



HAL
open science

Seconde vie des batteries - Etat des connaissances et éléments prospectifs

Association Record, M. Le Bihan, T. Gagneux, J.R. Dulbecco, B. de Caevel

► **To cite this version:**

Association Record, M. Le Bihan, T. Gagneux, J.R. Dulbecco, B. de Caevel. Seconde vie des batteries - Etat des connaissances et éléments prospectifs. n°21-0922/1A, RECORD. 2023, pp.146. <hal-05070569>

HAL Id: hal-05070569

<https://hal.science/hal-05070569v1>

Submitted on 26 May 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

**SECONDE VIE DES BATTERIES
ÉTAT DES CONNAISSANCES ET ELEMENTS PROSPECTIFS**

RAPPORT FINAL

mai 2023

**M. LE BIHAN, T. GAGNEUX, J.R. DULBECCO,
B. DE CAEVEL – RDC Environment**



Créée à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD est depuis 1989, le catalyseur d'une coopération entre industriels, institutionnels et chercheurs.

Acteur reconnu de la recherche appliquée dans le domaine des déchets, des sols pollués et de l'utilisation efficace des ressources, RECORD a comme objectif principal le financement et la réalisation d'études et de recherches dans une perspective d'économie circulaire.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et institutionnels) définissent collégalement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

Avertissement :

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :

RECORD, Seconde vie des batteries - Etat des connaissances et éléments prospectifs, 2023, 146 p, n°21-0922/1A

- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de la transition écologique)
www.ademe.fr

Comité de suivi de l'étude :

Gérard ANTONINI – UTC / RECORD, Bénédicte COUFFIGNAL – RECORD, Stéphane DERCOURT – SECHE Environnement, Cécile FOURNIER – RENAULT, Caroline GREATTI – Saft / TotalEnergies, Olga KERGARAVAT – ADEME, Emeric MALEFANT – VEOLIA, Matthieu RENAULT – SNCF, Hervé ROMANO – EDF, Michael VANBUTSEL – SNCF, Maxime VAUFLEURY – INRS, Bogdan VULTURESCU – SNCF, Alexandre WATTELIER – SUEZ

© RECORD, 2023

RESUME

Le gisement de batteries de mobilité usagées est attendu en forte hausse dans les années à venir, du fait de la forte croissance de la mobilité électrique légère (trottinettes, VAE...) et lourde (VE particuliers et VUL). Les batteries de mobilité en fin de vie, après 10 à 15 ans d'utilisation, ne sont plus utilisables pour de la mobilité du fait d'une perte de capacité électrique qui diminue leur autonomie. Cependant, elles ont encore une capacité résiduelle significative (généralement >70%), leur permettant d'être préparées pour une seconde vie, pour un même usage ou un usage différent, notamment en stockage d'énergie stationnaire. La filière de seconde vie est encore en cours de structuration en Europe.

L'étude fait le point sur les dispositions réglementaires actuelles et prévues dans le cadre du Règlement européen Batteries en attente d'adoption à l'heure de l'écriture de ce rapport (mai 2023), concernant notamment la responsabilité élargie des producteurs de batteries et le cadre applicable à la seconde vie avec l'introduction de nouvelles définitions et responsabilités.

Ensuite, l'étude présente une estimation du gisement total de batteries de mobilité en fin de vie, et du gisement pouvant faire l'objet d'une seconde vie entre 2025 et 2040, en kWh et en tonnes.

L'étude établit un panorama d'initiatives de seconde vie identifiées en Europe. Cinq initiatives de seconde vie sont analysées plus en détail afin d'en comprendre les conditions techniques et organisationnelles. Une analyse transversale permet d'identifier les points communs et différences notamment en matière de stratégie industrielle ou de critères permettant de juger du caractère réutilisable de la batterie. L'étude conclut sur les points d'attention en matière de pertinence environnementale et économique de la seconde vie. L'étude dégage enfin les freins et leviers afin de favoriser la seconde vie.

MOTS CLES

Batteries Li-ion, seconde vie, mobilité

SUMMARY

The amount of used mobility batteries is expected to increase sharply in the coming years, due to the sturdy growth in light (e-scooters, e-bikes, etc.) and heavy (private EVs and LCVs) electric mobility. Mobility batteries at the end of their life, after 10 to 15 years of use, are no longer usable for mobility due to a loss in electrical capacity that reduces their autonomy. However, they still have a significant residual capacity (generally >70%), allowing them to be prepared for a second life, for the same or a different use, notably in stationary storage. The second life sector is still being structured in Europe.

The study takes stock of the current and planned regulatory provisions under the European Batteries Regulation, which is awaiting adoption at the time of writing (May 2023), notably concerning the extended producer responsibility of batteries and the framework applicable to their second life with the introduction of new definitions and responsibilities.

Secondly, the study presents an estimate of the total amount of mobility batteries at the end of their life cycle, and the amount that can be reused between 2025 and 2040, in kWh and in tonnes.

The study establishes an overview of second life initiatives identified in Europe. Five second life initiatives are analysed in more detail in order to understand their technical and organisational conditions. A cross-sectional analysis identifies commonalities and differences, particularly in terms of industrial strategy and criteria for assessing the reusability of batteries. The study concludes with points of attention regarding the environmental and economic relevance of the second life. Finally, the study identifies the obstacles and levers for promoting a second life for batteries.

KEY WORDS

Li-ion batteries, second life, mobility

Sommaire

I.	Structure du document et guide de lecture	10
II.	Contexte, objectifs et méthodologie de l'étude	11
II.1.	Contexte.....	11
II.2.	Objectifs	11
II.3.	Définitions	11
II.4.	Périmètre de l'étude.....	14
II.5.	Méthodologie	15
II.5.1.	Plan de travail	15
II.5.2.	Estimations du gisement.....	16
II.5.3.	Screening des initiatives	22
II.5.4.	Sélection et analyse approfondie d'initiatives	22
III.	Contexte réglementaire	23
III.1.	Situation actuelle	23
III.1.1.	Gestion des batteries en fin de vie.....	23
III.1.2.	Sécurité et mise en marché	24
III.2.	Perspectives	25
III.2.1.	Gestion des batteries en fin de vie.....	25
III.2.2.	Sécurité de la seconde vie.....	29
III.2.3.	Seconde vie et partage d'informations.....	30
III.2.4.	Objectifs d'incorporation de recyclé	31
IV.	Gisement de batteries et potentiel de seconde vie	32
IV.1.	Gisement actuel et prospectif de batteries en fin de vie.....	32
IV.1.1.	Vision globale.....	32
IV.1.2.	Batteries de VP et VUL	35
IV.1.3.	Batteries de VAE et EPDM	36
IV.1.4.	Batteries de 2,3,4 roues électriques	37
IV.2.	Description de la fin de vie actuelle	38
IV.2.1.	Gestion des batteries de mobilité en France	38
IV.2.2.	Gestion des batteries de mobilité en Europe	45
IV.3.	Potentiel de seconde vie.....	49
V.	Panorama des initiatives de seconde vie	51
V.1.	Description d'initiatives identifiées	51
V.1.1.	Mobilité légère.....	51

V.1.2.	Mobilité lourde	51
V.2.	Caractéristiques des initiatives identifiées	53
V.2.1.	Distinction entre initiatives pour batteries de mobilité légère et batteries de mobilité lourde	53
V.2.2.	Types d'initiatives recensées	53
V.2.3.	Applications de seconde vie	53
V.2.4.	Acteurs impliqués	54
V.2.5.	Localisation des initiatives recensées	54
V.3.	Analyse transversale	56
V.3.1.	Evolution des types d'initiatives en fonction du temps	56
V.3.2.	Maturité des initiatives	56
V.3.3.	Echelles concernées	57
V.3.4.	Technologies	57
V.3.5.	Interventions réalisées	58
V.4.	Sélection des initiatives à approfondir	58
V.4.1.	Tableau récapitulatif	59
VI.	Analyse transversale	62
VI.1.	Maturité technique de la seconde vie	62
VI.2.	Potentiel de réutilisation des batteries en fin de vie	62
VI.2.1.	Critères permettant de juger du caractère réutilisable	62
VI.2.2.	Lien entre le type de batterie et le type d'application visée	65
VI.2.3.	Tests permettant d'évaluer le caractère réutilisable des batteries	65
VI.2.4.	Proportion des batteries pouvant être réutilisées	67
VI.2.5.	Echelle d'intervention	68
VI.2.6.	Autres informations	70
VI.3.	Pertinence environnementale de la seconde vie	71
VI.4.	Modèle économique de la seconde vie	76
VI.4.1.	Synthèse	76
VI.4.2.	Discussion sur les composants principaux du modèle	79
VI.4.3.	Comparaison de la seconde vie avec un système de première vie	83
VI.4.4.	Maturité économique des initiatives	86
VI.5.	Freins et leviers à la seconde vie	87
VII.	Annexes	92
VII.1.	Liste des initiatives recensées	92
VII.2.	Liste des experts consultés	101
VII.3.	Prévisions sur le coût des batteries Li-ion pour les véhicules électriques	102
VII.4.	Evaluation des impacts de la consommation électrique	103

VII.5.	Analyse approfondie de 5 initiatives de seconde vie.....	104
VII.5.1.	Concept « MultiLife » de Kyburz.....	104
VII.5.2.	Entreprise Entech (projets de recherche CSV et ABR)	110
VII.5.3.	Gamme xStorage de Eaton et Nissan	119
VII.5.4.	Entreprise Connected Energy	127
VII.5.5.	Entreprise Watt4Ever	135

Table des tableaux

Tableau 1: Glossaire (RECORD, 2023).....	11
Tableau 2 : Segmentation du modèle WAPO (gammes de véhicules), (RECORD, 2023)	19
Tableau 3 : Dénomination des motorisations électrifiées incluses dans le modèle WAPO, (RECORD, 2023)	19
Tableau 4: Propriétés des batteries (Durmus et al., 2020).....	20
Tableau 5: Gisement de batteries usagées en France sur base de la capacité neuve en millions kWh (RECORD, 2023).....	32
Tableau 6 : Gisement de batteries usagées en Europe sur base de la capacité neuve en millions kWh (RECORD, 2023).....	33
Tableau 7 : Gisement de batteries usagées en France en kilotonnes (RECORD, 2023)	34
Tableau 8 : Gisement de batteries usagées en Europe en kilotonnes (RECORD, 2023).....	34
Tableau 9: Gisement de batteries de véhicules particuliers et VUL par segment (kWh) – Scénario Green Constraint (RECORD,2023).....	35
Tableau 10 : Gisement de batteries de véhicules particuliers et VUL par motorisation (kWh) – Scénario Green Constraint (RECORD, 2023)	36
Tableau 11 : Gestion des batteries de mobilité électrique en Europe (ADEME, 2022)	47
Tableau 12 : Gisement de batteries de seconde vie en France sur base de la capacité restante en milliers kWh (RECORD, 2023).....	49
Tableau 13 : Gisement de batteries de seconde vie en Europe sur base de la capacité restante en millions kWh (RECORD, 2023).....	49
Tableau 14 : Gisement de batteries usagées en seconde vie en France en kilotonnes (RECORD, 2023)	49
Tableau 15 Gisement de batteries usagées en seconde vie en Europe en kilotonnes (RECORD, 2023)	50
Tableau 16 : Tableau récapitulatif des 12 structures et initiatives présélectionnées et certains critères de sélection (RECORD, 2023)	59
Tableau 17 : Maturité technique des initiatives de seconde vie (RECORD, 2023)	62
Tableau 18 : Critères permettant de juger du caractère réutilisable (RECORD, 2023)	63
Tableau 19 : Tests d'évaluation du caractère réutilisable des batteries / modules / cellules entrantes (RECORD, 2023).....	66
Tableau 20: Acteurs responsables des tests sur les batteries entrantes (RECORD, 2023).....	67
Tableau 21 : Proportion de batteries (packs, modules ou cellules) réutilisables (RECORD, 2023)	67
Tableau 22: Echelle d'intervention sur les batteries (RECORD, 2023)	68
Tableau 23: Bilan environnemental de la seconde vie (RECORD, 2023)	73
Tableau 24 : récapitulatif des coûts d'acquisition et de préparation à la seconde vie d'après différentes sources (coût en EUR / kWh) (RECORD, 2023)	78

Tableau 25 : Analyse de la pertinence économique de la seconde vie des batteries Li-ion (RECORD, 2023)	84
Tableau 26 : Maturité économique des initiatives de seconde vie (RECORD , 2023).....	86
Tableau 27: Cartographie des freins et leviers à la seconde vie (RECORD, 2023)	89
Tableau 28 : Liste des initiatives de seconde vie recensées (RECORD, 2023)	92
Tableau 29: Liste des experts consultés (RECORD, 2023).....	101

Table des figures

Figure 1: Plan de travail de l'étude (RECORD, 2023).....	15
Figure 2 : Ventés annuelles de scooters et motos électriques en France (à gauche : motos, à droite scooters, en bleu les données passées, en orange les hypothèses) (RECORD, 2023)	17
Figure 3 : Croissance de la part de marché des scooters et motos électriques (à gauche : motos, à droite scooters, en bleu les données passées, en orange les hypothèses) (RECORD, 2023)	17
Figure 4: Gisement français de batteries usagées issues de la mobilité électrique sur base de la capacité neuve en millions kWh (RECORD, 2023).....	32
Figure 5 : Gisement européen de batteries usagées issues de la mobilité électrique sur base de la capacité neuve en millions kWh (RECORD, 2023).....	33
Figure 6 : Gisement des batteries de mobilité légère en fin de vie sur base de la capacité neuve en France en millions kWh (RECORD, 2023).....	37
Figure 7 : Gisement de batteries de 2,3,4 roues électriques en fin de vie sur base de la capacité neuve en France en millions kWh (RECORD, 2023)	37
Figure 8 : Logigramme de la gestion des batteries de mobilité électrique en fin de vie en France (ADEME, 2022).....	39
Figure 9: Nombre d'initiatives de seconde vie des batteries de mobilité recensées par pays (RECORD, 2023)	55
Figure 10 : Nombre d'initiatives recensées de seconde vie démarrées par an, par origine (RECORD, 2023)	56
Figure 11 : Périmètre de comparaison des systèmes de première et de seconde vie (RECORD, 2023)	72
Figure 12 : coûts d'acquisition et de préparation à la seconde vie d'après différentes sources (coût en € / kWh) (RECORD, 2023)	77
Figure 13 : Périmètre de comparaison des systèmes de première et de seconde vie (RECORD, 2023)	83
Figure 14 : Prévision de coûts du JRC (JRC, 2018)	102
Figure 15 : Modèle explicatif du concept MultiLife de Kyburz (RECORD, 2023).....	105
Figure 16 : Modèle explicatif du projet ABR (RECORD, 2023)	112
Figure 17 : Modèle explicatif de la solution xStorage de Eaton et Nissan (RECORD, 2023)	120
Figure 18 : Modèle explicatif des solutions conçues par Connected Energy (RECORD, 2023)	129
Figure 19 : Modèle explicatif du fonctionnement de Watt4Ever (RECORD, 2023)	137

I. Structure du document et guide de lecture

Le chapitre II décrit le contexte, les objectifs et la méthodologie de l'étude, y compris les hypothèses retenues pour estimer les gisements de batteries réutilisables en chapitre IV.

Le chapitre III décrit le contexte réglementaire applicable aux batteries usagées et à la seconde vie. A la date de clôture du rapport, le projet de Règlement européen Batteries n'a pas été adopté. L'analyse se fonde sur la proposition de la Commission européenne de 2020 et les amendements adoptés par le Parlement européen en mars 2022.

Le chapitre IV fournit les estimations de gisement des batteries de mobilité pour les véhicules électriques, les 2,3,4 roues motorisés et pour les vélos à assistance électrique (VAE) et engins personnels de déplacements motorisés (EPDM), ainsi qu'une description de la fin de vie actuelle de ces batteries.

Le chapitre V présente le panorama des initiatives de seconde vie recensées en Europe et une proposition de sélection d'initiatives à retenir pour la phase suivante de l'étude.

Le chapitre VI fournit une analyse transversale des initiatives approfondies, complétée d'une analyse de la littérature pour la partie économique.

Le chapitre VII fournit en annexe des données supplémentaires pour appuyer les analyses, ainsi qu'une analyse approfondie des 5 initiatives retenues : Kyburz, Entech, xStorage, Connected Energy et Watt4ever.

II. Contexte, objectifs et méthodologie de l'étude

II.1. Contexte

Le gisement de batteries de mobilité usagées est attendu en forte hausse dans les années à venir, du fait de la forte croissance de la mobilité électrique dans les secteurs de la mobilité légère comme de la mobilité lourde.

Les batteries de mobilité en fin de vie, après 10 à 15 ans d'utilisation, ne sont plus utilisables pour de la mobilité du fait d'une perte de capacité électrique qui diminue leur autonomie. Cependant, elles ont encore une capacité résiduelle significative (généralement >70%), leur permettant d'être préparées pour une seconde vie, pour un même usage ou un usage différent.

La filière de seconde vie est encore en cours de structuration en Europe. En effet, elle ne bénéficie pas encore de cadre réglementaire adapté, celui-ci devant toutefois apparaître avec le Règlement européen en attente d'adoption à l'heure de l'écriture de ce rapport (mars 2023). Cependant, une multitude d'initiatives de seconde vie ont été identifiées en Europe, avec des maturités techniques et commerciales variables, du stade R&D au démonstrateur, et quelques initiatives proposent même une offre commerciale depuis quelques années.

II.2. Objectifs

L'étude a pour objectif de réaliser un état des lieux des initiatives de seconde vie des batteries Lithium-ion de mobilité électrique (mobilité légère et véhicules hybrides et électriques) en Europe et de donner une vision des perspectives de la seconde vie en Europe.

Pour cela il s'agit :

- D'évaluer le gisement potentiel des batteries usagées qui seraient utilisables en seconde vie, en France et en Europe
- De réaliser un état de l'art technico-économique des diverses solutions possibles de seconde vie avec établissement des retours d'expérience d'opérations réalisées en France et en Europe
- D'identifier les barrières à lever concernant la réutilisation de batteries en seconde vie et proposer des solutions

II.3. Définitions

Tableau 1: Glossaire (RECORD, 2023)

Terme	Définition	Source
Batterie (EN : batteries)	tout dispositif délivrant de l'énergie électrique générée par conversion directe d'énergie chimique, doté d'un stockage interne ou externe et constitué d'un ou plusieurs éléments ou modules de batterie, non rechargeables ou rechargeables, ou d'un ensemble de ceux-ci, y compris une batterie qui a fait l'objet d'une préparation en vue de sa réutilisation, d'une préparation en vue de sa réutilisation ou de sa reconversion, ou d'une refabrication.	Règlement Batteries et déchets de batteries – Accord provisoire résultant des négociations entre institutions (2023)

Terme	Définition	Source
Pack de batterie (EN : <i>battery pack</i>)	tout ensemble d'éléments ou de modules de batteries qui sont reliés entre eux ou encapsulés dans un boîtier extérieur de manière à former une unité complète que l'utilisateur final n'est pas censé diviser ou ouvrir.	Règlement Batteries et déchets de batteries – Accord provisoire résultant des négociations entre institutions (2023)
Module de batterie (EN : <i>battery module</i>)	un ensemble d'éléments de batterie qui sont reliés entre eux ou encapsulés dans un boîtier extérieur pour protéger les éléments contre les chocs extérieurs, et qui est destiné à être utilisé soit de manière autonome, soit en combinaison avec d'autres modules.	Règlement Batteries et déchets de batteries – Accord provisoire résultant des négociations entre institutions (2023)
Cellule de batterie (EN : <i>battery cell</i>)	l'unité fonctionnelle de base d'une batterie constituée d'électrodes, l'électrolyte, le bac, les bornes et, le cas échéant, les séparateurs, et contenant les matières actives dont la réaction génère de l'énergie électrique ;	Règlement Batteries et déchets de batteries – Accord provisoire résultant des négociations entre institutions (2023)
Système stationnaire de stockage de l'énergie par batterie (SES) (EN : <i>Stationary Energy Storage System / ESS</i>)	Une batterie industrielle avec stockage interne spécifiquement conçue pour stocker et fournir de l'énergie électrique depuis et vers le réseau ou stocker et fournir de l'énergie électrique à l'utilisateur final, indépendamment du lieu et de la personne par qui cette batterie est utilisée ;	Règlement Batteries et déchets de batteries – Accord provisoire résultant des négociations entre institutions (2023)
Concepteur de système de seconde vie (CSSV)	Un acteur concevant des systèmes énergétiques à partir de batteries usagées de la mobilité électrique.	Ce rapport
Système de gestion de la batterie (EN : <i>Battery Management System / BMS</i>)	un dispositif électronique qui contrôle ou gère les fonctions électriques et thermiques de la batterie dans le véhicule afin d'assurer la sécurité, les performances et la durée de vie de la batterie, qui gère et stocke les données sur les paramètres permettant de déterminer l'état de santé et la durée de vie prévue des batteries, conformément à l'annexe VII, et qui communique avec le véhicule, le moyen de transport léger ou l'appareil dans lequel la batterie est intégrée, ou avec une infrastructure de charge publique ou privée ;	Règlement Batteries et déchets de batteries – Accord provisoire résultant des négociations entre institutions (2023)

Terme	Définition	Source
Etat de santé (EN : State of Health / SoH)	<p>Une mesure de l'état général d'une batterie rechargeable et de sa capacité à fournir les performances spécifiées par rapport à son état initial.</p> <p>En pratique le SoH correspond aujourd'hui à l'état de charge et est utilisé pour désigner l'état de charge dans l'analyse des initiatives.</p>	Règlement Batteries et déchets de batteries – Accord provisoire résultant des négociations entre institutions (2023)
Etat de charge (EN : State of Charge / SoC)	énergie disponible dans une batterie, exprimée en pourcentage de la capacité nominale, telle qu'elle est déclarée par le fabricant	Règlement Batteries et déchets de batteries – Accord provisoire résultant des négociations entre institutions (2023)
Réemploi	toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus ;	Article L541-1-1 du Code de l'environnement (France)
Réutilisation	<p>toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau ;</p> <p>Remarque : la définition de la réutilisation n'existe pas dans la Directive Cadre 2008/98/CE, seule le réemploi et la préparation au réemploi sont définis (usage identique).</p>	Article L541-1-1 du Code de l'environnement (France)
Préparation à la réutilisation	toute opération de contrôle, de nettoyage ou de réparation en vue de la valorisation par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont préparés de manière à être réutilisés sans autre opération de prétraitement ;	Article L541-1-1 du Code de l'environnement (France)
Préparation à la réaffectation (EN : Preparing for repurpose)	toute opération par laquelle des parties d'une pile usagée ou une pile complète sont préparées de manière à pouvoir être utilisées à des fins ou pour des applications différentes de celles pour lesquelles elles ont été initialement conçues	Règlement Batteries et déchets de batteries – Accord provisoire résultant des négociations entre institutions (2023)
Réaffectation (EN : Repurposing)	toute opération par laquelle des parties d'une pile ou une pile complète, qui n'est pas une pile usagée, sont utilisées à des fins autres que celle pour laquelle la batterie a été initialement conçue	Règlement Batteries et déchets de batteries – Accord provisoire résultant des négociations entre institutions (2023)

Terme	Définition	Source
Remanufacturing (EN : <i>Remanufacturing</i>)	toute opération technique sur une batterie usagée qui comprend le démontage et l'évaluation de tous ses modules et éléments de batterie et l'utilisation d'une certaine quantité d'éléments et de modules de batterie, neufs, usagés ou récupérés dans les déchets, ou d'autres composants de batterie, afin de rétablir la capacité de la batterie à au moins 90 % de sa capacité nominale d'origine, et lorsque l'état de santé de tous les éléments de batterie individuels est homogène, ne différant pas de plus de 3 % les uns des autres, et que la batterie est utilisée dans le même but ou pour la même application que celle pour laquelle elle a été conçue à l'origine ;	Règlement Batteries et déchets de batteries – Accord provisoire résultant des négociations entre institutions (2023)
Seconde vie (EN : <i>second life</i>)	Remanufacturing, préparation à la réutilisation, réaffectation ou préparation à la réaffectation des batteries usagées	Ce rapport
LFP	Lithium Fer Phosphate	-
NMC	Nickel Manganèse Cobalt (technologie de Li-ion)	-
NMA	Nickel Manganèse Aluminium Oxide (technologie de Li-ion)	-

II.4. Périmètre de l'étude

L'étude concerne uniquement les batteries Li-ion usagées issues de la mobilité électrique, en trois catégories :

- Les véhicules électriques et hybrides rechargeables (VHE), incluant voitures particulières et véhicules utilitaires légers (camionnettes). Cette catégorie est nommée dans la suite de l'étude « mobilité lourde ». Les batteries Li-ion d'appoint aux technologies hybrides et piles à combustible ont été incluses dans l'estimation des gisements mais elles ne font pas l'objet d'investigations détaillées en matière de potentiel de seconde vie (gisement limité).
- Les véhicules électriques à 2,3 ou 4 roues, incluant motos, scooters (2 et 3 roues) et quadricycles. Cette catégorie a été analysée pour la partie évaluation du gisement mais elle ne fait pas l'objet d'investigations détaillées en matière de potentiel de seconde vie (gisement limité).
- Les vélos à assistance électrique VAE et les engins personnels de mobilité électrique (EPDM), incluant trottinettes, hoverboards et gyropodes. Cette catégorie est désignée dans la suite de l'étude comme la « mobilité légère ».

Les technologies de ces batteries sont aujourd'hui majoritairement des technologies de type Lithium-ion (Li-ion), mais des technologies lithium métal ainsi que nickel-hydrure métalliques sont aussi présentes sur le marché. Ces deux dernières technologies représentant des parts plus faibles du marché, l'étude inclus dans son périmètre seulement les batteries de technologie Li-ion.

Géographiquement le champ de l'étude se limite à l'échelle européenne.

En ce qui concerne les initiatives étudiées (chapitre V), sont inclus dans le screening les projets de seconde vie de ces batteries pour un même usage ou pour un usage différent. Dans les cas des batteries de mobilité lourde, ne sont pas inclus les procédés de préparation à la seconde vie avec intervention au niveau des cellules, en effet ce type d'intervention est marginal.

II.5. Méthodologie

II.5.1. Plan de travail

L'étude s'est déroulée de mars 2022 à avril 2023.

La méthodologie est résumée dans le schéma de plan de travail ci-dessous.

Objectifs	Moyens
Phase 1: Démarrage et état des lieux	
<ul style="list-style-type: none"> • Champ de l'étude • Gisement actuel et prospectif en France et en Europe • Fin de vie actuelle et potentiel de seconde vie • Contexte réglementaire actuel et à venir 	<ul style="list-style-type: none"> • Discussion avec les membres • Modèle WAPO et compléments • Consultations étude ADEME en cours • Littérature, consultations étude ADEME en cours
Phase 2: Etat de l'art technico-économique	
<ul style="list-style-type: none"> • Identification des initiatives • Sélection de 5 initiatives • Approfondissement 	<ul style="list-style-type: none"> • Screening littérature et consultation des membres + synthèse • Critères, proposition de présélection et sélection en COPIL n°2 • Critères d'analyse, 1-2 entretiens par initiative
Phase 3: Conclusions et recommandations	
<ul style="list-style-type: none"> • Freins et leviers techniques, économiques et réglementaires • Critères permettant de juger du caractère réutilisable • Option: atelier de clôture participatif 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse des données

Figure 1: Plan de travail de l'étude (RECORD, 2023)

II.5.2. Estimations du gisement

II.5.2.1. Batteries de vélos à assistance électriques (VAE) et d'engins de déplacement personnels motorisés (EPDM)

Afin d'estimer le gisement des batteries de mobilité légère en fin de vie disponibles pour les 20 prochaines années, une estimation des futures ventes de VAE et EPDM est réalisée.

Pour cela, des projections linéaires sont construites à partir des données suivantes :

- Les données de ventes et des projections provenant de l'observatoire du cycle 2021 produit par Sport et Cycle pour les VAE, incluant notamment une hypothèse de 3 millions de ventes de VAE en 2030.
- Les données de vente de trottinettes électriques 2021 mises à disposition par la FP2M. Les données concernant les autres engins de micromobilité électriques ayant été extrapolées à partir des répartitions de marchés (en nombre) en 2020 : soit environ 80% de part de marché pour les trottinettes électriques et 20% pour les autres engins que sont les hoverboard, skate électriques, engins avec selles, gyroroues et gyropodes.

Ces données ne concernant que des ventes françaises, les projections de ventes européennes sont extrapolées par habitant en se basant sur les évolutions de population en France et en Europe prévues par la Banque Mondiale.

Dans un même temps, les durées de vie des batteries et des véhicules ont été récupérées auprès de la FP2M, de l'Union Sport et Cycle ainsi qu'à partir de l'évaluation de la filière des piles et accumulateurs industriels 2017 de l'ADEME (en moyenne 3-4 ans pour les vélos électriques et 2 ans pour les trottinettes, tenant compte du marché de la location). A partir de ces durées, des probabilités de fin de vie sont estimées sur une période de 6 ans sous la forme d'une gaussienne.

Ces probabilités de fin de vie sont alors associées aux projections de vente afin d'obtenir des prévisions sur le nombre de batteries en fin de vie des 20 prochaines années.

Il est alors possible de ramener ce nombre en tonnes en considérant des batteries de 2,5 kg pour les VHE et de 2 kg pour les EPDM (Source : ADEME (2017) EVALUATION DE LA FILIERE DES PILES ET ACCUMULATEURS INDUSTRIELS). De même, cette quantité peut être exprimée en Wh en considérant que la densité énergétique d'une batterie lithium-ion de 200 Wh/kg (cette valeur étant en cohérence avec les capacités des batteries de VHE identifiées pour les différentes initiatives partie V.1).

Cette estimation du gisement exprimée en kWh correspond alors à la capacité neuve des batteries arrivant en fin de vie. La méthodologie appliquée pour estimer le potentiel de seconde vie est explicitée en partie II.5.2.4.

II.5.2.2. Batteries de 2-3-4 roues motorisés

Les projections s'appuient sur des données de marché passées fournies par l'ACEM (Association représentant l'industrie des motos et scooters en Europe) pour les années 2010 à 2021, pour les motos, scooters, motos électriques, scooters électriques et quadricycles, et des hypothèses de taux de croissance des motos et scooters, ainsi que d'évolution des parts de marché de la motorisation électrique. L'ACEM n'a pas réalisé de projections sur lesquelles se baser, des hypothèses ont donc été réalisées dans le cadre de cette étude, en s'appuyant sur des données qualitatives fournies par l'ACEM.

Hypothèses réalisées :

- Les ventes de quadricycles ne sont pas incluses sur l'ensemble de la plage temporelle passées, des hypothèses ont donc dû être réalisées à partir des ventes de scooters. Les quadricycles représentaient 11% du marché des scooters et quadricycles en 2017 en Europe. Cette part de marché a été retenue pour l'ensemble des projections afin d'inclure les quadricycles dans les données à partir des données disponibles pour les scooters. La part de marché de la

motorisation électrique des quadricycles a été calée sur la part de marché des scooters électriques.

- Croissance de 1% par an des ventes de motos et de 2% par an des ventes de scooters (toute motorisation) jusqu'en 2040– hypothèse des auteurs sur base de la documentation ACEM suggérant des perspectives de croissance des 2 roues comme mode de mobilité urbaine, et des évolutions passées.

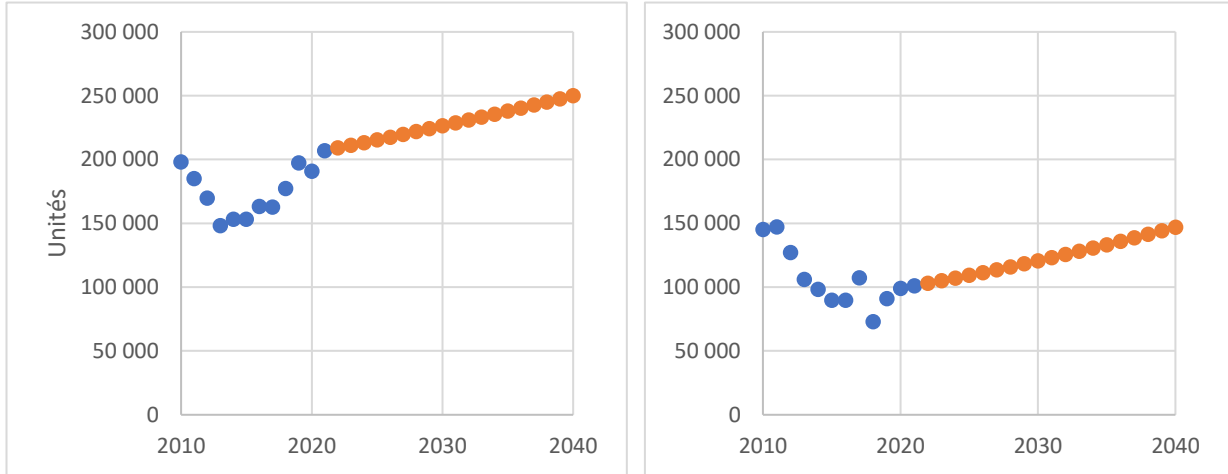


Figure 2 : Ventes annuelles de scooters et motos électriques en France (à gauche : motos, à droite scooters, en bleu les données passées, en orange les hypothèses) (RECORD, 2023)

- Croissance des parts de marché de la moto électrique jusque 60% en 2040 et des scooters électriques jusque 100% en 2040
Les motos et scooters électriques ne sont pas concernés par l'obligation de fin des ventes de véhicules thermiques à horizon 2035 récemment adoptée par le Parlement européen. Il est supposé que les incitants à l'électrification seront plus forts pour les scooters électriques utilisés plus largement en ville (enjeux de bruit, qualité de l'air), que pour les motos qui sont partiellement utilisés pour un usage de loisirs.

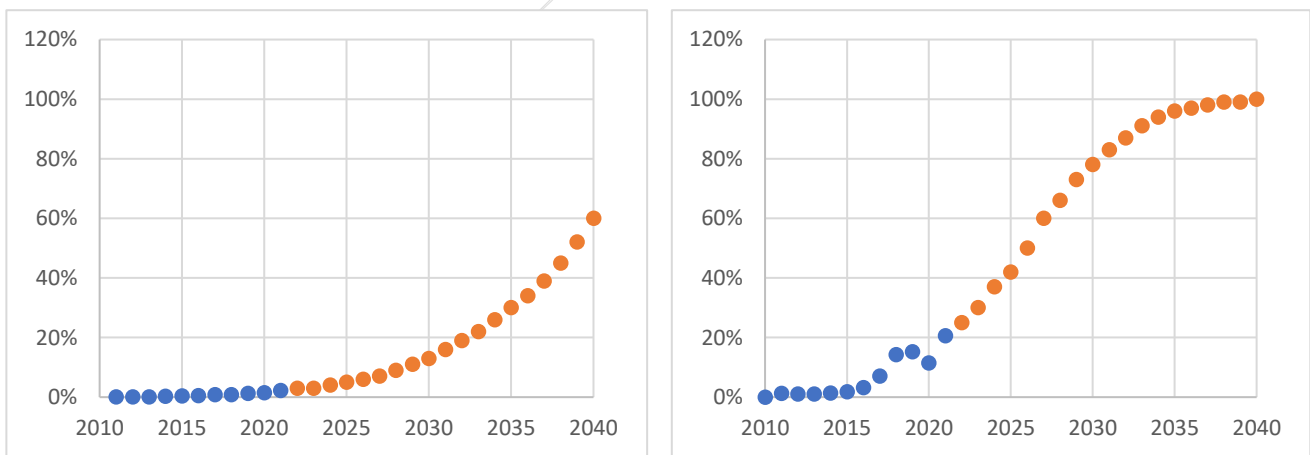


Figure 3 : Croissance de la part de marché des scooters et motos électriques (à gauche : motos, à droite scooters, en bleu les données passées, en orange les hypothèses) (RECORD, 2023)

- Durée de vie de 5-6 ans en moyenne pour la batterie (Source : Purerider.fr). Des hypothèses de probabilité de fin de vie sont réalisées sur 10 ans sous forme d'une gaussienne. Ces probabilités de fin de vies sont alors associées aux projections de vente afin d'obtenir des prévisions sur le nombre de batteries en fin de vie des 20 prochaines années.

- Poids de la batterie de 20 kg pour les scooters et 25 kg pour les motos. Capacité de la batterie de 4 kWh pour les scooters et 5 kWh pour les motos (cohérent avec la densité de 200 kWh/tonne identifiée pour les autres types d'engins électriques). A noter que les batteries de motos électriques sont de capacité très variable entre 3 et 7 kWh et de poids variable allant jusque 40 kg. Source : www.go2roues.fr
- Extrapolation du gisement au marché européen sur base des parts du marché français dans le marché EU+UK fournies par l'ACEM pour l'année 2021 (16% pour les motos électriques et 23% pour les scooters électriques)

Remarques :

- 1) Les véhicules trois roues sont inclus dans les estimations de marché pour les scooters.
- 2) Les hypothèses de part de marché de 2,3,4 roues électriques sont plutôt optimistes et pourtant les quantités de batteries issues de 2,3,4 roues électriques sont faibles par rapport aux véhicules particuliers et VUL. Les quantités de 2,3,4 roues électriques sont donc peu dimensionnantes pour estimer le gisement total de batteries réutilisables et n'ont pas été davantage affinées.

La méthodologie appliquée pour estimer le potentiel de seconde vie est explicitée en partie II.5.2.4.

II.5.2.3. Batteries de Véhicules Légers (Particuliers et Utilitaires Légers)

Les projections s'appuient sur l'outil et les travaux réalisés par BIPE-BDO avec et pour la PFA (Plateforme Filière Automobile & Mobilités) dans le cadre du World Automotive Powertrain Outlook WAPO.

Ces travaux de modélisation et de prospective consistent en des scénarios d'évolution du mix de motorisations en Europe et dans le reste du monde, dont sont extraits les données et résultats pour la France. Ceux-ci sont directement utilisés comme référence par la PFA et ses six membres principaux et acteurs mondiaux du secteur – deux constructeurs (Renault, Stellantis) et quatre équipementiers de rang 1 (Forvia, Michelin, Plastic Omnium, Valeo) – en interne pour leur stratégie « produits » et auprès des pouvoirs publics français et européens.

La méthodologie est décrite dans la note Technique sur les travaux Europe de 2021¹ et dans le rapport ADEME *Impact de l'électrification du parc de voitures sur la filière VHU* (2023, publication à venir).

Les principales caractéristiques du modèle à retenir sont les suivantes :

- C'est un modèle fondé sur la demande, reposant sur le choix rationnel fait par les acheteurs de VL en fonction du coût total de possession (Total Cost of Ownership TCO) du véhicule. Le paquet « Fit For 55 » de la Commission Européenne inclut plusieurs propositions spécifiques aux véhicules légers, avec notamment la volonté d'interdire toute motorisation à base thermique à partir de 2035. Ces éléments ont été inclus dans la modélisation ;
- Le coût total de possession du véhicule est modélisé selon deux scénarios appelés Green Growth (GG) et Green Constraint (GC). Ils sont tous les deux liés à une intensité forte de la réglementation environnementale et se différencient principalement par le biais de la croissance économique, qui induit une plus grande différence de coût entre énergie fossile et énergie bas carbone dans le scénario GG, et est donc favorable au déploiement des véhicules électriques ;
- Le modèle inclut une granularité fine des motorisations disponibles (dont les électriques et toutes les hybrides) et de segments de véhicules (sept segments de véhicules particuliers VP,

¹ https://pfa-auto.fr/wp-content/uploads/2021/05/DT_WAPO2021_release07-2022.pdf

quatre segments de véhicules utilitaires légers VUL) : cf. tableaux ci-après. Les volumes de batteries sont donc également distingués par catégorie de véhicule VP et VUL.

- Une durée de vie moyenne de 14-15 ans a été retenue pour estimer les sorties du parc roulant de véhicules thermiques. Pour les véhicules électriques, du fait d'une plus faible durée de vie de la batterie, l'hypothèse choisie de taux de retenue évolue jusqu'à établissement du parc électrifié :
 - avant 2030, 75 % des véhicules électrifiés sortants âgés de 10 ans et plus, en prenant en compte la durée de vie des batteries des véhicules vendus avant 2020
 - après 2030, 75 % des véhicules électrifiés sortants âgés de 12 ans et plus, à l'identique du flux de VHU thermiques
- Le flux de VHU a été estimé à partir des sorties du parc roulant, en tenant compte des quantités de véhicules dont la localisation est inconnue car ils sont stockés ou exportés illégalement, principalement au sein de l'UE. La modélisation ne prend pas en compte la mise en place d'une filière REP pour les VHU au niveau français voire européen, qui devrait diminuer les flux non tracés et donc augmenter le flux de VHU (et de batteries) disponible.

Tableau 2 : Segmentation du modèle WAPO (gammes de véhicules), (RECORD, 2023)

Segment	Description	En anglais	Exemple
[Véhicules Particuliers]			
A	Compact	Extra Small Car	Smart, Renault Twingo
B_Bas/Low	Petit Berline	Small Car	Peugeot 208, Renault Clio
B_Haut/High	Petit SUV	Compact SUV	Peugeot 2008, Renault Captur
C_Bas/Low	Berline Moyen	Medium Car	Peugeot 308, Renault Mégane
C_Haut/High	SUV Moyen	Medium SUV	Peugeot 3008, Renault Scénic
D_Bas/Low	Grande Berline	Large Car	Peugeot 508, Renault Talisman
D_Haut/High	Grand SUV	Large SUV	Peugeot 807, Renault Koleos
[Véhicules Utilitaires Légers]			
F1	Petite Camionnette	Micro Van	Peugeot Bipper, Renault Kangoo
K1	Camionnette Moyenne	Medium Van	Peugeot Expert, Renault Trafic
K2	Grand Camionnette	Heavy Van	Peugeot Boxer, Renault Master
PU	Pick-Up	Pick-Up Truck	VW Amarok...

Tableau 3 : Dénomination des motorisations électrifiées incluses dans le modèle WAPO, (RECORD, 2023)

Powertrain	Description	En anglais
HEV / Full Hybrid	Véhicules électriques hybrides	Hybrid Electric Vehicle

PHEV	Véhicule Hybride Rechargeable (VHR)	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
BEV	Véhicule électrique à batteries	Battery Electric Vehicle
Mild Hybrid 12V/48V / MHEV	Véhicule à hybridation légère 12V/48V	Mild Hybrid Vehicle
EREV	Véh. élec. avec prolongateur d'autonomie	Extended Range EV
Fuel Cell	Véhicule à Pile A Combustible (PAC)	Fuel Cell Vehicle
PFCV	Véhicule PAC hybride rechargeable	Fuel Cell Plug-In Hybrid

Toutes les motorisations sont incluses dans cette étude. Pour les motorisations Fuel Cell et PFCV, même si la technologie principale n'est pas au Li-ion, il y a une batterie au Li-ion qui équipe les véhicules afin de préserver la pile à combustible. Les chiffreages présentés ci-dessous correspondent à la partie Li-ion uniquement.

Propriété des batteries en fonction des technologies

Les propriétés des batteries neuves dépendent des technologies utilisées.

Tableau 4: Propriétés des batteries (Durmus et al., 2020)²

	Densité énergétique (batterie neuve) – Wh/kg
NCA	200-260
NMC	150-250
LCP	120-210
LMO	100-130
LFP	80-150

Les packs batteries pèsent ont une densité située entre 130 et 170 kWh/tonne d'après les spécifications techniques constructeurs pour quelques modèles courants³. Une densité de 150 kWh/tonne a été retenue.

² Z.Y.E., Durmus; H., Zhang; F., Baakes; G., Desmaizie, (2020), Side by side battery technologies with lithium-ion based batteries, Adv. Energy Mater., vol. 10, no. 24

³ BMW i3, Renault Zoé, Nissan Leaf, Hyundai Kona, Chevrolet Bolt, Tesla modèle S, Kia EV6, Volkswagen ID4

II.5.2.4. *Potentiel de seconde vie*

L'analyse transversale (VI.2.4) permet d'estimer le potentiel de stockage énergétique de la seconde vie à partir du gisement prospectif de batteries en fin de vie.

Pour cela deux paramètres sont à prendre à compte :

- La proportion de batteries pouvant être réutilisée. Cette proportion doit être identifiée par différents tests et notamment une mesure du SoH. Pour les batteries issues de la mobilité lourde, ce gisement peut être estimé entre 15% et 30% des batteries arrivant en fin de vie actuellement.
- La capacité résiduelle des batteries usagées réutilisées. Cette capacité est identifiée à l'aide du SoH (capacité restante par rapport à la capacité initiale), ce SoH variant entre 70% et 90% d'après l'analyse transversale.

Ces deux chiffres sont incertains et amenés à évoluer dans les futures années. En effet, les batteries usagées disponibles actuellement sont principalement (à l'exception de quelques gisements spécifiques) issues de véhicules tests et sont donc susceptibles d'avoir un meilleur SoH et ainsi d'être davantage réutilisables que le gisement futur moyen de batteries usagées. A l'inverse, les économies d'échelle pourraient conduire davantage de modèles de batteries en fin de vie à être considérées réutilisables car les coûts de prototypages deviendront abordables quand le gisement de batteries en fin de vie associé sera suffisant.

Pour l'estimation du gisement, il est donc proposé de retenir :

- 30% du gisement des batteries en fin de vie ;
- 70% de SoH pour les batteries faisant l'objet d'une seconde vie.

Ces chiffres ont été appliqués aux batteries de mobilité lourde et aux batteries de mobilité légère.

II.5.3. Screening des initiatives

Afin de réaliser un état de l'art technico-économique, une première étape de screening des initiatives de seconde vie en Europe a été réalisée. Cette étape a permis de recenser une soixante-dizaine de projets divers pour avoir une vue globale que ce soit en termes de type de projet, de maturité ainsi de localisation.

Cette première étape permet de proposer un premier panorama et une analyse transversale des projets existants pour dans un second temps, sélectionner des initiatives diverses et représentatives afin de les approfondir.

Ce screening a été réalisé sur la base de consultations d'experts européens et dans différents pays ainsi qu'à l'aide d'une recherche des informations disponibles via des recherches internet multilingues. Ces initiatives recensées concernent aussi bien des projets de prototypes que des installations ponctuelles ou des entreprises spécialisées ou encore des partenariats entre différents acteurs. Sont considérés les projets liés à la seconde vie de batteries de mobilité légère et de mobilité lourde dont les capacités et les modes de gestion sont totalement différents.

II.5.4. Sélection et analyse approfondie d'initiatives

Parmi les initiatives recensées, une sélection de 5 entreprises a été faite par le COPIL à partir de critères permettant d'avoir une vision d'ensemble du secteur de la seconde vie. Ces critères incluent :

- Le pays de l'initiative,
- L'année identifiée de début de l'initiative,
- Les applications de seconde vie visées,
- La quantité de projets menés par l'entreprise,
- Les partenariats impliqués,
- Le niveau d'informations disponibles,
- Différentes particularités qui distinguent l'initiative des autres initiatives recensées.

Pour chacune des entreprises sélectionnées, un entretien téléphonique a été réalisé afin de collecter des informations sur l'initiative et sur le secteur. Ces entretiens ont ensuite été complétés par des échanges complémentaires écrits et oraux. La liste des personnes ayant participé est fournie en annexe (VII.1).

Les informations récupérées ont ensuite été décrites dans des fiches synthèses par initiative. A cela s'ajoute une analyse transversale mettant en perspective les éléments récupérées auprès des différents acteurs.

III. Contexte réglementaire

III.1. Situation actuelle

III.1.1. Gestion des batteries en fin de vie

La Directive 2006/66/CE relative aux piles et accumulateurs ainsi qu'aux déchets de piles et d'accumulateurs fixe le cadre réglementaire applicable en Europe à la gestion des batteries de mobilité électrique en fin de vie. Ce texte définit trois catégories de piles et accumulateurs :

- les piles et accumulateurs portables définis comme des « piles scellées, pouvant être portées à la main et qui ne font pas partie des autres catégories » ;
- les piles et accumulateurs automobiles définis comme « toute pile ou accumulateur destiné à alimenter les systèmes de démarrage, d'éclairage ou d'allumage » ;
- **les piles et accumulateurs industriels** définis comme « toute pile ou accumulateur conçu à des fins exclusivement industrielles ou professionnelles ou utilisé dans tout type de véhicule électrique ».

Ces définitions ont été transposées en droit français dans le Code de l'environnement R423-125.

Les batteries de mobilité électriques utilisées pour la traction des véhicules ne sont donc pas des piles et accumulateurs automobiles ou portables, mais bien des piles et accumulateurs de catégorie industrielle, quel que soit l'engin qu'elles propulsent (voitures, VAE, EPDM).

En termes de gestion des batteries en fin de vie, il en résulte que les batteries de mobilité électrique ne sont pas concernées par les obligations de mise en place de systèmes de collecte et de reprise gratuite chez le distributeur prévues à l'article 8 de la Directive 2006/66/CE pour les piles et accumulateurs de catégorie portable, mises en place sous forme d'une responsabilité élargie du producteur au niveau français (article R543-18-3). Elles ne sont pas non plus concernées par l'objectif de collecte séparée de 45% pour les batteries portables.

Pour les batteries industrielles, les metteurs en marché sont uniquement tenus de ne pas refuser de reprendre aux utilisateurs finals les déchets de piles et accumulateurs industriels (article 8 de la Directive). Au niveau français, des obligations supplémentaires incombent aux metteurs en marché, comme la mise en place de systèmes de reprise tels que des points d'apport volontaire ou équivalent, l'obligation de reprise gratuite et l'obligation d'information des utilisateurs concernant les systèmes mis en place (article 543-20). Il n'y a cependant pas d'obligation de mise en place d'un système collectif de responsabilité élargie du producteur. Pour les batteries de mobilité, la réglementation repose donc sur la contractualisation directe entre le détenteur et le metteur en marché.

Il n'y a pas d'éco-organisme agréé en France pour les batteries de mobilité à ce jour. En pratique, il existe des filières volontaires collectives hors agrément pour les batteries de VAE et EPDM, mises en place par les deux éco-organismes en charge de la filière portable, COREPILE et SCRELEC. D'autre part, il existe des systèmes individuels pour la gestion des batteries de voitures électriques et hybrides, mais ceux-ci sont en cours de construction. Ces filières sont comparativement moins suivies par les pouvoirs publics à l'heure actuelle que la filière portable.

En outre, la Directive Batteries actuelle n'envisage pas la seconde vie des batteries en tant qu'opération de traitement et est clairement orientée vers le recyclage. Le traitement est par exemple défini comme « toute activité effectuée sur des déchets de piles et d'accumulateurs après que ceux-ci ont été remis à une installation de tri, de préparation au recyclage ou de préparation à l'élimination ». Les objectifs fixés aux Etats Membres visent à favoriser le recyclage.

Le statut de déchet et les responsabilités en cas de seconde vie des batteries ne sont pas clarifiés.

III.1.2. Sécurité et mise en marché

En matière de sécurité des batteries préparées à la seconde vie, il n'existe pas de cadre réglementaire ou normatif spécifique en Europe.

De même pour les batteries neuves, la sécurité des batteries seules n'est pas garantie par un texte réglementaire au niveau de la mise en marché / de l'usage.

En revanche, la Directive Machines impose aux metteurs en marché de machines (comprenant la batterie) de satisfaire « aux exigences essentielles de santé et de sécurité pertinentes énoncées à l'annexe I ». Les exigences de santé et sécurité réglementaires sont générales mais elles sont déclinées sous forme de normes harmonisées, qui ne sont pas d'application obligatoire. La conformité à la norme permet de démontrer la conformité aux exigences réglementaires. Sans conformité à la norme les metteurs en marché doivent pouvoir démontrer que les exigences de sécurité réglementaires sont toute de même remplies. Ce sont les consommateurs qui peuvent mettre une pression aux préparateurs pour que la garantie de sécurité soit assurée.

En outre, les batteries incorporées dans des véhicules électriques (y compris les batteries remanufacturées), doivent respecter la réglementation européenne en matière d'homologation (Règlement 2018/858) et subir un processus d'homologation UNR 1000.

Il existe un large éventail de normes européennes et internationales contrôlant les performances et la sécurité des piles et accumulateurs neufs pour diverses applications. En pratique, les normes applicables diffèrent en fonction de l'utilisation visée (et non de l'utilisation initiale de la batterie)⁴ :

- Automobile : test de sécurité avec le véhicule entier et tests pour les batteries seules ;
- Stationnaire : exigences plus élevées pour la résistance de la batterie à la pluie, la propagation thermique (risque d'incendie) et le fonctionnement en haute tension (selon l'application) ;
- Mobilité légère : test pour la batterie seule.

Elles imposent des tests de performance et de sécurité et définissent la manière dont les performances peuvent être communiquées (plages de tolérance). Cependant, aucune d'entre elles ne prévoit jusqu'à présent de procédures spécifiques pour la seconde vie.

La seule norme qui couvre la seconde vie est nord-américaine : UL 1974 (2018) - Norme d'évaluation pour la réaffectation des batteries. Elle fournit des indications intéressantes qui pourraient être appliquées aux futures normes européennes et internationales :

- Elle fixe une date d'expiration pour les batteries : elles ne peuvent pas être réutilisées si leur durée de vie a déjà dépassé la date d'expiration. Cette disposition est contestée par les acteurs de la seconde vie puisque le vieillissement n'est pas directement lié à l'âge de la batterie ;
- Elle exige que les opérateurs de réutilisation organisent une inspection visuelle et recherchent l'accès aux informations sur l'historique de la batterie afin de décider si la batterie peut être préparée pour une seconde vie ;
- Des tests de routine sont demandés sur l'entrée.
- La sortie doit être testée sur la base des normes existantes pour les nouvelles batteries sur la base d'échantillons représentant les pires scénarios en termes d'état de santé ;
- Les tests de vieillissement doivent être menés en parallèle par les opérateurs de réutilisation. Il n'est pas nécessaire d'attendre les résultats de ces tests avant de mettre sur le marché des batteries de seconde vie, car ils durent plusieurs mois/années, mais l'opérateur de réutilisation

⁴ IEC 61960-3:2017 – portable batteries and light mobility, IEC 62133 – portable batteries and light mobility, GTR No. 20 (vehicles of category 1 and 2), UN Reg. No. 136 (vehicles of category L), IEC 62619 (industrial, applicable to both stationary and transport uses), IEC 63056 (stationary)

doit être prêt à adapter les performances visées à l'avenir, si nécessaire, en fonction des résultats obtenus.

III.2. Perspectives

Le 10 décembre 2020, une proposition de Règlement européen Batteries a été déposée par la Commission Européenne. La proposition de la Commission a fait l'objet de plusieurs rapports du Conseil de l'UE en 2021. Le Parlement européen a adopté sa position de négociation lors de la séance plénière du 10 mars 2022. Le 9 décembre 2022, le Conseil et le Parlement ont adopté un accord provisoire sur un projet de texte⁵. Celui-ci doit encore être adopté formellement par le Parlement. C'est cette dernière version, a priori proche du texte final qui a été analysée dans cette section.

Le projet de Règlement Batteries européen prévoit différents aménagements qui affectent la seconde vie.

III.2.1. Gestion des batteries en fin de vie

Le statut de déchet n'est pas clarifié

Le Règlement Batteries ne définit pas le moment auquel une batterie usagée devient un déchet. C'est la définition du déchet de la Directive Cadre Déchets qui s'applique : « toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». Cette définition est mise en œuvre par les Etats Membres, certaines décisions de la Cour de Justice de l'Union Européenne faisant jurisprudence en la matière.

Le réemploi n'est pas couvert par les obligations liées à la seconde vie

Les batteries faisant l'objet d'un réemploi sont des batteries qui répondent à la définition du réemploi de la Directive Cadre Déchets : « toute opération par laquelle des produits ou des composants qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus ». Ces batteries ne sont pas sujettes aux obligations relatives à la seconde vie dans le cadre du projet de Règlement.

La Commission Européenne a clarifié⁶ que l'usage de batteries de mobilité pour des usages de stockage stationnaire ne peut rentrer dans ce cadre puisque les usages ne sont pas identiques : l'usage d'une batterie de mobilité est d'assurer la traction d'un véhicule alors que l'usage d'une batterie de stockage stationnaire est de fournir des fonctions spécifiques au réseau électrique.

En revanche, les modèles répondant à la définition de réemploi, comme par exemple les modèles d'échange de batteries de mobilité⁷, ne sont pas couverts par des obligations spécifiques dans le cadre du projet de Règlement.

⁵ https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/plmrep/COMMITTEES/ENVI/AG/2023/01-23/2023-01-18-Batteries-provisional_agreement_EN.pdf

⁶ Echange avec Cesar Santos, DG ENV B3, mai 2023

⁷ <https://www.euronews.com/next/2023/04/09/tired-of-waiting-ev-charging-stations-first-nio-battery-swap-stations-open-in-europe>

Un cadre juridique pour la seconde vie

La seconde vie se voit créer un cadre juridique avec la création de définitions (cf. section II.3). 4 statuts différents sont créés⁸ :

- Pour les batteries usagées qui n'ont pas le statut de déchet :
 - Le remanufacturage (capacité similaire, usage ou application identique)
 - La réaffectation (usage différent)
- Pour les batteries usagées qui ont le statut de déchet :
 - La préparation à la réutilisation (usage ou application identique)
 - La préparation à la réaffectation (usage différent)

Il existe une ligne claire entre le réemploi et ces 4 opérations. Quel que soit le statut de déchet ou non-déchet, si l'opération rentre dans l'une de ces catégories, les opérateurs sont soumis à des obligations de responsabilité élargie du producteur (article 44a, article 47) lors de mise en marché ou la mise en service⁹ :

- Tout opérateur économique qui met sur le marché une batterie qui résulte d'une opération de préparation à la réutilisation, de préparation à la réaffectation, de réaffectation ou de remanufacturage est considéré comme le producteur de la batterie et a une responsabilité élargie du producteur ;
- Les opérateurs doivent s'assurer que les vérifications, tests de performances, l'emballage et l'expédition des batteries et de leurs composants suivent les processus de contrôle qualité et les instructions de sécurité adéquates ;
- Les opérateurs doivent s'assurer que les batteries respectent les exigences du Règlement (passeport batteries, sécurité, enregistrement, étiquetage...), et notamment pour les batteries remanufacturées les exigences de capacité et d'état de santé conformes à la définition ;

Les opérations de préparation à la réaffectation (usage différent) et de préparation à la réutilisation (usage identique) doivent être considérées comme des opérations de traitement des déchets car la batterie usagée est considérée comme un déchet.

Les opérations de remanufacturage (usage identique) et de réaffectation (usage différent) ne sont pas des opérations de traitement de déchets car la batterie usagée n'est pas considérée comme un déchet.

C'est aux autorités publiques compétentes dans les Etats Membres de définir si la batterie usagée est un déchet ou non, d'après la définition générale de la Directive Cadre Déchets (article 3) et la jurisprudence applicable. La Commission Européenne n'a pas clarifié les types de modèles d'affaires qui relèvent d'une catégorie d'opération ou d'une autre. Cependant, comme précisé plus haut, les 4 catégories d'opérations de seconde vie doivent se conformer à une série d'obligations communes, quel que soit le statut de déchet ou non-déchet.

Un cadre minimum pour obtenir la sortie de statut de déchet des batteries ayant fait l'objet d'une opération de préparation à la réutilisation, de préparation à la réaffectation.

Ce cadre prévoit (article 59) qu'il faut

⁸ Le considérant 12b du projet de Règlement précise que le remanufacturage, s'il a lieu sur des batteries qui ont le statut de déchet, peut être assimilé soit à de la préparation à la réutilisation, soit à de la préparation à la réaffectation, c'est pourquoi il n'y a pas de citation spécifique du remanufacturage dans le cadre applicable à la seconde vie.

⁹ La mise en service est « l'utilisation première, pour l'usage visé, dans l'union européenne, d'une batterie qui n'a pas été mise en marché précédemment ». Cette définition vise à couvrir notamment le cas des batteries industrielles qui sont assemblées directement chez l'utilisateur.

- que l'état de santé ait été évalué, ou la batterie testée, en relation avec l'usage et les performances visées;
- que l'usage futur de la batterie soit documenté, via un contrat de vente ou une facture ou un transfert de propriété de la batterie ;
- et qu'elle soit protégée contre les dommages lors du transport et du déchargement.

Les informations concernant la sortie de statut de déchet doivent être fournies aux utilisateurs finaux dans la documentation technique qui accompagne la batterie lors de sa mise sur le marché ou de sa mise en service. La Commission est habilitée à définir des actes d'exécution pour préciser les tests et les contrôles à réaliser. La Commission ne prévoit pas de le faire sauf si nécessaire, c'est-à-dire si les dispositions générales de l'article 59 ne sont pas jugées suffisantes en pratique.

Des catégories de batteries spécifiques

Les batteries automobiles actuelles seront appelées batteries SLI pour batterie de démarrage, éclairage ou allumage (Starter, Lightning, Ignition) et qui peuvent également être utilisées à des fins auxiliaires ou de secours dans des véhicules, d'autres moyens de transport ou des machines.

Les batteries de véhicules électriques de transport routier (hors VAE et EPDM) de plus de 25kg formeront une nouvelle catégorie de batteries à part. Les batteries de véhicules de catégorie L (deux, trois et quatre roues motorisées) comme M (transport de personnes) et N (transport de marchandises) seront concernés.

Les batteries de moyens de transport légers (EPDM et VAE) seront considérées comme des batteries avec une catégorie dédiée (LMT), jusqu'à un seuil de 25kg, y compris les batteries de deux, trois et quatre roues motorisées concernées. Elles feront l'objet d'un objectif de collecte séparée spécifique.

Les batteries utilisées dans des jouets soumis à la Directive sur la sécurité des jouets 2009/48/CE seront des batteries portables et non des batteries de moyens de transport légers.

Les considérants du Règlement prévoient également d'amender la classification des déchets (2000/532/EC) pour assurer la création de codes déchets spécifiques pour désigner les batteries Li-Ion.

La responsabilité élargie du producteur pour toutes les batteries

Toutes les catégories de batteries (y compris les batteries de mobilité) seront soumises à la responsabilité élargie du producteur et non plus seulement à des obligations de mise en place d'un système de reprise gratuite.

Les coûts éventuels de démantèlement des plus grosses batteries chez l'utilisateur avant gestion en fin de vie seront à supporter par les metteurs en marché et non par les utilisateurs.

Des exigences minimales sont proposées pour la REP, de manière cohérente avec les dispositions des articles 8 et 8bis de la Directive Cadre Déchets 2008/98/CE. Les metteurs en marché pourront choisir entre un système individuel ou collectif de responsabilité élargie du producteur. Les distributeurs feront partie des canaux de collecte pour les batteries de véhicules électriques, et pourront en faire partir pour les batteries de moyens de transport légers.

Les producteurs devront couvrir les coûts de la fin de vie et de fourniture d'information. Le producteur initial ne devra pas supporter les coûts de la fin de la seconde vie. Les coûts et recettes de préparation à la seconde vie seront pris en compte si la batterie devient déchet, au même titre que les coûts et revenus du recyclage. Le texte précise que des mécanismes d'attribution des coûts entre les metteurs en marché des batteries au cours de leurs vies successives pourront être développés, mais sans spécifier davantage la répartition des coûts.

La modulation des contributions financières devra prendre en compte le fait que les batteries sont sujettes à une préparation à la réutilisation, à la réaffectation ou au remanufacturage, en plus d'autres

critères (catégorie et chimie de la batterie, contenu en recyclé, caractère rechargeable, empreinte carbone) .

Les metteurs en marché de batteries industrielles et de véhicules électriques doivent en outre assurer la reprise gratuite des batteries usagées issues du réemploi, du remanufacturation ou de la réaffectation.

Des objectifs de collecte séparée des batteries de mobilité légère

En plus des objectifs de collecte séparée s'appliquant aux batteries portables, de nouveaux objectifs de collecte séparée s'appliqueront aux batteries de moyens de transport légers :

- 51% au 31 Décembre 2028,
- 61% au 31 Décembre 2031.

Ces objectifs pourront être amendés par la Commission.

Des dispositions spécifiques concernant la reprise de ces batteries de moyens de transport légers sont prévues, il faudra notamment prévoir la mise en place de points de reprise gratuite de ces batteries et leur collecte à une fréquence adéquate, la couverture de l'ensemble du territoire, ainsi que la collecte gratuite des batteries issues du démantèlement des DEEE.

Obligations applicables aux batteries faisant l'objet d'une préparation à la réutilisation, d'une préparation à la réaffectation, d'une réaffectation ou d'un remanufacturation

Elles devront être enregistrées dans la catégorie de batterie adéquate, qui pourra être différente de la catégorie d'origine (par exemple batterie industrielle alors que la batterie initiale était une batterie de véhicule électrique).

Elles devront disposer d'un contrat de vente conforme à la Directive 2019/771 relative à certains aspects concernant les contrats de vente de biens, quand l'utilisateur final est un consommateur (NB : le consommateur est une personne physique c'est-à-dire un particulier et non une entreprise). Les exigences couvriront entre autres la conformité du produit, la responsabilité du vendeur, la charge de la preuve, les sanctions en cas de non-conformité, la réparation et le remplacement des biens et les garanties commerciales.

III.2.2. Sécurité de la seconde vie

Le projet de Règlement européen prévoit que les conteneurs de collecte des batteries doivent être adaptés aux enjeux de sécurité.

Les batteries de seconde vie, comme les batteries de première vie, devront avoir fait l'objet de tests de performance et sécurité. Les tests de sécurité comprendront le test des paramètres suivants (Annexe V) :

- les chocs thermiques,
- la protection contre les courts-circuits externes,
- la protection contre la surcharge,
- la protection contre la surdécharge,
- la protection contre les excès de température,
- la protection contre la propagation thermique (NB : il est fait référence aux normes en cours de développement au niveau ISO et UN GTR pour les applications de transport),
- les dommages mécaniques via des forces externes,
- le court-circuit interne,
- l'abus thermique,
- le test de feu (risque d'explosion),
- les émissions de gaz.

Les paramètres doivent être testés seulement si les dangers correspondants sont réels lors de l'usage prévus. Les normes à respecter pour la vérification de ces paramètres ne sont pas précisées.

En d'autres termes, les batteries réaffectées ou remanufacturées doivent respecter les exigences réglementaires applicables aux applications visées et se conformer aux mêmes essais de conformité

que des batteries neuves pour ces applications. En pratique, les normes existantes ne sont pas adaptées à la seconde vie en termes de processus d'échantillonnage et de quantités de tests destructifs à réaliser. Des normes plus adaptées, basés sur les mêmes essais mais une procédure de test adaptée, devront être élaborées.

Des travaux sont en cours via le Comité international d'électrochimie pour développer des normes internationales spécifiques à la seconde vie¹⁰:

- IEC PT 63330 ED1 - Exigences pour la réutilisation des batteries secondaires (prévu pour fin 2023) ;
- CEI PT 63338 - Guide général pour la réutilisation des piles et batteries secondaires (prévu pour fin 2023).

Dans les versions actuelles de ces projets de normes, les tests prévus doivent encore être simplifiés et précisés, en particulier les tests sur les batteries sortant du processus de préparation à la réaffectation. La réutilisation des cellules n'est pas recommandée dans ces textes, ce qui peut être pertinent pour la mobilité lourde où la réutilisation peut se faire au niveau des modules mais pourrait compromettre les modèles commerciaux liés à la mobilité légère avec une intervention au niveau des cellules.

La Commission européenne a demandé au CEN/CELELEC d'élaborer des normes sur les batteries de seconde vie en tenant compte de ce qui a été fait dans les normes américaines telles que UL 1974. Les travaux commenceront fin 2022. Ces normes ne seront pas rendues obligatoires, mais le respect de ces normes entraînera le respect des parties du règlement qui s'y rapportent. En outre, la Commission Européenne a missionné le Comité Européen de Normalisation (CEN) pour développer de nouvelles normes pour des applications mal couvertes actuellement¹¹.

III.2.3. Seconde vie et partage d'informations

La proposition de Règlement européen vise à faciliter la seconde vie par le **partage d'informations**.

La mise à disposition d'informations par le metteur en marché aux utilisateurs de batteries et opérateurs de seconde vie sera obligatoire via **l'accès à certaines informations contenues dans le BMS en lecture seule** (considérant 30 et article 14), notamment pour déterminer l'état de santé d'une batterie et la durée de vie restante des batteries. La mise à disposition de ces informations pour les batteries nouvellement mise en marché sera obligatoire 12 mois après l'entrée en vigueur du Règlement. La mise à jour de ces informations devra être journalière. Cette disposition devrait s'appliquer à l'ensemble des batteries utilisées pour le stockage d'énergie stationnaire, pour les moyens de transport légers et les batteries de véhicules électriques.

Les indicateurs d'état de santé et de durée de vie à fournir via le BMS sont précisés en annexe VII du projet de Règlement :

- Pour les batteries de véhicules électriques, l'indicateur d'état de santé est l'état d'énergie certifiée,
 - Pour les batteries de systèmes de stockage d'énergie et les batteries de moyens de transport légers il faudra fournir des informations sur l'état de santé via :
 - La capacité restante
 - L'évolution des taux d'autodécharge
 - et si possible des informations sur la puissance restante, sur l'efficacité de charge-décharge restante, et la résistance ohmique.
- Et des informations sur la durée de vie prévue via
- la date de fabrication et de mise en service

¹⁰ Source: VITO & CEA (2022) - Labelling and certification protocols for second life batteries- CIRCUSOL project

¹¹ Des manques ont été identifiées pour les usages stationnaires

- l'énergie totale pouvant être stockée et restituée,
- le débit de capacité (capacity throughput),
- le suivi des événements néfastes, tels que le nombre de décharges profondes, le temps passé à opérer dans des températures extrêmes, ou le temps passé à charger pendant des températures extrêmes ;
- Le nombre de cycles complets de charge-décharge.

Le BMS devra inclure un système de réinitialisation du logiciel dans le cas où les opérateurs préparant à la réutilisation, à la réaffectation ou au remanufacturation doivent installer un nouveau logiciel de BMS. Le producteur initial ne pourra être tenu responsable pour une défaillance de sécurité ou de fonctionnalité liée au logiciel modifié.

De plus, le groupe de travail informel de la CEE-ONU (UNECE) sur les véhicules électriques et l'environnement a mené des travaux concernant l'accès aux données dans les véhicules électriques, qui vont déboucher eux aussi sur des exigences de partage des spécifications techniques, appliquées dans le cadre du processus d'homologation des véhicules incluant leurs batteries, en plus des exigences du Règlement Batteries.

Pour les batteries de moyens de transport léger, les batteries industrielles de plus de 2kWh et les batteries de véhicules électriques, le **passport batteries** sera mis en place à horizon 2026, et donnera accès, **via un marquage par QR code**, à des informations par unité de batterie :

- des informations publiques sur les spécifications techniques de la batterie,
- des informations complémentaires pour les parties intéressées notamment des instructions de démantèlement et de sécurité pour le modèle de batterie, mais également des informations sur la batterie individuelles comme l'état de santé de la batterie et la durée de vie restante, les événements néfastes décrits à l'article 14 et à l'annexe VII du projet de Règlement,
- des informations pour les autorités de surveillance uniquement, comme les résultats des tests de conformité des batteries

Le passeport batterie doit être mis à jour après remise en marché qui suit la préparation à la réutilisation, la préparation à la réaffectation, la réaffectation ou le remanufacturation. Le passeport batterie est détruit au moment du recyclage.

III.2.4. Objectifs d'incorporation de recyclé

Le projet de Règlement européen batteries et déchets de batteries prévoit des objectifs d'incorporation de recyclé pour les batteries de véhicules électriques, les batteries industrielles et les batteries SLI (batteries automobiles actuelles) contenant du cobalt, du plomb, du lithium ou du nickel.

L'introduction d'objectifs d'incorporation de recyclé dans les batteries neuves va accroître la concurrence entre le recyclage et la seconde vie puisque la demande pour les matières premières de recyclage va augmenter.

Les objectifs proposés se calculent par modèle de batterie, par an et par site de production. Ils s'appliqueront 8 ans après l'entrée en vigueur du Règlement (a priori 2031-2032) :

- 16% pour le cobalt puis 26% 5 ans plus tard,
- 85% pour le plomb,
- 6% pour le lithium puis 12% 5 ans plus tard,
- 6% pour le nickel puis 15% 5 ans plus tard.

D'autres matériaux pourraient être ajoutés par la suite. Les déchets de production de batteries devraient être comptés dans le calcul des objectifs d'incorporation, compte tenu du manque de gisement post-consommation de batteries. Les sous-produits n'ayant pas le statut de déchet ne sont en revanche pas comptés pour l'atteinte des objectifs. Les objectifs ne s'appliqueront pas aux batteries qui ont fait l'objet d'une préparation à la réutilisation.

IV. Gisement de batteries et potentiel de seconde vie

IV.1. Gisement actuel et prospectif de batteries en fin de vie

IV.1.1. Vision globale

Le gisement français total de batteries usagées issues de la mobilité électrique (légère et lourde) pourrait atteindre 22-25 millions de kWh sur base de la capacité neuve à horizon 2040, soit une multiplication par 30 comparé au gisement estimé pour 2022.

Le gisement de batteries usagées issues de véhicules particuliers et VUL en France pourrait atteindre 16 à 19 millions de kWh sur base de la capacité neuve à horizon 2040. Si en 2020, le gisement était constitué à moins de 1% de VP et VUL, à 8% de 2, 3 et 4 roues motorisés et à 91% de VAE et EPDM, en 2040, 75% du gisement sera constitué de VP et VUL, 21% de VAE et EPDM et seulement 5% de 2,3,4 roues motorisés.

Tableau 5: Gisement de batteries usagées en France sur base de la capacité neuve en millions kWh (RECORD, 2023)

	Total	Véhicules particuliers et VUL	2, 3, 4 roues	VAE et EPDM
2025	1,2	0	0,1	1,0
2030	3	0,1	0,3	1,9
2035	8-9	4-5	0,6	3,1
2040	22-25	16-19	1,0	4,7

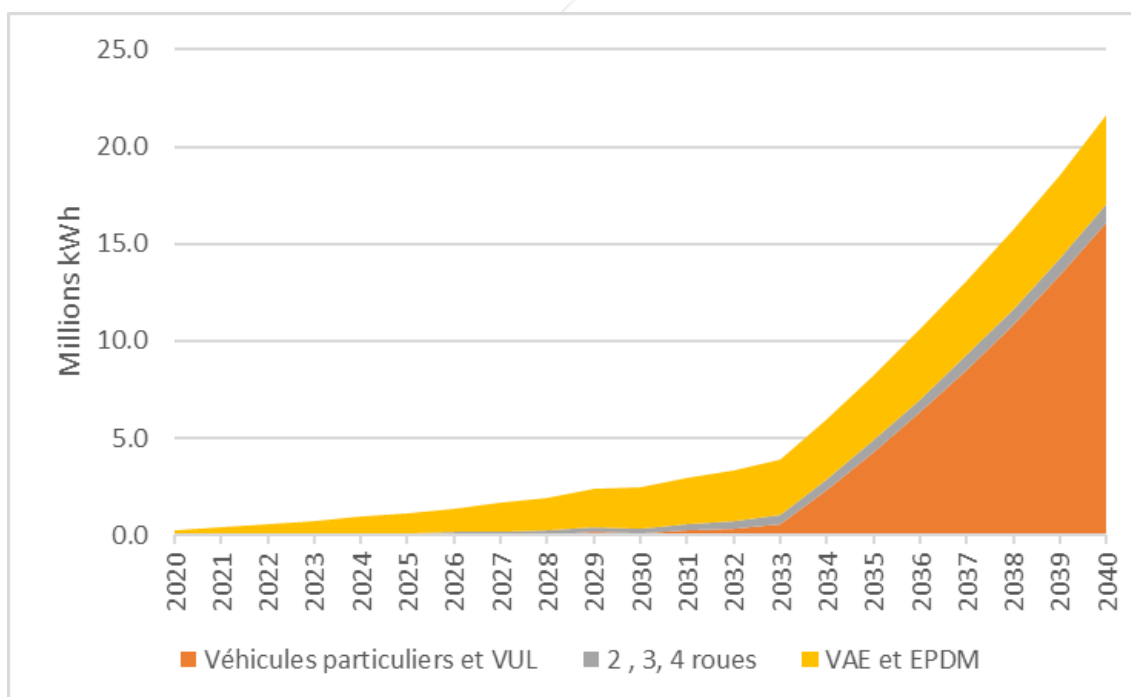


Figure 4: Gisement français de batteries usagées issues de la mobilité électrique sur base de la capacité neuve en millions kWh (RECORD, 2023)

Le gisement de batteries usagées issues de la mobilité en Europe pourrait atteindre 163 à 181 millions de kWh sur base de la capacité neuve à horizon 2040, soit une multiplication par 35-40 par rapport au gisement estimé pour 2022.

Tableau 6 : Gisement de batteries usagées en Europe sur base de la capacité neuve en millions kWh (RECORD, 2023)

	Total	Véhicules particuliers et VUL	2, 3, 4 roues	VAE et EPDM
2025	12	4,1-4,5	0,5	6,4
2030	35-38	19-22	1,4	14
2035	83-92	58-67	3,0	22
2040	163-181	129-146	4,8	30

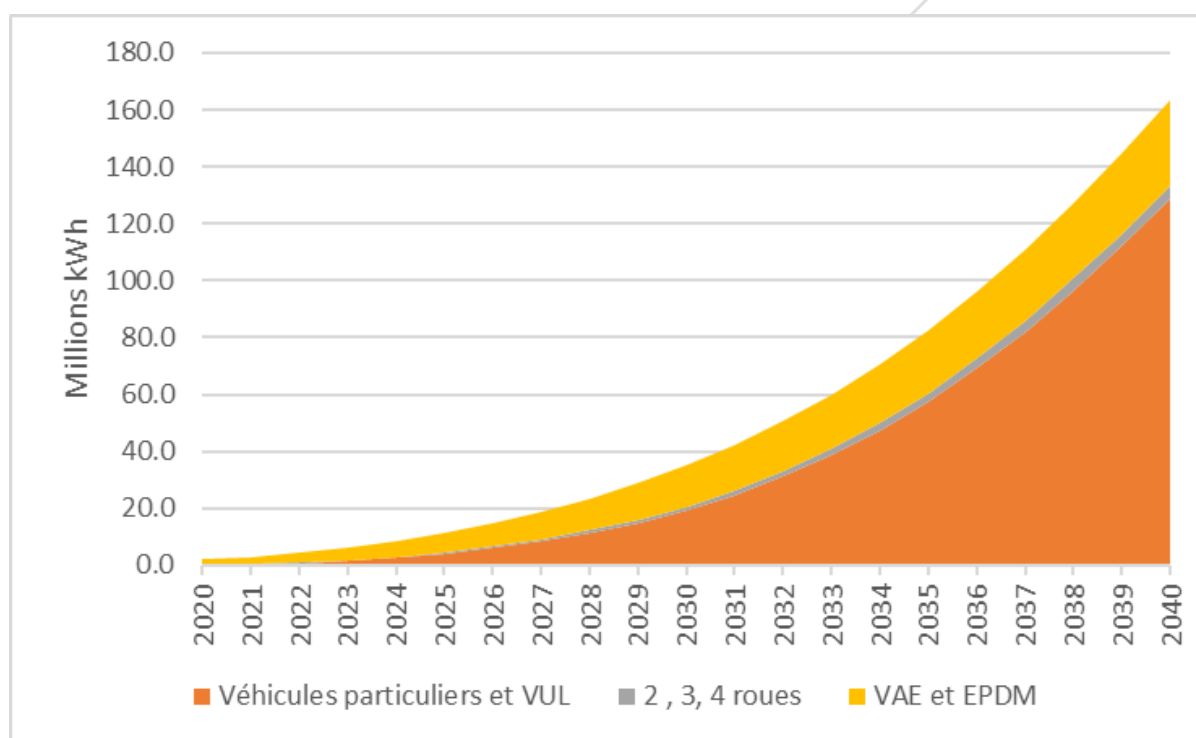


Figure 5 : Gisement européen de batteries usagées issues de la mobilité électrique sur base de la capacité neuve en millions kWh (RECORD, 2023)

A horizon 2040, le gisement français de batteries issues de la mobilité sera de l'ordre de 150 000 tonnes à horizon 2040, et le gisement européen de l'ordre de 1,1 millions de tonnes. 85% du gisement sera constitué de batteries de VP et VUL.

Tableau 7 : Gisement de batteries usagées en France en kilotonnes (RECORD, 2023)

	Total	Véhicules particuliers et VUL	2, 3, 4 roues	VAE et EPDM
2025	6	0,2	0,4	5
2030	12	0,5	0,5	11
2035	48-52	29-33	3	17
2040	134-156	107-129	5	23

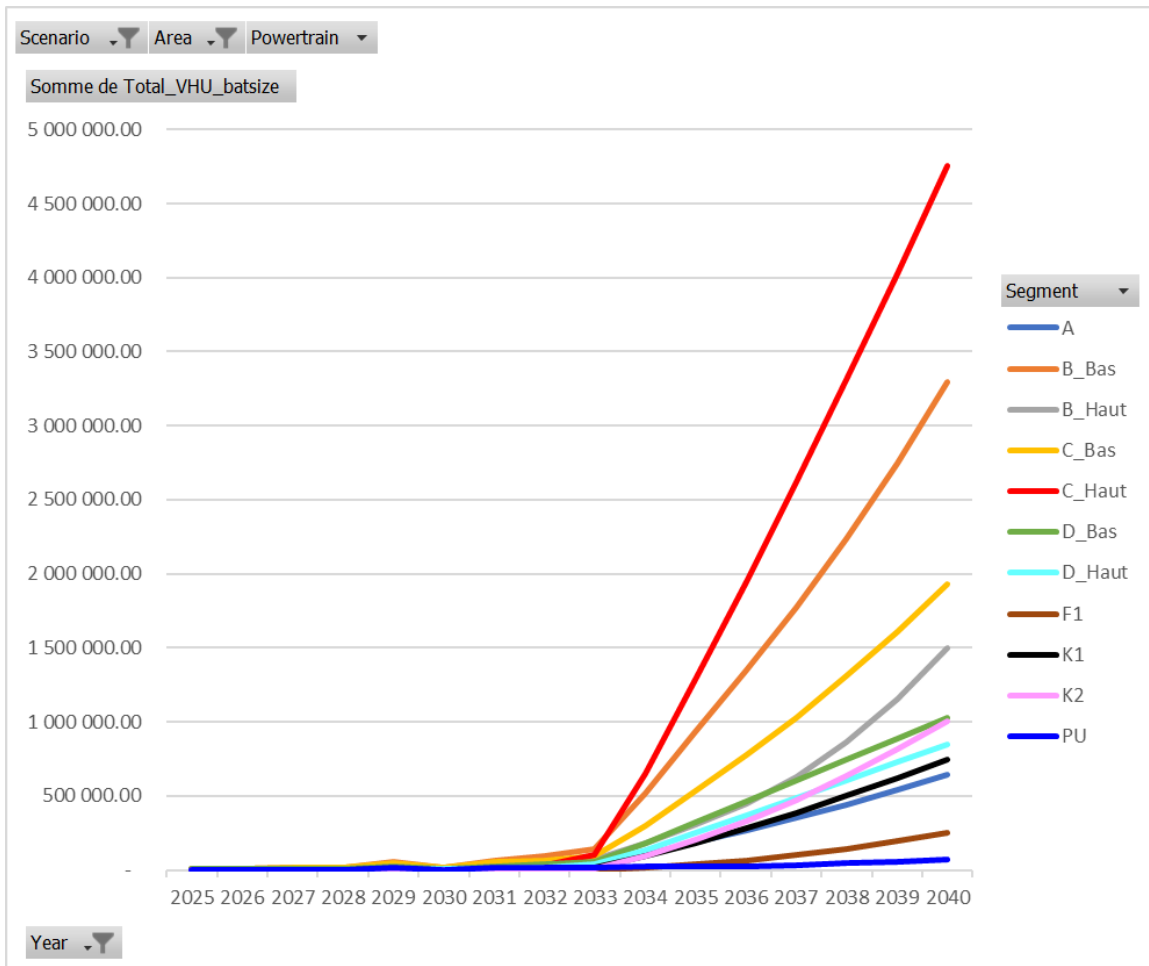
Tableau 8 : Gisement de batteries usagées en Europe en kilotonnes (RECORD, 2023)

	Total	Véhicules particuliers et VUL	2, 3, 4 roues	VAE et EPDM
2025	64-67	27-30	2	35
2030	206-228	128-150	6	72
2035	508-571	384-447	14	111
2040	1030-1148	858-976	23	148

IV.1.2. Batteries de VP et VUL

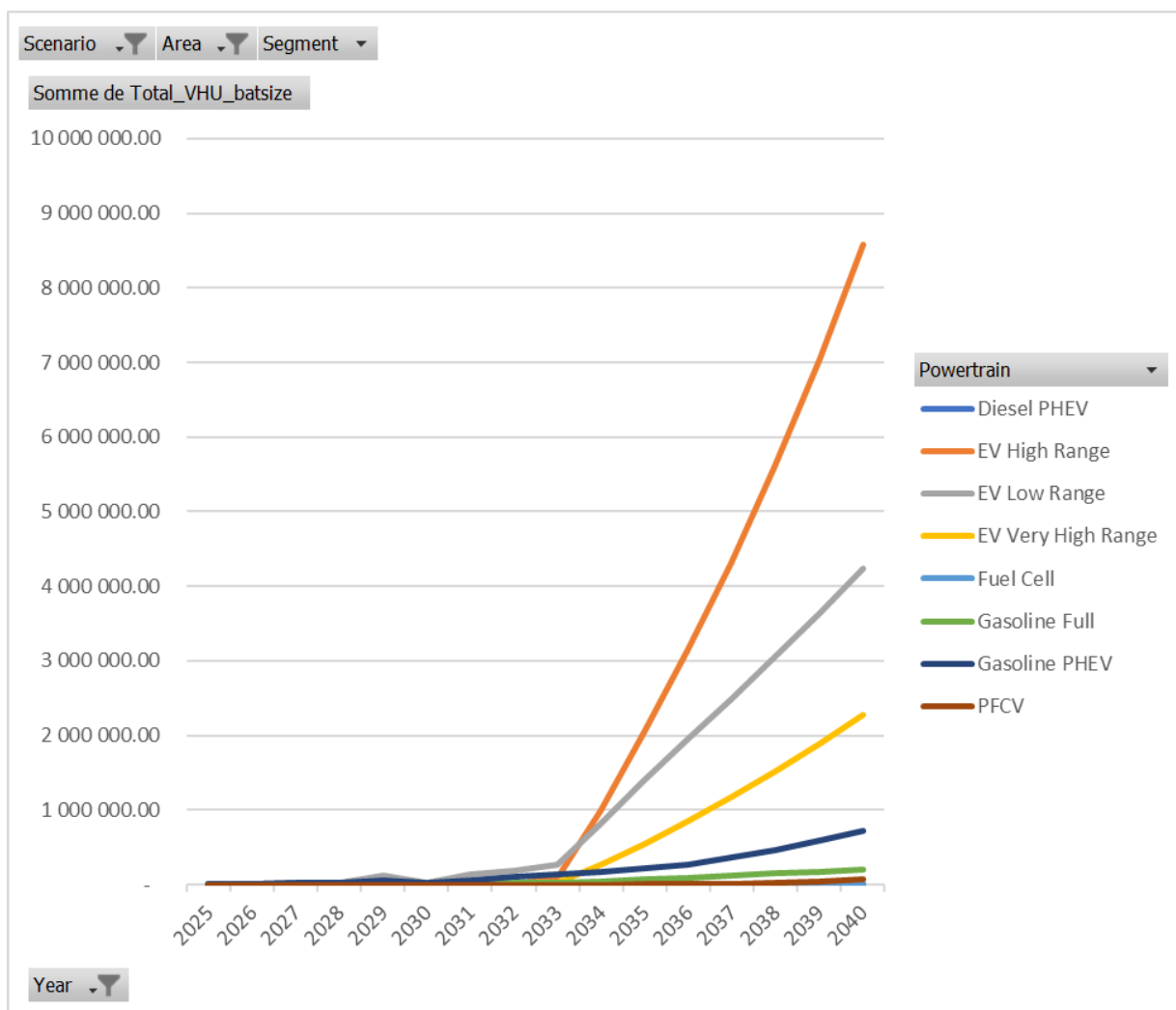
Le gisement de batteries à horizon 2040 est de 16-19 millions kWh au niveau français et il est de 129-146 millions kWh au niveau européen en fonction des scénarios (GC <GG), sur base de la capacité initiale. Les segments constituant la plus grande part du gisement de batteries sont les véhicules particuliers (87%), les VUL constituant environ 13% du gisement à 2040. Les modèles SUV et berlines moyens et petits constituent l'essentiel du gisement. La nomenclature est explicitée en section II.5.

Tableau 9: Gisement de batteries de véhicules particuliers et VUL par segment (kWh) – Scénario Green Constraint (RECORD,2023)



En termes de motorisation, les véhicules électriques à batterie à haute autonomie vont dominer le gisement de batteries Li-ion (53% en 2040, scénario GC), suivi des véhicules à faible autonomie (29%) et des véhicules à très haute autonomie (14%). Les véhicules hybrides (full hybride cad non rechargeable et hybride rechargeables) représentent seulement 5% des gisements à horizon 2040 et les batteries d'appoint pour piles à combustibles représentent 0,2% du gisement. La nomenclature est explicitée en section II.5.

Tableau 10 : Gisement de batteries de véhicules particuliers et VUL par motorisation (kWh) – Scénario Green Constraint (RECORD, 2023)



IV.1.3. Batteries de VAE et EPDM

Le gisement français de batteries en fin de vie de VAE et des EPDM est de l'ordre de 4,5 millions de kWh à horizon 2040, Constitué à 54% de batteries de VAE, à 38% de batteries de trottinettes et à 8% de batteries de d'autres engins (dont hoverboards et gyropodes).

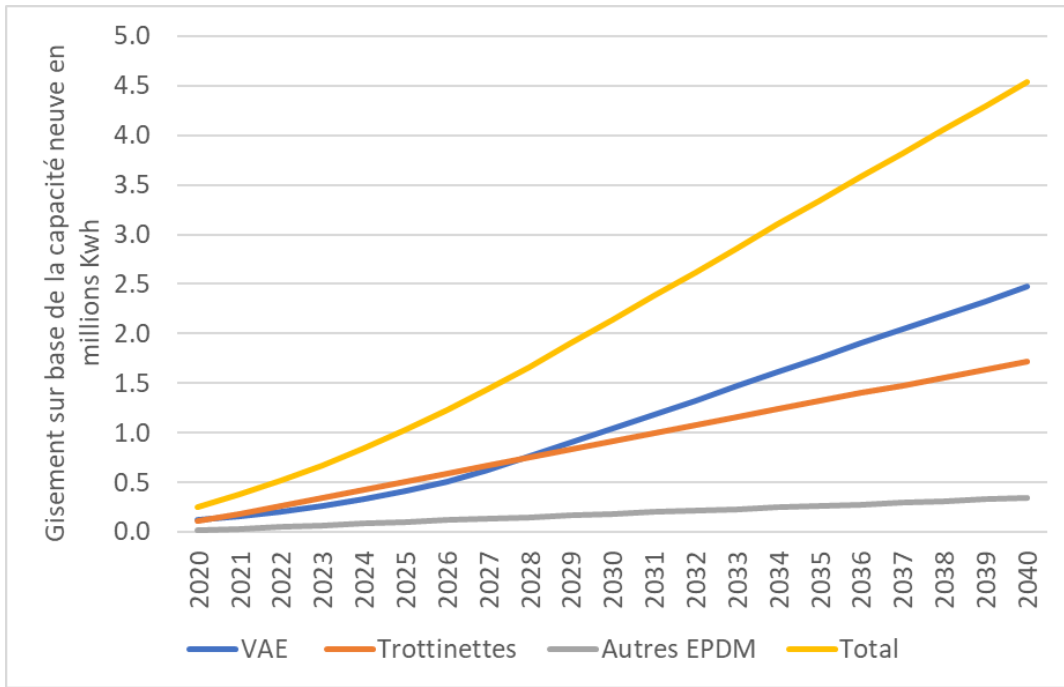


Figure 6 : Gisement des batteries de mobilité légère en fin de vie sur base de la capacité neuve en France en millions kWh (RECORD, 2023)

IV.1.4. Batteries de 2,3,4 roues électriques

Le gisement français de 2,3,4 roues électriques est de l'ordre de 1 million de kWh à horizon 2040, Constitué à 29% de batteries de motos électriques et à 71% de batteries de scooters (dont trois roues et quadricycles) électriques.

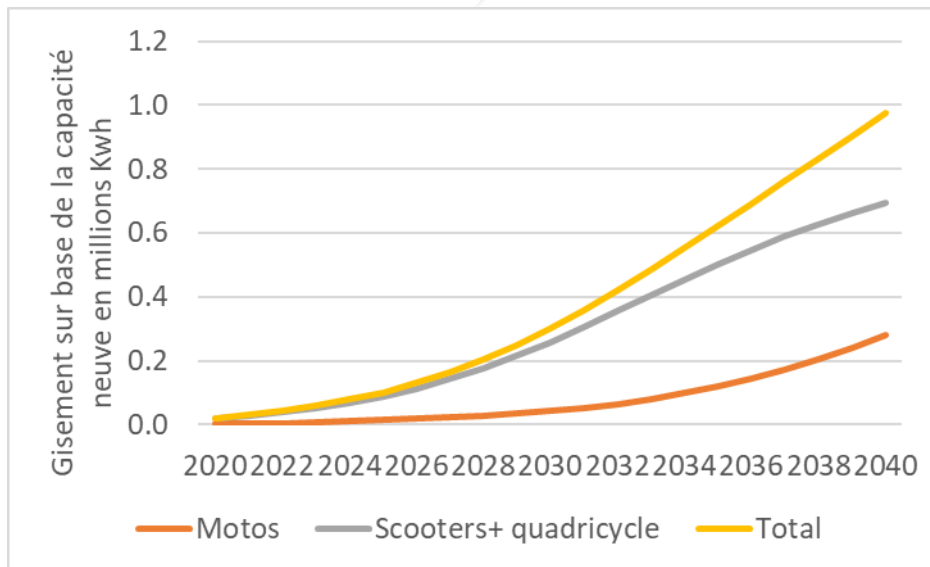


Figure 7 : Gisement de batteries de 2,3,4 roues électriques en fin de vie sur base de la capacité neuve en France en millions kWh (RECORD, 2023)

Remarque : L'approfondissement de la fin de vie des batteries des 2,3,4 roues électriques ne fait pas partie de l'étude (moins prioritaire au regard du gisement attendu).

IV.2. Description de la fin de vie actuelle

IV.2.1. Gestion des batteries de mobilité en France

La gestion des batteries en fin de vie est différente entre les batteries de mobilité électrique lourde et légère au niveau des étapes de la collecte, du transport et du tri (en centre de tri).

Après ces étapes, la distinction entre batteries provenant de la mobilité électrique légère et des véhicules électriques est moins pertinente lorsque les batteries sont destinées au recyclage. En effet, les procédés de décharge et de traitement par recyclage ne sont pas spécifiques. Le recyclage est spécifique à la chimie des batteries et non pas à leur provenance. Ainsi, les mêmes acteurs vont recycler les batteries, en général au Lithium-ion, provenant de ces deux flux, ainsi que des accumulateurs portables ou industriels hors mobilité au Li-ion.

En ce qui concerne les batteries destinées à la seconde vie, il demeure une distinction entre les batteries de mobilité électrique légère. Les acteurs, les modèles techniques et les applications visées sont différents en fonction de la provenance de la batterie.

Le logigramme ci-dessous résume le fonctionnement de la filière française de gestion des batteries de mobilité électrique.

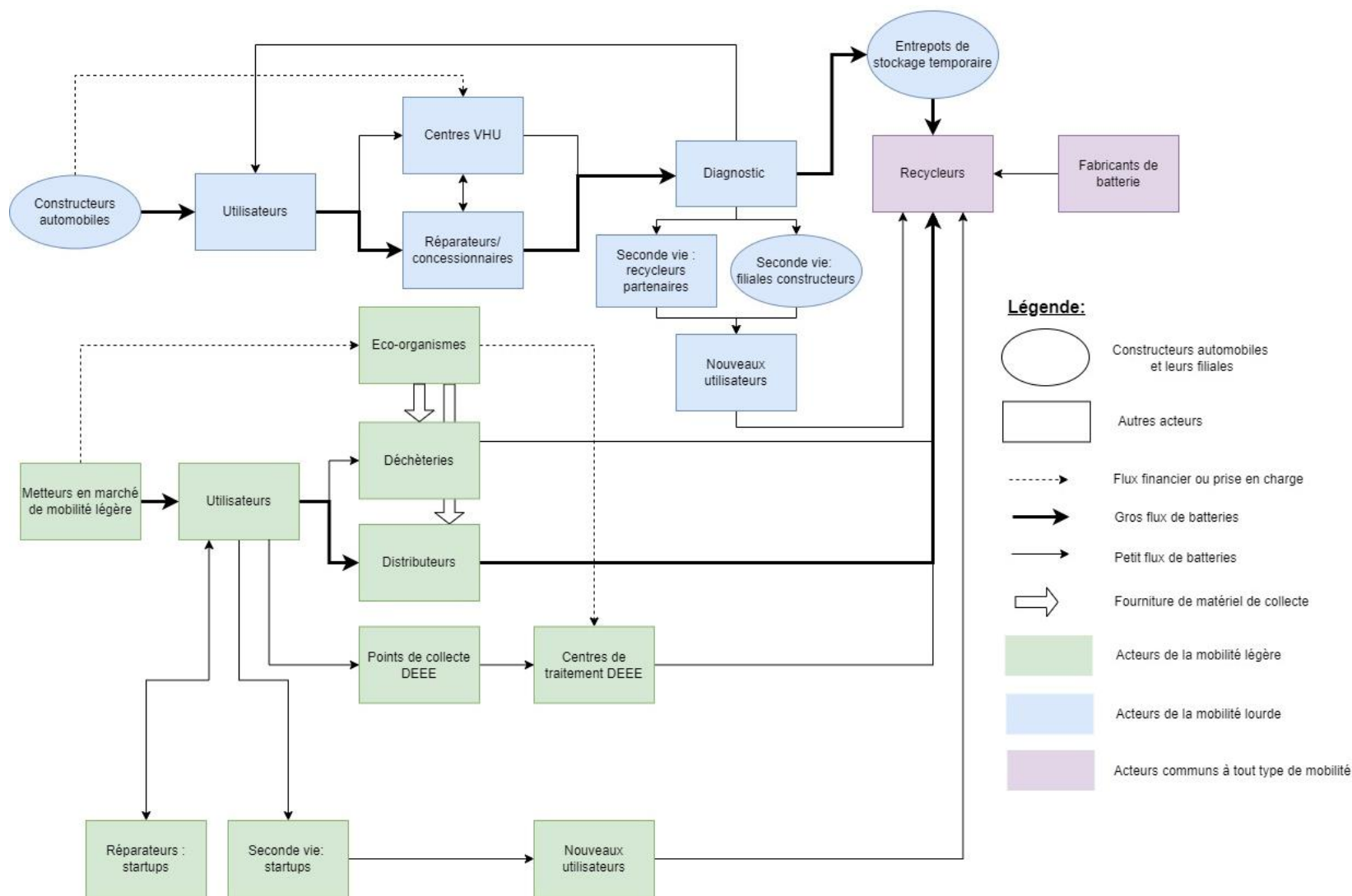


Figure 8 : Logigramme de la gestion des batteries de mobilité électrique en fin de vie en France (ADEME, 2022)

IV.2.1.1. Les éco-organismes

En France, il n'existe aucun éco-organisme agréé pour la gestion des batteries de mobilité électrique (légère ou lourde).

Les éco-organismes COREPILE et SCRELEC agréés pour les piles et accumulateurs portables, ont créé des filières de collecte de batteries de la mobilité légère de manière volontaire (hors agrément).

- Depuis 2018, COREPILE s'est associé avec UNION SPORT & CYCLE (USC) et a développé une collaboration avec l'éco-organisme ECOSYSTEM pour la collecte des batteries de mobilité légère.
- Depuis 2020, SCRELEC a créé un partenariat avec la FEDERATION DES PROFESSIONNELS DE LA MICRO-MOBILITE (FP2M) et a développé une collaboration avec l'éco-organisme ECOLOGIC pour la collecte des batteries de mobilité légère.

COREPILE et SCRELEC organisent la collecte et le traitement des mêmes flux de batteries, c'est-à-dire de scooters, de vélos à assistance électrique (VAE) et d'engins de personnel de déplacement motorisé (EPDM) comme les trottinettes, skateboards, gyropodes, skates et gyroroues électriques.

Il n'existe pas d'éco-organisme actif dans la gestion des batteries de véhicules électrifiés (mobilité lourde). Les constructeurs automobiles, ou les importateurs, qui sont metteurs en marché des batteries de véhicules électriques, gèrent à ce stade les batteries en système individuel, à l'instar du fonctionnement existant pour l'ensemble de la filière VHU. Le fonctionnement de la filière n'est toutefois pas stabilisé en ce qui concerne la gestion des batteries de véhicules électriques.

IV.2.1.2. Collecte

Batteries de mobilité électrique légère

Les batteries de mobilité légère (VAE, trottinettes) sont prises en charge par COREPILE et SCRELEC, en plus de leurs obligations sur les PAP dans le cadre d'une filière volontaire.

D'un point de vue organisationnel, la filière de collecte présente de nombreuses synergies avec celle des batteries portables :

- Les éco-organismes ont des partenariats avec des points de collecte qui pour certains collectent déjà des batteries portables (distributeurs multi-sports, grande surface, déchèterie) et pour d'autres sont dédiés (magasins de vélos, vendeur indépendant...);
- Les éco-organismes ont des partenariats avec les centres de démantèlement et de tri des DEEE pour récupérer les batteries mises au rebut avec l'appareil, de la même manière que pour les batteries portables.

La collecte des batteries de mobilité dans des points de collecte dédiés présente davantage de risque que la collecte des PAP car il s'agit exclusivement de batteries Li-ion qui peuvent causer des incendies (pas de phénomène d'inertage par mélange avec les alcalines et salines). COREPILE a développé des techniques de gestion particulières pour ce flux qui se distingue des piles primaires principalement alcalines et salines gérées en majorité. Cela passe par le choix des conteneurs (métalliques ou plastiques ADR) et des procédures de gestion spécifiques (contrôle lors de l'acceptation par le point de collecte – pas de dépôt libre, isolement des connectiques, conditionnement dans une sache). SCRELEC, qui gère déjà de nombreuses batteries Li-ion via la collecte de la majorité des batteries portables issues de centres de démantèlement des DEEE en France, adopte le même type de gestion que pour les batteries portables : conteneurs ADR, distribution de fiches de sécurité aux points de collecte.

Outre les points de collecte de déchets de batteries listés ci-dessus, deux autres acteurs reçoivent des batteries usagées :

- les start-ups actives dans la réparation qui reçoivent les batteries usagées des utilisateurs faisant appel à leur service, avec ou sans partenariat avec les éco-organismes ;

- les distributeurs, dans le cadre du Service Après-Vente des articles sous garantie.

Les batteries usagées n'ont pas encore le statut de déchet au moment de leur dépôt par l'utilisateur mais peuvent le prendre après diagnostic si la batterie est défectueuse. Ces parties prenantes ont des partenariats dédiés avec les éco-organismes pour la collecte directement sur leur site.

Batteries provenant des véhicules électrifiés

Actuellement, lorsqu'un véhicule électrique ou hybride ne répond plus aux besoins du propriétaire (par exemple dans le cas d'un véhicule accidenté et/ou d'une batterie endommagée ou défectueuse), celui-ci s'adresse principalement au constructeur (la marque de la voiture) ou vers son assureur. Le véhicule va par la suite être orienté vers 2 réseaux :

- Soit le réseau de réparateurs agréés (par les constructeurs) ;
- Soit le réseau de concessionnaires automobiles.

Une fois le véhicule électrique pris en charge par un réparateur ou un concessionnaire, un premier diagnostic est fait pour déterminer le problème du véhicule et/ou l'état de la batterie. Ils vont soit réparer le véhicule et/ou sa batterie, soit déposer la batterie du véhicule.

Les constructeurs automobiles donnent aux réparateurs et aux concessionnaires les informations et les outils nécessaires pour réaliser ce premier diagnostic et pour enlever la batterie du véhicule. La communication et le partage de connaissances (souvent confidentielles) entre le constructeur et le réparateur/concessionnaire quant au diagnostic et à la gestion des batteries est rendu possible grâce à l'agrément et à la contractualisation entre ces acteurs.

Une fois la batterie retirée du véhicule et celui-ci défini comme un VHU, ces deux éléments suivent deux filières différentes :

- Les VHU, sans leur batterie, sont envoyés dans des centres VHU ;
- Pour les batteries déposées, il y a deux possibilités en fonction des résultats du diagnostic :
 - Envoi en recyclage directement ;
 - Envoi dans un centre spécialisé de diagnostic et de stockage en vue d'une éventuelle seconde vie (la destination finale, soit recyclage, soit seconde vie dépendra des résultats du diagnostic).

Actuellement, il y a peu de véhicules électrifiés (et donc de batteries) en fin de vie qui sont collectés et traités par les centres VHU. Il existe une vingtaine de centres VHU en France qui ont la compétence pour enlever les batteries de véhicules électriques, ces centres VHU étant habilités par les constructeurs pour enlever les batteries.

IV.2.1.3. Transport

Batteries de mobilité électrique légère

Ce transport est assuré par les opérateurs de collecte et transport partenaires des éco-organismes responsables.

Batteries provenant des véhicules électrifiés

Par l'intermédiaire d'entreprises sous-traitantes, le recycleur assure le transport des batteries des véhicules électriques. Pour ce faire, il signe des contrats B-to-B avec les fabricants automobiles pour le traitement des batteries des véhicules électriques qu'ils mettent sur le marché, éventuellement sous forme de contrats d'exclusivité, par lequel le recycleur reçoit toutes les batteries d'un constructeur. Le transport a lieu à la demande du fabricant, soit depuis un garage, soit depuis un centre de stockage temporaire permettant le regroupement de flux venant de différents endroits. A de rares occasions, les recycleurs peuvent réaliser le transport de batteries depuis les centres VHU, cela concerne principalement des batteries de voitures accidentées.

Le transport des batteries est réalisé en semi-remorque ; ceux-ci ont en général d'une capacité de 40 tonnes.

Le transport des batteries lithium-ion est soumis au règlement ADR sous un code 3480 ONU. En France, les batteries Li-ion ne sont pas classifiées comme déchets dangereux ; ce n'est pas le cas dans tous les pays de l'UE ; en Espagne, aux Pays-Bas et dans certains Länder de l'Allemagne, les batteries usagées sont considérées comme des déchets dangereux.

Aspects transverses

La réglementation concernant le transport ADR et le manque d'harmonisation entre les Etats membres de l'UE quant à la classification des batteries en matière de dangerosité crée des contraintes pour les recycleurs. Ces contraintes (par exemple, obligation de ne pas mélanger les batteries avec d'autres types de déchets) peuvent mener à des situations où une batterie est transportée seule dans un camion (pour les véhicules électriques).

En fonction des législations nationales de classification des déchets comme dangereux, la batterie usagée (endommagée ou pas) peut être classée de la manière suivante selon le Règlement européen concernant le transfert des déchets :

- Classé comme dangereux « liste orange » : il faut établir une notification de transfert de déchets (TFS). Ce document doit être validé par l'ensemble des autorités compétentes des pays traversés. Il faut compter un délai de 3 mois et le document ne peut être établi que pour le triptyque unique, à savoir type de déchet / adresse de départ / adresse de livraison.
- Comme non dangereux : il faut un « contrat liste verte ». Il est validé par les deux parties sans autorisations extérieures et la validation est d'application immédiate.

Les batteries doivent être transportées dans des contenants P901 (batteries en bon état) et P911 (batteries défectueuses). Les contenants P911 disposent d'un système d'extinction de feu, avec par exemple une soupape de dégazage, du PyroBubbles®, ou de la neige de gaz carbonique. Les contenants P901 peuvent être en bois ou en plastique pour assurer l'étanchéité en cas de choc.

IV.2.1.4. Tri

Le tri concerne uniquement les piles et accumulateurs portables, dans lesquels peuvent toutefois se retrouver les batteries de mobilité légère. Les flux de ces batteries arrivant dans l'installation de recyclage peuvent être triés ou non triés. Les flux non triés passent par une étape de tri manuel afin de séparer le flux par chimie. Ce tri est fait de manière visuelle et sur base de l'expérience de trieurs. En pratique, il s'agit d'une reconnaissance de la chimie apparente.

IV.2.1.5. Recyclage

Le recyclage englobe plusieurs étapes : décharge totale, démantèlement, broyage et finalement, affinage. Il faut également noter que les procédés de recyclage sont spécifiques à la chimie des batteries. Les installations de recyclage sont conçues pour une chimie spécifique ; les acteurs vont donc avoir soit plusieurs installations soit plusieurs lignes dans une même installation pour traiter les différentes chimies des batteries. De plus, pour une même chimie de batteries, les acteurs peuvent appliquer différentes technologies de recyclage (ou une combinaison de celles-ci).

Décharge des batteries

Avant de procéder au démantèlement et broyage, les batteries doivent être totalement déchargées. Il y a deux méthodes de décharge :

- Décharge résistive - les batteries sont connectées à une résistance de manière à épuiser leur charge. Cette méthode est principalement utilisée pour les batteries industrielles arrivant en pack (y compris les batteries de mobilité électrique).
- Décharge par voie électrolytique – les batteries sont submergées dans un bain d'électrolyte. Cette méthode est utilisée principalement pour les grands volumes de petites batteries où la

connexion individuelle de chaque batterie à une résistance n'est pas envisageable, ou lorsque les packs sont endommagés.

Démantèlement

Actuellement, les batteries sont démantelées manuellement : on retire la visserie, les éléments électroniques divers, la câblerie, le BMS, la coque de batterie (en aluminium ou ferraille). Le démantèlement est nécessaire car les broyeurs de batteries ne sont pas (à ce stade) adaptés pour broyer l'ensemble, la taille de la « bouche » des broyeurs et la force de broyage n'étant pas suffisantes.

Il faut noter que le démantèlement n'est pas une étape systématique au niveau du secteur ; certains acteurs traitent les batteries non démantelées dans leurs fours directement via pyrolyse (par exemple, UMICORE l'a pratiqué des années mais a depuis arrêté cette pratique du fait d'une difficulté à extraire les fractions valorisables).

Le démantèlement est actuellement fait en grande partie manuellement car :

- Les batteries sont de taille et de format différents ;
- Les volumes entrants sont trop petits pour justifier un investissement dans une solution d'automatisation.

Il y a peu, voire pas de standardisation en matière de format des batteries. Il n'est pas rare qu'un fabricant automobile ait entre 5 et 10 modèles de batteries différents en fonction des modèles de voitures, de la puissance, etc.

Perspectives

Avec le développement de la mobilité électrique, des recycleurs comme EURO DIEUZE INDUSTRIE (EDI) prévoient une augmentation de la standardisation des batteries. Ceci, en conjonction avec l'accroissement du gisement des batteries en fin de vie et l'automatisation du traitement (possible grâce à la standardisation), permettrait aux recycleurs de réaliser des économies d'échelle dans 5 à 10 ans. Des tests de démantèlement automatiques sont également en cours par la SNAM. A terme, il devrait exister des lignes de démantèlement par série de marque de voiture. Par ailleurs, EDI est en train de développer un broyeur avec une table de coupe (la « bouche » du broyeur) plus grande pour pouvoir broyer des éléments de batteries plus volumineux sans avoir à réaliser au préalable un démantèlement manuel.

Broyage et séparation des fractions

Le broyage est fait par lot en fonction de la chimie des batteries traitées (cellules ou modules) afin de garder un contrôle et une visibilité sur la composition du broyat.

Les batteries passent par deux étapes de broyage. Le premier broyage est fait dans des broyeurs capotés et étanches ; lors de ce broyage les gaz et COV sont captés et filtrés. Le deuxième broyage permet de réduire encore la granulométrie ; le broyat sortant est ensuite séparé en 3 fractions via une séparation mécanique de tamisage, application d'aimants, etc. :

- Black mass,
- Papier/plastique et
- Ferraille.

Le papier/plastique est incinéré avec valorisation énergétique car il y a trop de variation de composition pour les recycler. La ferraille est recyclée.

La black mass est mise dans des « big bags ». Chaque big bag est systématiquement analysé en laboratoire pour l'orienter vers la meilleure filière de recyclage. En fonction des recycleurs, la black mass est recyclée en Europe ou en Asie (lorsque la teneur en cobalt est élevée, car les capacités de recyclage par hydrométallurgie sont plus faibles en Europe).

Affinage

Le black mass sera ensuite traitée via deux principales méthodes d'affinage : la pyrométallurgie et/ou l'hydrométallurgie.

Pyrométallurgie

La pyrométallurgie est un procédé métallurgique thermique utilisé pour séparer et récupérer des métaux. Le procédé est constitué de 3 étapes :

- Un traitement thermique pour homogénéiser la source de métal (grillage) ;
- Une réaction chimique (oxydation) permettant la séparation ;
- L'affinage.

Dans le contexte du recyclage des batteries Li-ion, celles-ci sont traitées dans une fonderie à haute température (à des températures supérieures à 1 000 °C) qui transforme les oxydes métalliques en leur forme métallique (un alliage métallique fondu). Cet alliage est raffiné pour être utilisé dans les nouvelles cathodes des batteries (par exemple, le cobalt et le nickel). Les scories contiennent du lithium et sont souvent utilisées dans les applications du béton.

Actuellement, la pyrométallurgie semble être au centre des activités de recyclage à grande échelle et l'hydrométallurgie n'est utilisée qu'à petite échelle. En effet, la pyrométallurgie est la plus aboutie et, historiquement, la plus utilisée pour le recyclage des batteries usagées.

Hydrométallurgie

L'hydrométallurgie est une technique d'extraction des métaux qui comporte une étape où le métal est solubilisé pour permettre sa purification. C'est un procédé de traitement des métaux par voie liquide, d'où le nom d'hydrométallurgie. Elle consiste à mettre en solution les différents métaux contenus dans un minerai ou un concentré afin de les séparer pour les valoriser.

Dans un premier temps, il faut dissoudre « la black mass » poudre dans un bain acide (lixiviation). Une fois le mélange filtré, deux technologies sont répandues industriellement afin de séparer les matières actives de ce concentré. La première, l'extraction liquide liquide, consiste à mélanger la solution de lixiviation avec un solvant organique non miscible. La seconde méthode, la précipitation, consiste à varier deux paramètres pour séparer les matériaux : la température et le pH.

L'hydrométallurgie, si elle permet de produire des produits finis de plus grande pureté que la pyrométallurgie, est plus coûteuse en termes de gestion (200-400 EUR/tonne pour la pyrométallurgie, le double pour l'hydrométallurgie).

IV.2.1.6. Seconde vie

Seconde vie des batteries de mobilité légère

En France, seules les batteries de mobilité légère (vélos et trottinettes) des utilisateurs faisant les démarches pour les réparer ou les reconditionner sont prises en charge par des startups (ex : DOCTIBIKE, VIRVOLT, NOWOS).

La batterie est d'abord diagnostiquée par le professionnel. En fonction du diagnostic, il est proposé à l'utilisateur de la réparer (si c'est possible) ou de la reconditionner. On parle de réparation quand la batterie est modifiée techniquement ou via logiciel pour être réutilisée (changement de la coque, du système en dehors des cellules), et de reconditionnement quand les cellules usées d'une batterie sont remplacées par des neuves pour prolonger la durée de vie de la batterie.

Actuellement, toutes les batteries de mobilité légère collectées par COREPILE et SCRELEC sont envoyées au recyclage. Cependant, SCRELEC s'intéresse au réemploi. Son intérêt est notamment lié à la saturation de l'aval de la filière du recyclage. L'éco-organisme a commencé un projet de réemploi en collaboration avec DOCTIBIKE. Le projet est en phase de test. Des tests sont réalisés sur :

- Le tri des batteries pour identifier les différentes batteries réparables ou réutilisables (certaines rendent le démantèlement ou la réutilisation impossible). Par exemple : batterie avec BMS avec des systèmes propriétaires bloqués. ;

- L'identification des parties de batteries usées et des parties réutilisables.

Seconde vie des batteries de mobilité lourde

La seconde vie englobe trois modèles principaux :

- Le remanufacturing ou « remanufacturing », qui englobe tout processus qui implique le démontage d'un produit, la restauration et le remplacement de composants, ainsi que la mise à l'essai des pièces individuelles et du produit entier selon ses spécifications de conception initiales. Le projet de Règlement européen (version de janvier 2023) retient une définition du remanufacturing qui permet « de rétablir la capacité de la batterie à au moins 90 % de sa capacité nominale d'origine, et lorsque l'état de santé de tous les éléments de batterie individuels est homogène, ne différant pas de plus de 3 % les uns des autres, et que la batterie est utilisée dans le même but ou pour la même application que celle pour laquelle elle a été conçue à l'origine »;
- La réparation ou « repair and return », où la batterie conserve son numéro d'identification original, ses éléments défectueux sont remplacés et elle est renvoyée soit au propriétaire (quand le propriétaire de la voiture et aussi propriétaire de la batterie), soit dans un pool de batteries quand le propriétaire de la voiture loue seulement la batterie.
- La réaffectation ou « repurposing », lorsque la totalité de la batterie ou seulement certaines parties de celle-ci sont utilisées dans une application autre que celle pour laquelle la batterie a été initialement conçue.

Il y a actuellement trois principales catégories de projets de seconde vie en ce qui concerne la réaffectation :

- Stockage nocturne de l'énergie électrique provenant des centrales électriques « traditionnelles » (centrales à charbon, gaz, nucléaires, etc.) ;
- Stockage de l'énergie électrique provenant des installations de production électrique intermittentes (photovoltaïque, éolienne...);
- Stockage de l'énergie électrique produite pendant la nuit dans les domiciles pour profiter des tarifs de nuit.

Ces 3 types de projets de seconde vie de batterie sont encore au stade de projet pilote ou démonstrateur en France.

Il y a 3 tendances sur le marché :

- Les recycleurs qui réalisent la réaffectation de batteries usagées sous leurs propres marques ;
- Les recycleurs qui travaillent avec un constructeur automobile pour s'occuper de la réparation et du remanufacturing de leurs batteries ;
- Les constructeurs automobiles qui créent leur propre filiale pour le remanufacturing de leurs batteries.

Les responsabilités lors de la deuxième ou troisième vie de la batterie ne sont pas clairement établies, notamment en ce qui concerne le fonctionnement de la filière REP. Le nouveau Règlement européen devrait clarifier cette question (cf. partie III.2).

IV.2.2. Gestion des batteries de mobilité en Europe

Le fonctionnement est similaire à celui identifié en France concernant les aspects suivants :

- Existence d'éco-organismes en charge des batteries de mobilité légère (volontaire ou obligatoire) et similarité du système de collecte et tri des batteries de mobilité légère usagées avec celui mis en place pour les batteries portables, avec des précautions supplémentaires pour la sécurité compte tenu des plus grandes capacités et poids ;
- Les batteries de mobilité légère sont principalement collectées pour recyclage, ou pour réutilisation (reconditionnement) via des start-ups. Les données disponibles aux Pays-Bas (marché de VAE mature) suggèrent une montée en puissance de la filière reconditionnement

par les distributeurs de vélos électriques, qui absorbent une partie croissante du gisement au détriment de la collecte directe par les éco-organismes, du fait d'un modèle attractif pour les consommateurs (rachat des batteries puis revente des batteries réparées ou pour une seconde vie). L'accès des filières de seconde vie au gisement issu des éco-organismes n'est pas encore garanti, celles-ci préférant recourir au recyclage en l'absence de statut clair pour la seconde vie.

- Implication des constructeurs dans la gestion des batteries usagées de mobilité lourde. La collecte s'effectue principalement via les réseaux de concessionnaires et garages et dans une moindre mesure à ce stade, via les centres VHU.

Les différences concernent les aspects suivants :

- Financement obligatoire d'un système REP pour les batteries de mobilité dans plusieurs pays (Belgique, Espagne, Norvège) alors que cela est volontaire en France.
- Fonctionnement financier et gouvernance des éco-organismes, propriété de la batterie... (voir le rapport ADEME (2022) pour plus d'informations)
- Les centres VHU de plusieurs pays étrangers ont un protocole clair de gestion des batteries de véhicules électriques (responsabilité, sécurité), en lien avec les éco-organismes le cas échéant.

Enfin, en Belgique et aux Pays-Bas, la forte proportion de la seconde vie par rapport au recyclage (40¹²-54%¹³ aux Pays-Bas et 93% en Belgique) pour les batteries de mobilité lourde collectées s'expliquent par :

- un faible gisement collecté à ce jour, et pouvant donc être absorbé par les projets R&D et pilotes en cours, ou les tests constructeurs,
- la qualité du gisement collecté en vue de la seconde vie. Les batteries sont principalement des batteries défectueuses relativement jeunes ou issues de protocoles de tests et il y a peu de batteries issues de véhicules accidentés ou en fin de vie ayant subi un grand nombre de cycles de fonctionnement. Ces proportions de seconde vie ne sauraient être considérées comme représentatives du futur potentiel de seconde vie.

Les dernières informations disponibles pour la Belgique suggèrent déjà une forte diminution de la part de seconde vie (30% selon Watt4ever).

Cette information n'est pas disponible pour tous les pays (et notamment pas pour la France) du fait du manque de traçabilité sur la filière, en particulier en l'absence d'éco-organismes.

¹² Batteries gérées directement par ARN, l'éco-organisme en charge des VHU et batteries de véhicules, issues principalement de centres VHU

¹³ Batteries des marques affiliées ARN, pas nécessairement gérées par ARN

Tableau 11 : Gestion des batteries de mobilité électrique en Europe (ADEME, 2022)

	Allemagne	Belgique	Espagne	Norvège	Pays-Bas
Contexte					
REP VHU	Volontaire	Obligatoire (collectif ou individuel)	Volontaire	Obligatoire	Obligatoire, via ARN
REP impliquant le financement d'un système de collecte des batteries de mobilité	Volontaire	Obligatoire	Obligatoire	Obligatoire	Volontaire Obligation de reprise
Mobilité légère					
Eco-organisme	GRS BATTERIEN	BEBAT	EUROPEAN RECYCLING PLATFORM ESPAÑA, ECOLEC, ECOPILAS, UNIBAT	NORSIRK, BATTERIRETUR	STIBAT
Mobilité lourde					
Eco-organisme	/	BEBAT, FEBELAUTO	EUROPEAN RECYCLING PLATFORM ESPAÑA, UNIBAT, ECOPILAS.	BATTERIRETUR HØYENERGI	ARN
Performances					
Tonnes collectées	Pas d'informations	174 tonnes (mobilité lourde) ND (mobilité légère)	ECOPILAS (2020) : 54 tonnes de batteries de mobilité électrique :	Pas d'informations	Pas d'information sur le taux de collecte 127 tonnes (mobilité

	Allemagne	Belgique	Espagne	Norvège	Pays-Bas
			<ul style="list-style-type: none"> • 25 tonnes de batteries provenant des véhicules électriques ou hybrides ; • 19 tonnes de batteries de scooters et motos électriques ; • 10 tonnes de vélos et trottinettes électriques. Pas d'informations pour les autres éco-organismes.		lourde) 225 tonnes (vélos)
% recyclage	Pas d'informations	Mobilité lourde : 11% de recyclage	Pas d'informations	Pas d'informations	Mobilité lourde : 46%
% seconde vie	Pas d'informations	Mobilité lourde : 82% dont : <ul style="list-style-type: none"> • 61 % Rappels constructeurs – tests, une partie étant ensuite envoyée en remanufacturing ou seconde vie ; • 11 % : Remanufacturing – usage identique ; • 10 % : Seconde life – usage différent. 	Pas d'informations	Pas d'informations	Mobilité lourde : 54%

IV.3. Potentiel de seconde vie

Le gisement de batteries de seconde vie issues de la mobilité en France pourrait atteindre 4.5 à 5 millions de kWh sur base de la capacité restante à horizon 2040. A titre de comparaison, la capacité de stockage d'électricité dans des Stations de Transfert d'Energie par Pompage permettant le stockage d'énergie hydroélectrique est de 184 millions de kWh en France¹⁴.

Tableau 12 : Gisement de batteries de seconde vie en France sur base de la capacité restante en milliers kWh (RECORD, 2023)

	Total	Véhicules particuliers et VUL	2, 3, 4 roues	VAE et EPDM
2025	243	6	21	216
2030	527	14-15	63	450
2035	1 731-1 866	899-1 035	130	701
2040	4 533-5 224	3 376-4 066	205	953

Le gisement européen de batteries de seconde vie issues de la mobilité en Europe pourrait atteindre 31-37 millions de kWh sur base de la capacité restante à horizon 2040.

Tableau 13 : Gisement de batteries de seconde vie en Europe sur base de la capacité restante en millions kWh (RECORD, 2023)

	Total	Véhicules particuliers et VUL	2, 3, 4 roues	VAE et EPDM
2025	2,4-2,5	0,9-1	0	1,5
2030	7,3-8	4,0-4,7	0,3	2,7
2035	17-19	12-14	0,6	4,6
2040	31-37	27-30	1	6

A horizon 2040, le gisement français de batteries de seconde vie sera de l'ordre de 45 ktonnes à horizon 2040, et le gisement européen de l'ordre de 300-350 ktonnes.

Tableau 14 : Gisement de batteries usagées en seconde vie en France en kilotonnes (RECORD, 2023)

	Total	Véhicules particuliers et VUL	2, 3, 4 roues	VAE et EPDM
--	-------	-------------------------------	---------------	-------------

¹⁴ <https://www.encyclopedie-energie.org/stockage-hydraulique-capacites-de-pompage-turbinage/>

2025	2	0,1	0,1	1,5
2030	4	0,1	0,4	3,2
2035	14-16	9-10	0,8	5
2040	40-47	32-39	1,4	6,8

Tableau 15 Gisement de batteries usagées en seconde vie en Europe en kilotonnes (RECORD, 2023)

	Total	Véhicules particuliers et VUL	2, 3, 4 roues	VAE et EPDM
2025	19-20	8-9	0,6	10
2030	62-68	39-45	1,9	22
2035	152-171	115-134	4,1	33
2040	309-344	257-293	7,0	45

V. Panorama des initiatives de seconde vie

V.1. Description d'initiatives identifiées

La liste des initiatives recensées dans le cadre de cette étude est disponible en Annexe (VII.1). De plus, la description de quinze initiatives est détaillée ci-dessous.

V.1.1. Mobilité légère

- Kyburz, : entreprise suisse de production de véhicules à 2,3 ou 4 roues électriques créée en 1991. A partir de 2015 l'entreprise développe un concept (qui sera intitulé par la suite MultiLife) de modèle économique circulaire. Ce concept a pour objectif de réemployer (dans des véhicules à 2,3 ou 4 roues électriques) , de réutiliser (via des systèmes de stockage d'énergie résidentiels) et de recycler les véhicules et les batteries utilisées
- Daūrema : entreprise belge concevant batterie créée en 2021. L'entreprise a développé une batterie réparable à partir des cellules de seconde-vie issues de la mobilité légère. Les batteries conçues sont utilisables pour de la mobilité légère ou pour d'autres applications (électroménager, outillage, etc.). Les batteries peuvent aussi être démontées afin d'en remplacer chaque cellule individuellement en fonction de son état de santé
- Battkomp : entreprise norvégienne créée en 2020. L'entreprise assemble des batteries de mobilité légère en réutilisant des cellules de batteries (en incluant un partenariat avec la marque Lime). Les batteries créées servent à la conversion de petits véhicules en électrique. La structure a conçu une voiture légère à partir de batteries de seconde vie.
- Doctibike : entreprise française de vente de batteries et de pièces détaillées pour petite mobilité fondée en 2014. L'entreprise propose aussi depuis plus récemment un service de réparation, diagnostic et reconditionnement des batteries et a lancé dans ce cadre un partenariat avec l'un des éco-organismes français en charge des piles et accumulateurs portables SCRELEC.
- WeRecy est une entreprise Française concevant des programmes de valorisation et de seconde-vie. L'entreprise développe, en partenariat avec SCRELEC, une solution permettant le démontage de batteries Li-ion issues de la mobilité légère ainsi que le diagnostic des cellules afin de les préparer à une seconde-vie en stockage d'énergie stationnaire. L'entreprise prévoit que ce projet permettra la création d'une unité industrielle pour cette seconde-vie d'ici 2024.

V.1.2. Mobilité lourde

- Connected Energy : entreprise britannique de conception de SES à partir de batteries de seconde vie fondée en 2013. L'entreprise propose un système de stockage de grande capacité E-STOR déjà mis en place dans plusieurs installations en Europe notamment grâce à un partenariat avec Renault et Engie. Les systèmes sont des systèmes de grande capacité allant jusqu'à 800 kWh permettant un usage industriel.
- Watt4Ever : entreprise belge de conception de SES à partir de batteries de seconde vie. La structure fondée par un consortium incluant FEBELAUTO (éco-organisme Belge) a déjà réalisé ses premières installations fonctionnelles. L'entreprise conçoit, vend et réalise la maintenance des systèmes vendues. Les systèmes sont majoritairement des armoires de stockage dont la capacité est inférieure à 100 kWh.
- EcarACCU Second life : entreprise néerlandaise fondée en 2015 proposant des solutions de seconde vie pour les batteries de véhicules électriques. L'entreprise démonte les batteries, revend une partie des composants et fournit différentes solutions de seconde vie à partir de modules Leur produits phares sont une armoire de stockage électrique modulable allant jusqu'à 80kWh de capacité ainsi que des systèmes de stockage d'énergie sur roues (remorque) de quelques dizaines de kWh.

- Entech : entreprise française de conception de SES. L'entreprise, dans le cadre de projets de recherche, conçoit des systèmes de stockage d'énergie à partir de batteries de seconde vie de véhicules électriques. Elle a notamment travaillé sur des solutions pour intégrer des packs batteries issus de constructeurs différents. Les projets de recherche publics liées à la seconde-vie des batteries que réalisent Entech sont le projet CSV et le projet ABR avec Stellantis et Talendi.
- Partenariat entre GREEN VISION et MOBILIZE. Green-vision est une entreprise Française concevant des batteries Li-ion pour électrifier différents systèmes notamment pour la mobilité. MOBILIZE est une filiale de RENAULT développant des solutions de mobilité électrique. Les deux structures ont démarré un partenariat en 2021 pour réutiliser les batteries des véhicules électriques Renault dans diverses applications et notamment des véhicules 2 roues ou des bateaux.
- Elsa : projet de 6 installations pilotes de Systèmes SES à partir de batteries de seconde vie lancé en 2017 dans 4 pays européens (dont 1 installation en France et 2 en Allemagne) et soutenu par l'UE. Les installations impliquaient divers partenaires dont des constructeurs de véhicules. Les capacités installées étant de l'ordre de la centaine de kWh. Le projet qui avait pour objectif de démontrer la pertinence de telles installations est maintenant achevé et considéré concluant.
- Partenariat entre Vattenfall et BMW. BMW fournit à Vattenfall (fournisseur d'électricité allemand) des batteries usagées de ses véhicules I3, Vattenfall utilise ces batteries pour réaliser des installations de stockage d'énergie stationnaire sur ses fermes de production électrique afin d'aider à la stabilisation du réseau.
- xStorage : issu d'un partenariat entre Eaton et Nissan démarré en 2013. Le projet a abouti à la création d'une offre commerciale disponible en France dès 2016 : la vente de systèmes de stockage d'énergie stationnaire conçus à partir de batteries de Nissan Leaf neuves ou usagées. Ces SES ont des applications industrielles et commerciales notamment comme batteries de secours ou, avec des capacités plus faibles, comme systèmes résidentiels destinés aux particuliers.
- Phenix batteries est une filiale de SNAM Group (recycleur) dédiée à la seconde vie de batteries de mobilité lourdes. Grâce à des partenariats avec divers constructeurs Phénix collecte les batteries en vue de les transformer en modules de quelques kWh qui peuvent ensuite être assemblés pour des application en stockage stationnaire. La structure travaille aussi au développement d'interventions au niveau des cellules. *Le projet a été abandonné en cours d'étude, les actionnaires ayant choisis de ne plus développer ce sujet pour le moment.*
- BeePlanet est une entreprise espagnole de conception de SES de seconde-vie fondée en 2018. L'entreprise conçoit des systèmes de stockage stationnaire dans des armoires ou des conteneurs ayant des capacités allant de 4 kWh à 1 MWh. L'entreprise a conçu ses propres tests de diagnostic afin d'évaluer la performance des batteries. Les systèmes conçus peuvent être destinées à des résidentielles, industrielles et commerciales ou associées à des fermes de production électrique.

V.2. Caractéristiques des initiatives identifiées

Dans ce panorama, 87 initiatives de secondes vies de batteries lithium-ion de la mobilité ont pu être recensées.

V.2.1. Distinction entre initiatives pour batteries de mobilité légère et batteries de mobilité lourde

Dans ces 87 initiatives, 60 sont spécifiquement dédiées uniquement à des batteries de mobilité lourde, 20 sont dédiées à des batteries de mobilité légère tandis que les 6 dernières initiatives concernent des batteries provenant de diverses origines. Les deux premières catégories d'initiatives se distinguent clairement l'une par rapport à l'autre par le type d'initiative, l'échelle, les applications de seconde vie, etc. Ainsi les initiatives dédiées à ces deux types de batteries à la fois sont plus rares.

V.2.2. Types d'initiatives recensées

Le nombre de projets recensés est donc plus large pour les batteries de mobilité lourde, en effet les quelques projets liés à de la seconde vie de mobilité légère sont de manière générale des projets à plus petite échelle, qui sont portés soit par des start-ups spécialisées soit par des structures qui intègrent ce service dans une offre commerciale plus large comme de la réparation ou de la vente de batteries et/ou de véhicules de mobilité légère.

En ce qui concerne les initiatives de seconde vie des batteries de mobilité lourde, elles peuvent être rassemblés en trois grandes catégories :

- les entreprises dont l'activité principale est de réaliser une seconde vie de ces batteries pour diverses applications (cela concerne 16 initiatives) ;
- les installations (généralement pour du stockage d'énergie stationnaire) qui ont pour but de proposer un système conçu à partir de batteries de seconde vie sur un plusieurs sites spécifiques (cela concerne 23 initiatives) ;
- les projets d'entreprises ou de consortium ou les partenariats ayant pour objectif d'intégrer et de généraliser des solutions de seconde vie (cela concerne 17 initiatives).

Les 4 initiatives restantes concernent des entreprises concevant et produisant des batteries ou des systèmes de stockage d'énergie neufs mais intégrant aussi dans une partie de leurs produits des éléments (cellules, packs) provenant de batteries de seconde vie.

V.2.3. Applications de seconde vie

Les applications visées en seconde vie sont les suivantes :

- Les batteries peuvent être utilisées à nouveau pour de la mobilité, cela concerne seulement 5 initiatives (sur 60) de batteries de mobilité lourde (dont une uniquement pour une application en mobilité lourde et donc pour un même type d'usage) mais une plus grande part des initiatives pour la mobilité légère puisque 13 initiatives (sur les 20 recensées) sont concernées.
- Les batteries peuvent être utilisées aussi dans un cadre de stockage d'énergie stationnaire (SES), cela concerne la plupart des projets liés aux batteries de mobilité lourde, 47 initiatives sur 60 et 2 dans le cas de la mobilité légère. A noter que dans le cas de ces initiatives, certains SES sont constitués seulement en partie de batteries de seconde vie et pour le reste de batteries neuves les proportions étant variables en fonction des initiatives : des parts de 42%, 62% et 90% en nombre de batteries ont été identifiées. Bien que la plupart des initiatives ne précisent pas le type de stockage d'énergie stationnaire visé, certaines (notamment dans les cas des initiatives de type installations) sont dédiées à des applications bien spécifiques :
 - 17 initiatives sont dédiées à la régulation du réseau électrique ;
 - 6 initiatives sont liées à des installations de production d'énergie renouvelable ;

- 2 initiatives sont dédiées spécifiquement à du stockage d'énergie dans le cadre d'installations résidentielles ;
- 1 initiative est dédiée spécifiquement au chargement des véhicules électriques.

V.2.4. Acteurs impliqués

Les initiatives recensées mettent en jeu des acteurs ayant des activités diverses : les projets sont souvent portés par plusieurs structures et sont aussi accompagnés par des partenaires.

Les constructeurs de véhicules (OEMs¹⁵) participent à un grand nombre d'initiatives recensées puisque 32 des initiatives ont été identifiées comme ayant un constructeur dans les porteurs de projets ou les partenaires (cela concerne 27 des 60 initiatives dans la mobilité lourde et 4 des 21 initiatives dans la mobilité légère). Parmi ces constructeurs se trouvent des structures telles que Renault, Nissan ou BMW pour la mobilité lourde ou des structures telles que Kyburz, Ahooga ou Lime pour la mobilité légère.

Toutefois dans la majorité des initiatives, ces constructeurs ne sont pas meneurs des initiatives de seconde vie puisque en effet dans le cas des batteries de mobilité lourde, seulement 11 initiatives sont menées par des OEMs.

Des concepteurs de stockage d'énergie stationnaire (SES) sont plus fréquemment impliqués dans la direction de ces initiatives puisque 21 sont menées par ces d'acteurs (19 en mobilité lourde, 1 dans la mobilité légère et 1 avec des batteries d'origines diverses), parmi ces entreprises se trouvent par exemple ENTECH, BeePlanet ou Watt4Ever. De même des constructeurs de batteries mènent 11 initiatives (6 en mobilité lourde, 4 en mobilité légère et 1 en utilisant des batteries d'origines diverses) par exemple Gouach, Betteries ou Powervault.

D'autres types acteurs sont amenés à porter ou à participer à ces initiatives, souvent dans le cadre de collaborations tels que :

- Pour les batteries de mobilité lourde : des énergéticiens, collecteurs ou bien recycleurs
- Pour les batteries de mobilité légère, des vendeurs et des réparateurs de batteries.

Diverses structures travaillent spécifiquement à l'élaboration de solutions pour mettre en œuvre la seconde vie de ces batteries et accompagnent les porteurs de projets souhaitant lancer ce type de projets. Ces structures, telles que Forsee Power, Reneos ou AVL, sont aussi représentées parmi les différents acteurs impliqués.

De plus, différentes initiatives sont menées par ou réalisées en collaboration avec des universités et centres de recherche, ces derniers sont impliqués aussi bien, comme indiqué ci-dessus, pour la mise en œuvre des projets mais aussi dans le but d'identifier des solutions innovantes qui puissent bénéficier à l'ensemble du secteur. Ces centres travaillent notamment sur la généralisation de solutions ou de technologies afin de développer ou d'améliorer le type d'interventions pouvant être réalisées sur les batteries pour leur offrir une seconde vie (cf. V.3.5).

V.2.5. Localisation des initiatives recensées

La carte ci-dessous présente les pays d'où proviennent les initiatives recensées. A noter que certaines initiatives impliquent différents pays et que celles-ci sont donc comptées plusieurs fois dans cette carte.

¹⁵ Original Equipment Manufacturer

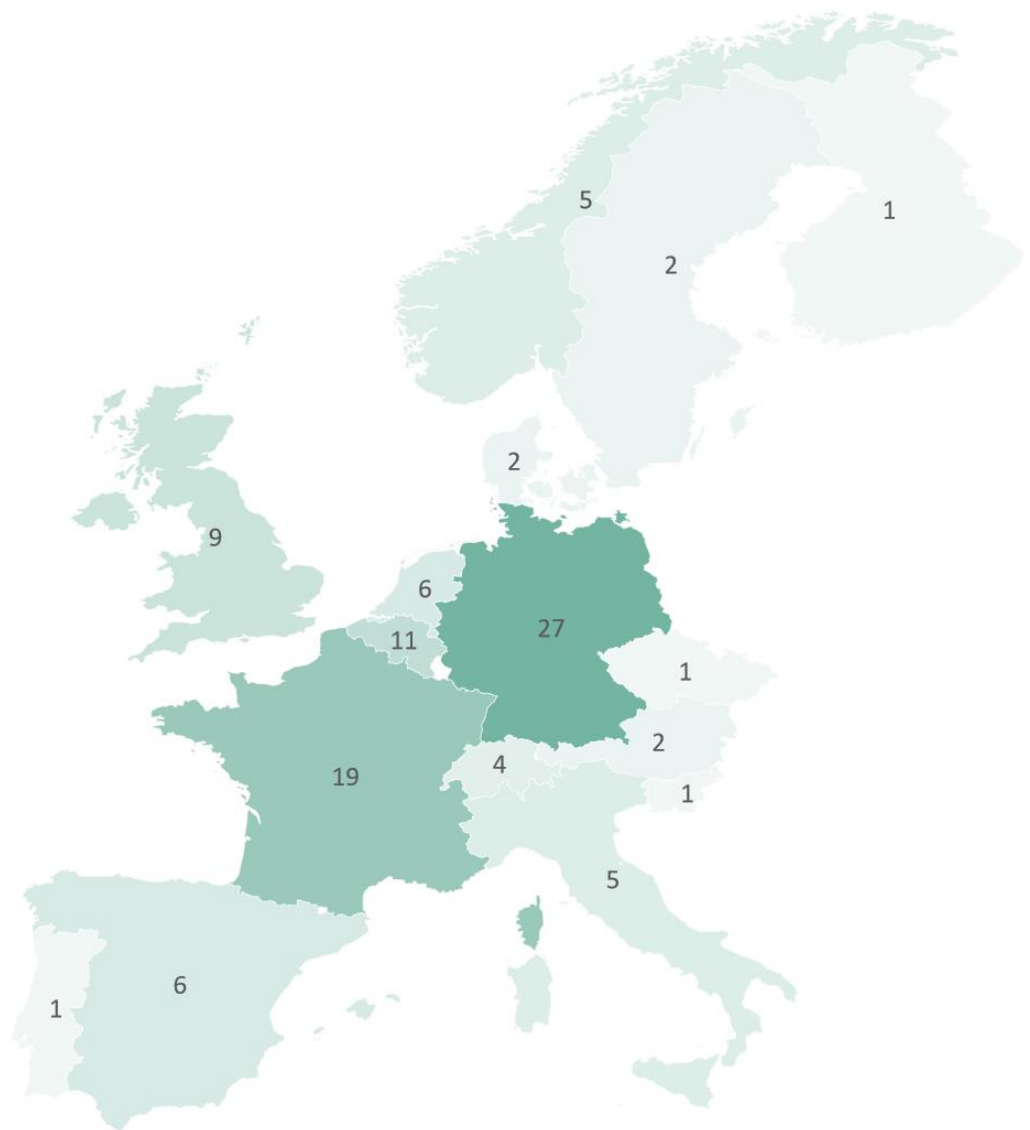


Figure 9: Nombre d'initiatives de seconde vie des batteries de mobilité recensées par pays (RECORD, 2023)

Ainsi, la plupart des initiatives recensées proviennent d'Allemagne, suivi par la France et la Belgique et vient ensuite Royaume-Uni. A noter qu'en Allemagne, 5 initiatives ne concernent que la réparation des batteries de mobilité légère avec remplacement et recyclage des cellules usagées. Les 11 initiatives belges, les 5 initiatives norvégiennes ainsi que les 6 initiatives néerlandaises sont aussi à noter au vu de la population de ces pays. Dans le cas de la Norvège, ce nombre peut s'expliquer par la forte électrification de ce pays. Pour les Pays-Bas la dynamique de développement des énergies renouvelables peut aussi apporter une explication.

Cette carte est à nuancer, certains pays pouvant être sur-représentés ou sous-représentés par rapport à la réalité du développement des projets de seconde vie sur le terrain, en fonction de la disponibilité des informations.

V.3. Analyse transversale

V.3.1. Evolution des types d'initiatives en fonction du temps

Dans le graphe ci-dessous sont référencés les initiatives pour lequel un temps de démarrage a pu être identifié. Le nombre d'initiatives y est indiqué en fonction des années.

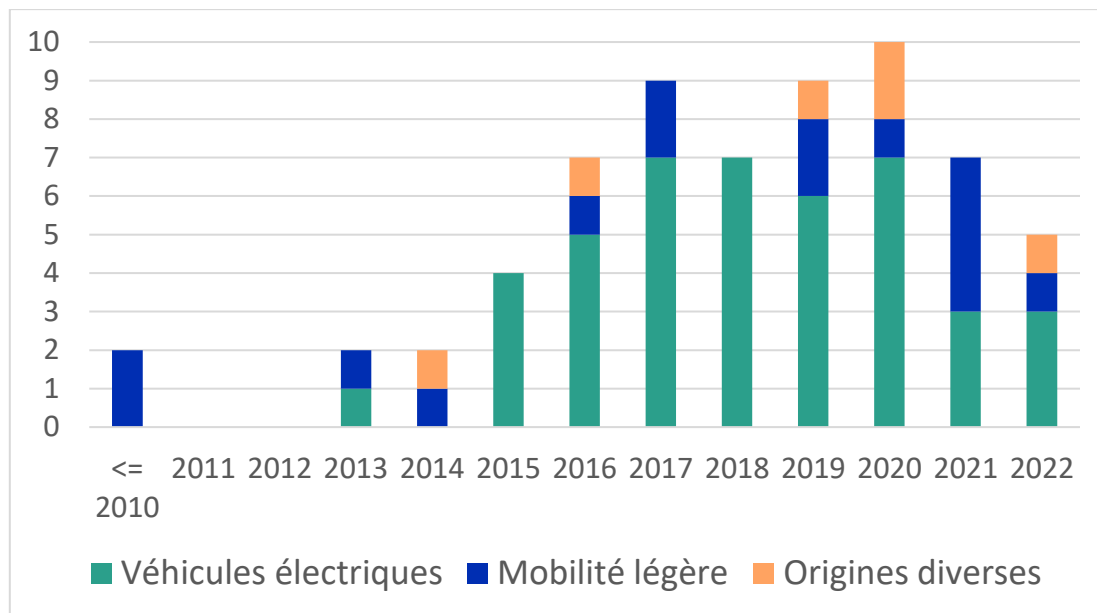


Figure 10 : Nombre d'initiatives recensées de seconde vie démarrées par an, par origine (RECORD, 2023)

Il est possible de noter une croissance du nombre d'initiatives jusqu'en 2017. Les années suivantes, la dynamique des projets s'est maintenue avec un nombre d'initiatives par an qui se stabilise autour de 8.

La forte disparité des années pour les initiatives de mobilité légère s'explique par le plus faible nombre d'initiatives dans l'échantillon. Toutefois, la présence de premières initiatives avant 2010 est à noter de même que le grand nombre d'initiatives lors de l'année 2021 qui peut s'expliquer par la forte croissance du marché des véhicules de mobilité légère.

V.3.2. Maturité des initiatives

Des informations sur la maturité des initiatives sont relativement peu disponibles, il est néanmoins possible d'identifier les éléments suivants :

- Les initiatives liées à la seconde vie des batteries de mobilité lourde, notamment liées aux OEM, sont souvent réalisées dans le cadre d'installations ponctuelles qui sont pour la plupart en fonctionnement mais qui pour le moment ne semblent pas aboutir à des projets plus larges et long terme. Cela concerne par exemple l'installation de l'usine d'Endesa à Melilla impliquant Enel X et Nissan.
- Les projets démarrés avant 2019 sont aujourd'hui majoritairement arrivés à leur terme, ainsi les temps de maturation de ces projets apparaissent relativement courts. Ces projets ont abouti soit à la création d'entreprises et/ou de business model soit à l'exploitation d'installations qui pour la plupart sont ponctuelles mais pour d'autres ont permis de lancer des dynamiques qui se sont reproduites. Il est par exemple possible de citer le projet Smart hubs qui a abouti à une coopération de plus long terme entre Connected Energy, Renault et Engie pour l'installations de systèmes de stockage d'énergie, ou encore l'installation au Hamburg's Cruise Center menée par Vattenfall et BMW et qui a abouti sur un partenariat plus long terme.

- Les projets plus récents (démarrés à partir de 2020) impliquent des acteurs de plus en plus divers comme porteurs de projets. Dans le même temps, dans le cas des applications stationnaires, les marchés se positionnent de plus en plus sur des applications plus précises (par exemple le stockage d'énergie renouvelable, ou la batterie de secours) et donc se stabilisent. Tandis que dans le cas des applications portables, les marchés se généralisent sur un format de batterie pouvant viser différents usages et sont de moins en moins dédiées à des applications portables spécifiques. Dans les deux cas, cela suggère une montée en maturité de la seconde vie.
- Certaines entreprises, notamment dédiées à la conception de SES commencent à se positionner sur le secteur et à accumuler le nombre de projets et d'initiatives conclues à leur actif. Parmi ces entreprises, il est possible de noter CONNECTED ENERGY qui a notamment développé des partenariats avec différents constructeurs ou encore ENTECH.
- La conception de batteries et de systèmes de SES à partir de batteries de seconde vie apparaît dans ces initiatives comme suffisamment mature technologiquement pour être reproductible, et ce à diverses échelles de capacité.
- Les éléments identifiés suggèrent que le secteur est encore en cours de structuration du fait de la diversité des modèles techniques, des échelles et des applications visées, et du caractère ponctuel des partenariats entre acteurs (souvent liés à un projet spécifique). Aujourd'hui, pour la mobilité lourde, l'implication des OEMs est quasi systématique pour les projets à grande échelle. Ceci peut être lié à la fois à l'accès au gisement (batteries issues du réseau constructeur) et de l'accès aux informations du BMS (système propriétaire).
- En ce qui concerne la maturité économique, aucune information précise n'a pu être identifiée, la question reste encore en suspens. Mais l'établissement croissant de structures dédiées qui apparaissent stables est un indicateur positif.

V.3.3. Echelles concernées

Peu de données ont pu être identifiées dans la littérature sur l'échelle des différentes initiatives (capacité électrique totale réutilisée). Ces informations sont rarement communiquées par les projets.

Toutefois, dans le cas des installations de stockage d'énergie stationnaire (une vingtaine d'initiatives), les capacités installées sont connues et peuvent être

- de petites installations de quelques batteries de seconde vie c'est-à-dire des installations avec une capacité de quelques dizaines de kWh, cette taille de projet concerne aussi bien des prototypes pour des applications de plus grande capacité que des applications fournies par des acteurs se positionnant sur cette gamme de taille ;
- ou des installations plus larges avec des capacités allant de 1 MWh à 20 MWh, ceux-ci étant généralement des projets industriels impliquant divers acteurs et notamment des OEM dans la plupart des cas.

V.3.4. Technologies

Pour ce qui est des technologies concernées, les initiatives identifiées, lorsque c'est spécifié, concernent exclusivement des batteries de type lithium-ion.

La plupart des initiatives n'indiquent pas se limiter à une technologie spécifique. Ceci à l'exception de quelques fabricants de batteries dédiées à la mobilité légère et proposant une seconde vie uniquement pour les batteries qu'ils ont conçues. De même, certaines initiatives, et notamment la plupart de celles impliquant des OEMs de véhicules électriques, ne travaillent qu'avec un seul modèle de batterie et donc une seule technologie.

La société française ENTECH a développé un système pour intégrer des packs de batteries issus de différents constructeurs automobiles (NISSAN et PSA) au sein d'une même solution. Tandis qu'une petite partie des initiatives indiquent travailler avec plusieurs technologies de batteries mais ne

fournissent pas d'information sur l'existence ou non d'une combinaison de technologies au sein d'une même solution.

V.3.5. Interventions réalisées

Les initiatives recensées donnent, de manière générale, peu d'informations sur les interventions réalisées pour la préparation à la seconde vie. Toutefois celles donnant quelques informations privilégient majoritairement des interventions mécaniques (22 initiatives concernées), seules 2 initiatives indiquent réaliser une intervention principalement logicielle. Ces interventions mécaniques ne sont pas toujours précisées mais elles peuvent impliquer :

- Une identification et une mise à l'écart des cellules défectueuses, avec remplacement de ces dernières ou non.
- Une récupération des cellules défectueuses pour l'utilisation initiale afin de recréer une batterie
- Une intervention restant au niveau des modules (dans le cas de la mobilité lourde)

De plus, dans la plupart des cas, ces interventions mécaniques sont accompagnées de quelques interventions logicielles notamment en ce qui concerne l'adaptation ou bien le remplacement du BMS.

Dans le cas de la mobilité légère, certaines initiatives, notamment les plus anciennes se positionnent dans la réparation des batteries en remplaçant l'ensemble des cellules usagées par des neuves.

V.4. Sélection des initiatives à approfondir

Une pré-sélection de 12 initiatives extraites des initiatives décrites dans la partie V.1 a été faite et proposée à RECORD.

RECORD a donné un premier avis sur la sélection de 5 initiatives (3-4 initiatives concernant la mobilité lourde et 1-2 concernant la mobilité légère), la sélection finale étant effectuée après prise de contact avec les porteurs des initiatives en vue de valider leur participation au projet.

Les projets présélectionnés sont récapitulés dans un tableau mettant en avant différents critères de sélection considérés ainsi qu'une proposition de priorisation.

V.4.1. Tableau récapitulatif

Tableau 16 : Tableau récapitulatif des 12 structures et initiatives présélectionnées et certains critères de sélection (RECORD, 2023)

Pays	Année	Application visée	Structure impliquée dans plusieurs projets	Partenariat avec	Niveau d'information	Autres particularités	Priorité	
Mobilité légère								
MultiLife par Kyburz (OEM)	Suisse	1991 (structure) et 2015 (projet)	Mobilité et stockage d'énergie	/	/	++	Deuxième et troisième vies proposées	1
Daürema (Réparateur de batteries)	Belgique	2021 (structure et projet)	Mobilité (même usage)	/	/	++	Identification et remplacement de cellules défectueuses	2.1
Doctibike (Vendeur / Réparateur de batteries)	France	2014 (structure)	Mobilité (même usage)	/	SCRELEC (éco-organisme)	+	Reconditionnement et réparation	2.2
Battkomp (Concepteur de batteries de seconde vie)	Norvège	2020 (structure et projet)	Mobilité principalement	/	Lime (OEM)	++	Utilisation de batteries Lime, Création d'un prototype de voiture légère	3

Mobilité lourde								
Connected Energy (Concepteur de SES)	Royaume- Uni (structure)	2013 (structure)	Stockage d'énergie stationnaire pour usage divers	Oui, multiples projets depuis 2016 au moins.	Renault (OEM), Engie (énergéticien)	++	Batteries de seconde vie uniquement	1.1
Watt4Ever (Concepteur de SES, petites capacités)	Belgique	2020 (structure et projet)	Stockage d'énergie stationnaire pour usage divers	/	Febelauto (éco-organisme), Revolta, Out of Use	++	Batteries de seconde vie uniquement	1.2
Entech (Concepteur de SES)	France	2016 (structure)	Stockage d'énergie stationnaire pour pilotage d'ENR	Oui (projets CSV et ABB)	Stellantis, Talendi	++	Met en place des solutions de production d'ENR avec stockage Intégration de packs de différents constructeurs	1.3
EcarACCU Second life (concepteur de système de batteries)	Pays-Bas	2015	Batteries pour divers usages dont portable	/	Febelauto (éco-organisme), ARN (éco-organisme), CarTakeBack	++	Produit : phare : système de stockage d'énergie sur remorque	2.1

Partenariat GreenVision / Mobilize (Concepteur de batteries et OEM)	France	2021 (en cours)	Applications de stockage portable dont véhicules.	Oui, diverses applications	Renault (OEM)	-	/	2,2
Phenix Batteries par SNAM (recycleur)	France	2017	Stockage d'énergie stationnaire à usage divers. Petites capacités.	Oui	Différents constructeurs	++	Des recherches en cours sur des réparations de batteries au niveau des cellules	3,1
Partenariat Vattenfall / BMW (Energéticien et OEM)	Allemagne	2017 (en cours)	Stockage d'énergie stationnaire de stabilisation du réseau Electrique	Oui : multiples installations	/	-	/	3,2
xStorage par Eaton (concepteur de systèmes électriques)	Monde (offre disponible en France)	< 2015 (début du projet) 2016 (disponibilité en France)	Stockage d'énergie stationnaire à usage divers	/	Nissan (OEM)	+	Applications possibles comme système de batteries de secours (UPS) ou comme Stockage résidentiel pour particuliers	4

VI. Analyse transversale

VI.1. Maturité technique de la seconde vie

Les initiatives approfondies sont de maturité technique variables, de TRL 5 à 9.

Plusieurs initiatives de seconde vie sont matures, avec une offre commerciale « au catalogue ». Les quantités pouvant être produites restent cependant limitées par le gisement

Tableau 17 : Maturité technique des initiatives de seconde vie (RECORD, 2023)

	Date du premier projet seconde vie	TRL	Nombre de systèmes en fonctionnement	kWh totaux installés
Kyburz	2015	9	110	1,6 MWh
Entech	2018	5-7	NC	NC
Eaton / xStorage	2015	9	NC	Quelques dizaines de MWh
Connected Energy	2014	9	26	9 MWh
Watt4ever	2020	Petites capacités : 9 Grandes capacités : 6-7	NC <i>Prévisionnel 2023 :</i> 40	NC <i>Prévisionnel 2023 :</i> 1MWh

NC : non-communicué. Les entreprises interrogées n'ont pas souhaité partager ce genre d'informations.

Les principaux verrous techniques restants à lever sont listés dans la partie VI.5 ci-dessous.

VI.2. Potentiel de réutilisation des batteries en fin de vie

VI.2.1. Critères permettant de juger du caractère réutilisable

D'après les initiatives étudiées de manière approfondie, les critères pour juger du caractère réutilisable sont les suivants :

- **L'existence d'un accord avec le metteur en marché (OEM) ;**
- **L'existence d'un gisement suffisant de batteries de même nature ;**
- **L'absence de signes de chocs ou dégradation extérieurs ;**
- **Une capacité supérieure à 70% de la capacité initiale ;**
- **D'autres critères confidentiels (cf ci-dessous) ;**

Tableau 18 : Critères permettant de juger du caractère réutilisable (RECORD, 2023)

	Partenariat OEM	Modèles réutilisés	Contrôle visuels	Critère de SOH (%)	Autres
Kyburz	Kyburz	Véhicules Kyburz	Oui	>65%	NC
Entech	Stellantis	NC	Pas par Entech	>70-80% (Projections)	NC
Eaton / xStorage	Nissan	Nissan Leaf	Pas par Eaton	>70%	Seuil de température lors de la charge Tension
Connecte d Energy	Renault	Kangoo Z.E	Pas par Connected Energy	>70% ¹⁶	NC
Watt4ever	Aucun, sauf pour l'accès au gisement	Divers	Oui	>90%	Impédance Tension

NC : non-communicué

L'existence d'un accord avec le metteur en marché

Toutes les initiatives étudiées de manière approfondie ont un accord de partenariat avec le metteur en marché.

Cet accord garantit tout ou partie de trois éléments essentiels à la réalisation d'initiatives de seconde vie :

- L'accès à un gisement de batteries usagées d'un même modèle. Cet élément est particulièrement clé à l'heure actuelle puisque le gisement est relativement limité, concentré sur quelques modèles plus anciens, et centralisé par les fournisseurs de véhicules en termes de filière de collecte. A terme, d'autres sources de batteries comme les centres VHU pourraient fournir un approvisionnement adéquat ;
- L'accès au système de gestion de la batterie (BMS), ce qui fournit d'une part des informations sur l'état de santé de la batterie, et permet de réutiliser le BMS (option choisie par Entech et Connected Energy). Dans tous les cas, même avec ces accords, les acteurs interrogés considèrent qu'un accès à un BMS standardisé serait une amélioration nette pour permettre la seconde vie de ces batteries. Le projet de Règlement européen envisage d'obliger les OEM à donner accès au BMS en lecture seule aux opérateurs préparant à la réutilisation (article 14) pour l'évaluation de la capacité restante et de la durée de vie restante des batteries, un an après l'entrée en vigueur du Règlement. En outre, à partir de 2026, l'accès à ces informations devra être rendu possible sans la nécessité de passer par le BMS, via le QR code prévu par le passeport batterie, ce qui implique une forme de communication entre le BMS et le système d'information support au passeport batterie.

¹⁶ Niveau de SoH accepté en pratique. Connected Energy ne l'a pas défini comme un critère de SoH, la valeur minimale pouvant dépendre du prix.

- L'accès à des instructions de sécurité fournies par le constructeur automobile pour l'utilisation de la batterie en seconde vie (les initiatives d'Entech, d'Eaton et de Connected Energy sont concernées).

Pour Watt4ever, l'accord de Febelauto (éco-organisme belge de gestion des VHU et batteries utilisées dans les VHE et membre fondateur de Watt4ever) avec certains constructeurs donne accès au gisement mais pas au BMS.

Cet accord est particulièrement stratégique pour le moment car ce sont les metteurs en marché qui centralisent le gisement. Si d'autres organisations sont retenues dans le cadre de la future REP reposant par exemple sur une centralisation par l'écoorganisme, et de manière opérationnelle par les centres VHU, des partenariats avec ces acteurs seraient également stratégiques.

L'existence d'un gisement suffisant de batteries de même nature

Toutes les batteries faisant l'objet d'une seconde vie au sein des initiatives étudiées sont des batteries Li-ion.

Les initiatives étudiées valorisent des batteries issues de véhicules de type L2 à L5 (Kyburz : 3 4 roues motorisés) et M (Eaton, Watt4ever, Connected Energy et Entech : véhicules pour le transport de personnes).

Aucune technologie de Li-ion n'est considérée comme non réutilisable en tant que telle. Les technologies faisant l'objet d'une seconde vie sont diverses : LFP (Kyburz), NMC (Watt4Ever, Eaton), NMA (Watt4Ever), LMO (Eaton).

Les batteries usagées de véhicules électriques de catégorie M sont aujourd'hui rarement composés de cellules de type LFP, contrairement aux véhicules plus légers (Kyburz).

Pour les initiatives étudiées, les cellules faisant l'objet d'une seconde vie sont prismatiques (Kyburz, Watt4Ever) ou « pouch » (Watt4Ever). Les cellules de type cylindrique sont peu utilisées dans les véhicules qui faisaient l'objet des initiatives étudiées, elles sont en revanche utilisées dans les véhicules de type L1 ou les batteries utilisées dans les autres moyens de transport légers.

Finalement, le principal critère technique pour évaluer le potentiel de réutilisation d'une batterie est le gisement : les concepteurs de systèmes évaluent le gisement de batteries d'une technologie avant de développer un prototype et un produit afin de vérifier que les quantités sont suffisantes pour justifier les dépenses de prototypage. Le gisement ainsi recherché peut aussi bien concerner un unique modèle de véhicule ou bien plusieurs modèles utilisant les mêmes modules. Watt4ever prend par exemple en compte les différents modèles de packs utilisant un même type de modules afin d'évaluer le gisement accessible.

L'absence de signes de chocs ou dégradation extérieurs

Toutes les initiatives assurent un contrôle visuel des batteries avant d'offrir une seconde vie au pack batterie, à ses modules ou cellules. Les batteries endommagées ne sont pas réutilisées.

Le contrôle visuel peut être réalisé en amont par le constructeur automobile (dans le cas d'Entech, Eaton, Connected Energy et Kyburz) et/ou directement par le concepteur de système de seconde vie (pour Watt4ever)

Une capacité supérieure à 65% de la capacité initiale (SOH)

La capacité restante est supérieure à 65% pour l'ensemble des initiatives étudiées. Selon les initiatives, le seuil retenu est même de 70% (pour Eaton par exemple), ou même de 90% (pour Watt4Ever).

D'autres critères confidentiels

Outre la capacité, l'impédance (Watt4Ever), la tension (Watt4Ever, Eaton) et la température (Eaton) lors de la charge de la batterie sont évalués selon les initiatives, une partie de ces informations pouvant être fournies par le BMS lorsque celui-ci est accessible.

De plus, les entreprises disposant de batteries déjà testées par l'OEM (Eaton et Connected Energy) définissent des critères d'acceptation au fournisseur, elles n'ont pas souhaité communiquer ces critères et/ou les seuils associés.

VI.2.2. Lien entre le type de batterie et le type d'application visée

Pour un réemploi dans des véhicules électriques, les batteries utilisées ont été conçues initialement pour l'application visée (ex : Kyburz).

Pour une réaffectation, en vue de stockage d'énergie stationnaire, aucun lien n'a pu être établi entre le type de batterie d'origine et le type d'application visée pour la seconde vie (résidentiel, industriel, services réseau...). Sur base des initiatives approfondies, c'est avant tout l'architecture complémentaire du système de stockage d'énergie stationnaire qui détermine l'application visée (mise en série et en parallèle, convertisseurs, système de pilotage...).

A noter que les SES utilisant des batteries neuves privilégient aujourd'hui les batteries LFP. Le fait que les batteries de seconde vie n'utilisent pas cette technique n'est pas noté comme un frein par les différents acteurs interrogés.

Pour certaines initiatives, il y a plusieurs types de seconde vie envisagées en fonction de différents critères.

- Le concept MultiLife porté par Kyburz propose un réemploi dans des véhicules (catégories L2 à L5) pour des SoH supérieurs à 85% et une seconde vie via une préparation à la réaffectation, sous forme de SES, pour des SoH supérieurs à 65%.
- Le partenaire d'Entech, Talendi, en fonction des tests réalisés sur le pack batterie fournit les packs batteries complets à Entech pour des SES de grands formats, ou conçoit des SES petits formats à partir des modules. Les tests réalisés et les critères justifiant cette orientation sont confidentiels.
- D'après Eaton, Nissan fournit des batteries avec un SoH compris entre 70% et 75% mais a d'autres débouchés pour les batteries avec un SoH supérieur (Eaton n'a pas pu nous fournir plus de détails à ce sujet) ;
- Watt4Ever revend les modules qui ne lui sont pas utiles auprès d'autres acteurs de la seconde vie (particuliers et petites structures) en Europe. Ce choix de revente est principalement dû au fait que le gisement de certains modèles de batteries jugé trop faible pour justifier les coûts de prototypage.

VI.2.3. Tests permettant d'évaluer le caractère réutilisable des batteries

L'évaluation du caractère réutilisable des batteries entrantes se fait via la réalisation de tests.

La nature exacte des tests réalisés est confidentielle. Les porteurs de projet ont précisé que les tests constituent l'essentiel de leur valeur ajoutée et n'ont donc pas souhaité communiquer les protocoles, voire le type de tests réalisés / les paramètres mesurés.

Le tableau ci-dessous résume les informations disponibles sur les tests réalisés. L'indication du sigle NC (non communiqué) indique que l'information n'a pas été fournie par le porteur de projet interrogé (Entech, Eaton et Connected Energy), ces tests étant réalisés par d'autres acteurs.

Tableau 19 : Tests d'évaluation du caractère réutilisable des batteries / modules / cellules entrantes (RECORD, 2023)

	Lecture du BMS	Cycle de charge décharge (mesure du SOH)			Tests supplémentaires nécessaires
Kyburz	Oui	/	Oui	Oui	Oui
Entech	Oui	Oui	/	Non	NC
Eaton / xStorage	Oui	NC	Oui	Non	Oui
Connected Energy	Oui	Oui	/	Non	NC
Watt4ever	Si accessible	Oui (dépend de la batterie)	Oui	Non	Oui

NC : non-communicé

Lecture du BMS

La lecture du BMS permet d'avoir accès à la capacité restante, au niveau de charge, à la tension de la batterie et à la température lors de la charge de la batterie.

Mesure du SOH

Le SOH est mesuré via un cycle de charge et de décharge de la batterie. Ce test est coûteux en temps.

Le SOH est mesuré sur les packs et/ou les modules en fonction des initiatives. La mesure est effectuée au même niveau que le niveau d'intervention de la préparation à la seconde vie, et dans le cas où les modules sont réutilisés un premier test sur le pack peut avoir été fait en amont.

Autres tests

En plus du cycle de charge-décharge et de la lecture du BMS, les acteurs interrogés ont mentionnés que d'autres tests sont nécessaires mais n'ont pas souhaité communiquer sur ces tests.

Watt4Ever a aussi indiqué réaliser des tests par spectroscopie d'impédance, cette information n'ayant pas été transmise par les autres acteurs interrogés.

Acteurs responsables des tests

Le tableau ci-dessous présente les acteurs en charge des tests sur les batteries entrantes. En fonction des initiatives, les tests sont réalisés par l'OEM ou un partenaire en amont de la livraison des batteries au concepteur de système de seconde vie. Le projet xStorage a la particularité d'avoir des premiers tests effectués par Nissan qui sont ensuite vérifiées par Eaton. Talendi, qui réalise les tests pour Entech, a la particularité d'être une entreprise spécialisée dans l'emploi de personnes en situation de handicap.

Ces tests amont peuvent permettre à l'OEM d'avoir un contrôle sur les batteries qui sont utilisées en seconde vie, sur leur valeur et de potentiellement conserver une partie du gisement. Ils permettent également au concepteur de systèmes de seconde vie d'avoir une garantie de sécurité dans des gammes d'utilisations prédéfinies (c'est le cas pour Entech, Eaton et Connected Energy). Mais cela peut aussi permettre au concepteur du système de seconde vie de s'affranchir des compétences nécessaires à ces tests (c'est le cas de Connected Energy)

Tableau 20: Acteurs responsables des tests sur les batteries entrantes (RECORD, 2023)

	Acteur	Type d'acteur
Kyburz	Kyburz	Constructeur véhicule 2,3, 4 roues électriques & Concepteur de systèmes de seconde vie (CSSV)
Entech	Stellantis	Constructeur automobile (OEM)
	Talendi	Sous-traitant industriel
Eaton / xStorage	Nissan (sélection)	Constructeur automobile (OEM)
	Eaton (vérification)	Entreprise spécialisée dans les systèmes électriques & Concepteur de systèmes de seconde vie (CSSV)
Connected Energy	Renault	Constructeur automobile (OEM)
Watt4ever	Watt4Ever	Concepteur de systèmes de seconde vie (CSSV)

NC : non-communicué

VI.2.4. Proportion des batteries pouvant être réutilisées

Le tableau ci-dessous résume la proportion de batteries qui sont réutilisables, et les facteurs de contexte qui l'expliquent (particularités du gisement, critère de SOH entrant, type d'intervention).

Tableau 21 : Proportion de batteries (packs, modules ou cellules) réutilisables (RECORD, 2023)

	Particularités du gisement	Echelle d'intervention	SoH entrant	Part des batteries réutilisés (%)
Kyburz	Gisement interne	Modules (réemploi)	85%-100%	40%
		Cellules (réutilisation)	65%-85%	57%
Entech	Issu de batteries tests	Packs	>90% (actuel) 70-80% (Projections)	NC
Eaton / xStorage	Gisement mondial. Véhicule vendu depuis 2011 (Nissan Leaf)	Modules	70%-75%	NC
Connected Energy	Véhicule vendu depuis 2011 (Kangoo Z.E)	Packs	70%-80%	NC
Watt4ever	Accessible via un éco-organisme	Modules	90%-95%	30%

NC : non-communicué

Les batteries utilisées par Entech, Eaton et Connected Energy étant fournies par les OEM après un éventuel pré-tri, la proportion de batteries réutilisables par rapport au gisement total n'est pas connue par les structures interrogées.

Entech et Watt4Ever estiment que les SoH actuels sont peu représentatifs du futur de la seconde vie puisque le gisement de batteries utilisées pour la réalisation des initiatives sont essentiellement des batteries de tests constructeurs (c'est le cas pour le projet ABR de Entech et pour la majorité des batteries collectés par Watt4Ever). Ces batteries sont susceptibles d'avoir un meilleur SoH et donc d'être davantage réutilisables que le gisement futur moyen de batteries en fin de vie.

Watt4Ever estime aussi que le gisement disponible pour la seconde vie représente 15% à 30% des batteries usagées. Aujourd'hui Watt4Ever indique réutiliser 30% des batteries collectées par Febelauto en Belgique. Ce chiffre est amené à changer mais selon Watt4Ever, il pourrait avoir tendance à croître ou à diminuer. En effet, d'une part le SoH actuel n'est pas représentatif du gisement futur, mais d'autre part Watt4ever est actuellement relativement sélectif sur les types de modules réutilisés pour disposer d'un gisement suffisant, cette contrainte pouvant diminuer à mesure que le gisement croît.

L'initiative Kyburz fait figure d'exception puisqu'elle utilise des batteries ayant été utilisées en conditions réelles mais récupérées après un temps déterminé (non communiqué par Kyburz) et non à la suite d'un retour client ou à une fin de vie : la part de batteries pouvant être réutilisées est de 97%, dont 40% de réemploi et 57% de réutilisation.

VI.2.5. Echelle d'intervention

Les acteurs interrogés ont choisi d'intervenir sur les batteries à différentes échelles (pack/module/cellule), le tableau ci-dessous présente les échelles choisies par les différents projets étudiés ainsi que l'acteur réalisant le démontage le cas échéant.

Tableau 22: Echelle d'intervention sur les batteries (RECORD, 2023)

	Echelle d'intervention (pack/ module / cellule)	Acteur réalisant le démontage
Kyburz	Modules (réemploi) Cellules (réutilisation)	Kyburz
Entech	Packs	/
Eaton / xStorage	Modules	Nissan
Connected Energy	Packs	/
Watt4ever	Modules	Watt4Ever

Les différents acteurs interrogés ont appuyé leurs choix d'arguments en faveur ou en défaveur de telle ou telle échelle d'intervention, ces éléments de choix sont regroupés ci-dessous.

Intervention à l'échelle des packs

Entech et Connected Energy ont fait le choix de travailler à l'échelle des packs pour les raisons suivantes :

- Le BMS original du pack peut être réutilisé tel quel,

- Le constructeur garantit la sécurité et définit les gammes d'utilisation du pack dans son intégralité,
- Les mesures de sécurité originales du pack sont conservées
- Aucune étape de démontage n'est nécessaire, les coûts sont donc réduits et les risques de casse diminués.

Le cas d'Entech est à nuancer dans la mesure où dans le cadre du projet ABR, Talendi, son partenaire, sélectionne des batteries à réutiliser à l'échelle des modules pour des systèmes de petites capacités. Les critères pour la réutilisation à l'échelle des modules ne sont pas connus.

Intervention à l'échelle des modules

Watt4Ever et Eaton ont choisi de travailler à l'échelle des modules pour les raisons suivantes :

- Les modules permettent de proposer des systèmes plus denses énergétiquement que les packs, grâce à l'optimisation de l'espace dans les systèmes qui peut être faite avec les modules qui sont de dimensions plus petites que les packs,
- La conception de systèmes de petite capacité ne peut pas être faite avec des packs : les grandes capacités des packs permettent moins de modulation des capacités des systèmes et la taille des packs est trop grande par rapport à la taille visée des systèmes,
- Il est plus facile, logistiquement, de transporter des modules pour les mêmes raisons d'optimisation de l'espace (Eaton),
- La conformité de chaque module est garantie (Eaton). A noter que ce n'est pas le cas pour Watt4Ever qui teste seulement 10% des modules par pack considérant que le SoH est le même au sein d'un même pack,
- Cela permet d'utiliser un BMS pour un nombre plus restreint de modules et donc de cellules que dans un pack et donc d'avoir une meilleure vision et un meilleur contrôle sur chacune (Eaton),
- Travailler à l'échelle du pack sans accès au BMS est impossible (Watt4Ever),
- Le coût de démontage n'est pas un coût élevé (Watt4Ever).

Eaton représente un cas particulier car l'entreprise achète les modèles déjà démontés auprès de Nissan. En effet, Nissan est le fabricant des modules et produit aussi des modules neufs qui sont vendus à Eaton.

Intervention à l'échelle des cellules

L'initiative portée par Kyburz est un cas particulier car les SES de seconde vie sont conçus à partir des cellules des batteries. Ce choix s'explique par le fait que Kyburz conçoit des véhicules légers à 2,3 et 4 roues qui n'utilisent non pas des packs batteries mais des modules, dans le cas du réemploi ces modules sont d'ailleurs réemployés tels quels dans des véhicules du même type. Ainsi pour travailler avec les cellules, Kyburz n'a qu'une étape de démontage à réaliser, étape qui est estimée simple par l'entreprise dans la mesure où celle-ci maîtrise sa technologie et son assemblage (qui était réalisé en interne jusqu'en 2006).

D'un autre côté les autres acteurs de la seconde vie interrogés qui utilisent des packs batteries pour véhicules de catégorie M n'envisagent pas de travailler au niveau des cellules pour les raisons suivantes :

- Le démontage est difficile techniquement
- Le démontage de module à cellule est coûteux,
- Travailler à l'échelle supérieure répond aux besoins de l'assemblage en SES.

Lien entre l'échelle d'intervention et l'application visée.

L'échelle d'intervention a un lien avec l'application visée non pas en termes de limitation technologique mais en termes d'espace nécessaire. Ainsi des systèmes de petites capacités ne peuvent pas être

conçus à partir de packs qui ne peuvent être utilisés que dans des systèmes conteneurisés. Cela limite les applications en fonction :

- les applications résidentielles et destinées aux particuliers et aux petites entreprises ne sont pas possibles avec des systèmes utilisant les batteries sous forme de packs,
- à l'inverse, les coûts des SES neufs de grande capacité sont plus faibles au kWh (cf. partie VI.4.2.2) donc les coûts de démontage vont peser davantage sur la compétitivité des systèmes de seconde vie, ce qui peut expliquer le choix d'intervenir au niveau des packs pour ces applications.

VI.2.6. Autres informations

Tests après assemblage

Un contrôle qualité des batteries sortantes est également effectué par les entreprises en charge de la production des systèmes de seconde vie. Durant ces tests, la capacité du système, la tension et l'ampérage des SES sont contrôlés.

Normes considérées

La conception et le test de ces systèmes est réalisé selon plusieurs normes qui sont, en l'absence de normes européennes spécifiques, adaptées par les CSSV au contexte des batteries de seconde vie. Parmi ces normes utilisées il est possible de citer :

- IEC 62620 et IEC 62619,
- UL 9540,
- C15-100,

Cela ne correspond pas exactement à ce que prévoit le futur règlement batteries qui définit une liste complète de tests à effectuer (voir III.2) qui ne sont aujourd'hui pas tous mis en pratique par les différents acteurs interrogés.

Suivi en fonctionnement

En fonctionnement, un suivi du système est assuré par :

- La mesure de différents paramètres en temps réel : SoH, niveau de charge, tension, intensité via différents capteurs et le BMS,
- Les modules sont gérés par un BMS qui peut être le BMS original du pack (Entech, Connected Energy) ou un nouveau BMS adapté à une utilisation d'un SES (Kyburz, Eaton, Watt4Ever),
- Un système de pilotage ou de contrôle électronique est aussi généralement ajouté afin d'optimiser l'usage des batteries en fonction de l'application et de leur état de santé. Ce type de système peut être associé à un système intelligence artificielle,
- Un BMS supplémentaire peut aussi être utilisé pour gérer le système dans son intégralité (c'est le cas pour Connected Energy).

Sécurité

Actuellement, dans les différents cas étudiés la sécurité lors de l'utilisation est garantie par les mesures et contrôles en fonctionnement présentés ci-dessus. Le BMS entraîne notamment un arrêt en cas de dysfonctionnement : surcharge, température trop élevée. La sécurité est aussi garantie par le respect des gammes d'utilisation fournies par le constructeur (dans le cas d'un partenariat avec celui-ci). De manière générale, des préconisations d'utilisation sont aussi fournies aux clients.

Pour ce qui est du risque incendie, les différentes entreprises interrogées prennent en compte ce risque en identifiant les risques en amont en mesurant les effets en cas de surchauffe ou bien en définissant des gammes d'utilisation sûres. Les systèmes conçus peuvent aussi être conçus avec différents éléments empêchant la propagation d'un potentiel feu (mousses, etc.).

Aspects réglementaires

La réglementation n'est pas considérée comme un frein pour les initiatives interrogées. Il faut noter que c'est un domaine relativement peu maîtrisé par les interlocuteurs que nous avons interrogés, qui n'ont pour la plupart pas pu fournir de réponses claires à ce sujet. Cependant, d'après les éléments identifiés :

- La réglementation ADR relative au transport de produits dangereux est respectée pour le transport des batteries.
- Une partie des acteurs interrogés (Entech, Connected Energy, Watt4Ever) indiquent attendre beaucoup du futur Règlement Batteries, cela dans un objectif de pouvoir accéder à des informations de la première vie (cela concerne à la fois l'accès au BMS et le passeport batteries) ou bien afin d'être sûr que ce Règlement n'apportera pas de freins réglementaires.
- Les batteries usagées entrant dans le processus de préparation à la seconde vie ne sont pas considérées comme des déchets aussi bien par les constructeurs automobiles fournisseurs de ces batteries que par les concepteurs de systèmes de seconde vie.
Etant donné ce non-statut de déchet, la responsabilité relative au système de stockage d'énergie final repose sur l'OEM dans le cas d'une remise sur le marché dans le même pays et sur le fabricant du SES lors de la remise sur le marché dans un autre pays que celui de la mise en marché initiale (cela concerne Eaton, Connected Energy et une partie des systèmes vendus par Watt4Ever à l'international). Cette responsabilité concerne aussi bien le risque de sécurité que la responsabilité élargie du producteur. A noter toutefois que ce mode de gestion ne correspond pas à ce que prévoit le projet Règlement Batteries (voir III.2).
- Les concepteurs de systèmes de seconde vie ne disposent donc pas non plus de permis d'environnement leur permettant le stockage et le traitement de déchets. En France, ils peuvent disposer du permis ICPE 2925 permettant la charge et la décharge de batteries (c'est le cas d'Entech). Watt4Ever est couvert par le permis d'environnement de son partenaire Out of Use qui dispose d'une autorisation de stockage de batteries et de traitement des DEEE.

VI.3. Pertinence environnementale de la seconde vie

Une proportion significative de batteries peut donc être réutilisée au lieu d'être recyclée, ce qui permet d'allonger la durée de vie des batteries et ainsi d'engendrer des bénéfices environnementaux liés à la production et à la fin de vie. Cependant, la seconde vie engendre des impacts supplémentaires lors de la préparation et de la phase d'utilisation. Aucune étude d'analyse de cycle de vie n'a été identifiée pour comparer les impacts environnementaux de la seconde vie et du recyclage. La réalisation d'une telle étude dépasse le cadre du présent rapport. Cependant, quelques éléments qualitatifs et quelques données quantitatives sont compilées dans ce rapport afin de permettre de se faire une idée des avantages environnementaux de la seconde vie.

Pour estimer l'intérêt environnemental de la seconde vie, il faut comparer la seconde vie avec la « première utilisation » d'une batterie pour la seconde application. Si une batterie est utilisée pour une application A et réutilisée pour une application B, dans les 2 cas (réutilisation ou non), il y aura la première utilisation A et une fin de vie. L'enjeu porte donc uniquement sur l'utilisation B.

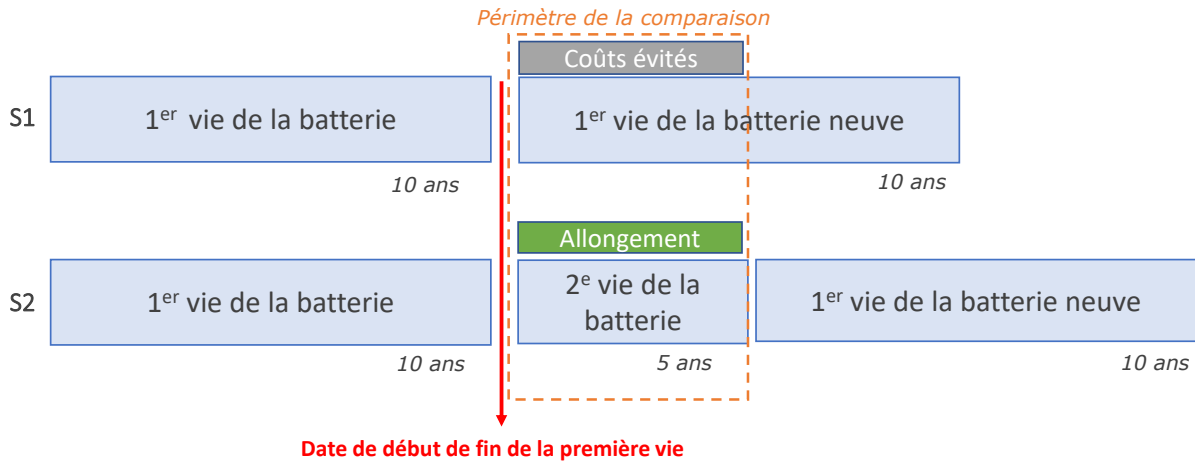


Figure 11 : Périmètre de comparaison des systèmes de première et de seconde vie (RECORD, 2023)

Si la seconde vie a une durée de 5 ans et celle d'une batterie neuve pour l'application B de 10 ans, on compare pour une durée d'utilisation de 5 ans :

- S1 - Système première vie : 5/10 de la production, utilisation pendant 10 ans et fin de vie d'une batterie pour application B
- S2- Système seconde vie : utilisation pendant 5 ans d'une batterie réutilisée pour application B, production, utilisation et fin de vie des appareils nécessaires (convertisseur et connexions)

Qualitativement, on peut dégager les points de comparaison suivants :

- S2 permet un allongement de la durée de vie des batteries, ce qui permet d'amortir l'impact environnemental lié à la fabrication et à la fin de vie de la batterie (recyclage final) sur une durée plus longue.
- En contrepartie, S2 entraîne des impacts environnementaux supplémentaires par rapport à S1 :
 - Des pertes par cycle plus élevées pour les batteries anciennes que pour des batteries neuves, entraînant une perte d'énergie plus grande pour l'utilisateur,
 - L'ajout de convertisseurs supplémentaires par rapport à un système construit à partir de batteries vierges,

On signalera aussi pour mémoire 2 impacts environnementaux négligeables :

- Les tests, qui ajoutent un cycle de charge et décharge.
- Le démontage, essentiellement manuel.
- Le recyclage des coques, du BMS issu de la première vie et de l'ensemble des composants non réutilisés n'est pas évalué car le recyclage est considéré similaire entre S1 et S2. De même, le BMS du SES n'est pas comptabilisé car il est supposé avoir une durée de vie similaire dans S1 et S2.

Quelques données ont pu être compilées pour mesurer l'impact de ces différents éléments. L'indicateur d'impact environnemental « changement climatique » a été retenu pour la comparaison, les enjeux environnementaux étant essentiellement des enjeux énergétiques pour la production et le recyclage des batteries. L'enjeu « ressources minérales » est également particulièrement pertinent mais n'a pas été analysé dans ce rapport.

Tableau 23: Bilan environnemental de la seconde vie (RECORD, 2023)

Bénéfices environnementaux de l'allongement de la durée de vie	
Bilan carbone de la production des batteries Li-ion	9,3 kg CO2 eq./kg Source : Ecoinvent, LFP
Bilan carbone du recyclage des batteries Li-ion	0,9 kg CO2 eq./kg Source: Ecoinvent ¹⁷
Durée de vie d'une batterie vierge dans un SES	10 ans
Durée de vie d'une batterie de seconde vie	5 ans
Allongement de la durée de vie	50%
Densité énergétique du pack LFP	80-150 Cf. section IV.1.1
Bénéfice environnemental de l'allongement de la durée de vie	5.1kg CO2 eq/kg 34-64 kgCO2eq/kWh capacité
Impacts supplémentaires liés à la seconde vie	
Bilan carbone d'un convertisseur 2.5 kW	231 kgCO2eq / unité Source : Ecoinvent
Nombre de convertisseurs supplémentaires nécessaires	1 unité / 5 kWh capacité Estimation des auteurs à partir des données fournies par les initiatives Forte incertitude
Bilan carbone d'un cycle de charge / décharge de test	0.04 kg CO2/kWh de capacité (France) Source : Base Empreinte Pour une source fossile (correspondant à une moindre exportation vers des pays qui produisent à partir de fossile) : 0.4 kg CO2/kWh de capacité
Nombre de cycles restants	1825 (hypothèse de 5 ans)

¹⁷ used Li-ion battery - treatment of used Li-ion battery, hydrometallurgical treatment - GLO (kg), used Li-ion battery - treatment of used Li-ion battery, pyrometallurgical treatment - GLO (kg)

Profondeur de décharge (première et seconde vie)¹⁸	80-85% Source : Watt4Ever
Efficacité de cycle batterie vierge	80% ¹⁹
Efficacité de cycle batterie de seconde vie	75% ¹⁹
Surconsommation énergétique liée aux pertes de cycles	$(80\%-75\%)*1825*(82.5\%)= 75$ kWh consommation électrique/ kWh capacité Forte incertitude
Bilan carbone lié à la surconsommation liée aux pertes de cycles- pour la durée de vie restante	Pour du gaz naturel : $0.42*1825*(80\%-75\%)*(82.5\%) = 32$ kgCO ₂ eq / kWh capacité Pour le mix électrique moyen français (moins pertinent) : $0.04*1825*(80\%-75\%)*(82.5\%) = 3$ kgCO ₂ eq / kWh capacité ²⁰
Bilan carbone lié à la surconsommation de convertisseurs	$231*0.2=46.2$ kgCO ₂ eq/kWh capacité

Les résultats ne permettent pas de conclure de manière certaine sur la pertinence environnementale de la seconde vie, en raison des fortes incertitudes liées aux données collectées dans le cadre de ce travail simplifié, et puisqu'il ne s'agit pas d'une ACV complète assurant une adéquation des données utilisées aux différentes phases du cycle de vie, et que certaines phases du cycle de vie n'ont pas été étudiées (transport, démontage, consommation énergétique des convertisseurs supplémentaires).

De plus, ces résultats sont appropriés pour un allongement de la durée de vie de 50%. L'hypothèse a été faite que la durée de vie des systèmes n'est limitée que par ses propriétés et qu'il y a une utilisation continue de batteries à remplacer. Des cas particuliers peuvent exister où les conclusions ne sont pas valables, par exemple si les batteries de seconde vie sont utilisées dans des équipements proches de leur fin de vie et dont les batteries ne seront pas réutilisées. Dans ce cas, la durée de vie de la batterie de seconde vie peut être équivalente à celle d'une batterie vierge car limitée par la durée de vie restante de l'équipement, et le bénéfice environnemental est supérieur à celui estimé ci-dessous (deux fois dans le cas d'un allongement de 100%).

¹⁸ La décharge d'une batterie utilisée en usage stationnaire n'est jamais totale, notamment pour préserver son intégrité. La profondeur de décharge est le taux de décharge de la batterie moyen à chaque cycle, il est considéré le même pour des systèmes de première et de seconde vie.

¹⁹ Ioakimidis et al (2019) Life Cycle Assessment of a Lithium Iron Phosphate (LFP) Electric Vehicle Battery in Second Life Application Scenarios, *Sustainability*, 11(9), 2527; <https://doi.org/10.3390/su11092527>

²⁰ Le bilan carbone des pertes a été considéré avec l'impact carbone du mix électrique français (40 gCO₂eq/kWh). Il est similaire à l'impact carbone associé à un mix électrique 100% solaire dans le cas d'un usage stationnaire pour le stockage d'énergie photovoltaïque. Il serait inférieur pour du stockage d'énergie éolienne (d'environ un facteur 3).

Cependant, l'exercice permet de conclure que **l'avantage environnemental de la seconde vie n'est pas évident** et qu'il dépend :

- **Des pertes énergétiques supplémentaires par cycle** liées à l'âge de la batterie. Si le mix électrique est fortement carboné (production à partir de gaz, de fioul ou de charbon), et avec un taux de pertes (roundtrip efficiency) supplémentaire de 6% ou plus, la surconsommation électrique surcompense l'économie de production/fin de vie de batterie LFP et la prolongation de la durée de vie de 50% est néfaste pour le changement climatique.
Dans la plupart des cas, le mix électrique à prendre en considération est bien un mix fossile (gaz, fioul ou charbon) car pour les fonctions de lissage de pics réseau, de stockage d'énergie renouvelable ou même de groupe de secours, le SES se substitue in fine à des énergies fossiles. En l'absence d'effacement de la consommation, une perte énergétique dans le SES engendre une production énergétique fossile supplémentaire (une explication plus détaillée de ce point est disponible en annexe : VII.4).
A contrario, pour un usage de batterie en groupe de secours (UPS), le mix à considérer est le mix moyen horaire lors de la recharge du groupe secours, et l'impact environnemental des pertes est donc peu significatif.
- **De l'ajout éventuel de convertisseurs supplémentaires pour le système de seconde vie**, qui peuvent pénaliser significativement le bilan de la seconde vie. Il serait pertinent d'affiner les données liées aux impacts environnementaux des convertisseurs et le ratio de convertisseurs supplémentaires nécessaires dans le cadre d'un exercice plus approfondi.

En termes d'écoconception des systèmes de seconde vie on peut donc noter que :

- **L'efficacité des cycles des batteries usagées devrait faire partie des critères de sélection des batteries pouvant faire l'objet de réutilisation**, et des critères de qualification des systèmes de stockage d'énergie issus de batteries de seconde vie, afin de permettre aux utilisateurs de faire un choix éclairé. Des pertes par cycle supérieures de 6% à celles observées pour un système neuf pourraient rendre la seconde vie non pertinente. Cela peut correspondre à une durée de vie initiale maximale lorsque la perte en efficacité est prévisible. L'efficacité de cycle et sa diminution dans le temps fait partie des critères de performance électrochimique et de durabilité exigées du projet de Règlement Batteries (Annexe IV) pour les batteries de moyens de transport léger, les batteries industrielles (y inclus les SES) et les batteries de véhicules électriques. D'après ce projet, ces critères seront exigés pour toute mise en marché et donc également pour les systèmes de seconde vie (cf. partie III.2) ;
- **Les usages des batteries de seconde vie pour des groupes de secours est potentiellement plus pertinente pour des batteries avec des pertes par cycle significatives**. L'enjeu des pertes est alors négligeable puisque le groupe de secours est peu utilisé. La nécessaire fiabilité pourrait cependant impliquer de surdimensionner l'installation de seconde vie (davantage de batteries disponibles en cas de défaillance), ce qui réduit l'avantage de la seconde vie et n'a pas été pris en compte ici.
- **L'ajout de convertisseurs supplémentaires devrait être davantage approfondi, mais doit être maîtrisé**.

Les conclusions sont à nuancer au vu des hypothèses réalisées qui seraient à discuter plus précisément dans le cadre d'une évaluation environnementale complète par le biais d'une ACV. De manière générale, pour les équipements électriques et électroniques, l'existence d'un avantage environnemental à l'allongement de la durée de vie est à vérifier au cas par cas, les enjeux de consommations énergétiques, de pertes et de matières premières rendant les résultats dépendant des paramètres et considérations clés.

VI.4. Modèle économique de la seconde vie

Cette section présente le modèle économique de la seconde vie ; elle combine une description du modèle et une compilation des données économiques. A différence des informations sur les initiatives fournies dans les autres sections du rapport, l'information sur le modèle économique provient principalement de la littérature. Ceci est dû au fait que les initiatives approfondies n'ont communiqué que peu de données économiques.

La section se focalise donc moins sur les initiatives spécifiques et aborde le modèle économique de manière générale.

VI.4.1. Synthèse

DESCRIPTION DU MODÈLE

Avant de rentrer dans l'analyse du modèle économique il faut noter que le secteur de la seconde vie des batteries usagées issues de la mobilité électrique est relativement nouveau. Une faible maturité commerciale des initiatives actuelles est constatée²¹, ce qui est cohérent avec l'état de développement des initiatives approfondies. Ainsi, les pratiques, les procédés, et donc les coûts observés actuellement vont vraisemblablement évoluer en concomitance avec la croissance du parc de batteries usagées qui accompagne avec retard la transition de la mobilité des véhicules thermiques aux véhicules électriques.

Ce paragraphe résume le modèle économique de la préparation à la seconde vie des batteries.

Le concepteur de système de seconde vie (CSSV) acquiert des batteries Li-ion usagées issues de la mobilité électrique, en payant un prix d'acquisition ; il va préparer à la seconde vie ces batteries et les utiliser pour assembler des systèmes de stockage d'énergie qui vont par la suite être vendus à des organisations (à savoir des entreprises, institutions publiques, etc.) ou à des particuliers.

Des variantes à ce modèle peuvent exister, par exemple le détenteur de la batterie peut également être le préparateur à la seconde vie, les spécificités des initiatives par rapport au modèle décrit de manière résumée ci-avant sont discutées dans les fiches des initiatives.

Concrètement, les coûts de la filière de la seconde vie sont générés principalement par deux postes :

- 1) l'acquisition des batteries usagées et les coûts de préparation à la seconde vie des batteries usagées (tests, démantèlement, etc.) ;
- 2) la construction des systèmes de stockage, qui englobe
 - la conception des systèmes de stockage d'énergie (R&D, prototypage)
 - l'assemblage et l'installation des systèmes de stockage d'énergie.

Le premier poste est très spécifique à la seconde vie ; le deuxième poste est relativement similaire aux coûts d'un système de première vie, bien que quelques particularités s'observent en cas d'utilisation de batteries de seconde vie.

En fonction des services proposées, le CSSV peut également fournir un service de maintenance des systèmes installés.

En contrepartie, les revenus des CSSV sont générés par la vente des systèmes de stockage d'énergie. Le système peut être vendu en tant que bien, et donc le client devient propriétaire du système, ou en tant que service, auquel cas le CSSV reste propriétaire du système. Pour les systèmes vendus en tant que bien, les services de maintenance peuvent également être une source de revenu pour les CSSV.

²¹ CEA, Artelys, ATEE, ADEME. 2022. Annexe de l'étude PEPS5, rapport sur la seconde vie des batteries.

Les coûts et revenus de l'activité de préparation à la seconde vie sont analysés et discutés dans les sections qui suivent. A noter que ces sections combinent à la fois :

- une description des étapes qui suivent les batteries usagées, entre leur acquisition et leur intégration dans les systèmes de stockage d'énergie ;
- un discussion des composantes de coûts et des paramètres exerçant une influence forte sur ceux-ci.

DONNEES QUANTITATIVES SUR LES COÛTS D'ACQUISITION ET DE PREPARATION A LA SECONDE VIE

Plusieurs travaux académiques ont cherché à estimer les coûts de la seconde vie, notamment celui d'acquisition et de préparation à la seconde vie des batteries usagées. La figure ci-après indique ces coûts.

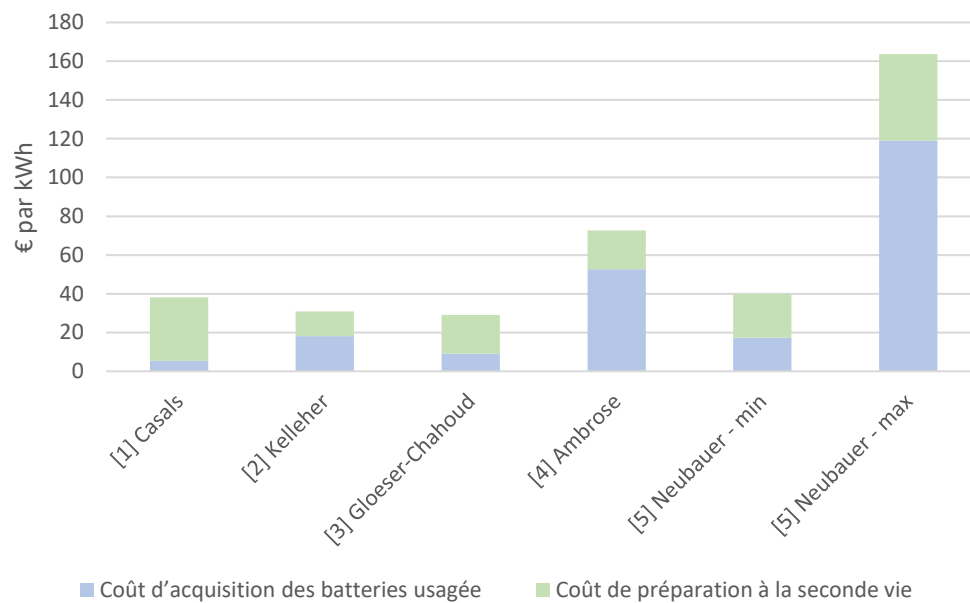


Figure 12 : coûts d'acquisition et de préparation à la seconde vie d'après différentes sources (coût en € / kWh) (RECORD, 2023)

Le tableau ci-après précise les données présentées dans la Figure 12.

Tableau 24 : récapitulatif des coûts d'acquisition et de préparation à la seconde vie d'après différentes sources (coût en EUR / kWh)²² (RECORD, 2023)

Source	Année	Coût de la batterie de seconde vie	Coût d'acquisition des batteries usagées	Coût de préparation à la seconde vie
[1]	2019	38	5	33
[1]	2019	140	Non disponible	Non disponible
[2]	2019	32	18	13
[3]	2021	29	9	20
[4]	2020	73	53	20
[5]	2015	40	17	23
[5]	2015	164	119	45
[6]	2023	120	Non disponible	Non disponible
[6]	2023	150	Non disponible	Non disponible

[1] Casals, Lluc Canals, et al. « Reused second life batteries for aggregated demand response services. » *Journal of cleaner production* 212 (2019): 99-108.

[2] Environmental, Kelleher. « Research study on reuse and recycling of batteries employed in electric vehicles: The technical, environmental, economic, energy and cost implications of reusing and recycling EV batteries. » *Energy API* (2019).

[3] Gloeser-Chahoud, Simon, et al. « Industrial disassembling as a key enabler of circular economy solutions for obsolete electric vehicle battery systems. » *Resources, Conservation and Recycling* 174 (2021): 105735.

[4] H. Ambrose, *The 2nd Life Of Used EV Batteries*, 2020

[5] Neubauer, Jeremy, et al. « Identifying and overcoming critical barriers to widespread second use of PEV batteries ». No. NREL/TP-5400-63332. *National Renewable Energy Lab. (NREL)*, Golden, CO (United States), 2015.

[6] Watt4Ever - entretien 2023

Comme cela peut être constaté, il y a une forte variation entre les différentes estimations du coût de préparation à la seconde vie. La principale source de variation est le coût d'acquisition des batteries qui est associé à la capacité de stockage résiduelle de celle-ci (état de charge). Le coût de préparation à la seconde vie varie relativement moins ; pour ce volet du coût la variabilité va dépendre, entre autres, des économies d'échelle et du degré d'automatisation des installations de préparation à la seconde vie.

Le laboratoire national des énergies renouvelables aux Etats Unis (NREL pour son sigle en anglais) a mis à disposition du public un outil (sous format Microsoft Excel) de calcul du coût du préparation à la seconde vie en fonction des paramètres clés. L'outil est disponible [ici](#)²³.

DONNEES QUANTITATIVES SUR LES COUTS DE CONCEPTION, ASSEMBLAGE ET INSTALLATION DES SYSTEMES DE STOCKAGE

Le coût de conception, assemblage et installation des systèmes de stockage est très dépendant de l'application du système de stockage (des exemples d'application sont le stockage résidentiel, la gestion de l'intermittence des énergies renouvelables, la gestion des pics de consommations, etc.). Les travaux

²² A l'exception des données de [6], les données originales étaient exprimées en \$ / kWh ; elles ont été transformées en appliquant un taux de change USD/EUR de 0.9.

²³ Lien URL: <https://www.nrel.gov/transportation/assets/downloads/nrel-b2u-repurposing-cost-calculator-jun2020.xlsm>

académiques traitent moins ce volet par rapport au coût d'acquisition et de préparation à la seconde vie des batteries.

Des travaux récents du JRC²⁴ ont établi des coûts de référence des systèmes neufs de stockage avec des batteries Li-ion neuves en 2017 (y compris le coût des batteries) :

- 500 €/kWh pour les systèmes conçus pour l'énergie²⁵ ;
- 800 €/kWh pour les systèmes conçus pour la puissance²⁶ ;
- 750 €/kWh pour les systèmes de stockage d'énergie résidentiels.

Le NREL a réalisé également des travaux récents d'estimation des coûts des systèmes neufs aux Etats-Unis en 2021. Pour un système de 60 MW ils ont établi les prix suivants :

- 385 €/kWh pour un système avec des cycles de décharge de 2 heures ;
- 332 €/kWh pour un de 4 heures ;
- 314 €/kWh pour un de 6 heures ;
- 305 €/kWh pour un de 8 heures ;
- 299 €/kWh pour un de 10 heures.

Par ailleurs, les entretiens réalisés avec les représentants des initiatives ont permis de collecter quelques informations sur les prix de vente des systèmes de stockage composés des batteries de seconde vie. D'après ces résultats les prix varient entre :

- 450 - 550 €/kWh pour des installations de grande capacité²⁷ ;
- 500 – 600 €/kWh pour les installations de petite capacité correspondant plutôt à des usages résidentiels²⁷ ;

En combinant ces ordres de grandeur avec les coûts d'acquisition et de préparation à la seconde vie indiqués dans Figure 12, il est possible d'en déduire que le coût de conception, assemblage et installation des systèmes de stockage est le composant qui pèse le plus.

VI.4.2. Discussion sur les composants principaux du modèle

VI.4.2.1. *Acquisition et préparation à la seconde vie des batteries usagées*

DISCUSSION SUR LES COMPOSANTES DU COUT D'ACQUISITION

Le prix d'acquisition des batteries usagées est une fonction directe de sa capacité restante de stockage d'énergie. Un premier diagnostic est généralement réalisé par le détenteur de la batterie usagée (par exemple le constructeur automobile, le centre de gestion de véhicules en fin de vie, etc.) de manière à évaluer l'état de santé de la batterie (« *state of health* » ou SoH d'après son sigle en Anglais), et notamment sa capacité résiduelle et ainsi estimer son prix. Les acquéreurs pourront réaliser des tests complémentaires ou des vérifications à leur tour après l'acquisition (cf. section suivante). Par ailleurs il faut noter que le prix de vente maximal d'une batterie de seconde vie sera limité par celui d'une batterie

²⁴ Lebedeva, N (JRC). "Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications." Publications Office of the European Union (2018).

²⁵ D'après le JRC, des systèmes de batteries pouvant fournir de l'énergie pendant plus d'une heure.

²⁶ D'après le JRC, des systèmes de batteries pouvant fournir de l'énergie pendant moins d'une heure.

²⁷ Donnée approximative ne pouvant pas être davantage précisée.

neuve de même capacité²⁸. Selon le BNEF, les batteries des Li-ion de mobilité électrique sont passées d'environ 870 €/kWh en 2010 à 170-215 €/kWh en 2017²⁹. Si ces tendances se poursuivent, ce qui est prévu par l'industrie, les prix d'acquisition des batteries usagées devraient également diminuer.

Après l'achat, les batteries usagées doivent être transportées entre le point de collecte (par exemple le distributeur du véhicule, le centre de démantèlement de véhicules hors d'usage, etc.) et les installations du CSSV. Le transport des batteries usagées doit respecter la réglementation ADR³⁰ ce qui complexifie et renchérit le coût du transport. Le transport de la batterie peut être organisé par l'ex-détenteur de la batterie usagée ou le CSSV. Si c'est l'ex-détenteur, alors le coût du transport sera vraisemblablement répercuté sur le prix d'acquisition qui est payé par le CSSV. À ce stade du développement de la filière, les faibles quantités de batteries entrant dans la filière de seconde vie, en conjonction au faible nombre d'acteurs de la seconde vie, peut résulter dans des configurations logistiques sous-optimales, ce qui renchérit les coûts de transport.

PREPARATION A LA SECONDE VIE DES BATTERIES USAGEES

Après la réception des batteries usagées, l'opération de préparation à la seconde vie des batteries va démarrer par un deuxième diagnostic réalisé sur place. Le diagnostic peut être fait au niveau :

- du pack batterie ; ou
- des modules (après une étape préalable des démontage).

Ensuite, en fonction des caractéristiques des systèmes à concevoir et de l'état des batteries, celles-ci peuvent être démantelées au niveau des modules ou conservés en l'état. Le démantèlement des batteries est un travail intensif dont la possibilité d'automatisation ou de standardisation des procédés dépendent de l'homogénéité des batteries entrantes ; un CSSV qui prépare à la seconde vie un même modèle de batterie pourra plus facilement automatiser/standardiser le démantèlement qu'un CSSV qui prépare à la seconde vie des modèles de batteries différents.

A ce stade les batteries ou modules défectueux, ou qui ne respectent pas d'éventuels critères de qualité, sont redirigés vers les filières de recyclage ; cette défaillance des batteries/modules est un facteur clé générateur de coûts³¹. A noter que certains acteurs vont réexpédier les batteries et modules défectueux au détenteur. En effet, en plus de devoir être gérés en tant que déchets, les batteries/modules défectueux ne peuvent pas être utilisés en tant qu'input des systèmes de stockage. Les batteries et/ou les modules fonctionnels, respectant les éventuels critères de qualité du CSSV, sont assemblées dans la configuration prévue pour le système de stockage.

Un autre élément qui va impacter à la baisse le coût de préparation à la seconde vie sont les économies d'échelle au niveau des installations de préparation à la seconde vie.

²⁸ Neubauer, Jeremy, et al. Identifying and overcoming critical barriers to widespread second use of PEV batteries. No. NREL/TP-5400-63332. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2015.

²⁹ BNEF, 2018, Long-Term Electric Vehicle Outlook 2018 (EVO 2018), Bloomberg New Energy Finance (BNEF), pp: 1-100.

³⁰ L'ADR est l'acronyme d'Accord pour le transport des marchandises Dangereuses par la Route (Accord for Dangerous goods by Road)

³¹ Modèle de coût préparé par le NREL sur base de Neubauer, Jeremy, et al. Identifying and overcoming critical barriers to widespread second use of PEV batteries. No. NREL/TP-5400-63332. National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States), 2015.

VI.4.2.2. Construction des systèmes de stockage

Le coût de construction des systèmes de stockage (hors coût d'acquisition des batteries usagées) englobe :

- l'amortissement de l'investissement nécessaire pour la construction/l'achat de l'installation où les activités de préparation à la seconde vie et construction des systèmes ont lieu ;
- la main d'œuvre des techniciens et des ingénieurs qui doivent allouer leur temps à la logistique des entrants et sortants, aux phases de diagnostic et tests ainsi qu'à la conception, assemblage et installation des systèmes ;
- l'acquisition et la production d'autres composants du système (câblage, onduleurs, convertisseurs, logiciels, etc.)
- l'acquisition de l'outillage, des logiciels (BMS, équipement de contrôle ou d'optimisation du système), de l'équipement de protection individuelle (EPI) ainsi que d'autres fournitures (IT, fournitures de bureau, etc.) ;
- la gestion de déchets notamment des modules défectueux ;
- les charges d'électricité, eau, etc. ;
- les frais généraux de fonctionnement (assurance, services comptables, etc.).

La littérature en matière de coûts de préparation à la seconde vie des batteries usagées sépare généralement le coût de préparation à la seconde vie des autres coûts liés à la construction du système de stockage d'énergie (câblages, software, onduleurs, etc.). Ces coûts sont davantage discutés dans les sections suivantes.

CONCEPTION, ASSEMBLAGE ET INSTALLATION DES SYSTEMES DE STOCKAGE D'ENERGIE

Les batteries de seconde vie sont des sous-composants des systèmes de stockage. En effet, autour des batteries il y a un système qui permet les différentes interactions des batteries avec le réseau électrique et/ou les circuits électriques internes des installations pour lesquelles les systèmes ont été installés. Ainsi, après la préparation à la seconde vie les batteries et modules assemblés sont intégrés dans les systèmes de stockage.

Le système de stockage est, lui, composé des sous-systèmes présentés ci-après. A noter qu'il ne s'agit pas d'une liste exhaustive et systématique ; en effet, la composition des sous-systèmes va dépendre de l'application finale du système de stockage d'énergie (des exemples d'application sont le stockage chez le particulier, la gestion de l'intermittence des énergies renouvelables, la gestion des pics de consommations, etc.).

- PCS (sigle en anglais pour « power conversion system », en français système de conversion de puissance) :
 - les interrupteurs ;
 - les onduleurs ou convertisseurs qui convertissent le courant continu en courant alternatif (ou inversement) ;
 - les convertisseurs DC-DC permettant d'équilibrer les tensions entre batteries (cet élément est spécifique aux systèmes de stockage avec des batteries de seconde vie ; donc il représente un surcoût par rapport aux systèmes de stockage avec des batteries neuves) ;
 - les conditionneurs d'énergie qui garantissent que la sortie de l'onduleur est bien régulée et exempte d'affaissements, de surtensions et de pics ;
 - les boîtes de jonction avec fusibles et relais ;
 - l'EMS (sigle en anglais pour « energy management system », en français système de gestion de l'énergie) qui est un ensemble d'outils informatiques permettant de contrôler et d'optimiser les performances du système (cet élément peut être plus complexe pour un système avec des batteries de seconde vie que pour un système avec des batteries

de seconde vie en lien avec une éventuelle hétérogénéité du SoH et de modèles de batteries de seconde vie au sein d'un système).

- BOS (sigle en anglais pour « balance-of-system », en français balance du système). Il s'agit notamment des éléments suivants³² :
 - le câblage ;
 - le chargeur des batteries ;
 - le système de comptage (dans le cas de systèmes connectés au réseau, pour enregistrer le flux d'énergie en provenance et à destination du réseau) ;
 - le BMS (sigle en anglais pour « battery management system », en français système de gestion des batteries).
- Les packs ou modules de batteries de seconde vie.

³² Lien: <https://sinovoltaics.com/learning-center/basics/balance-of-system-bos/>

VI.4.3. Comparaison de la seconde vie avec un système de première vie

Pour analyser la pertinence économique de la seconde vie à moyen et long terme, il convient d'analyser les coûts sur l'ensemble de la chaîne de valeur. Les prix observés actuellement entre acteurs ne sont pas des bons indicateurs, car ils reflètent l'équilibre entre les acteurs à un moment donné, équilibre pouvant être amené à évoluer en fonction du pouvoir de négociation des différents acteurs. En d'autres termes, si un système de première vie est intrinsèquement plus coûteux qu'un système incluant une deuxième vie, un des acteurs (ou plusieurs) vont observer des prix moins élevés pour la seconde vie et être incités à la mettre en œuvre.

La figure ci-après indique le raisonnement pour l'analyse de la pertinence économique. Dans la figure :

- S1 illustre le système où une batterie neuve est produite après la fin de vie de la première batterie ;
- S2 illustre le système où il y a un allongement de la durée de vie grâce à une seconde vie de la première batterie.

Le concept est le suivant : c'est pertinent d'un point de vue économique de faire de la seconde vie si la réalisation de S2 est moins coûteuse que la réalisation de S1. A noter que seules les batteries sont représentées dans la figure ; en effet, il est supposé que les coûts des systèmes en dehors des batteries (donc les éléments du BOS et du PCS) ne sont pas différenciants entre S1 et S2.

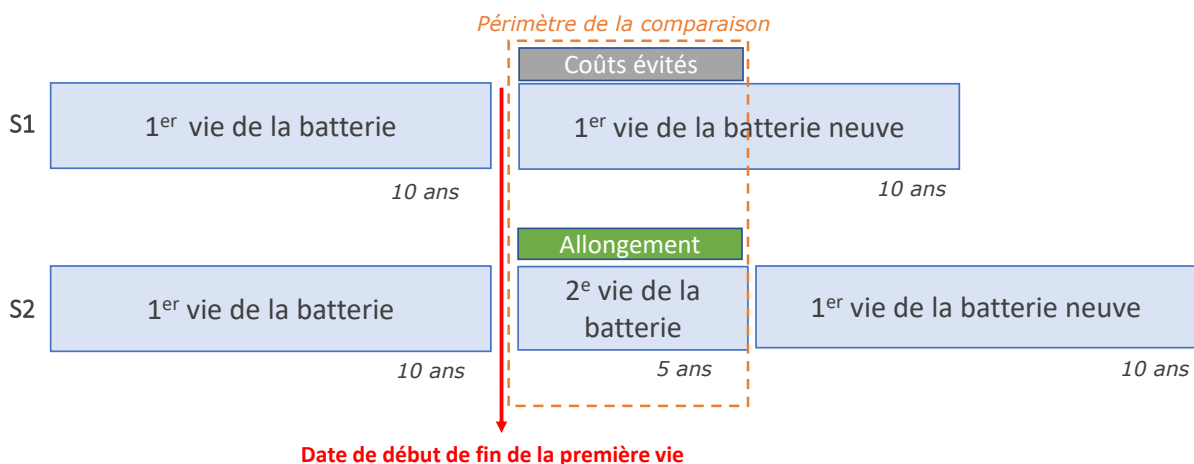


Figure 13 : Périmètre de comparaison des systèmes de première et de seconde vie (RECORD, 2023)

L'allongement de la durée de vie en S2 :

1. permet d'éviter une proportion des coûts de S1, à savoir le coût de production de la batterie neuve et le coût de recyclage de celle-ci une fois qu'elle arrive en fin de vie ;
2. génère des coûts spécifiques à la seconde vie, à savoir le coût de préparation à la seconde vie (transport, tests...) et un coût d'opportunité lié à la surconsommation énergétique liée à perte d'efficacité de la batterie de seconde vie.

A noter que pour les coûts évités (point 1. ci-avant), il s'agit d'une proportion et non pas la totalité des coûts. En effet, étant donné que la durée d'allongement de la batterie en S2 est supposée de 5 ans et la durée de vie de la batterie neuve est de 10 ans, seulement 50 % de ces coûts en S1 sont évités (5 ans divisé par 10 ans).

A partir de ces éléments théoriques et des données technico-économiques collectées dans le cadre de cette mission, il est possible d'analyser la pertinence économique de manière quantitative. Le tableau ci-après synthétise cette analyse.

Tableau 25 : Analyse de la pertinence économique de la seconde vie des batteries Li-ion (RECORD, 2023)

	Cas de base	Borne haute	Borne basse	Unité	Source
Coût d'une batterie neuve - Lithium LFP	193	170	215	€/kWh	Information sur le coût déduit du prix des batteries Lithium. BNEF, 2018, Long-Term Electric Vehicle Outlook 2018 (EVO 2018), Bloomberg New Energy Finance (BNEF), pp: 1-100.
Coût du recyclage de la batterie neuve	7.8	5.3	25	€/kWh	Calcul à partir des données indiquées ci-après
Densité énergétique (batterie neuve) – LFP	115	150	80	kWh/t	Cf. section IV.1.1
Coût du recyclage - €/t	900	800	2 000	€/t	Entretiens avec les acteurs du secteur.
Coût de préparation à la seconde vie	29	13	45	€/kWh	Cf. section VI.4.1, Tableau 24
Coût d'opportunité lié à la surconsommation énergétique liée aux pertes de cycles	35	0	70	€/kWh	Calcul à partir des données indiquées ci-après
Prix de l'électricité	0.45	0.45	0.45	€/kWh	Prix du kWh lors des heures pleines (pic de demande/creux de production) sur base des informations mises à disposition par le Réseau de Transport d'Electricité français « RTE ». Lien
Perte efficacité d'une batterie en seconde vie par rapport à une batterie neuve	5%	0%	10%	-	Cf. section VI.3 Tableau 23
Nombre de cycles par jour	1	1	1	-	Hypothèse sur base des informations NREL.
Profondeur de décharge	85%	50%	100%	%	Hypothèse sur base de Watt4ever
Durée de vie en cycles	1 825	1 825	1 825	cycles	Hypothèse 5 ans de durée de vie
Différentiel S2 par rapport à S1 (une valeur positive = seconde vie désavantageuse)	-36	-107	+27	€/kWh	Calcul : (Coût de préparation à la seconde vie + Coût d'opportunité lié à la surconsommation énergétique liée aux pertes de cycles) - (Coût d'une batterie neuve + Coût du recyclage de la batterie neuve) *0.5

Interprétation : Allonger la durée de vie d'une batterie (S2) est économiquement pertinent d'après le cas de base retenu car cela permet d'économiser environ 36 €/kWh de capacité sur l'entièreté du cycle de vie.

Cependant, **il n'est pas possible de conclure de manière générale** (c'est-à-dire pour tous les cas de figure) **à la pertinence économique de la seconde vie** car :

- il existe des configurations favorables comme défavorables.
- les hypothèses réalisées sont incertaines
- les acteurs interrogés ont partagé peu d'informations économiques.

La viabilité économique de la seconde vie est ainsi à analyser au cas par cas, en fonction des caractéristiques de chaque projet.

Le tableau ci-dessus permet de dégager les paramètres clés influençant la rentabilité, de donner quelques ordres de grandeur et de discuter des perspectives d'évolution (ci-dessous).

L'allongement de la durée de vie sera d'autant plus pertinent d'un point de vue économique que : le coût des batteries neuves sera élevé, le coût du recyclage sera élevé, le coût de la préparation à la seconde vie sera bas, et le coût d'opportunité lié à la surconsommation énergétique liée aux pertes de cycles sera faible.

A l'inverse, la seconde vie ne sera pas pertinente économiquement dans des configurations où les pertes énergétiques sont élevées, où les coûts de préparation à la seconde vie élevés (par exemple, du fait de l'ajout de nombreux convertisseurs, ou de nombreux tests exigés) et où les coûts de recyclage et de production sont faibles.

Perspectives

Des tendances contradictoires concernant la compétitivité des systèmes intégrant une première vie puis une seconde vie s'observent.

- A moyen terme, les coûts de production des batteries vierges sont amenés à diminuer, ce qui va diminuer l'avantage économique relatif de S2 par rapport à S1 sur ce plan puisque le renouvellement des batteries est moins fréquent en cas de seconde vie (cf. travaux du JRC et du PFA en matière d'évolution des prix des batteries³³ et annexe).
- Par ailleurs, les surcoûts de la seconde vie liés aux tests sont amenés à diminuer si l'accès au BMS, la standardisation des batteries et l'automatisation se développent. Cela va accroître la compétitivité de S2 par rapport à S1.
- L'évolution des surcoûts liés aux pertes sont plus incertaines car les prix de l'énergie seront à la hausse mais les pertes énergétiques pourraient diminuer.
- Les obligations d'incorporation de matière recyclée vont limiter la baisse du coût des batteries – cependant la somme coût d'incorporation + coût de recyclage n'est pas affectée par ces obligations, donc la compétitivité de la seconde vie n'est pas affectée.
- Les tendances des coûts du recyclage sont peu claires (en dehors d'une conjoncture actuelle de sous-capacité), du fait :
 - de la hausse des capacités de recyclage et donc de la hausse des économies d'échelle du recyclage,

³³ Lebedeva, N (JRC). "Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications." Publications Office of the European Union (2018).

- de la hausse des prix unitaires des matières premières mais de la diminution de la valeur des matières contenues dans les batteries en fin de vie (changement de technologie du NMC vers le LFP).

C'est la dynamique de ces diminutions de coûts qui va déterminer la viabilité économique de la seconde vie. L'ampleur de la baisse des coûts des batteries neuves projetée (54-69 €/kWh en 2040) est plutôt défavorable à la compétitivité de la seconde vie à long-terme, car elle n'est pas compensable par la baisse des coûts de préparation à la seconde vie identifiés. Pour que la seconde vie soit favorable dans ce contexte, il faudrait à la fois une baisse des coûts de préparation à la seconde vie, une hausse des coûts de recyclage et une bonne maîtrise des pertes énergétiques.

A noter que les initiatives interrogées sont confiantes dans l'existence d'un modèle économique à moyen terme.

Enfin, les éventuels bénéfices environnementaux de la seconde vie (dans les cas favorables) sont actuellement très peu internalisés dans les coûts, puisqu'il s'agit essentiellement de consommations énergétiques évitées liées à l'extraction et la purification de ressources en dehors de l'Europe. L'internalisation des bénéfices environnementaux de la seconde vie dans le modèle économique permettrait de favoriser le bilan économique de la seconde vie par exemple via :

- des incitants à la préparation à la seconde vie ou à l'achat de batteries de seconde vie,
- un ajustement de la taxe carbone aux frontières qui intégrerait les batteries vierges.

Cela réhausserait le prix des batteries vierges pour le stockage d'énergie, accroissant donc la compétitivité des batteries de seconde vie.

VI.4.4. Maturité économique des initiatives

Aucun projet n'a souhaité communiquer sur sa rentabilité actuelle au regard de la seconde vie. Il n'est donc pas possible de conclure de manière certaine sur la maturité économique des initiatives.

La maturité relative des initiatives de seconde vie peut cependant s'apprécier selon quatre critères :

- L'ancienneté du projet de seconde vie au sein de l'entreprise ;
- Le niveau de maturité technologique, évalué via l'échelle Technology Readiness Level (TRL) ;
- Le type de financement (privé / public-privé) ;
- Le nombre de systèmes en fonctionnement.

Le tableau suivant résume les critères de maturité économique pour l'ensemble des initiatives approfondies.

Tableau 26 : Maturité économique des initiatives de seconde vie (RECORD , 2023)

	Dates de début		TRL _{≥8}	Type de financement actuel	Systèmes en fonctionnement	
	Projet	Offre commerciale			Nombre	Capacité installée
Kyburz	2015	2015	Oui (>9)	Auto-financement	110	1.6 MWh
Entech	2018	Pas d'offre	Non (5-7)	Public et privé (consortium)	NC	NC

Eaton / xStorage	2015	2016 (petites capacités) 2018 (grandes capacités)	Oui (>9)	Auto-financement (Eaton et Nissan)	NC	Quelques dizaines de MWh
Connected Energy	2014	2020	Oui (>9)	Auto-financement et levée de fond privée (R&D)	26	9 MWh
Watt4ever	2020	2022 (petites capacités)	Petites capacités : Oui (>9) Grandes capacités : Non (6-7)	Public (R&D) et privé (auto-financement et soutien des partenaires)	NC	NC

Les initiatives de Kyburz, Connected Energy et Eaton sont relativement plus matures. La relative maturité s'explique notamment par l'accès à un gisement conséquent et stable. Elles fournissent une offre commerciale depuis plusieurs années, et sont financées essentiellement par des fonds privés. Ce sont des indicateurs de viabilité économique, sans toutefois apporter de certitudes sur ce point.

Les initiatives d'Entech et Watt4Ever sont relativement moins matures. Ceci est reflété par la relative jeunesse de leurs modèles économiques et le manque de partenariats sur le long terme qui rend plus difficile, à ces initiatives, d'accéder à un gisement conséquent et stable des batteries usagées. Cela fait partie des perspectives de développement.

Les perspectives de développement du modèle d'affaires pour les entreprises approfondies sont décrites ci-après.

- Le déploiement géographique : toutes les initiatives visent l'expansion de leur déploiement géographique, à l'exception d'Eaton qui propose déjà une offre pour xStorage à échelle mondiale.
- La vente de services plutôt que de produit : ceci est notamment une perspective pour Connected Energy.
- L'extension de la gamme à davantage de modèles de batteries entrantes : toutes les initiatives à l'exception de Kyburz qui ne souhaite travailler qu'avec ses propres batteries.
- Le recentrage sur des applications spécifiques : Watt4Ever et Connected Energy dans une moindre mesure. Les autres projets sont déjà positionnés sur des applications spécifiques.

VI.5. Freins et leviers à la seconde vie

Les freins à la seconde vie sont les suivants :

- L'accès à un gisement de batteries en fin de vie suffisant,
- L'accès au BMS et aux instructions de sécurité de la batterie,
- La sécurité / les risques incendie,
- L'image consommateur,
- La garantie d'un système remplissant les conditions d'usage sur toute sa durée de vie,
- Les coûts de développement d'un prototype,

- Les coûts de transport des batteries,
- Les surcoûts liés au besoin en convertisseurs supplémentaires
- La pertinence environnementale de la seconde vie.

Les leviers correspondants sont répertoriés dans le tableau ci-dessous. Il s'agit de recommandations de nature technique, économique, ou normative/ réglementaire pour favoriser le développement de la seconde vie.

Tableau 27: Cartographie des freins et leviers à la seconde vie (RECORD, 2023)

Freins	Leviers	Initiatives l'ayant cité	Type de levier	Échéance temporelle de mise en œuvre
Accès à un gisement similaire de batteries / modules suffisant	Partenariat avec un OEM	Entech, Eaton, Connected Energy	Modèle économique	Court-terme
	Sélection des modèles de batteries ayant un gisement significatif	Connected Energy, Watt4Ever	Modèle économique	Court-terme
	Standardisation des modèles de batteries	Eaton, Watt4Ever	Normalisation	Long-terme ³⁴
Accès au BMS	Partenariat avec un OEM	Entech, Connected Energy, Watt4Ever	Modèle économique	Court-terme
	Standardisation du protocole informatique du BMS	Connected Energy, Watt4Ever	Normalisation	Long-terme ³⁵
	« Reverse engineering » ³⁶ du BMS utilisé	Watt4Ever	Technique	Court-terme
Sécurité	Tests batteries entrantes et sortantes	Kyburz, Entech, Eaton, Watt4Ever	Technique	Court-terme
	Détection incendie au niveau de l'unité	Watt4Ever	Technique	Court-terme

³⁴ La normalisation peut être envisagée à moyen-terme mais son impact sur le gisement en fin de vie se verra à long-terme

³⁵ La normalisation peut être envisagée à moyen-terme mais son impact sur le gisement en fin de vie se verra à long-terme

³⁶ Le « reverse engineering » ou rétro-ingénierie se définit comme un procédé ou une méthode permettant de comprendre le fonctionnement d'un système principalement par un démontage et des tests.

	de préparation à la seconde vie			
Garantie de fonctionnalité du système de stockage d'énergie pour l'utilisateur	Identification d'un modèle de vieillissement pertinent	Entech, Connected Energy	Technique	Moyen terme
	Données de la première vie fournies par l'OEM	Entech, Connected Energy, Watt4Ever	Réglementation	Moyen terme
	Vérification de l'efficacité de cycle lors des tests des batteries	-	Technique	Court-terme
Image consommateur	Garantie	Kyburz, Eaton, Connected Energy, Watt4Ever	Modèle économique	Court-terme
			Réglementation	Court-terme (prévu)
	Fourniture d'un service de maintenance	Kyburz, Connected Energy, Watt4Ever	Modèle économique	Court-terme
	Vente de service plutôt que d'un produit	Connected Energy	Modèle économique	Moyen terme
Coûts de développement de prototypes	Accélération des tests	Kyburz, Watt4Ever	Technique	Moyen terme
	Automatisation du démontage	Kyburz, Watt4Ever, Etude ADEME (2022)	Technique	Moyen terme
Coût de transport des batteries	Massification	Etude ADEME (2022)	Modèle économique	Court-terme
	Economies d'échelle	Etude ADEME (2022)	Modèle économique	Moyen terme

Coût des convertisseurs	Optimisation de l'architecture du SES	Entech	Technique	Moyen terme
	Economies d'échelle	Entech, Connected Energy	Modèle économique	Moyen terme
Pertinence environnementale de la seconde vie	Vérification de l'efficacité de cycle lors des tests des batteries	-	Technique	Court-terme

VII. Annexes

VII.1. Liste des initiatives recensées

Tableau 28 : Liste des initiatives de seconde vie recensées (RECORD, 2023)

Projets seconde vie batteries li-ion	Type	Pays	Année du démarrage	Statut	Porteur(s) du projet	Activité du(des) porteur(s)	Usage(s) d'origine	Usage(s) de seconde vie
Numam	Entreprise	Allemagne, Inde	2020	Des premiers prototypes installés en Allemagne	Nunam	Concepteur de SES	Divers	Stationnaire divers
OekoBat 2020	Projet	Allemagne	2016	En cours ou fini en 2028 ?	VARTA	Concepteur de batteries	Divers	Stationnaire divers
KlemA	Projet	Allemagne	2019	Projet en activité	NC	Centre de recherche	Divers	Divers
RHINOCEROS	Projet	Allemagne	2022	Projet tout juste lancé	Accurec	Recycleur	Divers	Divers
Batteries 2020	Projet	Espagne, Danemark, Italie, Belgique, Suisse et Allemagne	2014	Projet fini ?	IK4, Aalborg university, Abengoa, CRF, EuroBat, Leclanché, IMZ, ISEA, Umicore VUB	Consortium	Divers	Portable Mobilité légère
Batteries 2030	Projet	France, Belgique, Danemark, Allemagne, Suède, Norvège, Espagne, Italie, Slovénie	2020	NC	https://battery2030.eu/battery2030/governance/core-group/	Consortium	Divers	Portable Mobilité légère
Gouach	Entreprise	France	NC	Entreprise en activité	NC	Concepteur de batteries	Mobilité légère	Portable Mobilité légère

Projets seconde vie batteries li-ion	Type	Pays	Année du démarrage	Statut	Porteur(s) du projet	Activité du(des) porteur(s)	Usage(s) d'origine	Usage(s) de seconde vie
Doctibike	Entreprise	France	2014	Entreprise activité en	Doctibike (GreenRiders Group)	Vendeur	Mobilité légère	Portable Mobilité légère
Virvolt	Entreprise	France	2016	Entreprise activité en	Virvolt	Vendeur	Mobilité légère	Portable Mobilité légère
Ahooga	Projet	Belgique	2019	Projet arrêté	Ahooga	OEM	Mobilité légère	Portable Mobilité légère
Daürema	Entreprise	Belgique	2021	Entreprise activité en	DaÜrema	Réparateur	Mobilité légère	Portable Mobilité légère
ALBUFERA E-POWER SL	Projet	Espagne	2017	Projet en cours	Albufera Energy Storage	Concepteur de SES	Mobilité légère	Divers
NOWOS	Entreprise	France, Pays-Bas	2019	Entreprise activité en	NC	Réparateur	Mobilité légère	Divers
Battkomp (anciennement Yedlik)	Entreprise	Norvège	2020	Entreprise activité en	Battkomp	Concepteur de batteries	Mobilité légère	Portable hors mobilité
RE²BA project	Projet	Autriche	2017	Projet « qui a réussi »	Saubermacher	Collecteur	Mobilité légère	Stationnaire divers
Kyburz	Entreprise	Suisse	NC	Produits en vente	Kyburz	OEM	Mobilité légère	Divers
WeRECY	Projet	France	2022	Etude de faisabilité	WeRECY	Autre	Mobilité légère	Stationnaire divers
LIOFIT	Entreprise	Allemagne	2013	Entreprise activité en	LIOFIT GmbH	Réparateur	Mobilité légère	Portable Mobilité légère
McAkku	Entreprise	Allemagne	2007	Entreprise activité en	McAkku	Réparateur	Mobilité légère	Portable Mobilité légère

Projets seconde vie batteries li-ion	Type	Pays	Année du démarrage	Statut	Porteur(s) du projet	Activité du(des) porteur(s)	Usage(s) d'origine	Usage(s) de seconde vie
Akkuzentrum	Entreprise	Allemagne	NC	Entreprise activité en	Akkuzentrum	Réparateur	Mobilité légère	Portable Mobilité légère
MTW Akkutechnik	Entreprise	Allemagne	NC	Entreprise activité en	MTW Akkutechnik	Réparateur	Mobilité légère	Portable Mobilité légère
KS bikes	Produit / Solution	Allemagne	NC	Entreprise activité en	KS bikes	Vendeur	Mobilité légère	Portable Mobilité légère
Batterie 24	Produit / Solution	Allemagne	NC	Entreprise activité en	Batterie 24	Vendeur	Mobilité légère	Portable Mobilité légère
Akkuman	Entreprise	Allemagne	1998	Entreprise activité en	Akkuman	Concepteur de batteries	Mobilité légère	Portable Mobilité légère
Projet BatteryPackService et Hoogmartens	Projet	Belgique	2021	Lancement du projet	BatteryPackService et Hoogmartens	Concepteur de batteries	Mobilité légère	Portable Mobilité légère
Le Projet Batterie mobile Bilmo	Projet	Belgique	2021	Projet en cours de lancement	NC	OEM	Mobilité légère	Portable hors mobilité
Projet SLiBat sustainer	Projet	Belgique	2021	Projet en cours de lancement	NC	NC	Mobilité légère	Portable hors mobilité
Phenix Batteries	Entreprise	France	2017	Entreprise activité en	Phenix (SNAM group)	Recycleur	Véhicules électriques	Stationnaire divers
Watt4Ever	Entreprise	Belgique	2020	Entreprise activité en	Revolta, febelauto, Shence management, eco-lithium, out of use	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire divers
Connected Energy	Entreprise	Royaume-Uni et Europe	NC	Entreprise activité en	Connected energy (Future Transport Systems)	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire divers

Projets seconde vie batteries li-ion	Type	Pays	Année du démarrage	Statut	Porteur(s) du projet	Activité du(des) porteur(s)	Usage(s) d'origine	Usage(s) de seconde vie
Second Life EV Batteries	Entreprise	Royaume-Uni	NC	NC	NC	Vendeur	Véhicules électriques	Portable Véhicules électriques
ReLiB	Projet	Royaume-Uni	NC	NC	The Faraday Institution	Centre de recherche	Véhicules électriques	
Time Shift energy storage	Entreprise	Pays-Bas	2016	Entreprise en activité	Time Shift energy storage	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire divers
V Storage	Entreprise	Pays-Bas	2017	Des batteries déjà mises en activité	Scholt Energy et VDL Groep	Energéticien	Véhicules électriques	Stationnaire divers
Lazarus Projet	Projet	Allemagne	2022	Projet en activité	RWE Battery Solutions GmbH	Autre	Véhicules électriques	Stationnaire divers
EcarACCU second life	Entreprise	Pays-Bas	2015	Entreprise en activité	Ursem Barten	Autre	Véhicules électriques	Divers
SolarTechno	Produit / Solution	Pays-Bas	NC	Entreprise en activité	SolarTechno	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire divers
Green-Vision	Projet	France	NC	Partenariat encore en cours	Green -Vision et Mobilize (Renault Group)	Concepteur de batteries	Véhicules électriques	Portable mobilité divers
Electrification de la flotte de Paris Yacht Marina	Projet	France	2019	Deux bateaux mis en exploitation entre 2019 et 2021	Renault Group, Seine Alliance, Green Vision	OEM	Véhicules électriques	Portable mobilité divers
Projet NEOLINE	Projet	France	2015	Pas encore de bateau pilote construit, brevet déposé	NEOLINE, Renault	OEM	Véhicules électriques	Portable mobilité divers

Projets seconde vie batteries li-ion	Type	Pays	Année du démarrage	Statut	Porteur(s) du projet	Activité du(des) porteur(s)	Usage(s) d'origine	Usage(s) de seconde vie
Installation de la Re-factory de Flins	Installation	France	2020	Installation prévue en 2021	Renault Group	OEM	Véhicules électriques	Stationnaire régulation du réseau électrique
Advanced Battery Storage program	Projet	Allemagne, Suisse	2018	Des installations mises en place dès 2019	Groupe Renault, The Mobility House	OEM	Véhicules électriques	Stationnaire régulation du réseau électrique
"smart island" in Porto Santo	Installation	Portugal	2018	Installation in activité	Groupe Renault	OEM	Véhicules électriques	Stationnaire régulation du réseau électrique
Smart Hubs	Installation	Royaume-Uni	2020	Installation en fonctionnement	Connected energy (Future Transport Systems)	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire énergies renouvelables
StaTrak	Projet	Allemagne	2013	Projet fini en 2015	Fraunhofer ISE - Institut für Solare Energiesysteme	Centre de recherche	Véhicules électriques	Divers
SELIBA	Projet	Allemagne	NC	NC	NC	Centre de recherche	Véhicules électriques	
Lünen Plant installation	Installation	Allemagne	2016	Installation en fonctionnement	REMONDIS, The Mobility House	Recycleur	Véhicules électriques	Stationnaire régulation du réseau électrique
EUREF Campus installation	Installation	Allemagne	2019	Installation en fonctionnement ?	Audi, The Mobility House	OEM	Véhicules électriques	Stationnaire divers
Johan Cruijff Arena Installation	Installation	Pays-Bas	2018	Installation en fonctionnement depuis 2019	NISSAN, , Eaton, The Mobility House, BAM	Autre	Véhicules électriques	Stationnaire régulation du réseau électrique

Projets seconde vie batteries li-ion	Type	Pays	Année du démarrage	Statut	Porteur(s) du projet	Activité du(des) porteur(s)	Usage(s) d'origine	Usage(s) de seconde vie
Installation	Installation	Allemagne	2018	Installation en fonctionnement depuis 2020	The Mobility House	Autre	Véhicules électriques	Stationnaire du réseau électrique
betteries	Entreprise	Allemagne	2019	Entreprise en activité	betteries	Concepteur de batteries	Véhicules électriques	Portable hors mobilité
Hamburg's Cruise Center Steinwerder installation	Installation	Allemagne	2016	Installation en fonctionnement depuis 2017	Vattenfall, BMW, Bosch	Energéticien	Véhicules électriques	Stationnaire du réseau électrique
Partenariat Vattenfall BMW	Partenariat	Allemagne	2017	Diverses installations	Vattenfall, BMW	Energéticien	Véhicules électriques	Stationnaire du réseau électrique
BMW storage farm in Leipzig	Installation	Allemagne	2017	Installation en activité	BMW, Energy2Market	OEM	Véhicules électriques	Stationnaire du réseau électrique
"filière italienne"	Partenariat	Italie	NC	NC	Enel, Cobat, Class Onlus, ANFIA, RSE, Comau	Consortium	Véhicules électriques	Stationnaire divers
Pioneer (Aeroporti di Roma)	Installation	Italie	2021	Doit être fini en 2024	Enel X (Group Enel)	Collecteur	Véhicules électriques	Stationnaire énergies renouvelables
Enel X's challenge	Installation	Espagne	2022	NC	Enel X (Group Enel)	Collecteur	Véhicules électriques	Stationnaire du réseau électrique
Ampere Building installation	Installation	France	2017	Site pilote installé, ELSA Project Successfully Completed	Elsa	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire du réseau électrique

Projets seconde vie batteries li-ion	Type	Pays	Année du démarrage	Statut	Porteur(s) du projet	Activité du(des) porteur(s)	Usage(s) d'origine	Usage(s) de seconde vie
Gateshead College installation	Installation	Royaume-Uni		Site pilote installé, ELSA Project Successfully Completed	Elsa	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire régulation du réseau électrique
Nissan Europe Office installation	Installation	France		Site pilote installé, ELSA Project Successfully Completed	Elsa	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire régulation du réseau électrique
E.ON Energy Research Center installation	Installation	Allemagne		Site pilote installé, ELSA Project Successfully Completed	Elsa	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire énergies renouvelables
City of Kempten installation	Installation	Allemagne		Site pilote installé, ELSA Project Successfully Completed	Elsa	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire résidentiel
City of Terni installation	Installation	Italie		Site pilote installé, ELSA Project Successfully Completed	Elsa	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire énergies renouvelables
Powervault 3eco	Produit / Solution	Royaume-Uni	2017	Produit / Solution sur le marché	Powervault	Concepteur de batteries	Véhicules électriques	Stationnaire résidentiel
Mobi@ EV Charger	Produit / Solution	Royaume-Uni (ou US ?)	2016	Produit / Solution sur le marché	FreeWire	Concepteur de batteries	Véhicules électriques	Stationnaire chargeur EV
Plymouth Boat Trips' e-ferry	Installation	Royaume-Uni	2020	Bateau en fonctionnement	EV Parts, Voyager Marine	Autre	Véhicules électriques	Portable mobilité divers

Projets seconde vie batteries li-ion	Type	Pays	Année du démarrage	Statut	Porteur(s) du projet	Activité du(des) porteur(s)	Usage(s) d'origine	Usage(s) de seconde vie
SUNBATT	Installation	Espagne	2016	Installation prototype	Endesa, SEAT	Energéticien	Véhicules électriques	Stationnaire énergies renouvelables
University of Warwick installation	Installation	Royaume-Uni	2019	pilote réalisé	Nissan, WMG, University of Warwick	OEM	Véhicules électriques	Stationnaire divers
Pharre	Installation	France	2020	Installation en fonctionnement	SyDEV, Renault	Energéticien	Véhicules électriques	Stationnaire énergies renouvelables
Projet CSV	Projet	France	2019	? Projet lancé	Entech	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire divers
Projet ABR	Partenariat	France	NC	NC	Entech, Stellantis, Talendi	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire divers
Partenariat SNAM et Honda	Partenariat	Suisse, France	2020	NC	SNAM et Honda	Recycleur	Véhicules électriques	Stationnaire régulation du réseau électrique
xStorage	Produit / Solution	Monde	2015	Solution en vente	Nissan et Eaton	Concepteur de batteries	Véhicules électriques	Stationnaire divers
The second life of Škoda batteries	Projet	République Tchèque	NC	Projet pilote réussi à Prague en amont	SKODA AUTO, IBG Česko	OEM	Véhicules électriques	Stationnaire divers
Batteries4Storage	Installation	Autriche	2022	Installation in activité	AVL List, AVL DiTEST, Energie Steiermark, Grazer Energieagentur, Saubermacher, Smart Power	Consortium	Véhicules électriques	Stationnaire régulation du réseau électrique
ECO STOR	Entreprise	Norvège	2018	Entreprise en activité	Eco Stor AS (Agder Energi Ventures)	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire divers

Projets seconde vie batteries li-ion	Type	Pays	Année du démarrage	Statut	Porteur(s) du projet	Activité du(des) porteur(s)	Usage(s) d'origine	Usage(s) de seconde vie
fortum	Entreprise	Finlande	NC	Entreprise en activité	Fortum (gouvernement de Finlande)	Energéticien	Véhicules électriques	Stationnaire divers
BatteryLoop	Entreprise	Suède	2017	Entreprise en activité, 1er système fourni en 2019	BatteryLoop (Stena Metall AB)	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire divers
BattMan Relife	Projet	Allemagne	2021	Projet en activité	Wolkwagen	OEM	Véhicules électriques	
Beeplanet	Entreprise	Espagne	2018	Entreprise en activité	BeePInet	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire divers
Reneos	Entreprise	Europe	NC	NC	Reneos	Collecteur	Véhicules électriques	Divers
Olen site installation	Installation	Belgique	2019	Installation en fonctionnement	Umicore	Recycleur	Véhicules électriques	Stationnaire régulation du réseau électrique
Forsee Power's installation	Installation	France	2015	NC	EDF, Forsee Power, Mitsubishi Motors Corporation, PSA Peugeot Citroën	Concepteur de batteries	Véhicules électriques	Stationnaire divers
Hagal	Entreprise	Norvège	2018	Entreprise en activité	Hagal	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire divers
Chainpro Energy	Entreprise	Norvège		Entreprise en activité	Chainpro Energy	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire divers
Octave	Entreprise	Belgique	2021	Start-Up, des premiers démonstrateurs sont installés	Octave	Concepteur de SES	Véhicules électriques	Stationnaire divers

NC= non communiqué

VII.2. Liste des experts consultés

Tableau 29: Liste des experts consultés (RECORD, 2023)

Nom	Prénom	Organisation	Fonction	Pays
Olivier	Groux	Kyburz	Project Manager Battery recycling	Suisse
Franck	Al Shakarchi	Entech	Directeur Stratégie et Innovation	France
Maël	Riou	Entech	Ingénieur R&D	France
Sophie	Molina	Entech	Docteur ingénieur thermique et stockage	France
Jean-Luc	Fruitier	Eaton	Product Manager xStorage Home Grid	France
Eugene	Van Rooyen	Eaton	Product Manager C&I: Energy storage	Suisse
Matthew	Lumsden	Connected Energy	CEO	Royaume-Uni
Aimilios	Orfanos	Watt4Ever	CEO	Belgique
Edvarts	Emerson	Watt4Ever	Production & Testing Engineer	Belgique

VII.3. Prévisions sur le coût des batteries Li-ion pour les véhicules électriques

Figure 35 Cost-development of Li-ion battery packs for EVs over time based on three different deployment scenarios

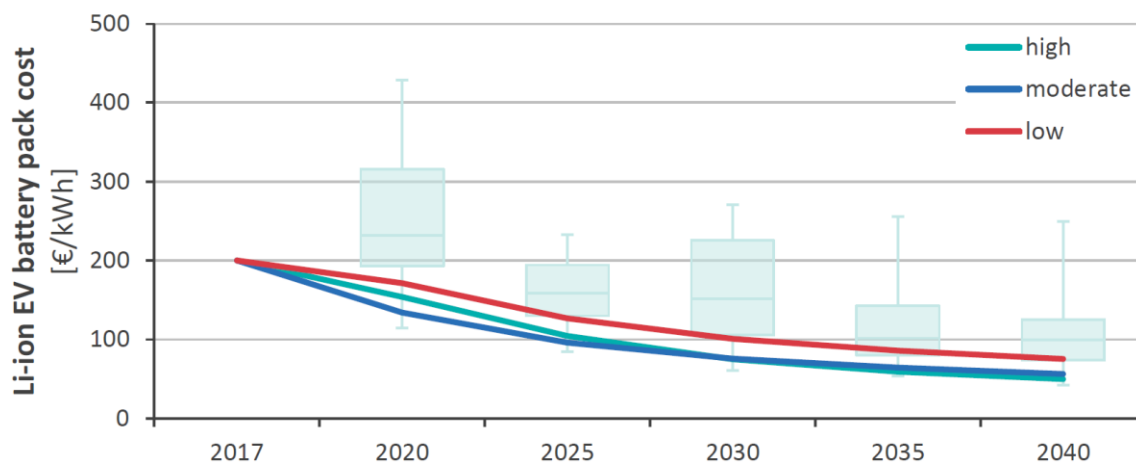


Figure 14 : Prédiction de coûts du JRC³⁷ (JRC, 2018)

Prédiction d'après le WAPO (« World **A**utomotive Powertrain Outlook »)

Année	€/kWh	
	Borne basse	Borne haute
2020	174	174
2025	107	94
2030	79	69
2035	73	60
2040	69	54

³⁷ DOI:10.2760/87175 : https://www.researchgate.net/publication/329467984_Li-ion_batteries_for_mobility_and_stationary_storage_applications_Scenarios_for_costs_and_market_growth

VII.4. Evaluation des impacts de la consommation électrique

La modélisation des impacts d'une consommation électrique est complexe et pose diverses questions.

Les paramètres principaux à prendre en compte dans une modélisation sont :

- Quand a lieu la consommation (heures de pics, heures creuses, entre) ?
- Y a-t-il une adaptation de la demande (diminuée, reportée), notamment de l'étranger, si les prix augmentent suite à une augmentation de la consommation ?
- Quelles sont les centrales qui font l'appoint en cas d'augmentation de la demande ?
- Quel est l'horizon temporel (effet des voitures électriques en 2035) ?
- Quelle est l'ampleur de la demande (petite ou faible augmentation) ?
- Quelles sont les capacités de transport d'électricité interne et internationale ?

Face à cette complexité, on peut renoncer à modéliser finement et prendre systématiquement le mix moyen, avec l'argument qu'au moins, la somme des impacts modélisés (de tous les modèles) est égale à la somme des impacts réels.

Cette égalité donne une fausse impression de pertinence pour l'évaluation des cas individuels :

- Est-il normal de compter le même mix électrique pour une installation industrielle qui efface sa demande au moment de pics de consommation (où les centrales de pointe tournent) et pour celle qui ne le fait pas ?
- Est-il normal qu'une discothèque qui ne consomme de l'électricité que la nuit ait le même mix électrique que des bureaux qui ne fonctionnent que le jour ?

Nous sommes d'avis que les modélisations spécifiques, bien que complexes, donnent des impacts plus proches des impacts réels que le mix moyen.

Prendre le mix moyen horaire donne déjà une bonne réponse à la variation temporelle de la consommation.

Prendre le mix marginal horaire serait sans doute plus pertinent dans de nombreux cas (quelles sont les centrales qui régulent ?) car ainsi on prend en considération les centrales réellement affectées. Idéalement, à corriger par les effets indirects sur la baisse de la consommation via les mécanismes de prix.

Spécifiquement pour les batteries :

- Pour le stockage d'énergie renouvelable, idéalement, il faudrait prendre le mix marginal horaire des périodes de chargement et de déchargement. Lors de la période de chargement, l'énergie est renouvelable mais cette phase est commune que la batterie soit de première vie ou de seconde vie, elle n'entre donc pas dans le calcul de l'avantage comparatif de la seconde vie. Lors de la période de déchargement, l'énergie est plutôt fossile (injection au moment des pics de demande remplis par l'énergie fossile). En comptant les pertes par cycle, une batterie de seconde vie va rendre moins d'énergie qu'une batterie de première vie lors de la décharge, donc il y aura une quantité d'énergie nécessaire à ce moment-là pour compenser. C'est donc plutôt un mix fossile qui doit être utilisé pour analyser l'effet des pertes d'énergie lors de la décharge.
- Pour les groupes de secours, il faudrait prendre le mix marginal horaire des périodes de chargement uniquement. On peut l'assimiler à un mix moyen.

VII.5. Analyse approfondie de 5 initiatives de seconde vie

VII.5.1. Concept « MultiLife » de Kyburz

VII.5.1.1. Description du projet

Contexte

- Activité de l'entreprise

[Kyburz](#) est une entreprise Suisse fondée en 1991 qui conçoit et vend des véhicules électriques légers de catégories L (véhicules à deux, trois quadricycles à moteur). L'entreprise fournit des flottes de véhicules à différentes structures publiques et privées, des véhicules privés et des véhicules autonomes.

- Projet original

A partir de 2015 Kyburz développe un concept (qui sera intitulé par la suite MultiLife) de modèle économique circulaire. Ce concept a pour objectif de réemployer, de réutiliser et de recycler les véhicules et les batteries utilisées le plus grand nombre de fois possible.

- Les éléments essentiels de ce projet sont
 - La réemploi des véhicules et des batteries associées après une première-vie
 - La réutilisation de batteries usagées dans des systèmes de stockage d'énergie stationnaires pour particuliers à l'aide de son partenaire Twice
 - Le recyclage de batteries non réutilisables
- Dates clés du projet
 - 2015 : premières conceptions de systèmes de stockage stationnaire à partir de batteries de seconde vie (utilisés en première vie dans les véhicules Kyburz)
 - 2017 : Mise en place de la seconde vie des véhicules
 - 2019 : Début du projet pour le recyclage des batteries
 - 2020 : Kyburz met au point un nouveau système de recyclage des batteries
 - 2022 : Obtention d'une licence d'exploitation pour le recyclage des batteries
 - 2022 : Kyburz devient partenaire officiel d'Inobat pour le recyclage des batteries
 - 2022 : Kyburz, et son concept MultiLife, est finaliste du Green Business Award

Dans cette synthèse, sont développées les parties du concept concernant la réutilisation des batteries des véhicules et plus particulièrement la réutilisation pour du stockage d'énergie stationnaire.

Niveau de maturité actuel du projet

Les systèmes de réemploi des batteries au sein de véhicules ou de réutilisation dans des systèmes de stockage stationnaire de Kyburz sont matures : des systèmes complets sont mis en vente dans le cadre d'une offre stable. Le niveau de TRL est de 9.

La capacité installée sous forme de stockage stationnaire pour le moment est d'environ 1.6 MW, ce qui correspond à 110 systèmes individuels.

Type de produits commercialisés

Avec des batteries de seconde vie, Kyburz commercialise

- Des véhicules réutilisés avec des batteries réemployées
- Des armoires de stockage électrique pour particuliers (réutilisation)

VII.5.1.2. Modèle

Schéma explicatif

Le schéma ci-dessous représente un résumé du modèle tel que compris par les auteurs.

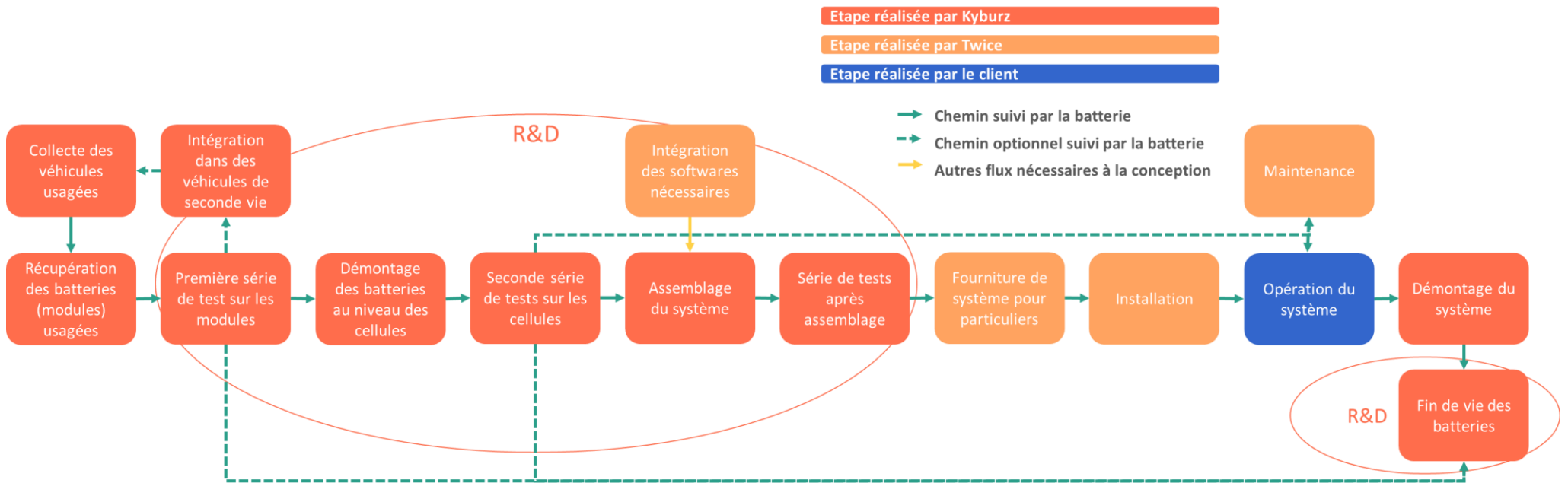


Figure 15 : Modèle explicatif du concept MultiLife de Kyburz (RECORD, 2023)

Fonctionnement

- Origine des batteries

Kyburz rachète auprès de ses clients les flottes de véhicules après leur première vie (en moyenne, 7 ans de fonctionnement). Aujourd'hui Kyburz récupère la quasi-totalité de ses flottes de cette manière. Les flottes ainsi rachetées sont ainsi composées de véhicules ayant eu une courte durée de vie et pouvant être réutilisés.

En ce qui concerne les véhicules de seconde vie, Kyburz procède aussi à un système de rachat à la fin de vie des véhicules.

- Fourniture de la solution

Le système de stockage d'énergie stationnaire est conçu et est vendu après de particuliers par Twice (start-up concevant et vendant des systèmes de stockage d'énergie de seconde vie)

- Installation

L'installation auprès du client est réalisée par Twice et des partenaires distributeurs.

- Maintenance

Le système de seconde vie est conçu pour pouvoir changer les cellules qui ne fonctionnent plus sans démonter l'entièreté du système. Cette opération est réalisée par Twice.

- Gestion des batteries en fin de vie

Kyburz met en place une consigne sur les systèmes vendus dans les systèmes stationnaires afin de pouvoir les collecter et les recycler.

L'entreprise recycle ensuite elle-même les batteries en utilisant un procédé de recyclage développé en interne (plus d'informations : battery-recycling.kyburz-switzerland.ch/) et spécifique aux batteries sous forme de cellule prismatiques et particulièrement à la technologie LFP.

De manière générale, Kyburz a la particularité d'être impliqué dans un grand nombre d'étapes de la démarche en étant à la fois fabricant de véhicules électriques, concepteur de systèmes de stockage stationnaires de seconde vie et recycleur.

Partenariats essentiels

Afin de concevoir ses systèmes de stockage d'énergie stationnaire, Kyburz s'est associé à Twice une start-up Suisse qui développe des systèmes de stockage stationnaire et conçoit des BMS.

Typologie de client et applications

Les systèmes de stockage stationnaire conçus et vendus par Kyburz et Twice sont vendus à des particuliers pour des applications résidentielles de stockage d'énergie stationnaire.

Coûts et revenus

- Coûts

Les tests réalisés sur les batteries représentent un temps et donc un coup conséquent. Optimiser ces tests est donc un enjeu important pour Kyburz. De même les coûts de R&D liés à la compréhension d'une technologie de batterie afin d'identifier les tests les plus adaptés et rapides justifient le choix de Kyburz de ne réaliser la seconde vie que sur les batteries provenant de leurs véhicules et n'utilisant qu'une unique technologie.

Les coûts du démontage et d'assemblage des batteries sont peu élevés en termes de coût opérationnel et de main d'œuvre étant donné que tout est conçu pour être facilement démonté et car le procédé est automatisé et optimisé pour les batteries utilisées par Kyburz. Toutefois Kyburz identifie aussi des coûts administratifs (dont le détail n'a pas été communiqué) qui augmentent les coûts de cette étape de la conception.

Le coût des batteries n'est pas identifié comme un enjeu important pour Kyburz étant donné leur système de collecte des véhicules en fin de vie. En effet le coût du rachat est en partie compensé par la réutilisation et la revente des véhicules et de leurs matériaux

Le partenariat entre Kyburz et Twice permet de répartir les tâches et les coûts de conception, de production et de distribution des systèmes de stockage stationnaire.

- Revenus

Les systèmes sont vendus au client, comme produits, par l'intermédiaire de Twice

Comparaisons

- Avec des systèmes de première vie

Les systèmes sont vendus à des prix similaires aux systèmes utilisant des batteries de première vie. Le bénéfice environnemental compensant, pour le client, la réduction de la durée de vie.

- Avec le recyclage des batteries

Kyburz réalise, en parallèle, de la conception de système de seconde vie et du recyclage des batteries.

Financement

L'ensemble du financement lié à la seconde vie est issu de financement interne. Seul le projet de recyclage a été soutenu par une subvention publique.

Echelle géographique

- Origine géographique des batteries

Les batteries utilisées sont issues des flottes européennes de véhicules vendus par Kyburz ou bien des véhicules de seconde vie principalement vendus en Suisse.

- Implantation géographique de la conception

Les systèmes de stockage d'énergie stationnaire sont assemblés sur le site de production de Kyburz à Freienstein en Suisse.

- Destination géographique des batteries

Les systèmes de stockage d'énergie stationnaire produits par Kyburz et Twice sont vendus uniquement en Suisse pour le moment.

VII.5.1.3. Enjeux techniques

Description technique des batteries de première vie

Kyburz utilise comme batteries des technologies Li-ion phosphate (LFP) en cellules prismatiques. Depuis 2006 Kyburz achète auprès de son fournisseur en Chine, les modules déjà assemblés. Pour la première vie des batteries, ces modules sont installés dans les véhicules produits par Kyburz, chaque véhicule comprenant plusieurs modules.

Part des batteries réutilisées et capacité restante

En fonction de leur capacité restante par rapport à leur capacité initiale (SoH), les batteries sont orientées vers l'une des solutions :

- Les batteries ayant une capacité restante supérieure à **85%** de la capacité initiale sont utilisées dans des véhicules de seconde vie. Cela représente environ 40% des batteries
- Les batteries ayant une capacité restante supérieure à **65%** de la capacité initiale sont utilisées dans des armoires de stockage électrique. Cela représente environ 57% des batteries
- Les autres batteries (environ 3%) sont recyclées

A noter que les capacités restantes peuvent être très variables en fonction des batteries et notamment la taille des cellules : le comportement de petites cellules n'étant pas du tout le même que celui de cellules plus larges.

Tests réalisés

La majorité des tests réalisés sont confidentiels, peu de données ont été communiquées par Kyburz à ce sujet.

- Pour orienter les batteries

Avant toute mesure, les premières vérifications sont visuelles. Puis des premiers tests sont effectués au retour des batteries après leur première ou deuxième vie sur les véhicules. Le paramètre principal mesuré par ces tests est le SoH. Ces tests permettent d'orienter certains des modules vers des véhicules de seconde vie et de procéder à une étape de démontage pour les autres

- Avant assemblage

Une fois les modules démontés, de nouveaux tests, plus détaillés, sont effectués sur les cellules. Ce sont ces tests qui permettent d'écartier certaines cellules non réutilisables dans des systèmes de stockage stationnaires vers le recyclage.

- Après assemblage

Une fois les nouveaux modules assemblés, de nouveaux tests de fonctionnement sont réalisés sur le système. Ces tests permettent notamment d'identifier le SoH du nouveau module assemblé et incluent des cycles de charge-décharge de la batterie.

- En fonctionnement

En fonctionnement, le BMS permet un suivi de l'état de santé des batteries.

Critères d'acceptation

Kyburz réutilise seulement les batteries utilisées dans leurs véhicules (de technologie LFP).

Comme explicité plus haut, la seconde vie de ces batteries est déterminée par la capacité restante.

Niveau d'intervention

Dans le cas des systèmes de stockage stationnaire, Kyburz démonte les modules pour récupérer les cellules et les assembler dans de nouveaux modules dédiés à cette seconde vie.

Propriétés techniques du produit

- Assemblage

Chaque module de seconde vie conçu par Kyburz contient 6 cellules.

- Capacité, voltage

Un module a une capacité de 4 kWh environ pour une tension de 48V.

- Assemblage

Plusieurs modules sont assemblés ensemble pour produire un système de stockage stationnaire sous forme d'armoire d'une capacité allant de 4 kWh (un seul module) à 100 kWh.

Des systèmes de plus de 100 kWh sont envisageables mais la demande pour cette échelle de capacité est faible pour les applications résidentielles.

Durée de vie

Chaque système de stockage stationnaire est garanti pendant une durée de vie de 7 ans. Cela est à mettre en perspective avec une garantie de 10 ans pour des systèmes de stockage similaires à partir de batteries neuves.

Montage

Sur un système de stockage stationnaire conçu par Kyburz et Twice, seulement des batteries (LFP) de seconde vie sont utilisées. Toutefois au sein d'un même système, des batteries de différents SoH sont assemblées ensemble, le BMS utilisé permettant de gérer cet aspect.

BMS

Le BMS utilisé pour les batteries utilisées dans les véhicules électriques n'est pas adapté à la seconde vie sous forme de stockage d'énergie stationnaire.

Ainsi, un nouveau BMS est spécifiquement conçu et produit par Twice. Ce BMS est plus fonctionnel que le BMS utilisé en première vie et inclut un contrôle de chaque cellule et un suivi de SoH. Il permet aussi de gérer des batteries avec différents SoH.

VII.5.1.4. Enjeux de sécurité et réglementaires

Gestion de la sécurité

Kyburz n'a pas souhaité communiquer d'informations détaillées sur la gestion de la sécurité et considère que cet aspect est garanti par les tests réalisés en amont et le BMS qui permet un contrôle des paramètres (taux de charge, température, courant) en cours d'utilisation et peut arrêter le système si les seuils d'utilisations sont dépassés

Risque d'incendie

D'après Kyburz, les batteries LFP présentent un risque moindre de prendre feu contrairement aux autres technologies Li-ion.

Statut de déchet

Les batteries utilisées sont réemployées et réutilisées en interne et n'ont pas le statut de déchet avant le recyclage.

Responsabilité

Kyburz est responsable des systèmes et batteries mises sur le marché ainsi que de leur recyclage.

VII.5.1.5. Projections

Prochains développements et positionnement de l'entreprise dans le futur

- A court terme, 40 projets de stockage stationnaire sont en cours d'installation.
- Kyburz prévoit principalement de développer dans le futur l'étape de recyclage et d'augmenter son offre à ce sujet en recyclant des batteries ne provenant pas de leurs véhicules.
- Dans le cadre de leur système de seconde vie, Kyburz ne souhaite pas développer de solutions à partir d'autres batteries pour des raisons de coûts de conception et d'optimisation de la chaîne logistique.

Forces, faiblesses, opportunités et menaces

Le tableau suivant résume la compréhension des auteurs à la suite de leur entretien avec Kyburz.

Forces <ul style="list-style-type: none">• Kyburz a internalisé la majorité des compétences de la collecte des véhicules au recyclage des batteries• Kyburz maîtrise la technologie des batteries utilisées• Le coût des batteries est minime pour Kyburz	Faiblesses <ul style="list-style-type: none">• Kyburz n'a pas la capacité de développer de systèmes de seconde vie à partir d'autres batteries que les siennes
Opportunités	Menaces <ul style="list-style-type: none">• Le marché de Kyburz pour la seconde vie est uniquement suisse

VII.5.2. Entreprise Entech (projets de recherche CSV et ABR)

VII.5.2.1. Description du projet

Contexte

- Activité originale de l'initiative
 - [Entech](#) est spécialisée dans le stockage et la conversion d'énergie électrique en France et à l'international. L'entreprise développe, construit et met en service des installations telles que :
 - Services On-Grid / Off-Grid : systèmes de conversion et de stockage d'énergie qui permettent l'équilibrage du réseau ou l'électrification de sites isolés.
 - Centrales photovoltaïques au sol, en toiture, en ombrières, etc.
 - Prototypage : chaînes de conversion complexes sur des technologies innovantes telles que les hydroliennes, les nouvelles technologies de batteries, ...
- Projet original

Entech a des activités de conception de systèmes de stockage de seconde vie via des projets spécifiques de prototypage. Dans ce cadre, Entech rencontre deux types de situations : il s'agit soit de contrats commerciaux de fourniture avec principalement des clients qui sont des fournisseurs de

batteries de seconde vie, soit de projets de recherche partiellement financés par le secteur public. Cette synthèse documente les apprentissages de deux projets de recherche à ce sujet : les projets CSV (Conversion intelligente pour la Seconde Vie des batteries) et ABR (Automotive Batterie Reuse).

Historique

- Première preuve de concept, projet CSV,
 - Démarré en 2018 et finalisé en 2020 :
 - Réalisation d'un démonstrateur de système de stockage à partir de batteries de seconde vie provenant de différents fournisseurs constructeurs automobiles (Mitsubishi, Stellantis et Nissan) associées ensemble.
 - Communiqué de presse : entech-se.com/references/conversion-intelligente-pour-la-seconde-vie-des-batteries/
- Projet ABR
 - Démarré en 2022, en cours
 - Le projet est mené par un consortium composé du constructeur automobile Stellantis, de Talendi (sous-traitant industriel spécialisé dans le câblage, montage et l'intégration de différents systèmes industriels), de l'Université Bretagne Sud (Institut de Recherche Dupuy de Lôme) et Entech
 - L'objectif de ce projet est de « Développer une filière et des innovations autour du démantèlement des batteries automobiles (diagnostic, sécurité, data, etc.) et proposer des solutions pour optimiser la 2nde vie des batteries »
 - Communiqué de presse : entech-se.com/partenerariat-sur-la-2nde-vie-des-batteries-de-vehicules/

Niveau de maturité actuel

Entech ne propose pas de systèmes de stockage conçus à partir de batteries de seconde vie car :

- il n'existe pas d'offre suffisamment stable de batteries de seconde vie proposée par les constructeurs
- la demande côté opérateurs de systèmes énergétiques n'est pas bien établie.

Les solutions Entech sont des prototypes et le modèle économique est encore en construction ce qui correspond à un TRL entre 5 et 7.

Les perspectives en vue à la suite des projets en cours sont indiquées à la fin de cette fiche.

VII.5.2.2. *Modèle*

Schéma explicatif

Le schéma ci-dessous représente un résumé du modèle du projet ABR tel que compris par les auteurs, et ne représente aucune communication officielle de la part du consortium.

Le projet ABR étant un projet prospectif, le modèle réel à développer est amené à évoluer en fonction des apprentissages du projet.

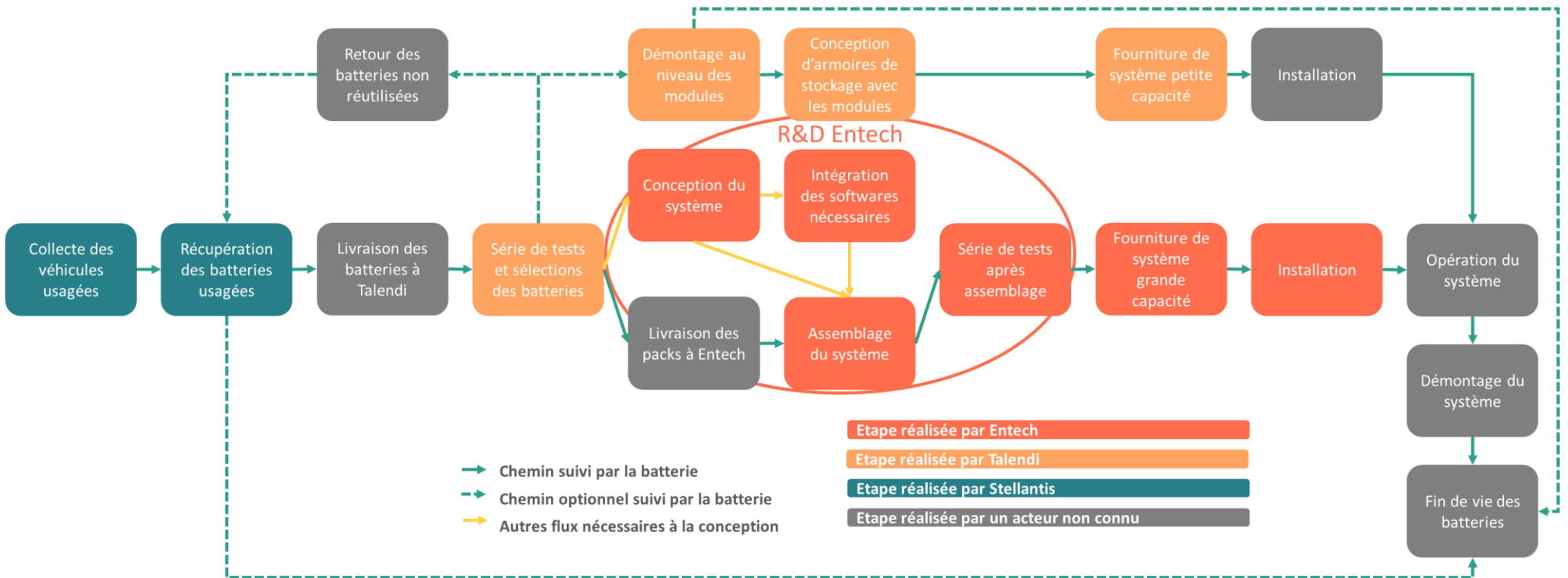


Figure 16 : Modèle explicatif du projet ABR (RECORD, 2023)

Fonctionnement

- Origine des batteries

Les batteries sont des batteries de véhicules de tests fournies par Stellantis.

Le fonctionnement de l'approvisionnement des batteries usagées actuellement utilisées pour le projet n'est pas représentatif de la source future d'approvisionnement.

- Sélection des batteries éligibles à la seconde vie

Talendi récupère les batteries et réalise le diagnostic permettant de trier les batteries et d'identifier si elles sont réutilisables à l'échelle des packs ou des modules.

- Niveau de transformation

Certaines batteries sont démontées à l'échelle des modules lorsqu'elles ne sont pas réutilisables à l'échelle des packs

- Les modules (à partir des batteries démontées) sont conservés par Talendi et assemblés dans des armoires de stockage pour du stockage stationnaire résidentiel ou de la « petite mobilité ».
- Les packs sont fournis à Entech qui les assemble pour en faire des systèmes électriques de stockage de plus grande capacité (conteneurs)

- Fourniture de la solution

La solution fournie actuellement n'est pas à visée commerciale.

- Installation

Entech peut réaliser l'installation et la mise en service du système chez le client/partenaire.

- Opération et maintenance

Le système est fourni par Entech mais opéré par un utilisateur tiers.

Entech ne propose pas de service de réparation mais réalise une maintenance préventive sur les équipements (maintenance périodique sur le système de refroidissement, les convertisseurs, contrôle des serrages, etc.). Cette maintenance préventive est la même que celle effectuée sur des systèmes de première vie.

Des étapes de rééquilibrage sont aussi possibles au cours du fonctionnement du système.

- Gestion des batteries en fin de vie

La gestion des batteries en fin de vie n'est pas connue. Le système n'est pas vendu à ce stade.

Applications

Le projet ABR a pour objectif de tester la gestion des packs pour deux applications :

- une application sous forme de conteneurs de stockage, pour du transfert de charge (déplacement de la production d'énergie au moment des pics de consommation) ou des services réseau, incluant la stabilisation du réseau ou le stockage d'énergie renouvelable,
- une application de forme d'armoires de stockage pour la recharge de batteries de mobilité légère ou bien à destination du secteur résidentiel.

L'entretien ayant été réalisé avec Entech et non Talendi, seule la première application sous forme de conteneurs est décrite dans la suite de la fiche.

Coûts et revenus

- Coûts

Pour Entech, les coûts les plus importants concernent l'achat des batteries : en moyenne 40% des coûts peuvent être associés à cet achat. Cette moyenne est très variable étant donné la forte variabilité des prix des convertisseurs (qui dépend notamment de la capacité totale du système et des types de batteries utilisées). Ainsi, les coûts de convertisseurs nécessaires à la conception du système (voir plus loin) représentent aussi, d'après Entech, un important poste de coût pour les systèmes de seconde vie.

- Revenus et rentabilité

Ce sujet est encore sujet à développement et est confidentiel.

Comparaisons

- Avec système de première vie
 - La différence de prix entre les systèmes de seconde vie et de première vie, prend en compte :
 - La différence de durée de vie (division par deux) par rapport à un système constitué de batteries neuves
 - La perte de capacité des batteries de seconde vie
 - La valeur environnementale (augmentation du prix)
 - Les coûts supplémentaires de conception, dont la nécessité d'utiliser plus de convertisseurs
 - Les systèmes de stockage à partir de batteries de mobilité de seconde vie conçues par Entech ne rentrent en concurrence qu'avec les systèmes de première vie utilisant des batteries Li-ion, car les batteries lithium permettent de faire du réglage de fréquence pour équilibrage du réseau. Il n'y a pas de concurrence avec les usages des batteries au plomb (utilisées principalement pour des systèmes UPS).

Financement

- Le projet CSV est en partie issu d'un financement ADEME
- Le projet ABR a bénéficié, en plus du financement interne des trois partenaires, de financement public par les acteurs suivants : Région Bretagne, Quimper Bretagne Occidentale et Rennes Métropole.

Echelle géographique

- Origine géographique des batteries
 - Les batteries sont fournies par Stellantis Europe
- Implantation géographique de la conception
 - Les premiers tests sont réalisés par Talendi sur son site de Rennes
 - La conception et l'assemblage du conteneur prototype est réalisé par Entech sur son site de Quimper.

VII.5.2.3. *Enjeux techniques*

Part des batteries réutilisées

Les packs étant fournis par Stellantis et faisant l'objet d'un pré-tri par Talendi, la proportion de packs et de modules pouvant être réutilisés n'est pas connue par Entech. De plus, Les batteries utilisées dans le projet ne sont pas représentatives du marché de seconde vie, il n'est donc pas possible, à ce stade, d'évaluer la proportion de packs pouvant être réutilisés

Capacité restante des batteries acceptées

Dans le cadre du projet ABR, les batteries de seconde vies utilisées sont des batteries fournies par Stellantis et ayant eu une durée de vie courte qui ne sont pas représentatives des batteries qui alimenteront le marché de la seconde vie dans les prochaines années. Le SoH des batteries utilisées actuellement dans le cadre du projet ABR actuel est supérieur à 90%.

Dans les projections réalisées, chaque batterie réutilisée en seconde vie a une capacité restante de l'ordre de 70-80% de la capacité initiale.

Tests réalisés

Les tests et diagnostics sont réalisés en amont par Stellantis et Talendi et sont confidentiels.

Ces tests sont similaires à ceux effectués sur les batteries de première vie et incluent un cycle de charge-décharge qui fournit des informations sur le SoH.

De plus, la réutilisation du BMS original directement sur les packs de second-vie permet à Entech de disposer directement des principales informations sur la batterie (dont le SoH) que ce soit avant l'assemblage ou pendant le fonctionnement du système.

Dans le cadre du projet ABR, Entech développe une modélisation numérique du conteneur pour le diagnostic de l'état de santé des batteries.

Niveau d'intervention

Entech intervient au niveau des packs et ne travaille à aucun moment aux échelles inférieures (modules, cellules). Talendi a cependant la possibilité d'utiliser les modules pour d'autres types d'applications.

Propriétés techniques du produit

- Nombre de packs assemblés

Dans le cadre du projet ABR, le démonstrateur conçu est composé de 14 packs

- Capacité

Le démonstrateur conçu par Entech dans le cadre du projet ABR a une capacité de 300 kWh

Durée de vie

Le projet ABR ne permet pas actuellement de déterminer la durée de vie d'un système de seconde vie. Ainsi les durées de vie des futurs systèmes de seconde vie sont incertaines et sans doute inférieures à celles des batteries neuves (de l'ordre de 5 ans contre 10 ans selon Entech).

Il est possible d'optimiser la durée de vie en fonction de l'usage en adaptant le processus de charge-décharge et le refroidissement.

Les fournisseurs de batteries usagées (constructeurs) ne fournissent pas de garanties sur le vieillissement. Ce dernier varie grandement en fonction de la première vie : en effet, des

caractéristiques similaires lors de l'installation dans des systèmes de seconde vie ne garantissent pas un comportement de vieillissement similaire.

Montage

Dans le cas de systèmes de stockage utilisant des batteries neuves, Entech réalise déjà des assemblages à partir de batteries de technologies différentes.

Il existe donc des solutions pour intégrer des batteries de technologies ou de chimies différentes au sein d'un même système. L'enjeu principal est donc en réalité celui de la mise en parallèle des batteries dont les propriétés électriques sont différentes, auquel il est possible de répondre à l'aide de convertisseurs supplémentaires (voir ci-dessous).

Convertisseurs

- Pour les systèmes conçus à partir de n'importe quel type de batteries, un convertisseur DC/AC pour injection/soutirage au réseau électrique est nécessaire afin de convertir le courant continu DC produit par la batterie en courant alternatif AC utilisé par le réseau
- Pour les batteries de seconde vie à partir de véhicules électriques, il est aussi nécessaire d'utiliser une architecture distribuée et d'installer un convertisseur DC/DC à la sortie de chaque batterie pour se connecter en parallèle à l'entrée DC du convertisseur DC/AC ci-dessus. Ceci pour trois principales raisons :
 - Les batteries de VE ont une tension plus basse que les batteries conçues pour les systèmes stationnaires, le convertisseur DC/DC est nécessaire pour augmenter la tension (400V avec des véhicules électriques contre 1000V ou 1500V).
 - Les batteries n'ont pas les mêmes caractéristiques au début de la seconde vie et leur vieillissement n'est pas non plus le même. La résistance des différentes batteries est donc différente. En cas de mise en parallèle, la puissance sortant des différentes batteries est différente.
 - En outre, le BMS rend parfois impossible la mise en parallèle des batteries directement sans DC-DC (cette mise en parallèle est par exemple possible pour les batteries de bus mais pas pour la plupart des batteries de véhicules électriques).

Ces convertisseurs supplémentaires augmentent la complexité de pilotage et les coûts du système de stockage stationnaire.

BMS

Le BMS utilisé dans les systèmes de seconde vie est le BMS original utilisé dans l'application véhicule électrique, s'il y a un accord avec le constructeur et s'il est adapté à l'usage stationnaire. Communiquer avec le BMS étant, d'après Entech, un enjeu important voire obligatoire, cet accord défini la relation contractuelle avec le constructeur fournisseur est nécessaire pour la conception de tels systèmes.

Dans le cadre du projet ABR, Entech conserve, avec l'accord de Stellantis, les BMS existants et ajoute un système de pilotage du système complet de stockage d'énergie.

VII.5.2.4. Enjeux de sécurité et réglementaires

Gestion de la sécurité

La sécurité est garantie par

- la conception du système : intégration de systèmes de détection et extinction incendie ;

- le respect des préconisations fournisseur pour le stockage, la manutention et l'installation des packs batterie ;
- un pilotage intelligent du système qui respecte les limitations de courant remontées par les BMS des packs batterie, et les contraintes de température ;
- une remontée des défauts qui permet également de mettre le système en sécurité avant mise en danger des batteries.

Normes suivies

Pour la conception de ses systèmes, Entech respecte les normes harmonisées sur la conception des systèmes électriques : la norme C15-100 en est la principale.

Permis d'environnement

Le site de production est un établissement classé ICPE, rubrique 2925, atelier de charge et décharge de batteries.

Statut de déchet

Les batteries utilisées n'ont pas le statut de déchet et restent propriété du fournisseur Stellantis. Les batteries ne seront déclarées déchets qu'à la fin de vie du système.

Responsabilité

La responsabilité d'Entech s'arrête au système d'intégration conçu et aux conséquences qu'il peut générer :

- Si les batteries dysfonctionnent à cause du système, la responsabilité d'Entech est engagée.
- Si les batteries dysfonctionnent parce qu'elles n'ont pas le niveau d'intégrité requis pour opérer en sécurité dans le système (non-respect des critères d'acceptation fournies par Entech), alors c'est la responsabilité du fournisseur (qui en est aussi le propriétaire) qui est engagée.

La responsabilité du recyclage de ces batteries incombe au producteur (ou importateur) de ces dernières, ici Stellantis et non Entech.

VII.5.2.5. Projections

Développements et positionnement de l'entreprise dans le futur

- Le projet ABR devrait notamment permettre d'identifier quelle pourra être la gestion des packs batteries de véhicules électriques après une première vie en fonction d'un diagnostic adapté.
- Pour Entech le projet ABR a aussi pour objectif de permettre la définition d'un modèle économique de valorisation des batteries de seconde vie et d'identifier les perspectives associées
- La vision actuelle d'Entech est d'envisager un système de vente de système de seconde vie similaire à celui que l'entreprise réalise déjà avec des systèmes utilisant des batteries de première vie : le système est vendu à un client qui en réalise l'exploitation.

Vision d'Entech sur le développement du secteur

- La seconde vie à partir de batteries collectées via d'autres moyens, sans contrat avec fournisseur devrait d'après Entech, se heurter à des difficultés difficilement surmontables en qui concerne l'utilisation du BMS.
- Pour que le secteur se développe, la filière d'approvisionnement doit se développer et être plus forte. Une offre stable est nécessaire.
- Les garanties données par les constructeurs sur les batteries fournies doivent être plus claires afin de mieux anticiper le comportement des batteries

Législations

- Législations manquantes ou non adaptées
 - Entech considère qu'il faudrait une législation définissant les données à mettre à disposition par les fournisseurs des packs, pour assurer une intégration en sécurité et notamment diverses données sur la première vie.
 - La législation oblige actuellement les systèmes de première vie à avoir des batteries certifiées CE suivant différentes directives : certificats de conformité faisant référence à des normes harmonisées prouvant la sécurité des produits achetés. Dans le cas des batteries seconde vie, aucun test de conformité n'est légalement demandé sur les batteries. Ce manque législatif peut être préjudiciable pour Entech à la sécurité lors de l'intégration, la mise en service et l'opération.
- Prochaines législations

La notion de passeport batteries prévu par le Règlement Batteries permettrait notamment de disposer d'informations sur la première vie pour mieux anticiper le comportement et le vieillissement de ces dernières

Forces, faiblesses, opportunités et menaces

Le tableau suivant résume la compréhension des auteurs à la suite de leur entretien avec Entech.

<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entech dispose d'une expertise sur la conception des systèmes de stockage de seconde vie • Entech ne travaille qu'en partenariat avec les constructeurs automobiles • Entech est capable d'assembler des technologies de batteries et des packs de constructeurs différents 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faisabilité économique encore à démontrer (projet de développement) • Entech ne dispose pas d'expertise interne sur les compétences de tests et de sélection des batteries.
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des partenariats stratégiques permettent de mobiliser les compétences qui manquent à Entech (tests, accès au gisement) • Des soutiens publics sont disponibles 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aucune offre stable de batteries n'existe actuellement • Les systèmes de seconde vie nécessitent de nombreux convertisseurs supplémentaires ce qui augmente les coûts • Le BMS doit être rendu accessible par le constructeur • Le SoH des batteries représentatives de l'approvisionnement futur sera plus bas

VII.5.3. Gamme xStorage de Eaton et Nissan

VII.5.3.1. Description du projet

Contexte

Eaton est une multinationale qui conçoit et commercialise des systèmes électriques divers dans son catalogue (bornes de recharge, alarmes, éclairage, disjoncteurs...), et notamment des systèmes de stockage d'énergie stationnaire de type UPS (Uninterruptible Power Supply) visant à éviter toute coupure de réseau.

Nissan est un constructeur automobile commercialisant depuis 2010 une voiture électrique, la Nissan Leaf.

Les deux entreprises ont développé depuis 2012 un partenariat visant à concevoir des systèmes de stockage d'énergie stationnaire (SES) à partir de batteries utilisées dans les Nissan Leaf : les systèmes [xStorage](#).

Historique du projet

- 2012-2013 : Eaton et Nissan commencent un partenariat à l'aide d'un financement européen
- 2015 : Présentation par Eaton et Nissan d'un prototype de système de seconde vie à la COP21
- 2016 : le système xStorage Home est présenté et commercialisé
- 2018 : Eaton présente l'installation de son plus grand système xStorage Buildings, à la Johan Crujff Arena d'Amsterdam

Niveau de maturité actuel du projet

Le projet xStorage se présente aujourd'hui sous la forme d'une offre commerciale stable.

Le projet a donc atteint un niveau de TRL de 9.

Type de produits commercialisés

La gamme xStorage inclut deux types de produits :

- xStorage Home est un système de stockage d'énergie stationnaire pour le résidentiel principalement à destination des particuliers.
- xStorage Buildings est un système de stockage d'énergie stationnaire à destination des applications commerciales et industrielle

VII.5.3.2. Modèle

Schéma explicatif

Le schéma ci-dessous représente un résumé du modèle pour les systèmes xStorage conçus à partir de batteries usagées, tel que compris par les auteurs.

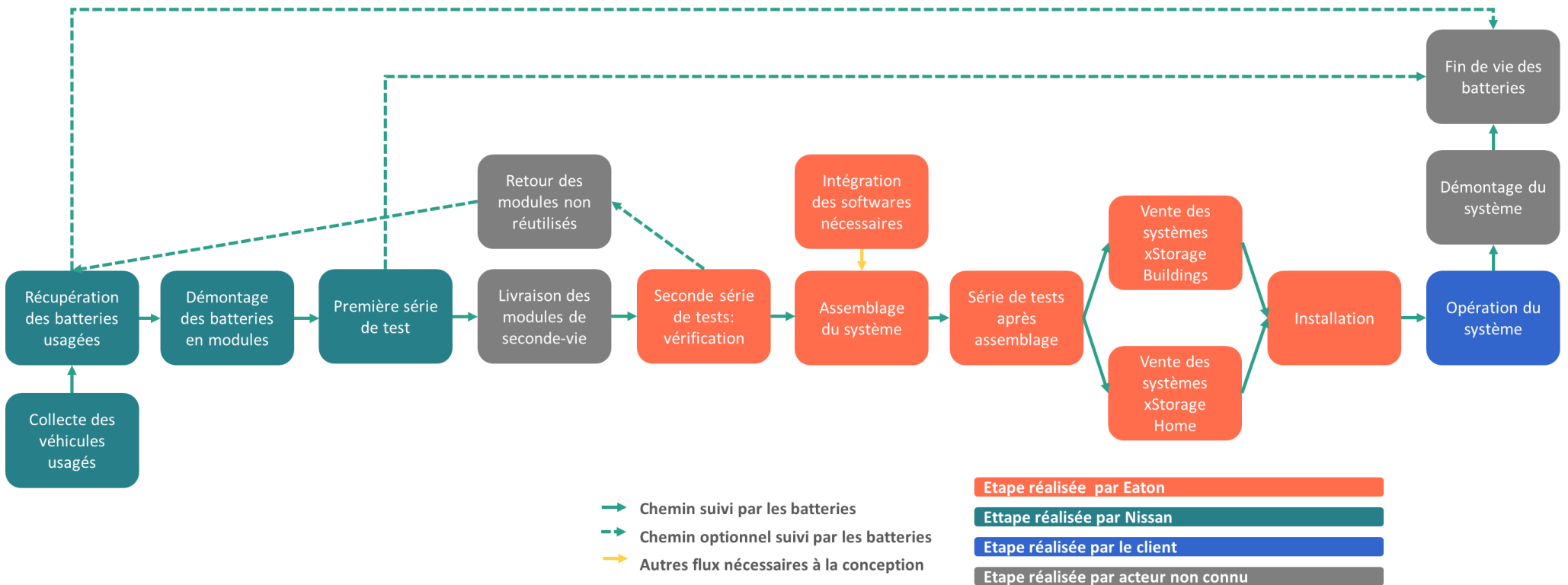


Figure 17 : Modèle explicatif de la solution xStorage de Eaton et Nissan (RECORD, 2023)

Fonctionnement

1. Origine des batteries

Nissan collecte les véhicules Nissan Leaf en fin de vie et démantèle les pack batteries usagés sous forme de modules puis fournit à Eaton ces modules de batteries. Nissan vend à Eaton aussi bien des modules neufs de ce modèle que des modules ayant eu une première vie au sein des véhicules.

Les batteries sont de technologie NMC ou LMO.

2. Niveau de transformation/test des batteries à l'achat

Eaton n'achète que les modules testés par Nissan et respectant leurs spécifications.

3. Fourniture de la solution

Eaton propose à la vente des types de produits xStorage Buildings et xStorage Home conçus aussi bien à partir de modules de seconde vie que de modules neufs.

4. Installation

Eaton fournit à ses clients le systèmes installé, prêt à l'utilisation.

5. Maintenance

Aucun entretien n'est requis par les systèmes en fonctionnement. D'après Eaton, les technologies Lithium ne nécessitent pas d'entretien contrairement aux technologies plomb.

6. Gestion des batteries en fin de vie

Un système de collecte des systèmes usagés commence à être mis en place par Eaton ; dans certains pays, cette collecte est gérée par un partenaire ou un éco-organisme.

Partenariats essentiels

Eaton et Nissan ont chacun apporté leur expertise pour développer la solution xStorage qui est aujourd'hui proposée sur le marché.

- Nissan apporte une expertise sur les batteries conçues et une garantie sur leur sécurité
- Eaton fournit son expertise dans la conception de SES (notamment les UPS) et apporte sa valeur ajoutée dans le montage et l'ajouts de matériel dans l'architecture du produit : convertisseurs (PV par exemple), logiciels contrôlés.

Typologie de client et applications

Les systèmes xStorage Home sont à destination de particuliers pour des applications comme :

- Le stockage d'énergie photovoltaïque (autoconsommation),
- L'installation de secours en cas de coupure de courant ou de réseau peu stable.

Les systèmes xStorage Buildings sont des systèmes de plus grande capacité à destination de structures commerciales et industrielles (institutions, usines, bureaux), utilisés dans des applications comme :

- L'autoconsommation d'énergie,
- La réduction des pics de consommation,
- La régulation de la tension du réseau,
- L'installation de secours : UPS.

Coûts et revenus

- Coûts

90% des coûts proviennent du matériel (batteries et convertisseurs), 3 % du transport des modules et 2% de la main d'œuvre pour l'assemblage.

Les batteries de seconde vie ont un coût conséquent représentant leur valeur résiduelle et qui dépend directement de la capacité restante. La rentabilité du système dépend de ce coût.

- Revenus

Les revenus proviennent de la vente des systèmes de stockage. L'initiative n'a pas souhaité communiquer davantage sur ses revenus.

- Rentabilité

Lorsque Eaton a démarré son projet, les prix élevés des batteries usagées rendaient les projets difficilement rentables. Depuis les prix ont diminué (notamment du fait de l'augmentation des capacités des batteries) et sont aujourd'hui stabilisés permettant une rentabilité de la conception de systèmes de seconde vie.

Comparaisons

- Avec système de première vie

Les systèmes de seconde vie sont vendus à des prix similaires aux systèmes de première-vie. Les prix sont conditionnés par les prix au kWh du marché.

Toutefois, actuellement l'industrie favorise l'utilisation de la technologie LFP pour les SES, toutefois les systèmes de seconde vie utilisent principalement d'autres technologies (NMC ou LMO par exemple) qui sont principalement celles utilisées dans les véhicules depuis les 10 dernières années.

- Avec recyclage

D'après Eaton, aujourd'hui la valeur de la matière première des modules NMC et LMO (technologies utilisées par Nissan) est inférieure à la valeur de la seconde vie rendant la seconde vie plus intéressante que le recyclage.

Financement

Le projet a été financé en interne par Nissan et Eaton et a bénéficié de fonds de la Commission Européenne.

Echelle géographique

- Origine géographique des batteries

Les modules de première vie sont fournis par Nissan UK tandis que les modules de seconde vie sont fournis par Nissan Europe et Amérique.

- Implantation géographique de la conception

Eaton produit les systèmes xStorage sur ses différents sites de production à travers le monde.

- Destination géographique des systèmes

Les systèmes xStorage sont vendus à échelle mondiale.

VII.5.3.3. *Enjeux techniques*

Part des batteries réutilisées

Eaton ne dispose pas de ce type d'information qui est connue par Nissan et confidentielle. Nissan récupère des batteries avec en moyenne une capacité restante de 80% de la capacité initiale.

Capacité restante des batteries acceptées

Les batteries de seconde vie vendues à Eaton par Nissan ont en général des capacités restantes de 70 à 75% de la capacité initiale.

Tests réalisés

- Par le fournisseur

Nissan fournit à Eaton des modules qui ont été testés au préalable. Nissan évalue selon des critères confidentiels la possibilité de réutiliser les batteries et mesure différents paramètres : capacité, voltage, température. Le SoH identifié (capacité restante) par module permet d'orienter ou non ces modules vers Eaton et de les vendre selon leur valeur résiduelle.

- Avant assemblage

Afin de confirmer les mesures de Nissan, Eaton effectue un second test à la réception des modules. Ces tests sont basés sur la spécification fournie par Nissan et augmentés de tests conçus par Eaton sur base de leur expérience de la mesure de la qualité. Ces tests permettent de confirmer ceux de Nissan. Les tests réalisés sont, là encore, confidentiels.

- Après assemblage

Eaton réalise des tests en fin de ligne visant à évaluer le SoH du SES dans son ensemble.

- En fonctionnement

En fonctionnement le BMS permet de mesurer la tension, le courant ainsi que la température grâce à 15 sondes de température.

Critères d'acceptation

Les critères d'acceptation définis par Eaton concernent :

- un niveau de SoH attendu (Eaton n'accepte pas de racheter des batteries de capacités inférieures à 70% de la capacité initiale.),
- des limites de durée du cycle de charge/décharge
- des limites de température,
- une résistance électrique minimum.

Eaton et Nissan n'ont pas souhaité communiquer les critères d'acceptation quantitatifs.

Si le module ne respecte pas les critères établis par Eaton, il est renvoyé à Nissan. Cela concerne toutefois moins de 1% des cas.

Niveau d'intervention : Modules

Même si le travail à l'échelle des modules implique un coût de démontage des packs batteries, cela présente plusieurs avantages :

- Le travail avec des modules permet la manutention ce qui n'est pas possible avec des packs,
- Cela garantit que tous les modules sont dans les gammes de conformités définies par Eaton,
- Il est aussi plus simple de travailler avec un BMS à l'échelle de quelques modules (5) qu'à l'échelle des packs de batteries de véhicules complets, En effet le regroupement avec un BMS à une telle échelle permet un niveau de sécurité et de contrôle plus élevé du système. La différence avec un système qui comporte plus de modules par BMS est une puissance d'équilibrage plus faible et un contrôle moins précis des cellules.

Propriétés techniques du produit

- Nombre de modules/packs assemblés

Un pack conçu par Eaton contient six modules.

Un système xStorage Home contient un seul pack batterie (6 modules).

Un système xStorage Buildings est composé de multiples « strings » en fonction de l'échelle visée, chaque « string » contenant 5 packs batteries (30 modules) en série.

- Taille du produit fini

Un pack a les dimensions suivantes : 515 mm x 730 mm x 182 mm.

- Intensité, Voltage

Pour les systèmes xStorage Home résidentiels de basse tension, les caractéristiques sont les suivantes :

- Modules de seconde vie : 70A / 74.4 V to 99.6 V (basse tension)
- Modules neufs : 70A / 74.4 V to 100.8 V

- Echelle de capacité

Les packs xStorage ont les capacités suivantes

- Home
 - Modules neufs (génération 4, NMC) : pack de 10 kWh
 - Modules de seconde vie (génération 1, LMO) : pack de 4.2 kWh
- Buildings
 - Modules neufs (génération 4, NMC) : string (5 packs) de 50 kWh
 - Modules de seconde vie (génération 1, LMO) : string (5 packs) 21 kWh
 - Les « strings » peuvent être ensuite assemblés pour concevoir des systèmes de différentes capacités allant jusqu'à 10 MWh (près de 500 strings). En pratique le système avec la plus grande capacité installée actuellement (Johan Cruijff Arena) a une capacité de 2.8 MWh et est composé de 250 packs batteries de seconde vie et de 350 packs batteries de première vie.

L'augmentation des capacités associée aux nouvelles générations de batteries permet d'augmenter la capacité des systèmes créés en conservant les mêmes casings. Ainsi les packs neufs sont passés de 6 kWh à 10 kWh en 4 générations de batteries.

Durée de vie

Les durées de garantie des systèmes sont définies par deux paramètres : les ampères heures ou bien le nombre d'années d'utilisation avec un usage raisonnable (un cycle par jour). Ainsi :

- les packs utilisant des batteries neuves sont garantis 10 ans ou 313 kA.h.
- les packs utilisant des batteries de seconde vie sont garantis 5 ans ou 65 kA.h.

Les packs batteries réaffectés finissent généralement leur seconde vie avec une capacité restante de 3 kWh (50% de la capacité initiale des modules neufs, ou 70% la capacité lors de la remise en marché en tant que pack de seconde vie).

Montage

Les modules assemblés dans un même casing (=pack) :

- proviennent d'un seul type de véhicule (Nissan Leaf) ;
- sont d'une seule technologie et génération (génération 1, LMO ou génération 4, NMC) ;
- ont un même niveau de SoH.

Assembler les batteries de même SoH ensemble au sein d'un même pack permet de garantir le SoH attendu du pack.

Ainsi, chaque casing contient soit des modules neufs soit des modules de seconde vie. L'utilisation de l'un ou de l'autre permettant de proposer deux gammes de capacités par pack. Cette réflexion est la même pour l'assemblage en strings.

Toutefois pour les systèmes xStorage Buildings pour lesquels plusieurs strings sont utilisés, Eaton peut combiner des strings de seconde vie avec des strings neufs.

Convertisseurs et onduleurs

Chaque string de seconde vie est conçu avec deux convertisseurs tandis qu'un string de batteries neuves est conçu avec un seul convertisseur. Cela explique qu'il n'est pas possible de mélanger les deux types de batteries au sein d'un même string en les associant à un même convertisseur.

En plus de ces premiers convertisseurs :

- Les packs des systèmes xStorage Home sont conçus avec un onduleur monophasé ainsi qu'un convertisseur photovoltaïque qui permet de retransformer le courant AC produit par les panneaux en courant compatible avec les batteries. Le système permet de générer du courant AC comme du courant DC.
- Les packs des systèmes xStorage Buildings sont conçus avec un onduleur triphasé qui permet de plus grandes puissances. Les systèmes ne sont cependant pas assemblés avec un convertisseur PV qui lorsqu'il est nécessaire (utilisation avec des panneaux PV) est généralement déjà intégré dans le PCS (Power Conditioning System) installé avec les panneaux.

BMS

Les modules fournis par Nissan sont fournis sans aucun BMS, Eaton assemble donc le modules en y associant un nouveau BMS pour chaque string.

VII.5.3.4. *Enjeux de sécurité et réglementaires*

Gestion de la sécurité

- Lors du transport

La sécurité lors du transport est garantie par les normes et réglementations en termes de produits dangereux (ADR).

- Lors des tests

La sécurité des tests est garantie par Nissan.

- Lors du montage

Pas d'information spécifique

- Chez l'utilisateur

Un pack ayant subi un choc n'est jamais installé

Les paramètres contrôlés par le BMS entraînent un arrêt en cas de dysfonctionnement. La sécurité thermique est renforcée par rapport à l'utilisation initiale dans un véhicule (15 sondes de températures vs 3 dans les véhicules).

En plus de ce point, l'entreprise fournit des fiches de données de sécurité donnant des préconisations d'utilisation à ses clients.

Risque d'incendie

Des tests de sécurité du système ont été réalisés en amont. Ainsi, les sécurités ont été retirées afin d'obtenir une surchauffe des batteries jusqu'à obtenir la combustion. Aucune flamme n'a été observée et aucun feu ne s'est propagé au-delà du point d'initiation.

Ces tests ont été complétés par les pompiers qui ont jugés, avec des tests informels réalisés par expérience, que les résultats étaient satisfaisants en termes de risques d'incendie.

Normes suivies

Eaton suit la norme IEC 62620 pour la réalisation des différents tests après assemblage.

Pour les règles de sécurité à la préparation et à l'utilisation, Eaton indique suivre les réglementations liées aux batteries Li-ion qui ne définissent pas le fait que les batteries soient de seconde vie ou non.

Responsabilité

Eaton est responsable de la sécurité du matériel qu'il a fabriqué.

Eaton assure la responsabilité élargie du producteur pour les SES en fin de vie.

VII.5.3.5. Projections

Positionnement de l'entreprise dans le futur

Eaton réfléchit à développer de nouveaux partenariats avec d'autres fournisseurs de batteries usagées.

L'entreprise cherche à renforcer son positionnement sur le stockage stationnaire notamment pour la stabilisation du réseau, les réseaux intelligents ou pour les installations de recharge des VHE.

Vision sur le développement du secteur

- Eaton anticipe une augmentation de la valeur des batteries usagées compte tenu des futures générations de batteries. Cette augmentation de la valeur vient aussi bien de la technologie

utilisée que du contenu énergétique de la batterie : la densité énergétique des batteries augmente.

- D'après Eaton, les constructeurs automobiles devront développer des designs facilitant la réutilisation, notamment via de la standardisation.

Législation

- Les réglementations sécurité et incendie changent souvent, ce qui oblige à adapter les systèmes. Eaton préconise de disposer de règles claires et stables sur ce sujet.
- Eaton indique qu'il n'existe pas d'incitant réglementaire à l'utilisation de systèmes de seconde vie. De tels incitants pourraient permettre de favoriser la réutilisation plutôt que le recyclage

Forces, faiblesses, opportunités et menaces

Le tableau suivant résume la compréhension des auteurs à la suite de leur entretien avec Eaton.

<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eaton a une grande capacité d'adaptation à de nouvelles réglementations • Eaton et Nissan proposent une offre à échelle mondiale • Eaton possède une expertise sur les systèmes UPS 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Les batteries démontées au niveau des modules présentent un surcoût
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il y a un réel intérêt à développer les systèmes de stockage stationnaires dans le futur, les batteries de seconde vie peuvent permettre ce développement • Eaton et Nissan ont conçu un partenariat permettant de partager les compétences 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Eaton est dépendant du démontage des batteries en modules par Nissan

VII.5.4. Entreprise Connected Energy

VII.5.4.1. Description du projet

Contexte

La société [Connected Energy](#) a été fondée en 2013 avec pour premier objectif de construire une première preuve de concept pour la technologie de stockage d'énergie stationnaire utilisant des batteries lithium-ion de seconde vie de véhicules électriques.

Désormais, Connected Energy conçoit des systèmes de stockage d'énergie stationnaire (SES) basés sur des batteries de seconde vie de véhicules électriques.

Historique

- 2014 : présentation de la première preuve de concept, un système conçu à partir de 6 technologies différentes de batteries. L'architecture conçue est celle qui est toujours utilisée.
- 2015 : début du partenariat avec Renault
- 2016 : présentation d'un démonstrateur issu d'un partenariat avec EDF

- 2020 : lancement de l'offre actuelle
- 2022 : levée de fond de 15 millions de livres afin de réaliser un projet à grande échelle (40 MWh) et montrer la pertinence de tels projets

Niveau de maturité actuel du projet

Le système est mature technologiquement, une offre commerciale stable est proposée par Connected Energy. Le modèle de Connected Energy est à un niveau de TRL de 9.

26 systèmes produits par Connected Energy sont actuellement en fonctionnement, cela correspond à un total de 9 MWh installés.

Type de produits commercialisés

Connected Energy commercialise des conteneurs de stockage d'énergie de grande capacité (à partir de 300 kWh) à destination de clients publics et privés appelés E-STOR.

VII.5.4.2. Modèle

Schéma explicatif

Le schéma ci-dessous représente un résumé du modèle de Connected Energy tel que compris par les auteurs

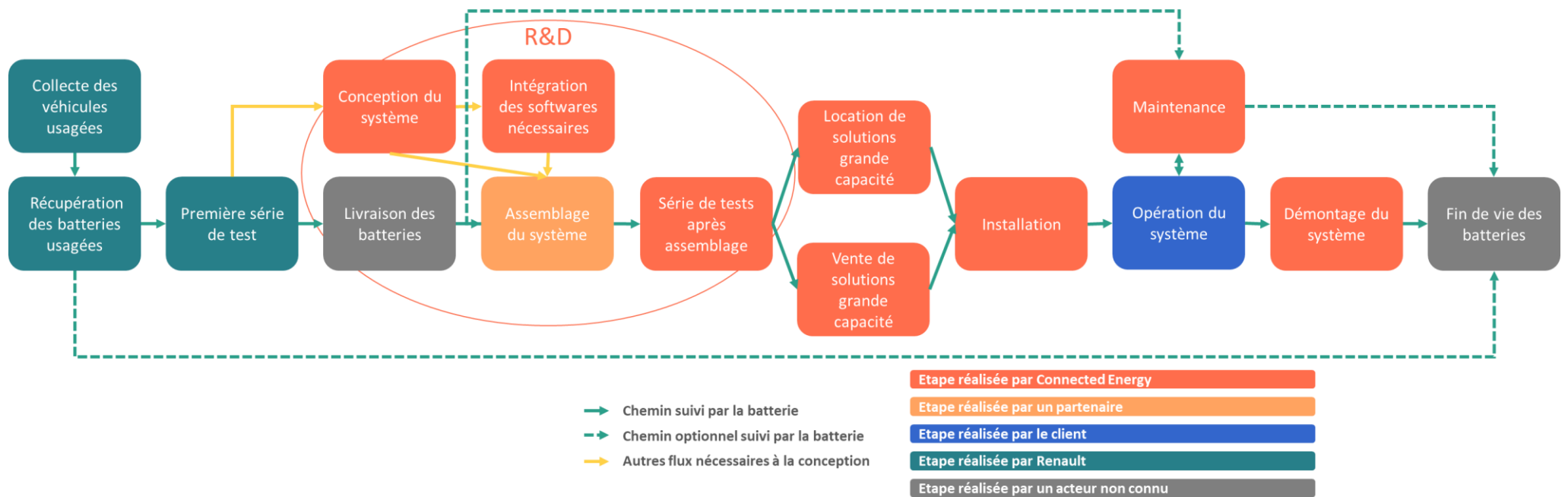


Figure 18 : Modèle explicatif des solutions conçues par Connected Energy (RECORD, 2023)

Fonctionnement

- Origine des batteries

Les batteries sont des batteries de seconde vie fournies par Renault.

- Niveau de transformation et tests des batteries à l'achat

Les batteries utilisées sont fournies testées par Renault au niveau des packs. Dans les systèmes, ces packs sont utilisés tels quels, Connected Energy ne démonte les packs à aucun moment du cycle de vie.

- Assemblage

Connected Energy conçoit le système mais l'assemblage est sous-traité à un partenaire.

- Fourniture de la solution

Connected Energy fournit ses systèmes à la vente ou à la location.

- Installation

L'installation sur le lieu de stockage est réalisée par Connected Energy.

- Maintenance

Sur les systèmes, les packs batteries peuvent être changés individuellement.

Ce changement est, d'après Connected Energy, déterminé par deux paramètres.

- Le premier : la batterie ne respecte plus les conditions de fonctionnement requises, notamment en termes de SoH.
- Le second est le plus important : les technologies des batteries deviennent obsolètes par rapport aux nouvelles générations (meilleure densité énergétique et fiabilité) qui seront alors arrivées en seconde vie, les batteries sont donc changées pour optimiser le système.

Connected Energy ne répare aucune des batteries utilisées.

- Gestion des batteries en fin de vie

Après sa seconde vie, lorsqu'une batterie ne peut plus être utilisée dans un système stationnaire, elle est retirée du conteneur. Connected Energy la renvoie alors à Renault ou directement à un recycleur.

Typologie de client et applications

- Les clients de Connected Energy sont
 - Le secteur public
 - Des universités
 - Des sites industriels
 - Des fermes solaires PV
 - Des infrastructures de recharge des véhicules électriques
- Les applications des systèmes E-STOR sont :
 - L'écrêtement de la consommation énergétique (et de manière générale, l'optimisation de la consommation énergétique)
 - Le stockage d'énergie PV
 - La recharge de véhicules électriques
 - « Micro-grid control » : optimisation de la relation entre la production sur site et la consommation sur site.

Coûts et revenus

- Les principaux coûts recensés sont :
 - Achat des batteries : ce prix doit refléter le SoH vendu par Renault
 - Construction de l'architecture et notamment la conception du système de contrôle.
 - Sous-traitance
 - Coût d'intégration (ajout des logiciels et systèmes de contrôle au système) : ce coût peut être réduit par économie d'échelle ou avec l'intégration des futures générations de batteries
 - Coût d'installation spécifique au site
 - Coût de maintenance et des services pendant le fonctionnement
- Revenus

Connected Energy commercialise ses solutions

- Sous forme de produit à un prix de l'ordre de 400 €/kWh
- Sous forme de service (Connected Energy n'a pas souhaité communiquer de prix à ce sujet)

Comparaison avec systèmes de première vie

Les prix de vente sont comparables aux systèmes de première vie.

Les systèmes de plus grande taille devraient être encore plus compétitifs par rapport aux systèmes de première vie en raison d'une économie d'échelle accrue.

Echelle géographique

- Origine géographique des batteries

Renault Europe fournit les batteries usagées

- Implantation géographique de la conception

Connected Energy est une entreprise britannique, les systèmes sont développés au Royaume-Uni et assemblés par un sous-traitant au Royaume-Uni.

- Destination géographique des batteries

Pour le moment des systèmes E-STOR ont été installés au Royaume-Uni et Allemagne, aux Pays-Bas et en Belgique.

VII.5.4.3. *Enjeux techniques*

Tests réalisés

- Par le fournisseur

Avant de fournir les batteries à Connected Energy, Renault réalise une série de tests permettant de vérifier si celles-ci sont adaptées à la réutilisation et conformes aux besoins de Connected Energy. Ces tests permettent notamment d'identifier le SoH des batteries. Ces tests sont confidentiels.

- Avant assemblage

Connected Energy ne réalise aucun test sur les batteries fournies par Renault et s'attend à avoir assez d'informations de la part de Renault sur la première vie.

- En fonctionnement

Lors du fonctionnement, un système de contrôle permet de mesurer les différents paramètres de chacune des batteries : SoH, niveau de charge et température.

Critères d'acceptation

- Renault fournit à Connected Energy des batteries d'une technologie spécifique (Kangoo Z-E.)
- Un rapport SoH/prix acceptable pour Connected Energy : pas de seuil défini d'après Connected Energy, mais en pratique le SoH est supérieur à 70%.
- Autres critères confidentiels

Part des batteries réutilisées

Cette information n'est pas connue par Connected Energy, c'est Renault qui sélectionne et fournit les batteries.

Capacité restante des batteries acceptées

Les batteries fournies par Renault sont des batteries de seconde vie avec une capacité restante de 70% à 80% de la capacité initiale.

Propriétés techniques du produit (E-STOR)

- Nombre de packs assemblés

Chaque conteneur contient 24 packs de batteries.

- Capacité

Deux modèles de conteneurs E-STOR existent en fonction de leur capacité : 300 ou 360 kWh.

- Echelle

Les conteneurs peuvent être assemblés sous forme de clusters afin d'obtenir des installations de quelques MWh (1 à 10 MWh).

Durée de vie

Les systèmes sont vendus avec une durée de garantie de 5 à 8 ans.

L'objectif de Connected Energy est de réutiliser la structure et l'architecture du système en changeant seulement les batteries.

Ainsi au bout de 7 ans (en moyenne) les batteries vont être remplacées et le système va pouvoir être utilisé pour 5 à 8 ans supplémentaires. De cette manière, Connected Energy projette des durées de vie de 20 ans pour les systèmes avec un à deux changements des batteries au cours de cette durée de vie.

Dans le cas d'une utilisation intensive des batteries c'est-à-dire une fréquence de cycles de charge/décharge élevée, leur durée de vie peut être réduite.

Ces changements réguliers de batteries justifient pour Connected Energy l'intérêt d'un système de vente de services et non de produits.

BMS et logiciels

Sur les packs sont conservés les BMS originaux dont l'accès est fourni par Renault dans le cadre du partenariat mis en place.

Connected Energy est spécialisé dans la conception des différents matériels et logiciels utilisés dans les systèmes. L'entreprise conçoit donc pour son système E-STOR

- Un système de contrôle qui communique avec le BMS original de chaque batterie.
- Un système de machine learning qui contrôle le système dans sa globalité et optimise l'utilisation de chacune de ses batteries en fonction de son SoH et de l'application.
- Un autre BMS qui contrôle ensuite le système (conteneur) dans sa globalité.

Montage

Cette technologie permet à l'entreprise d'assembler des batteries présentant des SoH très variés, le SoH n'est donc pas un élément limitant pour Connected Energy si ce n'est en termes de densité énergétique (les conteneurs ayant une capacité définie et un volume limité). Ce dernier point n'est plus un problème dans le cas des grandes installations de plusieurs MWh.

Connected Energy n'utilise pas de batteries de première vie dans ses systèmes.

Le reconditionneur a la capacité technique d'assembler des batteries de différentes technologies. En pratique pour le moment, les systèmes sont conçus uniquement à partir de batteries de Kangoo Z.E. De plus, ce type d'assemblage peut être complexe. Donc dans le cas où des batteries de différentes technologies seraient utilisées, Connected Energy prévoit d'avoir un seul modèle par conteneur, ces conteneurs de différents modèles pouvant être assemblés dans un même cluster.

VII.5.4.4. Enjeux de sécurité et réglementaires

Gestion de la sécurité

L'enjeu de sécurité est, d'après Connected Energy, garanti par le partenariat avec le constructeur automobile qui définit des conditions d'utilisation à respecter pour la seconde vie. De plus, lors de leur utilisation, les batteries sont utilisées en dessous du maximum de la plage de fonctionnement défini par Renault.

D'un autre côté, l'utilisation du BMS original permet de conserver son système de sécurité. Les autres couches logicielles et matérielles permettent aussi un contrôle et une optimisation des batteries et donc une diminution des risques.

Risque d'incendie

Le risque d'incendie existe, notamment dans le cas où les batteries sont trop dégradées. Grâce aux tests effectués par Renault, Connected Energy ne travaille pas avec les batteries présentant ces risques.

VII.5.4.5. Projections

Positionnement de l'entreprise dans le futur et prochains développements

Connected Energy prévoit de se fournir uniquement en batteries auprès des constructeurs dans le cadre d'un partenariat. En effet cela lui donne des garanties de sécurité et de performance grâce aux connaissances sur la batterie.

L'entreprise a la possibilité de développer des partenariats avec d'autres constructeurs automobiles et d'utiliser d'autres technologies de batteries. Des prototypes correspondant à d'autres produits ont déjà pu être conçues pour des entreprises comme Jaguar ou Forsee Power. Mais le développement d'une offre commerciale avec ces constructeurs nécessite des garanties concernant l'approvisionnement futur en batteries.

Connected Energy cherche à se positionner dans le futur sur des systèmes à plus grande échelle, afin de permettre une optimisation des coûts grâce à une économie d'échelle. Le démonstrateur de 40 MWh en cours de développement à la suite de la levée de fond de fond de 2022 devrait permettre de prouver l'intérêt et le fonctionnement de systèmes à de telles échelles.

Connected Energy veut, de plus, pouvoir se positionner plutôt dans une économie de services.

Vision sur le développement du secteur

- Les nouvelles générations de batterie qui vont prochainement composer le flux de batteries de seconde vie seront beaucoup plus intéressantes économiquement et technologiquement à réutiliser d'après Connected Energy (qui n'a pas souhaité fournir plus de détails à ce sujet).
- D'après Connected Energy, les systèmes de petites capacités ne sont pas assez compétitifs par rapport aux systèmes de première vie, ce qui justifie l'intérêt de se positionner sur des projets à plus grande échelle.
- Le flux de batteries de seconde vie va grossir et permettre plus facilement de proposer des offres de seconde vie stables.
- Concevoir des systèmes de seconde vie sans les constructeurs automobiles apparait beaucoup plus difficile pour Connected Energy. L'enjeu du secteur est donc de regrouper les acteurs ensemble autour de projets innovants.

Législations

- Législations manquantes ou non adaptées d'après Connected Energy
 - Il est important de fournir des réglementations claires concernant le risque incendie pour le limiter et le contrôler.
 - Pour des raisons de sécurité les constructeurs automobiles devraient avoir un contrôle sur les personnes qui réutilisent leurs batteries.
 - Des incitants financiers à utiliser de la seconde vie seraient pertinents.

Forces, faiblesses, opportunités et menaces

Le tableau suivant résume la compréhension des auteurs à la suite de leur entretien avec Connected Energy.

<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> • Connected Energy s'est positionné sur le sujet depuis presque 10 ans • Connected Energy dispose d'un partenariat stratégique avec Renault qui lui permet un flux régulier de batteries usagées déjà testées • Le BMS est rendu accessible par le constructeur 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> • Connected Energy est dépendant du flux de batteries d'un seul constructeur
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les nouvelles technologies de batteries vont probablement augmenter l'intérêt économique des systèmes de seconde vie • Connected Energy se positionne pour les prochaines années sur des projets de grande échelle 	<p>Menaces</p>

VII.5.5. Entreprise Watt4Ever

VII.5.5.1. Description du projet

Contexte

- L'entreprise [Watt4ever](#) a été fondée en 2020 dans le but de commercialiser des solutions de seconde vie des batteries.
- Watt4ever émerge d'une coopération entre 5 entreprises :
 - Febelauto, l'éco-organisme belge de gestion des véhicules hors d'usage et des batteries utilisées dans les véhicules électriques, hybrides et plug-in hybrides ;
 - ReVolta, une entreprise belge qui commercialise des solutions de stockage d'énergie ;
 - Out Of Use, une entreprise belge spécialisée dans la collecte, la réutilisation et le recyclage des DEEE basée à Beringen, qui héberge les activités de Watt4ever ;
 - Eco-lithium (qui fait partie de l'entreprise EcarAccu), une entreprise néerlandaise qui conçoit des solutions de seconde vie des batteries de véhicules électriques pour les camping-cars, bateaux et navires ;
 - Shense Management, une entreprise de conseil en économie circulaire.

Historique

- 2020 : création de l'entreprise
- Initialement orientée vers le développement de systèmes de petite taille pour un usage résidentiel, Watt4ever développe progressivement des systèmes de plus grande taille pour l'industrie.

Niveau de maturité actuel du projet

- TRL 9 pour environ 50% de l'activité : Watt4ever propose une offre commerciale pour les systèmes de petite et moyenne taille.
- TRL6-7 pour environ 50% de l'activité : Watt4ever développe des prototypes de nouveaux systèmes, en particulier les systèmes de grande taille « conteneurs ».

Type de produits commercialisés

Watt4ever développe et commercialise de nombreux types de systèmes de stockage d'énergie stationnaire, que l'on peut regrouper en deux familles :

- Système de taille petite et moyenne, sous forme de « casiers » (cf. photo) ou « d'armoire », pour des usages résidentiels ou par de petites entreprises,



- Systèmes de grande taille sous forme de « conteneurs » : Pour des applications industrielles et commerciales diverses.

Les applications visées sont détaillées ci-dessous.

VII.5.5.2. *Modèle*

Schéma explicatif

Le schéma ci-dessous représente un résumé du modèle de Watt4Ever tel que compris par les auteurs.

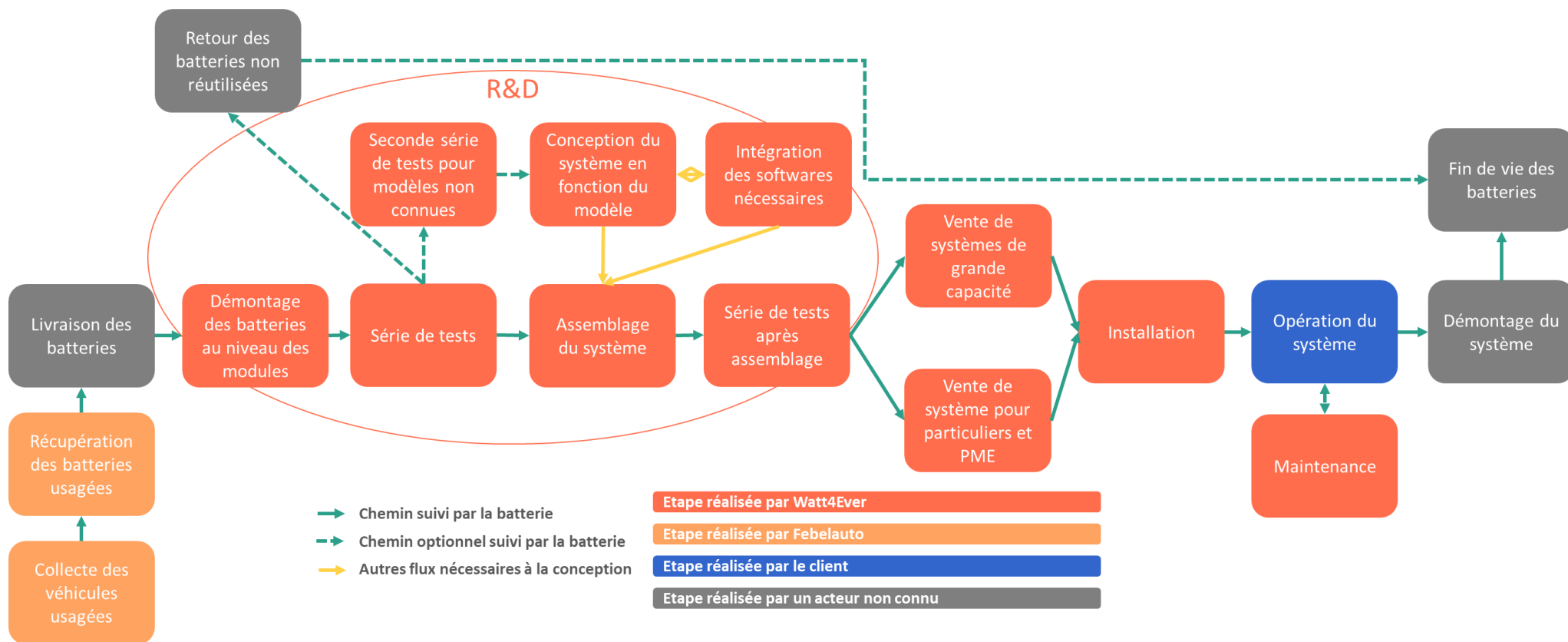


Figure 19 : Modèle explicatif du fonctionnement de Watt4Ever (RECORD, 2023)

Fonctionnement

- Origine des batteries

Certains constructeurs automobiles (OEM) font le choix de contractualiser avec l'éco-organisme Febelauto pour la gestion opérationnelle des batteries de véhicules électriques et hybrides en fin de vie. Les batteries usagées utilisées par Watt4ever proviennent principalement de ces différentes marques, soit en provenance des concessionnaires, soit directement en provenance des constructeurs. Dans ce cas, Febelauto donne accès aux packs batteries à Watt4Ever qui vient les tester pour évaluer leur potentiel de réutilisation dans un système de seconde vie, Watt4Ever choisi alors de racheter ou non les packs. Les modalités de vente dépendent des modalités de l'accord qu'à le constructeur avec Febelauto. Dans ces cas là, Watt4Ever n'est pas en contact direct avec le constructeur automobile.

D'autres OEM qui n'ont pas choisi Febelauto pour la gestion opérationnelle contactent ponctuellement Watt4ever pour un diagnostic des batteries usagées.

Watt4ever n'a pas choisi de marques et de modèles spécifiques de batteries. La phase de développement se focalise sur les modèles pour lesquels une masse critique peut être atteinte. Dans certains cas, plus rares, où Watt4Ever ne dispose pas d'une quantité suffisante de module pour la conception d'un système, Watt4Ever rachète des modules batteries usagés directement à des revendeurs de module (aussi appelés tradeurs de modules).

Les batteries reçues pour être préparées pour une seconde vie sont des batteries Li-ion NMA ou NMC. Watt4ever ne travaille pas sur des batteries LFP ou lithium métal, qui sont moins courantes pour les véhicules électriques actuelles. Les modules sont de capacité, voltage et dimensions différentes en fonction des modèles de véhicules. Les cellules sont prismatiques et de type « pouch », mais il n'y a pas de cellules de type cylindrique.

- Test des batteries

Les tests et prototypes sont développés par Watt4ever sur le site de Out Of Use. Ces tests permettent d'évaluer la réutilisabilité des packs et des modules disponibles pour Watt4ever

- Montage

La production commerciale est effectuée par Watt4Ever et répartie sur deux sites de production : les sites des partenaires : Out Of Use et Eco-lithium.

- Fourniture de la solution

La vente est effectuée par Watt4ever (résidentiel) ou des partenaires.

- Installation

Watt4Ever réalise l'installation chez le client aussi bien pour les systèmes de petites tailles que pour les conteneurs.

- Maintenance

L'entreprise propose un service de maintenance à ses clients

- Gestion des batteries en fin de vie

Watt4ever reprend les batteries défectueuses et les batteries en fin de vie.

Partenariats essentiels

- Le partenariat avec OutofUse permet à Watt4ever de faire collecter les batteries par un collecteur agréé, et de réaliser ses tests dans une installation habilitée à stocker des batteries.
- Le partenariat avec Eco-Lithium permet à Watt4ever d'assurer la production des systèmes commerciaux grâce à un site de production adapté. En début de projet, une partie des ouvriers de production étaient employés par Eco-Lithium, aujourd'hui Watt4Ever emploie l'intégralité des ouvriers.
- Des partenariats pour la vente des systèmes sont élaborés, notamment avec des fournisseurs d'énergie spécialisés dans le secteur de la construction pour les systèmes associés à cette application.

Typologie de client et applications

- Système de petite et moyenne taille : Pour un usage résidentiel ou par des PME en vue d'un stockage d'énergie photovoltaïque ou afin de bénéficier des tarifs électriques de nuit. L'usage correspond typiquement à un cycle par jour. Watt4EVER propose une offre commerciale stable pour ces formats.
- Systèmes de grande taille ou « conteneurs » : Pour des applications industrielles et commerciales diverses telles que le lissage de pics électriques, l'équilibrage réseau, la fourniture électrique d'appoint sur des sites de construction (en remplacement de groupes électrogènes diesel) ou encore la fourniture de systèmes de secours pour la grande distribution. Pour le lissage de pics et l'équilibrage réseau, l'usage correspond à plusieurs cycles par jour. Chaque système est conçu et est spécifique à chaque commande client.

Coûts et revenus

- Coûts :
 - R&D : en particulier le coût des tests de SOH lié à leur lenteur (cf-ci-dessous).
 - Coût des batteries : les batteries usagées sont actuellement achetées 120-150 €/kWh, à des prix similaires aux batteries vierges (130-150 €/kWh), ce qui est cohérent avec le SoH élevé des batteries reçues pour le moment (voir plus bas). Les batteries de plus faible qualité sont achetées moins cher.
 - Coût système : l'ajout de convertisseurs pour chaque module est coûteux. De même, il serait plus rentable de travailler directement avec le système de gestion de la cellule (CMU).
- Revenus :
 - Vente système : Le prix de vente des systèmes est d'environ
 - 500-600 €/kWh pour les systèmes de petite taille ;
 - 450-550 €/kWh pour les systèmes de grande taille (conteneurs)
 - Vente des modules à des particuliers et petites entreprises : Watt4Ever est aussi trader de modules pour les modules qui ne sont pas intégrés à des systèmes.
- Rentabilité : L'entreprise ne génère pas de bénéfices pour le moment, tous les bénéfices de l'activité commerciale étant réinvestis dans la R&D.

Niveau de maturité du modèle économique

L'entreprise est une start-up en phase de croissance. L'entreprise présente toutefois une croissance rapide, et a présenté son premier bilan financier positif en 2022, deux ans après sa création.

Comparaisons

- Avec système de première vie :

Les systèmes d'énergie stationnaire sont vendus à un prix comparable au prix des systèmes fonctionnant avec des batteries vierges, sans premium.

- Avec recyclage :

Le recyclage représente aujourd'hui un coût pour FEBELAUTO qui préfère revendre ses batteries à Watt4Ever pour réutilisation.

Avant la crise énergétique de 2022, les coûts du recyclage étaient les suivants :

- 2.5 à 3 €/kg pour les batteries LFC (technologie pour le moment peu utilisée dans les véhicules)
- Jusqu'à 8 €/kg pour les batteries NMC et NMA

Toutefois, ces prix dépendent du prix des métaux. Ainsi la crise énergétique ayant fortement modifié ces prix, le prix du nickel a subi une forte augmentation. D'après Watt4Ever, ce point implique qu'aujourd'hui le recyclage des batteries NMC ne représente plus un coût.

Le développement du secteur de la conception de systèmes de seconde vie dépend donc fortement de la variation prochaine des prix des métaux.

Financement

Le financement de départ de Watt4Ever est issu de ses partenaires. Watt4Ever a aussi pu bénéficier de soutien public européen pour différents projets de R&D. Aujourd'hui l'entreprise souhaite profiter des financements européens disponibles pour continuer la R&D.

Echelle géographique

- Origine géographique des batteries : Les batteries usagées proviennent de Belgique.
- Implantation géographique de la conception : La conception se fait en Flandre (Belgique) et la production en Flandre et au Pays-Bas.
- Destination géographique des batteries : les systèmes sont vendus en Belgique et en Europe.

VII.5.5.3. *Enjeux techniques*

Part des batteries réutilisées

Les batteries actuellement écartées en entrée de la seconde vie le sont principalement en raison d'un approvisionnement trop faible pour développer un prototype de système de stockage d'énergie de façon économique viable (pas de masse critique), et non en raison d'un manque de faisabilité technique. Cela n'est pas représentatif de l'approvisionnement futur (cf. ci-dessous).

Une partie des modules testés ne sont pas conformes et sont envoyés en recyclage (environ 30%). Ce chiffre est amené à évoluer dans le futur (d'après Watt4Ever d'autres acteurs se positionnent plutôt sur 15%) à la hausse ou à la baisse en fonction de plusieurs paramètres que Watt4Ever n'estime pas être à même de pouvoir identifier.

La diminution du SoH des batteries disponibles (cf. paragraphe suivant) est un élément pouvant amener à la diminution du taux de batteries réutilisées dans le futur.

En plus de cela, certains modules identifiés comme réutilisables et écartés du recyclage ne sont toutefois pas réutilisés par Watt4Ever mais vendus à des utilisateurs (majoritairement non professionnels) qui souhaitent bricoler des batteries pour créer des systèmes de stockage d'énergie ou pour leur propre utilisation. Watt4Ever n'a pas d'information sur les applications visées (la responsabilité de Watt4Ever à ce sujet est indiquée plus loin dans cette synthèse).

Capacité restante des batteries acceptées

Une capacité restante de 75-80% est considérée acceptable pour une seconde vie. Toutefois Watt4Ever définit plutôt un critère de l'ordre de 90%.

En pratique, les batteries entrantes ont une capacité restante supérieure à 95% de la capacité initiale parce qu'elles n'ont pas subi une longue première vie : il s'agit principalement de batteries tests ou issues d'incidents de production. La capacité entrante n'est donc pas représentative du futur gisement mais permet à Watt4Ever de développer les systèmes qui seront ensuite adaptés à des capacités plus faibles.

Tests réalisés

- Par le fournisseur : Les batteries ne sont pas testées par le fournisseur avant envoi.
- Avant assemblage : afin d'identifier les packs réutilisables.
 - Aucun test sur le BMS n'est possible, en l'absence de coopération avec les OEM. Accéder au BMS nécessite des étapes de R&D via reverse-engineering.
 - Un test visuel est effectué pour vérifier si le pack batterie a été endommagé.



- Le pack batterie est ouvert manuellement pour accéder aux modules,
- Un échantillon d'environ 10% des modules de chaque pack sont testés, soit 2-3 modules par pack batterie.

- Le test de SOH est réalisé sur l'échantillon via un cycle de charge et décharge qui permet de mesurer la capacité restante et de la comparer à la capacité initiale. Le test prend entre 5 et 7 heures par module en fonction des technologies de modules.



- Le voltage et la température de toutes les cellules de l'échantillon sont mesurés :
 - Soit en ouvrant manuellement le module et en testant directement chaque cellule, ce système n'est aujourd'hui pas privilégié par Watt4Ever ;
 - Soit, si le module est équipé d'un système de Cell Management Unit (CMU), en accédant directement à l'information via le CMU. Watt4ever utilise un logiciel pour accéder à l'information, car l'accord avec les fournisseurs de batteries, essentiellement chinois, serait coûteux à négocier.
- Les modules non conformes aux critères d'acceptation sont envoyés en recyclage.

Sur prototype et systèmes assemblés : Les prototypes sont testés par selon un protocole défini par Watt4EVER et basé sur différentes normes (voir plus bas). De cette manière, l'entreprise monte un dossier dans l'objectif de pouvoir justifier avoir fait le contrôle nécessaire pour une mise sur le marché.

Critères d'acceptation

- Etat visuel non dégradé
- Capacité restante > 70%
-
- Approvisionnement suffisant pour atteindre une masse critique et développer un système
 - Cet approvisionnement peut provenir de plusieurs modèles de batteries utilisant les mêmes modules.

Niveau d'intervention : Modules

Watt4Ever travaille uniquement à l'échelle des modules pour concevoir ses systèmes, ceci pour de multiples raisons :

- L'entreprise n'a pas accès un BMS original permettant de travailler à échelle du pack.
- Le démontage à échelle des modules n'est pas particulièrement coûteux, d'après Watt4Ever.
- Cela permet un gain de place : concevoir des systèmes à partir de modules plutôt qu'à partir de packs permet de mieux optimiser l'espace et donc de gagner en densité énergétique de la solution vendue.
 - Ce point étant uniquement valable pour les systèmes en conteneur : les systèmes en petits formats étant de toute façon trop petits pour contenir des packs entiers.

- Travailler au niveau des cellules présente un coût trop important et n'est parfois même pas possible techniquement.

Propriétés techniques du produit

- Nombre de modules, voltage, intensité

Watt4Ever dispose de plusieurs produits, ces éléments varient donc en fonction du couple batteries utilisé/système conçu.

- Capacité
 - Les systèmes de petites tailles sont conçus en associant des nombres variables de batteries de 18 Wh, en parallèle et en série de manière à obtenir les caractéristiques visées (capacité, tension, intensité)
 - Les systèmes containerisés ont des capacités de 200 kWh, 600 kWh ou 1600 kWh

Durée de vie

Les systèmes sont conçus pour 5000 cycles, soit une durée de vie moyenne de 7 ans pour des usages correspondant à 1 cycle par jour, et moins pour des applications intensives (lissage de pics).

Montage

- Chaque système de stockage d'énergie stationnaire est composé de modules de batteries provenant d'un seul type de modèle de véhicules, ce qui permet d'assurer qu'il s'agit du même OEM et de la même technologie. Pour les systèmes de petite et moyenne taille, les modules proviennent d'un même pack de batteries, ce qui permet d'assurer un SOH similaire. Pour les systèmes de grande taille, chaque rangée de modules installés en série provient du même pack, pour la même raison.
- Après tests, le voltage des modules assemblés ensemble est équilibré avant montage.
- Les modules sont assemblés en série et en parallèle en fonction des tensions et intensités visés.
- Un système de pilotage des cellules (CMU) est nécessaire par module. Deux options sont possibles :
 - Réutilisation des CMU d'origine lorsqu'il y en a un.
 - Ajout de convertisseurs pour chaque module réutilisé sinon. Pour les petits systèmes, Watt4ever utilise des convertisseurs à basse tension fournis par Victron Energy, une entreprise néerlandaise. Pour les systèmes à haute tension (conteneurs), d'autres fournisseurs sont utilisés.

BMS

Un nouveau BMS est utilisé pour le SES. Il est acheté sur le marché.

Watt4Ever identifie tout de même comme enjeu de pouvoir accès au BMS original : cela permettrait notamment d'obtenir plus facilement certaines informations identifiées lors des test (voltage, courant, température). Toutefois, Watt4Ever n'envisage pas de réutiliser ce BMS étant donné le choix de travailler à échelle des modules.

VII.5.5.4. Enjeux de sécurité et réglementaires

Gestion de la sécurité

- Lors du transport : Le transport des batteries est conforme à l'ADR. Les batteries font partie de la classe 9 de la classification UN3480. Leur transport doit respecter des prescriptions en matière d'information, étiquetage, emballage, déclaration.
- Lors du stockage : Il n'y a pas d'échauffement.
- Lors des tests :
 - Un échauffement des modules est possible lorsqu'elles sont mises sous tension, en particulier les cellules « pouch » qui sont plus susceptibles de s'échauffer lorsqu'elles sont surchargées. Ces cellules sont donc gérées avec des précautions supplémentaires : ailettes de refroidissement supplémentaires par exemple.
 - Des caméras thermiques sont installées dans l'usine pour détecter tout échauffement et activer des jets d'air qui brisent le scellant. Des extincteurs spécifique Li-ion sont également disponibles sur site.
- Lors du montage : Du gaz ou de la mousse sont ajoutés pour ralentir le feu, offrant une garantie de 1h avant qu'un feu de batterie se propage à l'environnement proche. L'objectif est d'avoir un système palliatif qui permet de contenir le feu qui, s'il se déclenche, peut durer plusieurs jours.
- Chez l'utilisateur :
 - Le BMS pilote la batterie pour qu'elle reste dans une zone sûre (mesure préventive).
 - Les systèmes conteneurisés (grande échelle) sont équipés de systèmes plus avancés de gestion de la température et de l'énergie via des contrôleurs (PLC), et des systèmes de refroidissement intégrés.
 - Pour les applications de type lissage de pics, les batteries sont déchargées de 80% à 60% de capacité puis rechargées, et ce plusieurs fois, pour éviter l'échauffement associées à la répétition rapide de cycles de charge / décharge plus profonds.
 - Watt4ever assure la reprise des batteries défectueuses.

Permis d'environnement

Watt4Ever ne dispose pas de permis d'environnement. Son partenaire Out Of Use dispose d'un permis de stockage des batteries.

Statut de déchet

Watt4Ever considère que les batteries rachetées ne sont pas des déchets : le test réalisé garantissant technologiquement et électriquement la considérant de la batterie comme produit, à cela s'ajoute le fait que la batterie présente une valeur que quelqu'un (ici Watt4Ever) est prêt à payer. Une fois les tests réalisés, les batteries non sélectionnées sont alors considérées comme des déchets

Normes suivies

Les contrôles effectués par Watt4Ever se base sur des normes existantes telles que IEC 62619 et UL 9540.

Responsabilité

La responsabilité est transférée selon la loi Européenne :

- Pour les systèmes et modules revendus en Belgique, d'après Watt4Ever la responsabilité est conservée par le constructeur automobile car la batterie ne passe pas par le statut de déchet.

Selon Watt4Ever, la responsabilité du recyclage revient au constructeur automobile qui est la première entité à avoir mis le système sur le marché en Belgique.

- Pour les systèmes et modules vendus à l'étranger, Watt4Ever est la première entité à mettre la batterie en marché dans le pays et est donc responsable de la fin de vie.

VII.5.5.5. *Projections*

Prochains développements

- 2023 : Watt4ever estime pouvoir préparer 300 packs batteries à la réutilisation en 2023, correspondant à 30-40 systèmes installés, pour une capacité installée de 1 MWh.
- 2023 : Accélération des protocoles de tests, en particulier pour mesurer le SOH des modules. La mesure de la spectroscopie d'impédance est envisagée, entre autres. Le détail du protocole envisagé ne nous a pas été communiqué.
- Développement de solutions adaptées à un usage en extérieur dans des conditions météorologiques variables, pour l'application en fourniture d'électricité sur des sites de construction notamment.
- Développement de partenariats pour la vente des batteries. Celle-ci était assurée par Watt4ever jusque maintenant mais cela n'est pas amené à perdurer.
- Les systèmes de stockage d'énergie stationnaire de petite taille (0.5-1 kWh) pour le résidentiel pourraient être abandonnés dans le futur, car la concurrence des systèmes vierges y est plus forte.

Vision sur le développement du secteur

- De plus en plus d'entreprises du secteur de la seconde vie utilisent un système de notation mixte de l'état de santé de la batterie, sur une échelle de A à F, fondé sur la capacité, mais aussi le nombre de cycles subis en première vie et l'âge de la batterie. Ainsi les batteries anciennes à forte capacité sont moins bien notées.
- Pas d'opinion sur les autres modèles économiques / applications visées par des concurrents.
- Watt4Ever estime que l'enjeu principal du secteur, qu'il faut notamment traiter par la législation, est le transfert d'information de la part du constructeur (accès au BMS, à des données standardisées, etc.)
- L'entreprise estime toutefois que le secteur a du potentiel et que la viabilité du développement de telles systèmes est prouvée, les risques (économiques, technologies et de sécurité) présentées étant en réalité minimales.

Législations

- Le futur Règlement Batteries en cours de discussion devrait apporter de nouveaux éléments permettant de faire avancer le secteur
 - Watt4ever attend notamment de ce Règlement qu'il permette un accès facilité au BMS pour les opérateurs de seconde vie. Cette coopération est jugée trop fastidieuse à organiser pour le moment malgré les relations existantes entre Febelauto, membre fondateur, et les OEM membres.
 - Le système de passeport batteries devrait permettre d'avancer dans la direction du partage d'informations, mais d'après Watt4Ever, ce n'est pas encore suffisant pour permettre de débloquer totalement cet enjeu.

Forces, faiblesses, opportunités et menaces

Le tableau suivant résume la compréhension des auteurs suite à leur entretien avec Watt4Ever.

Forces <ul style="list-style-type: none">• Service de reprise des SES défectueux et service client (avantage par rapport aux concurrents asiatiques de systèmes vierges)	Faiblesses <ul style="list-style-type: none">• Pas de coopération avec les OEM pour l'accès au BMS, ce qui implique des tests coûteux du SOH• Manque de capacité de production
Opportunités <ul style="list-style-type: none">• Les OEM sont en demande de prestation de tests et remanufacturing. Watt4ever n'assure pas pour le moment ces prestations faute de place et de capacité de production• Règlement Batteries : coopération obligatoire des OEM pour donner accès à de informations de la première vie• Partenariats pour la production	Menaces <ul style="list-style-type: none">• Concurrence des SES à partir de batteries vierges pour les usages de petite taille• Un grand besoin de R&D nécessaire pour chaque modèle pour développer un système de seconde vie• Les batteries usagées auront des capacités restantes plus réduites dans le futur• L'accès à une quantité minimum de batteries d'un modèle est nécessaire avant de pouvoir en développer un système de seconde vie