



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 179178 - 2520182 - v1.0

01/12/2020

DRA06 – Opération B3

Seconde vie des batteries Li-ion

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction des Risques Accidentels

Rédaction : LECOCQ Amandine - BORDES ARNAUD

Vérification : GENTILHOMME OLIVIER; LECOCQ AMANDINE; DELBAERE THIERRY

Approbation : Document approuvé le 01/12/2020 par PIQUETTE BERNARD

Table des matières

1.	Introduction.....	5
1.1	Contexte	5
1.2	Objectifs de l'étude et démarche	5
1.3	Structure du rapport.....	5
2.	Recensement des applications de seconde vie et potentiel de déploiement	6
2.1	Cycle de vie d'une batterie de seconde vie	6
2.2	Différentes stratégies de reconditionnement pour la seconde vie des batteries	6
2.3	Différents acteurs de la seconde vie des batteries.....	7
2.4	Stratégies de mise sur le marché et marché potentiel des batteries de seconde vie.....	8
2.5	Principales applications des batteries de seconde vie	10
2.5.1	Applications mobiles et engins industriels en remplacement des batteries acide-plomb	10
2.5.2	Stockage stationnaire	10
3.	Principales contraintes techniques et enjeux de sécurité liés aux batteries de seconde vie.....	12
3.1	Effet du vieillissement sur les batteries	12
3.1.1	Echelle cellule.....	12
3.1.2	Echelle module/pack	14
3.2	Capacité à déterminer efficacement et précisément l'état de santé des batteries usagées	15
3.3	Variabilité du design des batteries.....	15
3.4	Risques liés au stockage des batteries	16
3.5	Risques liés au désassemblage du pack	17
3.6	L'absence de cadre réglementaire	17
4.	Cadre normatif et réglementaire des batteries de seconde vie	18
4.1	Exigences minimales pour la réutilisation des batteries ou leur utilisation en seconde vie	18
4.2	Contexte réglementaire	18
4.3	Responsabilité	19
4.4	Réglementation relative au transport des batteries Li-ion	20
4.5	Contexte normatif	20
5.	Conclusion générale.....	22
6.	Glossaire	24
7.	Liste des annexes.....	25

Figure 1 : Cycle de vie d'une batterie de seconde vie.....	6
Figure 2 : 3 stratégies de re-fabrication des packs batteries de véhicule électrique pour une application en seconde vie	7
Figure 3 : Exemples d'acteurs intervenant sur la chaine de valeur	8
Figure 4 : Estimation du volume de batteries de véhicules électriques destiné au recyclage ou aux applications de seconde vie en 2030 en Europe [6].....	9
Figure 5 : Module rackable de batterie seconde vie SNAM	9
Figure 6 : a) Evolution de la température à la surface d'une cellule Li-ion cylindrique neuve et de la tension lors d'un essai d'emballage thermique en conditions adiabatiques b) Influence du vieillissement sur les températures de déclenchement des différents exothermes lors des essais d'emballage thermique en conditions adiabatiques.....	13
Figure 7 : Exigences minimales proposées par l'association Recharge pour la réutilisation ou l'utilisation de seconde de vie de batteries rechargeables.....	18
Figure 8 : Différentes étapes menant à la seconde vie d'une batterie	22
Figure 9 : Chariot de manutention utilisant des batteries de VE usagées (Audi e-tron).....	26
Figure 10 : Exemples d'installations stationnaires utilisant des batteries de seconde vie	27
Figure 11 : Batteries de véhicules électriques réutilisées pour alimenter un commerce au Japon	28
Figure 12 : Le plus grand projet de stockage de seconde vie par Daimler, Mobility House et GETEC	28
Figure 13 : Stockage stationnaire de 2,8 MWh / 2MW de batteries de seconde vie de BMW i3 à Hambourg.....	29
Figure 14 : Premier système de stockage stationnaire avec des batteries Li-ion de seconde vie	30
Figure 15 : Système de stockage de batteries usagées issues de Chevrolet Volt pour une application « micro-grid » sur le site de GM à Mildford.....	31
Figure 16 : Unité de stockage d'énergie développé par Audi sur le campus EUREF à Berlin.....	32
Figure 17 : les 6 projets de démonstration utilisant des batteries de seconde vie prévus dans le projet ELSA	33
Figure 18 : Marché des systèmes de stockage local de l'énergie utilisant des batteries de seconde vie en fonction de l'application et du pays visés	33
Figure 19 : Projet de démonstrateur, siège de Moissy-Cramayel – Forsee Power	34

1. Introduction

1.1 Contexte

Les batteries des véhicules électriques (VE) sont considérées comme « usagées » lorsqu'elles atteignent 80% de leur capacité initiale. Une alternative au recyclage de ces batteries de VE est leur réutilisation ou reconditionnement pour une utilisation dans des applications moins exigeantes en termes énergétiques. Ces batteries possèdent en effet une capacité encore suffisante pour certaines applications permettant leur utilisation en « seconde vie ». Le seuil de fin de vie ultime (après la seconde vie) est estimé par les experts (constructeurs automobiles, fabricants de batteries, énergéticiens et recycleurs) entre 60 % et 50 % de la capacité initiale : au-delà, le risque d'une dégradation brutale de la batterie serait élevé¹.

1.2 Objectifs de l'étude et démarche

L'objectif de l'étude est de réaliser une cartographie des applications potentielles de batteries de seconde vie et d'identifier les principaux enjeux de sécurité associés à ce type d'applications.

Sur la base d'une analyse bibliographique et de consultations d'acteurs du secteur (industriels, académiques et homologues étrangers), un recensement des applications déployées ou envisagées par des industriels et/ou dans des projets de recherche et développement pour les batteries de seconde vie en cherchant à évaluer leur potentiel de déploiement dans les prochaines années est mené.

Une identification des principaux enjeux de sécurité associés au cours de leur cycle de seconde vie est réalisée ainsi qu'une étude du cadre réglementaire et normatif.

1.3 Structure du rapport

Le présent rapport est divisé comme suit :

- recensement des principales applications de seconde vie et potentiel de déploiement,
- contraintes techniques et enjeux de sécurité liés aux batteries de seconde vie,
- cadre normatif et réglementaire des batteries de seconde vie,
- conclusion et proposition d'un plan d'action.

¹ Pike Research - <http://www.greencarcongress.com/2011/07/pike-20110718.html>

2. Recensement des applications de seconde vie et potentiel de déploiement

2.1 Cycle de vie d'une batterie de seconde vie

Les batteries lithium-ion (Li-ion) constituent la principale technologie de stockage envisagée pour les véhicules électriques. Les batteries de VE sont régulièrement chargées et déchargées à des régimes rapides et doivent faire face à des contraintes climatiques sévères. Généralement, la capacité de ces batteries diminue à 80% de sa capacité initiale après 7 à 10 ans d'utilisation, en fonction d'un certain nombre de paramètres, tels que leur design, la température de fonctionnement, leur protocole de charge et la plage de charge utilisée². Comprendre la première vie de la batterie est un paramètre critique pour prédire si une batterie de véhicules électriques pourra être disponible pour une application de seconde vie, ainsi que son état de santé et sa durée de vie restante. C'est pourquoi l'évaluation de la batterie « post-auto » (figure 1) est une étape cruciale dans le cycle de vie d'une batterie de seconde vie. L'étape de « reconversion » (« repurposing ») comprend notamment le retrait de la batterie du véhicule, l'analyse de la qualité des différents composants basée sur des essais et l'analyse des données stockées dans le Battery Management System (BMS), et le reconditionnement des batteries (désassemblage/réassemblage) adapté à l'usage de la seconde vie. Une fois la batterie « re-fabriquée » et le BMS réajusté à la nouvelle application spécifique dédiée, elle peut être utilisée dans un usage de seconde vie.

Après 10 à 15 ans estimés d'usage en seconde vie, les batteries sont collectées et recyclées.

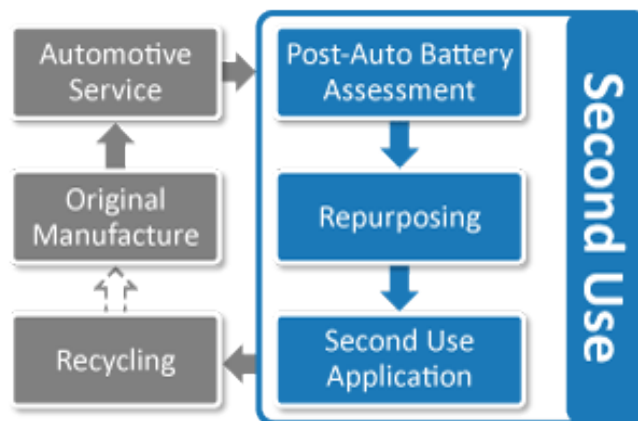


Figure 1 : Cycle de vie d'une batterie de seconde vie³

2.2 Différentes stratégies de reconditionnement pour la seconde vie des batteries

Différentes stratégies de « reconditionnement » peuvent être identifiées et dépendent de l'état de santé (State of Health – SOH) des cellules (figure 2) ainsi que de l'approche économique choisie :

- stratégie « réutilisation » pour les packs batteries sans aucune cellule défailtante,

La stratégie de réutilisation n'est pas une utilisation de seconde vie à proprement parler. Les batteries, connectiques, systèmes de protection (physique et software) sont en tout point identiques et ont été mis sur le marché pour cette utilisation. Il s'agit plutôt d'une continuité de la première vie et beaucoup de problématiques évoquées par la suite ne se posent pas vraiment dans ce cas. La réutilisation impose cependant de conserver la même application,

² G. Reid, J. Julve. « Second life-batteries as flexible storage for renewables energies ». Bundesverband Erneuerbare Energie e.V / Hannover Messe. Avril 2016

³ Neubauer, J.; Smith, K; Wood, E; Pesaran, A. "Identifying and overcoming critical barriers to Widespread Second use of PEV batteries." NREL Report No. TP-5400-63332. February 2015. <http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/63332.pdf>

- stratégie « réparation » : seuls les modules sans cellules défectueuses sont utilisés pour les applications de seconde vie,

Il semblerait que les grands recycleurs français privilégient cette approche.

- stratégie « re-fabrication » : si tous les modules batteries possèdent une cellule défectueuse, une re-fabrication est nécessaire pour conserver les cellules encore fonctionnelles.

Cette stratégie est d'autant plus risquée que les cellules d'une batterie sont issues du même lot de production et ont subi les mêmes conditions de vieillissement, laissant craindre une défaillance rapide des cellules similaires. Aussi les cellules assemblées dans un même module risquent d'avoir été négativement impactées par la défaillance d'une des cellules.

La main d'œuvre domine le coût du reconditionnement et de nombreux modules batteries sont fabriqués en utilisant des méthodes non réversibles (soudures par exemple), rendant non viable économiquement l'extraction ou le remplacement de cellules individuelles pour la plupart des applications de seconde vie. **Seul, le reconditionnement des modules et packs est ainsi considéré comme viable.**

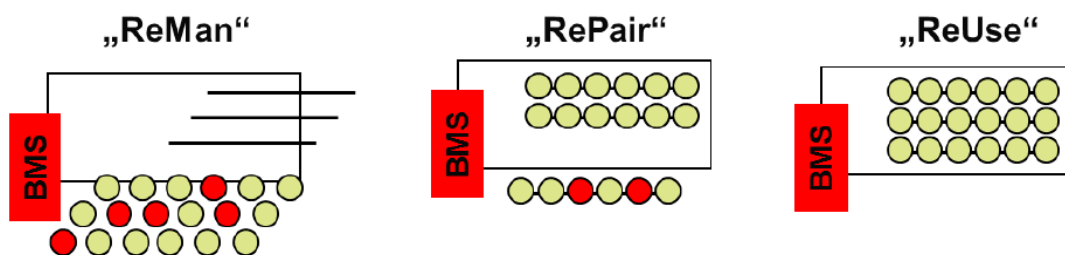


Figure 2 : 3 stratégies de re-fabrication des packs batteries de véhicule électrique pour une application en seconde vie⁴

2.3 Différents acteurs de la seconde vie des batteries

Jusqu'à cinq types d'acteurs peuvent intervenir sur cette chaîne de valeur⁵ :

- les constructeurs automobiles en tant que « metteur sur le marché » sont responsables des batteries tout au long de leur vie, y compris le recyclage (en dehors du cas d'un reconditionnement profond). Ils détiennent les savoir-faire autour de la batterie et ils apparaissent (avec les fabricants de batteries), au moins dans un premier temps, comme les plus à même de réaliser le reconditionnement nécessaire à une seconde vie au meilleur coût,
- les fabricants de batteries détiennent les savoir-faire autour de la batterie et ils apparaissent également, comme les plus à même de réaliser le reconditionnement nécessaire à une seconde vie au meilleur coût,
- les recycleurs pourraient intervenir dans les opérations consistant à collecter les batteries, les « ouvrir », effectuer un diagnostic et trier les éléments à recycler et les éléments à réutiliser en seconde vie : ils seraient particulièrement bien placés sur le plan logistique pour procéder au reconditionnement des éléments susceptibles d'avoir une seconde vie,
- les intégrateurs pourraient ensuite assembler les éléments (modules, cellules) extraits, diagnostiqués et revendus par les recycleurs afin de les utiliser dans d'autres applications. Les recycleurs pourraient tout à fait développer des compétences dans le domaine de l'intégration,
- les utilisateurs de seconde vie, certains d'entre eux ayant des besoins importants, pourraient être prêts à prendre en charge les batteries en fin de première vie. Cette option paraît cependant moins favorable dans la mesure où le traitement de grands volumes d'un même type de batterie semble nécessaire pour développer un savoir-faire spécifique et nouer des partenariats avec les constructeurs.

⁴ Andreas TÖRKLER - « Batteries Refurbishing and reuse ». Report – White- Paper - ELIBAMA Project

⁵ Rapport ADEME « Etude de la seconde vie des batteries des véhicules électriques et hybrides ». Juin 2011.



Figure 3 : Exemples d'acteurs intervenant sur la chaîne de valeur

A noter que dans le cas de la réutilisation, les acteurs de la mise sur le marché (i.e. constructeurs automobiles) sont les seuls acteurs.

2.4 Stratégies de mise sur le marché et marché potentiel des batteries de seconde vie

Il est difficile de prédire les parts exactes de marchés des batteries de seconde vie qui dépendent de 4 facteurs principaux :

- l'évolution de la vente de véhicules électriques,
- l'évolution de la capacité et de l'énergie stockée : les dernières générations de pack batteries à usage automobile possèdent jusqu'à 3 à 4 fois plus d'énergie par rapport à la génération d'il y a 8 ans. Par exemple, la première génération de Renault Zoé était équipée d'une batterie de 22 kWh, la suivante commercialisée en 2016 possédait une batterie de 41 kWh et la dernière version sur le marché une batterie de 52 kWh. Tesla commercialisait différentes versions de modèles avec des batteries allant de 60 à 90 kWh ; à partir de janvier 2019, la marque décide de commercialiser uniquement des versions équipées de batterie de 100 kWh. Cette évolution croissante influencera considérablement le marché dans les années à venir,
- le pourcentage de batteries de seconde vie : un taux de reconversion des batteries en usage de seconde vie, qui est estimé dans un scénario réaliste à environ 80%.

Poussée par les politiques publiques, l'utilisation de véhicules électriques en Europe devrait s'accroître à partir de mi-2020. Une étude publiée par « Element Energy »⁶ estime qu'en 2025, 10% des ventes de nouveaux véhicules seront des véhicules tout électrique ou plug-in-hybride et que ce chiffre devrait augmenter à 25% en 2030. 125 000 anciens véhicules électriques devraient être retirés du marché en 2030 et leurs batteries récupérées. Il est estimé qu'environ 15% d'entre elles seront trop endommagées pour une utilisation en seconde vie et seront recyclées alors que 105 000 batteries de véhicules électriques représentant 2,25 GWh de capacité résiduelle seront reconverties en 2030, s'ajoutant ainsi aux 250 000 batteries de véhicules électriques qui seront déjà utilisées pour des applications de seconde vie (figure 4). Il est estimé que 23 GWh de capacité résiduelle de batteries de seconde vie seront disponibles en Europe en 2040 et 88,5 GWh en 2050 en considérant un scénario réaliste. Selon une étude récente de Bloomberg New Energy Finance, le marché de seconde vie des batteries pourrait atteindre 26 GWh en 2025 à l'échelle mondiale⁷.

⁶ Rapport Element Energy. "Batteries on wheels: the role of battery electric cars in the EU power system and beyond". Juin 2019.

⁷ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-08-25/used-electric-car-batteries-will-get-second-life-as-home-storage>

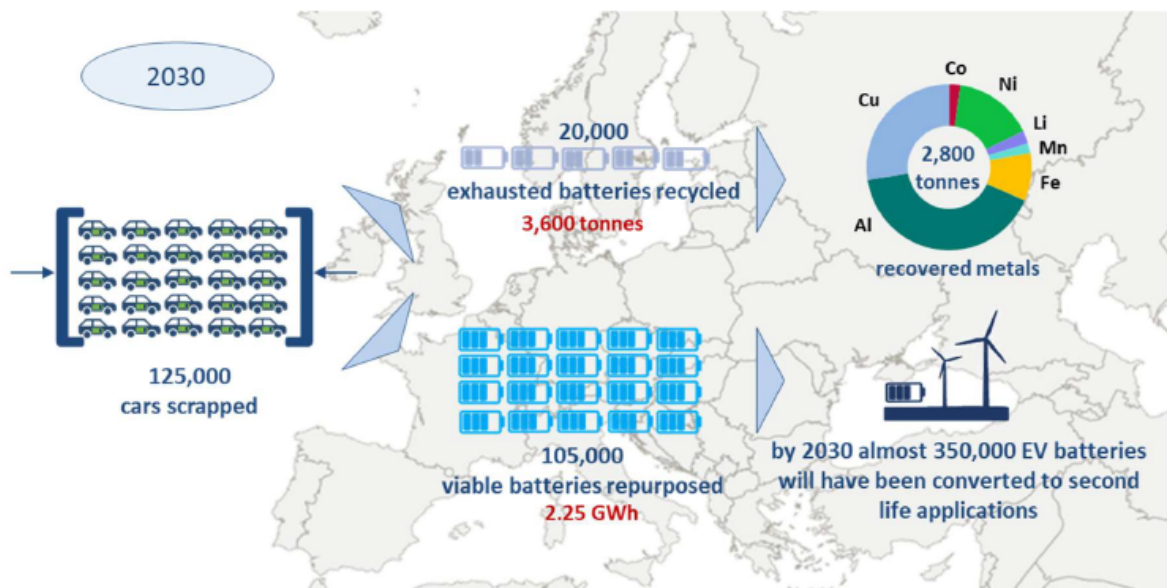


Figure 4 : Estimation du volume de batteries de véhicules électriques destiné au recyclage ou aux applications de seconde vie en 2030 en Europe [6]

L'évaluation de la viabilité économique dépend de nombreux paramètres comprenant l'accessibilité aux données d'usage du véhicule en première vie, la dimension de l'installation visée, la taille des modules/packs, le taux de défaillance des cellules, le temps de main d'œuvre requis pour réaliser le reconditionnement, la durée nécessaire pour la réalisation des essais et le prix de vente des batteries de seconde vie reconditionnées. L'étude publiée par « Element Energy » estime que le prix d'une batterie reconditionnée serait de 40\$/kWh contre 70\$/kWh pour une batterie neuve en 2030.

Le principal concurrent des batteries de seconde vie reste les batteries de première vie dont le coût de production peut baisser de façon importante.

Même si cette rentabilité est a priori possible, les acteurs du marché français n'en sont pas certains à l'heure actuelle.

Différentes stratégies existent, par exemple SNAM souhaite vendre des solutions clefs en main de type armoires de stockage stationnaire directement au client. Un module composant ces armoires est représenté en figure 5. Une autre stratégie, d'un autre recycleur français consisterait à mettre sur le marché des modules composés de cellules de seconde vie pour qu'ils soient ensuite assemblés par des intégrateurs.

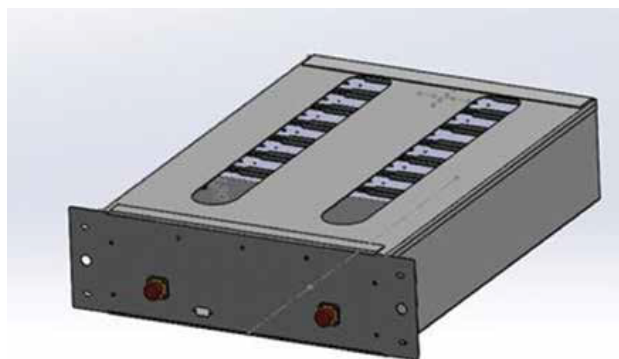


Figure 5 : Module rackable de batterie seconde vie SNAM

2.5 Principales applications des batteries de seconde vie

Les batteries qui seront utilisées pour des applications de seconde vie proviendront essentiellement des voitures et des bus électriques.

Même si certains fabricants utilisent des batteries issues d'ordinateurs portable en fin de vie pour produire des « power banks », de nombreux marchés potentiels pour les batteries de seconde vie peuvent être exclus en France. En effet, les produits électroniques grand public incluant donc les outils portatifs exigent moins d'énergie que celle disponible dans un seul élément (cellule) de batteries automobiles. De plus, les batteries automobiles « reconditionnées » ne répondent pas aux besoins des futurs marchés grand public en raison de leurs performances plus faibles.

Selon le rapport NREL³, les batteries automobiles reconditionnées (technologie Li-ion) sont plutôt destinées à de larges marchés aujourd'hui occupés par des batteries de technologie antérieure (compétition avec des batteries acide-plomb traditionnelles) ou à de nouveaux marchés de stockage d'énergie (stockage raccordé au réseau). Les principales applications potentielles sont détaillées ci-après.

2.5.1 Applications mobiles et engins industriels en remplacement des batteries acide-plomb

Les marchés pour la traction ne sont pas concernés (sinon réutilisation). Les batteries automobiles Li-ion reconditionnées peuvent servir en remplacement des batteries acide-plomb pour de nombreuses applications en raison de leur densité d'énergie supérieure et de leur capacité à maintenir un cyclage partiel sans dégradation excessive. Les marchés pertinents comprennent :

- les batteries de démarrage automobiles ; ce marché pourrait consommer 100 à 150 GWh de batterie de seconde vie par an,
- les engins industriels (chariots élévateurs par exemple) ; cette application pourrait représenter un marché de 5,2 à 7,9 GWh. Un exemple est donné en annexe 1.
- les scooters en flotte captive.
- Les voitures de karting

Les applications citées ci-dessus représentent un volume potentiel non négligeable ; néanmoins, l'utilisation des batteries de seconde vie vise principalement le stockage stationnaire.

2.5.2 Stockage stationnaire

Diverses applications des batteries de seconde vie pour le stockage stationnaire ont été identifiées ; les principales sont listées ci-après.

2.5.2.1 Alimentation de secours

Ce type d'application concerne :

- l'alimentation de secours des télécommunications,
- la source d'alimentation de réserve (UPS) pour les data center, hôpitaux... Des exemples d'utilisation de batteries de véhicules électriques pour ce type d'application de seconde vie sont répertoriés en Annexe 1.

2.5.2.2 Le secteur pseudo industriel (cible à court terme)

Des batteries de seconde vie peuvent être utilisées pour des installations commerciales et pseudo industrielles (commerces, réseaux privés ou sites isolés). L'énergie et la puissance du système de stockage requises pour ce type d'application étant respectivement inférieures à 15,5 kWh et à 30,5 kW, cette application est adaptée à une batterie automobile de seconde vie. La capacité installée pour ce type d'application est estimée entre 10 à 200 kWh.

2.5.2.3 Le secteur industriel

Des batteries de seconde vie peuvent être utilisées pour des installations industrielles pour réduire la charge de la demande et décaler l'utilisation de l'énergie pendant les périodes de coût plus faible. L'énergie peut par exemple provenir de panneaux solaires. Le marché potentiel pour ce type d'applications serait de l'ordre de 50 GWh³. A noter toutefois que l'arrivée sur le marché de nouvelles technologies de batteries Li-ion pourrait concurrencer l'utilisation de batteries de seconde vie pour ce cas d'usage. La capacité installée pour ce type d'application est estimée entre 200 kWh et 5 MWh (cible moyen terme).

2.5.2.4 Intégré au réseau

Au cours des dernières années, compte-tenu du développement des technologies de stockage d'énergie de grande capacité, du développement des énergies renouvelables et de l'évolution des profils de demande qui ont engendré de nouveaux défis techniques, un intérêt considérable est porté sur le déploiement du stockage d'énergie raccordé au réseau. Ces systèmes de stockage peuvent répondre à de nombreux besoins tels que la régulation de la tension et de la fréquence du réseau, l'écrêtement de la demande de pointe (peak shaving), la gestion de congestions ponctuelles sur le réseau.

Un marché particulièrement intéressant pour décarboner la production énergétique est le remplacement des turbines à combustion typiquement utilisées pour fournir de l'électricité lors des périodes de fortes demandes. Le marché de remplacement des turbines actuelles est suffisamment important pour consommer le volume attendu des batteries de seconde vie. **Selon l'étude menée par NREL, cette application est la plus prometteuse pour les batteries de seconde vie** dont la durée de vie dans ces conditions d'usage (moins d'un cycle par jour avec une durée de décharge supérieure à une heure) devrait être de l'ordre de 10 ans.

Des exemples de projets utilisant des batteries de seconde vie pour des applications de stockage stationnaires raccordés au réseau sont proposés en Annexe 1.

2.5.2.5 Charge des véhicules

Cette application a pour objectif de pallier le manque potentiel de puissance des réseaux pour supporter des charges rapides ou des charges simultanées de nombreux véhicules tels que les dépôts de bus électriques.

Cette application semble cependant plus marginale.

Des exemples pour ce type d'application de seconde vie sont répertoriés en Annexe 1.

2.5.2.6 Stockage résidentiel

Plusieurs constructeurs tels que Nissan, Renault, BMW et Volvo Buses, généralement en partenariat avec des fournisseurs d'électricité, commercialisent des solutions de stockage d'énergie à usage domestique à partir des packs batteries usagés issus de leur véhicule. Des exemples sont donnés en Annexe 1.

D'après l'étude économique du projet ELSA (cf. annexe 1), le marché potentiel pour les batteries de seconde vie pour un usage domestique est faible. D'ailleurs, les acteurs français ne semblent pas se positionner sur ce marché. Les batteries de seconde vie seront directement concurrencées par des systèmes déjà commercialisés utilisant des batteries neuves.

3. Principales contraintes techniques et enjeux de sécurité liés aux batteries de seconde vie

Les principales contraintes techniques et les enjeux de sécurité associés relatifs aux batteries de seconde vie, et identifiés à ce jour, sont listés ci-après (liste non exhaustive).

3.1 Effet du vieillissement sur les batteries

3.1.1 Echelle cellule

Le mécanisme de vieillissement des cellules est complexe. La dégradation de la capacité et la perte de puissance proviennent de différentes réactions chimiques/électrochimiques mettant en jeu les composants internes des cellules et leurs interactions. Des outils de caractérisation et des modèles de dégradation selon des profils de vieillissement choisis sont développés par des laboratoires (ex. NREL⁸), dans le cadre de projets de recherche (DEMOBASE⁹, Batteries 2020¹⁰, ELIBAMA¹¹, ABATTRelife¹², SUNBATT¹³, SASLAB¹⁴) et par des industriels (ex. EDF).

Des campagnes de vieillissement calendaire (i.e. stockage à divers températures et états de charge) et de vieillissement en cyclage, représentatives des applications visées (automobile pour l'application de 1^{ère} vie et/ou stockage stationnaire pour application de 2^{nde} vie), sont menées dans le cadre de ces projets avec l'objectif de comprendre et de prédire les mécanismes de vieillissement.

Cependant, à ce jour, peu de données sont disponibles sur les performances en vieillissement des batteries de seconde vie. La littérature suggère que les batteries de seconde vie auront une plus grande variabilité de cellule à cellule que les batteries neuves et cette hétérogénéité de cellule à cellule augmenterait avec le niveau de vieillissement¹⁵. Certaines études ont montré que des batteries de véhicules électriques peuvent subir un changement de pente (point d'inflexion) dans le mécanisme de vieillissement dominant^{16,17}. Au-delà de ce point, le vieillissement est rapide. Les batteries arrivant à un tel stade de dégradation ne pourraient guère fournir une seconde vie stable et durable et pourraient potentiellement entraîner des problèmes de sécurité. Les tests de batteries de seconde vie étudient l'influence du niveau de dégradation des cellules et montrent actuellement que celles-ci peuvent être utilisées pour les deux applications stationnaires visées dans l'étude (lissage de la puissance et gestion de la demande résidentielle) si ce point d'inflexion n'est pas atteint. Pour la référence de batterie Li-ion étudiée, la viabilité technique de l'utilisation en seconde vie dépend fortement de l'historique de vieillissement de la batterie pendant la première vie, de sa sortie de son usage véhicule, et des exigences ciblées d'application de seconde vie.

⁸ Neubauer, J.; Smith, K; Wood, E; Pesaran, A. "Identifying and overcoming critical barriers to Widespread Second use of PEV batteries." NREL Report No. TP-5400-63332. February 2015. <http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/63332.pdf>

⁹ DDesign and MOdelling for improved BAattery Safety and Efficiency (DEMOBASE) project. <https://www.demobase-project.eu/>

¹⁰ Batteries 2020 website: <http://www.batteries2020.eu/>

¹¹ <https://elibama.wordpress.com/project-description/>

¹² <http://www.abattrelife.eu/>

¹³ SUNBatt: Use of a Second Life Battery System from PHEV in Stationary Applications

¹⁴ JRC Technical reports – Sustainability assessment of Second Life Application of automotive batteries (SASLAB). Final Technical Report. August 2018.

¹⁵ E. Martinez-Laserna et al. « Battery second life: hype, hope or reality? A critical review of the state of the art. Renewable and Sustainable Energy Reviews 93 (2018) 701–718

¹⁶ Martinez-Laserna et al. Evaluation of Lithium-ion Battery Second Life Performance and Degradation. In: Proceedings of IEEE Energy Conversion Congress and Expo

¹⁷ E. Martinez-Laserna et al., Technical Viability of Battery Second Life: A Study from the Ageing perspective, in IEEE Transactions on Industry Applications.

Quelques études portent sur l'impact du vieillissement des batteries Li-ion sur la sécurité dans des conditions d'usage de 1^{ère} vie. Les travaux de Sara Abada¹⁸ ont par exemple montré lors d'essais d'emballage thermique en conditions adiabatiques sur des cellules Li-ion cylindriques (chimie LiFePO₄) neuves et vieilles à 10% et 30% en calendrier (stockage à 60°C) que :

- la température reliée à la réaction de la décomposition de la couche de passivation (Solid Electrolyte Interface) à la surface de l'anode (1^{er} phénomène exothermique détecté) augmentait avec le niveau de vieillissement, suggérant qu'une température plus élevée est nécessaire pour déclencher le démarrage du premier exotherme (température T₁ sur la figure 6a et 6b),
- En revanche, la température de déclenchement de l'emballage thermique (température T₃ sur la figure 6a et 6b) diminue avec le niveau de vieillissement, suggérant que l'emballage thermique se produit à une température plus faible pour les cellules vieilles par rapport aux cellules neuves.

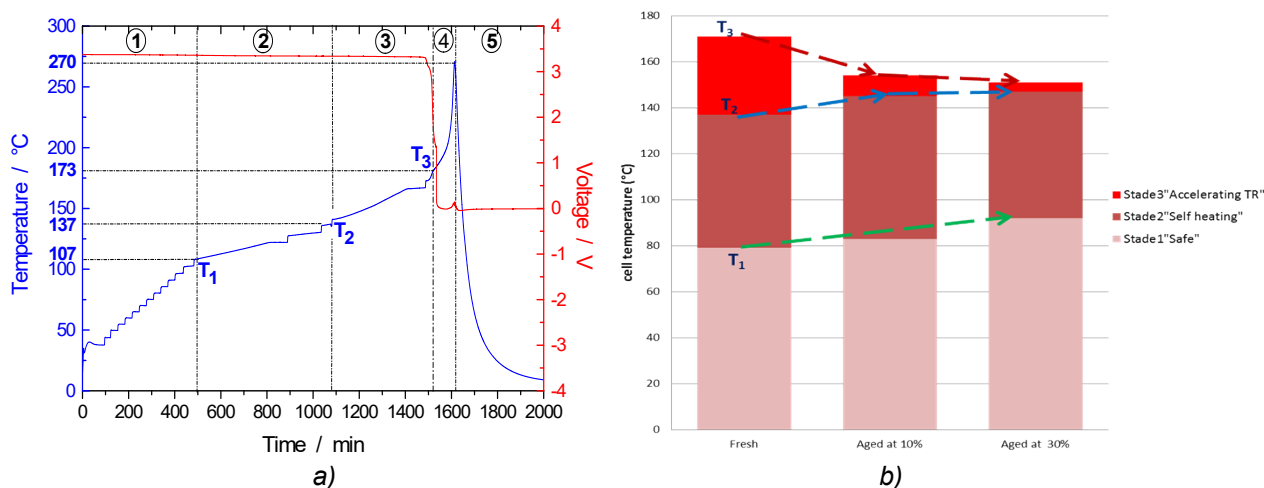


Figure 6 : a) Evolution de la température à la surface d'une cellule Li-ion cylindrique neuve et de la tension lors d'un essai d'emballage thermique en conditions adiabatiques b) Influence du vieillissement sur les températures de déclenchement des différents exothermes lors des essais d'emballage thermique en conditions adiabatiques

L'impact d'autres phénomènes de vieillissement comme la formation de dendrites de Li métal (en cyclage à température ambiante et à froid) sur la sécurité est en cours d'investigation dans le cadre de la thèse de Thi Thu Dieu Nguyen¹⁹, menée en collaboration entre l'INERIS, l'IFPEN et le LRCS, sur des cellules Li-ion 18650 de chimie NMC (Ni-rich). Par ailleurs, les travaux de Meike Fleischhammer ont notamment montré une réactivité plus importante des cellules 18650 (chimie NMC/LMO) cyclées à froid lors de tests d'emballage thermique en conditions adiabatiques²⁰. Cette étude mentionne en outre que la sécurité des cellules vieilles dépend fortement de leur historique en termes de vieillissement et que leur déploiement dans des applications de seconde vie doit être réalisé uniquement si cet historique est connu et si des tests appropriés sont réalisés sur ces cellules.

¹⁸ S. Abada, et Al. Combined experimental and modeling approaches of the thermal runaway of fresh and aged lithium-ion batteries. Journal of Power Sources 399 (2018) 264–273

¹⁹ Thi Thu Dieu Nguyen. Understanding the Thermal Runaway of Ni-Rich Lithium-Ion Batteries. World Electric Vehicle Journal 2019, 10, 79.

²⁰ M. Fleischhammer, et al. J. Power Sources 274 (2015) 432-439

Dans le cadre du projet CYCLADE²¹, dont l'INERIS était partenaire, des essais abusifs ont été menés sur un type de cellule vieillie issue d'un pack automobile en fin de vie et les effets ont été comparés à des cellules neuves. Les résultats ont montré que sur cette référence testée de cellules²² :

- la résistance des cellules en fin de vie à des sollicitations abusives d'écrasement, de surcharge ou de stabilité thermique est légèrement supérieure à celle des cellules neuves,
- les quantités de fluorure d'hydrogène (HF) mesurées sont supérieures lors des essais réalisés sur des cellules vieilles, en particulier pour l'écrasement,
- lors des essais mécaniques, les effets (thermiques ou toxiques hors HF) sont, pour la majorité des paramètres mesurés, du même ordre de grandeur,
- lors des essais électriques, les effets (toxiques ou thermiques) sont, pour la grande majorité des paramètres mesurés, supérieurs dans le cas des cellules vieilles,
- lors des essais thermiques, les effets (toxiques hors HF ou thermiques) sont, pour la grande majorité des paramètres mesurés, supérieurs dans le cas des cellules neuves.

Il conviendrait de réaliser à nouveau ces essais et analyses sur d'autres références de cellules afin de confirmer ces tendances.

3.1.2 Echelle module/pack

Comme indiqué dans l'analyse des études de marché, le désassemblage des batteries en cellules et leur analyse individuelle n'est pas rentable économiquement en raison des nombreux designs existants et des méthodes non réversibles utilisées (soudures par exemple). Seul, le reconditionnement des modules et packs est considéré comme viable. Si le vieillissement des cellules d'une batterie était homogène, le reconditionnement serait alors possible : une simple reprogrammation du BMS et l'utilisation de la batterie dans son pack d'origine. Cependant, le vieillissement au sein d'un même lot de cellules peut varier. Une cellule avec la plus haute capacité en début de vie peut ne pas avoir la plus haute capacité en fin de vie²³. Un déséquilibre entre cellules peut apparaître au cours de leur vie. Ainsi, il est plutôt envisagé de réutiliser les modules (après évaluation de l'état de santé des cellules le constituant – avec l'élimination de modules comportant une ou plusieurs cellules défectueuses) sans les démonter, en les réassemblant dans de nouveaux packs compatibles avec les usages de seconde vie (racks pour les usages stationnaires par exemple). Des systèmes de sécurité et un re-packaging peuvent être ajoutés pour les modules reconditionnés à destination des applications stationnaires pour gérer des contraintes spécifiques à ces applications : exposition potentielle à l'humidité, corrosion des interconnexions métalliques entre cellules, dégradation de la soudure des cellules, rupture de pièces plastiques d'emballage, protection au feu, etc.^{23,24}

²¹ Projet ADEME CYCLADE : Recyclage de batteries pour véhicules électriques : mise en place d'une filière nationale durable. <http://www.ademe.fr/cyclade-recyclage-batteries-vehicules-electriques-mise-place-dune-filiere-nationale-durable>.

²² Note de synthèse Spécificités des batteries usagées, vis-à-vis des batteries neuves et cahier des charges proposé pour l'orientation des batteries vers la seconde vie ou le recyclage (projet CYCLADE) - DRA-15-148969-11349A

²³ Andreas TÖRKLER - « Batteries Refurbishing and reuse ». Report – White Paper - ELIBAMA Project

²⁴ L. Ahmadi & al. « A cascaded life cycle: reuse of electric vehicle lithium-ion battery packs in energy storage systems ». Int. J. Life Cycle Asse. (2017) 22:111-124

3.2 Capacité à déterminer efficacement et précisément l'état de santé des batteries usagées

L'état de dégradation des batteries en usage de première vie peut être très variable ; il dépend de plusieurs paramètres incluant la composition chimique de la batterie (nature des matériaux actifs d'électrodes positive et négative notamment), les conditions extérieures dans lesquelles la batterie a évolué (notamment la température) et le mode d'utilisation du véhicule électrique (charge rapide ou lente, fréquence des recharges, amplitude des cycles de charge/décharge, type de conduite, etc.). Au fil des cycles d'utilisation, des dégradations mécaniques et chimiques apparaissent même si la batterie est inutilisée, ce qui induit une perte de capacité (se traduisant par une perte d'autonomie), un accroissement de sa résistance interne (se traduisant par une perte de puissance) et un accroissement de son auto-décharge²⁵.

Connaître l'état de santé de la batterie au moment de son retrait du véhicule est donc primordiale, afin de déterminer notamment, la capacité restante, l'efficacité énergétique (essentielle pour déterminer la consommation globale d'énergie et la rentabilité pour les applications stationnaires), et la présence ou non de cellules défaillantes au sein du pack²⁴. La détermination de l'état de santé de la batterie nécessite d'avoir accès aux données stockées par le BMS d'origine, aux données stockées dans le véhicule, voire aux données stockées sur les serveurs des fabricants automobiles. Plus les données stockées sont nombreuses (tension de chaque cellule, température, profondeur de décharge, surcharge, courts-circuits...), plus l'état de santé pourra être déterminé précisément. Cependant, ces données sont étroitement contrôlées par la propriété commerciale des constructeurs automobiles. Dans le cas où le constructeur automobile ne serait pas impliqué dans la seconde vie de ses batteries et que ces données ne seraient pas communiquées aux « reconditionneurs », recycleurs, ou utilisateurs de seconde vie, des protocoles de tests pour évaluer la « qualité » des modules/packs batteries issus des véhicules électriques doivent être établis. De plus, l'aspect sécurité doit être pris en compte lors de la manipulation de ces batteries usagées. Il existe différentes approches pour évaluer l'état de santé ; par exemple, les tests de capacité et de pulses, la spectroscopie à impédance électrochimique, le suivi du comportement en température et en tension, le déséquilibre des cellules, etc. Les tests de caractérisation doivent être fiables tout en permettant une évaluation rapide de l'état de santé des packs batteries/modules afin d'écarter ceux présentant un défaut et de sélectionner ceux pouvant être utilisés en seconde vie.

Le projet ABACUS²⁶ coordonné par Jaguar Land Rover et comprenant G&P batteries, Potenza Technology et l'Université de Warwick, démarré en septembre 2015, aborde également le sujet des tests de caractérisation rapides et précis pour déterminer l'état de santé et l'état de charge des cellules, nécessaire au développement des indicateurs pour le reconditionnement des packs batteries pour la seconde vie. Ce projet a également pour objectif de développer des guides de tests et des fiches d'ingénierie pour une utilisation dans le cadre du reconditionnement des packs batteries et de partager les bonnes pratiques liées aux procédés de reconditionnement.

Le projet ReViBe²⁷ a pour objectif de développer des techniques d'estimation de l'état de santé des batteries de seconde vie et d'intégrer ces techniques dans un BMS.

3.3 Variabilité du design des batteries

Il existe de nombreuses différences entre les modèles de batteries de véhicules électriques selon les constructeurs et les modèles de véhicules : chimie, forme et dimensions des cellules/modules/packs, caractéristiques fonctionnelles de la batterie (puissance, capacité, énergie), système de refroidissement mis en place, algorithmes du BMS, protocole de communication et packaging²⁸. De plus, la chimie des cellules n'est généralement pas indiquée (pas d'étiquetage) ; les reconditionneurs ou recycleurs ne peuvent donc pas identifier immédiatement le type de chimie de batterie qu'ils reçoivent.

²⁵ Pauline Caumon. « Batteries de véhicule électrique : en route pour une seconde vie stationnaire ? ». Décembre 2011

²⁶ Innovative Business models and design approaches for extending the in-service battery life of future low carbon vehicles

²⁷ UPC, ReViBe : Energy and Batteries Life and Re-use. <http://revibe.upc.edu/en/project>

²⁸ L. Canals Casals, B. Armante Garcia. « Assessing Electric vehicles Battery Second Life Remanufacture and Management ». Journal of Green Engineering. Vol.6, 77-98. 2016

La conception du BMS utilisant un équipement électronique spécifique est particulier à la batterie et il est conçu pour un usage de première vie (application automobile). Ces systèmes comprennent des algorithmes complexes et confidentiels. Les BMS seront « fermés » (non modifiables par un tiers). Il sera donc impossible de « mixer » au reconditionnement des batteries provenant de plusieurs constructeurs, voire pour un même constructeur de plusieurs modèles. Ceci imposera un reconditionnement « trié » par constructeur et par modèle de véhicule. Une reprogrammation/réajustement du BMS sera probablement à réaliser pour l'application de seconde vie visée.

Concernant la réutilisation du BMS, le recycleur et producteur de batteries de seconde vie, SNAM, affirme que « le système de gestion de la batterie (BMS) est en ce sens entièrement repensé et développé avec l'aide des partenaires externes, afin de répondre au mieux aux besoins des clients finaux »²⁹.

De plus, dans un véhicule, le BMS est connecté au système de gestion embarqué, qui contrôle le reste des paramètres du véhicule. Cette communication est réalisée par l'utilisation d'un protocole CAN (Controller Area Network). Malgré le fait que tous les constructeurs automobiles utilisent ce protocole, chacun définit les messages échangés entre les batteries d'une façon particulière. Ainsi les messages transmis pour un modèle de batteries ne sont pas les mêmes que ceux reçus d'un autre modèle. Alors que le protocole de communication CAN est largement utilisé dans l'automobile, il est quasiment inexistant pour les applications stationnaires, pour lesquelles les protocoles Modbus et Ethernet sont plus communément utilisés²⁸. Cet aspect de communication entre les batteries et les équipements stationnaires doit être pris en compte. Certains constructeurs automobiles étudient la possibilité d'introduire deux connecteurs (l'un pour la première vie, l'autre pour la seconde vie) ou une mémoire flash pour reprogrammer le BMS pour une seconde vie des batteries de véhicules des batteries.

D'autre part, le démontage (même à l'échelle module) peut s'avérer difficile en fonction de la conception choisie par le constructeur. Une standardisation du design des modules permettrait de faciliter le reconditionnement et de réduire les coûts associés.

D'autre part, l'étude NREL indique que seule la réutilisation de modules dimensionnés à une énergie supérieure à 2 kWh serait rentable économiquement.

3.4 Risques liés au stockage des batteries

Pour réaliser les opérations de démontage et d'assemblage des batteries de seconde vie, un flux entrant de batterie dans un état inconnu est à prévoir. Avant d'être démontées puis évaluées, ces batteries devront être stockées en plus ou moins grande quantité.

La grande quantité d'énergie contenue dans ces systèmes alliée à leur état de dégradation (parfois) inconnu ainsi qu'à leur réactivité particulière, à leur teneur en électrolyte inflammable, leur difficulté d'extinction connue, la nature des gaz dégagés potentiellement toxiques, font que des mesures de prévention/protection particulières peuvent être prises pour leur stockage.

²⁹ REE n°5/2018 dossier 1 « le stockage par batteries dans les réseaux électriques »

3.5 Risques liés au désassemblage du pack

Dans le cadre de la seconde vie, les packs batteries doivent être désassemblés au moins à l'échelle module. Les risques associés au démontage de la batterie sont nombreux. Le désassemblage de packs batterie automobile nécessite des habilitations électriques spécifiques, l'utilisation d'équipements de protections individuelles et collectives pour protéger les opérateurs des risques électriques (électrisation, court-circuit du pack pouvant entraîner un emballement thermique). Les tensions élevées des batteries de traction signifient que du personnel qualifié et des outils isolés spécifiques sont nécessaires pour la réalisation des opérations de démontage, actuellement réalisées à la main compte-tenu de la variabilité du design des packs rendant complexe l'utilisation de machines automatisées³⁰.

3.6 L'absence de cadre réglementaire

Le cadre réglementaire est traité en détail dans le chapitre suivant. Actuellement, il n'est pas interdit à un re-conditionneur de mélanger des technologies/chimies de batteries différentes. Les critères à prendre en compte pour vérifier l'état de santé d'une cellule (ou d'un module/pack) afin de déterminer si elle peut être utilisée en usage de seconde vie ne sont pas non plus définis.

³⁰ Gavin Harper et al. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. Nature, Vol 575, 7 November 2019

4. Cadre normatif et réglementaire des batteries de seconde vie

4.1 Exigences minimales pour la réutilisation des batteries ou leur utilisation en seconde vie

L'association RECHARGE a publié une liste non exhaustive d'exigences minimales pour évaluer la réutilisation ou l'utilisation en seconde vie des batteries rechargeables (figure 7). Ces exigences sont notamment liées à des critères de performances, de qualité, de sécurité mais également à des aspects de responsabilité.

La réutilisation signifie une réutilisation complète ou partielle de la batterie pour la même application pour laquelle elle avait été mise sur le marché, après une inspection ou une remise à neuf éventuelle. La seconde vie correspond à l'utilisation de la batterie pour une autre application pour laquelle elle avait été mise sur le marché initialement.

Proposed Minimum Requirements	Re-use	Second use
Application <ul style="list-style-type: none"> - Identical use - Re-furbishment or re-conditioning by qualified professionals - Control of equivalent performances e.g. through the Battery Management System - Quality, Safety and Performance standards to be observed - Etc... 	If yes, "re-use" is acceptable	In absence of a legal basis, additional criteria might be required – e.g. <ul style="list-style-type: none"> - Compatibility issue between 1st & 2nd Application - Responsibility for the technical performances - Producer Responsibility to be defined: technical and end of life - Compliance with safety testing requirements before second use
Producer Responsibility <ul style="list-style-type: none"> - Producer identified - Warranty offered by Producer 		
Safety <ul style="list-style-type: none"> - Technical requirements maintained - Safety Standards respected (tests) 		

Figure 7 : Exigences minimales proposées par l'association Recharge pour la réutilisation ou l'utilisation de seconde de vie de batteries rechargeables³¹

4.2 Contexte réglementaire

Contrairement au cadre réglementaire relatif à la gestion des déchets, l'existence de la réutilisation des batteries ou de la seconde vie est une approche plus récente qui n'a à ce jour pas reçu d'attention détaillée d'un point de vue réglementaire. Il n'est fait mention de la seconde vie dans aucune des Directives suivantes : Batteries Directive 2006/66/EC, Waste Framework Directive 2008/98/EC, End-of-Life Vehicles Directive 2000/53/EC, Waste Electrical & Electronic Equipment Directive 2012/19/EU. Le terme de réutilisation est quant à lui cité dans les normes énoncées ci-avant (exceptée Batteries Directive) mais considère uniquement les composants récupérés pour une utilisation aux mêmes fins sans prendre en compte le reconditionnement³².

Dans le cadre d'un processus de révision de la Directive Batteries 2006/66/EC, la commission européenne a réalisé une évaluation de cette dernière. Le rapport d'évaluation publié en avril 2019 mentionne les points suivants concernant la seconde vie des batteries³³ :

³¹ Recharge (The European Association for Advances Rechargeable Batteries) – "Re-use and second use of rechargeable batteries". Octobre 2014 / v.14

³² Kelleher Environmental. Final EV Battery Reuse and Recycling Report. Research study on Reuse and Recycling of Batteries employed in Electric Vehicles. September 2019.

³³ https://ec.europa.eu/environment/waste/batteries/pdf/evaluation_report_batteries_directive.pdf

- selon la consultation publique et les entrevues ciblées, la plupart des intervenants pensent que la directive ne définit pas clairement le cadre juridique dans lequel la seconde vie des batteries peut se développer. La seconde vie des batteries n'est actuellement pas considérée dans la Directive car il s'agit d'une évolution technique inattendue que la législation actuelle ne peut incorporer,
- en l'absence de dispositions spécifiques pour la seconde vie des batteries, le rapport de la commission européenne conclut que des règles générales de la Directive 2008/98/EC (Waste Framework Directive) s'appliqueraient, ce qui signifie que les batteries, destinées à être réutilisées, ne seraient pas considérées comme déchets alors que les batteries préparées pour être réutilisées (i.e. reconditionnement) seraient considérées comme des déchets. Les producteurs de batteries soulignent que cette situation juridique n'est pas claire et incertaine,
- les producteurs font également valoir que les questions de responsabilité étendue devraient être abordées pour éviter la situation actuelle où les producteurs qui mettent la batterie sur le marché pour la première fois demeurerait responsable jusqu'à ce que la batterie soit finalement mise au rebut ou recyclée, indépendamment du nombre de « vies intermédiaires » qu'elle a pu avoir,
- l'incertitude engendrée par les questions juridiques mentionnées ci-dessus empêcherait le développement des activités de reconditionnement des batteries au lithium, selon les parties prenantes

La détermination du statut de déchet est complexe et ne relève pas seulement de la simple distinction entre réutilisation et conditionnement. Dans ce contexte, un nouveau projet de la Commission européenne intitulé « Innovation deal » en association avec des partenaires comprenant des entreprises et des autorités nationales et régionales a été lancé afin de traiter le problème du recyclage et de la réutilisation des batteries de véhicules électriques³⁴. Le cadre réglementaire sera examiné, en particulier pour :

- la partie déchet en lien avec la gestion des déchets : classification des différences entre « préparation à la réutilisation » et « réutilisation, responsabilité élargie du producteur », « hiérarchie des déchets (justifiée par la réflexion sur le cycle de vie) », mais également en lien avec le marché : produits de seconde vie, responsabilités et garanties, sécurité de la réutilisation,
- la partie stockage d'énergie : formulation de recommandations sur les possibles obstacles réglementaires nationaux, régionaux, locaux à la seconde utilisation des batteries de véhicules électriques pour le stockage stationnaire.

L'enjeu est de définir si une batterie de seconde vie doit passer par le statut de déchet ou non. L'intérêt des constructeurs est que la batterie conserve une valeur marchande et puisse être réintégrée sans être considérée comme un déchet tandis que recycleurs créent de la valeur ajoutée en faisant sortir une batterie du statut de déchet.

La Commission Européenne a également lancé une consultation publique en août 2019 qui s'est poursuivie jusqu'en octobre 2019 dans le but d'évaluer les performances et adéquations de la Directive 2000/53/EC (End-of-Life Vehicles Directive). Un groupe d'expert se réunit début février 2020. L'objectif annoncé est une révision de cette Directive d'ici le 31 décembre 2020³⁵.

4.3 Responsabilité

Selon la directive 2006/66/CE Batteries, la personne physique ou morale qui met sur le marché une batterie, et ceci s'applique aux batteries pour véhicules électriques et hybrides rechargeables, est responsable sur toute la durée de vie de cette batterie. En l'occurrence, c'est le constructeur automobile qui est considéré comme « producteur », puisque la batterie est installée dans le véhicule au moment où le client en prend livraison. Le constructeur automobile est donc responsable de la batterie.

³⁴ https://ec.europa.eu/research/innovation-deals/pdf/jdi_emobility_recycling_112017.pdf

³⁵ https://ec.europa.eu/environment/waste/elv/evaluation_en.htm

La notion de transfert de responsabilité dans le cadre d'une utilisation de seconde vie n'est aujourd'hui pas clairement définie dans la Directive Batteries 2006/66/CE. Des questions techniques et réglementaires se posent sur le transfert de propriété et sur la possibilité d'utiliser une batterie pour une application différente que celle pour laquelle elle avait été mise sur le marché. Ainsi, l'association américaine PRBA³⁶ est favorable au reconditionnement des batteries si les conditions suivantes sont respectées :

- l'entité qui reconditionne les batteries est le fabricant d'origine des batteries ou connaît les caractéristiques de dégradation des cellules et des systèmes de sécurité nécessaires pour maintenir un fonctionnement sûr des batteries dans leur application attendue et est autorisée à reconditionner les batteries par le fabricant d'origine,
- à l'exception des batteries reconditionnées expédiées à des fins de tests, les batteries doivent être testées ou re-testées avant leur utilisation en seconde vie selon le manuel ONU des épreuves et critères de la réglementation du transport des matières dangereuses,
- un marquage « reconditionné » doit apparaître sur les batteries reconditionnées,
- l'entité qui reconditionne les batteries est identifiée et assume les responsabilités légales et engagements liés à l'utilisation et à l'élimination des batteries.

4.4 Réglementation relative au transport des batteries Li-ion

Les recommandations relatives au transport des marchandises dangereuses émises par L'UNECE ne semblent pas prendre en compte clairement le cas de figure des batteries de seconde vie.

Pour être transportées conformément à ces recommandations, une batterie Li-ion doit être d'un « type » ayant passé les épreuves décrites dans le paragraphe 38.3 du manuel d'épreuves et de critères. Le prérequis à ces essais est que les batteries vérifient la rubrique 2.9.4 du règlement type. En plus de donner des prérequis sur la construction des batteries, cette rubrique impose qu'un programme de gestion de la qualité soit mis en place.

Deux solutions semblent possibles pour transporter des batteries de seconde vie :

- 1) Montrer que les batteries remises sur le marché sont du même type (nb : un « type » est défini dans la rubrique 38.3.2.2 du manuel d'épreuves et de critères) que celles éprouvées lors de la première mise sur le marché et réutiliser le procès-verbal d'épreuve d'origine
- 2) Redéfinir des types de batteries cohérents avec la rubrique 38.3.2.2 du manuel d'épreuves et de critères et procéder au classement de chacun des types définis. Six épreuves devront être réalisées. Ces épreuves sont décrites dans le manuel ONU d'épreuves et de critères révision 6 (section 38, sous-section 38.3 « Piles au lithium métal et piles au lithium ionique ») : Epreuves T.1 à T.5 et T.7.

4.5 Contexte normatif

L'UL 1974 est le seul standard concernant les batteries de seconde vie publié à ce jour. Le standard SAE J2997 est en cours de développement (depuis 2012) et de nouveaux projets de normes ont été proposées dans le cadre d'instances internationales (IEC TC120, SC21, ...).

L'UL 1974³⁷ publié en octobre 2018 porte sur les méthodes utilisées pour déterminer la sécurité et la performance des batteries, modules et cellules issus des systèmes batteries de véhicules électriques qui seront reconditionnés pour des applications de seconde vie telles que les systèmes stationnaires de stockage.

³⁶ PRBA-The rechargeable Battery Association – USA. <http://www.prba.org/publications/position-on-reconditioned-lithium-ion-cells-and-batteries/>

³⁷ UL. “UL 1974: Standard for Evaluation for Repurposing Batteries.” <https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_1974>

Le processus de tri et de classement des batteries, modules et cellules consiste essentiellement à déterminer l'état de santé et d'autres paramètres permettant d'évaluer leur viabilité en seconde vie et les mécanismes de cotation que le re-conditionneur peut utiliser pour déterminer si les éléments sont aptes pour une utilisation en seconde vie. Cette norme couvre également les exigences spécifiques aux applications pour les packs batteries utilisant des batteries et des composants reconditionnés. Ce standard préconise de collecter sur le long terme des données du comportement de cellules vieilles représentatives des cellules intégrées. Il comprend aussi des protocoles de tests non destructifs en vue d'évaluer l'état de santé de chaque élément.

L'objectif de la norme SAE J2997 est d'établir des tests et un régime d'identité pour qualifier les batteries pour une réutilisation sûre, en s'appuyant sur les standards existants ou en développement tels que le transport, le marquage et l'état de santé en ajoutant les informations nécessaires pour un usage fiable et sûr³⁸.

³⁸ <http://standards.sae.org/wip/j2997/>

5. Conclusion générale

Possédant encore 80 % de leur capacité initiale, les batteries de véhicules électriques « usagées » peuvent être utilisées en seconde vie pour des applications nécessitant des exigences inférieures en termes de performance.

Les différentes étapes menant à l'usage de seconde vie de la batterie comprennent notamment le retrait de la batterie du véhicule et son stockage, l'analyse de son état de santé et de sécurité sur la base des données issues de son utilisation en première vie et/ou d'essais (performance, mesures d'impédance, etc.) et le reconditionnement des batteries adapté à l'usage de la seconde vie (figure 8). Différentes stratégies de reconditionnement ont pu être identifiées en fonction de l'état de santé des batteries (réutilisation, réparation, re-fabrication) et de la stratégie économique envisagée.

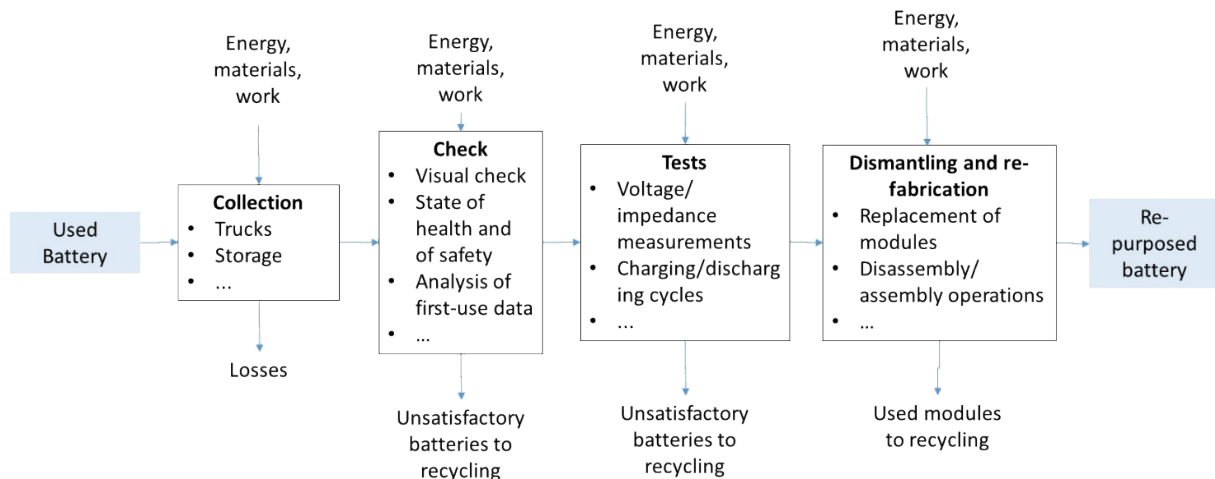


Figure 8 : Différentes étapes menant à la seconde vie d'une batterie³⁹

L'évaluation de la viabilité économique dépend de nombreux paramètres comprenant l'accessibilité aux données d'usage du véhicule en première vie, la dimension de l'installation visée, la taille des modules/packs, le taux de défaillance des cellules, le temps de main d'œuvre requis pour réaliser le reconditionnement, la durée nécessaire pour la réalisation des essais et le prix de vente des batteries de seconde vie reconditionnée. Les études de marché montrent ainsi que le désassemblage des batteries en cellules et leur analyse individuelle n'est pas rentable économiquement, en raison des nombreux designs existants et des méthodes non réversibles utilisées (soudures par exemple). Seul, le reconditionnement des modules et packs est considéré comme viable. La viabilité économique et le marché potentiel pour les batteries de seconde vie restent toutefois incertains étant donné qu'elles seront concurrencées par des batteries stationnaires neuves de technologie récente, a priori plus fiable et pour lesquelles le coût de production est en baisse continu.

Les études actuelles reposent essentiellement sur l'utilisation des batteries de technologie Li-ion pour des applications de seconde vie puisqu'elles dominent actuellement le marché des véhicules électriques. Selon le rapport NREL⁴⁰, les batteries automobiles reconditionnées (technologie Li-ion) sont plutôt destinées à de larges marchés aujourd'hui occupés par des batteries de technologie antérieure (compétition avec des batteries acide-plomb traditionnelles – source d'alimentation de réserve (UPS) et de secours, engins industriels, etc.) ou à de nouveaux marchés de stockage d'énergie (stockage raccordé au réseau par exemple).

³⁹ SASLAB Project: Sustainability Assessment of Second Life Application of Automotive batteries – Definition and initialization of re-purposing systems (JRC, IES)- <http://www.batteries2020.eu/presentations.html>

⁴⁰ Neubauer, J.; Smith, K; Wood, E; Pesaran, A. "Identifying and overcoming critical barriers to Widespread Second use of PEV batteries." NREL Report No. TP-5400-63332. February 2015. <http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/63332.pdf>

Cette dernière application fait l'objet de nombreux projets et de démonstrateurs impliquant généralement les principaux acteurs du marché de la seconde vie : constructeur automobile et/ou fabricant de batteries, fournisseur d'électricité (et dans certains cas un recycleur). A noter que pour chaque projet, le système de stockage de batteries de seconde vie est constitué de packs de batteries de même technologie et de même chimie issus de véhicules électriques identiques.

Les principales contraintes et enjeux de sécurité liés aux batteries de seconde vie identifiées comprennent :

- **l'accès aux données de première vie** de la batterie afin de déterminer son état de santé. L'état de dégradation des batteries en usage de première vie dépend de nombreux paramètres incluant la composition chimique de la batterie, les conditions climatiques, le mode d'utilisation du véhicule électrique. De nombreuses données sont stockées dans le Battery Management System (BMS) d'origine, dans le véhicule, voire sur les serveurs des fabricants automobiles. Cependant, ces données sont étroitement contrôlées par la propriété commerciale des constructeurs automobiles. Dans le cas où le constructeur automobile ne serait pas impliqué dans la seconde vie de ses batteries et que ces données ne seraient pas communiquées aux « reconditionneurs », recycleurs, ou utilisateurs de seconde vie, des protocoles de tests pour évaluer l'état de santé des modules/packs batteries issus des véhicules électriques doivent être établis,
- **le vieillissement inhomogène des cellules** pouvant se produire au sein d'un même lot de batteries de même chimie et de même fabricant. La dégradation de la capacité et la perte de puissance proviennent de différentes réactions chimiques/électrochimiques complexes mettant en jeu les composants internes des cellules et leurs interactions. Des outils de caractérisation et des modèles de dégradation selon des profils de vieillissement choisis sont étudiés par des laboratoires, dans le cadre de projet de recherche et par des industriels. Ainsi, le scénario le plus probable (économiquement et techniquement) est la réutilisation des modules (après évaluation de l'état de santé des cellules le constituant – avec l'élimination de modules comportant une ou plusieurs cellules défaillantes) en les réassemblant pour des usages de seconde vie (ex. racks pour les usages stationnaires). Des systèmes de sécurité et un repackaging peuvent être ajoutés pour les modules reconditionnés à destination des applications stationnaires pour gérer des contraintes spécifiques à ces applications. Selon Martinez-Laserna *et al.*, le suivi de l'histoire du vieillissement de la batterie lors de sa première vie permet de déterminer quelles batteries peuvent être utilisées en seconde vie et pour quelles applications elles peuvent fournir une performance durable et rentable. Le manque de données expérimentales entrave l'applicabilité industrielle du concept de la seconde vie des batteries. Il est en effet plus difficile de prévoir la durée de vie de la batterie et donc d'évaluer correctement les périodes de garantie appropriées. De plus amples travaux de recherche et développement sont encore nécessaires pour établir les réelles propriétés des batteries de seconde vie, en particulier, en termes de vieillissement mais également en termes de sécurité,
- **la variabilité du design des batteries** (chimie, forme, caractéristiques fonctionnelles, algorithmes de BMS, protocole de communication, etc.) et la complexité de certains designs rendent impossible le reconditionnement de batteries provenant de différents constructeurs et de modèles de véhicules. Une standardisation du design des modules permettrait de faciliter le reconditionnement, de réduire les coûts associés, et d'automatiser les opérations de démontage,
- **l'absence de réglementations adaptées.** Cela n'incite pas le déploiement des batteries en usage de seconde vie, cela ne permet pas de limiter la mauvaise utilisation ou l'utilisation abusive des batteries dans ce contexte, cela entraîne l'absence de clarté sur la notion de transfert de responsabilités légales/propriété/garantie, notamment en termes de performance et de sécurité de la batterie lors de son usage en seconde vie.

6. Glossaire

BMS : Battery Management System (système de gestion de batterie)

SOC : State Of Charge (état de charge de la batterie, en pourcentage de la capacité actuelle de la batterie)

SOH : State Of Health (état de santé d'un élément en pourcentage de la capacité initiale)

UPS :

VE : Véhicule Electrique

NMC : abréviation pour le composé LiNiMnCoO_2 utilisé en tant que matériau actif de cathode dans les batteries Li-ion (un type de chimie)

LMO : abréviation pour le composé LiMnO_2 utilisé en tant que matériau actif de cathode dans les batteries Li-ion (un type de chimie)

7. Liste des annexes

- Annexe 1 : Exemple de projets utilisant des batteries de seconde vie – 10 pages

Chariot de manutention

Les batteries acide-plomb des chariots de manutention sont remplacées par des batteries Li-ion provenant des véhicules Audi e-tron⁴¹, et permettant l'amélioration de la performance des machines, un gain de poids et l'avantage de recharger les batteries sans les démonter du véhicule.



Figure 9 : Chariot de manutention utilisant des batteries de VE usagées (Audi e-tron)

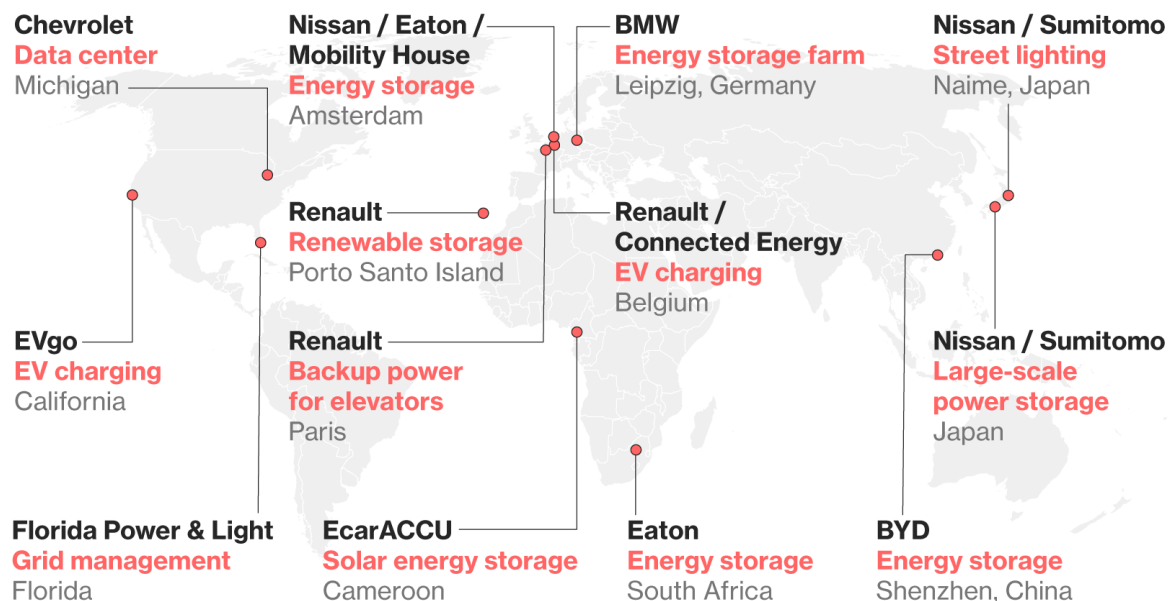
Applications stationnaires

La figure 10 montre la diversité des applications stationnaires visées pour les batteries de seconde vie et quelques exemples d'installations implantées dans le monde. Certains exemples sont détaillés dans les paragraphes suivants.

⁴¹https://www.greencarreports.com/news/1122092_audi-plans-to-put-old-ev-batteries-to-work-in-factory-tugs

A New Lease on Life

Where electric-vehicle batteries are being used and tested for new roles



Source: Company filings

Bloomberg

Figure 10 : Exemples d'installations stationnaires utilisant des batteries de seconde vie⁴²

Alimentation de secours

Le premier centre de données de Webaxys, équipé d'une solution de stockage d'énergie développée par la société Eaton, et utilisant des batteries de véhicules électriques Nissan Leaf (Li-ion), a été inauguré à Saint Romain de Colbosc en Normandie en 2016⁴³. Il s'agissait d'une première en Europe. Un autre exemple du partenariat Nissan/Eaton concerne l'alimentation de secours du stade de football de l'Amsterdam Arena aux Pays-Bas avec l'installation de 280 packs batteries de Nissan Leaf permettant au stade de ne pas subir de coupure électrique⁴⁴. Ce système de 4,2 kWh développé par Nissan/Eaton nommé « xStorage Buildings » est dorénavant commercialisé.

Applications stockage stationnaire non connectés au réseau

En janvier 2019, les chercheurs de l'UC Davis ont commandé un assemblage commercial de batteries usagées de Nissan Leaf pour stocker l'énergie d'un réseau solaire local⁴⁵. Le système de stockage de seconde vie réduit la consommation d'énergie en période de pointe et l'empreinte carbone de l'UC Davis Robert Mondavi Institute – un établissement combiné vinicole, brasserie et complexe de transformation des aliments.

⁴² <https://www.bloomberg.com/news/features/2018-06-27/where-3-million-electric-vehicle-batteries-will-go-when-they-retire>

⁴³ <https://www.havre-developpement.com/fr/le-mag-eco/webaxys-eaton-et-nissan-inaugurent-le-plus-green-des-data-centers-sur-le-parc>

⁴⁴ Article du monde – E. Béziat. « L'automobile expérimente le stockage électrique ». 14/02/2017

⁴⁵ Feller, G. June 25, 2019. "The Power of Reusing Electric Vehicle Batteries." <https://www.tdworld.com/electrification/power-reusing-electric-vehicle-batteries>

La figure 11 montre un autre exemple d'utilisation de batteries issues de véhicules hybrides Toyota Prius pour alimenter un commerce au Japon.



Figure 11 : Batteries de véhicules électriques réutilisées pour alimenter un commerce au Japon

Applications de stockage stationnaires raccordés au réseau

Daimler, Mobility House et GETEC Energie ont créé à Lünen en Allemagne le plus grand stockage de batteries de seconde vie à ce jour de 13 MWh à partir de 1000 batteries Li-ion de véhicules usagées issues de SMART FORTWO (figure 12). Ce système de stockage a vocation à stabiliser la puissance du réseau en lissant les injections sur le réseau d'une installation éolienne ou photovoltaïque⁴⁶.

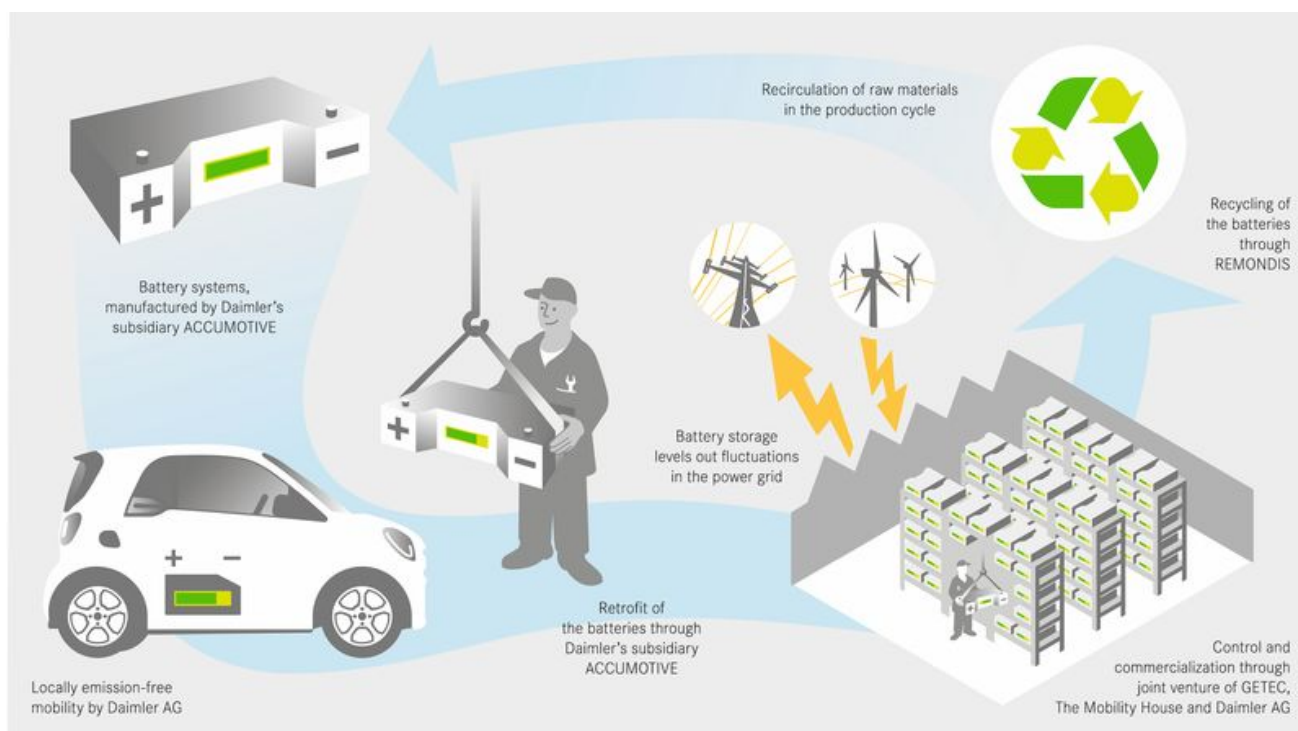


Figure 12 : Le plus grand projet de stockage de seconde vie par Daimler, Mobility House et GETEC

⁴⁶ <http://mobilityhouse.com/en/worlds-largest-2nd-use-battery-storage-is-starting-up/>

Un projet similaire a été initié par BMW en collaboration avec Bosh et Vattenfall à Hambourg avec le reconditionnement de 2600 modules de batteries usagées provenant de plus de 100 véhicules électriques BMW i3 pour former un système de stockage de 2,8 MWh/2 MW capable de stocker l'électricité lorsque la demande est faible ou celle produite par les sources renouvelables puis la réinjecter dans le réseau pour lisser les pics de consommation (figure 13).

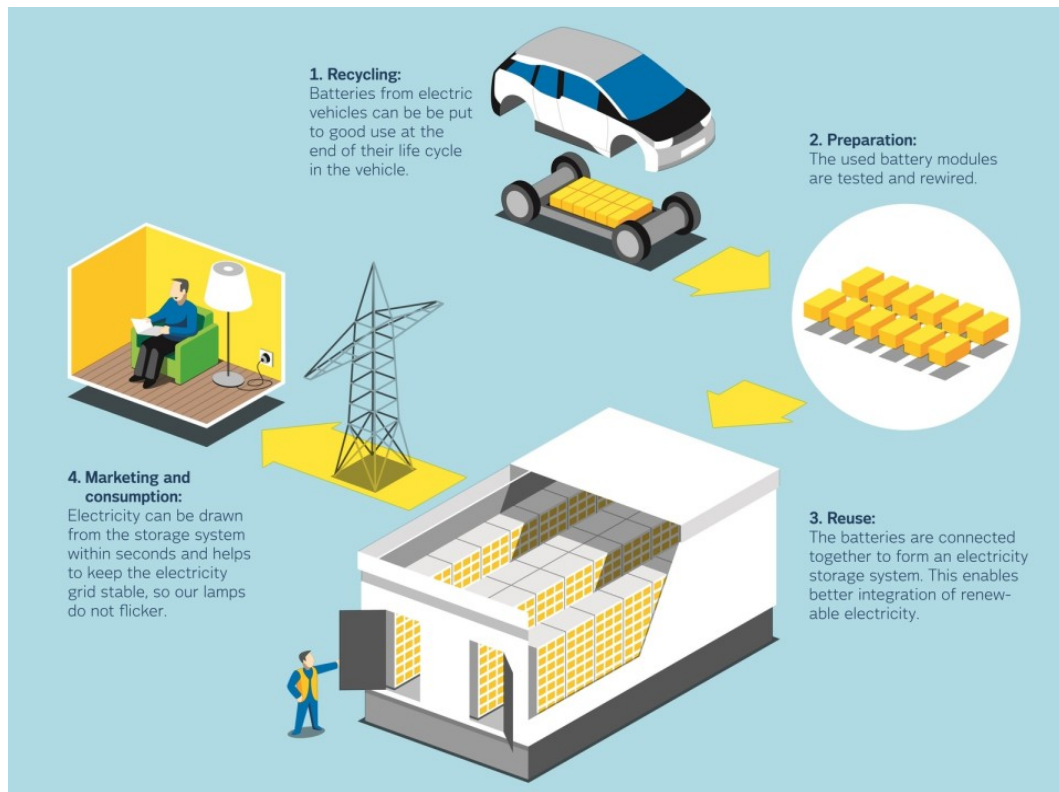


Figure 13 : Stockage stationnaire de 2,8 MWh / 2MW de batteries de seconde vie de BMW i3 à Hambourg⁴⁷

⁴⁷<https://electrek.co/2016/09/22/bmw-bosch-energy-storage-facility-built-from-batteries-from-over-100-electric-cars/>

Le premier grand projet similaire d'utilisation de batteries Li-ion de seconde vie pour une application de lissage des injections sur le réseau d'une installation photovoltaïque avait été lancé par la société Japonaise Sumitomo en collaboration avec Nissan (joint venture « 4R Energy Corporation »), financé par le Ministère de l'Environnement du Japon. Le système de stockage avec des batteries Li-ion provenant de véhicules électriques (Nissan Leaf) est opérationnel depuis début 2014 à Osaka au Japon⁴⁸ (figure 14). Le système de 600 kW/400 kWh est composé de 16 batteries de véhicules électriques usagées. Durant 3 ans, le système a mesuré les effets de lissage des injections sur le réseau d'une installation photovoltaïque.



Figure 14 : Premier système de stockage stationnaire avec des batteries Li-ion de seconde vie

Depuis, Nissan a poursuivi sa collaboration avec 4R Energy et avec Green Charge Networks pour le reconditionnement de packs batteries Li-ion issus de Nissan Leaf et de Nissan e-NV200 en un large système de stockage connecté au réseau conçu pour répondre aux demandes de pointe d'électricité⁴⁹. Les premières unités de ce type ont été installées et mises en service à l'été 2015 chez Nissan aux Etats-Unis.

D'autres constructeurs tels que Toyota et General Motors (GM) ont également développé des systèmes de secours pour des applications « micro-grid ». Par exemple, GM a réutilisé 5 packs batteries Li-ion de la Chevrolet Volt pour installer un système stationnaire sur son site de Milford (Michigan) – figure 15. Le système de stockage associée à 74 kW de panneaux photovoltaïques et à 2 kW d'éolienne permet d'assurer l'alimentation électrique du bâtiment, même en cas de coupure⁵⁰. Un projet similaire de Toyota a été mené avec 208 packs batteries Ni-MH issues de ses véhicules⁵¹.

⁴⁸ <http://www.sumitomocorp.co.jp/english/news/detail/id=27673>

⁴⁹ <https://transportevolved.com/2015/06/16/nissan-4r-energy-green-charge-networks-announce-second-life-grid-tied-storage-program-for-electric-car-battery-packs/>

⁵⁰ <http://www.ecamion.com/chevy-nissan-reveal-second-life-uses-for-electric-car-batteries/>

⁵¹ <https://transportevolved.com/2015/05/19/toyota-repurposes-hybrid-batteries-for-off-grid-battery-storage-system/>



Figure 15 : Système de stockage de batteries usagées issues de Chevrolet Volt pour une application « micro-grid » sur le site de GM à Mildford

Le constructeur SEAT est également impliqué dans le cadre du projet SUNbatt co-financé par l'agence catalane d'aide à la compétitivité des entreprises (ACC10). L'objectif est de développer un container prototype comportant 4 batteries plug-in-hybrid usagées (7 kWh), 2 convertisseurs, un système de gestion de l'énergie et les logiciels associés – l'ensemble étant relié à des panneaux photovoltaïques - afin d'évaluer la dégradation de la batterie pour différents cas d'usage stationnaires (report de la transmission et de la distribution de l'électricité, régulation de la fréquence et stations de recharge rapide pour véhicules électriques)⁵².

Le constructeur Audi a également installé une unité de stockage de 1,9 MWh composée de batteries Li-ion usagées sur le campus EUREF à Berlin⁵³ (figure 16). Le système est relié au réseau électrique de moyenne tension de Berlin avec un mégawatt de puissance, ce qui correspond à l'exigence de charge moyenne d'environ 200 voitures électriques. Avec sa capacité de 1,9 MWh, l'unité de stockage pourrait approvisionner l'ensemble des 5,5 hectares de bureaux et campus scientifique en électricité de façon indépendante pendant un peu moins de deux heures.

Les bornes de recharge rapide dans les environs immédiats, où les voitures électriques peuvent charger jusqu'à 175 kW, constituent un autre cas d'utilisation. Pour s'assurer que les besoins élevés en électricité sont couverts de la façon la plus rentable possible et que le réseau électrique local n'est pas soumis à un stress excessif, l'unité de stockage de la batterie sert également de tampon. L'intégration intelligente dans le réseau électrique permet au réservoir d'énergie d'absorber l'excédent d'électricité provenant de l'énergie éolienne et des systèmes photovoltaïques ou de la propre centrale combinée de chaleur et d'électricité du campus. Cela compense les fluctuations du réseau, contrecarre les demandes locales de pointe et aide à prévenir les pannes de courant en stabilisant le réseau de transmission. Le lissage des pics de charge et la compensation des fluctuations de fréquence réduisent ainsi les coûts d'énergie grâce à des niveaux élevés d'efficacité et des temps de réponse rapides.

⁵² SUNbatt – Use of a Second Life Battery System from PHEV in Stationary Applications. Juin 2015.

⁵³ <https://www.audi-mediacycenter.com/en/press-releases/audi-opens-battery-storage-unit-on-berlin-euref-campus-11681>



Figure 16 : Unité de stockage d'énergie développé par Audi sur le campus EUREF à Berlin

Le projet européen ELSA⁵⁴ (Energy Local Storage Advanced system) sur 3 ans démarré en avril 2015 regroupant 10 membres de 5 pays européens, avec Bouygues Energies & Services, Renault et Nissan comme chefs de file, a pour objectif de déployer 6 sites pilotes de démonstration, à partir de batteries Li-ion de seconde vie, représentant différentes applications et services tels que la gestion de la congestion du réseau, la stabilisation du réseau local, l'écrêtement de la demande de pointe, la régulation de la tension du réseau.

Ces 6 projets répartis en Europe (figure 16), représente des cas d'usage à l'échelle de bâtiments tertiaires (Gateshead College, Ampère Building sur le site de la Défense) et de bâtiments industriels (usine Nissan à Barcelone), de quartier (campus E.ON Research center), et à l'échelle réseau (villes de Terni, et de Kempten-Halde)⁵⁵. La capacité de stockage varie de 32 kWh à 1 MWh en fonction du site, et sera constituée de batteries usagées issues de Kangoo Z.E ou de Nissan Leaf.

⁵⁴ <http://elsa-h2020.eu/>

⁵⁵ Présentation projet ELSA – Pilot Panel : ELSA Use Cases. 27.10.2016

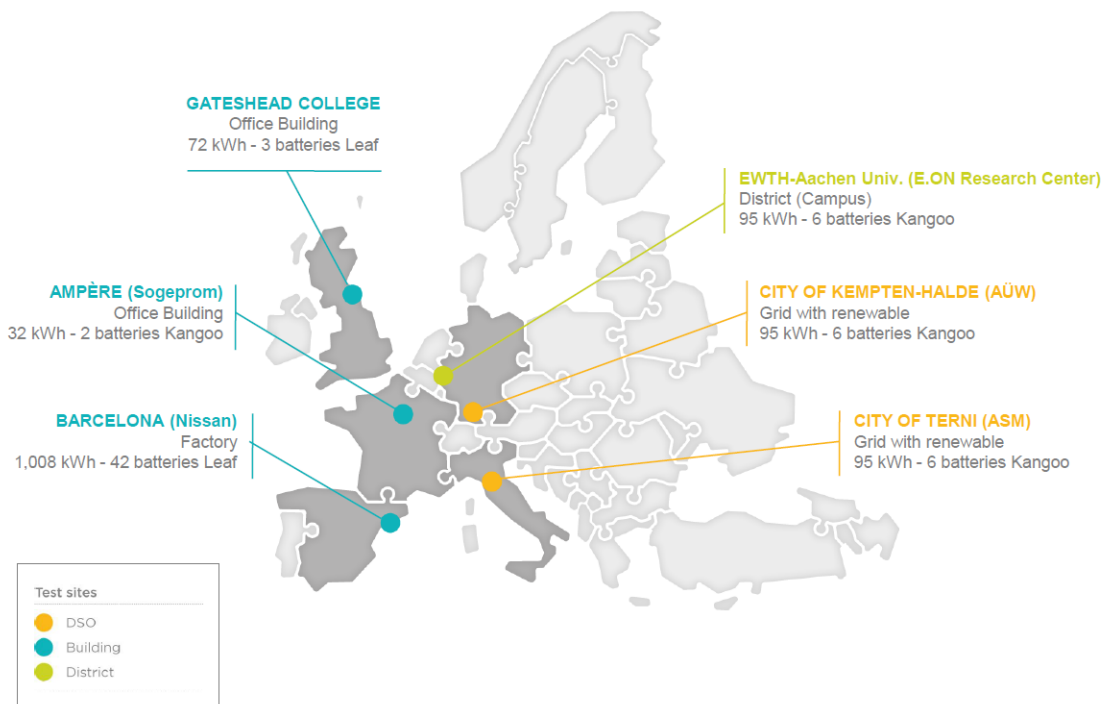


Figure 17 : les 6 projets de démonstration utilisant des batteries de seconde vie prévus dans le projet ELSA⁵⁶

L'analyse économique réalisée dans le cadre du projet ELSA montre que le potentiel de déploiement des batteries de seconde vie pour les systèmes de stockage local de l'énergie varie en fonction de l'application et du pays visés (figure 18).

Market segments		Residential buildings	Office, Comm. & Industrial buildings	Grid	
				Substations	Solar or wind turbines farms
Storage size (bat. 2 nd life)		0.5 bat. (Home) 2 - 12 bat. (Bldg)	2 - 18 bat.	18 bat.	>> 48 bat.
European market (2020 est.)		~30-40%	~20-30%	~10-20%	~20%
Germany	50%	★★★★	★★	★★	★★★★
Italy	25%	★★	★★★★	★★	★★★★
UK	9%	★	★★★★	★★	★★
France	4%	★	★★★★	★★	★★

Figure 18 : Marché des systèmes de stockage local de l'énergie utilisant des batteries de seconde vie en fonction de l'application et du pays visés⁵⁷

Opérationnel à 100 % depuis quelques années, le projet Issygrid à Issy-les-Moulineaux (Hauts-de-Seine) est un autre exemple de quartier intelligent utilisant des batteries usagées de Renault Kangoo Z.E. qui stockent l'électricité intermittente produite par les panneaux solaires locaux pour une utilisation légèrement différée (lissage des heures de pointe en assurant la stabilité du réseau)⁵⁸. Le quartier comprend trois installations photovoltaïques, un poste de distribution publique intelligent pilotable à distance, quatorze systèmes de données interconnectés, une plateforme de supervision énergétique ainsi qu'un support de gestion des consommations anonyme pour les habitants.

⁵⁶ Présentation projet ELSA – An H2020 small scale storage project – ELSA project overview - 7.11.2016

⁵⁷ Présentation projet ELSA – Focus Group: Economy - 7.11.2016

⁵⁸ <https://lenergeek.com/2016/04/21/issygrid-des-batteries-de-kangoo-z-e-pour-stocker-lenergie-solaire/>

Les batteries sont placées à plusieurs endroits du réseau électrique de ce quartier de la ville : par exemple dans le poste de distribution électrique d'ERDF qui assure l'équilibre entre la consommation, la production d'électricité par les panneaux photovoltaïques d'une des tours du bureau (ancien siège social de Bouygues Telecom, aujourd'hui AccorHotels) et le stockage d'électricité (capacité de stockage de 33 kWh). L'énergie renouvelable produite est ainsi stockée ou réinjectée dans le réseau électrique en fonction des besoins du quartier. Des batteries capables de stocker 60 kWh sont également installées dans le sous-sol d'un bâtiment qui héberge l'école de formation du barreau de Paris. Elles sont utilisées pour stocker localement l'électricité produite par les panneaux photovoltaïques installés sur la toiture du bâtiment⁵⁹.

Un projet de démonstrateur lancé en septembre 2015 implanté au siège de Forsee Power en région parisienne (Moissy-Cramayel), regroupant EDF, Forsee Power, Mitsubishi et PSA, vise à optimiser le réseau intelligent (smart grid) et la gestion d'énergie en combinant le solaire, les véhicules électriques, le stockage stationnaire. Et cela en utilisant des batteries neuves et de seconde vie, en mode bi-directionnel⁶⁰. Forsee Power est en charge de la coordination, de l'intégration et de la mise en œuvre du projet, PSA et Mitsubishi fournissent les batteries, et apportent le support technique et EDF est impliquée pour la partie étude de marché et modèle économique.

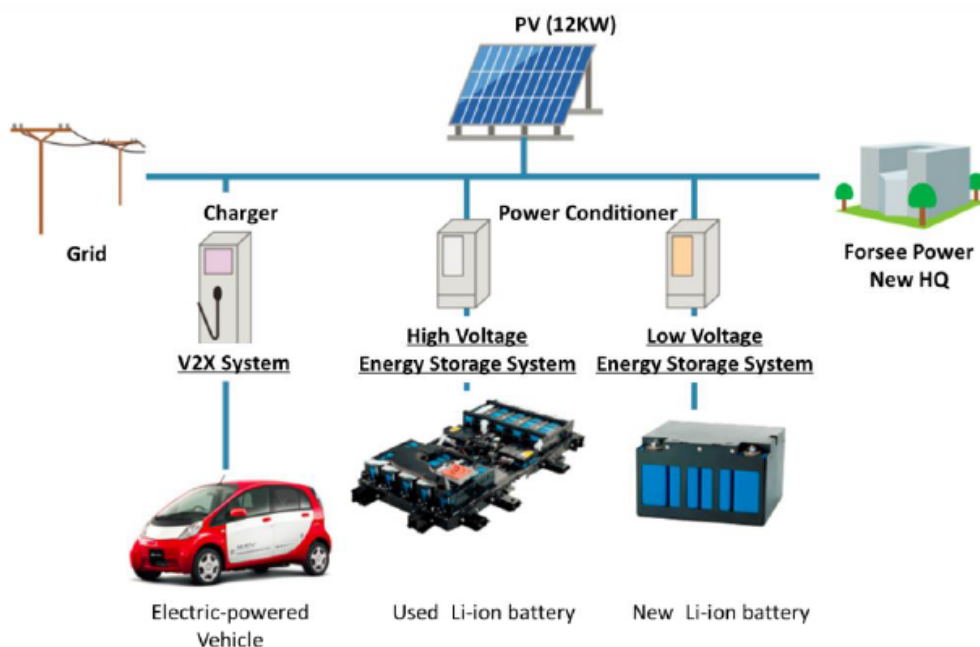


Figure 19 : Projet de démonstrateur, siège de Moissy-Cramayel – Forsee Power

Le projet 2Bcycled regroupant ARN, DNV GL, deux universités et l'opérateur réseau Alliander a pour objectif d'étudier les différentes possibilités techniques et les aspects juridiques de la réutilisation des batteries Li-ion sur l'île de Pampus.

Application charge des véhicules

Renault s'est associé à Connected Energy Ltd au Royaume-Uni, pour lancer E-STOR. Ce système de 50 kW/50 kWh utilise des batteries lithium-ion en fin de vie qui se charge à un régime lent (5h) sans demander une puissance élevée au réseau. Elle restitue ensuite l'énergie stockée en cas de besoin de puissance sur le réseau.

⁵⁹<http://bfmbusiness.bfmtv.com/entreprise/la-batterie-de-kangoo-electrique-stocke-l-energie-solaire-d-un-quartier-964832.html>

⁶⁰https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/espaces-dedies/espace-medias/cp/2015/cp_EDF_20150715_ForseePower_vf.pdf

Un second exemple est la collaboration de Nissan avec FreeWire Technologies et Siemens qui ont développé une station de charge mobile (« the Mobi Charger ») pour véhicules électriques de 48kWh constituée de packs batteries usagés issus des Nissan Leaf. Le dispositif permet de charger 5 véhicules par jour et est actuellement utilisé par de grands fournisseurs, leur permettant d'utiliser des stations de charge de VE en tant que ressource pour supporter la stabilité du réseau.

Application résidentielle

Nissan s'est allié à l'énergéticien Eaton pour proposer des unités de stockage (« xStorage home ») et de gestion d'électricité domestique à partir du recyclage des batteries de ses véhicules électriques – la LEAF notamment. xStorage Home peut être utilisé comme un système autonome pour puiser dans le réseau pendant les périodes à prix réduits, ou peut être intégré à une installation solaire existante en raison des onduleurs inclus dans le système pour alimenter les maisons avec de l'énergie renouvelable⁶¹.

Similairement, BMW et Vattenfall ont développé « SunBESSy », un système de stockage résidentiel de 26,4 kWh avec des batteries de seconde vie issus des véhicules électrique BMW i3. Ce système commercialisé à partir de 2017 permet de couvrir pendant 24 heures les besoins énergétiques d'un foyer américain.

En 2017, Renault s'est associé avec le fournisseur de batterie domestique Powervault Ltd. pour réutiliser ses batteries de VE dans des unités de stockage d'énergie pour un usage domestique. Powervault a introduit 50 unités dans des maisons équipées de panneaux solaires. L'objectif est d'explorer les performances techniques des batteries de seconde vie pour cette application et la réaction des clients au système de stockage domestique pour aider le développement d'une stratégie de lancement sur le marché de masse⁶².

Fin 2019, Volvo s'est associé à Stena Property et Stena Recycling dans le cadre d'un projet de réutilisation de batteries issues de bus électriques pour des applications domestiques. C'est le second projet mené par Volvo Buses, le précédent étant situé dans la zone résidentielle Viva à Gothenburg. Dans le cadre du projet avec Stena dans la zone résidentielle de Fyrklövern, les batteries issues des bus électriques réutilisées seront chargées par des panneaux solaires installés sur le toit des maisons et l'électricité qui est stocké sera utilisée dans des espaces publics tels que les laveries et éclairage extérieur⁶³.

⁶¹ https://www.solarpowerportal.co.uk/news/nissan_and_eaton_offer_second_life_batteries_to_uk_households

⁶² <https://media.group.renault.com/global/en-gb/media/pressreleases/92203/renault-et-powervault-donnent-une-seconde-vie-aux-batteries-des-vehicules-electriques1>

⁶³<https://www.volvobuses.com/en-en/news/2019/dec/vehicle-batteries-provide-new-energy-for-households.html>

