

ETUDE DE LA SECONDE VIE DES BATTERIES DES VEHICULES ELECTRIQUES ET HYBRIDES RECHARGEABLES

Jun 2011

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par Schwartz and Co et
AJI Europe

Coordination technique :

Patrick COROLLER – Service Transport et mobilité - ADEME Valbonne Fabienne BENECH
– Service Filières REP et Recyclage – ADEME Angers



RAPPORT FINAL

SOMMAIRE

1.	CONTEXTE ET OBJECTIFS DE CE RAPPORT	3
2.	PRINCIPAUX RESULTATS	4
3.	LE MARCHÉ DES VÉHICULES DECARBONÉS EN FRANCE	8
4.	LES FABRICANTS DE BATTERIES LI-ION	9
5.	BENCHMARK INTERNATIONAL	10
5.1.	VUE D'ENSEMBLE	10
5.2.	USA	11
5.3.	JAPON	15
5.4.	ALLEMAGNE	17
5.5.	ITALIE	19
5.6.	ESPAGNE	20
5.7.	ROYAUME-UNI	20
5.8.	FRANCE	21
6.	CARACTÉRISTIQUES DES BATTERIES EN DÉBUT DE VIE	22
7.	CARACTÉRISTIQUES DE FIN DE PREMIÈRE VIE DES BATTERIES	25
8.	USAGES POSSIBLES EN SECONDE VIE	27
8.1.	VUE D'ENSEMBLE	27
8.2.	MARCHÉS EXISTANTS	29
8.3.	USAGES MOBILES	31
8.4.	USAGES STATIONNAIRES	33
9.	RECYCLAGE	34
9.1.	TECHNOLOGIES DE RECYCLAGE	34
9.2.	ASPECTS ÉCONOMIQUES	37
9.3.	RECYCLAGE : DEUX SCHEMAS D'ORGANISATION LOGISTIQUE	37
10.	CONTRAINTES PESANT SUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA SECONDE VIE	39
10.1.	REGLEMENTATION, RESPONSABILITÉ, HABILITATIONS	39
10.2.	FIABILITÉ DES BATTERIES EN SECONDE VIE.	40
10.3.	RECONDITIONNEMENT	40
10.4.	VALEUR DES BATTERIES EN FIN DE PREMIÈRE VIE	41
11.	SCÉNARIOS	42
12.	LE MARCHÉ DE LA « SECONDE VIE » EN 2025	46
13.	CHAÎNE DE VALEUR ET STRUCTURATION D'UNE FILIÈRE SECONDE VIE	50
13.1.	CHAÎNE DE VALEUR ET ACTEURS	50
13.2.	STRUCTURATION DE LA FILIÈRE SECONDE VIE	51
14.	RECOMMANDATIONS	54
15.	CONCLUSION GÉNÉRALE	56
	BIBLIOGRAPHIE	57
	ANNEXE - LISTE DES ENTRETIENS AVEC DES EXPERTS	58

1. Contexte et objectifs de ce rapport

Le plan national de développement des véhicules décarbonés mis en œuvre en 2009 fixe un objectif d'un parc de deux millions de véhicules électriques (VE) et hybrides rechargeables (VHR) à l'horizon 2020, sachant que le lancement des premiers véhicules a eu lieu fin 2010 et se poursuit en 2011.

La mesure 14 de ce plan véhicules décarbonés: « Donner une seconde vie à la batterie et à ses éléments » et la mise en place d'un groupe de travail « Seconde vie » animé par l'ADEME et rassemblant les constructeurs automobiles, fabricants de batteries, énergéticiens et recycleurs montrent l'intérêt du thème de la seconde vie des batteries qui équipent ces véhicules décarbonés.

En effet, le coût élevé des batteries lithium-ion (Li-Ion), qui équipent la plupart des véhicules électriques et hybrides rechargeables, pourrait être un obstacle au démarrage rapide du marché des véhicules électriques et hybrides rechargeables.

Ces batteries, lorsqu'elles sont hors d'usage pour une propulsion automobile optimale, pourraient toutefois être exploitées comme réservoirs d'énergie pour d'autres applications embarquées ou stationnaires en fonction de leur viabilité technique, économique et environnementale.

Dans ce contexte, la question de la viabilité technique, économique et environnementale d'une seconde utilisation de ces batteries devient un enjeu industriel important puisqu'elle modifie la chaîne de valeur de la filière batteries et en conséquence celle des véhicules électriques et hybrides rechargeables. En conséquence, les acteurs industriels pourraient chercher aujourd'hui à se positionner dans ce marché en voie de création.

Dans ce cadre, la mission confiée à Schwartz and Co consiste à réaliser une étude d'éclairage sur les pistes les plus prometteuses aux plans technique, économique et de l'environnement, pour une seconde utilisation des batteries des véhicules électriques et hybrides rechargeables.

Le champ de l'étude exclut l'analyse de la filière l'hydrogène.

L'étude comprend 3 étapes :

- Étape 1 : Benchmark, Caractéristiques de fin de première vie et Identification des usages possibles en seconde vie,
- Étape 2 : Contraintes pesant sur la réutilisation des batteries en seconde vie, Scénarios à l'horizon 2020, Analyse multicritère des usages possibles en seconde vie et Identification des usages les plus prometteurs
- Étape 3 : Analyse stratégique, Recommandations pour la structuration d'une filière seconde vie en France.

Ce rapport présente les résultats de cette étude. Il a été validé par l'ensemble des membres du groupe de travail.

2. Principaux résultats

Le thème de la seconde vie des batteries suscite de l'intérêt à l'étranger, mais il ne fait encore l'objet que de projets de recherche à un stade préliminaire. La seule initiative industrielle, le joint-venture « 4R » entre Nissan et Sumitomo, créé à la fin de l'année 2010 avec pour objet la seconde vie des batteries et leur recyclage n'est pas encore opérationnel.

Les batteries pour véhicules électriques et hybrides rechargeables montées par les grands constructeurs automobiles ne sont pas standardisées et ne le deviendront pas. Elles varieront d'un constructeur à l'autre par leurs dimensions, par les chimies utilisées et par le système de gestion de la batterie. Chez un même constructeur, elles seront spécifiques pour chaque modèle, au moins dans leurs dimensions. Cette absence de standardisation facilite l'innovation, mais constitue un frein au développement de la seconde vie : pour les usages requérant plusieurs batteries, il est en effet nécessaire d'assembler des batteries ayant des caractéristiques électriques homogènes (même tension, même puissance, système de gestion compatible).

Des écarts importants apparaissent sur les données de prix des batteries Li-Ion que ce soit dans la littérature ou parmi les personnes interrogées. Aujourd'hui, le prix se situerait entre 500 €/kWh et 1 000 €/kWh. En 2020, ce prix pourrait se réduire, pour atteindre une valeur de l'ordre de 250 €/kWh. De tels écarts entre les estimations de prix sont fréquents lorsque l'on évalue une technologie qui n'a pas atteint sa maturité industrielle.

Selon les personnes interrogées, les performances des batteries Li-Ion, en termes de capacité massique (kWh stockés par kg de batterie) progresseront au cours de la décennie tandis que leur prix baissera.

Un consensus apparaît sur le fait que la technologie Li-Ion restera dominante jusqu'en 2020. Au-delà, les recherches en cours sur d'autres technologies (Lithium Air, par exemple) pourraient déboucher sur une application à échelle industrielle pour les véhicules électriques et hybrides rechargeables.

Il n'apparaît pas de consensus sur la capacité résiduelle des batteries automobiles en fin de première vie : selon les experts rencontrés, la fin de la première vie se situe à 80%, 75% ou 70% de la capacité initiale. La durée estimée par les différents interlocuteurs pour atteindre la fin de première vie varie également entre 5 ans et 10 ans. La perte de puissance varierait plus lentement ou bien au même rythme que la capacité. Toutefois, tous s'accordent à dire que la puissance étant largement dimensionnée, sa baisse ne sera pas le facteur déclenchant de la fin de la première vie.

La synthèse des entretiens a fait émerger les usages seconde vie les plus pertinents :

- Véhicules électriques poursuivant leur utilisation avec une batterie aux performances dégradées,
- Véhicules de type chariots élévateurs,
- Lissage de la pointe d'appel de puissance par des batteries installées dans les sous-stations SNCF,
- Dans les DOM-TOM, lissage des injections sur le réseau d'une installation éolienne ou photovoltaïque et écrêtage de la demande d'électricité pour les usages domestiques individuels ou collectifs¹,
- Alimentations électriques sans coupure : hôpitaux, télécommunications, centres de traitement informatique,
- Substitution aux groupes électrogènes utilisés par ERDF,
- Alimentation des auxiliaires dans les centrales électriques, les stations et les sous-stations des réseaux,
- Stockage de l'énergie d'une installation éolienne ou photovoltaïque isolée,
- Installation isolée autonome sur batterie.

Le seuil de fin de vie ultime (après la seconde vie) est estimé par les experts entre 60% et 50% de la capacité initiale : au-delà, le risque d'une dégradation brutale de la batterie serait élevé.

Les marchés et/ou les niches actuels pour les batteries utilisent des batteries industrielles au plomb. Pour ces usages, les batteries Li-Ion de seconde vie présenteraient des avantages par rapport aux batteries au plomb : durée de vie plus longue, pas d'entretien, pas d'émissions d'hydrogène en fin de charge. Toutefois la R&D en cours aux Etats-Unis sur les batteries au plomb pourrait améliorer leurs caractéristiques en termes de durée de vie et de cyclage. La concurrence entre batteries Li-Ion de seconde vie et batteries au plomb se jouera également au niveau du prix. Si les prix de batteries Li-Ion neuves baissaient sensiblement sur de longues périodes, la concurrence des batteries Li-Ion neuves pourrait apparaître.

Les constructeurs automobiles, quel que soit le modèle économique (batterie louée ou achetée avec le véhicule), pensent qu'une partie des batteries resteront utilisées dans les VE bien en-deçà d'une capacité réduite à 80% ou 70% de la capacité initiale : la seconde vie ne serait alors que la poursuite de la première vie. Dans cette hypothèse, les flux réels de batteries disponibles pour la seconde vie seraient inférieurs aux flux théoriques de batteries qui auront atteint les seuils de fin de première vie.

La question de la « valeur » des batteries en fin de vie ultime doit être posée : si cette valeur était positive, le recyclage pourrait constituer une alternative à la seconde vie. Or, la valeur des produits (métaux, produits chimiques) récupérés est aujourd'hui inférieure aux coûts de recyclage et devrait le rester selon les experts interrogés. Il est donc probable que l'étape ultime de recyclage reste un coût net et ne puisse pas avoir un impact favorable sur la chaîne de valeur des batteries pour en diminuer le coût initial. En conséquence, l'intérêt pour un usage en seconde vie s'en trouve renforcé.

¹ Certains membres du Groupe de Travail sont toutefois convaincus que la disparition à terme des tarifs préférentiels de rachat des énergies renouvelables poussera les producteurs à stocker leur production pour la vendre durant les périodes où elles sont mieux rémunérées ; que le stockage chimique pour la fourniture d'électricité aux heures de pointe (notamment par écrêtage de la demande) serait moins polluant que l'utilisation de centrales de pointe, ce qui permettra le développement de ces 2 usages en France métropolitaine.

Pour proposer une stratégie de la filière seconde vie, nous envisageons 3 scénarios contrastés, reposant sur des hypothèses cohérentes. La principale conclusion que l'on peut en tirer est que, dans l'hypothèse d'une durée de première vie de 7 à 10 années, même dans le scénario le plus favorable au développement du marché des véhicules électriques et hybrides rechargeables, les volumes disponibles pour une seconde vie ne deviendraient significatifs qu'au-delà de 2020.

Une analyse multicritère a permis d'identifier les usages seconde vie les plus prometteurs en France métropolitaine². Ces usages « prioritaires » des batteries de seconde vie seraient :

- Véhicules électriques poursuivant leur utilisation avec une batterie aux performances dégradées,
- Lissage de la pointe des sous-stations SNCF,
- Alimentations électriques sans coupure,
- Remplacement des groupes électrogènes d'ERDF.

Dans le cas où les tarifs de rachat des énergies renouvelables (photovoltaïque et éolien) seraient modifiés, devenant plus attractifs aux heures de pointe qu'aux heures creuses, les usages de stockage de l'électricité à côté des installations de production renouvelables pourraient devenir attractifs.

La structuration de la filière seconde vie en France pourrait se faire sous le leadership de 4 types d'acteurs, le reconditionnement étant l'étape clé du processus :

1. Les constructeurs automobiles,
2. Les fabricants de batteries,
3. Les recycleurs,
4. Des utilisateurs de batteries de seconde vie dotés d'importants besoins.

Les constructeurs automobiles en tant que « metteur sur le marché » sont responsables des batteries tout au long de leur vie, jusqu'au recyclage. De ce fait leur légitimité à vouloir structurer la filière seconde vie n'est pas discutable.

Les constructeurs automobiles et les fabricants de batteries détiennent les savoir-faire autour de la batterie et ils apparaissent, au moins dans un premier temps, comme les plus à même de réaliser le reconditionnement nécessaire à une seconde vie au meilleur coût.

Les recycleurs seront amenés à « ouvrir » les batteries : ils seront particulièrement bien placés au plan logistique pour collecter les batteries, en trier les éléments (packs, modules, cellules) et procéder au reconditionnement des éléments susceptibles d'avoir une seconde vie. Ils reconnaissent n'avoir pas les compétences pour le reconditionnement et envisagent de s'associer avec les détenteurs de savoir-faire (constructeurs automobiles et/ou fabricants de batteries).

Sans exclure du schéma les recycleurs, il apparaît que la structuration de la filière seconde vie autour des constructeurs automobiles, s'appuyant sur les fabricants de batteries (lorsqu'ils ne sont pas eux-mêmes fabricants de batteries) serait le schéma le plus efficient, compte tenu des savoir-faire spécifiques qu'ils détiennent.

² Dans les départements insulaires, la « fragilité » des réseaux électriques rend d'ores et déjà utile le stockage d'énergie, pour « lisser » soit la demande, soit la production d'énergie renouvelable ; toutefois ce stockage, quelle que soit la technologie retenue (Li-Ion ou autre), ne peut pas être rentable du fait de la péréquation tarifaire avec la métropole.

Pour faciliter le démarrage d'une filière française de la seconde vie, pleinement efficace en 2025, les autorités françaises pourraient engager une démarche avec 3 composantes :

1. Mise en place rapide en place d'un « Observatoire des véhicules décarbonés et de leur stockage d'énergie », en désignant avant la fin 2011, son responsable.
2. D'ici 3 à 4 ans, lorsque l'on disposera des premières batteries ayant atteint la fin de leur première vie, lancement de projets pilotes seconde vie, pour les usages les plus prometteurs. Les projets pourraient être financés au moins partiellement pas des fonds publics et faire appel à des partenariats entre centres de recherche, fabricants de batteries, constructeurs automobile et entreprises utilisatrices des batteries de seconde vie.
3. En fonction des retours d'expérience des projets pilotes seconde vie et de l'évolution des marchés des véhicules décarbonés, définition d'une stratégie française de la seconde vie : les choix pour la structuration de la filière industrielle pourront être faits de manière étayée. en s'engageant, dans des démarches telles que :
 - Augmentation et accélération de l'effort en matière de recherche et développement sur les batteries, tant sur les aspects chimiques que sur les caractéristiques physiques
 - Développement de normes et standards (de performance, de forme, de poids) des batteries, qui s'imposeront progressivement aux constructeurs de batteries et/ou d'automobiles
 - Définition d'instruments d'ordre réglementaire visant à améliorer les taux de collecte et de réutilisation en seconde vie des batteries
 - Conception d'outils de nature financière ou économique permettant de susciter les besoins de stockage d'électricité, par exemple dans le cas des énergies renouvelables intermittentes, au niveau du tarif d'accès au réseau imposé au stockage.

En conclusion, cette étude démontre qu'en l'état actuel des connaissances, il est pertinent d'envisager une « seconde vie » pour les batteries des véhicules décarbonés. Plusieurs usages paraissent prometteurs, qui pourraient donner aux batteries en fin de première vie une valeur résiduelle positive et avoir ainsi un impact bénéfique pour le développement du marché des véhicules décarbonés. Le recyclage, qui devrait continuer à représenter un coût net, ne constitue pas une alternative à la seconde vie.

3. Le marché des véhicules décarbonés en France

Les objectifs de vente affichés par les deux principaux constructeurs français sont respectivement :

- 40 000 véhicules électriques en 2015 pour Renault, dont les premiers modèles de véhicules électriques sont commercialisés en 2011. Il s'agit uniquement de véhicules électriques ;
- 30 000 pour PSA, qui propose déjà plusieurs véhicules électriques à son catalogue. En 2015, PSA commercialisera également à ce moment un modèle de véhicule hybride rechargeable.

Ces véhicules utilisent des batteries Li-Ion.

En admettant que les 2 principaux constructeurs atteignent ces objectifs et détiennent en 2015 une part de marché de 50% sur ce segment en France³, les ventes de véhicules automobiles électriques seraient de l'ordre de 140 000 en 2015, soit 5,6% des 2,5 millions de véhicules automobiles neufs vendus en France chaque année.

De son côté, après avoir remporté l'appel d'offres d'Autolib, le groupe Bolloré annonçait en mars 2011 qu'il accordait la priorité sur la réalisation de ce contrat. Il devrait fournir 2 000 véhicules électriques utilisant des batteries Lithium Métal Polymère (LMP) avant la fin de l'année 2011, pour le lancement d'Autolib à Paris. Bolloré affirme continuer son partenariat avec l'Italien Pininfarina et aurait signé un contrat pour l'utilisation de son usine en Italie. Pininfarina serait en capacité de produire 20 000 véhicules par an et Bolloré 7 500 batteries. Le groupe a également annoncé la construction d'une usine de fabrication de batteries LMP à Ergué-Gabéric (en Bretagne) pour monter en puissance. L'objectif affiché est d'atteindre 40 000 batteries d'ici quelques années (en incluant la production de l'usine canadienne rachetée par le groupe).

Les ventes de voiturettes électriques (sans permis) devraient rester confidentielles. Celles de scooter électriques pourraient décoller (sans qu'il soit possible aujourd'hui de proposer une quelconque évaluation) si une offre industrielle crédible apparaissait.

L'émergence d'un marché de l'occasion des VE et des VHR aurait des conséquences sur la seconde vie des batteries : le propriétaire en seconde main d'un véhicule âgé de 2 ou 3 ans pourrait exiger une batterie neuve. Dans ce cas, des batteries en fin de première vie deviendraient disponibles pour une seconde vie plus tôt, avec une plus faible dégradation de la capacité.

³ Part de marché qu'ils détiennent aujourd'hui sur l'ensemble des véhicules automobiles.

4. Les fabricants de batteries Li-Ion

Les principaux fabricants mondiaux de batteries Li-Ion pour les VE et les VHR sont listés dans le tableau ci-dessous. La plupart d'entre eux sont également des fabricants de batteries Li-Ion pour des équipements électroniques.

Certains ont annoncé leur intérêt pour le domaine des batteries Li-Ion pour VE et VHR (Sony, Matsushita) et d'autres ont même présenté des partenariats avec des constructeurs automobiles qui peuvent prendre la forme de Joint-Venture (Nissan-Nec avec AESC, Evonik-Daimler avec Li-Tec, Panasonic-Toyota avec PEVE).

Il existe d'autres fabricants de taille plus modeste : E4V en France, qui a annoncé son partenariat avec Mia, Amberjac Project au Royaume Uni et Ener1 aux USA.

Tableau 1 – Principaux fabricants mondiaux de batteries Li-Ion pour VE et VHR

Nom	Pays d'origine	Partenariats connus avec les constructeurs automobiles
A123 Systems	USA	Chrysler, SAIC
AESC (JV Nissan-Nec)	Japon	Renault-Nissan
BYD	Chine	BYD
Dow Kokam	USA-Corée-France	
Enax	Japon	
GS Yuasa/ Lithium Energy Japan	Japon	Honda, Mitsubishi et PSA
Johnson Controls-Saft	USA-France	Ford, Mercedes
LG Chem	Corée	General Motors, Hyundai
Li-Tec (JV Evonik-Daimler)	Allemagne	Daimler
Matsushita	Japon	
PEVE (JV Panasonic-Toyota)	Japon	Toyota
Sanyo (Panasonic)	Japon	Suzuki
SB Limotive (JV Bosch et Samsung)	Allemagne-Japon	BMW
Sony	Japon	
Toshiba	Japon	Volkswagen

Source : compilation de données en provenance des sites internet des acteurs listés.

D'après une étude du cabinet Pike Research réalisée en 2009, le marché mondial des batteries Li-Ion destinées à l'automobile aurait représenté environ 0,9 milliards de dollars en 2010 et pourrait atteindre environ 8 milliards de dollars d'ici 2015.

Une étude du cabinet Lux Research réalisée en 2009 estimait que l'évolution de ce marché est très fortement liée au prix du baril du pétrole et qu'il représenterait 0,5 milliards de dollars en 2020 pour un baril à 70\$ et 9 milliards de dollars en 2020 pour un baril à 200\$.

5. Benchmark international

5.1. Vue d'ensemble

L'objectif de ce benchmark est d'identifier en premier lieu les projets et les recherches en cours sur le thème de la seconde vie. Dans les pays étudiés, nous nous sommes également intéressés aux usages de batteries Li-Ion neuves en dehors de l'automobile : ces usages pourraient se révéler prometteurs pour les batteries en seconde vie. Nous avons enfin noté les recherches en cours sur des technologies concurrentes du Li-Ion.

Les pays retenus pour le benchmark sont les USA, le Japon, l'Allemagne, l'Espagne, l'Italie et le Royaume Uni.

Ce benchmark fait apparaître le démarrage de réflexions et d'études sur le thème de la seconde vie des batteries Li-Ion, aux Etats-Unis, au Japon, en Italie et au Royaume-Uni. Tous ces projets en sont encore à un stade préliminaire. Un seul projet de nature industrielle a été identifié : le joint-venture « 4R » entre Nissan et Sumitomo, créée à la fin de l'année 2010 avec pour objet la seconde vie des batteries et leur recyclage. Cette entreprise n'a pas encore démarré réellement son activité.

Aux Etats-Unis, des batteries Li-Ion neuves sont d'ores et déjà utilisées dans des projets pilotes pour des usages réseau, notamment pour assurer des services système. Toutefois les caractéristiques des réseaux électriques américains sont très différentes de celles des réseaux européens et ces expériences ne sont pas directement transposables en France métropolitaine.

Des recherches sur des chimies différentes sont en cours aux Etats-Unis, au Japon et en Allemagne.

En France, aucun projet sur la seconde vie n'est engagé, même si ce thème est d'ores et déjà pris en compte par l'ensemble des acteurs. Il n'apparaît pas non plus de projet utilisant des batteries Li-Ion neuves. Au-delà des travaux engagés par les différents centres de recherche sur les chimies futures, il convient de noter que les « blue cars » de Bolloré, retenues pour le projet « Autolib » à Paris, utiliseront des batteries Lithium Métal Polymère (LMP) et non pas Li-Ion.

Tableau 2 – Principaux résultats du benchmark

Pays	Projets seconde vie	Utilisation de batteries Li-Ion neuves	R&D sur autres chimies	Remarques
USA	<input checked="" type="checkbox"/> Recherche de financement	<input checked="" type="checkbox"/> Stockage réseau, résidentiel, smart grid	<input checked="" type="checkbox"/> Sulfure de Mn	
Japon	<input checked="" type="checkbox"/> JV Nissan-Sumitomo	<input checked="" type="checkbox"/> Sanyo : UPS, résidentiel Toyota City	<input checked="" type="checkbox"/> Lithium-Air	
Allemagne		<input checked="" type="checkbox"/> Usages réseau	<input checked="" type="checkbox"/> Flux redox Lithium Métal Polymère	
Italie	<input checked="" type="checkbox"/> Usages stationnaires Stockage renouvelables	<input checked="" type="checkbox"/> Tramway		Projet Renault-Nissan, Enel et Endesa sur le stockage lié aux énergies renouvelables
Espagne	<input checked="" type="checkbox"/> Stockage lié aux énergies renouvelables			
Royaume Uni	<input checked="" type="checkbox"/> Lissage éolien Alimentation sans coupure			Appel à candidature pour des études de faisabilité de seconde vie (Technology Strategy Board)
France	<input checked="" type="checkbox"/> Idées de projets		<input checked="" type="checkbox"/> Diverses chimies (CEA, IFP, EDF...)	Lithium Métal Polymère (Blue Car Bolloré)

5.2. USA

Plusieurs projets de recherche sur les batteries de seconde vie d'initiative publique ou privée ont été identifiés. Aucun n'a pour l'instant dépassé la phase de la recherche de financement.

Il convient de noter que le marché des batteries Li-Ion neuves aux Etats-Unis ne se limite pas aux véhicules électriques : il pourrait bénéficier de la demande de stockage réseau, en raison de la « fragilité » des réseaux électriques : les énergies renouvelables et les « smart grids » vont faire croître cette demande de stockage réseau.

5.2.1. Seconde vie des batteries - Projet de l'EPRI

L'EPRI (Electric Power Research Institute) apporte son support à l'PAEP (American Electric Power Company) dans le cadre du développement d'une installation de Community Energy Storage (stockage d'énergie de quartier). Ce projet consiste à placer 2 ou 3 batteries de Chevrolet Volt (16 kWh de capacité de stockage et 80kW de puissance crête en première vie) dans un container placé au voisinage d'un lieu de consommation pour réaliser un lissage des pics. Cette installation d'environ 50kW devrait être utilisée environ 30 minutes par jour. Il est envisagé a priori de désassembler les packs et de placer les modules dans une armoire.

Le projet est encore dans sa phase de démarrage et en attente de batteries de seconde vie afin de poursuivre ses investigations.

Le responsable de l'EPRI contacté est néanmoins sceptique quant à l'utilisation des batteries Li-Ion en seconde vie en raison de l'absence de certitude quant à l'état véritable de la batterie en fin de première vie et du fait que les applications visées concernent des activités très sensibles aux risques (utilités, télécommunications).

5.2.2. Seconde vie des batteries – Projet du CCSE

Le projet, en phase de démarrage, mené par le CCSE (California Center for Sustainable Energy) est financé par l'Etat de Californie : le financement a été attribué à l'université UC Davis qui a ensuite sélectionné le CCSE pour mener une étude concernant la seconde vie des batteries. Le projet est articulé en 3 phases :

- Etablir les besoins minimaux pour différentes applications potentielles de seconde vie des batteries Li-Ion,
- Développer une application de stockage d'énergie domestique. Cette phase sera réalisée en partenariat avec AeroVironment, San Diego Gas & Electric (un des plus importants fournisseurs d'électricité en Californie), et Flux Power (un fabricant de batteries Lithium-Phosphate de Fer et de systèmes de gestion de batteries),
- La dernière étape sera réalisée par l'UC Berkeley au sein du « Transportation Sustainability Research Center ». Elle visera à développer une méthode de calcul pour évaluer la valeur d'une batterie en première et seconde vie selon les usages envisagés.

Trois chimies de batteries seront étudiées : Nickel Manganèse, Manganèse, Phosphate de Fer. Le projet est toujours dans la première phase et les applications qui semblent se dégager pour l'instant sont des applications stationnaires.

5.2.3. Seconde vie des batteries - General Motors

Pour General Motors, la fin de la première vie débute lorsque la batterie atteint 80% de sa capacité initiale. Avec cette contrainte, GM garantit la batterie de son véhicule Volt pendant 8 ans ou 100 000 miles (160 000 km). GM affirme concevoir et réaliser 95% des 167 composants de la batterie, d'une capacité de 16 kWh. GM a engagé un partenariat avec le groupe électrotechnique ABB pour étudier les usages seconde vie de ces batteries dans les réseaux électriques. Les applications envisagées concernent :

- la stabilité des réseaux où s'insèrent des énergies renouvelables,
- l'alimentation de secours,
- le lissage de la demande industrielle durant les heures de pointe.

5.2.4. Seconde vie des batteries - Duke Energy

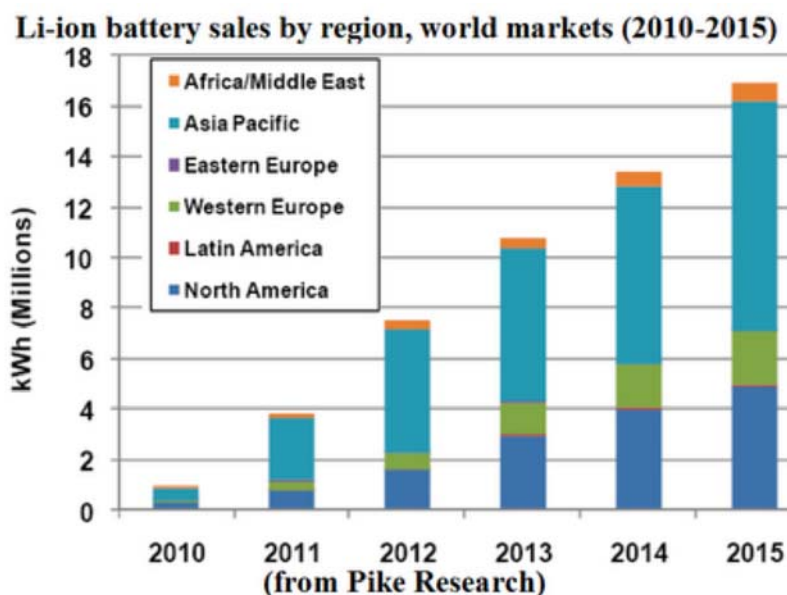
L'énergéticien Duke Energy a monté un partenariat avec le Japonais ITOCHU Corporation pour identifier les usages de seconde vie. Une expérience sera menée à partir de l'analyse des batteries des 80 VE de Duke Energy, en service dans l'Indiana. Les applications seconde vie envisagées sont :

- Le stockage à l'échelle domestique,
- Le lissage de la production des installations de production renouvelables,
- Le lissage de la demande des stations de recharge rapide.

5.2.5. Marché des batteries Li-Ion en première vie – Projections et usages

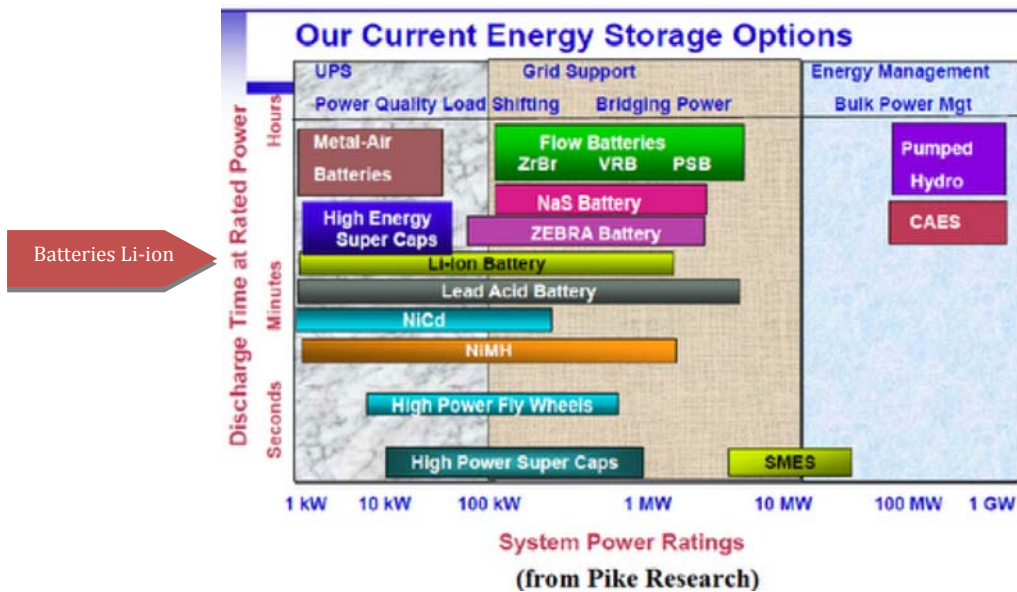
Le National Renewable Energy Laboratory des Etats-Unis (NREL) voit le marché mondial des batteries Li-Ion se développer très rapidement d'ici 2015, en particulier dans la zone Asie Pacifique et en Amérique du Nord. Ce marché serait tiré par les usages automobiles véhicules électriques et hybrides rechargeables.

Figure 1 – Marché des batteries Li-Ion selon le NREL



Le NREL a également comparé les technologies en concurrence pour les usages : alimentation de secours, gestion de la charge, services réseau (services système, compléments de production). Ce sont les batteries au plomb et les batteries Li-Ion qui ont le plus large champ d'application.

Figure 2 – Options pour le stockage de l'électricité selon le NREL



5.2.6. Marché des batteries Li-Ion en première vie - Stockage réseau

De par les caractéristiques des réseaux électriques aux Etats Unis (nombreux petits réseaux non interconnectés) le besoin de stockage existe d'ores et déjà, en raison du petit nombre de centrales connectées à chaque réseau.

Globalement selon un rapport de Pike Research d'octobre 2010, le marché des systèmes de stockage réseau devrait passer de 1,5 milliards \$ en 2010 à 25 milliards \$ dans les 10 ans. Cette forte hausse de la demande s'expliquerait par l'augmentation de la production d'origine renouvelable qui augmente les risques pour la stabilité des réseaux. Ce marché devrait se partager entre les stockages à air comprimé, les batteries Li-Ion et les batteries à flux redox. Tous les stockages réseau qui utilisent des batteries Li-Ion de première vie, pourraient offrir en principe des opportunités aux batteries de seconde vie.

Le Département de l'Energie a annoncé récemment un financement de 620 millions \$ pour des projets de démonstration de réseau intelligents et de stockage de l'énergie, dont deux projets de stockage dans l'Ohio et le Michigan. Ce dernier projet comprend un stockage à l'échelle du quartier (community-scale energy-storage) qui utilisera des batteries Li-Ion neuves, pour lisser la demande et permettre l'intégration de la production solaire et de points de recharge de VE. La fiabilité du réseau en sera renforcée. Si l'intérêt technique de ces projets est clair, les opérateurs de réseau ne savent pas encore comment imputer le coût de tels stockages, qui ne rentrent dans aucune catégorie des actifs rémunérés (production, transport, distribution) : si une solution réglementaire n'était pas trouvée rapidement, le développement des stockages réseau s'en trouverait compromis.

Une petite ville du Texas, Presidio, est alimentée par une seule ligne de 60 miles (97 km), vieille de 60 ans : les coupures y étaient fréquentes. Une batterie Li-Ion de 4 MW, assurant 8 heures de fourniture, a été installée pour un coût de 25 millions \$. La batterie a été importée du Japon.

Un stockage réseau Li-Ion de 8 MW réalisé par le groupe énergétique AES vient d'être installé à Johnson City, dans l'état de New York. Il assure des services système (fréquence). Le projet devrait se poursuivre avec l'installation de 12 MW supplémentaires portant ainsi la capacité totale à 20 MW, puissance que le stockage pourra absorber ou fournir durant 15 minutes. Le besoin de services système aux Etats Unis s'explique par la part croissante des centrales à gaz à cycle combiné, qui ne possèdent pas la souplesse des centrales traditionnelles au charbon (assurant ainsi le réglage fréquence). Les nouvelles installations de stockage utilisent des batteries Li-Ion (800 000 éléments pour 20 MW) pour leur puissance instantanée et pour l'absence de mouvement qui leur donne une grande fiabilité et un meilleur rendement global que les volants d'inertie. Le projet (8 MW + 12 MW) a bénéficié d'une garantie fédérale de 17 millions \$, soit près de 80% de son coût.

International Battery a reçu une subvention de 800 000 \$ pour un stockage réseau de 800 kWh, utilisant des batteries au Lithium. L'installation sera logée dans un container de 40 pieds.

General Electric, de son côté, propose aux opérateurs de réseau des batteries, appelées Durathon : elles reposent sur une technologie halogénure de sodium. Elles auraient une durée de vie de 20 ans et seraient peu sensibles aux variations de température.

5.2.7. Technologie concurrente - Toyota

Toyota développe une batterie au sulfure de magnésium dans son laboratoire d'Ann Arbor, au Michigan. Jeffrey Makarewicz en charge de ce projet déclarait au salon de l'auto de Détroit, en janvier 2011 que ce type de batterie pourrait stocker 2 fois plus d'énergie que les batteries Li-Ion. Cette technologie ou d'autres, développées au Japon, pourraient être disponibles selon Toyota à échelle industrielle en 2020⁴.

5.3. Japon

La seconde vie est anticipée au Japon, avec l'identification des usages les plus prometteurs et la création par Nissan et Sumitomo d'une filiale commune pour la commercialisation de batteries auto de seconde vie. En première vie, le principal fabricant de batteries pour VE, Sanyo, vise également des applications stationnaires, comme les alimentations sans coupure.

5.3.1. Seconde vie des batteries

En 2020 au Japon, selon le journal Nikkei Shimbun du 19 octobre 2010, les batteries de deuxième vie devraient faire l'objet d'une forte demande pour les applications suivantes :

- Stockage de l'énergie des panneaux solaires photovoltaïques pour des besoins résidentiels et industriels,
- Fourniture de solutions de secours électrique,
- Fourniture d'alimentation sans coupure (UPS),
- Lissage des apports d'énergie au réseau (éolien - solaire).

⁴ Source, Alan Ohnsman, Bloomberg, 10 janvier 2011.

De leur côté, Nissan et Sumitomo ont créé une filiale commune « 4R Energy » (Reuse, Resell, Refabricate and Recycle), détenue à 49% par Sumitomo et à 51% par Nissan, dont l'objet est la seconde vie des batteries Li-Ion, en priorité des usages liés au développement du photovoltaïque et au lissage de la demande. Nissan espère atteindre des ventes de 100 000 batteries automobiles neuves dans « quelques années » et disposer ainsi de volumes importants de batteries en fin de première vie, pour une réutilisation sur les marchés japonais et nord-américain. 4R évoque le chiffre de 50 000 batteries de seconde vie (capacité résiduelle de 70% à 80%) disponibles sur le marché japonais en 2020.

5.3.2. Marché des batteries Li-Ion en première vie - Sanyo

La nouvelle usine de Sanyo, située à Kasai (Préfecture du Hyogo) dont la capacité actuelle de production est d'un million de cellules par mois devrait passer à une capacité de dix millions de cellules en 2015. Sanyo espère réaliser des économies d'échelle et réduire ses coûts de production de moitié. Sanyo va fournir des batteries Li-Ion aux constructeurs automobiles Volkswagen et Toyota. En dehors de l'automobile, Sanyo vise également d'autres applications comme les hôpitaux (alimentation sans coupure) et le résidentiel dans lesquels la firme nipponne s'est fixée un objectif de CA de 100 Mds JPY (910 M €) en 2015.

5.3.3. Marché des batteries Li-Ion en première vie - Toyota City

Au sein de Toyota City, des quartiers zéro émission devraient voir le jour : panneaux photovoltaïques, véhicules électriques, etc. Pour gérer l'équilibre offre-demande d'électricité des stockages réseau Li-Ion sont prévus. Les personnes interrogées sur ce sujet affirment que le coût de ce projet serait très élevé, sans aucune rentabilité économique dans le contexte économique actuel.

5.3.4. Technologie concurrente - Toyota

Toyota effectue des recherches sur différentes chimies susceptibles de remplacer le Li-Ion. Selon Toyota, à l'horizon 2020, la technologie Lithium-Air serait susceptible d'atteindre l'échelle industrielle.

5.4. Allemagne

Nous n'avons pas identifié de projet traitant spécifiquement de la seconde vie des batteries auto. Les priorités en Allemagne sont l'amélioration des batteries pour véhicules électriques et hybrides rechargeables et l'étude des autres usages, notamment en lien avec les énergies renouvelables.

5.4.1. Marché des batteries Li-Ion en première vie – Recherche

L'institut Fraunhofer⁵ coordonne un programme de recherche pour développer de nouvelles chimies et de nouveaux matériaux pour les batteries Li-Ion. La recherche cible en particulier les électrolytes polymères non-inflammables. Ce projet fait partie d'un programme d'innovation pour les batteries Li-Ion « LIB 2015 » avec la participation de l'industrie : Evonik, BASF, Bosch, Daimler, Volkswagen et le soutien du gouvernement fédéral, avec un budget total de plus de 400 M€.

5.4.2. Marché des batteries Li-Ion en première vie – Coopération industrielle

Selon le responsable Recherche & Développement, Thomas Weber, Daimler étudie la possibilité de collaborer davantage avec Renault-Nissan, notamment sur le segment des véhicules électriques. Le partenariat déjà existant entre les deux groupes sera étendu à d'autres composants clés comme le moteur électrique, la batterie et la motorisation pour réaliser des économies d'échelle. Parmi les projets évoqués figure la version électrique de la "Smart", dont le lancement pourrait avoir lieu en 2013 et qui utiliserait une plateforme de Renault Twingo.

5.4.3. Marché des batteries Li-Ion en première vie – Usages réseau

La croissance de la production renouvelable en Allemagne (l'Allemagne possède le premier parc photovoltaïque mondial et le premier parc éolien européen) stimule la recherche pour des solutions de stockage réseau. Les solutions envisagées pour pallier aux variations des énergies renouvelables sont les batteries, la gestion de la demande et les piles à combustible (stockage par l'hydrogène).

Dans ce cadre l'institut Fraunhofer lance le projet MAVO Stockage Avancé d'Énergie, visant à développer des installations de stockage de 100 kW à 5 MW avec une capacité de 1 MWh à 50 MWh. A court terme les batteries et les super-capacités sont envisagées, mais à long terme d'autres technologies pourraient être développées. Ce projet est actuellement dans sa phase de « préconception ». Il produira des scénarios et des modèles.

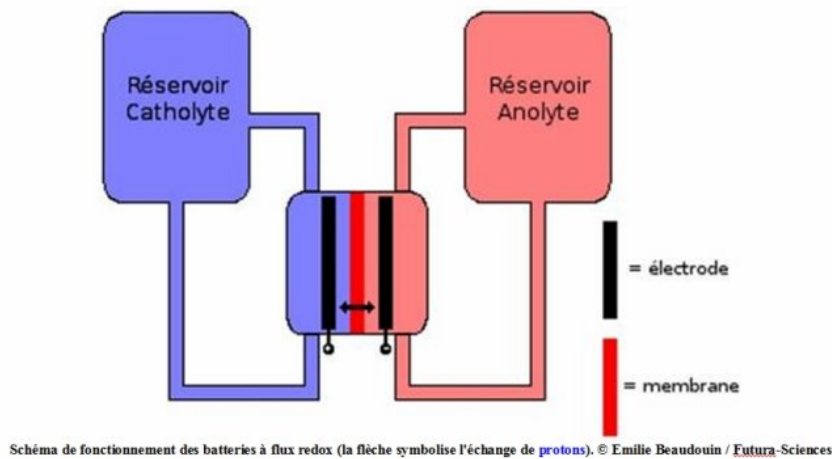
Evonik est impliqué dans le projet LESSY (Système de Stockage d'Électricité Lithium-Ion), avec sa propre filiale, Li-Tec Battery GmbH, un joint-venture avec Daimler, Digatron Industrie-Elektronik GmbH, l'Université de Münster, EWE (Next Energy) et HTW (Institut Power Engineering) de la Sarre. Le projet est centré sur les services système (réglage primaire), réalisé jusqu'à aujourd'hui par les centrales électriques conventionnelles.

⁵ Source: Fraunhofer-Gesellschaft, 01.09.2009, www.materialsgate.de

5.4.4. Technologie concurrente - Batterie à flux redox

En octobre 2009, l'institut Fraunhofer annonçait la mise au point d'une batterie à flux redox pour l'automobile. Cette technologie permettrait aux véhicules électriques et hybrides rechargeables de se recharger « à la pompe ». Toutefois, la capacité massique n'était que le quart de celle des batteries Li-Ion. L'institut annonçait des avancées possibles pour quadrupler cette capacité massique et atteindre ainsi les mêmes capacités que les batteries Li-Ion. Depuis cette 2009, l'institut n'a plus communiqué sur cette technologie.

Figure 3 – Schéma de principe d'une batterie à flux redox



5.4.5. Technologie concurrente – Lithium-Métal-Polymère

Dans le cadre d'un projet de démonstration financé par le Ministère fédéral allemand de l'économie et de la technologie, une Audi A2 électrique a parcouru dans la nuit du 25 au 26 octobre 2010 la distance de 600 km sans recharge. Le véhicule était équipé d'une batterie de technologie Lithium-Métal-Polymère (LMP, la technologie choisie également par le groupe Bolloré), conçue par DBM Energy. Le ministre fédéral de l'économie et de la technologie a exprimé le souhait de développer cette technologie pour une production de série en Allemagne.

5.5. Italie

Un seul projet sur la seconde vie des batteries a été identifié. Il est en phase de démarrage.

5.5.1. Seconde vie des batteries

Le projet est mené par l'ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) et a débuté en 2010. Il est issu de la réflexion d'un chercheur italien qui a proposé il y a plusieurs années de réutiliser les batteries d'ordinateurs portables dans les 2 roues.

Le projet est financé par le gouvernement italien et prend place au sein d'un projet plus large concernant le stockage d'électricité pour les applications stationnaires.

Ce projet est articulé de la manière suivante :

- Phase 1 : Déterminer si les batteries Li-Ion en première vie présentent un avantage pour les usages stationnaires et les caractéristiques de ces applications.
- Phase 2 : Si les résultats de la phase 1 sont positifs, déterminer comment les batteries Li-Ion de seconde vie pourraient être utilisées pour ces usages.

Le projet est encore dans sa phase de démarrage. Suite à ses demandes auprès des fabricants de batteries, le laboratoire a reçu des cellules en fin de première vie pour réaliser des tests. Or il est apparu que ces cellules étaient trop dégradées, leur capacité résiduelle étant trop faible. Des premiers résultats devraient toutefois être disponibles mi 2011.

Les responsables du projet admettent qu'il n'est pas démontré que les batteries Li-Ion soient compétitives par rapport aux batteries à sels fondus (notamment Zebra⁶) ou des batteries à flux redox pour les applications stationnaires.

Par ailleurs, un accord a été signé en avril 2010 entre l'Alliance Renault-Nissan, Enel et Endesa. Selon cet accord les entreprises vont coopérer avec à des projets de développement de la mobilité zéro émission. L'accord prévoit notamment : « L'étude du cycle de vie complet d'une batterie, notamment la possibilité de l'utiliser, dans la seconde partie de son cycle de vie, pour le stockage de l'énergie produite par des sources renouvelables ».

5.5.2. Marché des batteries Li-Ion en première vie - Tramway

La ville de Bergame met en œuvre un projet de tramway qui utiliserait des batteries Li-Ion se rechargeant au freinage.

⁶Les batteries à sel fondu offrent de fortes densités énergétique et puissances. Elles seraient intéressantes pour les véhicules électriques, n'étaient la température de fonctionnement (400°C) et les problèmes de sûreté en découlant. Des conceptions nouvelles « ZEBRA » fonctionnent à de plus basses températures entre 245°C et 350°C et pourraient réduire les contraintes pour des usages embarqués.

5.5.3. Technologie concurrente - Stockage de l'énergie héliothermique

Selon l'ingénierie US SolarReserve, spécialisée dans les centrales héliothermiques, une centrale électrique solaire en Sicile d'une puissance de quelques dizaines de MW, devrait utiliser des sels fondus pour stocker à 565°C (1050°F), pendant un maximum de 24 heures, l'énergie captée et permettre de réguler la production, plutôt qu'en utilisant en aval des batteries pour stocker l'énergie électrique.

5.6. Espagne

Nous n'avons pas identifié de projet traitant spécifiquement de la seconde vie des batteries auto, à l'exception de l'accord entre l'Alliance Renault-Nissan, Enel et Endesa évoqué ci-dessus.

Selon le CIDETEC (Centro de Tecnologías Electroquímicas), la seconde vie des batteries devrait faire l'objet de recherches collaboratives au niveau européen, mais aucun projet n'est identifié à ce jour. Les différents projets de véhicules électriques du gouvernement espagnol « Movele » ou « Verde » ne prennent pas en compte la seconde vie des batteries.

Concernant l'utilisation de batteries Li-Ion de première vie pour des usages stationnaires : Saft et Acciona Energia ont annoncé un partenariat de 3 ans visant à améliorer la viabilité des centrales électriques fonctionnant à l'énergie photovoltaïque et d'autres sources d'énergies renouvelables. Le projet a pour objectif de démontrer les bénéfices techniques et financiers apportés par l'utilisation d'un système conteneurisé de stockage, de conversion et de gestion de l'énergie pour la fourniture de services réseau et la gestion de l'énergie pour lisser la production.

Dans le cadre du projet de centrale photovoltaïque à Tudela, Espagne, Saft développera un système batterie lithium-ion modulaire, qui sera logé dans un conteneur de six mètres de long conçu pour les applications industrielles. Le système affichera une puissance de 1,1 MW sous 1 000 V. Ce conteneur comporte des systèmes de contrôle actif de la température et d'extinction d'incendie.

Le projet a également pour objectif d'intégrer les fermes solaires au réseau comme des centrales conventionnelles.

La recherche bibliographique n'a pas permis d'identifier d'autres exemples d'utilisation de batteries Li-Ion notamment ceux liés au fort développement de la production de l'énergie éolienne et photovoltaïque, au cours des dernières années. Ce développement des énergies renouvelables est toutefois très ralenti aujourd'hui car trop coûteux.

5.7. Royaume-Uni

Deux projets sur la seconde vie des batteries ont été identifiés. Le premier n'est pas jugé réaliste par les promoteurs des énergies renouvelables. Le second apparaît plus prometteur.

Le promoteur de la Range Rover électrique, Liberty Electric Cars a pris contact avec des développeurs de projets éoliens, dont EDF Energy, Scottish Power et E.ON, pour étudier les usages seconde vie des batteries lithium-polymère de 75 kWh qui équipent ce véhicule. Le modèle économique est la location des batteries ce qui permet au constructeur de revendre ces batteries quand il le jugera opportun.

Le prix de vente pour la seconde vie serait le quart du prix neuf. Toutefois le syndicat des producteurs d'énergie renouvelable, RenewableUK, déclare que les besoins de stockage liés aux renouvelables seront très limités, le réseau sachant s'accommoder des variations des injections de ces renouvelables, surtout si une gestion de la demande est mise en place parallèlement. Le CEO de Liberty Electric Cars, interrogé, n'a pas souhaité s'exprimer sur ce sujet jugé confidentiel.

Amberjac Projects est spécialisé dans les batteries Li-Ion et propose des batteries pour les véhicules électriques et hybrides rechargeables ainsi qu'un kit de transformation de Toyota Prius en hybride rechargeable. La seconde vie des batteries est testée à travers des prototypes de petits systèmes d'alimentation sans coupure (UPS). Un reconditionnement a été réalisé pour ces prototypes : démonter les batteries, sélectionner les modules afin d'éliminer les modules défectueux et programmer un BMS moins sophistiqué que pour l'application « automobile ». Les modules sont reconditionnés dans un nouveau pack. Cette application UPS est l'application la plus prometteuse pour une application seconde vie des batteries car elle est « basse puissance ». Le principal frein au développement de la seconde vie est la non-disponibilité des batteries de seconde vie : le volume de batteries en première vie n'est pas suffisant. Amberjac estime que cette activité serait rentable, en permettant aux fabricants automobiles de se « débarrasser » des batteries usagées qui seraient récupérées gratuitement par Amberjac Projects. Les batteries seraient reconditionnées et le nouveau système vendu au même prix que les batteries au plomb destinées à des systèmes UPS.

Le « Technology Strategy Board », l'organisme qui coordonne les aides à la R&D au Royaume-Uni, a lancé en mars 2011 un appel à candidatures pour des études de faisabilité sur la seconde vie des batteries et sur leur recyclage. Un montant de 500 000 £ est prévu, réparti entre moitié entre les 2 séries d'études de faisabilité. Les études de faisabilité devraient coûter environ 100 000 £ et le fonds prendra en charge 75% de ce coût.

5.8. France

Comme nous avons pu nous en rendre compte au cours de cette étude, le thème de la seconde vie suscite beaucoup d'intérêt en France chez tous les acteurs impliqués. Aucun projet directement lié à la seconde vie n'est toutefois concrètement engagé.

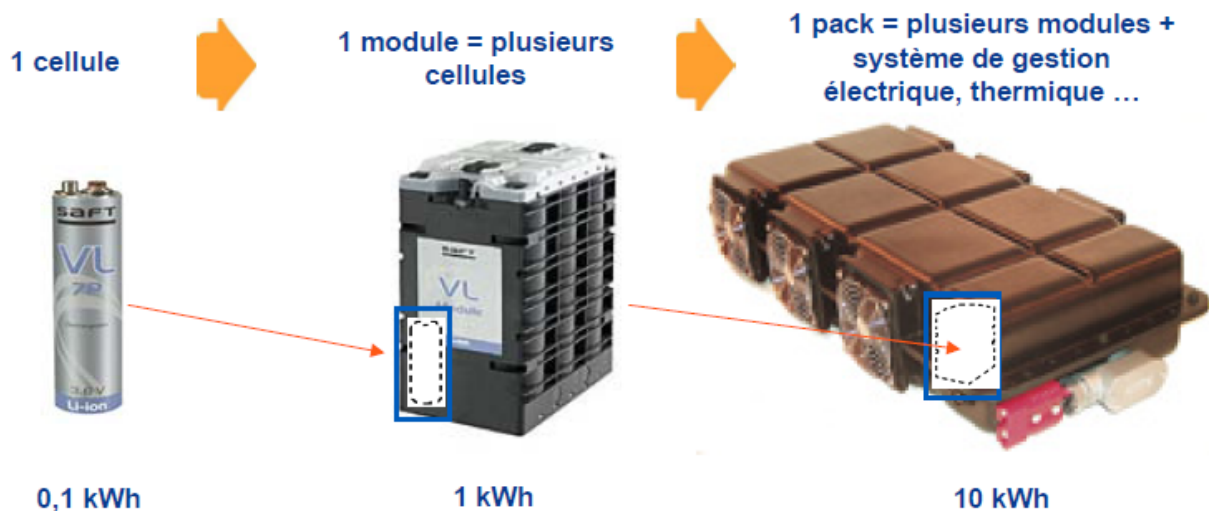
Les recherches sur les différentes chimies (Li-Ion ou autres) se poursuivent activement, notamment au sein du CEA et de l'IFP.

Le groupe Bolloré mise sur la technologie Lithium Métal Polymère (Blue Car, projet Autolib à Paris). Il envisage de réutiliser ses batteries LMP en fin de première vie dans des applications de secours, de stockage chez le particulier ou pour le stockage lié aux énergies renouvelables. Ceci en est seulement au stade de la réflexion.

6. Caractéristiques des batteries en début de vie

Un pack batterie pour un véhicule électrique ou hybride rechargeable est constitué d'éléments de base, les cellules, dotées de capteurs permettant leur gestion. Ces éléments sont regroupés dans des modules, dotés d'un premier niveau d'électronique de contrôle commande. Ils sont ensuite assemblés dans un pack, dont les dimensions sont spécifiques à chaque véhicule, qui est doté d'un système de gestion, le BMS (Battery Management System), spécifique lui aussi à chaque véhicule, qui pilote et surveille en permanence l'état de la batterie et de chaque élément qui la compose.

Figure 4 – Contenu d'un pack batterie



Source : Laurent Torcheux, EDF, Technologies batteries Lithium pour VE, 18 juin 2010.

Il convient de distinguer le « pack », simple assemblage de modules, du « système batterie » qui inclut le système de gestion (BMS), ce dernier n'étant pas nécessairement localisé dans le pack.

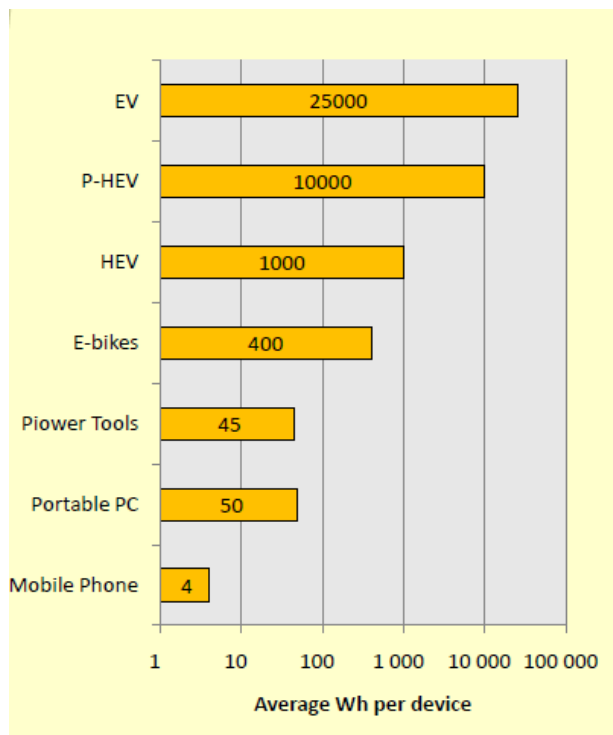
L'encadré ci-dessous présente deux exemples de caractéristiques d'un pack de batteries pour une automobile électrique (VE) et pour un véhicule hybride rechargeable (VHR).

Caractéristiques d'un pack automobile en début de vie		
	VE	VHR
Capacité	25 kWh	5 kWh
Puissance	80 kW	80 kW
Tension nominale	350 V	350 V
Poids	250 kg	150 kg

Source : synthèse de différents entretiens.

Les batteries destinées aux véhicules hybrides rechargeables (VHR, en anglais : P-HEV) ont une capacité plus faible que les batteries destinées aux véhicules électriques (VE, en anglais : EV) : typiquement 10 kWh contre 25 kWh⁷. Il faut également noter que les applications hybrides sont plus typées « puissance » alors que les batteries destinées aux véhicules électriques purs sont plus typées « énergie ».

Figure 5 – Capacités typiques (en Wh) des différents types de batteries Li-Ion



Source : Présentation Avicenne Développement, Conférence « Batteries 2010 », Cannes, 29 sept.-1^{er} oct. 2010.

Les fabricants de batteries peuvent fournir des packs dont les dimensions et les caractéristiques techniques répondent exactement aux cahiers des charges des constructeurs automobiles. Une approche modulaire, déjà utilisée pour certaines batteries destinées à des véhicules utilitaires, permettrait une standardisation et une baisse des coûts.

Les constructeurs automobiles, de leur côté, ne pensent pas qu'une standardisation soit possible. Tant au niveau de la chimie utilisée qu'à celui du BMS, les technologies développées sont « propriétaires » et les constructeurs ne sont pas prêts à les partager avec leurs concurrents⁸.

⁷ 1 kWh pour les véhicules hybrides (du type Toyota Prius) qui n'utilisent pas de batteries Li-Ion mais des batteries NiMH.

⁸ Ceci pourrait constituer un obstacle pour la seconde vie. Si pour un usage de seconde vie, on envisage la réutilisation du pack auto sans démontage, il conviendrait de reprogrammer le BMS. Les constructeurs ne sont pas prêts à « ouvrir » ce système : la seconde vie serait donc limitée aux seuls usages que contrôlerait le constructeur auto.

Figure 6 – Principales chimies des électrodes des batteries Li-Ion

Matériaux + (cathode)	Abréviation	
LiCoO_2	LCO	Cobalt
$\text{Li Ni}_{0,8} \text{Co}_{0,15} \text{Al}_{0,05} \text{O}_2$	NCA	Nickel cobalt aluminium
LiMn_2O_4	LMO	Manganèse
$\text{LiNi}_{1/3} \text{Mn}_{1/3} \text{Co}_{1/3} \text{O}_2$	NMC	Nickel manganèse cobalt
LiFePO_4	LFP	Phosphate de fer
Matériaux (-) Anodes		
Carbones (graphite/amorphe)	LiC6	Carbone
Titanates	LTO	Titanate
Oxydes/composés métalliques	Sn, SiC...	Autres

Source : Laurent Torcheux, EDF, Technologies batteries Lithium pour VE, 18 juin 2010.

Des écarts importants apparaissent sur les données de prix des batteries Li-Ion que ce soit dans la littérature ou parmi les personnes interrogées. Aujourd'hui, pour un pack complet le prix se situerait entre 500 €/kWh et 1 000 €/kWh. En 2020, ce prix pourrait avoir été divisé par 10 ou bien seulement par 2, pour atteindre une fourchette de 100 €/kWh à 250 €/kWh. De tels écarts entre les estimations de prix sont fréquents lorsque l'on évalue une technologie nouvelle, qui n'a pas atteint sa maturité industrielle. Ils rendent toutefois difficile le travail prospectif de cette étude.

Le point clé pour comprendre ces écarts importants dans les estimations est la concurrence entre les différentes chimies des batteries Li-Ion. Si par exemple les chimies les plus faciles à mettre en œuvre s'imposaient comme les plus performantes, les prix pourraient baisser beaucoup plus rapidement qu'avec d'autres chimies plus sophistiquées.

A un horizon de 10 ans, tous les experts rencontrés s'accordent à dire que la technologie Li-Ion restera dominante, mais avec des chimies, des tensions unitaires et des géométries différentes, ne permettant pas de mélanger les batteries d'origines différentes en fin de première vie. Au-delà de 2020, de nouvelles technologies apparaîtront peut-être : les chaînes de valorisation de seconde vie (reconditionnement) mises en place pour les batteries Li-Ion risqueraient alors de n'être plus adaptées.

7. Caractéristiques de fin de première vie des batteries

Au cours du temps en fonction de leur usages les performances des batteries se dégradent :

- Baisse de la capacité
- Baisse de la puissance
- Augmentation de la résistance interne.

La tension à vide ne change pas, même si la tension en décharge diminue et la tension en charge augmente du fait de l'augmentation de la résistance interne.

Les tests de vieillissement accéléré qui ont été réalisés en laboratoire portent sur le nombre de cycles charge-décharge que peut subir une batterie avant que ses performances ne se dégradent. Pour une batterie de type LiFePO₄-graphite, une perte de capacité de 20% apparaît entre 2 000 et 3 000 cycles d'une heure⁹, ce qui conduirait à calculer une durée de vie de 7 à 10 ans en supposant un usage quasi quotidien, avec 300 cycles par an. Cependant, une telle estimation est hasardeuse, car il n'existe aucun retour d'expérience réel sur les batteries Li-Ion pour la confirmer : les véhicules électriques service depuis quelques années utilisent d'autres types de batteries.

Il n'apparaît pas de consensus entre les experts sur la capacité résiduelle des batteries automobiles en fin de première vie : selon les personnes rencontrées, la fin de la première vie se situe à 80%, 75% ou 70% de la capacité initiale. La durée estimée par les différents interlocuteurs pour atteindre la fin de première vie varie également entre 5 ans et 10 ans avec 2 000 à 3 000 cycles de charge-décharge.

Tous les interlocuteurs conviennent que cette durée pour atteindre le seuil de fin de première vie sera très dispersée, car elle sera influencée par plusieurs facteurs, comme l'illustre le tableau ci-dessous.

Tableau 3 – Facteurs influant la durée de première vie des batteries

Facteur	Impact sur la durée de vie
Dispersion de fabrication	Allongement ou raccourcissement par rapport à la durée de vie prévue. Pas d'évaluation disponible sur l'ampleur de cette dispersion.
Chimie	Aucun retour d'expérience sur la durée de vie en fonction des chimies
Style de conduite	Un style « agressif » diminue la durée de vie, sans que l'on puisse évaluer quantitativement cette diminution
Mode de recharge	Des recharges rapides répétées diminuent la durée de vie, sans que l'on puisse évaluer quantitativement cette diminution
Profondeur des cycles	Des cycles profonds (avec des décharges complètes) diminuent la durée de vie, sans que l'on puisse évaluer quantitativement cette diminution
Usure calendaire	Elle existe, mais aucun retour d'expérience n'est disponible

Source : entretiens avec les experts

⁹ Tests publiés par Hydro Québec.

Un autre facteur d'incertitude apparaît si l'on prend en compte l'émergence éventuelle d'un marché de l'occasion des VE et des VHR : le propriétaire en seconde main d'un véhicule âgé de 2 ou 3 ans pourrait exiger une batterie neuve. Dans ce cas, des batteries en fin de première vie deviendraient disponibles pour une seconde vie ou pour recyclage, plus tôt, avec une plus faible dégradation de la capacité.

Un phénomène inverse se produirait, si les conducteurs qui n'ont pas besoin de l'autonomie nominale de leur véhicule, acceptaient en toute connaissance de cause de continuer à utiliser une batterie aux performances dégradées, soit pour reporter le coût de son renouvellement, soit pour bénéficier d'une location moins chère. Dans ce cas, les flux de batteries disponibles pour une seconde vie seraient réduits.

Selon les interlocuteurs, la perte de puissance varie plus lentement ou bien au même rythme que la capacité. Toutefois, tous les experts interrogés s'accordent à dire que la puissance étant largement dimensionnée, sa baisse ne sera pas le facteur déclenchant la fin de la première vie.

La baisse de capacité (et la baisse de puissance) sont liées à l'augmentation de la résistance interne de la batterie. Cette dernière impacta aussi le dégagement de chaleur (à la décharge comme à la recharge) : vers la fin de sa première vie, une batterie devra être plus refroidie qu'au début.

En ce qui concerne les véhicules hybrides rechargeables, la dégradation des performances de la batterie sera imperceptible pour l'utilisateur : le moteur thermique palliera aux défaillances de la batterie. Tout au plus, l'utilisateur pourra-t-il constater une augmentation progressive de la consommation de carburant. Selon toute probabilité, la politique des constructeurs de ce type de véhicule¹⁰ sera de faire durer la batterie autant que le véhicule lui-même (de 7 à 10 ans). La question du remplacement de la batterie ne se poserait que pour les véhicules utilisés au-delà de 10 ans.

Si l'on anticipe les questions relatives au reconditionnement, le point clé est l'homogénéité du vieillissement entre les cellules qui composent le pack batterie. Les fabricants de batteries admettent que certaines cellules pourraient avoir vieilli plus que d'autres et qu'un reconditionnement « profond », fait en triant les cellules individuellement, pourrait s'avérer nécessaire pour obtenir des batteries de seconde vie homogènes et performantes. La plupart des autres personnes interrogées affirment au contraire que la gestion intelligente du pack de batteries par le BMS conduira à l'homogénéité des cellules et des modules d'un pack et qu'ainsi le reconditionnement ne nécessitera pas le démontage complet du pack.

¹⁰ Qui n'existent pas encore à échelle industrielle.

8. Usages possibles en seconde vie

8.1. Vue d'ensemble

Une première liste des usages possibles préparée par Schwartz and Co a été présentée aux différents interlocuteurs (Cf. tableau ci-dessous). Cinq autres usages de batteries de seconde vie ont été suggérés au cours des entretiens :

- Pour la SNCF afin de limiter la puissance souscrite auprès de RTE dans ses sous-stations
- Pour ERDF, en remplacement des groupes électrogènes utilisés en cas de coupure programmée ou accidentelle. ERDF utilise chaque jour en France 10 à 30 groupes d'une puissance variant entre 50 kVA et 500 kVA, ce qui correspond à un parc de l'ordre de 200 à 300 groupes, susceptibles d'être remplacés par des systèmes mobiles batteries/onduleurs
- Pour les producteurs d'électricité et les gestionnaires de réseaux, pour l'alimentation des auxiliaires dans les centrales, les stations et sous-stations
- Dans les réseaux des DOM-TOM, comme centrales de secours. En effet ces réseaux sont souvent alimentés par des centrales de relativement grande taille et la panne d'une seule de ces centrales entraîne des coupures
- Pour le dépannage des véhicules électriques à court d'électricité, sous la forme de « Stations de recharge mobiles ». Un projet est envisagé en Suisse, où Nation-E, a mis au point une borne de recharge mobile. Embarqué à l'arrière d'une camionnette, le dispositif peut être transporté afin de secourir les possesseurs de véhicules électriques. La durée d'une recharge permettant de parcourir 30 kilomètres serait de 15 minutes. Toutefois, il semble nécessaire que le véhicule soit équipé du même système de gestion de la batterie que celui proposé par Nation-E.

Le tableau ci-dessous synthétise les analyses présentées par les différentes personnes interrogées sur les usages possibles en seconde vie.

Tableau 4 – Pertinence des usages de seconde vie

Usage seconde vie	Pertinence	Commentaire
Usages mobiles		
1. Véhicules automobiles électriques vendus avec une plus faible autonomie (notion de véhicules low cost)	Non	Non : on ne vend pas un véhicule neuf avec une pièce essentielle d'occasion
1. Bis Véhicules électriques d'occasion	Non	Au contraire, s'il se développe un marché de l'occasion, les propriétaires en seconde main pourraient exiger une batterie neuve.
2. Véhicules électriques poursuivant leur utilisation avec une batterie aux performances dégradées	<input checked="" type="checkbox"/>	Hypothèse plausible aussi bien pour le modèle avec location de batterie (location moins chère) que le modèle avec achat de la batterie (la batterie continue de répondre aux besoins)

Usage seconde vie	Pertinence	Commentaire
3. Utilisation en « quick drop » (changement rapide de batteries dans une station-service)	Non	Personne n'imagine le développement de ce modèle en France. En outre, il n'y aurait pas de demande pour des batteries aux performances dégradées.
4. Station de recharge mobile pour véhicules en panne	?	Il existe un projet en Suisse. La compatibilité entre batteries n'est pas évidente.
5. Véhicules utilitaires moins exigeants en termes de rapport poids/autonomie	Non	Les utilitaires ont besoin de la plus grande autonomie possible et il n'est pas possible de rogner sur la charge utile
6. Véhicules de type chariots élévateurs	<input checked="" type="checkbox"/>	Si compétitif avec les batteries au plomb et adaptation possible (forme, poids, tension)
7. Deux roues électriques (scooters, vélos) et voiturettes sans permis	Non	Cellules de dimensions incompatibles pour les vélos Anticipation de difficultés de reconditionnement pour les scooters et les voiturettes
8. Autobus électriques	Non	Les bus ont besoin de la plus grande autonomie possible et il n'est pas possible de rogner sur la charge utile
9. Bateaux électriques	Non	Très difficile en retrofit et concurrence avec les batteries au plomb en première monte Marché étroit, sauf si une réglementation imposait l'entrée et la sortie des ports avec zéro émission
Usages stationnaires réseau		
1. Lissage de la charge sur le réseau dans les stations de recharge rapide	Non	La recharge rapide restera marginale Les stations de recharge rapide seront alimentées en MT (qui peut absorber les à-coups de la demande)
2. Lissage des injections sur le réseau d'une installation éolienne	Non <input checked="" type="checkbox"/>	Les éoliennes sont connectées en MT (qui peut absorber les à-coups de la demande) Oui, dans les DOM-TOM : réseau fragile Oui, pour des micro-installations en bout de ligne BT
3. Lissage des injections sur le réseau d'une installation photovoltaïque	Non <input checked="" type="checkbox"/>	Techniquement utile pour le PV diffus connecté en BT, mais l'obligation de rachat avec un tarif monôme exclut cet usage au moins pour la durée des contrats Oui, dans les DOM-TOM : réseau fragile Oui, pour des petites installations en bout de ligne BT
4. Ecrêtage de la demande d'électricité pour les usages domestiques individuels ou collectifs (smart grids)	Non <input checked="" type="checkbox"/>	En Europe, non (cela a un sens aux USA où les réseaux sont fragiles) Oui, dans les DOM-TOM : réseaux fragiles
5. Alimentations électriques sans coupure : hôpitaux, télécommunications, centres de traitement informatique, ...	<input checked="" type="checkbox"/>	Si compétitif avec les batteries au plomb, utilisées aujourd'hui
6. Lissage de la pointe dans les sous-stations SNCF	<input checked="" type="checkbox"/>	Pour limiter la puissance souscrite au passage des trains en phase d'accélération
7. Remplacement des groupes électrogènes utilisés par ERDF	<input checked="" type="checkbox"/>	Ces groupes sont utilisés en cas de panne ou de travaux pour limiter les coupures
8. Alimentation des auxiliaires dans les centrales électriques, les stations et les sous-stations des réseaux	<input checked="" type="checkbox"/>	Si compétitif avec les batteries au plomb, utilisées aujourd'hui

Usage seconde vie	Pertinence	Commentaire
9. Centrales de secours dans les DOM-TOM	?	Si la logistique est possible (faire venir d'importantes quantités de batteries de seconde vie depuis la métropole)
Usages stationnaires isolés		
1. Stockage de l'énergie d'une installation éolienne isolée	<input checked="" type="checkbox"/>	Si compétitif avec les batteries au plomb, utilisées aujourd'hui
2. Stockage de l'énergie d'une installation photovoltaïque isolée	<input checked="" type="checkbox"/>	
3. Installation isolée autonome sur batterie	<input checked="" type="checkbox"/>	

8.2. Marchés existants

Les marchés et/ou les niches existants aujourd'hui pour les batteries utilisent des batteries industrielles au plomb :

- Chariots élévateurs ou transpalette,
- Alimentations sans coupure,
- Alimentation de secours des auxiliaires dans les centrales électriques, les stations et les sous-stations des réseaux électriques,
- Stockage de l'énergie pour des installations isolées d'énergies renouvelables ou bien en remplacement de groupes électrogènes¹¹.

Pour ces usages, les batteries de seconde vie présentent des avantages par rapport aux batteries au plomb qui sont disponibles aujourd'hui. Par exemple :

- Une meilleure durée de vie que les batteries au plomb et l'absence d'entretien : même sans décharge dans une installation de secours, une batterie plomb doit être remplacée tous les 3 ans. On peut anticiper qu'une batterie Li-Ion de seconde vie aurait une durée de vie de 4 ou 5 ans,
- Une ventilation moins exigeante : pas de dégagement d'hydrogène et d'oxygène en fin de charge.

¹¹ Dans ce dernier cas, les batteries doivent pouvoir être déplacées facilement jusqu'à un point de recharge.

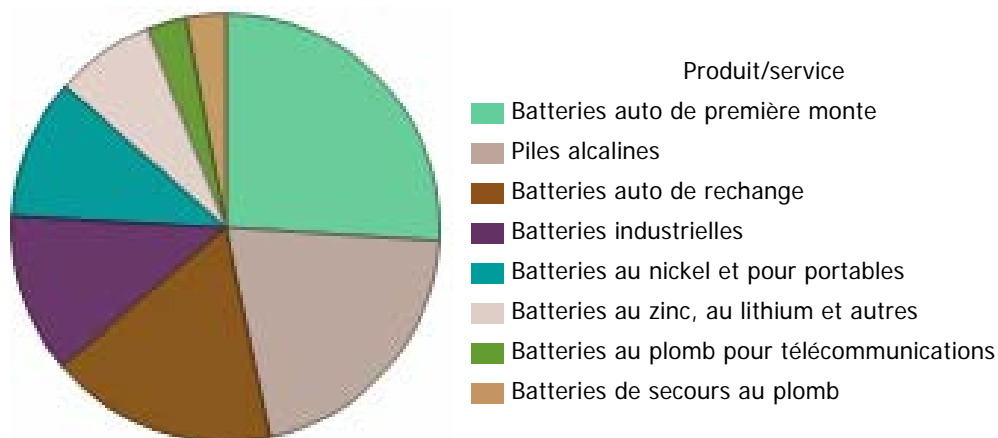
Tableau 5 – Comparaison des performances techniques des batteries au plomb et Li-Ion

Type	Energie massique (Wh/kg)	Tension d'un élément (V)	Puissance de pointe (W/kg)	Durée de vie (nombre de recharges)	Autodécharge par mois
Plomb/acide	40	2,25	700	500	5 %
Li-Ion	160	3,6 à 4,2	1 500	> 1 000	De l'ordre de 1 %

Sources : 1. *Virginie SCHWARZ (CM93) Directrice opérationnelle déléguée Energie, Air, Bruit – ADEME, Bernard GINDROZ Chef du département Industrie Agriculture – ADEME, LE STOCKAGE ELECTROCHIMIQUE, Dossier Stockage de l'Energie, MINES-ENERGIE Janvier-Février 2005.*

2. *Informations actualisées avec l'aide de Frédérique Del Corso, Renault, Direction de la Recherche, des Etudes Avancées et Matériaux*

Figure 7 – Marché des batteries aux USA



Source : IBISworld (mars 2011)

Les termes de la concurrence Plomb / Li-Ion seconde vie pourraient toutefois être modifiés dans les prochaines années :

- Les techniques de régénération, qui se généralisent, permettent d'augmenter la durée de vie des batteries au plomb,
- Si les batteries de démarrage et les batteries utilisées en floating (secours) ont fait beaucoup de progrès ces dernières années, les batteries au plomb utilisées en cyclage étaient restées peu performantes. Des recherches sont en cours aux Etats-Unis, par exemple sur des « VRLA » (Valve Regulated Lead Acid batteries, batteries sans entretien) testées dans des véhicules hybrides¹². Ces recherches pourraient déboucher sur des progrès significatifs et réduire l'avantage des batteries Li-Ion sur les batteries au plomb.

La concurrence se jouera également au niveau de prix : à capacité égale une batterie industrielle au plomb coûte aujourd'hui entre 100 €/kWh et 200 €/kWh, contre 500 €/kWh à 1 000 €/kWh pour une batterie Li-Ion neuve.

¹² Source : Advanced Lead Acid Battery Consortium.

Les contraintes d'utilisation pour ces usages existants sont différentes :

- Pour les chariots élévateurs ou transpalettes, le stockage de l'énergie pour des installations isolées d'énergies renouvelables ou bien en remplacement de groupes électrogènes, les conditions d'utilisation seront proches de celles de la première vie et la dégradation progressive des performances de la batterie en seconde vie suivrait les mêmes tendances.
- Pour les alimentations sans coupure et de secours des auxiliaires dans les centrales électriques, les stations et les sous-stations des réseaux électriques, les conditions d'utilisation impliqueraient le maintien en charge permanente des batteries (floating). La majorité des experts rencontrés estiment que les performances se dégraderont moins vite que dans le cas précédent¹³.

8.3. Usages mobiles

Les constructeurs automobiles, quel que soit le modèle économique choisi pour la batterie (batterie louée ou achetée), pensent que celles-ci resteront utilisées dans les véhicules électriques bien en deçà d'une capacité réduite à 80% ou 70% de la capacité initiale : la seconde vie ne serait alors que la poursuite de la première vie. En effet l'autonomie de 150 km est supérieure à la distance moyenne parcourue (de l'ordre de 50 km¹⁴). Le client ne s'apercevra donc pas de la dégradation de l'autonomie et, lorsqu'il en sera averti, pourra décider de conserver sa batterie. On peut donc penser qu'une part notable des flux théoriques de batteries de seconde vie ne se concrétiseront pas, certains clients conservant leur batterie « jusqu'au bout ». Dans le modèle avec location de la batterie, l'entité chargée de la location proposera un tarif de location mensuel réduit pour des batteries aux performances dégradées et une partie des clients choisiront cette option. Ce qui renforce encore cette analyse est le pronostic fait par plusieurs experts interrogés : le véhicule, dans son ensemble, se dégradera aussi vite voire plus vite que la batterie.

Les experts rencontrés mentionnent toutefois une capacité résiduelle de 60% ou 50% comme un ordre de grandeur de fin de vie ultime : au-delà le risque d'une dégradation très brutale de la batterie (panne brutale) serait très élevé.

Pour les véhicules hybrides rechargeables, le même raisonnement s'applique d'autant mieux que la dégradation des performances de la batterie sera pallié automatiquement par le moteur thermique et ne sera pas perceptible par l'utilisateur.

Les flux réels de batteries disponibles pour la seconde vie seraient donc inférieurs aux flux théoriques de batteries qui auront atteint les seuils de fin de première vie.

Les usages de batteries de seconde vie pour les véhicules utilitaires paraissent peu prometteurs : ceux-ci ont avant tout des contraintes d'autonomie et de poids (pour ne pas dégrader la charge utile) : on préférera toujours des batteries neuves. Il en va de même pour les bus.

¹³ Quelques experts, au contraire, affirment que les batteries auto, conçues pour un usage spécifique, se dégraderaient plus vite dans d'autres conditions d'utilisation que celles pour lesquelles elles ont été conçues.

¹⁴ Source : La mobilité des Français, Panorama issu de l'enquête nationale transports et déplacements 2008, Commissariat Général au Développement Durable, Décembre 2010.

Les vélos électriques utilisent des batteries peu coûteuses (et peu performantes) dont les éléments ont une chimie et une géométrie différentes : le reconditionnement ne serait probablement pas possible.

Les batteries des scooters électriques mis aujourd'hui sur le marché sont de même conception que les batteries auto : par exemple 2 modules standard pour 48 V (12 cellules en série), 2 kWh, 3 kW et 17 kg. Toutefois l'utilisation des batteries auto de seconde vie pour ces scooters apparaît peu probable :

- Le coût du reconditionnement : sortir le ou les modules et ajouter un nouveau BMS, serait élevé,
- Il serait nécessaire d'utiliser des modules provenant du même fabricant que la batterie initiale (les tensions et les formes des modules des autres fabricants ne sont pas compatibles et le BMS est adaptée à une certaine chimie),
- Il serait plus aisé d'utiliser des batteries de seconde vie de scooters qui, par définition, seraient déjà adaptées à l'utilisation.

Pour les petits véhicules électriques (voiturettes sans permis), l'utilisation de batteries automobiles de seconde vie apparaît également difficile :

- Les tensions (48V au lieu de 300V) sont différentes et impliqueraient un reconditionnement coûteux,
- Une batterie de seconde vie augmenterait le poids et poserait des problèmes pour l'homologation du véhicule.

En outre, les volumes de vente de ces voiturettes en feraient un marché de niche.

Les bateaux électriques deviendraient un véritable marché pour les batteries si une réglementation imposant zéro émission à l'entrée et à la sortie des ports était mise en vigueur. L'Association Française du Bateau Electrique ne croit pas en la faisabilité d'une telle réglementation à court et moyen terme. Pour l'instant, il existe 3 000 à 4 000 bateaux de plaisance électriques et il s'en vend 300 à 400 par an. Les batteries de seconde vie se retrouveraient en concurrence avec les batteries au plomb, considérées comme bien adaptées pour cet usage. Le remplacement des batteries au plomb en retrofit n'est guère envisageable étant donné les coûts d'adaptation sur le bateau.

Pour tous ces usages mobiles, les conditions d'utilisation seraient identiques à celles de la première vie et la dégradation progressive des performances de la batterie en seconde vie suivrait les mêmes tendances.

8.4. Usages stationnaires

Les usages stationnaires apparaissent intéressants, d'autant plus qu'ils seraient moins contraignants pour les batteries que les usages automobiles : on aurait besoin d'une puissance instantanée limitée¹⁵ et les cycles de charge-décharge seraient généralement peu profonds, ce qui pourrait prolonger la durée de seconde vie.

Du côté des producteurs d'électricité, pour les usages stationnaires réseaux liés au développement des énergies renouvelables, le marché n'existe pas en France aujourd'hui et n'existera pas tant qu'il y aura des tarifs de rachat élevés et « plats » (qui ne tiennent pas compte des heures de pointe et des heures creuses). Si ces tarifs de rachat disparaissaient ou faisaient apparaître des variations horosaisonnnières, la viabilité de stockages devrait être réévaluée : la concurrence avec les batteries au plomb apparaîtrait à nouveau.

Les usages stationnaires liés à la stabilité des réseaux électriques (services système) feraient appel aux capacités des batteries à délivrer rapidement une forte puissance. Toutefois la situation est très différente en Europe et aux Etats Unis : le réseau de toute la « plaque » européenne est interconnecté. Par effet de foisonnement, il est stable. En France, les services systèmes nécessaires (stabilité de la fréquence, limitation des variations de la tension) sont rendus par un très large parc nucléaire, thermique et hydraulique, capable « d'encaisser » sans problème une part croissante de variabilité liée aux énergies renouvelables. Seules exceptions :

- Les installations photovoltaïques ou les mini installations éoliennes situées en fin de réseau de distribution basse tension (BT), qui seraient susceptibles de faire monter la tension dans ce réseau BT au-delà de la plage acceptable. Dans ce cas, un stockage pourrait s'avérer nécessaire,
- Les stockages réseau dans les DOM-TOM pour l'écrêtage de la demande et/ou le lissage des injections des énergies renouvelables. On se trouve en effet dans le même cas que celui des petits réseaux aux Etats-Unis et l'utilisation de batteries de seconde vie pourrait s'avérer intéressante. Toutefois les flux locaux de batteries en fin de première seraient insuffisants et il serait nécessaire de faire venir les batteries depuis la métropole, avec des coûts de transport importants.

Certains membres du Groupe de Travail restent toutefois convaincus que la disparition à terme des tarifs préférentiels de rachat des énergies renouvelables poussera les producteurs à stocker leur production pour la vendre durant les périodes où elles sont mieux rémunérées et que le stockage chimique pour la fourniture d'électricité aux heures de pointe (notamment par écrêtage de la demande) serait moins polluant que l'utilisation de centrales de pointe, ce qui permettra le développement de ces usages y compris en France métropolitaine.

¹⁵ Sauf pour les services système qui demandent une forte puissance instantanée.

9. Recyclage

La question de la « valeur » des batteries en fin de vie ultime doit être posée : si cette valeur était élevée, le recyclage pourrait constituer une alternative à la seconde vie. Or, la valeur des produits (métaux, produits chimiques) récupérés est inférieure aux coûts de recyclage. Il est donc probable que l'étape ultime de recyclage reste un coût et ne puisse pas avoir un impact favorable sur la chaîne de valeur des batteries pour en diminuer le coût initial.

Le recyclage des batteries Li-Ion fait l'objet de nombreux travaux de R&D.

Tableau 6 – Exemples de travaux de R&D en cours

Entreprise	Projet R&D
Récupyl	2 projets européens (AMELIE et SOBAMAT) visant à développer des procédés hydrométallurgiques « variantes » pour traiter les deux ou trois « chimies » de batteries électriques automobiles en concurrence
E.D.I	Développement d'un procédé hydrométallurgique pour les batteries de 1ère génération (Li-Ion et Ni/Mn/Co)
SNAM	Démarche « test » avec plusieurs constructeurs automobiles (Cf. infra, page 51)
Umicore	Développement d'un procédé pour l'extraction du Li des scories issues du procédé pyrométallurgique

9.1. Technologies de recyclage

Deux grandes voies de recyclage se développent en parallèle : la pyrométallurgie et l'hydrométallurgie.

9.1.1. Pyrométallurgie

Les principales étapes sont les suivantes :

- Pré-broyage et tri
- Fusion à haute température (la combustion de la phase organique fournit une partie de l'énergie nécessaire)
- Affinage de la fraction métallique.

Umicore doit démarrer, en mai 2011, une installation pyrométallurgique d'une capacité de traitement de 7 000 tonnes/an, à Hoboken près d'Anvers. Umicore évalue le flux total actuel des batteries Li-Ion pour VE et VH à moins de 2000 tonnes/an au plan européen. Pendant les premières années, Umicore compte beaucoup sur les flux de déchets de production et sur les retours de batteries défectueuses ou accidentées.

Le bilan énergétique est presque neutre grâce à l'apport de la combustion des plastiques. Les émissions de CO₂ sont importantes : 450 kg CO₂/tonne de batterie. Pour 1 tonne de batteries traitées, le procédé pyrométallurgique requiert en outre quelques centaines de kg d'additifs, dont l'impact environnemental reste à évaluer.

9.1.2. Hydrométallurgie

Les principales étapes sont les suivantes :

- Broyage et de tri : étape préalable pour séparer et valoriser les éléments organiques des éléments métalliques. Les plastiques « externes » des batteries sont séparés lors de la phase de déconstruction et sont vendus pour être traités / recyclés par un prestataire spécialisé
- Mise en solution des métaux (lixiviation). Selon la nature de la phase à traiter, la lixiviation est réalisée soit à l'aide d'un acide, soit d'une base avec au besoin l'ajout d'un oxydant. Les métaux en solution apparaissent sous forme ionique
- Traitement du concentré non-ferreux qui en résulte
- Purification des impuretés notamment les métaux lourds
- Séparation sélective des différents sels de métaux majoritaires.

Les phases de séparation et de purification sont réalisées par des techniques de cémentation ou de précipitation. Le choix de l'une ou l'autre de ces techniques est conditionné par l'élément à séparer, sa quantité et le procédé chimique utilisé.

Une fois que les différents sels métalliques sont séparés, une phase ultérieure d'affinage est nécessaire. Elle sera réalisée par des mini métallurgies. Les teneurs en métal dans les sels à l'issue du procédé par hydrométallurgie sont à priori suffisantes pour procéder à cet affinage.

En France, Récupyl envisage de démarrer en 2012 une unité hydrométallurgique à Pont de Claix près de Grenoble. Récupyl participe également à 2 projets européens (AMELIE et SOBAMAT) visant à développer des « variantes » hydrométallurgiques pour traiter les différentes chimies des batteries automobiles.

L'impact environnemental de ce procédé est faible en termes d'émissions de CO₂ (utilisation exclusive d'énergie électrique). Par contre, pour 1 tonne de batteries traitées, il faut ajouter jusqu'à 10 fois le poids des batteries sous la forme d'acides pour former les sels et il apparaît de émissions importantes de fluor (contenu dans les solvants).

Tableau 7 – Comparaison des 2 procédés

	Procédé hydrométallurgique	Procédé pyrométallurgique
Le procédé peut-il traiter en mélange les différents types de batteries au lithium ?	Non	Oui (pas de tri préalable) Le procédé est identique pour les batteries Li-Ion légères et pour les batteries automobiles
Le lithium récupéré est-il réutilisable pour la fabrication de nouvelles batteries Li-Ion ?	Oui	Non, pas pour l'instant, car le Li se retrouve dans les scories. Il existe des débouchés BTP : le lithium améliore la qualité du béton Umicore développe parallèlement un procédé d'extraction du lithium des scories
Points forts	Possibilité de faire des unités industrielles à partir de 600 tonnes/an Permet d'obtenir des degrés de pureté des métaux élevés Il est peu énergivore car le recyclage se fait à température inférieure à 0°C Empreinte carbone faible Coût de production plus faible que le procédé pyrométallurgique (à confirmer). Pas d'émissions de dioxines Permet de valoriser le zinc, le manganèse, le cobalt, le lithium, le nickel Taux de recyclage élevé (selon l'entreprise).	La capacité élevée permet des économies d'échelle
Points faibles	On ne sait pas dans quelle mesure les batteries de 2 ^{ème} génération - Li/phosphate de fer ou autres technologies - modifieront en profondeur le contexte du recyclage. Il faudra probablement adapter la phase d'hydrométallurgie Carbone insoluble (graphite) en quantité significative sous la forme de résidu ultime Le procédé hydrométallurgique nécessite un tri en amont par catégories de batteries plus fin que le procédé pyrométallurgique, ce qui entraîne des coûts supplémentaires	Nécessité d'un affinage ultérieur des métaux (coûteux)

9.2. Aspects économiques

Plus le prix du lithium sera élevé, plus les filières de recyclage seront rentables. Or ce cours est très fluctuant : il est passé de 40 000 \$/tonne en 2007 à 8 000\$/tonne quelques mois plus tard et à 6 000 \$/tonne fin 2010.

Le coût « brut » du recyclage (hors revente des produits recyclés) serait de 1 000 \$/tonne à 2 000 \$/tonne de batterie, avec une diminution progressive jusqu'à 300 \$/tonne à moyen terme.

Le recyclage du lithium n'est pas suffisant pour assurer la rentabilité du recyclage, compte tenu de la faible teneur en lithium des batteries et de son prix bas.

Une batterie contenant 3% de lithium (valeur moyenne avec les technologies actuelles) permettrait la revente de moins de 30 kg de lithium par tonne de batterie recyclée¹⁶, soit au cours du lithium fin 2010 : moins de 180 \$ et au cours de 2007 : moins de 1200 \$. Avec le cours du lithium atteint en 2007, le recyclage pourrait approcher un équilibre économique. Toutefois, les experts rencontrés estiment tous qu'un tel niveau de prix du lithium n'est pas une tendance réaliste à 10 ans, même si des mouvements spéculatifs à court terme resteront toujours possibles. Les ressources disponibles permettent d'écartier tout risque de pénurie physique de lithium à moyen terme.

L'un des enjeux clés des développements actuels est donc de valoriser au mieux le cobalt, le nickel et le manganèse qu'elles contiennent. Toutefois les recherches sur les chimies des batteries visent, entre autres, à diminuer la part de ces matériaux, les plus chers.

Dans tous les cas, il apparaît probable que la valeur économique des batteries en fin de vie restera négative.

9.3. Recyclage : deux schémas d'organisation logistique

9.3.1. Schéma « recyclage centralisé »

L'approche envisagée par la société Umicore pour le transport, le tri et la seconde vie/le recyclage des batteries en fin de première vie est la suivante : après démontage dans des garages spécialisés, les batteries sont acheminées vers des plateformes de démantèlement (PTF), où sera effectué un diagnostic spécifique : tri des batteries/des modules réutilisables en seconde vie, ou à recycler. Les batteries à recycler seront débarrassées de leurs BMS et de leurs enveloppes plastiques ou métalliques, soit environ 30% du poids total. Plusieurs PTF de ce type sont prévues en Europe. Les modules non réutilisables seront ensuite acheminés vers l'usine Umicore d'Hoboken, qui centraliserait les flux venant de toute l'Europe. Umicore souhaiterait installer une usine en Europe, une en Amérique du Nord et une au Japon. Seul le projet européen se concrétise aujourd'hui.

¹⁶ Le rendement de récupération du lithium quel que soit le procédé de recyclage est inférieur à 100%.

Le coût de transport du garage au centre de collecte est estimé à 50 € - 200 €/batterie, ce qui est loin d'être négligeable par rapport au coût du recyclage. Ce coût sera particulièrement élevé au début, lorsque les flux seront faibles et dispersés.

L'idée d'Umicore est de créer un « business model » tripartite : Constructeurs automobiles – Utilisateurs en seconde vie¹⁷ - Recycleurs, sachant qu'aucun des trois profils ne possède à lui seul la compétence globale.

Dans le cadre d'une approche recyclage optimisée, Umicore insiste sur le fait qu'il serait essentiel d'éviter les applications seconde vie trop dispersées, en évitant en particulier des applications telles que l'alimentation de bateaux de plaisance, les petites installations éoliennes autonomes ou les fermes solaires. Une dispersion élevée des flux de batteries en fin de seconde vie se traduirait par des coûts de collecte de cas batteries élevés. En concentrant géographiquement les applications sur un nombre restreint de lieux, on optimisera à la fois au plan des coûts de transport et du taux de récupération des batteries (minimisation des risques de pollution liés à des déchets sauvages).

9.3.2. Schéma « recyclage décentralisé »

La société Récupyl propose un schéma dans lequel les recycleurs « vont vers les batteries » avec des unités plus petites à proximité des centres de collecte. Pour Récupyl, la filière hydrométallurgique rend possible cette option, car les installations de recyclage peuvent être suffisamment petites et flexibles : une capacité de 600 t/an est envisageable en outre l'installation ne doit pas nécessairement fonctionner en continu, contrairement à la pyrométallurgie.

¹⁷ Umicore pense en particulier à des usages liés aux « smart grids ».

10. Contraintes pesant sur le développement de la seconde vie

10.1. Réglementation, responsabilité, habilitations

La « traçabilité » des batteries soulève plusieurs questions :

- Qui est propriétaire et qui a la responsabilité (au sens de la REP) de la valorisation des batteries usagées en fin de seconde vie : l'importateur/le constructeur du véhicule automobile, le fabricant de batteries, l'utilisateur de la batterie en seconde vie ?
- En cas de recyclage déficient, qui sera responsable ?
- Comment éviter l'apparition de déchets sauvages du fait de détenteurs peu scrupuleux de batteries de seconde vie ?
- Comment éviter l'apparition de filières illégales de « trading » des batteries de seconde vie, pour les batteries riches en métaux coûteux ?

Selon la directive 2006/66/CE Batteries, la personne physique ou morale qui met sur le marché une batterie, et ceci s'applique aux batteries pour véhicules électriques et hybrides rechargeables, est responsable sur toute la durée de vie de cette batterie. En l'occurrence, c'est le constructeur automobile qui est considéré comme « producteur¹⁸ », puisque la batterie est installée dans le véhicule au moment où le client en prend livraison. Si le constructeur automobile gérait directement les usages de seconde vie, il n'y aurait pas de solution de continuité. Mais cette gestion des usages de seconde vie n'est pas son métier et le constructeur automobile, sauf s'il décidait d'une diversification dans un usage de seconde vie.

Le constructeur automobile apparaît donc responsable de la batterie, même dans la seconde vie comme il est responsable du coût éventuel de broyage d'un véhicule hors d'usage (réglementation VHU). Le producteur de la batterie doit financer tous les coûts découlant de la collecte, du traitement et du recyclage de tous les déchets des piles ou des accumulateurs et reste responsable de la batterie même si elle est vendue à un autre professionnel, pour recyclage et réutilisation de certains composants ou réutilisation directe.

Toutefois, en cas de reconditionnement profond (la batterie n'est plus fonctionnelle, d'où démontage complet et tri jusqu'au niveau de la cellule), c'est le reconditionneur, s'il l'accepte par écrit, qui devient producteur de la nouvelle batterie : le cycle redémarre. Si le reconditionnement est moins profond et laisse la batterie fonctionnelle : nettoyage, opération de faible envergure comme une reprogrammation du BMS, le producteur initial conserve sa responsabilité.

Les interventions sur les batteries, que ce soit dans le cadre de l'entretien automobile « courant » ou dans le cadre d'un reconditionnement ou du recyclage des batteries, imposent que le personnel concerné par ses interventions soit habilité au travail sous tension. Le niveau de ces habilitations, délivrées après une formation délivrée par un organisme agréé, dépendra du type de tâche réalisée et du type de personnel concerné.

¹⁸ Selon la définition du « producteur » à l'article 3 (12) de la directive 2006/66/CE Batteries, le producteur est la personne physique ou morale d'un État membre qui fournit ou met à la disposition d'un tiers des piles ou des accumulateurs (y compris ceux qui sont intégrés dans des appareils ou des véhicules) dans le territoire de cet État membre pour la première fois sur une base professionnelle. Cette définition s'applique indépendamment de la technique de vente utilisée et indépendamment du fait que les piles sont mises à disposition à titre onéreux ou gratuit.

Pour le recyclage et la réutilisation de certains composants, les opérations doivent être réalisées par des professionnels dans des installations autorisées. La directive européenne sur les piles et accumulateurs impose des rendements de recyclage d'au minimum 75% pour les accumulateurs contenant du cadmium, 65% pour les accumulateurs au plomb et 50% pour les autres types de piles et accumulateurs.

Au-delà du strict aspect réglementaire, les constructeurs automobiles souhaiteront confier les batteries pour une seconde vie à des entreprises (reconditionneurs et usagers) de bonne réputation technique. Ils considèrent que leur image de marque serait entachée en cas d'accident lié à un mauvais reconditionnement ou une mauvaise utilisation d'une de leurs batteries en seconde vie.

10.2. Fiabilité des batteries en seconde vie.

Tout comme les batteries au plomb, les batteries Li-Ion ayant fait l'objet d'une utilisation intensive pourraient parfois « tomber en panne » brutalement (on a observé ce problème pour les batteries de téléphones mobiles et d'ordinateurs portables). Si un élément s'arrête de fournir du courant, il peut se produire un processus en « cascade » sur les autres éléments de la batterie, conduisant à un effondrement rapide des performances.

On ne dispose ni du recul ni de l'expérience suffisants pour anticiper ce comportement, même si la plupart des experts pensent qu'à la suite d'une utilisation équivalente, le risque de panne brutale d'une batterie usagée est plus faible avec la technologie Li-Ion qu'avec la technologie plomb.

10.3. Reconditionnement

Les analyses recueillies sur ce thème soulèvent deux séries de questions qui devront être résolues :

- Les batteries seront de forme et de chimie différents selon les constructeurs et les modèles de véhicules. En outre, les BMS seront « fermés » (non modifiables par un tiers). Il sera donc impossible de « mixer » au reconditionnement des batteries provenant de plusieurs constructeurs, voire pour un même constructeur de plusieurs modèles. Ceci imposera un reconditionnement « trié » par constructeur et par modèle de véhicule.
- Si le vieillissement des éléments d'une batterie était homogène, le reconditionnement le plus simple serait possible : une simple reprogrammation du BMS et l'utilisation de la batterie dans son pack d'origine. Le reconditionnement le plus complexe supposerait un démontage complet jusqu'au niveau de la cellule, un tri des cellules homogènes et la reconstruction d'une batterie avec un nouveau BMS. Le coût de cette opération serait élevé, proche de celui de l'assemblage d'une batterie neuve. Entre les deux, c'est à un re-packaging de la batterie que l'on assisterait la plus souvent : les modules (comprenant plusieurs cellules) ne seraient pas démontés mais réassemblés dans de nouveaux packs compatibles avec les usages seconde vie : racks pour les usages stationnaires, packs pour les usages mobiles. La question de la réutilisation de la BMS se poserait au cas par cas.

Les fabricants de batteries et/ou les constructeurs automobiles détiennent les savoir-faire et apparaissent, au moins dans un premier temps, comme les plus à même de réaliser ces différents types de reconditionnement au meilleur coût.

10.4. Valeur des batteries en fin de première vie

Deux approches peuvent être utilisées pour déterminer la valeur d'une batterie Li-Ion au seuil de sa seconde vie :

- En premier lieu, compte tenu des opportunités de substitution aux batteries au plomb, la batterie Li-Ion de seconde vie pourrait avoir la même valeur que la batterie au plomb neuve qu'elle remplace : entre 100 €/kWh et 200 €/kWh¹⁹ aujourd'hui,
- Pour des usages stationnaires de lissage de la demande ou des injections sur le réseau d'énergies renouvelables, la méthodologie pourrait être de calculer l'aptitude à « acheter » de l'électricité sur le marché de gros aux heures hors pointe (off-peak) et à la « vendre » aux heures de pointe (peak). La différence de prix sur le marché de gros franco-allemand est aujourd'hui de l'ordre de 25 €/MWh. Cette méthode de valorisation des batteries suppose une complète transparence et fluidité des marchés de l'électricité. En supposant un fonctionnement 12h par jour durant 300 jours par an, on arriverait à une valeur de la batterie de 90 €/kWh.

La première méthode conduit à une meilleure valorisation des batteries de seconde vie.

¹⁹ A comparer avec la fourchette de prix pour une batterie Li-Ion neuve citée par les personnes interrogées, de 500 €/kWh à 1 000 €/kWh.

11. Scénarios

Les usages de seconde vie se développeront dans un environnement économique avec lesquels ils interagiront. La compétitivité économique est aussi cruciale que la faisabilité technique.

Pour proposer une stratégie pour la filière seconde vie, nous envisageons 3 scénarios contrastés, reposant sur des hypothèses cohérentes pour chaque scénario²⁰.

La principale conclusion que l'on peut tirer de l'analyse de ces scénarios, est que, dans l'hypothèse d'une durée de première vie de 7 à 10 années, même dans le scénario le plus favorable au développement du marché des véhicules électriques et hybrides rechargeables, les volumes disponibles pour une seconde vie ne deviendraient significatifs qu'au-delà de 2020.

Tableau 8 - Scénarios proposés – Horizon 2020

Caractéristiques du scénario	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
	Volontariste	Moyen	Sans changement
Pénétration VE et VHR 2015	5.6% ²¹	3%	1.5%
Pénétration VE et VHR 2020	16%	8%	4%
Prix/Performance batteries 2015	/ 2	/ 1,5	Inchangé
Prix/Performance batteries 2020	/ 4	/ 2	/ 1,5
Technologie dominante en 2020	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion
Développement des énergies renouvelables	Soutenu	Moyen	Faible

²⁰ Le lien entre la pénétration des véhicules décarbonés et le prix de l'énergie (du baril de pétrole) ne fait pas l'objet de consensus. Selon les uns, une énergie fossile chère (pétrole, gaz, charbon, lignite) favorise le développement du véhicule électrique. Vrai dans un pays comme la France (électricité nucléaire), ce raisonnement est moins convaincant pour un pays comme l'Allemagne (électricité lignite et gaz) où une énergie fossile chère se traduit par une électricité chère. Selon les autres (notamment l'AIE/OCDE), le développement volontariste du marché des véhicules électriques diminuera la demande de pétrole, et fera baisser son prix.

²¹ Pénétration correspondant aux objectifs des 2 grands constructeurs automobiles français (Cf. chapitre 2).

11.1. Pénétration des véhicules électriques et hybrides rechargeables sur le marché français

En supposant un marché automobile français stable aux environs de 2 500 000 véhicules neufs par an, la part de marché des véhicules électriques et hybrides rechargeables dépendra de la compétitivité de la filière mobilité électrique (liée au volontarisme des politiques mises en œuvre) et de la modification du comportement des ménages :

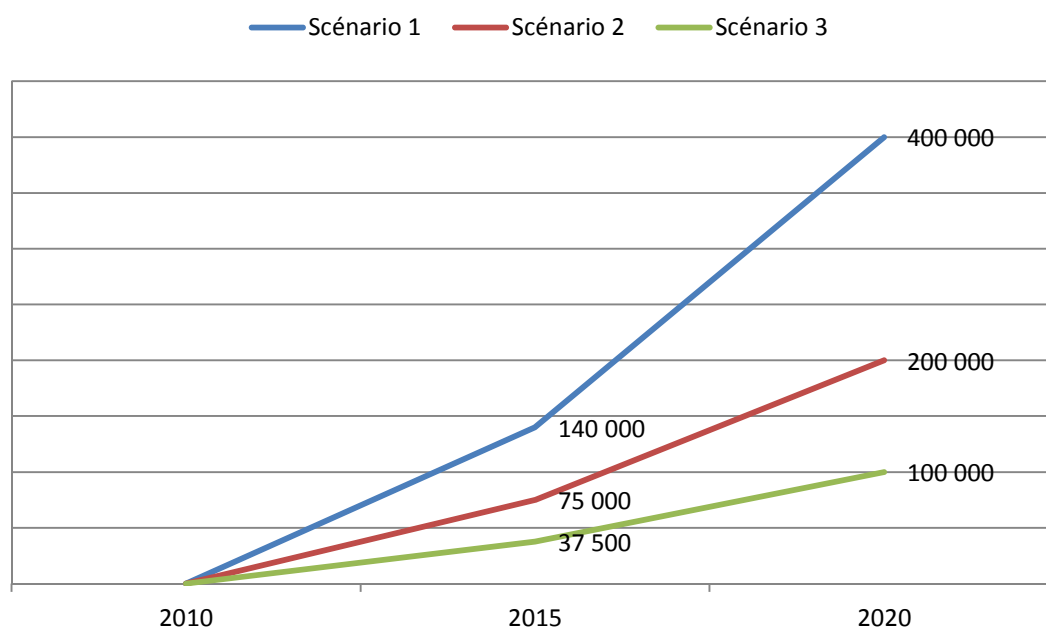
- Pour les véhicules électriques (VE), comportement des ménages urbains et périurbains dotés de 2 véhicules ou plus,
- Pour les véhicules hybrides rechargeables (VHR), capacité des ménages à intégrer le coût total du véhicule sur la durée de vie (TCO).

D'ici 2015, il s'agira surtout de véhicules électriques. En 2020, l'offre de véhicules hybrides rechargeables aura été étoffée et leur part dans ce marché pourrait atteindre 50% s'ils bénéficiaient des mêmes aides à l'achat que les VE, soit des ventes de 200 000 VE et 200 000 VHR, dans le scénario volontariste.

Les taux de pénétration présentés dans le tableau précédent conduiraient aux ventes annuelles illustrées ci-dessus.

Le scénario 1 « Volontariste » permettrait d'atteindre l'objectif d'un parc d'un ordre de grandeur de 2 millions de véhicules décarbonés (VE+VHR) en 2020.

Figure 8 – Ventes de véhicules électriques et hybrides rechargeables en France



11.2. Flux de batteries en fin de première vie

Si la durée de première vie des batteries était 10 années, flux de batteries arrivant en fin de première vie, calculés en fonction des ventes de véhicules neufs, seraient les suivants :

Tableau 9 – Flux de batteries disponibles pour une seconde vie en France avec une durée de première vie de 10 ans

	Scénario 1 Volontariste	Scénario 2 Moyen	Scénario 3 Sans changement
Flux batteries fin de vie auto 2020	Négligeable	Négligeable	Négligeable
Flux batteries fin de vie auto 2025	140 000	75 000	37 500
Flux batteries fin de vie auto 2030	375 000	200 000	100 000

Si la durée de vie était de 7 ans au lieu de 10 ans, ces flux seraient atteints en 2022 au lieu de 2025.

Ces chiffres sont à comparer avec l'annonce faite par la société 4R au Japon, qui espère disposer de 50 000 batteries en fin de première vie dès 2020. 4R table donc sur un démarrage rapide des ventes de véhicules électriques et probablement sur une durée de première vie relativement courte (5 ans).

Avec nos scénarios, en 2025, en se basant sur les caractéristiques d'une batterie pour une petite citadine électrique²² et en supposant une dégradation de 25% de la capacité ($16 \text{ kWh} \times 75\% = 12 \text{ kWh}$) et de la puissance ($60 \text{ kW} \times 75\% = 45 \text{ kW}$), les volumes de batteries en fin de première vie représenteraient :

- Dans le scénario 1, 140 000 packs, soit une capacité totale de l'ordre de 1 700 MWh et une puissance de l'ordre de 6 300 MW,
- Dans le scénario 2, 75 000 packs, soit une capacité totale de l'ordre de 900 MWh et une puissance de l'ordre de 3 400 MW,
- Dans le scénario 3, 37 500 packs, soit une capacité totale de l'ordre de 450 MWh et une puissance de l'ordre de 1 700 MW.

Si l'on admettait qu'une partie des utilisateurs de véhicules électriques et hybrides rechargeables choisissent d'utiliser des batteries avec une autonomie dégradée les flux seraient réduits d'autant. A contrario, l'émergence d'un marché du véhicule électrique d'occasion serait susceptible d'augmenter ces flux.

Toutefois, il convient de se rappeler que la durée de vie moyenne des véhicules automobiles en France est de 10 ans. Si cette durée n'évoluait pas au cours des 10 prochaines années, la fin de première vie des batteries correspondrait à la fin de vie des véhicules.

Tenant compte des incertitudes sur la durée de première vie, sur la part des batteries qui continueront leur vie sur des véhicules électriques et hybrides rechargeables et sur la durée de vie des véhicules eux-mêmes, le tableau précédent nous paraît représenter la meilleure estimation possible.

²² Il y aura des véhicules plus puissants avec des batteries d'une plus grande capacité, mais aussi des véhicules hybrides rechargeables ayant des batteries d'une plus faible capacité.

A titre de comparaison, l'ADEME²³ estimait à 2,7 millions le nombre de batteries au plomb à usage industriel (excluant les batteries de démarrage automobiles) mises sur le marché en 2009. En supposant une capacité moyenne de 1 kWh pour ces batteries industrielles²⁴, la capacité totale des batteries au plomb mises sur le marché en un an serait de l'ordre de 3 000 MWh. Même si pour certains usages une batterie de seconde vie serait susceptible de remplacer plusieurs batteries au plomb, les ordres de grandeur et l'analyse des usages possibles confirment l'intérêt d'études ultérieures sur les possibilités de substitution d'au moins une partie des batteries au plomb par des batteries de seconde vie.

11.3. Prix/performance

Le rapport prix/performance des batteries diminuera d'autant plus vite que les volumes vendus permettront des économies d'échelle et des efforts importants en matière de R&D.

Dans le scénario 1, d'ici 2020, le prix unitaire est divisé par 2 tandis que la capacité des batteries double : d'où une amélioration du rapport prix/performance d'un facteur 4.

11.4. Technologie dominante

Il apparaît un consensus sur le fait qu'à moyen terme (10 ans selon les experts interrogés), la technologie dominante sera le Li-Ion. Toutefois les constructeurs automobiles et les fabricants de batteries tentent et tenteront en permanence de différencier leurs produits par des chimies différentes. Ces chimies différentes conduisent à des caractéristiques différentes : tension unitaire de la cellule, durée de vie, contrainte de température, etc. Il n'est donc pas possible d'imaginer que toutes les batteries Li-Ion pourraient être « repackagées » ensemble pour une seconde vie, quel que soit le véhicule où elles étaient montées en première vie.

Au-delà de cet aspect, il est possible, surtout si la taille du marché le justifie (donc plutôt dans le scénario 1) que de nouvelles technologies de batteries, plus performantes, émergent après 2020.

11.5. Développement des énergies renouvelables

Parmi les applications stationnaires des batteries de seconde vie, de nombreux usages sont liés au besoin de stockage/de lissage de la production électrique par les énergies renouvelables. Ce développement sera d'autant plus rapide qu'il continuera d'être soutenu par les gouvernements, mais, d'ores et déjà, certains spécialistes s'accordent à dire que le stockage sera essentiel pour aider les réseaux électriques à intégrer la production d'énergies renouvelables. La communication « Énergie 2020- Stratégie pour une énergie compétitive, durable et sûre » présentée par la Commission Européenne en Novembre 2010 a relevé dans certaines de ses conclusions qu'il fallait créer les conditions de marché permettant d'exploiter un large éventail de sources d'énergie renouvelables, incluant des technologies pour le stockage de l'énergie.

²³ ADEME, Rapport annuel de la mise en œuvre des dispositions réglementaires relatives aux piles et accumulateurs, Situation en 2009, octobre 2010.

²⁴ Estimation à partir des volumes de batteries industrielles mises sur le marché en 2009 : 2,7 millions de batteries pesant 60 000 tonnes d'une capacité massique de 40 Wh/kg selon l'ADEME.

La mise en place d'un marché intégré de l'énergie paneuropéen impose que soit réalisée une analyse des capacités de stockage qui pourraient devenir nécessaires en Europe : une puissance installée de 150 000 GW d'éolien est prévue en Europe en 2030. Les réseaux électriques doivent donc et devront de plus en plus pouvoir intégrer ces nouvelles sources de production électrique intermittentes et il faudra vérifier que les capacités de production alternatives, de stockage (STEP) et de réglage sont suffisantes.

12. Le marché de la « Seconde vie » en 2025

Parmi les usages identifiés comme pertinents, certains sont plus prometteurs que d'autres. A ce stade de la connaissance des batteries pour les véhicules électriques et hybrides rechargeables et compte tenu du caractère très prospectif de l'étude, nous avons procédé à une analyse multicritère qualitative : les critères ne sont pas quantifiables et leur pondération respective non plus. Dans le tableau ci-après, nous comparons les usages pertinents (Cf. chapitre 8) sur la base de 4 critères qui nous semblent les plus discriminants :

- Sévérité de l'usage en seconde vie : un usage seconde vie avec des cycles charge-décharge profonds ferait vieillir plus rapidement les batteries qu'un usage où les cycles seraient moins profonds et/ou la charge de la batterie resterait constante la quasi-totalité du temps,
- Complexité du reconditionnement : plus le reconditionnement est complexe, plus son coût sera élevé, impactant ainsi la compétitivité de cet usage,
- Compétitivité par rapport aux solutions alternatives : plusieurs usages existants aujourd'hui ou susceptibles de se développer dans les 10 prochaines années entrent en concurrence directe avec des batteries au plomb ou avec des groupes électrogènes de secours. Cette concurrence crée une limite à la valeur de la batterie de seconde vie,
- Taille du marché potentiel : le marché de chaque usage doit être apprécié par rapport au flux de batteries de seconde vie dont on a vu précédemment qu'il pourrait représenter en 2025, dans le scénario 1, une capacité totale d'environ 2 000 MWh et une puissance disponible de près de 8 500 MW.

D'autres critères ont été examinés et se sont avérés non discriminants :

- Compatibilité technique : par définition, les usages pertinents sont tous compatibles au plan technique avec les propriétés des batteries Li-Ion de seconde vie,
- Obstacles liés à la sûreté, la sécurité et la réglementation : sans les négliger, ils apparaissent quasi identiques pour chacun des usages pertinents.

Cette démarche permet de classer à part certains usages : les « niches » pour lesquelles la taille du marché potentiel est très faible et les usages « non prioritaires » pour lesquels les difficultés prévisibles de reconditionnement et/ou la concurrence d'autres solutions incitent à la prudence.

Les usages « prioritaires » des batteries de seconde vie, les plus prometteurs, c'est-à-dire justifiant des études de marché spécifiques à mener ultérieurement sont :

- Véhicules électriques poursuivant leur utilisation avec une batterie aux performances dégradées,
- Véhicules de type chariots élévateurs,
- Lissage de la pointe des sous-stations SNCF,
- Alimentations électriques sans coupure,
- Remplacement des groupes électrogènes d'ERDF.

Le stockage de l'énergie d'origine renouvelable (éolien, photovoltaïque) ou l'écrêtage des pointes de consommation en France métropolitaine n'a pas été pris en compte parmi les usages prometteurs. Les « réserves de stabilité » du réseau électrique en France (en Europe continentale) resteront importantes en raison de la flexibilité des moyens de production et des capacités d'effacement (industrielles). Cette flexibilité (services système) est actuellement peu rémunérée par les gestionnaires de réseau électrique en Europe. Elle pourrait même selon certains interlocuteurs devenir obligatoire et gratuite. La variabilité de la production renouvelable tout comme le passage des pointes de consommation resteront gérables par ces services systèmes, les échanges entre réseaux (les pointes ne se produisent pas aux mêmes heures dans les différents pays européens), les moyens traditionnels de stockage de l'électricité par gravitation (stations de transfert d'électricité par pompage, STEP) et les centrales dites de pointe sans avoir besoin de faire appel à du stockage chimique.

Certains membres du Groupe de Travail sont toutefois convaincus que la disparition à terme des tarifs préférentiels de rachat des énergies renouvelables poussera les producteurs à stocker leur production pour la vendre durant les périodes où elles sont mieux rémunérées et que le stockage chimique pour la fourniture d'électricité aux heures de pointe (notamment par écrêtage de la demande) serait moins polluant que l'utilisation de centrales de pointe, ce qui permettrait le développement de ces usages, au-delà des considérations purement économiques.

Tableau 10 – Analyse multicritère

Usage seconde vie		Sévérité de l'usage seconde vie	Complexité du reconditionnement	Compétitivité par rapport aux solutions alternatives	Taille du marché potentiel	Synthèse
1	Véhicules électriques avec une batterie aux performances dégradées	Identique	Nulle	-	70% au-delà de 7 ans 10% au-delà de 10 ans (maximum 12 ans)	Baisse des flux disponibles
2	Station de recharge mobile (VE en panne)	Identique	Faible si BMS flexible	-	Quelques dizaines de packs	Niche
3	Véhicules de type chariots élévateurs	Identique	Faible si BMS flexible	Plomb ¹	20 000/an x 20 kW	Prioritaire (sous réserve ³)
4	Lissage des injections d'une installation éolienne (DOM-TOM)	Similaire	Elevée	Plomb ¹ + poids	Quelques dizaines de MW	Niche
5	Lissage des injections d'une installation photovoltaïque (DOM-TOM et BT)	Similaire	Moyenne si éléments homogènes	Plomb ¹	Quelques centaines de kW	Niche
6	Ecrêtage de la demande pour les usages individuels ou collectifs (DOM-TOM)	Similaire	Moyenne si éléments homogènes	Plomb ¹ + coût transport	Quelques centaines de kW	Niche
7	Alimentations électriques sans coupure (UPS)	Moins sévère	Moyenne si éléments homogènes	Plomb ¹	1 000 MW	Prioritaire
8	Lissage de la pointe dans les sous-stations SNCF	Similaire	Moyenne si éléments homogènes	Plomb ¹	2 500 MW (539 sous-stations x 3-10 MW)	Prioritaire
9	Alimentation des auxiliaires des centrales électriques et des stations	Moins sévère	Moyenne si éléments homogènes	Plomb ¹	Quelques centaines de kW	Niche
10	Remplacement des groupes électrogènes d'ERDF	Similaire	Moyenne si éléments homogènes	Diesel ²	50 MW (200 à 300 groupes de 50 kVA à 500 kVA)	Prioritaire
11	Centrales de secours dans les DOM-TOM	Moins sévère	Elevée	Plomb ¹ Diesel ²	Quelques dizaines de MW	Non prioritaire
12	Stockage de l'énergie d'une installation éolienne isolée	Similaire	Moyenne si éléments homogènes	Plomb ¹	Quelques centaines de kW	Niche
13	Stockage de l'énergie d'une installation photovoltaïque isolée	Similaire	Moyenne si éléments homogènes	Plomb ¹	Quelques centaines de kW	Niche
14	Installation isolée autonome sur batterie	Similaire	Moyenne si éléments homogènes	Diesel ² + logistique recharge	Quelques dizaines de kW	Niche

Notes du tableau : Plomb¹ et Diesel², signifient respectivement que pour cet usage les batteries de seconde vie seront en concurrence directe avec les batteries au plomb ou avec des groupes électrogènes diesel. Sous réserve³ : la faisabilité d'un reconditionnement simple n'est pas démontrée. La taille du marché des UPS est une estimation S&Co sur la base de l'évaluation du marché français des UPS publiée par Frost & Sullivan

Le tableau ci-après compare les ressources disponibles en 2025 avec les ordres de grandeur de la demande potentielle²⁵ des usages classés comme les plus prometteurs. Même si la disponibilité était réduite par la poursuite de la première vie, les marchés les plus prometteurs pourraient être couverts en quelques années par les batteries de seconde vie. Avec une durée de seconde vie de 4 années les usages prioritaires (chariots élévateurs alimentations sans coupure, lissage de la pointe des sous-stations SNCF, groupes électrogènes d'ERDF) et l'ensemble des niches représenteraient une demande d'environ 1 400 MW/an, valeur à comparer avec des flux de batteries en fin de première vie (en supposant 50% de poursuite de la première vie) :

- 6 300 MW / 2 = 3 150 MW, dans le scénario 1
- 3 400 MW / 2 = 1 700 MW, dans le scénario 2
- 1 700 MW / 2 = 850 MW, dans le scénario 3.

On atteindrait presque l'équilibre dans le scénario 2, tandis que dans le scénario 1, l'offre de batteries pour la seconde vie serait supérieure à la demande telle qu'elle a pu être identifiée aujourd'hui.

Tableau 11 – Offre-demande de batteries « Seconde vie » en 2025

Flux 2025			Demande potentielle	Ordre de grandeur du marché
Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3		
6 300 MW	3 400 MW	1 700 MW	Poursuite de la première vie	Entre 4 400/2 400/1 200 MW et 630/350/170 MW non disponibles pour la seconde vie selon les scénarios
			Véhicules de type chariots élévateurs	400 MW / an
			Alimentations sans coupure	250 MW / an
			Lissage pointe sous-stations SNCF	625 MW / an
			Groupes électrogènes d'ERDF	15 MW / an
			Ensemble des niches	100 MW / an
			Total (hors poursuite de 1^{ère} vie)	1 400 MW / an

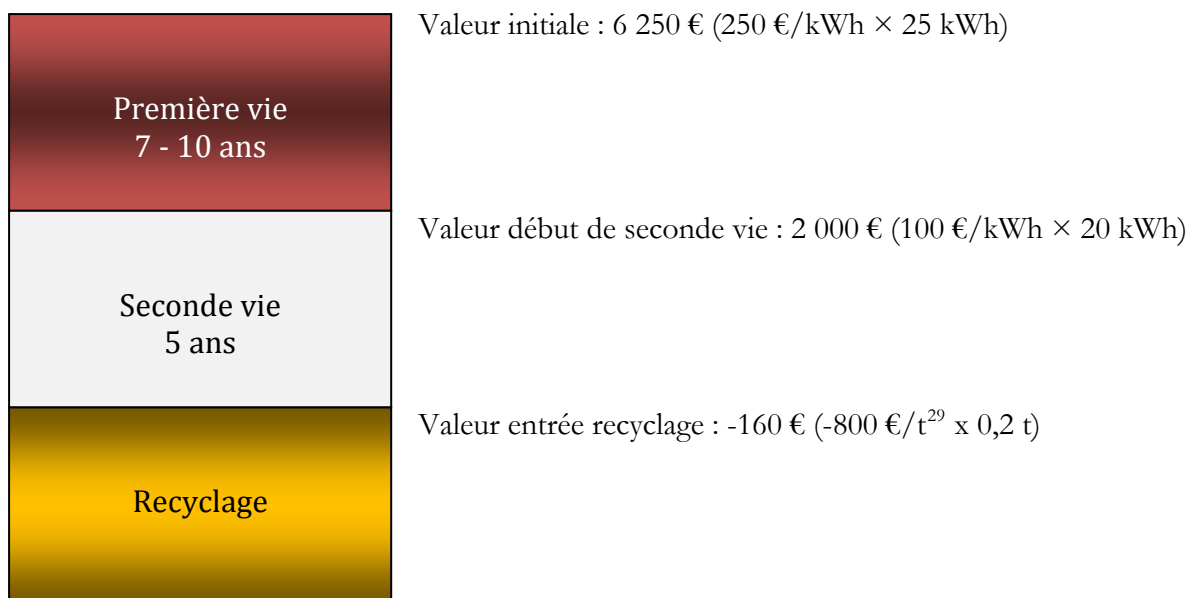
²⁵ Les ordres de grandeur proposés ne tiennent pas compte de l'augmentation éventuelle d'ici à 2025 de la demande de stockage d'énergie pour les usages identifiés.

13. Chaîne de valeur et structuration d'une filière seconde vie

13.1. Chaîne de valeur en 2020 et jeu des acteurs

En 2020, dans le scénario 1²⁶, le prix d'une batterie neuve s'établirait à 250 €/kWh²⁷. Le prix qu'un usager seconde vie serait prêt à payer (pour une capacité résiduelle de 80%) serait du même ordre de grandeur que celui d'une batterie au plomb neuve, environ 100 €/kWh. Le coût net du recyclage, compte tenu de la valeur de revente des matériaux, s'établirait à 800 €/t²⁸, soit pour une batterie pesant 200 kg, 160 €. La chaîne de valeur correspondant à ces hypothèses est illustrée dans le schéma ci-dessous (valeurs ne tenant pas compte d'un taux d'actualisation).

Figure 9 – Chaîne de valeur pour une batterie de 25 kWh en 2020 – Scénario 1



Dans les deux autres scénarios, seul le prix initial de la batterie changerait : 12 500 € dans le scénario 2 et 16 700 € dans le scénario 3.

Il faut noter que le schéma ci-dessus est une photographie à un instant donné. Si les prix de batteries Li-Ion neuves baissaient régulièrement sur une longue période, la concurrence des batteries Li-Ion neuves par rapport aux batteries en fin de première vie pourrait apparaître.

²⁶ Les valeurs présentées ci-après ne sont que des ordres de grandeur destinés à illustrer les choix stratégiques. Compte tenu de l'absence de tout retour d'expérience et des divergences entre experts sur les coûts, cet exercice prospectif comporte de très fortes incertitudes.

²⁷ Cette valeur, obtenue dans le cadre des entretiens menés avec les constructeurs automobiles et fabricants de batteries, n'intègre pas le coût du recyclage comme c'est le cas pour d'autres filières (par exemple l'électroménager).

²⁸ 1 000 €/t – 200 €/t de valeur des produits récupérés : estimation pour 2020 tenant compte des économies d'échelle attendues et de l'industrialisation de ce recyclage.

²⁹ Si le coût net du recyclage était plus élevé, cela rendrait d'autant plus attractive la seconde vie.

Quatre types d'acteurs interviennent sur cette chaîne de valeur :

- Les constructeurs automobiles en tant que « metteur sur le marché » sont responsables des batteries tout au long de leur vie, y compris le recyclage (en dehors du cas d'un reconditionnement profond). De ce fait leur légitimité à vouloir structurer la filière seconde vie ne serait pas discutable. Ils détiennent les savoir-faire autour de la batterie et ils apparaissent (avec les fabricants de batteries), au moins dans un premier temps, comme les plus à même de réaliser le reconditionnement nécessaire à une seconde vie au meilleur coût.
- Les fabricants de batteries détiennent les savoir-faire autour de la batterie et ils apparaissent également, comme les plus à même de réaliser le reconditionnement nécessaire à une seconde vie au meilleur coût.
- Les recycleurs pourraient intervenir dans les opérations consistant à collecter les batteries, les « ouvrir », effectuer un diagnostic (au niveau des modules, voire des cellules) et trier les éléments à recycler et les éléments à réutiliser en seconde vie : ils seraient particulièrement bien placés au plan logistique pour procéder au reconditionnement des éléments susceptibles d'avoir une seconde vie. Ils reconnaissent n'avoir pas les compétences pour ce reconditionnement et envisagent de s'associer avec les détenteurs de savoir-faire : les constructeurs automobiles et/ou les fabricants de batteries. Ainsi, la société SNAM est engagée dans une démarche « test » avec plusieurs constructeurs automobiles, comportant plusieurs objectifs :
 1. Optimiser la phase de test des éléments de batteries usagées, pour identifier et séparer les éléments qui sont encore utilisables et ceux qui doivent être recyclés
 2. Analyser la faisabilité du remplacement des éléments d'une batterie (ceux qui ont une charge inférieure à x%) par des éléments neufs
 3. Réutiliser les batteries pour des applications de seconde vie
 4. Optimiser les conditions de recyclage « ultime ».
- Les utilisateurs de seconde vie, certains d'entre eux ayant des besoins importants et qui se seraient prêts à prendre en charge les batteries en fin de première vie, y compris en prenant la responsabilité légale.

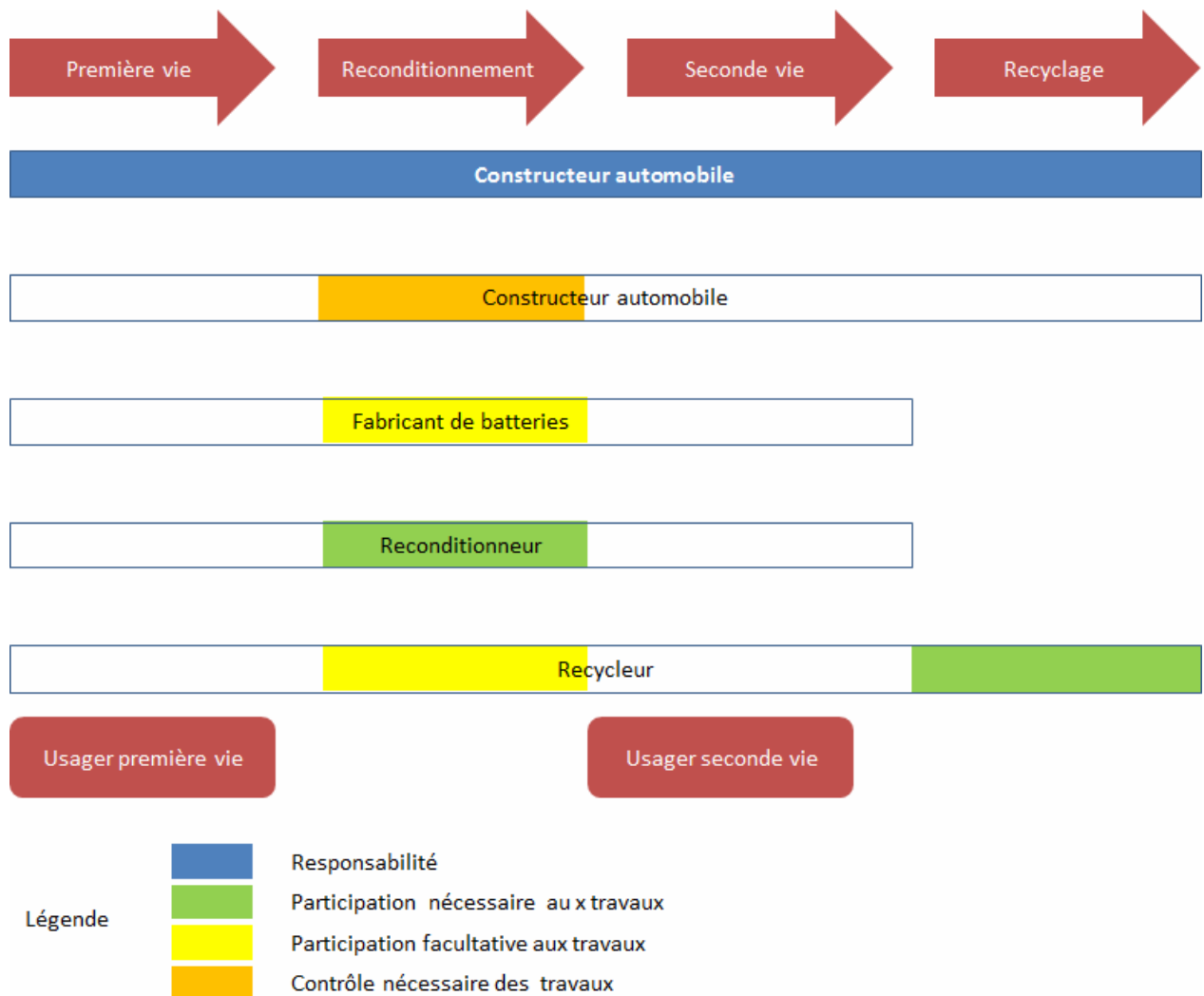
13.2. Structuration de la filière seconde vie

Compte tenu de leurs savoir-faire spécifiques, il apparaît que la structuration de la filière seconde vie autour des constructeurs automobiles, s'appuyant sur les fabricants de batteries (lorsqu'ils ne sont pas eux-mêmes fabricants de batteries) serait le schéma le plus réaliste.

Cependant, étant donné l'incertitude existante, d'autres pistes ne sont pas à exclure totalement, notamment une organisation impliquant un plus grand rôle des « reconditionneurs » qui deviendraient metteurs sur le marché des batteries de seconde vie.

Dans le premier cas, la structuration de la filière seconde vie se ferait à l'initiative du constructeur automobile.

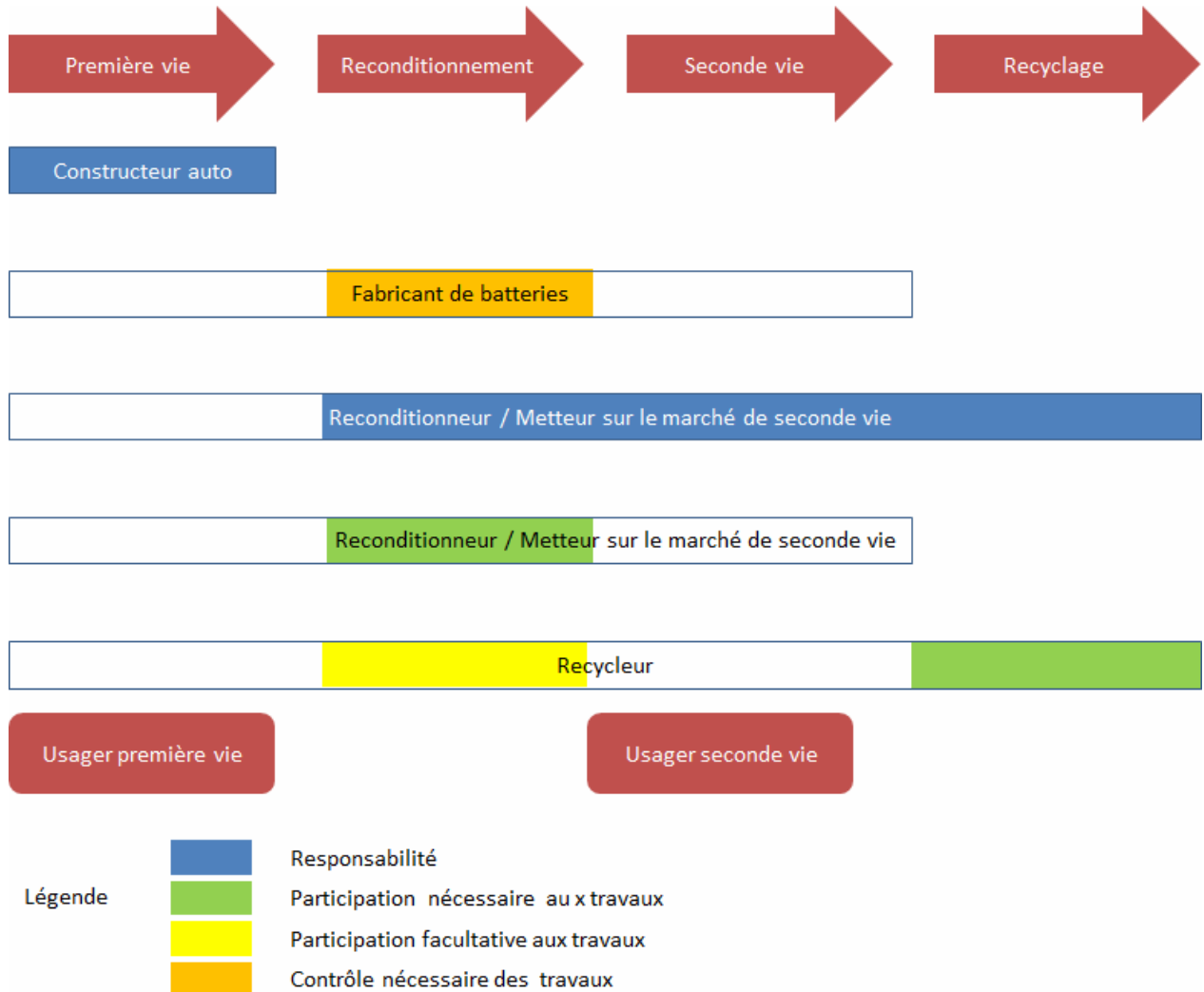
Figure 10 – Organisation de la filière « Seconde vie ». Alternative constructeur automobile



Le reconditionnement pourrait être fait par une entreprise spécialisée (le « reconditionneur ») mais également par le constructeur automobile lui-même, par le fabricant de batteries ou encore par le recycleur. Le choix du reconditionneur est ouvert : les fabricants de batteries détiennent les savoir-faire pour la reconstruction d'une batterie, les recycleurs savent démonter les batteries et pourraient optimiser la logistique. Le schéma le plus probable est la mise en place de partenariats entre les 3 acteurs, le reconditionnement se faisant dans ce schéma sous la responsabilité du constructeur automobile.

Dans le second cas, la structuration de la filière « Seconde vie » se ferait à l'initiative du reconditionneur, qui deviendrait le metteur sur le marché des batteries de seconde vie.

Figure 11 – Organisation de la filière « Seconde vie ». Alternative reconditionneur



Le reconditionneur / metteur sur le marché de seconde vie pourrait s'associer, voire être une émanation d'un constructeur automobile, fabricant de batteries ou encore d'un recycleur. Il impliquerait éventuellement un recycleur dans le processus de reconditionnement.

Les constructeurs automobiles sont soucieux de leur image : ils n'accepteront pas qu'un reconditionnement puisse être fait hors de leur contrôle, en particulier si leur logo continue de figurer sur les batteries reconditionnées. Le second schéma ne pourrait alors être envisagé que pour des reconditionnements profonds (démontage et tri jusqu'au niveau de la cellule) avec un nouveau packaging « propriétaire » du reconditionneur. Mais à son tour le fabricant de batteries, dont le logo figure sur les cellules et les modules n'acceptera pas un reconditionnement qu'il ne contrôlera pas.

Le besoin ou non de reconditionnement profond pour les principaux usages potentiels en seconde vie restant à l'heure actuelle une question ouverte, l'alternative la plus réaliste est une organisation de la filière sous le contrôle des constructeurs automobiles, qui assureraient en outre la traçabilité réglementaire et bénéficieraient pleinement des retombées économiques de la seconde vie. Cette analyse est encore renforcée par le fait que les batteries (chimie, forme) et leur système de gestion (BMS) resteront « propriétaires. » Seuls les constructeurs automobiles détiendront les clés d'un reconditionnement « léger » sans démontage de la batterie, pour lequel une reprogrammation du BMS sera nécessaire.

14. Recommandations

Pour lever les principaux obstacles et faciliter le démarrage d'une filière française de la seconde vie, les autorités françaises pourraient engager une démarche en 3 composantes :

14.1. Première composante (à lancer très rapidement) - Observatoire des véhicules décarbonés et de leur stockage d'énergie.

Objectif : Disposer des informations pertinentes pour définir la stratégie « Seconde Vie »

Moyens : Mise en place d'un Observatoire, associant constructeurs automobiles, fabricants de batteries et recycleurs. L'entité coordinatrice devrait être choisie avant fin 2011.

Principaux indicateurs publiés :

- Taille et évolution du marché des véhicules électriques en France et en Europe
- Segmentation de ce marché par type de véhicules
- Typologie et caractéristiques des incidents ou problèmes rencontrés, susceptibles d'affecter le développement du marché du véhicule électrique et/ou la durée de vie des batteries et/ou leurs conditions d'utilisation
- Typologie et caractéristiques physiques (poids, forme, dimensions, etc.) et chimiques des batteries utilisées ; observation des tendances d'évolutions technologiques
- Analyse des performances et évaluation statistique par type de batteries en fonction des conditions d'utilisation
- Analyse statistique des cycles de charge et de décharge des batteries et évaluation des durées réelles de première vie, de l'état des batteries en fin de première vie et des coûts éventuels de reconditionnement
- Analyse du rôle du marché de l'occasion des véhicules électriques et de l'impact de ce marché sur la disponibilité de batteries de seconde vie
- Analyse des conditions de collecte, de reconditionnement, ou de recyclage des batteries usagées
- Observation des tendances dans le domaine des technologies du stockage de l'électricité et de l'évolution des besoins de stockage, qu'il s'agisse de besoins déjà identifiés (par exemple liés aux énergies renouvelables) ou de besoins nouveaux émergents.

Les travaux de cet observatoire devraient s'appuyer sur l'existant : le registre national des producteurs de piles et accumulateurs, géré par l'ADEME, et être conduits en association étroite avec les partenaires du secteur public (registre des immatriculations) et du secteur privé : constructeurs automobiles (Comité des Constructeurs Français d'Automobiles, CCFA), fabricants de batteries, recycleurs, et se traduire par des publications périodiques permettant de mieux apprécier l'enjeu réel représenté par les batteries de seconde vie, tant en nombre d'unités, qu'en niveau de performance attendue et en coût de mise à disposition pour une seconde utilisation.

En parallèle, les différents acteurs pourront poursuivre leurs travaux de R&D et lancer les études de faisabilité sur le thème de la seconde vie. Les aides existantes en France pour le soutien à la R&D couvrent, si nécessaire, les besoins de financement des acteurs en ce domaine.

14.2. Deuxième composante - Projets pilotes seconde vie des batteries

Cette deuxième composante pourrait être lancée dans 2 à 4 ans, quand des batteries en fin de première vie deviendront disponibles.

Objectif : S'assurer de :

- La fiabilité des circuits de reprise, collecte, reconditionnement et mise à disposition des batteries de seconde vie pour des usages de nature différente
- Le coût de ces opérations à comparer, d'une part, au coût d'autres solutions de stockage et d'autre part au coût de recyclage/élimination pur et simple des batteries en fin de vie
- La pertinence de ce réemploi, du point de vue des opérateurs concernés, au regard de leur contraintes d'exploitation, et les freins possibles, ainsi que les éventuelles adaptations/évolutions techniques et technologiques qui pourraient être rendues nécessaires pour une meilleure réponse aux besoins exprimés.

Moyens : Réalisation d'opérations de démonstration ciblant en priorité les usages qui apparaîtront les plus prometteurs, faisant appel à des partenariats entre centres de recherche, fabricants de batteries, constructeurs automobiles et entreprises utilisatrices des batteries de seconde vie. Le coût de ces opérations pilote pourrait être pris en charge -au moins partiellement- par des fonds publics.

En effet, le coût de ces opérations de démonstration pourrait s'avérer être un frein, dans la mesure où les partenaires pressentis n'auraient pas un intérêt évident à s'engager dans cette voie ou pourraient la considérer comme porteuse de risque. Il serait alors nécessaire de concevoir des mécanismes de soutien financier ou des formes d'incitation permettant de lancer ces opérations pilotes dans des délais raisonnables.

Résultat : Validation des usages et des marchés les plus prometteurs de la seconde vie des batteries.

14.3. Troisième composante - Stratégie de long terme pour assurer la réutilisation optimale des batteries de seconde vie

Lorsque les résultats des projets pilotes seront connus (3 à 5 ans après leur lancement), les pouvoirs publics tiendront compte d'une part, de l'évolution générale des marchés et tendances observés et d'autre part, des retours d'expérience des projets pilotes.

Ceci permettra d'orienter la stratégie des pouvoirs publics dans un sens plus ou moins volontariste en fonction des données recueillies, en s'engageant, le cas échéant, dans des démarches telles que :

- Augmentation et accélération de l'effort en matière de recherche et développement sur les batteries, tant sur les aspects chimiques que sur les caractéristiques physiques (taille, poids, encombrement, format, etc.)
- Développement de normes et standards (de performance, de forme, de poids) des batteries, qui s'imposeront progressivement aux constructeurs de batteries et/ou d'automobiles
- Définition d'instruments d'ordre réglementaire visant à améliorer les taux de collecte et de réutilisation en seconde vie des batteries, vis-à-vis de tout ou partie des acteurs économiques concernés ;
- Conception d'outils de nature financière ou économique permettant de susciter les besoins de stockage d'électricité (par exemple dans le cas des énergies renouvelables intermittentes, au niveau du tarif d'accès au réseau imposé au stockage).

15. Conclusion générale

Cette étude démontre qu'en l'état actuel des connaissances, il est pertinent d'envisager une « seconde vie » pour les batteries des véhicules décarbonés.

Plusieurs usages paraissent prometteurs, même si leur viabilité reste à confirmer et que d'autres usages pourraient apparaître en fonction de changements économiques ou réglementaires majeurs. Ces usages « seconde vie » pourraient donner aux batteries en fin de première vie une valeur résiduelle positive et avoir un impact bénéfique pour le développement du marché des véhicules décarbonés.

Le recyclage, qui devrait continuer à représenter un coût net, ne constitue pas une alternative à la seconde vie.

Bibliographie

Les recherches bibliographiques pour le benchmark et pour la connaissance des techniques et des marchés des batteries Li-Ion se sont notamment appuyées sur les sources suivantes :

- USA : EPRI, DoE, NREL, General Motors, Valence Technology, Southern California Edison, Institute of Transportation Studies-UC Davis
- Japon : Ambassade de France au Japon-Service pour la Science et la Technologie, sites de Nissan et Sumitomo
- Allemagne : contacts directs avec Fraunhofer, site VW, site du ministère VDI/VDE Innovation+Technik GmbH, Forschungszentrum Jülich
- Italie : ENEA, Magneti-Marelli, ENEL, Université de Padoue
- Presse : les Echos, Bloomberg, Financial Times, communiqués de presse des constructeurs automobiles : PSA, Renault-Nissan, VW, General Motors, Toyota
- La mobilité des Français, Panorama issu de l'enquête nationale transports et déplacements 2008, La Revue du CGDD, Service de l'observation et des statistiques, Décembre 2010
- ADEME, Rapport annuel de la mise en œuvre des dispositions réglementaires relatives aux piles et accumulateurs, Situation en 2009, Octobre 2010.
- Présentation « Technologies Lithium pour VE » de Laurent Torcheux EDF du 18 juin 2010
- Bulletin électronique (ADIT) du 11/03/2011 : (<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/66104.htm>)
- Technical and Economic Feasibility of Applying Used EV Batteries in Stationary Applications, A Study for the DOE Energy Storage Systems Program, Final report, Sandia National Laboratories
- Présentation « PHEV/EV Li-Ion Battery, Second-Use Project » Jeremy Neubauer Avril 2010, NREL
- Advanced Batteries for Electric-Drive Vehicles, A Technology and Cost-Effectiveness Assessment for Battery Electric Vehicles, Power Assist Hybrid Electric Vehicles, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles, Technical Report, EPRI, 2004
- Présentation « Community Energy Storage (CES) and The Smart Grid: "A Game Changer" », AEP, Mai 2009.
- Current Status of D.O.E.-funded R&D on Energy Storage for Automotive Applications, David Howell, DOE, EVS24 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, Mai 2009
- Investigation into the Scope for the Transport Sector to Switch to Electric Vehicles and Plug-in Hybrid Vehicles, UK BERR, DfT
- Présentation « Novel Material Concepts for Electrochemical Energy Storage Systems A Roadmap for Lithium-Ion Batteries until 2030 » Kai-C. Möller, Fraunhofer-Institut, Batteries 2010
- Présentation « Lithium Ion Batteries for Electric Transportation: Costs and Markets », Haresh Kamath, EPRI, September 2009.

Annexe - Liste des entretiens avec des experts

Code :

1. Fabricants de batteries
2. Instituts de recherche et ministères
3. Constructeurs automobiles et utilisateurs potentiels de batteries de seconde vie
4. Recycleurs

Code	Personne	Organisme/Entreprise
1	Alain DOUARRE	DOW KOKAM France
1	Sébastien RAMBAUVILLE	DOW KOKAM France
1	Béatrice LACOUT	SAFT
2	Fabienne BENECH	ADEME Angers
2	Aymeric BRUNOT	CEA
2	Eric LEMAITRE	CEA
2	Jean-Marie TARASCON	CNRS
2	Ruska KELEVSKA	Commission Européenne
2	Denys GOUNOT	E4V
2	Julien BERNARD	IFP
2	Guy MARLAIR	INERIS
2	Willy BREDA	MEEDDM (DGEC)
2	Claire FREY	MEEDDM (Réglementation)
2	Bruno LAROUSSE	MESR
2	William SASSI	MESR
2	Alexandra MULOT	UTAC
2	Serge FICHEUX	UTAC
3	Stéphane BISCAGLIA	ADEME
3	Manuel RONCO	AIXAM
3	Bernard GUELLARD	Association Française pour le Bateau Electrique
3	Jean-Pol WIAUX	Association Recharge
3	Didier MARGINEDES	BOLLORE
3	Stéphane LASCAUD	EDF
3	Christian SARRAZIN	EDF
3	Elodie VIDAL	EDF
3	Laurent TORCHEUX	EDF
3	Patrick GAGNOL	EDF
3	Gilles BERNARD	ERDF
3	Christophe HUCHET	ESG
3	Jean-Paul REICH	GDF-Suez
3	England WEI	PEUGEOT SCOOTER
3	Alain DUGAST	PSA
3	Cécile VERDENAL	PSA
3	Frédéric LEPEYTRE	PSA
3	Isabelle BOUESSAY	PSA
3	Micaela NAZARALY	PSA
3	Frédérique DELCORO	RENAULT
3	Philippe CHAIN	RENAULT
3	Jacques BATUT	RTE
3	Patrice PALETO	RVI
3	Jean CHABAS	SNCF
3	Jean Christian MARCEL	TENESOL
3	Willy TOMBOY	TOYOTA
3	Yashuang BEZARD	VEPE
3	Constantin VOLUNTARU	VOLKSWAGEN

Code	Personne	Organisme/Entreprise
3	Pierre FEDICK	VEOLIA
4	Yves FOSSARD	Accus-Service
4	Jan TYTGAT	Umicore Recycling Solutions
4	Benoît BATTISTELLA	E.D.I (Euro Dieuze Industrie)
4	Farouk TEDJAR	Récupyl
4	Frédéric SALIN	SNAM
*	Kazuaki MORI	Four R Energy Corporation (4R, Japon)

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la triple tutelle du ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr