eramet à Dunkerque illustre la fragilité de la filière, causé par l'absence de conditions économiques suffisamment solides et durables, et une rupture de la chaîne de valeur européenne. Face à un développement trop lent des usines de batteries européennes, l'incertitude sur un approvisionnement en volumes suffisants, et en l'absence de clients européens, les doutes sur la viabilité économique du projet ont finalement conduit à sa suspension.

Cette situation révèle une **défaillance de l'alignement entre les différentes étapes de la chaîne de valeur**. La volonté de développer des gigafactories européennes pour la production de batteries doit être accompagnée d'une demande suffisante de matériaux secondaires en aval pour que le modèle économique du recyclage soit viable. **Le soutien public reste aujourd'hui indispensable** pour accompagner les acteurs du recyclage et garantir le cycle vertueux de l'économie circulaire.

L'**essor actuel rapide** du marché des véhicules électriques, qui tend à accroître la demande en matières premières, pourrait toutefois entraîner une hausse et une plus grande volatilité des prix de ces ressources primaires, ce qui devrait permettre aux matériaux issus du recyclage de gagner en compétitivité et de renforcer l'intérêt économique des filières de valorisation.

Quel coût pour recycler une batterie de véhicule électrique ?

Le coût dépend de la technologie utilisée et varie entre 1 000€ et 2 500€ par tonne. Considérant que le poids du pack batterie d'un autobus se situe entre 2 à 5 tonnes, le coût de recyclage est estimé entre 2 000€ et 12 500€

7. Conclusion

La transition vers une mobilité décarbonée, portée par l'essor progressif des autobus électriques, place la gestion de la fin de vie des batteries au cœur des enjeux stratégiques, environnementaux et économiques des prochaines décennies. Face à une demande mondiale en forte croissance et une dépendance marquée aux importations de matières premières critiques, l'anticipation de ce gisement de batteries devient indispensable pour garantir la souveraineté industrielle européenne et s'inscrire dans une démarche vertueuse d'économie circulaire et de durabilité des ressources.

L'adoption du Règlement (UE) 2023/1542 apporte un cadre juridique structurant qui couvre l'ensemble du cycle de vie des batteries et renforce les exigences de traçabilité, de collecte, de recyclage et de réincorporation de matières recyclées. Il ambitionne de faire basculer la filière d'un modèle linéaire vers une approche véritablement circulaire à travers le développement des usages de seconde vie et l'incitation au recyclage pour la récupération des métaux stratégiques. La mise en œuvre progressive du « Passeport batterie » devrait améliorer la disponibilité des informations nécessaires à l'évaluation de l'état de santé des batteries et faciliter leur réemploi pour de nouveaux usages.

Néanmoins, le déploiement de cet écosystème circulaire demeure confronté à des défis majeurs. Si les perspectives apparaissent plutôt prometteuses, le manque de maturité de la filière, les incertitudes économiques et l'absence de standardisation des designs de batteries constituent autant de freins à lever. À court terme, la prévention et l'allongement de la durée de vie initiale constituent les principaux leviers à prioriser. Cependant, seule la capacité des acteurs publics et privés à structurer une filière industrielle mature et économiquement viable permettra d'accompagner durablement l'essor de la mobilité électrique, et faire ainsi de la fin de vie des batteries non plus une contrainte de gestion des déchets, mais un levier de performance environnementale et de compétitivité industrielle.

Sources

- La Revue de l'Institut Veolia – Facts reports n°23, *Industrie et déchets : sur la voie de l'économie circulaire* (2021)
- RECORD – Etude n°21-0922/1A, *Seconde vie des batteries : état des connaissances et éléments prospectifs* (mai 2023)
- INERIS – DRA06 – Opération B3, *Seconde vie des batteries Li-ion* (décembre 2020)
- Rapport AVERE – *Vies de la batterie du véhicule électrique : enjeux et recommandations aux décideurs publics* (2024)
- Hurel, L. (2024). *La fin de vie des batteries des véhicules électriques : Un impensé de la transition énergétique ?* Zenon Research / MINES PARIS PSL
- OSFME – Rapport n°6-2020 – *L'alliance européenne des batteries - enjeux et perspective* (décembre 2020)
- Herschtel, J., & Antonenko, A.-E. (2023, 9 août). *Le nouveau règlement Européen sur les batteries a été adopté* [Client Alert]. King & Spalding
- Guide OTRE – *En route vers l'électromobilité* (août 2025)
- AUBERT, Alban, ZOGHELY, Sary, et LE GUENNEC, Xavier. « *Les minerais dans la transition énergétique* ». *Trésor-Éco*, n° 351, octobre 2024, Direction générale du Trésor, ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, 12 p
- ADEME – Annexe à l'étude PEPS5, *Rapport sur la seconde vie des batteries* (janvier 2023)

Annexes

Tableau comparatif des voies de recyclage

Technologie	Pyroméallurgie	Hydroméallurgie	Recyclage direct
Procédé	Fusion des batteries à haute température	Dissolution des métaux dans des solutions acides (lixiviation) puis séparation par précipitation chimique	Recyclage sans destruction de la structure cristalline du matériau actif de l'électrode Démontage de la batterie, nettoyage des cathodes/anodes et réutilisation directe dans de nouvelles batteries
Matériaux récupérés	Cobalt, Nickel, Cuivre Mais pas de Lithium	Cobalt, Nickel, Cuivre, Lithium	Récupération totale des matériaux
Efficacité	Rendement moyen	Rendement élevé (> 90% de récupération de certains métaux)	Rendement maximal
Atouts	Procédé robuste Applicable à toutes les chimies de batteries	Applicable à toutes les chimies de batteries Excellente récupération des métaux critiques	Méthode d'avenir Préserve la valeur des matériaux et réduit les besoins énergétiques Faible impact environnemental
Limites	Très énergivore Faible récupération du lithium	Processus chronophage et complexe	Technologie encore peu mature et peu industrialisée
Maturité	Très mature, procédé historique éprouvé	Moins mature mais technologie prometteuse en fort développement	Technologie encore peu déployée
Impact environnemental	Emissions importantes de GES et substances nocives	Emissions plus faibles de GES Contamination des eaux usées	Faibles émissions de GES
Economique	Investissement élevé	Investissement plus faible	Incertain