



Rapport Mission CNI Batterie

Monsieur le Président de la Plateforme de la Filière Automobile,

Monsieur le Président de l'Union des Industries Chimiques,

Madame la Directrice du Liten,

Avec la participation des sociétés SAFT, BLUE SOLUTIONS,

Avec la contribution de la Filière Mines et Métallurgie,

Avec le soutien des ministères (DGE, DGEC, DGITM, DGPR, CGDD, DGRI)

A l'attention de :

Monsieur le Ministre de l'Economie et des Finances

Monsieur le Vice-Président du CNI

15 mai 2018

GROUPE DE TRAVAIL « CNI BATTERIE »

RAPPORT INTERMEDIAIRE PRESENTE AU COMITE STRATEGIQUE DE FILIERE DU 22 05 2018

Note de synthèse

1. Introduction

- Origine et mission du Groupe de Travail « CNI Batterie »
- Contenu du rapport intermédiaire
- Les demandes du CNI non traitées dans ce rapport intermédiaire

2. Sous-Groupe 1 - Roadmaps batteries en fonction des marchés « mobilité » et « stockage stationnaire »

- 2.1. Mission, données d'entrée et livrables
- 2.2. Les roadmaps marchés « mobilité » et « stockage stationnaire »
- 2.3. Les spécifications demandées aux batteries selon les cas d'usage
 - Les véhicules électriques et électrifiés
 - Le stockage stationnaire des Energies Renouvelables
- 2.4. Les chiffres-clés et les challenges à relever

3. Sous-Groupe 2 - Industrie française (européenne) de la cellule

- 3.1. Mission, données d'entrée et livrables
- 3.2. Analyse des forces et faiblesses d'une industrie française de la cellule
- 3.3. Une ambition renouvelée pour le secteur à l'horizon 2030
- 3.4. Les générations de cellules GEN 3 et GEN 4
- 3.5. Recommandations de politique publique pour atteindre les objectifs
- 3.6. Calendrier de mise en œuvre

4. Sous-Groupe 3 - Soutien R&D à l'industrie de la cellule

- 4.1. Mission, données d'entrée et livrables
- 4.2. Ecosystème et enjeux depuis les matériaux de base jusqu'à la cellule
- 4.3. Renforts R&D à l'industrie de la cellule : challenges, leviers et risques identifiés
- 4.4. Recommandations

5. Sous-Groupe 4 : Soutien R&D à l'industrie du système batterie

- 5.1. Mission, données d'entrées et livrables
- 5.2. L'industrie française et européenne des batteries : de la cellule au système batterie
- 5.3. Renforts R&D à l'industrie du système batterie : challenges, leviers et risques identifiés

6. Conclusions et Perspectives

Annexes

NOTE DE SYNTHÈSE

I. Contexte

La transition énergétique conduit à une très forte croissance des besoins en batteries pour les applications de mobilité (électrification des véhicules) et stationnaires.

Compte tenu du caractère stratégique de ce marché et de son poids économique, l'émergence d'une offre industrielle française et européenne dans le domaine des batteries est désormais, par la volonté du Gouvernement, un chantier prioritaire des travaux du CNI.

Le CNI a confié aux Présidents de la PFA, de l'UIC, et à la Directrice du LITEN une mission relative à l'émergence de cette offre industrielle.

II. Organisation du Groupe de Travail

Dans le cadre de cette mission, 4 sous-groupes de travail menés par des industriels avec la collaboration et le soutien du CEA LITEN ont été constitués :

- Sous-Groupe 1 sous pilotage de la PFA : Roadmaps batteries en fonction des marchés « mobilité » et « stockage stationnaire »
- Sous-Groupe 2 sous pilotage de BLUE SOLUTIONS / SAFT : Industrie française (européenne) de la cellule
- Sous-Groupe 3 sous pilotage de l'UIC : Soutien R&D à l'industrie de la cellule
- Sous-Groupe 4 sous pilotage de la PFA : Industrie française (européenne) du système batterie hors cellule + Soutien R&D à cette industrie.

Un comité de pilotage animé par la DGE (Direction Générale des Entreprises) est constitué des pilotes des 4 sous-groupes accompagnés de leurs pendants Affaires Publiques ou Techniques, du CEA LITEN, de la filière mines et métallurgie, et de représentants des ministères de L'Economie et des Finances, de la Transition écologique et solidaire, de l'Enseignement, de la Recherche et de l'Innovation.

A la demande du CNI, un point d'étape est programmé au Comité Stratégique de Filière Automobile du 22 mai 2018 et la présente note de synthèse fait partie du rapport intermédiaire qui y sera présenté.

III. Les Roadmaps cellules pour Batteries

Dans le scénario de référence de la filière automobile, les besoins annuels en batterie pour la mobilité en 2030 sont de 751 GWh pour le Monde dont 154 GWh pour l'Europe dont 41 GWh pour la France. De 2016 à 2030, ce marché aura été multiplié pour l'Europe par 23.

Ce marché de la mobilité est largement prépondérant devant celui du stationnaire pour les énergies renouvelables (évalué à 4 GWh/an d'installation en Europe en 2023). De plus la possibilité à terme de raccorder les véhicules au réseau avec une approche bidirectionnelle permettra de répondre en grande partie aux besoins du stockage stationnaire dans les pays à réseaux intelligents.

Le marché du stationnaire représente une part importante dans les pays en développement.

La compétitivité est le maître mot des challenges à relever en particulier pour la mobilité. Toute démarche non compétitive est vouée à l'échec.

Le challenge économique est **la diminution des coûts** sur toute la chaîne de valeur afin d'arriver aux objectifs du SET-Plan (Strategic Energy Technology Plan) de 90 €/kWh en 2022 puis de 75 €/kWh en 2030 pour les packs batteries automobiles.

Les challenges technologiques prioritaires pour atteindre les objectifs de performance des batteries de mobilités sont :

- L'**aptitude à la charge rapide**, mobilisant des puissances et des courants importants : facteur d'ordre 1 pour diminuer le temps de recharge
- Les **densités volumiques et massiques d'énergie** : facteur d'ordre 1 pour augmenter les autonomies des véhicules

La sécurité intrinsèque des cellules est un challenge prioritaire pour faciliter la mise en sécurité du véhicule et la diminution du facteur d'intégration volumique entre la cellule et le pack.

Les technologies de cellules commercialisées à grande échelle aujourd'hui ne répondent pas aux spécifications des marchés prévues pour 2030. En effet, le cahier des charges de la mobilité tout électrique requiert une densité d'énergie de cellule supérieure à 500 Wh/L voire supérieure à 900 Wh/L pour les véhicules à fort rayon d'action, alors que les cellules actuelles ne peuvent fournir qu'entre 200 et 500 Wh/L.

Pour répondre aux marchés de 2030, de nouvelles générations de cellules vont donc obligatoirement émerger. Les roadmaps des cellules convergent d'ailleurs toutes vers la technologie « tout solide de génération 4¹ à très haute performance » (dont les premières applications sont annoncées à partir de 2023) ; celle-ci nécessitera des composants, des équipements, des procédés différents, en comparaison à la technologie « liquide ».

Avec la génération 4 à très haute performance, l'Europe a donc une opportunité unique de revenir dans la course de la fabrication de cellules.

Si l'industrie de la cellule est primordiale, il est également nécessaire de renforcer la filière amont des matériaux et la filière électronique de puissance et de systèmes « intelligents », qui pourra servir à l'ensemble de la chaîne de valeur de la batterie.

IV. Contexte de l'industrie de la batterie (cellule et système) en Europe et en France

A la conquête du marché européen, les leaders asiatiques de la filière batterie organisent désormais leurs moyens de production pour être au plus près des lieux d'intégration. Cette offensive lancée par LG en Pologne en 2017 et Samsung en Hongrie en 2018 se poursuit avec les projets de SK Innovation, CATL.... De nouveaux acteurs européens, NORTHVOLT et TERRA E, annoncent des projets de constructions de gigafactories de cellules dans les technologies à électrolyte liquide. Les acteurs européens déjà ancrés dans le secteur, SAFT et BLUE SOLUTIONS, se doivent d'accroître significativement leurs moyens de développement afin de se positionner d'une manière compétitive sur les marchés.

A l'exception de la fourniture en matières minières de base (Li, Co, Ni...), l'Europe a l'avantage de pouvoir être autonome pour la production des matériaux, la fabrication de cellules, l'assemblage en module et en pack batterie, leur intégration et leur recyclage. En effet, toute la chaîne de valeur de la batterie est couverte par des industriels mondialement reconnus (ainsi en France SOLVAY, ARKEMA, SAFT, BLUE SOLUTIONS, FAURECIA, RENAULT, PSA, ERAMET...).

Dans l'Europe, la France dispose d'un atout unique : deux fabricants de cellules, avec des usines sur le sol français. Bien que disposant de technologies à base de lithium rechargeable, ils ne possèdent que des moyens de productions dédiés à des marchés spécialisés, avec des coûts aujourd'hui non compatibles avec ceux attendus par les marchés de masse de la mobilité.

Ainsi à l'horizon 2030, la filière s'est fixée pour objectif que les sites de fabrication de cellules situés en France soient compétitifs face aux usines asiatiques installées en Europe de l'Est

¹ Les batteries Lithium Métal Polymère actuelles de Blue Solutions sont déjà des batteries « tout solide » de génération 4 ; cette technologie évoluera afin d'atteindre les hautes performances requises.

et en Asie. Cette compétitivité s'appuiera à la fois sur des produits différenciants (solid state), sur un niveau d'automatisation important des sites français (« industrie 4.0 ») et sur une proximité avec des grands donneurs d'ordre (OEM et énergéticiens français...) permettant un haut niveau de flexibilité et une réduction des en-cours. Un soutien des autorités françaises nationales et locales à l'investissement sera aussi un élément clef permettant cette compétitivité.

Pour ce faire, il convient d'assurer la pérennité de la filière industrielle française des batteries au Lithium rechargeable, en promouvant la différenciation technologique et un haut niveau d'exigence RSE.

Le cycle d'introduction d'une technologie de cellule de rupture (de la recherche à la disponibilité opérationnelle sur le marché) se situe entre 6 et 8 années. De plus, pour permettre la génération 4 à haute performance en 2025, les nouveaux matériaux doivent être arrivés à maturité industrielle 3 ans avant c'est-à-dire en 2022 (grâce à des actions R&D « matériaux » et « procédés »).

Par ailleurs, tous les principaux acteurs sont actuellement engagés dans une course technologique et de maximisation de l'effet d'échelle, les premiers sur le marché bénéficiant d'un réel avantage difficile à combler pour les suivants. **Aussi pour aboutir à être parmi les premiers dans les temps (avant 2025), il convient de lancer les actions coordonnées d'innovation dès cette année 2018.**

En cas de non émergence d'une industrie française/européenne de la cellule, tous les secteurs de la chaîne de valeur de l'industrie de la batterie seraient à moyen terme en grand danger. En effet les innovations « matériaux », « cellule », « système » seront subies et non anticipées. Par exemple les innovations « système » françaises/européennes nécessitant des évolutions du design des cellules n'arriveront plus à émerger des laboratoires.

Un comportement oligopolistique du marché des cellules mettrait aussi en danger les chaînes d'approvisionnement des clients publics et privés européens.

V. Scénario d'une industrie européenne de la cellule et leviers/recommandations

Le scénario proposé par la mission batterie est celui qui favorise la création d'une industrie française pérenne de la batterie (disposant de produits différenciants) et **compétitive**.

En ce qui concerne la société SAFT, l'entreprise engage avec des partenaires européens un projet de développement et d'industrialisation de nouvelles technologies de cellules et batteries Li-ion gen3 et gen4 d'un montant de plusieurs centaines de millions d'euros. En cas de succès ce projet inclura la création d'un module standard de production d'1 GWh de capacité. Les modules d'1GWh pourront être facilement duplicables, avec des perspectives de croissance qui seront assises sur les évolutions du marché.

En ce qui concerne la société BLUE SOLUTIONS, elle dispose déjà d'une technologie de type gen4 « tout solide » LMP®, éprouvée sur certains marchés de la mobilité (autopartage et transport public) et du stationnaire, dont l'objectif est désormais d'en améliorer les performances (augmenter la densité énergétique des cellules, optimiser leur fonctionnement à température ambiante).

Les ambitions des acteurs européens, telles que vues par SAFT et BLUE SOLUTIONS, notamment via le développement de la GEN4 (introduction de la Li-ion tout solide pour SAFT et amélioration de la Lithium-Métal Polymère pour BLUE SOLUTIONS), sont l'obtention à l'horizon 2030 de :

- **35% de pénétration sur les marchés des clients privés européens des cellules (intégrées dans des batteries),**
- **80% de pénétration sur les marchés publics nationaux des cellules (intégrées dans les batteries)**

En ce qui concerne les fournisseurs de matériaux, les grands groupes européens de matériaux BASF, ARKEMA, SOLVAY, UMICORE auront besoin d'un soutien pour le développement des nouveaux matériaux (inhérents aux nouvelles générations de cellules) et des procédés de

synthèse afin de les rendre plus efficaces. A proximité des acteurs européens de cellules, ces derniers pourraient retrouver une compétitivité pour faire face à la concurrence asiatique.

La filière automobile et notamment les constructeurs français sont favorables à l'émergence d'une industrie française/européenne compétitive de la cellule.

En ce qui concerne les équipementiers industriels et d'ingénierie européens, il est indispensable de les associer en amont pour identifier puis développer les équipements-clés de production de la technologie tout solide de haute performance.

Recommandations de politiques publiques pour soutenir ce scénario :

1. Reconnaître à cette industrie de la cellule le caractère de « secteur industriel stratégique et exposé », avec un soutien des pouvoirs publics dans la durée.
2. Soutenir les initiatives européennes dans le cadre des projets stratégiques et de grande ampleur (>10M€ en R&D, >100M€ en industrialisation) autour d'acteurs français dont SAFT et BLUE SOLUTIONS pour le secteur des cellules ; ce soutien consiste à concentrer l'enveloppe de financement sur ces projets.
3. Mise en place par les autorités françaises d'un mécanisme, dédié au secteur batterie, de financement des activités de R&D avec d'une part une intensité accrue incitative pour les grands groupes et d'autre part un délai d'actionnement rapide (des prises de décisions au fil de l'eau dans le cadre d'un processus allégé).
4. Création par les autorités françaises d'un mécanisme ambitieux de subvention des activités pilotes et d'industrialisation de batteries de génération 3 et de génération 4 (matériaux, cellules, système complet de pack batterie) intégrant les pertes opérationnelles liées à l'absence initiale d'effet d'échelle et au parcours de la courbe d'apprentissage (de cette phase d'industrialisation). Et reconnaissance, à l'instar des autorités allemandes ou du processus français d'appel à projet de ligne nano-électronique, que les phases de transfert d'industrialisation ou de pré-industrialisation sont des phases de développement et non des phases industrielles de montée en production.
5. Faire établir par les acteurs publics majeurs de la R&D (CEA Liten, IFPEN, RS2E) une roadmap technologique coordonnée où les industriels auraient un rôle reconnu dans la phase d'élaboration, notamment celui d'assurer la cohérence de cette roadmap avec les attentes des marchés.
6. Faciliter l'implantation de nouvelles capacités de production des constituants chimiques des batteries sur des sites industriels en France, en renforçant l'attractivité des « plateformes de chimie ». Un cluster dédié aux matériaux pour batteries pourrait ainsi être envisagé.
7. Intégrer dans les appels d'offres des commandes publiques sur les batteries des critères de valeur ajoutée locale, et de performances sociales et environnementales (depuis les composants de la cellule jusqu'à la fin de vie).
8. Contribuer au niveau européen à la restriction des importations qui ne respectent pas des critères sociaux et environnementaux (notamment des règles de l'Organisation Internationale du Travail), en conformité avec les règles de l'OMC. Sensibiliser les achats publics à exiger le respect de la propriété intellectuelle des cellules et batteries achetées (incorporées ou non).
9. Rechercher des critères différenciants technologiques, environnementaux et sociaux, permettant de soutenir une fabrication française de cellules de batteries. Dans ce cadre, faire réaliser en collaboration avec l'ADEME, un modèle d'évaluation du contenu carbone des batteries, basé sur l'ACV (exemple : modèle photovoltaïque).

La mise en œuvre des recommandations ci-dessus sera suivie par des Groupes de Travail composés de représentants publics et privés. Un Comité de Pilotage conjoint (autorités et industrie) sera en charge d'assurer les progrès de ces groupes, avec un objectif de clôture des travaux avant fin 12/2018.

Nota : Les recommandations proposées par des membres des GT mais qui n'ont pas obtenu un consensus de l'ensemble des autres membres ne figurent pas dans la liste ci-dessus.

VI. Points à suivre

- **Le recyclage et la seconde vie des batteries**

La seconde vie des batteries et leur recyclage sont 2 domaines importants. Le CSF Mines et Métallurgie étudie actuellement **le lancement d'un GT mi-2018 sur le recyclage** auquel les acteurs des filières automobile, chimie et énergie pourraient participer.

En parallèle il serait opportun de lancer également **un GT sur la seconde vie des batteries, avec une analyse technico-économique soutenue.**

- **Les perspectives quant à une éventuelle norme batterie européenne**

Une nouvelle norme européenne passe par 3 grandes étapes :

- 1/ identification des thèmes de la nouvelle norme,
- 2/ mise à l'ordre du jour du projet de norme au niveau européen (délai de 2 ans),
- 3/ passage des différents jalons aboutissant à la parution de la norme (délai de 3 ans).

La recommandation n°9 de rechercher des critères différenciants technologiques, environnementaux et sociaux peut être considérée comme faisant partie de la première étape d'identification des thèmes de la nouvelle norme.

- **L'anticipation des besoins en compétences et formations**

Une liste des métiers de production et R&D concernés dans la filière automobile par le développement et la production des moteurs électriques et l'assemblage des batteries a déjà été établie.

- **Evolution des emplois**

Une première prévision sur l'évolution des emplois de production entre 2016 et 2035 suite à l'évolution du mix énergétique dans la filière automobile et le développement d'une filière batterie en France (cellule + pack) pourrait être établie sous réserve de s'accorder sur des hypothèses.

1. INTRODUCTION

1.1. Origine et mission du Groupe de Travail CNI Batterie

La transition énergétique conduit à une très forte croissance des besoins en batteries pour les applications de mobilité (électrification des véhicules) et stationnaires (en réponse à l'intermittence des énergies renouvelables).

Une large partie des cellules de batteries actuelles rechargeables au lithium sont produites en Asie. A quelques exceptions près, seul l'assemblage final des batteries (packs) est aujourd'hui fait en Europe. Motivés par les perspectives d'électrification du parc automobile européen, les leaders asiatiques (Samsung, LG, SK innovation, ATL) ont récemment annoncé l'installation d'usines dans plusieurs pays est-européens. Ces annonces laissent la France sur le bord du chemin et constituent un danger important pour le leadership technique européen, les technologies produites ainsi étant celles développées en Corée, Chine ou Japon.

Compte tenu du caractère stratégique de ce marché et de son poids économique, l'émergence d'une offre industrielle française et européenne dans le domaine des batteries est désormais, par la volonté du Gouvernement, un chantier prioritaire des travaux du CNI.

L'émergence d'une telle offre nécessite de renforcer la coopération entre offreurs de technologies, constructeurs et énergéticiens et d'investir dans l'innovation.

Le CNI a confié aux Présidents de la PFA, de l'UIC, et à la Directrice du LITEN une mission relative à l'émergence de cette offre industrielle, à mener en pouvant faire appel aux directions concernées (DGE, DGEC, DGITM, DGPR, CGDD, DGR1) des 3 ministères impactés. La lettre de mission est annexée à ce rapport (annexe 1).

Cette mission vise à :

- **Favoriser le dialogue et la coopération entre les différents acteurs des deux chaînes de valeur concernées :**
En amont : composants chimiques entrant dans la fabrication des cellules de batterie
En aval : sur les deux marchés d'application que sont la construction de véhicules d'une part, et les réseaux électriques d'autre part
- Identifier les facteurs-clés d'**amélioration de la compétitivité des véhicules électrifiés**
- Analyser les gains pouvant encore être atteints avec les technologies Lithium rechargeables actuelles ainsi que les perspectives d'émergence de technologies alternatives ; **identifier les travaux de R&D pouvant être menés dans ces deux domaines**, afin de permettre la poursuite des baisses de coût et le développement d'une offre européenne dans ce secteur ; identifier les défis scientifiques à relever pour garantir une compétitivité durable de la filière
- Engager un travail sur la **seconde vie des batteries**, visant à offrir aux batteries de véhicules en fin de vie des débouchés vers d'autres applications (e.g. stockage stationnaire)
- Anticiper les besoins et opportunités en termes de **formations, compétences et emplois**
- Elaborer des propositions quant à une éventuelle « **norme batterie européenne** », d'une part s'agissant des performances et de la sécurité des batteries, et d'autre part concernant les critères environnementaux et le cycle de vie des batteries utilisées en Europe, afin d'assurer le respect des objectifs environnementaux européens.

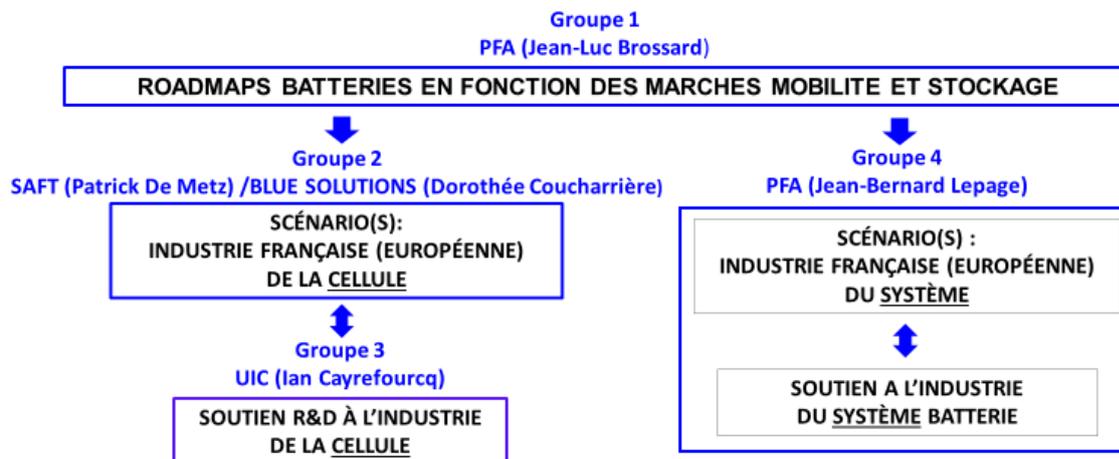
Enfin, au-delà de la réalisation d'une analyse de la situation actuelle et des perspectives de la filière, l'objectif de cette mission est surtout de faire « **des propositions opérationnelles d'actions contribuant à l'émergence d'une offre industrielle française et européenne de batteries** ».

Dans le cadre de cette mission, 4 sous-groupes de travail ont été constitués :

- Sous-Groupe 1 sous pilotage de la PFA : Roadmaps batteries en fonction des marchés « mobilité » et « stockage stationnaire »
- Sous-Groupe 2 sous pilotage de BLUE SOLUTIONS / SAFT : Industrie française (européenne) de la cellule
- Sous-Groupe 3 sous pilotage de l'UIC : Soutien R&D à l'industrie de la cellule
- Sous-Groupe 4 sous pilotage de la PFA : Industrie française (européenne) du système batterie hors cellule + Soutien R&D à cette industrie.

LE GROUPE CNI BATTERIE

4 sous-groupes menés par des industriels avec la participation et le soutien du CEA LITEN



1.2. Contenu du rapport intermédiaire

Le CNI a demandé un point d'étape en mai des travaux de cette mission.

Ce point d'étape est présenté au Comité Stratégique de Filière le 22 mai 2018.

Le présent rapport intermédiaire correspond à ce point d'étape demandé par le CNI.

Il est constitué d'une synthèse des travaux des 4 sous-groupes + une note de synthèse reprenant les conclusions.

1.3. Les demandes du CNI non traitées dans ce rapport intermédiaire

Les demandes du CNI qui ne sont pas ou peu traitées dans les travaux des 4 sous-groupes de travail qui font l'objet du rapport intermédiaire, sont :

⇒ **L'anticipation des besoins et opportunités en matière de formations, compétences et emplois**

Il y a en fait 2 sujets :

- **Les besoins en compétences et formations** sur les (nouveaux) métiers de l'industrie de la batterie

Une liste des métiers de production et R&D concernés dans la filière automobile par le développement et la production des moteurs électriques et l'assemblage des batteries figure en annexe 5.

- **Le chiffrage en nombre d'emplois en France** d'une future industrie européenne/française de batteries

Une première prévision sur l'évolution des emplois de production entre 2016 et 2035 suite à l'évolution du mix énergétique dans la filière automobile et le développement d'une filière batterie en France (cellule + pack) pourrait être établie sous réserve de s'accorder sur des hypothèses.

⇒ **Un travail sur la seconde vie des batteries de mobilité**

Ce sujet est évoqué dans ce rapport pour le stockage stationnaire des énergies renouvelables. Mais ces besoins sont minimes par rapport à la quantité de batteries de VE qui seront disponibles chaque année après avoir terminé leur 1^{ère} vie.

Ainsi en France, 25 000 VE (1,2% du marché) ont été immatriculés en 2017 soit environ 1 GWh de batteries. 10 ans plus tard, en 2027, ces 25 000 packs batteries arriveront en fin de 1^{ère} vie représentant environ 0,7 GWh (70% de charge restante).

En 2020, la part des VE sera de 7% en France, soit 140 000 VE neufs représentant 5,6GWh de batteries qui arriveront en fin de 1^{ère} vie en 2030 à hauteur d'environ 3,9 GWh (70% de charge restante).

La seconde vie des batteries et leur recyclage sont 2 domaines importants. Le CSF Mines et Métallurgie étudie actuellement le lancement d'un GT mi-2018 sur le recyclage auquel les acteurs des filières automobile, chimie et énergie pourraient participer.

En parallèle il serait opportun de lancer également un GT sur la seconde vie des batteries, avec **une analyse technico-économique soutenue**.

Des acteurs se positionnent actuellement dans ce secteur (Renault/Véolia, SNAM).

D'autres acteurs considèrent que les grands équilibres économiques ne semblent pas favorables à l'usage des batteries de seconde vie dans les pays développés mais qu'une filière d'exportation dans les pays de développement pourrait être étudiée (ainsi en Inde, 60% de l'électricité produite se dissipe dans les réseaux, ce qui justifie l'implantation de sites de production d'énergie renouvelable et de stockage stationnaire à bas coût).

⇒ **Perspective quant à une éventuelle norme batterie européenne**

Vous trouverez en annexe 2 un premier point sur cette perspective.

2. SOUS-GROUPE 1 – ROADMAPS BATTERIES EN FONCTION DES MARCHES MOBILITE ET STOCKAGE



Participants :

Jean-Luc BROSSARD – PFA (pilote)	Dorothee COUCHARRIERE -BLUE SOLUTIONS
Marianne CHAMI – CEA LITEN (support)	Patrick de METZ - SAFT
Nicolas LECLERE - PFA	Ilan CAYREFOURCQ - UIC
Patrick BASTARD – PFA	Jean-Bernard LEPAGE – PFA
Bernard GRANDEL - PFA	

2.1. Mission, données d'entrée et livrables

Objectif du Groupe 1

Etablissement d'une roadmap commune (ou convergente) des marchés « Mobilité » et « Stationnaire », nécessaire pour l'établissement du modèle d'affaire de l'industrialisation des batteries et cellules en France

Données d'entrée du Groupe 1

La feuille de route Mobilité (dont L'Enquête Mix Energétique PFA/BIPE 2017)

La feuille de route Stationnaire

Livrables attendus de la part du Groupe 1

Roadmap technologique et marchés*

Caractéristiques demandées aux batteries selon les cas d'usage*

(*) Les livrables du Groupe 1 sont les données d'entrées pour les Groupes 2, 3 et 4.

2.2. Les roadmaps marchés « mobilité » et « stockage stationnaire »

2.2.1. La roadmap marché « mobilité »

L'Enquête Mix Énergétique PFA / BIPE 2017, dont la démarche est présentée en Figure 1, modélise l'évolution des marchés automobiles jusqu'à l'horizon 2035 en les segmentant par chaîne de traction (ou énergie). Elle se base sur des hypothèses prévisionnelles relatives à l'énergie (le prix du baril), la macro-économie, la réglementation et la technologie, et cela **dans une vision argumentée et indépendante** des objectifs commerciaux d'entreprises ou des objectifs politiques.

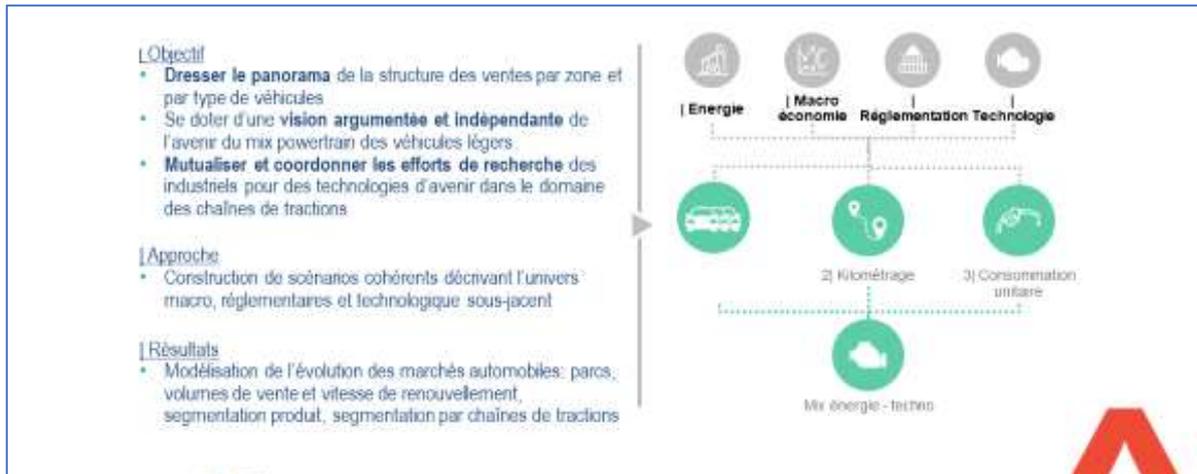


Figure 1: Projection du mix énergie, démarche enquête PFA BIPE 2017

Les résultats sont établis selon des hypothèses propres à 4 scénarios :

« **Stagnation** » : Croissance économique modérée et faible réglementation environnementale

« **Green Constraint** » : Croissance économique modérée et forte réglementation environnementale

« **Liberal World** » : Forte croissance économique et faible réglementation environnementale

« **Green Growth** » : Forte croissance économique et forte réglementation environnementale.

Le scénario de référence de l'Enquête Mix Énergétique est le scénario « Green Constraint » (Figure 2), et les résultats figurant dans ce rapport sont ceux de ce scénario.

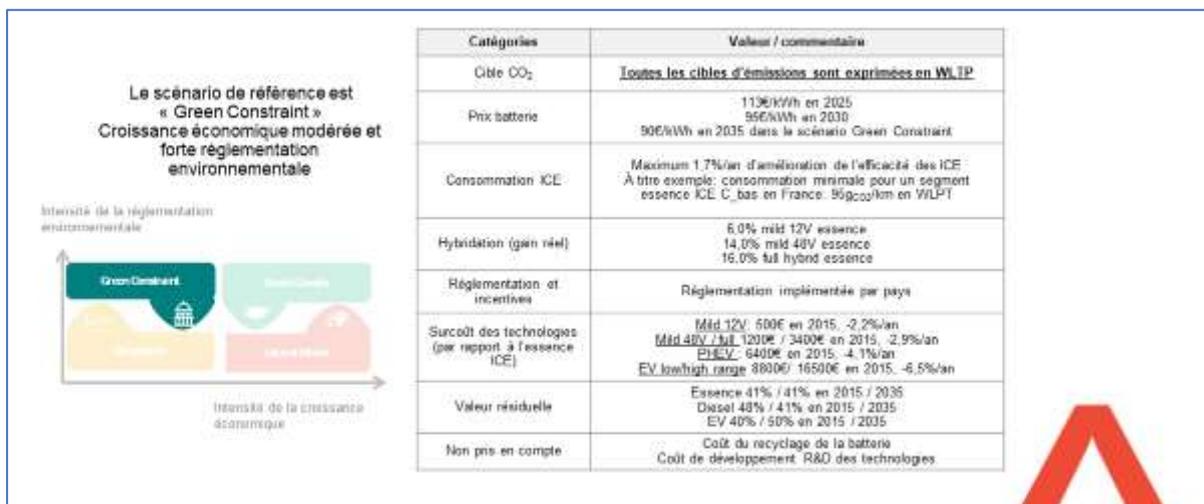


Figure 2: Présentation du scénario de référence "green constraint"

Le graphe de la Figure 3 ci-dessous présente l'évolution du mix énergétique des VL en Europe entre 2016 et 2035 dans le scénario de référence « Green Constraint ».

En 2035 les EV et PHEV représenteront en Europe respectivement 19% et 9% du marché (total = 28%), et en France 30% et 20% du marché (total = 51%).

Si on additionne les Mild Hybrid aux EV et PHEV, les véhicules électrifiés représenteront en Europe 67% du marché de 2035.

En 2030, les EV et PHEV représenteront en Europe respectivement 15,5% et 8,5% du marché (total = 24%), et en France 26% et 18% du marché (total = 44%).

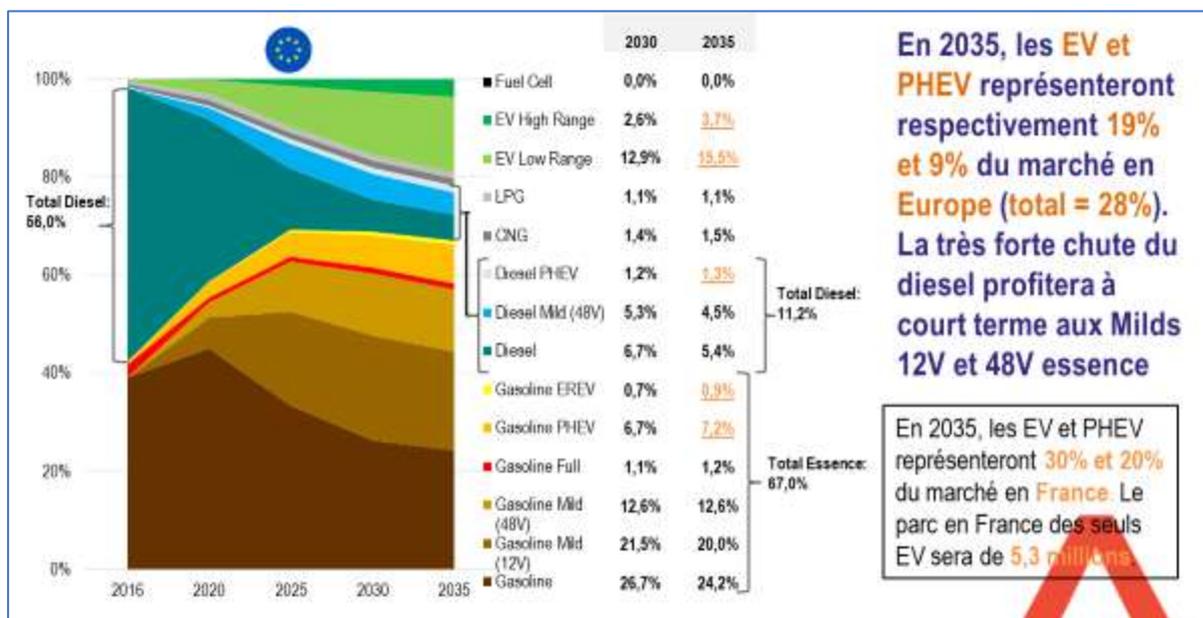


Figure 3: Mix VL en Europe dans le scénario "green constraint"

Ces évolutions du mix énergétique dans les différentes régions du monde sont ensuite traduites en besoins annuels de batteries en GWh.

Ainsi dans le scénario de référence, **les besoins annuels en 2030 sont de 751 GWh pour le Monde dont 154 GWh pour l'Europe dont 41 GWh pour la France** (en 2035 de 970 GWh pour le Monde dont 177 GWh pour l'Europe dont 46 GWh pour la France).

De 2016 à 2030, ce marché aura été multiplié par 23 pour l'Europe.

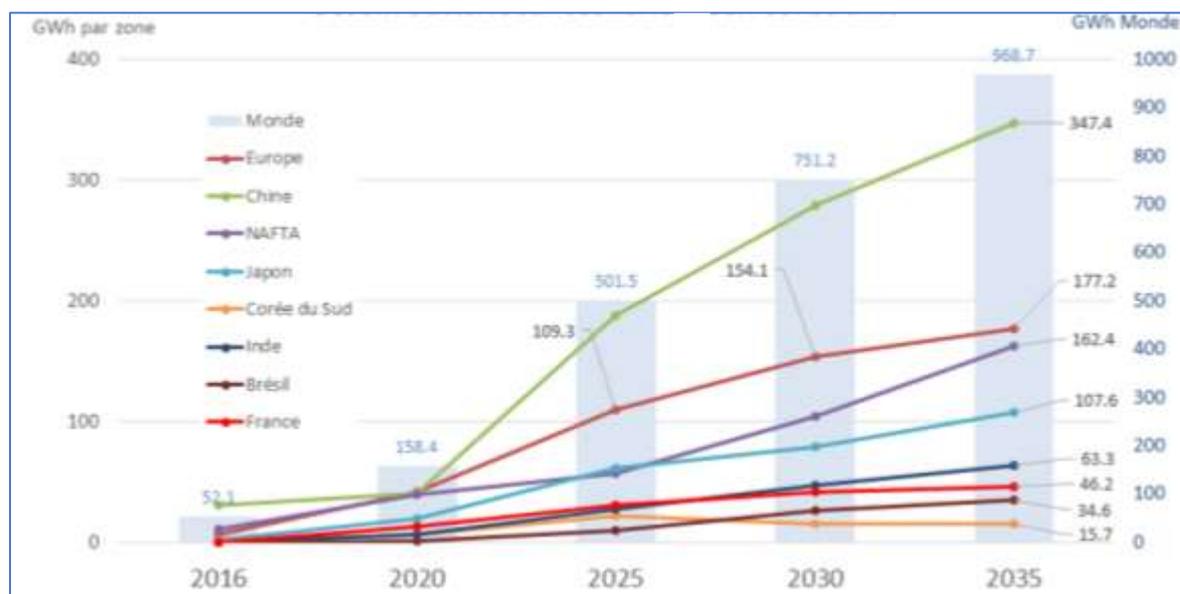


Figure 4: Besoin Batterie par zone selon scénario "green constraint"

La batterie 12 V au plomb ne participe pas à la traction. Néanmoins une fin d'exemption du Plomb dans l'automobile pourrait être décidée entre 2020 et 2030 en Europe ; la technologie

Lithium rechargeable pourrait remplacer la technologie Plomb. Le besoin pour le marché Europe de 1^{ère} monte des batteries 12V (pour les véhicules neufs) pourrait se situer en 2030 à environ 14,7M véh x 0,5KWh = 7,3 GWh. Le marché de 2^{nde} monte des batteries 12V (pour l'ensemble du parc de véhicules en circulation) est à ajouter.

2.2.2. La roadmap marché « stockage stationnaire »

Pour l'établissement d'une stratégie française dans le cadre du plan Stockage de la solution « Mobilité Ecologique » de la Nouvelle France Industrielle (NFI), une feuille de route a été établie en 2017 ; elle concerne le stockage stationnaire de l'électricité par batteries, afin de développer la filière nationale autour de cette thématique. Ce document a été utilisé en donnée d'entrée pour les réflexions ci-après.

Le stockage d'électricité est un élément critique pour l'intégration des énergies renouvelables intermittentes avec un marché en forte croissance à la maille mondiale. Les opportunités en France pour le développement du stockage sont déjà visibles, dans les territoires d'outre-mer et en métropole, pour faciliter la gestion des réseaux électriques. Elles ont pour la plupart déjà été identifiées par les différents acteurs et sont en cours d'expérimentation en vue d'une ouverture des marchés. Ainsi, la France peut se mettre en bonne position pour amorcer un marché national du stockage. Celui-ci est nécessaire au renforcement de la filière française pour garantir son positionnement futur autant sur le territoire national qu'à l'export. En effet, pour les différents acteurs de la chaîne de la valeur, un marché substantiel sur le sol national permettra de crédibiliser les solutions industrielles françaises et de les « dé-risquer » afin de convaincre les institutions financières privées de leur viabilité économique.

Les objectifs à horizon 2023 pour les différentes fonctions d'application du stockage stationnaire lié à l'accroissement de la production d'électricité d'origine renouvelable sur le sol national sont donnés dans le Tableau 1 ci-après.

Application / Segment		MW	Durée (h)	MWh	Hypothèse /commentaire
Métropole	Arbitrage	20	3	60	Un petit nombre de projets commerciaux expérimentaux Rentabilité à court terme non acquise
	Réglage fréquence	250	1	250	Ouverture du marché européen en 2017 50 MW par an à partir de 2018 puis saturation
	Congestions réseau	200	2	400	Premières expérimentations 2018 type Ringo puis passage possible à un service
	Centrales ENR régulées	20	2	40	Quelques expérimentations sur le territoire métropolitain Rentabilité à court terme non acquise sur réseau continental
	Autoconsommation	30	3	90	Un millier de systèmes d'autoconsommation pour le particulier par an et quelques projets commerciaux Rentabilité à court terme non acquise
ZNI	Micro réseau	15	6	90	Expérimentations en métropole ou dans les ZNI ayant aussi vocation de démonstration pour l'export
	Réglage fréquence	50	0,5	25	Quelques systèmes de 5 MW installés sur chaque ZNI pour libération de capacité d'accueil ENR
	Congestions réseau	10	2	20	
	Centrales ENR régulées	450	2	900	cumul des appels d'offres PV + stockage organisé par la CRE (50 MW par an en plus des 100 MW déjà engagés)
	Autoconsommation	30	3	90	Un millier de systèmes d'autoconsommation pour le particulier par an et quelques projets commerciaux Rentabilité globale pour le système plus proche qu'en métropole
Total		1.1 GW		2 GWh	

Tableau 1: Ambition de développement du stockage en France, par fonction, pour 2023

Cette feuille de route ambitionne d'installer de l'ordre de 1,1 GW, soit **2 GWh de stockage stationnaire en France d'ici 2023**.

Il ne faut certainement pas omettre dans ce marché du stationnaire, les besoins d'électrification des pays émergents (Asie, Afrique principalement), auxquels les industriels français de la cellule ont vocation à répondre activement, par la création de mini-réseaux électriques, impliquant des énergies renouvelables et du stockage d'électricité par batteries.

Selon l'International Finance Corporation de la Banque mondiale (Figure 5 ci-dessous), le déploiement du stockage d'énergie dans les marchés émergents croîtra de 40% par an sur la prochaine décennie, pour atteindre au cumul 80 GW de nouvelles capacités de stockage (contre les 2 GW existant).

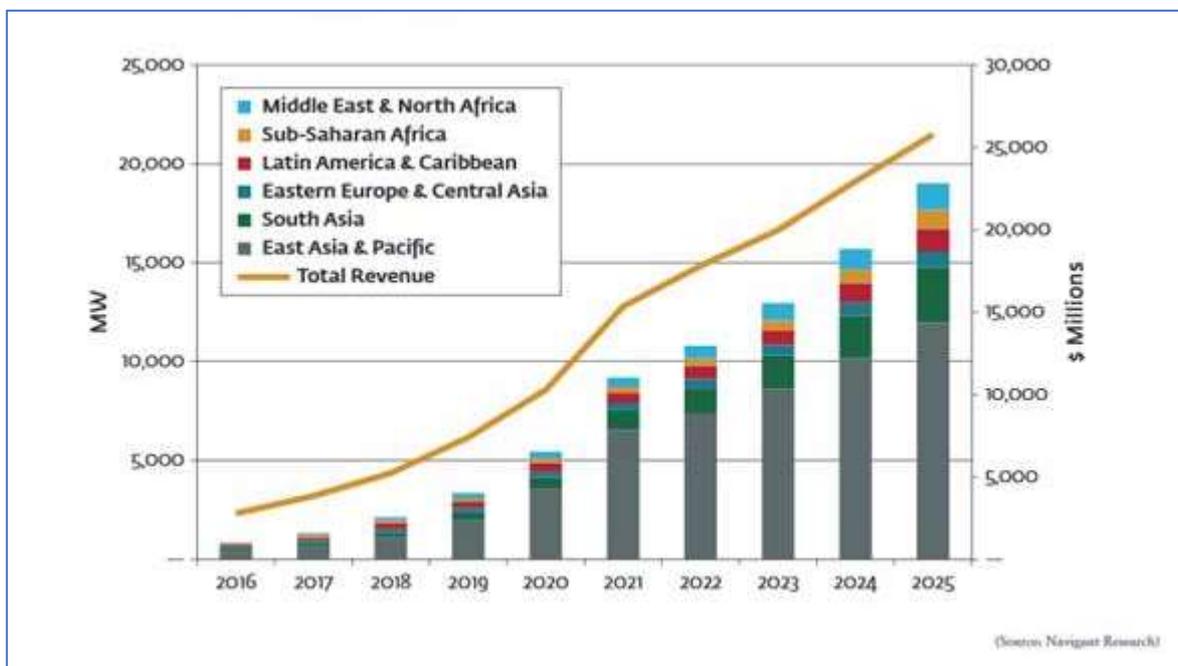


Figure 5: Projection annuelle du déploiement du stockage stationnaire par zone géographique

2.2.3. La convergence des roadmaps des marchés « stockage stationnaire » et « mobilité »

Les marchés du véhicule électrique et du stockage stationnaire lié à l'accroissement de la production d'électricité d'origine renouvelable sont liés : les volumes de batteries (Tableau 2) en jeu sur le marché du véhicule électrique sont supérieurs à ceux du marché stationnaire et contribuent fortement à impulser une baisse de prix.

Prévision en France, en 2023	Marché de la mobilité	Marché du stockage stationnaire lié à l'accroissement de la production d'électricité d'origine renouvelable
Batteries (GWh)	30	2

Tableau 2: Besoin en GWh de batteries en France, en 2023, en fonction des marchés

Cet écart de taille de marché donne un avantage compétitif aux batteries de mobilité vis-à-vis du stationnaire. Or, du fait des performances requises, le marché des batteries de mobilité est pour ainsi dire exclusivement à base de batteries rechargeables au Lithium, et il n'est donc au final pas surprenant de constater que ces batteries se sont également imposées à plus de 85% en 2016 sur le marché stationnaire.

Malgré une convergence des technologies mises en œuvre dans ces deux marchés vers les batteries rechargeables au lithium, les performances demandées dans ces deux marchés (et au sein de chacun de ces marchés) restent cependant hétérogènes sur certains points critiques, comme il sera exposé plus loin.

Quatre scénarios peuvent être envisagés pour une convergence du marché du « stockage stationnaire » et celui de la « mobilité » (Figure 6) :

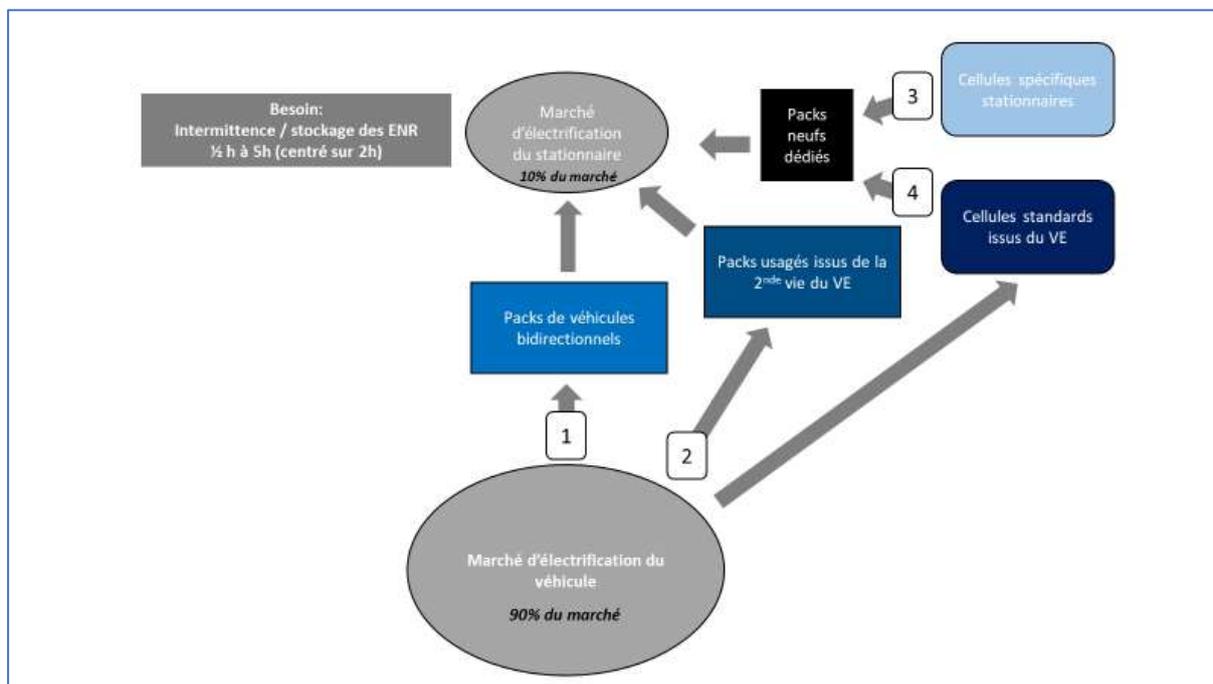


Figure 6 : Les quatre scénarios envisagés pour une convergence des marchés du stationnaire et de la mobilité

Scénario 1 : La technologie Vehicle-to-Grid (ou V2G) ou le véhicule électrifié au service du réseau

Jusqu'à présent, le véhicule électrifié n'est vu que comme un moyen de transport et non comme un vecteur énergétique, même si de nombreuses expériences et projets ont été menés à travers le monde pour démontrer l'intérêt de connecter des véhicules au réseau électrique existant et les services qu'ils pourraient rendre (soutien au réseau, équilibrage de phase, localisation de l'énergie, gestion des intermittences).

La batterie embarquée du véhicule rechargeable pourrait en effet permettre de restituer de l'énergie au réseau, dans la mesure où un véhicule particulier passe en moyenne 95% de son temps en stationnement. Le réseau pourrait puiser dans la batterie l'électricité nécessaire pour répondre aux fortes demandes (lors de la pointe de consommation du début de soirée par exemple) ou pour pallier un manque ponctuel de production (lorsque la météo ne permet pas d'exploiter les énergies renouvelables par exemple). Le véhicule rechargeable alimenterait ainsi le réseau en fonction des besoins du système électrique (modèle **bidirectionnel** : l'électricité passe du réseau au véhicule et inversement) et lui offre un service de flexibilité.

Compte-tenu des volumes de véhicules rechargeables attendus, et de la « faible » demande du stockage stationnaire, des premiers calculs rendent extrêmement possible ce type de scénario. En effet, dans les pays de type OCDE bénéficiant d'un bon réseau et d'un niveau de vie élevé (de nombreux particuliers possèdent des véhicules et peuvent basculer sur l'électrique EV ou PHEV), il est très probable que les batteries des véhicules suffisent alors à assurer les divers besoins du réseau à l'échelle de la journée. On estime en effet qu'un quart d'une batterie de véhicule électrifié peut assurer une fonction réseau indépendamment de l'énergie requise pour la mobilité journalière.

Cela sous-entend quand même l'existence d'un modèle économique pertinent, que ce schéma soit accepté par le client utilisateur et que les constructeurs automobiles garantissent les batteries pour ces usages de service au réseau.

Sous ces réserves, l'apport des véhicules bidirectionnels en stationnement pourrait se calculer à l'horizon 2035 de la manière suivante : un parc de 1 million de EV bidirectionnels (sur un parc de 5,3 millions de EV) ayant une capacité moyenne d'échange de 10 KWh, soit un apport potentiel de 10 GWh.

Scénario 2 : Des batteries neuves utilisées dans une 1^{ère} vie pour le marché de la mobilité et dans une 2^{nde} vie pour le marché du stockage stationnaire

Etant donné le nombre de véhicules rechargeables attendus en circulation, il y aura plusieurs dizaines de GWh de capacité de batteries qui ne seront plus utilisables dans les véhicules, mais dont la capacité restante (~75% de leur capacité initiale) pourra être utilisée en théorie pour le stockage stationnaire (batteries de 2^{nde} vie).

Aujourd'hui peu d'informations sont disponibles sur l'analyse technico-économique de ces systèmes de 2^{nde} vie (le coût de leurs reconditionnements et le coût des batteries de 1^{ère} vie ne sont pas encore stabilisés). Nous retiendrons cependant que des assembleurs de batteries utilisent déjà aujourd'hui des packs batteries issus des véhicules électrifiés en limitant les étapes de reconditionnement, ce qui rend envisageable (compte-tenu des volumes attendus de batteries), le scénario d'une 2^{nde} vie.

A contrario, la faisabilité industrielle d'une telle filière repose sur trois hypothèses qui restent à vérifier :

- Une bonne adéquation des batteries VE de 10 ans d'âge aux contraintes fonctionnelles des services de stockage de l'énergie : durée de vie et aptitude répétée au cyclage profond,
- La possibilité de reconfigurer des batteries VE usagées pour cet autre usage à un coût maîtrisé tout en respectant les exigences de qualité et de sécurité,
- Le positionnement technico-économique de batteries de 10 ans d'âge face à des batteries neuves ayant bénéficié de 10 ans de progrès en matière de performance et de coût. En effet, rien ne laisse prévoir que les progrès futurs des batteries atteignent simultanément une asymptote sur ces deux mesures.

Nota : Il n'existe pas de flotte de taxis économiques dont le modèle repose sur l'exploitation de véhicules de 10 ans d'âge, ni d'entreprise du secteur concurrentiel qui s'équipe de PC en seconde vie équipés de Windows 7.

Scénario 3 : Packs neufs spécifiques pour le marché du stationnaire, qui seront différents des packs neufs dédiés au marché de la mobilité

Les contraintes des spécifications des batteries pour le stationnaire sont relâchées en matière de densité d'énergie volumique et massique, mais renforcées en ce qui concerne la durée de vie requise (15-20 ans pour le « stationnaire » et 8-10 ans pour la « mobilité » avec une conservation de 75% de la capacité d'énergie) ainsi que sur leur aptitude au cyclage (potentiellement plusieurs décharges profondes par jour).

Les contraintes très spécifiques liées au stationnaire peuvent ainsi créer des conditions de marchés favorables au développement d'une technologie de batterie spécifique, qui pourrait être un marché « premier ramp-up » pour une industrie de la cellule en Europe.

A noter cependant que le scénario 3 a pour le moment été jugé minoritaire, la diminution significative du prix des batteries étant un facteur clé dans le développement du stockage stationnaire. Dans ce scénario, ce dernier risque d'être considérablement freiné en ne profitant pas de la baisse des prix batteries, conséquence de la croissance de la mobilité rechargeable.

Scénario 4 : Packs neufs du marché de la mobilité pour le marché du stationnaire

Une industrie forte et compétitive du « stationnaire » ne peut être créée sans synergie forte avec le secteur du véhicule électrifié. Dans ce scénario, la baisse des prix des batteries dédiées à la mobilité, profitera également au secteur du stationnaire.

Les quatre scénarios énoncés ci-dessus ne sont pas antagonistes et peuvent coexister. Le scénario « 4 » est considéré comme prépondérant à moyen terme : la majeure partie de la production de cellules en France approvisionnera la mobilité électrique (les volumes de production attendus engendreront une diminution des coûts), le reste de la production pourra quant à lui répondre au besoin plus minime du stationnaire.

2.3. Les spécifications demandées aux batteries selon les cas d'usage

2.3.1. Les spécifications du SET-Plan 2017

Le SET-Plan (Strategic Energy Technology Plan) de l'Union Européenne a défini, dans le cadre de son action n°7, des objectifs de spécifications de batteries pour la mobilité et le stationnaire, d'une part à l'horizon 2020 et d'autre part à l'horizon 2030.

- Objectifs de performance : - densités énergétiques massique (Wh/kg) et volumique (Wh/l) – densités de puissance massique (W/kg) et volumique (W/l) – temps de recharge rapide à 70-80% (en mn) – durée de vie (en cycles et en années)
- Objectifs de coût : - pack batterie mobilité (90 €/kWh puis 75 €/kWh)
- Objectifs industriels : - production en Europe – recyclage – seconde vie

On notera dans le Tableau 3 ci-dessous que les valeurs sont uniques pour les batteries de mobilité, quel que soit le cas d'usage.

a) Performance targets				
Successful deployment of batteries for automotive applications requires meeting a number of performance criteria. It is acknowledged that it may be difficult to achieve some targets concurrently, e.g. gravimetric versus volumetric energy density, gravimetric energy density versus fast charge time or energy versus power demand at cell level). Furthermore, some performance parameters are affected by use conditions (e.g. battery cycle life may strongly be strongly affected by the frequency of fast recharge). Such interdependencies need to be considered.				
Table a	Current (2014/ 2015)	2020	*2030	
Performance targets for automotive applications unless otherwise indicated				
1	Gravimetric energy density [Wh/kg]			
pack level	85-135	235	> 250	
cell level	90-235	350	> 400	
2	Volumetric energy density [Wh/l]			
pack level	95-230	500	> 500	
cell level	200-630	750	> 750	
3	Gravimetric power density [W/kg]			
pack level	330-400	470	> 470	
cell level		700	> 700	
4	Volumetric power density [W/l]			
pack level	350-550	1.000	> 1.000	
**cell level		1.500	> 1.500	
5	fast recharge time (min) (70-80% dSOC)	30	22	12
6	Battery life time (at normal ambient temperature)			
	Cycle life for BEV*** to 80% DOD (cycles)	1.000	2000	
	Cycle life for Stationary to 80% DOD (cycles)	1000-3000	3000-10000	10000
	Calendar life (years)	8-10	15	20

*: Post-Lithium ion technologies are assumed relevant in this time frame
 **: May also be relevant to stationary applications
 *** Cycle life for PHEV must be bigger

b) Cost targets				
The medium term target date for cost targets is set to 2022 (as opposed to 2020) to allow more time for these targets to be met.				
Table b	Current (2014/ 2015)	2022	2030	
Cost target				
1	Battery pack cost for automotive applications [€/kWh]	180-285	90	75
2	Cost for stationary applications requiring deep discharge cycle [€/kWh/cycle]		0,1	0,05

c) Manufacturing targets				
Table c	Current (2014/ 2015)	2020	2030	
Manufacturing targets				
1	Automotive (Li-ion and next generation post-lithium) battery cell production in EU [GWh/year] (% supporting EU PHEV+BEV production)	0,15 – 0,20	5 (50% of the 0.5 M EVs with 20 kWh)	50 (50% of the 2 M EVs with 50 kWh)
2	*Utility Storage (Li-ion and next generation post-lithium) battery cell production in EU [GWh/year]	0,07 – 0,10	2,2	30
3	Recycling			
	**battery collection/take back rate	45% (Sept 2016)	70%	85%
	Recycling efficiency (by average weight)	50%	50%	50%
	Economy of recycling	Not economically viable	Break even	Economically viable
4	Second Life	Not developed	Developed	Fully established

* The energy storage capacity in GWh depends strongly on the implementation rate of intermittent renewable electricity sources and market models behind those.
 ** These targets are based on numbers defined in Directive 2006/55/EC. This Directive is being revised and targets should be consistent with the revised Directive.

Tableau 3: Bilan Roadmap SET Plan - Action n°7
 (Source SET-Plan Action n°7 - Declaration of Intent - 12 July 2016)

2.3.2. Les spécifications des batteries « mobilité » selon les cas d'usage

La Figure 7 ci-après décrit les 7 cas d'usage prioritaires pour les véhicules électriques ou électrifiés :

- Véhicule électrique BEV long range
- Véhicule électrique BEV accessible
- Véhicule électrique BEV pour mobilité ultra-urbaine
- Véhicule électrique BEV haute performance
- Véhicule PHEV premium
- Véhicule PHEV main stream
- Véhicule Mild Hybrid 48V main stream

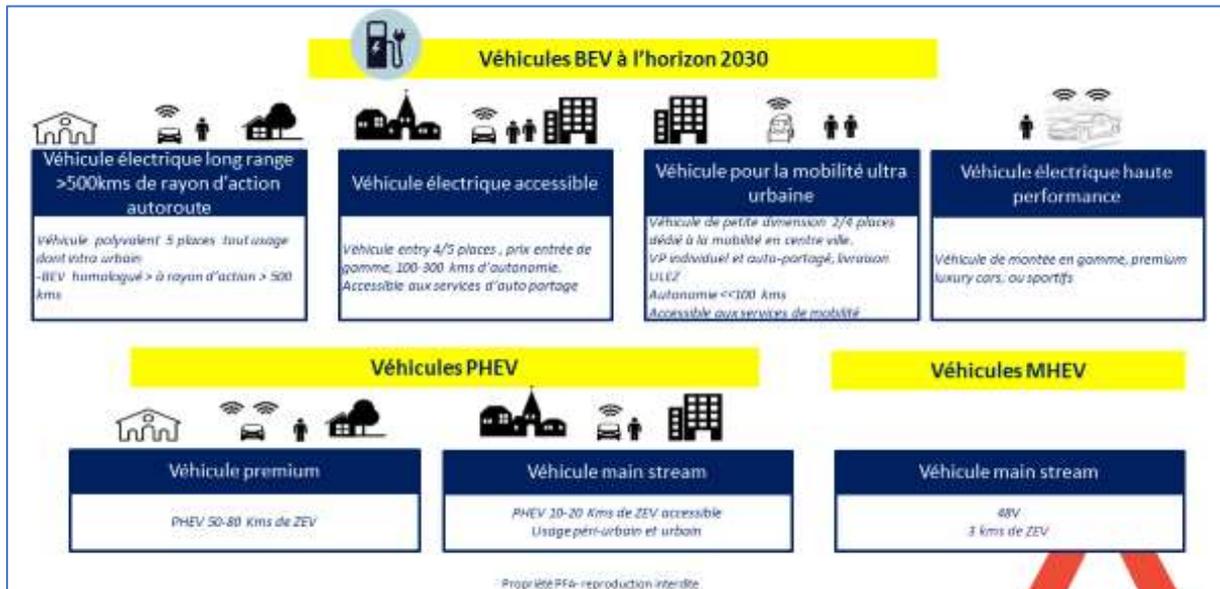


Figure 7: Les cas d'usage prioritaires pour véhicules électriques ou électrifiés

Les spécifications fonctionnelles sont précisées dans la Figure 8 ci-dessous. Les volumes de production annuelle en Europe à l'horizon 2030 sont indiqués en ordre de grandeur pour chacun de ces 7 cas d'usage.

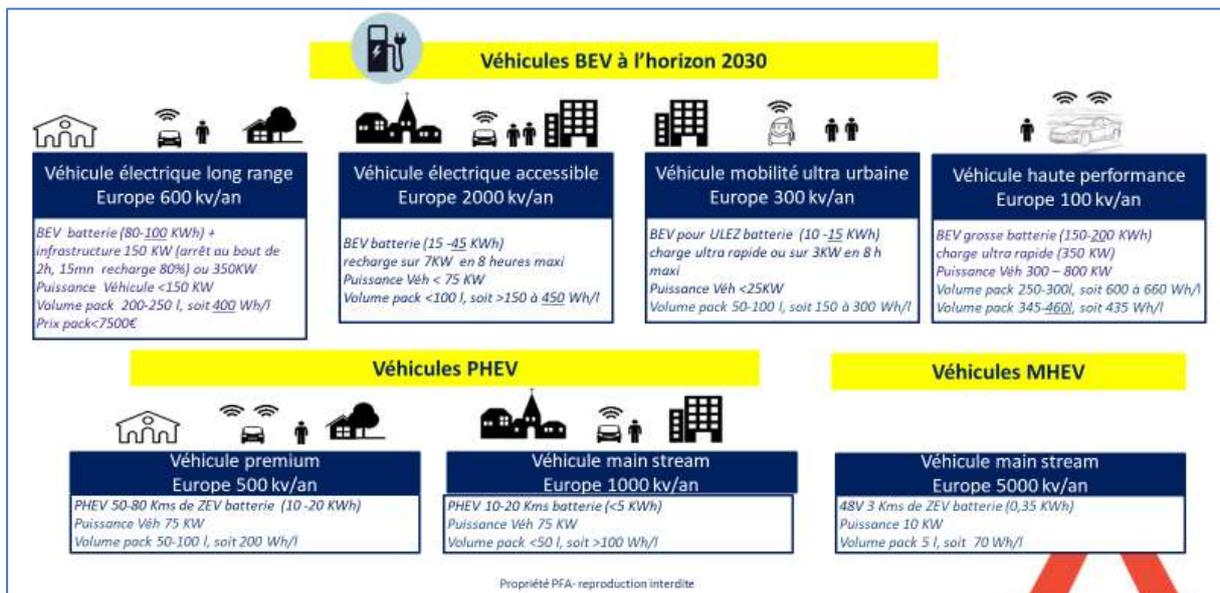


Figure 8: Les spécifications selon les cas d'usage des véhicules électriques ou électrifiés

Enfin les spécifications techniques sont établies.

La Figure 9 et la Figure 10 ci-après présentent pour les 7 cas d'usage :

- Les spécifications générales
- Le C-rate charge (Puissance Charge / Pack Energie) et le C-rate décharge (Puissance Moteur / Pack Energie)
- Les densités d'énergie volumiques et massiques (des cellules et des packs).

Le facteur d'intégration (de la cellule au pack) volumique est de 2,4 et celui massique de 1,4 ou de 1,7.

Ces valeurs sont différentes selon les cas d'usage. Or il est clair qu'il n'y aura pas 5 ou 6 types de cellules de batteries, il y aura forcément des regroupements. Les valeurs des planches correspondent donc aux besoins de chaque cas d'usage, et des regroupements se feront selon le principe de « qui peut le plus peut le moins ».

Véhicules BEV		Spécif fonction	C-rate Charge (PC/PE)	C-rate Décharge (PM/PE)	Densité énergie*		Prév SET PLAN 2030 (toutes applications VE)
1	 Véhicule électrique long range Europe	Pack Energie : 100 kWh Pack Volume : 250 L Pack Masse : 400 kg Puissance Mot: 150 KW Puissance Charge: 350 KW	3,5	1,5	Wh/L pack 400	Wh/L cell 960	Temps recharge rapide 12 mn
2	 Véhicule électrique accessible Europe	Pack Energie : 45 kWh Pack Volume : 100 L Pack Masse : 180 kg Puissance Mot: 75 KW Puissance Charge: 7 KW	0,2	1,7	Wh/L pack 450	Wh/L cell 1080	Densité énergie Wh/L pack > 500 Wh/L cell > 750
3	 Véhicule mobilité ultra urbaine Europe	Pack Energie : 15 kWh Pack Volume : 60 L Pack Masse : 80 kg Puissance Mot: 25 KW Puissance Charge: 3 KW	0,2	1,7	Wh/L pack 250	Wh/L cell 600	Densité puissance KW/L pack > 1,0 KW/L cell > 1,5
4	 Véhicule haute performance Europe	Pack Energie : 200 kWh Pack Volume : 460 L Pack Masse : 600 kg Puissance Mot: 800 KW Puissance Charge: 350 KW	1,8	4,0	Wh/L pack 435	Wh/L cell 1043	

Figure 9: Les spécifications des batteries selon les cas d'usage des véhicules électriques BEV

Véhicules PHEV		Spécif fonction	C-rate Charge (PC/PE)	C-rate Décharge (PM/PE)	Densité énergie*	
5	 Véhicule premium	Pack Energie : 10 kWh Pack Volume : 93 L Pack Masse : 78 kg Puissance Mot : 75 KW Puissance Charge: 7 KW	0,7	7,5	Wh/L pack 107	Wh/L cell 257
6	 Véhicule main stream	Pack Energie : 5 kWh Pack Volume : 47 L Pack Masse : 39 kg Puissance Mot : 75 KW Puissance Charge: 7 KW	1,4	15,0	Wh/L pack 107	Wh/L cell 257
Véhicules MHEV						
7	 Véhicule main stream	Pack Energie : 0,35 kWh Pack Volume : 5 L Pack Masse : 7 kg Puissance Mot : 10 KW Puissance Charge: 50	---	28,6	Wh/L pack 70	Wh/L cell 168

(*) Facteur intégration (pack/cell) volumique = 2,4 pour les 7 véhicules
Facteur intégration (pack/cell) massique = 1,4 pour 1 4 5 6 7 et 1,7 pour 2 3

Figure 10: Les spécifications des batteries selon les cas d'usage des véhicules électrifiés PHEV et MHEV

2.3.3. Spécifications des batteries pour le stockage stationnaire

Les spécifications des batteries pour le stockage stationnaire (Tableau 4 ci-après) demandent que le système fonctionne sans maintenance, et soit le plus sécuritaire et propre possible.

Ensuite, les principaux challenges des batteries au Lithium rechargeable pour le stationnaire sont une réduction de leurs coûts, une augmentation de leur durée de vie (nombre de cycles réalisables), et un fonctionnement optimal, même à des températures élevées :

- Le coût énergétique global annoncé par le SET Plan est de 0,1 €/kWh/cycle en 2020, puis 0,05 €/kWh/cycle en 2030. Ces données par cycle ne font pas sens pour les

fabricants de cellules qui préfèrent le coût énergétique global annoncé par l’IRENA² pour le stockage stationnaire qui est de l’ordre 120 €/kWh en 2030.

- Toujours dans le cadre du SET Plan, la durée de vie requise est de l’ordre de 15 à 20 ans, ce qui signifie au moins 5 000 à 10 000 cycles, en fonction des applications. Aujourd’hui les batteries Li-ion réalisent entre 3 000 et 4 000 cycles à 20°C, avant d’atteindre les critères de fin de vie.
- La température de fonctionnement : en métropole, la température de fonctionnement est entre 0 et 45°C, en moyenne 20 à 30°C. Dans les zones non interconnectées (ZNI), la température de fonctionnement est entre 30 et 50°C, en moyenne 45°C. Le fonctionnement « à chaud » accélère le vieillissement des batteries conventionnelles à électrolyte liquide, alors qu’il n’impacte pas la technologie « tout solide » actuelle (Lithium métal polymère).

Enfin, certaines spécifications des batteries pour le stationnaire sont considérées « relâchées », dans la mesure où les packs batteries actuels au Lithium rechargeable répondent déjà aux exigences :

- Les contraintes énergétiques liées au volume et à la masse du système batterie sont peu exigeantes (par rapport à la mobilité qui vise ~400 Wh/L) : un pack batterie de densité d’énergie volumique de 100 Wh/L suffit à répondre au besoin du stationnaire (les batteries au Lithium rechargeable satisfont donc déjà à cette spécification, y compris des batteries usagées ayant perdu 25% de leur performances initiales),
- Une autodécharge très faible sur les périodes de stockage (<3%/jour pour PV en ZNI),
- Régimes : 2C pour réglage de fréquence, C/2 à C/5 pour le solaire, C/20 à C/500 pour l’éolien.

	Application / Segment	MW par installation	MWh par installation	Nombre de cycles par jour	Régime	Nombre de cycles que la batterie devra réaliser	Durée de vie de la batterie
Métropole	Arbitrage	200MW	800MWh	1 à 2	C/4 à C/2	5000 à 10 000 cycles	10 ans
	Régulation fréquence		De 5-10MWh, à 40-50MWh	5 à 6	2C	Plutôt qu’un objectif en durée de vie, ou un nombre de cycles, c’est une rentabilité économique qui est visée Si le système batterie de bas coût réalise 1000 cycles, il sera acceptable de le changer par exemple tous les 3 ans	
	Congestions réseau		10MWh		C/4 à C/2		
	Centrales ENR régulées	1MW	2-4MWh	1	C/4 à C/2	(5000-6000 cycles)	15 ans
	Autoconsommation	2-3 kW à 15kW	5 kWh à 15 kWh	1	C/4 à C/2	(7000 cycles)	15-20 ans

Tableau 4 : Spécifications des systèmes batteries, par segments d’application dédiés au stockage stationnaire

2.4. Les chiffres-clés et les challenges à relever

2.4.1. Les chiffres-clés du marché de la mobilité en 2030

Les chiffres-clés prévisionnels du marché de la mobilité en 2030 sont donnés (Tableau 5).

² Electricity storage and renewables: costs and markets to 2030, IRENA, Octobre 2017

% EV +PHEV du marché Europe = 15,5% EV + 8,5% PHEV (26% + 18% pour la France)			
Besoins Batteries Europe = 154 GWh / an (dont 41 GWh pour la France)			
CA annuel batteries Europe = 11,5 Milliards € (si 75€/KWh) à 13,9 Milliards € (si 90€/KWh)			
Cas d'usage	Volumes véh Europe	Energie volumique	Besoins
BEV long range	400 000 à 600 000	} > 900 Wh/L cell	132 GWh
BEV accessible	1 600 000 à 2 000 000		
BEV haute performance	60 000 à 100 000		
BEV mobilité ultra urbaine	250 000 à 300 000	> 500 Wh/L cell	5 GWh
PHEV premium	400 000 à 500 000	} > 150 Wh/L cell	16 GWh
PHEV mainstream	800 000 à 1 000 000		
Mild Hybrid	5 000 000 à 5 800 000		

Tableau 5: Les chiffres-clés du marché de la mobilité en 2030

2.4.2. Les challenges à relever

La compétitivité est le maître mot des challenges à relever. Toute démarche non compétitive est vouée à l'échec.

Les challenges sont d'ordre économique, technologique.

Le challenge technologique de la mobilité

Les challenges prioritaires pour atteindre les objectifs de performance des batteries de mobilités sont :

- **L'aptitude à la charge rapide**, mobilisant des puissances et des courants importants : facteur d'ordre 1 pour diminuer le temps de recharge
- **Les densités volumiques et massiques d'énergie** : facteur d'ordre 1 pour augmenter les autonomies des véhicules

D'autres challenges sont aussi à relever :

- La durabilité : maîtrise et limitation du vieillissement
- La compatibilité avec l'intégration des VE dans les smart-grids : le véhicule électrifié est appelé à devenir un élément clé des réseaux d'énergie intelligents, notamment avec l'introduction des énergies renouvelables
- La tenue aux conditions climatiques étendues : accès aux marchés « grand-froid » et « grand-chaud ».

En parallèle de ces évolutions, et comme cela a été le cas jusqu'à maintenant, aucune concession ne doit être faite sur la sécurité malgré les évolutions de chimie, les augmentations de capacité et de puissance de recharge.

- **La sécurité intrinsèque des cellules** devra évoluer pour faciliter la mise en sécurité du véhicule sur laquelle on ne peut transiger.

De la même manière, la démarche d'éco-conception devra suivre le meilleur état de l'art.

Le challenge économique de la mobilité

Actuellement conçues et fabriquées en Asie à plus de 90%, les cellules représentent une part importante de la valeur de la batterie (environ 75% en 2017). Les matières premières entrant en jeu dans ces cellules représentent une part de plus en plus élevée de cette valeur (environ 50% de la cellule soit 38% de la batterie en 2017) alors que leur chaîne d'approvisionnement est peu maîtrisée par les utilisateurs finaux que sont les constructeurs

et équipementiers et que des sujets de préoccupation sont d'ores et déjà identifiés (Figure 11).

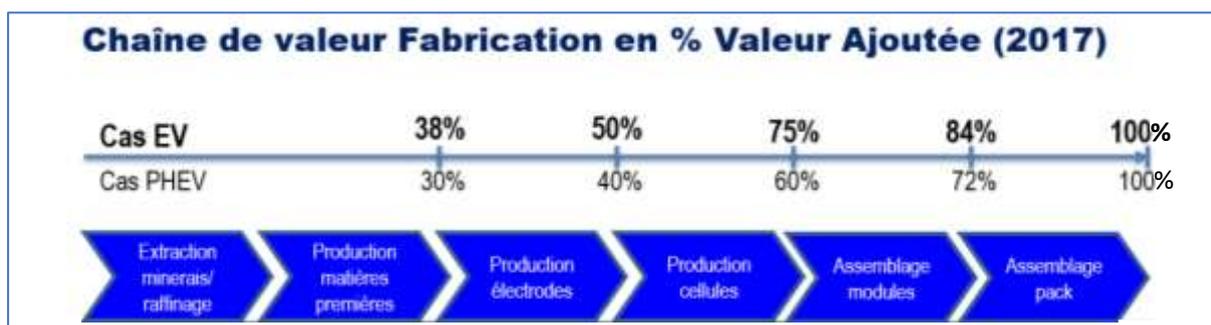


Figure 11: Répartition en % du coût de la fabrication d'un pack batterie en 2017 (cette répartition varie en fonction de la taille du pack batterie et évolue en fonction du coût des matières premières minières)

Parmi ces sujets, il convient de citer le risque de non-respect des droits fondamentaux des salariés dans certaines zones géographiques, d'une protection insatisfaisante de la santé et de la sécurité des travailleurs dans les activités extractives de certains minéraux, des tensions futures possibles sur la disponibilité de certaines matières premières dans une hypothèse d'absence de recyclage et d'ouverture de nouvelles mines. A titre d'exemple de risque avéré, vous trouverez en annexe 4 une information du RMI (Responsible Minerals Initiative) sur le travail d'enfants dans des mines artisanales d'extraction du cobalt en République Démocratique du Congo.

Au-delà des cellules elles-mêmes, le développement des packs batterie et les filières aval (après-vente, 2nde vie batterie, recyclage) (entre 15 et 25% de la valeur totale) sont des activités requérant des compétences de R&D et industrielles disponibles en Europe et génératrices de valeur.

C'est donc l'ensemble de la chaîne de valeur qui doit être mise sous tension, depuis les matériaux jusqu'aux filières aval, pour **diminuer les coûts des batteries** et arriver aux objectifs du SET-Plan de 90 €/kWh puis de 75 €/kWh en 2030.

Les challenges prioritaires de la mobilité

Les challenges de la mobilité sont encadrés ci-après.



Les challenges de la convergence des batteries pour le stockage stationnaire et la mobilité

La confrontation des caractéristiques des batteries pour le stockage stationnaire avec celles des batteries pour la mobilité électrique (Tableau 6), montre que les batteries pour le stockage stationnaire ont principalement trois challenges plus exigeants à relever :

- Une durée de vie plus longue (15-20 ans),
- Des températures de fonctionnement plus hautes dans les ZNI (45°C en moyenne)

- Une capacité de cyclage autorisant des décharges nombreuses et répétées (10 000 cycles) pour des besoins en régulation de fréquence, et une capacité d'utilisation en décharge profonde pour des besoins de couverture en demande de pointe.

Packs batteries	Stockage stationnaire des EnR 	Mobilité électrique (PHEV/BEV) 
Similitudes	<p>Energie et puissance : des densités de packs batteries moins exigeantes pour le stationnaire que pour la mobilité</p> <p>Coûts : des coûts faibles sont requis pour un décollage des marchés</p>	
Différences	<p>La durée de vie des batteries : Pour la mobilité, elle est d'environ 8 ans << Pour le stockage stationnaire, elle est de 15 à 20 ans.</p> <p>Températures de fonctionnement dans les ZNI (45° en moyenne) : Cette température de fonctionnement est élevée pour un système batterie utilisant des cellules à électrolyte liquide.</p> <p>Capacité de cyclage en fonction des services rendus au système électrique</p>	

Tableau 6: Comparaison des spécifications des batteries pour la mobilité et le stockage stationnaire par batterie des EnR

SOUS-GROUPE 2 – INDUSTRIE FRANCAISE (EUROPEENNE) DE LA CELLULE



Participants :

Dorothée COUCHARRIERE – BLUE SOLUTIONS (pilote)

Patrick de METZ – SAFT (pilote)

Marianne CHAMI – CEA LITEN (support)

Didier MARGINEDES – BOLLORE

Marc Deschamps – BOLLORE

Laurent Perrier – BLUE SOLUTIONS

Jean-Baptiste PERNOT – SAFT

3.1. Mission, données d'entrée et livrables

Objectif du Groupe 2

Emettre des recommandations aux autorités françaises visant à favoriser le développement des activités de production de cellules batteries en France par une entreprise française de manière compétitive, profitable et durable.

Données d'entrée du Groupe 2

- Analyse du marché fournie par le Groupe 1
- Analyse des technologies disponibles et/ou développables par le Groupe 3
- Spécifications des fournitures nécessaires pour les systèmes packs batteries identifiées par le Groupe 4
- Analyse des forces et faiblesses actuelles de l'industrie française de la cellule, ses risques et opportunités, et l'environnement concurrentiel.

Livrables attendus de la part du Groupe 2

- Analyse des freins au développement d'une telle activité industrielle en France et identification des facteurs clés de succès
- Vision de ce que pourrait être le secteur en 2030 en cas de succès (parts de marché, capacité industrielle, emploi & compétences)
- Liste de recommandations regroupées par thème (écosystème français, marché amont, marché aval, cadre juridique français et international [normes, standards, commerce international], compétences et formation, innovation et services associés)
- Comment s'assurer que ces recommandations seront mises en œuvre, suivies, et produiront les résultats attendus (plan de mise en œuvre, points d'étape, mécanismes de suivi/régulation, mécanismes de prise de décision)

3.2. Analyse des forces et faiblesses d'une industrie française de la cellule

3.2.1. Des atouts industriels indéniables

A la différence d'autres pays européens, **la France dispose d'une filière industrielle de construction de cellules** de batteries rechargeables au Lithium (Li-ion et LMP).

Les sociétés Saft, filiale du groupe Total, et Blue Solutions, filiale du groupe Bolloré³, possèdent des capacités industrielles de production en France, en Europe et dans le monde, intégrant toute la chaîne de valeur depuis la recherche et le développement, jusqu'à la fabrication de cellules, de modules et de packs batteries.

Ces deux sociétés (Tableau 7), tout en disposant de leurs propres équipes de recherche et développement, coopèrent avec des instituts français et européens de recherche dans le domaine des batteries. Elles sont également propriétaires d'un certain nombre de brevets et patentes industrielles, dans des domaines technologiques variés, permettant ainsi de positionner favorablement la France dans le panorama mondial des pays producteurs de batteries.

Outre la diversité technologique portée par ces sociétés, et les connaissances en matière de technologie tout solide que l'Union Européenne appelle de ses vœux, les hautes exigences de fabrication en matière de normes environnementales et sociétales permettent à l'industrie française de se différencier favorablement par rapport aux concurrents étrangers, et ce grâce à un **mix énergétique favorable à un contenu carbone réduit** pour les opérations liées au processus de fabrication des cellules et des batteries.

	BLUE SOLUTIONS	SAFT
Technologie développée	Lithium Métal Polymère (LMP)	Li-ion (Ainsi que batteries rechargeables au Ni et Piles primaires au Li)
Brevets	1300 brevets déposés en France et au Canada	
Avantages	Technologie tout solide sans cobalt ni solvant	Maîtrise de plusieurs technologies d'électrodes couvrant un large panel de performances
Capacité de production annuelle	300 MWh Objectif 1 GWh (2019-2020)	500 MWh Li-ion 3 GWh (toutes technologies)
Marchés	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Mobilité (bus et autopartage) ◆ Stockage de l'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Secteur aéronautique et spatial ◆ Stockage de l'énergie ◆ Mobilité technique ◆ Back-up ferroviaire - Secours industriel - Compteurs intelligents - Matériel de défense – Marine
Nombre de salariés	455	4300
Lieu de production	2 usines en France (Bretagne) et au Canada (Québec)	7 usines en UE, 3 en Orient, 4 USA, dont 2 pour cellules Li-ion : Nersac (FR) et Jacksonville (USA)

Tableau 7: Caractéristiques des sociétés BLUE SOLUTIONS et SAFT

³ Voir les sites internet respectifs des deux sociétés : <https://www.saftbatteries.com/fr/> et <https://www.blue-solutions.com>

3.2.2. Une présence relative sur un secteur très concurrentiel

La France et l'Europe ne disposent pas d'une industrie électronique (notamment grand public) sur laquelle elles auraient pu s'appuyer pour développer une production de masse d'éléments de faible capacité. En Lithium rechargeable, les deux acteurs nationaux se sont positionnés sur des marchés de spécialité que sont la mobilité (par l'autopartage et les bus électriques) et le stockage de l'énergie pour Blue Solutions et les marchés techniques que sont les secteurs spatial et aéronautique, le stockage industriel de l'énergie et certains secteurs de mobilité électrique pour Saft.

De leur côté, les géants asiatiques de la batterie ont, pour beaucoup, développé une activité industrielle dans l'électronique, notamment grand public (LG, Samsung...) avant de se positionner sur le marché des accumulateurs. Quant aux nouveaux géants, ils ont eux-mêmes développé leurs applications, trouvant ainsi des débouchés naturels à leurs produits (BYD...).

Or, contrairement à ce qui a été porté par le gouvernement chinois, il n'a pas été créé en France, ni en Europe, de débouchés commerciaux pour les fabricants nationaux de véhicules électriques et de batteries.

En matière de compétitivité prix par rapport aux concurrents asiatiques, la France accuse un désavantage certain puisqu'au-delà de la faiblesse des volumes sur ce marché, le coût du travail y est plus élevé et les exigences en matière sociale et environnementale y sont plus contraignantes. C'est la raison pour laquelle les acteurs asiatiques ont choisi des pays d'Europe de l'Est pour y construire leurs implantations industrielles. Vous trouverez en annexe 3 une liste de ces projets d'implantations.

Néanmoins, sur ce dernier point, ce désavantage comparatif pourrait se transformer en atout pour l'avenir de la filière française dans un contexte d'exigences croissantes en matière sociétale et environnementale pour la production de batteries, pierre angulaire de la transition énergétique.

3.3. Une ambition renouvelée pour le secteur à horizon 2030

Bien que le marché du Lithium rechargeable soit dominé par les acteurs asiatiques, les acteurs français de l'industrialisation de cellules et de batteries gardent des ambitions fortes puisqu'ils bénéficient d'une place de choix sur les segments des technologies Lithium, et notamment tout solide, ainsi que d'outils de production industrielle.

Ainsi à l'horizon 2030, la filière s'est fixée pour objectif que les sites de fabrication de cellules situés en France soient compétitifs face aux usines asiatiques installées en Europe de l'Est et en Asie.

Cette compétitivité s'appuiera à la fois sur des produits différenciants (solid state), sur un niveau d'automatisation important des sites français (« industrie 4.0 ») et sur une proximité avec des grands donneurs d'ordre (OEM et énergéticiens français...) permettant un haut niveau de flexibilité et une réduction de la chaîne des en-cours. Un soutien des autorités françaises nationales et locales à l'investissement sera aussi un élément clef permettant cette compétitivité.

Pour ce faire, il convient d'assurer la pérennité de la filière industrielle française des batteries au Lithium rechargeable, en promouvant la différenciation technologique et un haut niveau d'exigence RSE.

3.4. Les générations de cellules GEN 3 et GEN 4

3.4.1. Une fenêtre de tir ouverte pour quelques mois.

Comme évoqué précédemment, les attentes des segments industriels intégrateurs de batteries à partir de 2025 se concentrent sur trois points majeurs :

- Une maîtrise encore améliorée de la sécurité. Quelques expériences récentes montrent que malgré des probabilités d'occurrence d'incidents faibles, la taille du parc envisagé est telle que les quelques événements susceptibles de se produire sont de nature à remettre en question l'acceptation par le public de produits par ailleurs très performants.
- Des besoins de densité énergétique volumique d'environ 1000 Wh/L et de densité énergétique massique de 400 Wh/kg (au niveau cellule),
- La réduction des coûts permettant la compétitivité intrinsèque des solutions à base de batteries (VE par rapport aux véhicules thermiques, batteries ESS par rapport à d'autres solutions énergétiques ...).

Il faut noter à cet égard que tous les secteurs de marché n'adopteront pas à la même vitesse les évolutions technologiques, notamment du fait des temps de qualification (ex : durée de développement d'un VE).

Par ailleurs, les évolutions technologiques des matériaux qui émergent chez les développeurs et fabricants de matières actives et de polymères avancés indiquent clairement les orientations qui se dessinent chez les fabricants de cellules, dont certains ont déjà fait des pré-annonces en matière de Li-ion « tout solide ».

Le cycle d'introduction d'une technologie de cellule de rupture (de la recherche à la disponibilité opérationnelle sur le marché) se situe entre 6 et 8 années. Il est notamment rythmé par des phases de prototypage, tests sur ligne pilote, montée en charge industrielle et qualifications par les clients qui sont autant de processus de durée incompressible.

Par ailleurs, tous les principaux acteurs sont actuellement engagés dans une course technologique et de maximisation de l'effet d'échelle, le premier sur le marché bénéficiant d'un réel avantage difficile à combler pour les suivants.

Sur la base des perspectives d'améliorations complémentaires identifiées à court terme sur ces matériaux et des délais de développement des architectures de cellules mettant en œuvre ces derniers, il convient de lancer les actions coordonnées d'innovation dès cette année 2018.

Les batteries Li-ion actuellement commercialisées sont dites de génération 1 et 2 (une classification qui se rapporte essentiellement à la génération correspondante des matières actives de cathode) et utilisent un électrolyte liquide.

Au cours des prochaines 7 années sont attendues tout d'abord la mise sur le marché de la GEN 3 de la Li-Ion à électrolyte liquide, qui mettra en œuvre de nouveaux matériaux, puis la mise sur marché de la GEN 4 solid-state à haute performance, qui intégrera un électrolyte solide fonctionnant à température ambiante, ainsi que de nouveaux progrès sur les matériaux d'électrodes.

Ces batteries à électrolyte solide offrent une sécurité intrinsèque supérieure à ce qu'offre le Li-ion à électrolyte liquide ; cependant seule la seconde version (la GEN 4b) apportera des densités d'énergie massique et volumique significativement améliorées (égales ou supérieures à 1000 Wh/L) par rapport à la GEN 3 (elle-même attendue au tournant de la décennie).

En complément des défis techniques qui restent à relever, des procédés de fabrication innovants devront être développés, car cette nouvelle architecture ne peut être construite avec les outils industriels du Li-ion traditionnel.

La batterie LMP de Blue Solutions est un précurseur de cette GEN 4, mais son électrolyte nécessite impérativement un maintien à température de la batterie à 70°C, même lorsqu'elle n'est pas sollicitée, ce qui limite son utilisation actuelle, en mobilité, à des activités de transport de personnes public et partagé. Ce maintien en température constitue en revanche un atout pour les applications stationnaires, notamment en zone chaude puisque la batterie peut supporter des températures externes jusqu'à 160°C.

Ces sauts de génération, et principalement le passage de la GEN 3 à GEN 4, ouvrent une fenêtre d'opportunité aux acteurs européens à la fois sur le plan technique avec la possibilité d'apporter une différenciation sur la performance, ainsi que sur le plan industriel. On peut noter que des densités d'énergie > 900Wh/L sont attendues à l'horizon 2030 pour plusieurs segments de l'industrie automobile (voir Figure 12). Ces performances peuvent être demandées à des horizons plus proches par certains constructeurs pour certains segments ainsi que dans certains marchés industriels.

Il convient de lancer dès maintenant les travaux nécessaires en vue de prendre une avance sur ces nouvelles générations.

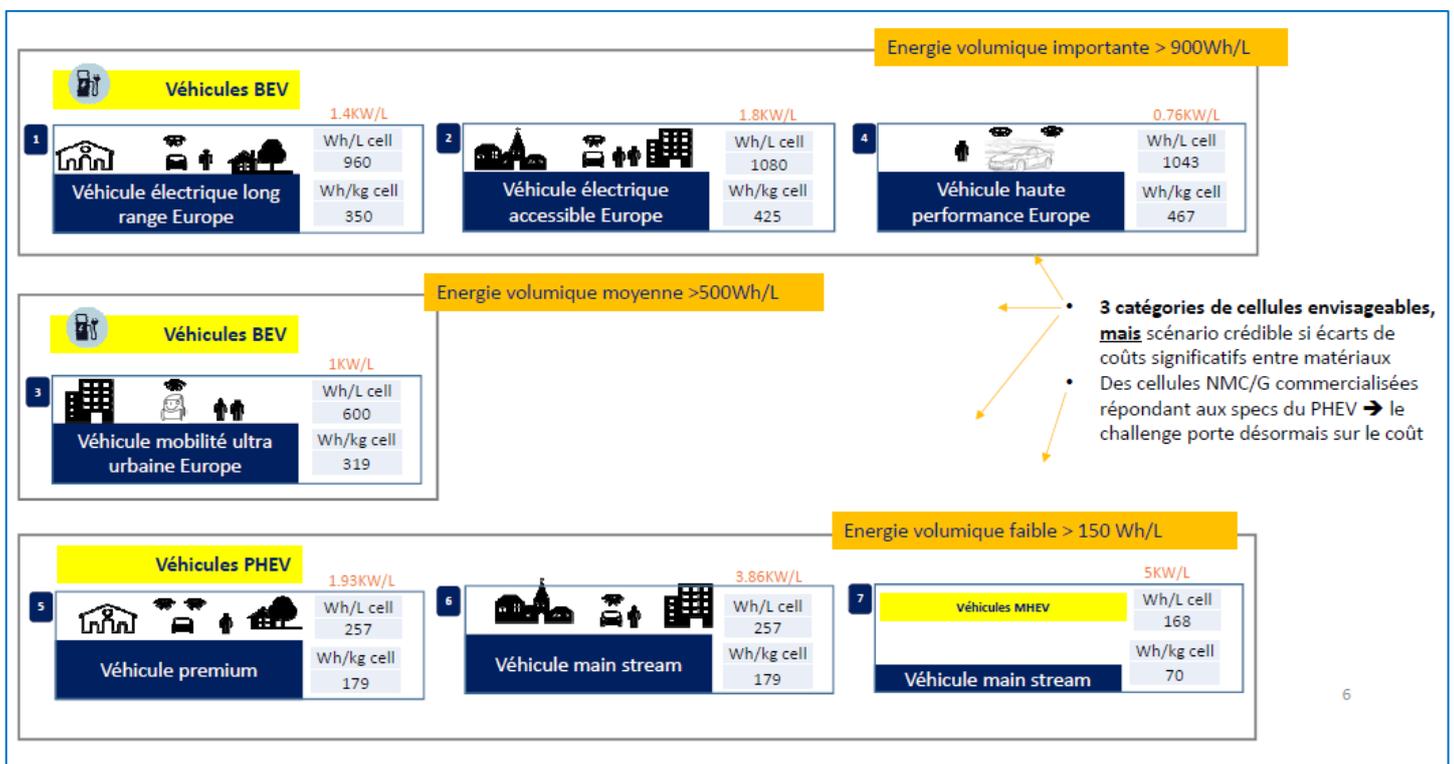


Figure 12: Analyse des spécifications cellules pour véhicules électriques ou électrifiés à l'horizon 2030 (d'après inputs GT1)

3.4.2. Ambition des acteurs européens :

Les ambitions des acteurs européens, telles que vues par SAFT et BLUE SOLUTIONS, notamment via le développement de la GEN 4 à très haute performance (introduction de la Li-ion tout solide pour SAFT et amélioration de la Lithium-Métal-Polymère pour BLUE SOLUTIONS), sont l'obtention à l'horizon 2030 de :

- **35% de pénétration sur les marchés des clients privés européens des cellules (intégrées dans des batteries)**
- **80% de pénétration sur les marchés publics nationaux des cellules (intégrées dans des batteries)**

3.5. Recommandations de politique publique pour atteindre ces objectifs

3.5.1. Encourager

La filière industrielle de production de cellules a pâti d'un certain manque d'intérêt de la part des institutions qui n'ont pas identifié dans la batterie lithium une des briques clef de la transition énergétique qui s'opère.

Ce secteur nécessite aujourd'hui l'appui des institutions françaises et européennes pour faire face à une concurrence asiatique forte et bénéficiant d'un environnement particulièrement favorable, difficile à reproduire en UE. L'initiative de l'Union Européenne visant à créer une Alliance de la batterie a le mérite de porter l'attention sur un secteur clef pour la transition énergétique qui s'amorce.

Afin de continuer sur cette lancée, il est indispensable de **reconnaitre à cette industrie de la cellule le caractère de « secteur industriel stratégique et exposé »**, nécessitant une attention particulière et soutenue des pouvoirs publics.

3.5.2. Soutenir

Face à ces enjeux de recherche et d'innovation, le programme européen de soutien à l'innovation H-2020 reste partiellement inadapté. En effet, son mode de fonctionnement implique un découpage en une multitude d'appels à projets (12 AAP attendus), chacun réparti entre plusieurs candidats (4 dossiers typiquement retenus par AAP).

Ainsi piloté et réparti, le budget H-2020 de 200M€ retenu sur la période 2018-2020 ne permet pas à un industriel de planifier ses activités d'Innovation sur 5 à 7 ans comme nécessaire.

Cette rapide analyse doit être complétée par le fait que les délais de mise en œuvre (entre publication officielle et lancement effectif) sont souvent d'environ une année.

Les industriels demandent que les autorités françaises prévoient un mécanisme de financement des activités de R&D du secteur avec d'une part un délai d'actionnement rapide (avec des prises de décisions au fil de l'eau dans le cadre d'un processus allégé) et d'autre part un caractère incitatif/attractif pour les grands groupes.

Par ailleurs, pour les activités de pilotes et d'industrialisation relevant d'un TRL ≥ 7 , phases les plus consommatrices de capitaux, un mécanisme ambitieux de subvention doit être créé.

A l'instar des autorités allemandes ou du processus français d'appel à projet de ligne nano-électronique, il faudrait que les phases de transfert d'industrialisation ou de pré-industrialisation soient reconnues comme des phases de développement et non comme des phases industrielles de montée en production.

Le Crédit d'impôt recherche (CIR) est un excellent instrument mais qui ne permet pas de viser des niveaux plus élevés de développement. Il convient de l'étendre à l'innovation ou de le compléter par d'autres mécanismes afin de permettre le déploiement de pilotes à grande échelle, et de couvrir la « vallée de la mort » souvent inhérente au développement de nouveaux produits aux marchés immatures. La réduction du risque de marché (outre la création de débouchés commerciaux) serait de nature à encourager les investissements dans la filière.

De même, **des mécanismes fiscaux et comptables** tels que l'appui à l'investissement, et les mécanismes de suramortissement **seraient favorables à la mise sur le marché des produits.**

3.5.3. Mobiliser la commande publique

L'outil qu'est la commande publique, pour laquelle est autorisée la prise en compte de critères sociaux et environnementaux, doit être actionné.

Le secteur cible est l'achat de prestations ou d'équipements de transport public, placé sous les autorités organisatrices de transport (Ile de France Mobilité, région, ville et autorités équivalentes), et plus particulièrement ce qui se rapporte aux bus hybrides et électriques. Il en est de même pour les investissements en stockage d'énergie menés par les opérateurs publics des réseaux de transport et distribution, et les Appels d'Offres pour des installations de production bénéficiant d'un tarif de rachat

Le GT2 recommande d'intégrer dans les appels d'offres des commandes publiques des critères de valeur ajoutée locale et de performances sociales et environnementales de la batterie.

Ces critères devant être élaborés par l'administration dans le cadre d'un groupe de travail avec la participation de l'industrie.

3.5.4. Moduler les soutiens

En ce qui concerne les marchés de la mobilité privée, et en s'inspirant de ce qui est mis en œuvre dans d'autres pays (Chine ...), le GT2 propose que le soutien à l'achat de véhicules électriques par le biais de primes soit modulé selon le caractère local (de préférence français) de la fabrication des cellules et le respect d'exigences de normes sociales et environnementales. A titre d'exemple, la prime à l'achat d'un VE actuellement fixe pourrait être modulée à budget constant pour l'Etat suivant le respect des critères ci-dessus.

Les critères de modulation devant être élaborés par l'administration dans le cadre d'un groupe de travail avec la participation de l'industrie.

⇒ Cette recommandation du GT2 n'a pas obtenu le consensus de l'ensemble des membres de la mission CNI batterie, la filière automobile indiquant son opposition à cette proposition.

3.5.5. Afficher et communiquer au public

Dans nos sociétés occidentales ouvertes, les choix du public peuvent renforcer les orientations des pouvoirs publics. Le GT2 recommande donc la mise en place d'un mécanisme permettant d'assurer à destination du public (client, usager ou contribuable) de connaître la provenance géographique des cellules de batteries.

Un tel mécanisme pourrait s'appuyer sur :

- Sur un calcul simplifié (utilisation de barèmes/tranches) des fractions de la valeur ajoutée de fabrication des cellules réalisées à l'intérieur de la France
- Sur sa communication en direction du public.

Les critères de calcul et les modalités d'agrégation et de communication des résultats doivent être élaborés par l'administration dans le cadre d'un groupe de travail avec la participation de l'industrie.

⇒ Cette recommandation du GT2 n'a pas obtenu le consensus de l'ensemble des membres de la mission CNI batterie, la filière automobile indiquant son opposition à cette proposition d'une information spécifique pour les cellules de batteries.

3.5.6. Exiger le respect de nos valeurs

Le secteur de la cellule, au même titre que d'autres produits industriels d'ailleurs, fait l'objet d'une concurrence internationale de pays qui ne respectent pas les mêmes règles sociales et environnementales. Or, le respect de ces règles crée à court terme des distorsions de prix et donc de concurrence, contre lesquelles il est difficile de se battre.

Protéger l'outil industriel français, ce n'est pas fermer les frontières, c'est lui donner les moyens de se battre à armes égales, et donc de faire respecter les principes des exigences qu'il s'impose pour les produits qui entrent sur son territoire.

Ainsi, le respect d'un certain nombre de critères éthiques et environnementaux doit être exigé pour l'importation⁴. Les éléments suivants peuvent être considérés.

A court terme, définir des critères environnementaux, sociétaux et de sécurité, obligatoires pour la mise sur le marché national ou européen :

Environnementaux

- **Impact environnemental et sociétal pour l'achat de matières premières** : minerais de conflit, modalités d'extraction du cobalt et autres matériaux,
- **Performance carbone des batteries** :
 - à cet égard, il conviendrait de faire réaliser en collaboration avec l'ADEME un modèle d'évaluation du contenu carbone des batteries basé sur l'Analyse du Cycle de Vie (à l'instar de ce qui a été réalisé pour les Appels d'Offres pour le photovoltaïque).
- **Valoriser les approvisionnements en circuit court** :
 - Impact transport
 - Exiger la recyclabilité des produits près des centres de consommation et la mise en place effective de systèmes de reprise et de recyclage
- **Valoriser la durabilité des produits**
 - Une garantie long terme à inclure dans les conditions des achats publics et dans les critères pour l'attribution de subventions publiques.

Sociétaux

- Valoriser les contenus R&D et propriété intellectuelle en France
- **Respect des exigences RSE** du constructeur de batterie et de sa chaîne d'approvisionnement (pour la 4^e génération à haute performance des batteries tout solide) avec traçabilité des matériaux,
- **Respect des 8 conventions fondamentales** - dont la 87 et la 98 - **de l'OIT** par la chaîne d'approvisionnement (Déclaration de l'OIT relative aux principes et droits fondamentaux au travail et son suivi, adoptée à Genève lors de sa 86^{ème} session)
- **Respect de normes éthiques**

⁴ Dans le respect des règles de l'accord OTC de l'Organisation Mondiale du Commerce. Article 1 point 2.2 : Les objectifs légitimes de restriction à l'importation sont, entre autres, la sécurité nationale, la prévention de pratiques de nature à induire en erreur, la protection de la santé ou de la sécurité des personnes, de la vie ou de la santé des animaux, la préservation des végétaux ou la protection de l'environnement.

De Sécurité :

- **Conformité avec les exigences EUCAR**

Et enfin, s'assurer que ces critères soient bien respectés. Les critères précis doivent être élaborés par l'administration dans le cadre d'un groupe de travail avec la participation de l'industrie.

Mise en œuvre d'une feuille de route élaborée selon les critères énumérés au 3.5 avec l'adoption de critères environnementaux pour les appels d'offres publics et l'attribution de subventions.

Après 2020, mettre en place des procédures de surveillance, évaluer et suivre la réciprocité dans les pratiques commerciales, l'ouverture symétrique des marchés publics et la conformité des importations avec les standards requis.

[Ajout de la Filière mines et métallurgie ci-dessous]

Aux fins de la RSE, il est proposé de soutenir les propositions faites dans le cadre de la feuille de route économie circulaire, s'agissant des aspects relatifs à l'approvisionnement durable et, en priorité, les éléments suivants :

- Engager une démarche d'approvisionnement durable en matières premières (ressources minérales et métalliques, biomasse) d'ici à 2019 avec les filières industrielles : développement des certifications environnementales et sociales manquantes, de leur usage par les producteurs de matières premières primaires, notamment à l'étranger, mise en place des outils d'accompagnement facilitant leur déploiement (guides, coopération bilatérale État-État, ...)
- Développer les pratiques d'achats durables dans le cadre de la responsabilité sociétale des entreprises et, notamment, l'usage de la norme ISO 20400 relative aux achats responsables par le secteur privé ou d'outils équivalents.

Ces travaux pourraient faire des matériaux contenus dans les batteries électriques un axe prioritaire.

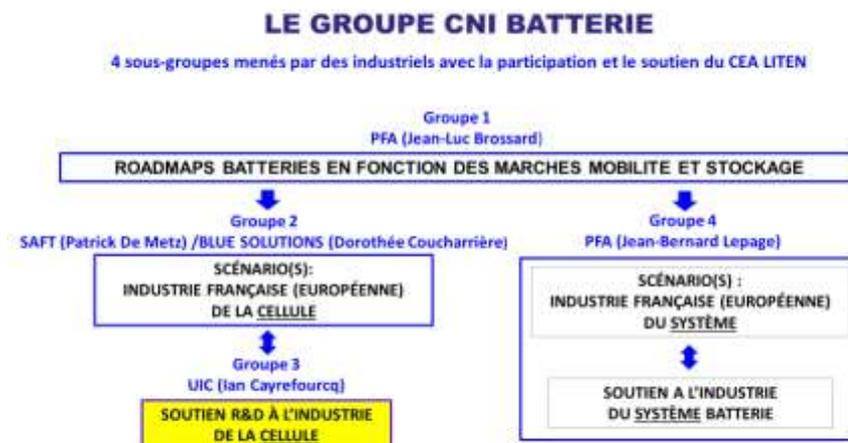
3.6. Calendrier de mise en œuvre

Sur la base des recommandations faisant consensus, il est proposé qu'à partir de 06/2018 soient lancés :

- Un GT sur les critères relatifs à la « commande publique »,
- Un GT sur les critères RSE sur le point « respect de nos valeurs ».

Un Comité de Pilotage conjoint (autorités et industrie) sera en charge d'assurer les progrès de ces groupes, avec un objectif de clôture des travaux entre fin 09/2018 et fin 12/2018 (pour en porter dans certains cas les conclusions au niveau européen).

4. SOUS-GROUPE 3 – SOUTIEN R&D A L'INDUSTRIE DE LA CELLULE



Participants :

Ian CAYREFOURCQ – UIC (pilote)

Didier LEVELY – UIC

Marion BOUISSOU THOMAS - UIC

Jean-Bernard LEPAGE – PFA

Marianne CHAMI – CEA LITEN (support)

Sébastien PATOUX – CEA LITEN

Yvan REYNIER – CEA LITEN

Bernard GRANDEL - PFA

Dorothee COUCHARRIERE - BLUE SOLUTIONS

Marc DESCHAMPS - BLUE SOLUTIONS

Laurent PERRIER - BLUE SOLUTIONS

Patrick DE METZ - SAFT

4.1. Mission, données d'entrée et livrables

Objectif du Groupe 3

- Définir les actions R&D qui permettront de soutenir l'industrie de la cellule (la renforcer, la faire monter en puissance, la pérenniser)
- Identification des technologies / segment - Identification des challenges (priorisation des actions R&D)

Données d'entrée du Groupe 3

- Les objectifs techniques des cellules au Lithium rechargeable attendus en fonction des segments de marché, fournis par le Groupe 1
- Etat des lieux technologique : Synthèse des différentes technologies de Lithium rechargeable, des procédés de fabrication pour cibler les innovations R&D
- Identification des acteurs R&D « clés » et plateformes pilotes, à associer aux acteurs industriels

Livrables attendus de la part du Groupe 3

- Scénario(s) d'une R&D française qui renforce l'industrie de la cellule (matériaux, procédés de fabrication) avec identification des leviers et des risques associés au scénario
- Une action visant à normaliser le cycle de vie de la batterie, pour mieux la labelliser (non développé)
- Une action pour optimiser le recyclage des cellules Lithium rechargeable (non développé)

4.2. Ecosystème, enjeux et facteurs de compétitivité depuis les matières premières minières jusqu'à la fabrication de la cellule

4.2.1 Décomposition de la chaîne de la valeur par maillons, des matières premières minières jusqu'à la cellule

Pour mieux comprendre l'impact de l'écosystème et les enjeux du secteur des batteries, des précurseurs de base jusqu'à la cellule, ci-après une description des filières majeures impliquées dans la chaîne de la valeur associée (Figure 13):

1. La filière Mine et métallurgie fournit les matières premières minières :

Les matières premières minières (Co, Al, Cu, Ni, Li...) sont approvisionnées grâce à des filières de mines, de métallurgie. La très grande majorité de ces ressources minières sont situées hors Europe mais pour certaines opérées par des acteurs français ou européens.

2. La filière chimie et métaux fournit les matériaux qui serviront à l'élaboration des composants de la cellule :

A partir des matières premières minières, les matériaux et composants pour cellules (collecteurs de courant, matériaux actifs, conducteurs électroniques, électrolytes [solvants, sels, additifs], liants polymères, séparateurs) sont réalisés par des acteurs industriels principalement chimistes ou métallurgistes.

3. Le fabricant de cellule conçoit les composants et les assemble :

Le fabricant de cellule achète les matériaux et composants de base. Il conçoit puis produit dans son usine les électrodes (le mélange d'encre d'électrode, l'enduction de l'encre sur un collecteur de courant), assemble le cœur électrochimique et effectue la formation électrique des cellules. Les cellules sont alors prêtes à être assemblées en module de batterie.

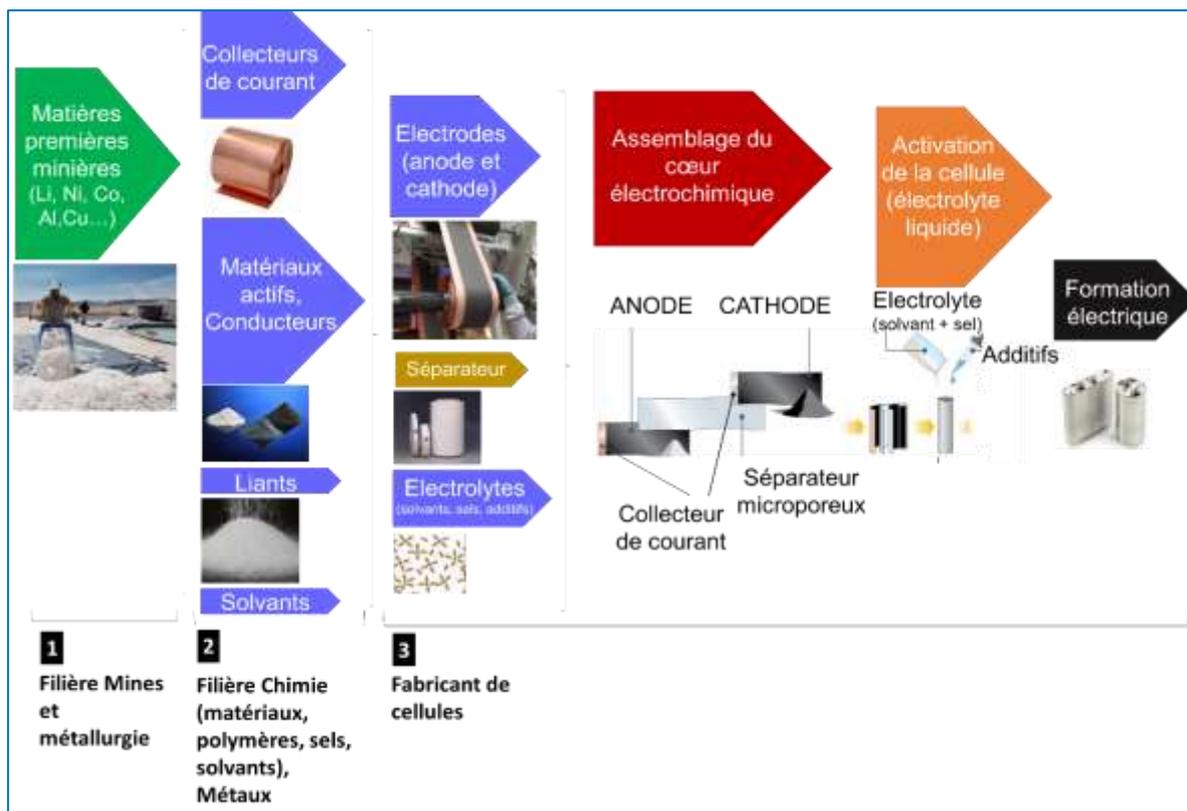


Figure 13: Description de la réalisation d'une cellule Li-ion à électrolyte liquide⁵, des matières premières minières jusqu'à la cellule assemblée

⁵ Nota concernant les technologies rechargeables « tout solide » actuelles à base de lithium métal : aucun solvant n'est employé pour dissoudre le liant polymère des électrodes, grâce à la technique d'extrusion. Aussi, l'étape d'activation est évitée car l'électrolyte est introduit dès l'étape de fabrication des composants électrodes et séparateurs.

4.2.2 Evaluation des facteurs de compétitivité pour chaque maillon de la chaîne de la valeur

Une analyse des acteurs industriels européens (Figure 14), pour chaque maillon de la chaîne de la valeur, permet une évaluation des facteurs de compétitivité :

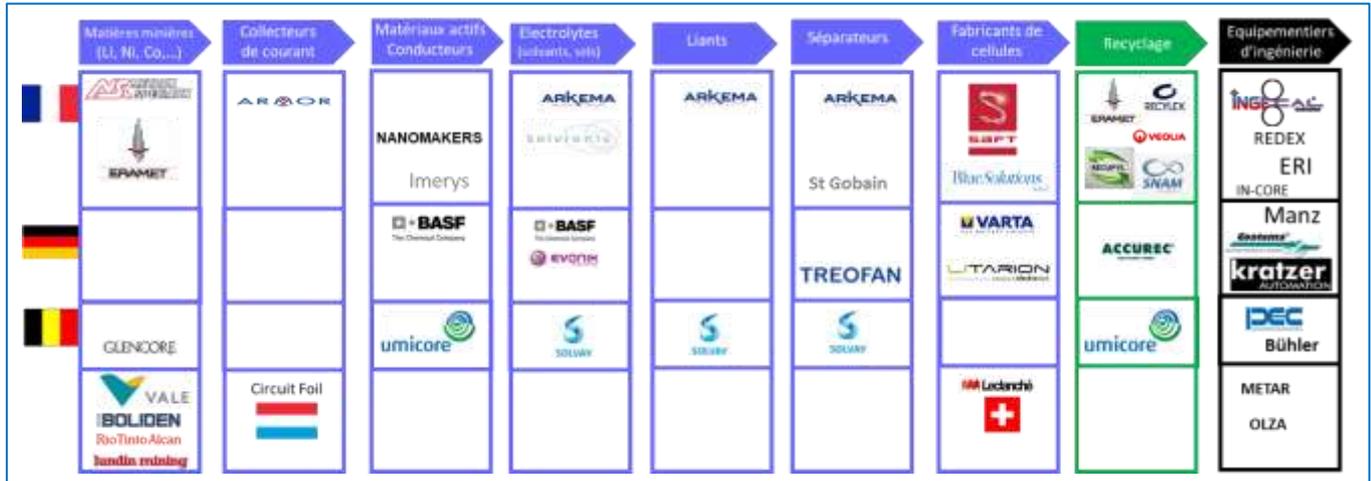


Figure 14: Acteurs industriels impliqués dans la chaîne de valeur des matières premières minières jusqu'à la fabrication de la cellule. Les acteurs du recyclage et les équipementiers sont également répertoriés à droite de la figure

- **Le premier constat** positif, concerne les matériaux (hors matières premières minières): toute la chaîne de la valeur est présente en France même si, pour les matériaux actifs, l'échelle européenne doit être envisagée pour identifier des acteurs majeurs, internationalement reconnus : UMICORE (matériaux actifs), ARKEMA (électrolytes, polymères), SOLVAY (liants polymères), BASF (matériaux Actifs, électrolytes additifs...). Ces industriels sont des leaders mondiaux reconnus, maîtrisent les procédés de synthèse à grande échelle et ont parfois des usines sur le sol français (exemples : ARKEMA, SOLVAY). D'autres peuvent décider de s'implanter en Europe, au plus près des fabricants de cellules (exemple récent UMICORE⁶).

Enjeux et facteurs de compétitivité : L'Europe dispose ainsi, sur son territoire, d'industriels maîtrisant la fabrication des matériaux et composants de la cellule. Le support R&D à ces industriels permettra d'optimiser les performances⁷ de la prochaine génération de cellules Li-ion à électrolyte liquide (génération 3) et de définir la génération 4 suivante à très haute performance qui consistera en des cellules tout solide. Outre les aspects matériaux, le travail de recherche et développement pour la génération 4 à très haute performance devra inclure des sujets relatifs à l'architecture et aux procédés de fabrication des cellules.

La Figure 15 ci-après illustre l'enjeu marché pour l'industrie Européenne des matériaux et l'impact en matière d'augmentation de capacité (échelle logarithmique). Il est à noter l'importance de supporter, outre les recherches de nouveaux matériaux plus performants, les recherches sur les nouveaux procédés de fabrication de matériaux plus efficaces qui seront primordiaux pour préserver la compétitivité de l'industrie Européenne.

⁶ <https://newmobility.news/2018/02/09/umicore-invest-european-battery-material-factory>

⁷ A design de cellule équivalent, les composants impactant l'énergie de la cellule sont les matériaux actifs d'anode et de cathode. Les autres composants (électrolytes, additifs, conducteurs électroniques) permettent d'optimiser le fonctionnement de la cellule (diffusion des ions, conductivité) lors des cycles de charge et de décharge, en impactant aussi le vieillissement.

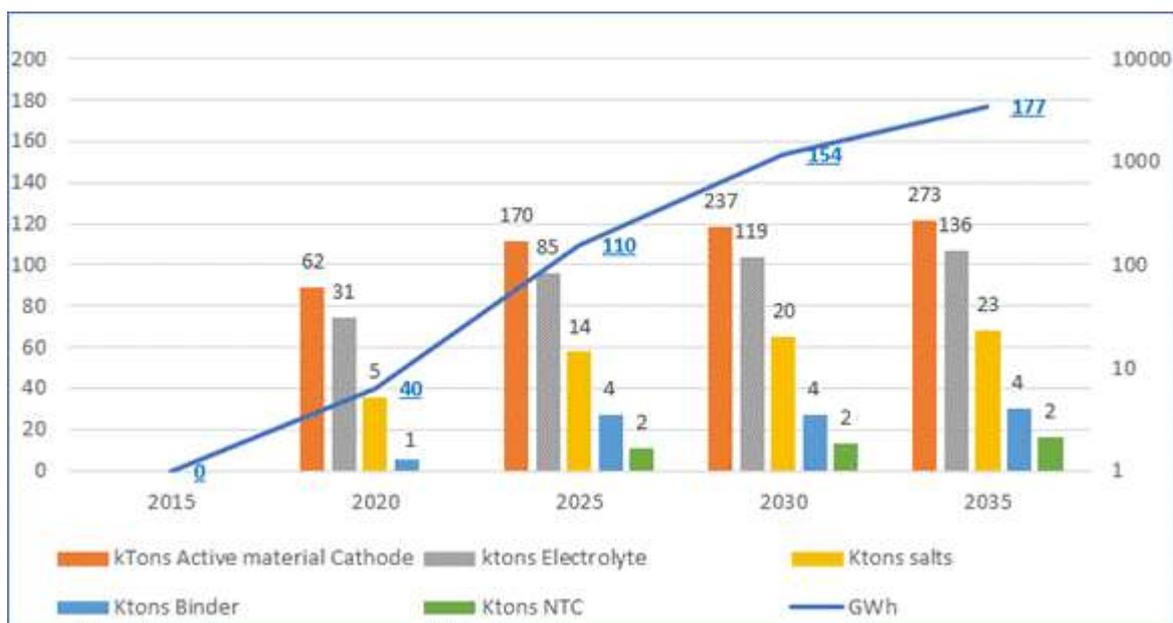


Figure 15: Enjeux du marché européen pour l'industrie chimique.
GWh axe de gauche – kTons axe de droite (échelle logarithmique)

Il est recommandé, en matière de politique publique, de faciliter l'implantation de nouvelles capacités de production des constituants chimiques des batteries sur des sites industriels en France, en renforçant l'attractivité des « clusters/plateformes de chimie » (exemples : Roussillon, Lacq). Un cluster dédié aux matériaux pour batteries pourrait être envisagé.

- **Le deuxième constat** offre un positionnement unique à la France dans l'Europe : Deux industriels fabricants de cellules sont présents et fabriquent en partie sur le sol français, à savoir SAFT et Blue solutions. Ceci dit il est important de noter que ces deux acteurs sont aujourd'hui positionnés sur des marchés spécialisés à haute valeur ajoutée. Si la maîtrise des technologies ne fait aucun doute, l'enjeu majeur sera la montée en capacité et la réduction des coûts afin de répondre aux besoins de l'industrie automobile dans un marché hautement compétitif.

Enjeux et facteurs de compétitivité : Les industriels SAFT et Blue Solutions maîtrisent le procédé très complexe de la fabrication à grande échelle de cellules respectivement Li-ion et Li-métal polymère, avec déjà des capacités de production significatives, 500 MWh en France et aux USA pour SAFT en Li-ion (et 3 GWh sur l'ensemble des technologies produites par le groupe), et 500 MWh en LMP® (à 1.5 GWh) pour Blue Solutions, qui restent cependant très loin du dimensionnement nécessaire pour l'industrie automobile (marché Européen en 2030 estimé à 150GWh/an, dimensionnement minimal d'usine permettant de profiter de l'effet volume = 8 GWh). Les projets « annoncés » en Europe de gigafactories sont entre 30 et 40 GWh chacun, soit de 4 à 5 tranches de 8 GWh par projet.

Outre la problématique de gestion/réduction de risques financiers lié à l'importance des investissements nécessaires (1 Milliard €/ 10 GWh) déjà considérée dans le Groupe 2, il s'agit, pour les prochaines générations de cellules, d'associer au système électrochimique répondant aux besoins des véhicules électriques les technologies de fabrication permettant d'atteindre un rapport performance/prix compétitif.

- **Le troisième constat** plutôt négatif concerne le manque d'industriels majeurs fournisseurs en matières premières minières (Li, Co, Ni...), tout en amont de la chaîne de la valeur, avec des ressources minières majoritairement hors Europe.

Enjeux⁸ et facteurs de compétitivité : La dépendance internationale pour l'accès à la ressource minière crée une faiblesse stratégique pour l'ensemble de l'industrie française mais aussi européenne. Cette faiblesse peut se traduire par des ruptures d'approvisionnement dans le cas où ces marchés subiraient des déséquilibres importants de l'offre et de la demande. Ce risque est actuellement clairement identifié sur le Cobalt dont les prix atteignent actuellement des valeurs particulièrement élevées, en raison des fortes demandes (Tableau 8). Ce constat révèle la nécessité de développer l'offre minière européenne (même si dans la grande partie des cas les ressources sont à l'international).

	Co (\$/T)	Ni (\$/T)
2010	27 000	10 000
2017	80 000	12 000

Tableau 8: Evolution des coûts du Cobalt et du Nickel⁹

Dans ce domaine des matières premières minières, quelques sociétés européennes sont cependant présentes sur les métaux de base utilisés mais devraient renforcer leur positionnement sur les produits directement utilisables par la filière batteries pour contrer efficacement cette faiblesse (Tableau 9).

Localisation des ressources minières	Ni	Mn	Li	Co
ERAMET				
	Nouvelle Calédonie Indonésie	Gabon	Argentine	A la recherche d'actifs miniers
BOLIDEN	Finlande			

Tableau 9: Activité minière des sociétés européennes ERAMET et BOLIDEN

Il faut aussi noter l'émergence de nouveaux projets miniers européens dans le lithium portés par des sociétés minières juniors (qui n'ont qu'un seul actif).

L'activité du **recyclage**¹⁰ pourrait fournir une source en matières premières de base, sur le sol européen. Dès aujourd'hui, si le cobalt contenu dans les batteries des téléphones portables et autres tablettes était effectivement récupéré cela équivaldrait à deux mines de moyenne importance. A ce sujet, la société UMICORE revendique déjà avoir élaboré un procédé rentable de récupération du cobalt, même si d'autres acteurs majeurs mentionnent que le business model du recyclage n'est pas encore clairement défini, et que la R&D doit être renforcée dans ce domaine compte-tenu des enjeux. Pour ce qui concerne le lithium et le lithium-métal, les capacités de recyclage restent encore très sommaires. Les trois acteurs majeurs du recyclage en Europe sont ERAMET, UMICORE et VEOLIA.

⁸ A l'initiative du Ministère de l'Economie, des représentants de la filière Mines et Métallurgie ont rejoint le Copil de la Mission Batterie à partir de la réunion du 9 mars 2018.

⁹ <http://www.asianmetal.com/LithiumPrice/Lithium.html/>

¹⁰ S'agissant du secteur automobile, la collecte des batteries n'est pas considérée comme critique (le taux de collecte sera forcément maximal)

4.3. Recommandations concernant les technologies de cellules de batteries à privilégier dans les feuilles de route des différentes filières, ainsi que les besoins en R&D correspondants

4.3.1. Les propositions R&D au niveau « cellule »

Au niveau « cellule », les propositions R&D d'optimisations sont de plusieurs ordres :

- **Les composants internes des cellules** peuvent être choisis pour améliorer les performances :

Les matériaux actifs et les conducteurs électroniques seront sélectionnés pour des densités d'énergie et de puissance élevés, alors que les électrolytes (solvants, sels et additifs) et les séparateurs amélioreront la diffusion, la conductivité ionique, et limiteront les phénomènes de vieillissement. Les séparateurs isolants électriques joueront également un rôle primordial dans la sécurité.

Si le coût des matériaux ne permet pas une différenciation des technologies pour les différents usages, des mêmes matériaux pourront être employés pour des technologies de puissance et d'énergie en concevant des designs d'électrodes spécifiques (grammage plus ou moins important), avec une adaptation des autres composants.

Il est à noter que les technologies n'utilisant pas de cobalt (LMP®, LFP/G, Na-Ion, LiS) peuvent avoir un intérêt particulier dans un contexte en tension pour la fourniture du minerai.

- L'optimisation du **procédé de fabrication des cellules** par les industriels du domaine, pour une **réduction des coûts**, pour des **cellules plus recyclables, plus écologiques** :

L'optimisation du procédé de fabrication des cellules peut permettre de diminuer les coûts de type « process » (Figure 16). Les étapes de la fabrication des cellules peuvent être revues de manière à limiter (voire à supprimer) les solvants, pour des cellules plus écologiques également. Ces actions devront être menées en étroite collaboration avec les plateformes pilotes et les équipementiers.

Une analyse du cycle de vie le long de la chaîne de la valeur doit permettre d'instaurer une norme voire une réglementation relative à l'empreinte carbone, aux conditions de travail (en incluant une éco-responsabilité sur l'approvisionnement en matériaux).

Le recyclage des batteries aujourd'hui évite en général les opérations individuelles et les procédés mis en jeu réduisent les modules, par des opérations thermiques, mécaniques. Sur le thème du recyclage, l'objectif pour le renfort R&D à l'industrie de la cellule sera donc de s'assurer que dans la conception des cellules, il n'y a pas d'incompatibilité majeure avec les procédés de séparation des matériaux. Ceux à valeur ajoutée devront être extraits au mieux, et les matériaux dangereux devront être neutralisés (les acteurs du recyclage sont déjà sensibilisés sur ces points).

- **Le design externe des cellules** (le design du boîtier, des connectiques et des éléments de sécurité de type événement, leurs compositions en métal, métaux composites ou polymères) peut être étudié pour optimiser la densité énergétique mais également les dissipations thermiques selon les besoins des matériaux employés.
- Pour envisager une continuité de service des modules, la mise au point de Pack Intelligents (Smart Pack) est une piste intéressante à développer. **L'intégration de capteurs à l'échelle de la cellule (Smart-Cell)** pourrait permettre de recueillir en continue des informations relatives au fonctionnement, aux défaillances des cellules. **Ces données pourraient en effet être analysées grâce à des BMS innovants.**

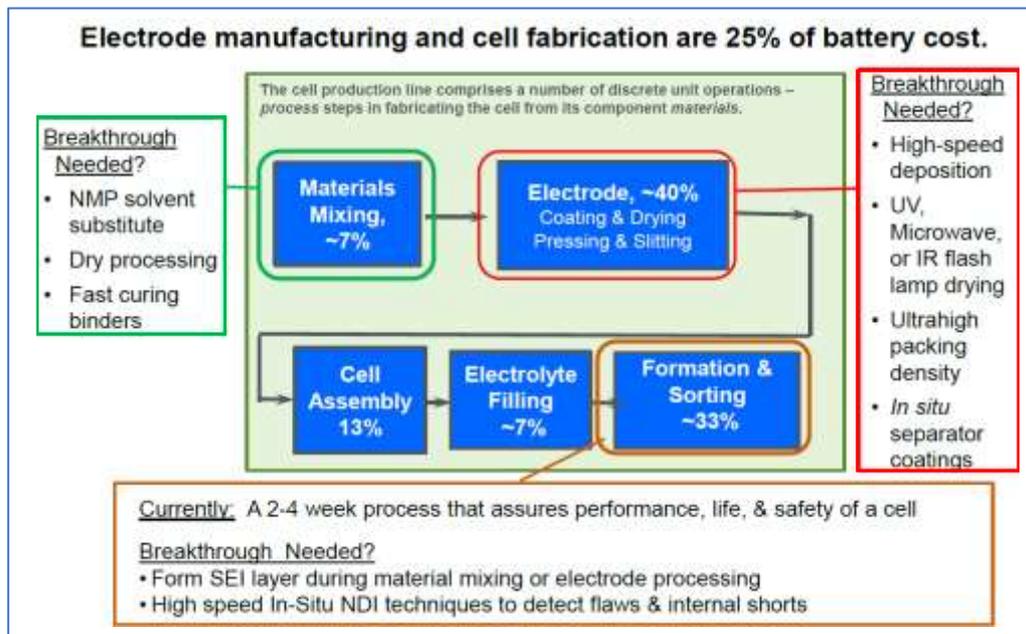


Figure 16: Répartition du coût de la fabrication d'une cellule conventionnelle à électrolyte liquide¹¹

4.3.2. Proposition R&D pour atteindre les besoins du marché en densité d'énergie - Choix des matériaux actifs pour les anodes et les cathodes

A ce stade le Groupe 3 a analysé ci-après les seules spécifications fournies pour la mobilité ; en effet le Groupe 1 a montré que les besoins des applications stationnaires (réseaux) sont satisfaites par celles de la mobilité en matière d'énergie volumique (même si une durée de vie plus longue et une meilleure tenue au cyclage sont requises, avec en ZNI un fonctionnement en moyenne à 45°C).

L'analyse des spécifications pour la mobilité montre que trois catégories de cellules peuvent être envisagées, en fonction du besoin en densité d'énergie volumique (Figure 17). Les matériaux qui peuvent être utilisés en cellules sont classés en « génération » numérotées de 1 à 4, en fonction de leur maturité technologique et commerciale (Tableau 10).

Les trois besoins crescendo en densité d'énergie permettent de répertorier puis de sélectionner des matériaux actifs d'électrodes (Tableau 11) et des cellules correspondantes, avec les défis R&D restant à relever en fonction des technologies (Tableau 12) :

- La catégorie de cellules >150 Wh/L :

Les cellules Li-ion actuelles de génération 1¹² notamment à base de LFP (Tableau 10) répondent déjà technologiquement au besoin identifié en matière de densité d'énergie. Les principaux défis pour les catégories de véhicules « main stream » sont une optimisation des cellules pour un fonctionnement élevé en puissance en décharge, et surtout une forte diminution du coût des batteries.

Les technologies de puissance à base des matériaux NMC-LTO et Na démontrent des performances élevées en puissance associées à des durées de vie augmentées par rapport aux technologies de génération 1. Les technologies Na permettent d'éviter l'utilisation de

¹¹ Source DOE 2012

¹² La terminologie des générations de cellules est la même que celle utilisée par l'Europe (Temporary Working Group 7), TWG7 du SET PLAN

cobalt, mais sont limitées par leur densité énergétique en dessous des spécifications (150 à 200 Wh/L).

- La catégorie de cellules >500 Wh/L :

Les cellules Li-ion actuelles de génération 1 ne répondent pas au besoin en Wh/L et les générations 2 et 3 doivent être envisagées. L'augmentation de la densité d'énergie ne pourra être réalisée qu'en enrichissant les cathodes en Nickel ou en Lithium (matériaux nommés « Ni-rich, Li-rich »), et les anodes en Silicium (matériaux nommés « high Si », car ils sont souvent mélangés avec du graphite, avec l'objectif d'avoir un maximum de Silicium dans la composition).

- La catégorie >900 Wh/L :

Les générations 1 et 2 de cellules ne suffisent pas à répondre aux besoins en densité d'énergie volumique, seules les générations 3 et 4 peuvent espérer répondre au besoin. Pour la GEN 3 il s'agit de pousser les performances aux limites théoriques des batteries Li-Ion tandis que pour la GEN 4 à haute performance il s'agit de rendre possible l'utilisation d'Anode Li métal tout en conservant un niveau de sécurité élevé afin d'atteindre les densités énergétiques nécessaires. Ceci dit cette seconde technologie risque de pécher par un comportement en puissance insuffisant (vitesse de chargement) ce qui pourra mener les fabricants de pack batteries à envisager des architectures hybrides faisant appel à deux technologies différentes afin de répondre aux exigences de puissance et d'énergie embarquée.

Cell generation	Cell chemistry
Generation 5	• Li/O ₂ (lithium-air)
Generation 4	• All-solid-state with lithium anode • Conversion materials (primarily lithium-sulphur)
Generation 3b	• Cathode: HE-NCM, HVS (high-voltage spinel) • Anode: silicon/carbon
Generation 3a	• Cathode: NCM622 to NCM911 • Anode: carbon (graphite) + silicon component (5-10%)
Generation 2b	• Cathode: NCM523 to NCM622 • Anode: carbon
Generation 2a	• Cathode: NCM111 • Anode: 100% carbon
Generation 1	• Cathode: LFP, NCA • Anode: 100% carbon

> 2025 ?

~ 2025

~ 2020

GEN4 « solid state »:
Une génération dont la commercialisation est prévue au plus tard en 2025

GEN3 :
Des générations en bonne voie de commercialisation

GEN1 et GEN2 :
Des générations déjà commercialisées aujourd'hui

Tableau 10: Génération de cellules Li-ion et post-Li-ion¹³

¹³ La terminologie des générations de cellules est la même que celle utilisée par l'Europe (Temporary Working Group 7), TWG7 du SET PLAN

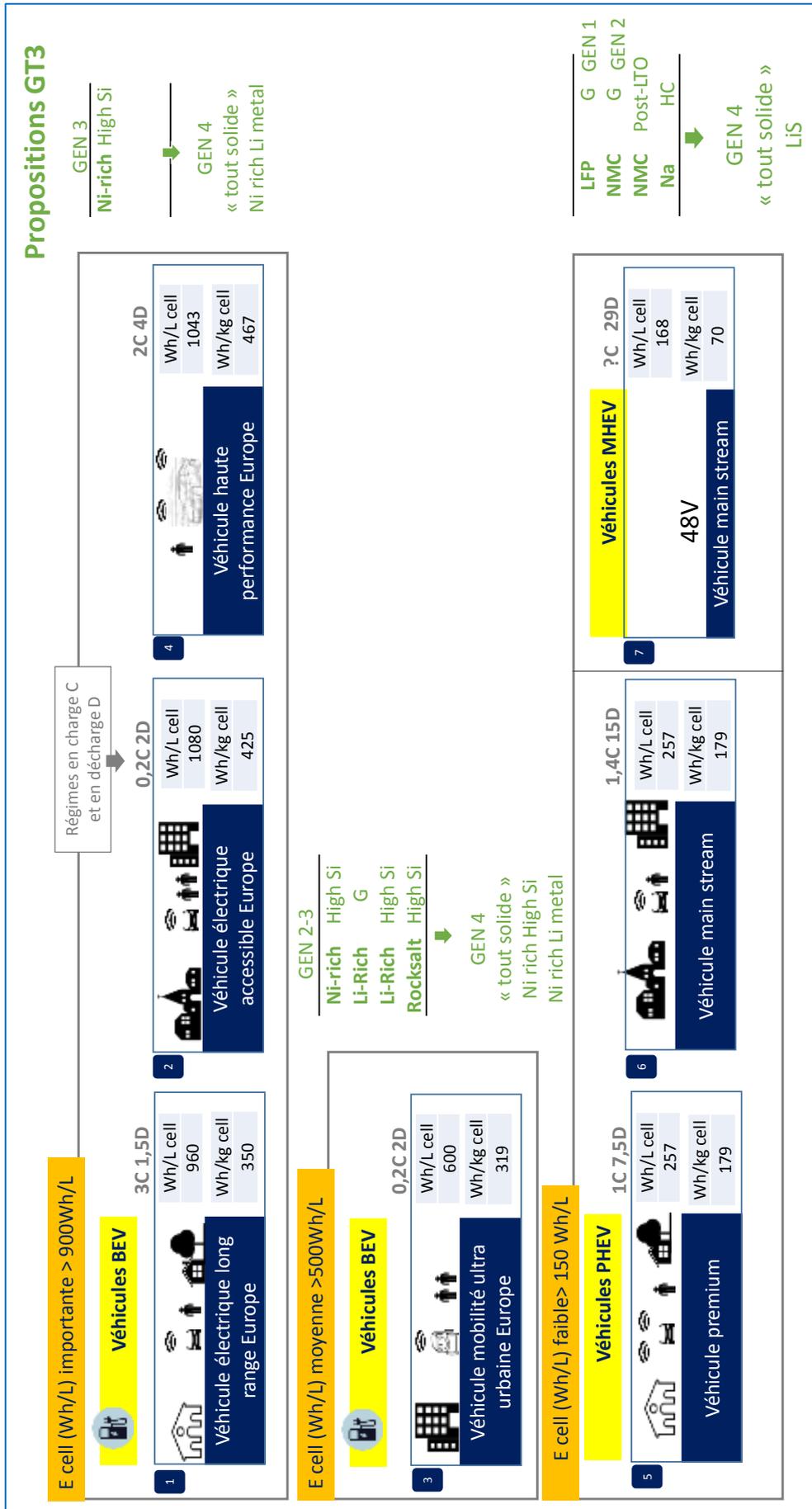


Figure 17: Classification des usages pour la mobilité, en fonction de leurs besoins en énergie (Wh/L). Les propositions R&D du groupe de travail 3 sont répertoriées en vert sur la figure

	Capacité (mAh/g)	Tension (V vs. Li+/Li)	densité (g/cm ³)	Energie (Wh/kg)	Energie (Wh/L)	Puissance	Gamme de T°C	Durée de vie	Sécurité	Criticité	Coût (\$/Wh)	Intérêt SAFT et Blue Solutions
LCO	150	3,9	5,06	585	2960	Bon	-20,+55°C	bon	très mauvais	très mauvais	élevé	
NMC111	160	3,85	4,77	616	2938	Moyen	-20,+55°C	bon	moyen	moyen	intermédiaire	
NMC622	175	3,85	4,9	674	3301	Moyen	-20,+55°C	bon	moyen	bon	intermédiaire	
NCA	200	3,75	4,76	750	3570	bon	-20,+55°C	très bon	mauvais	très bon	intermédiaire	
LFP	155	3,45	3,59	535	1920	Bon	-20,+55°C	très bon	bon	excellent	intermédiaire	
LMO	120	4,1	4,29	492	2111	très bon	-20,+45°C	moyen	bon	excellent	intermédiaire	
NMC811	200	3,85	5,02	770	3865	Moyen	-20,+55°C	moyen	moyen	très bon	intermédiaire	Fort
NMC9,0,5,0,5	210	3,85	5	809	4043	Moyen	-20,+55°C	??	mauvais	très bon	intermédiaire	Fort
SV-LNMO	130	4,7	4,45	611	2719	très bon	-20,+55°C	mauvais	mauvais	très bon	intermédiaire	Très Fort
Li-rich S	250	3,5	4,2	875	3675	moyen	-20,+55°C	mauvais	mauvais	très bon	intermédiaire	Très Fort
S	1000	2,1	1,96	2100	4116	mauvais		mauvais		excellent	faible	Très Fort
Rocksalt O	300	3,2	4	960	3840	??					intermédiaire	Fort
Rocksalt S	400	2,2	2,7	880	2376	??				excellent	intermédiaire	Fort
Air (Li2O2)	3000	2,9	2	8700	17400	??				excellent	faible	Fort
Hard carbon	280	0,3	1,52			très bon		très bon	moyen			
Soft carbon	250	0,3	2,2			très bon		très bon	moyen			
Graphite	350	0,15	2,25			moyen		très bon	moyen			
Si-G	400-800		2,3			bon		moyen	moyen			
LTO	160	1,55	3,48			excellent		excellent	excellent			
High Si	1000-1200		2,3			bon		mauvais	mauvais			Très Fort
post-LTO	270	1,5	4,33			excellent		excellent	excellent			Très Fort
Li (elec liquide)	3860	0				mauvais		très mauvais	très mauvais			Très Fort
Li (elec gel)												Très fort



Tableau 11: Matériaux actifs d'électrode positive et négative et leurs spécifications

technologie	Electrode +	Electrode -	Wh/kg	Wh/L	Puissance	Axes R&D à développer
Li-ion	LMO	G	100-180	200-300	bonne	technos matures : amélioration continue, optimisations , diminutions des coûts...
	NCA	G	200-240	400-650	bonne	
	NMC	G	150-200	300-600	bonne	
	Ni-rich	Si-G	220-260	400-700	bonne	
	NMC	LTO	60-90	100-200	très bonne	
	LFP	G	80-150	200-300	très bonne	
Li-ion avancé	Ni-rich	High Si	240-300	700-900	bonne	stabilité : électrolyte HV, Liant Si
	NMC	post-LTO	100-150	200-300	très bonne	Wh/kg : nouvelle (-)
	SV-LMNO	G	160-220	300-500	très bonne	stabilité : électrolyte HV
	Li-Rich	G	220-300	450-600	moyenne	stabilité : électrolyte HV
	Li-Rich	High Si	250-400	500-800	moyenne	stabilité : électrolyte HV, Liant Si
	Rocksalt	High Si	300-400	600-800		tension rocksalt, Liant Si
Na-ion	NVPF	HC	60-120	100-180	très bonne	Wh/kg: nouveau matériaux
	Na-layered	HC	100-150	150-200	moyenne	stabilité : nouvelles (+)
Li metal (tout solide)	LFP	Li	150-200	200-300	Faible	électrolyte solide : basse T/HV
	Ni-rich	Li	400-500	800-1000	Faible	électrolyte solide : protection Li
	S	Li	200-400	200-400	faible	électrolyte solide, dissol. Poly S
	Air	Li	>500	>500	faible	électrolyte solide/cathode air

Tableau 12: Technologie de cellules et leurs spécifications

Points importants concernant les propositions R&D de matériaux :

- Le renfort R&D doit être focalisé sur les usages de la mobilité où les technologies de batteries commercialisées aujourd'hui ne répondent pas encore aux besoins (>900 Wh/L, charge >3C)
- Le travail majeur pour employer les nouveaux matériaux actifs consiste à concevoir toute la cellule électrochimique qui va les accueillir (les liants, les conducteurs électroniques, les séparateurs, les électrolytes et additifs, le design des composants et de la cellule).

4.3.3. Des actions R&D pour le développement d'une technologie « tout solide »

Les roadmaps « cellules » envisagées par le Groupe 3 en fonction des usages de la mobilité, convergent vers la **technologie « tout solide » en 2025** (Figure 17).

La technologie de type « tout solide » est envisagée par les acteurs européens de la cellule pour une offre différenciante de celles actuelles de l'Asie ; en effet elle nécessitera des composants, des équipements, des procédés de fabrication différents des technologies à électrolyte liquide. Les acteurs asiatiques, forts de leurs lourds investissements anticipés dans des gigafactories, doivent aujourd'hui les rentabiliser (nota : ils lancent également de nombreuses actions pour le développement du « tout solide »).

Dans la mesure où la technologie « tout solide » est encore à des degrés de maturité relativement bas (TRL 2-3 pour le Li-Ion solide), elle n'est envisagée commercialement qu'à l'horizon 2023-2025. L'Europe entame donc aujourd'hui une course avec l'Asie (qui doit aussi se battre pour amortir ses gigafactories de cellules utilisant la technologie « électrolyte liquide »). L'Europe a donc une opportunité UNIQUE : celle de développer une solution de batterie « tout solide », avec une gigafactory à échéance 2022-2023. Si ce défi est relevé, l'Europe sera de retour dans la course.

Les principaux avantages technologiques et économiques qui sont perçus avec le développement des technologies de type « tout solide » sont :

- Une amélioration notable de la sécurité, et un gain écologique dans la mesure où aucun solvant ne sera employé. Egalement, lors du fonctionnement en cellule, la croissance dendritique (à l'origine de court-circuit) est supposée limitée.
- Un gain en densité d'énergie, avec une préférence pour l'emploi du lithium métal à l'électrode négative, la suppression de matériaux inertes (les liants polymères). Les matériaux à haute densité d'énergie (générations 2, 3 et 4) pourront être transposés dans les technologies dites « tout solide », le background acquis pourra donc être profitable.
- Un gain en coût, avec des étapes simplifiées par rapport aux générations à électrolyte liquide, certainement avec des actions plutôt « mécaniques » pour l'empilement de couches autosupportées.
- Une simplification du système batterie (organes de sécurité, de tenue mécanique...) grâce à des cellules moins exigeantes en besoins externes.

Le principal défi R&D de la technologie « tout solide » est d'identifier des polymères ou des composites polymères / céramiques conducteurs ioniques utilisés en tant que séparateurs (positionnés entre anode et cathode afin d'assurer l'isolation électrique) ou/et en tant que catholyte (jouant le rôle de conducteur ionique solide dans la cathode) pour un fonctionnement optimal, même à basse température. Une fois les matériaux identifiés, l'établissement du procédé de fabrication des cellules sera un autre défi à surmonter et une opportunité pour permettre de se différencier par rapport aux technologies existantes (procédés sans solvant, procédés secs...).

Ainsi, alors que la technologie très prometteuse du « tout solide » est encore à l'échelle « laboratoire », elle est déjà confrontée aux spécifications du marché qui réclame avant tout une baisse des coûts des batteries. Ce critère devra être pris en compte, pour qu'elle ne devienne pas une haute technologie destinée à des marchés de niche.

Pour arriver à son développement rapide, les actions R&D devront être menées au plus vite et sans relâche, sur toute la chaîne de la valeur avec des objectifs de montée en TRL précoces.

4.4. L'Ecosystème R&D français sur lequel l'industrie peut d'ores et déjà s'appuyer

4.4.1. La R&D française impliquée dans les batteries repose sur des acteurs privés et publics

Acteurs privés (Figure 18) :

SAFT : Le cœur de la Direction de la Recherche de Saft, se situe à Bordeaux avec près de 100 collaborateurs. Elle est complétée par une équipe réduite localisée aux USA. Les activités de développement sont localisées dans certaines des usines du Groupe, avec les équipes les plus importantes sur les sites de Poitiers et de Bordeaux. Les sites européens suédois et tchèques ont aussi une activité de développement soutenue.

BLUE SOLUTIONS : Blue Solutions possède 2 sites de R&D, l'un au Canada et l'autre en France. Ces 2 sites travaillent en coopération étroite. La partie française représente une centaine de personnes qui développent la totalité de la batterie (des électrodes aux packs en passant par la BMS). Blue Solutions s'appuie également sur ses équipes développant les applications pour élaborer ses nouveaux produits mobilités et stationnaires (bluecar, bluebus et bluestorage) : des architectures de stockage aux systèmes applicatifs complets.

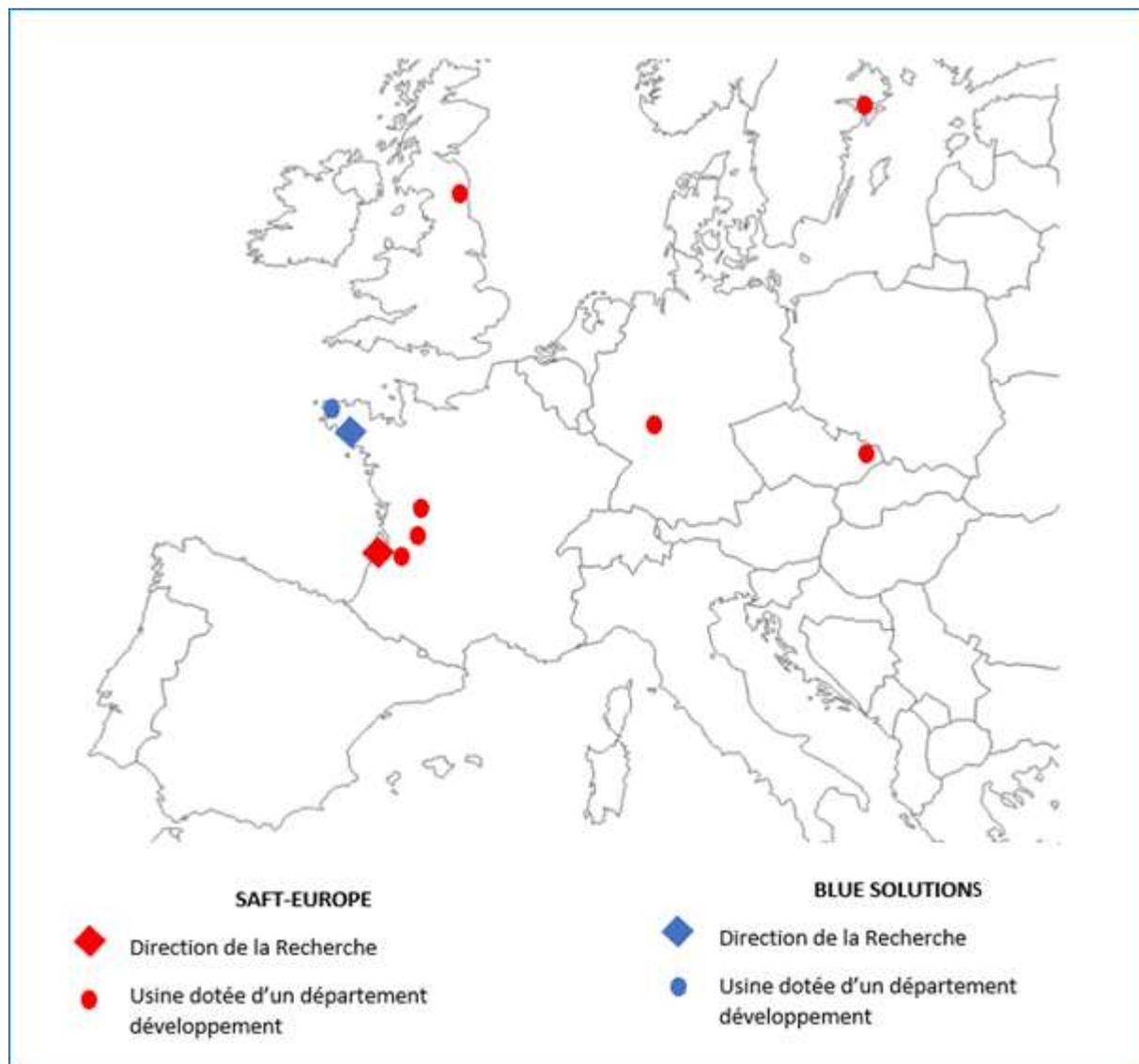


Figure 18: Localisation en Europe des centres de développement de SAFT et BLUE SOLUTIONS

Acteurs Publics :

Reconnus internationalement, sur toute la chaîne de la valeur amont et aval, des acteurs publics majeurs (listés ci-après par ordre d'importance en effectif), sont d'ores et déjà impliqués dans la recherche et le développement des batteries à base de lithium rechargeable. **Dès aujourd'hui, ils disposent de tous les ingrédients pour alimenter l'industrie de la batterie (sur toute sa chaîne de valeur):**

- Le CEA Liten

Effectif : 200 chercheurs (ingénieurs et techniciens)

Impliqué sur le développement des batteries à base de lithium rechargeable depuis le début des années 90, le CEA Liten couvre toute la chaîne de valeur, depuis la synthèse des nouveaux composés actifs jusqu'à l'assemblage final en pack et leur intégration, en passant par la fabrication des composants et des accumulateurs, avec des moyens de caractérisations uniques alliés aux plateformes pilote, de modélisation, et de tests abusifs.

- L'IFPEN

Effectif : 20 chercheurs (ingénieurs et techniciens)

L'IFPEN étudie en outre une approche complémentaire fondée sur la physique pour identifier, modéliser les mécanismes de vieillissement prépondérants dans les cellules. Par exemple, la réduction de l'électrolyte sur une électrode engendre la croissance d'un dépôt qui affecte la résistance interne. De tels modèles ont l'avantage de faire le lien entre les propriétés microscopiques et macroscopiques.

- Le RS2E

16 laboratoires aux effectifs allant de quelques chercheurs (le plus souvent), jusqu'à maximum 30 pour le plus grand (au LRCS d'Amiens)

Le RS2E créé en 2010 est une structure tricéphale, composée majoritairement de laboratoires du CNRS (dont la recherche sur les cellules à base de lithium rechargeable est très amont), d'EPIC (pilotes par le CEA Liten avec l'IFPEN, l'INERIS), et d'industriels. Ce réseau se réunit deux fois par an.

A l'issue de ce bilan concernant les acteurs publics, il est proposé par les membres de la Mission Batterie, de faire établir par ces acteurs majeurs de la R&D (CEA Liten, IFPEN, RS2E), **une roadmap technologique** de moyen et long terme coordonnée dans le cadre d'un exercice formalisé où **les industriels auraient un rôle reconnu dans la phase d'élaboration, notamment celui d'assurer** (avec les incertitudes liées à ce type d'exercice) **la cohérence de cette roadmap avec les attentes du marché**. De plus un travail de comparaison avec des structures étrangères équivalentes pourrait être mené sur la qualité des contenus des roadmaps et leurs exécutions.

4.4.2. Points clés d'un scénario d'une R&D qui renforce l'industrie de la cellule (matériaux, procédés de fabrication) avec identification des leviers

Si les « pure players » de la recherche concentrent une forte part de l'activité dans les TRL=<2, l'industrie est impliquée directement dès le TRL 3 à la fois dans l'orientation et dans l'exécution de la recherche.

Dans le cadre de la mise au point de la GEN 4 à très haute performance pour laquelle de nouvelles architectures physiques et de nouveaux procédés doivent encore être développés, l'importance de la **ligne de prototype** est clef.

Pour ces projets hautement concurrentiels dans lesquels le facteur temps joue un rôle primordial, ce type d'équipement doit répondre aux contraintes suivantes :

- Il doit être placé là où sont les équipes. Ces dernières, pour des raisons de prise en compte des savoir-faire et des contraintes des opérationnels, sont toujours localisées sur un site de production
- Il est difficilement partageable entre plusieurs acteurs, son taux d'occupation par les équipes de l'acteur chez qui il est implanté est déjà soutenu
- Il génère un savoir-faire de nature intrinsèquement compétitive, il semble malaisé d'y faire alterner des équipes concurrentes.

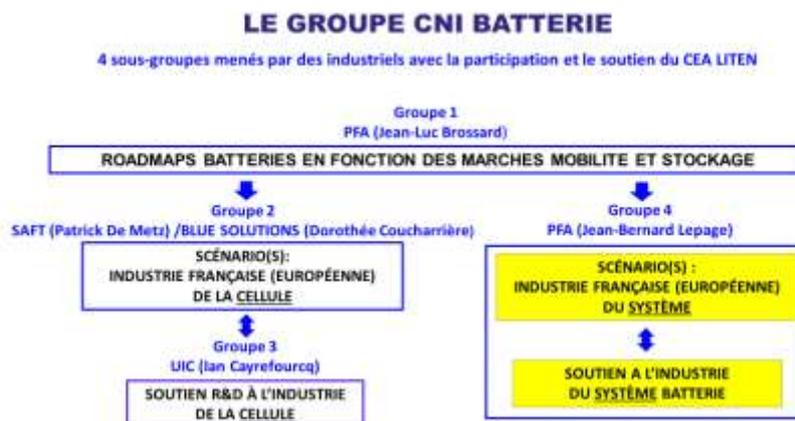
Par ailleurs le scénario d'une R&D qui renforce l'industrie de la cellule comporte deux points essentiels :

- La recherche en laboratoire doit être coordonnée et guidée par les industriels, afin de la focaliser sur les défis industriels, La proximité géographique des acteurs (par exemple des industriels avec les lignes pilotes) est nécessaire.
- L'objectif doit être des démonstrations précoces de technologies innovantes, aptes à créer des ruptures commerciales.

Dans ce contexte, des projets financés de grande ampleur seront des leviers essentiels pour permettre aux différents acteurs de collaborer étroitement :

- Pour créer les conditions de ce renfort R&D, des projets financés doivent inciter à monter rapidement en TRL des innovations (au-delà de TRL7). Il est primordial qu'il y ait une prise de conscience que le développement sur une ligne pilote industrielle et la montée en rendement sont des étapes de développement à coût élevé et à haut risque et qu'à ce titre elles doivent être éligibles aux subventions.
- Des projets en lien étroit avec les équipementiers pour anticiper les process de fabrication de rupture.
En lien étroit avec des équipementiers, des lignes pilotes versatiles pourront intégrer des procédés d'assemblage INNOVANTS avec les NOUVEAUX matériaux. L'objectif ici est d'augmenter les cadences de production, réduire l'impact environnemental et limiter les capex (équipements, salle sèches...). A l'instar de l'industrie de la microélectronique les équipementiers pourront envisager des solutions basées sur des mini-environnements au niveau de chaque équipement afin de limiter le recours à des salles sèches de grande surface.
- Un renforcement du numérique, avec des plateformes de modélisation, des plateformes de caractérisations d'analyses de surfaces et d'interfaces, pour interpréter les phénomènes physico-chimiques intervenant dans le fonctionnement des cellules notamment aux interfaces, anticiper et comprendre les phénomènes de dégradation impactant la durée de vie des cellules ainsi que leur sécurité, sera indispensable.
- Une attention particulière aux sujets liés à la recyclabilité et à l'éco-conception des cellules comme évoqué par le GT pourrait conduire à financer des projets spécifiques de recherche autour des thèmes identifiés (dry processing, substitution du solvant NMP à forte toxicité...).

5. SOUS-GROUPE 4 – SOUTIEN R&D A L'INDUSTRIE DU SYSTEME BATTERIE



Participants :

Jean Bernard LEPAGE – PFA (pilote)
Jean-Luc BROSSARD – PFA
Marianne CHAMI – CEA LITEN (support)
Daniel CHATROUX – CEA LITEN
Yvan REYNIER – CEA LITEN
Ilan CAYREFOURCQ - UIC

Bernard GRANDEL – PFA
Dorothee COUCHARRIERE - BLUE SOLUTIONS
Marc DESCHAMPS - BLUE SOLUTIONS
Laurent PERRIER - BLUE SOLUTIONS
Patrick DE METZ - SAFT

5.1. Mission, données d'entrée et livrables

Objectif du Groupe 4

- Scénario(s) d'une industrie française du système batterie renforcée
- Les hypothèses à envisager : les cellules sont d'origine européenne ou asiatique

Données d'entrée du Groupe 4

- Etat des lieux des acteurs « système batterie » en France/Europe.
- Roadmap technologique du système batterie en fonction des marchés visés (fournie par le Groupe 1)

Livrables attendus de la part du Groupe 4

- Scénario(s) d'une industrie du système batterie en France (déjà des acteurs aujourd'hui à renforcer)
- Identification des leviers (écosystème y compris) pour la renforcer, la pérenniser (la faire monter en puissance)
- Evaluation des risques

5.2. Etat des lieux de l'industrie du système batterie

5.2.1. Décomposition de la chaîne de la valeur par maillons, des composants de base jusqu'à l'intégration du système batterie

La chaîne de la valeur de la batterie, des composants de base jusqu'à l'intégration en véhicule est donnée en Figure 19.

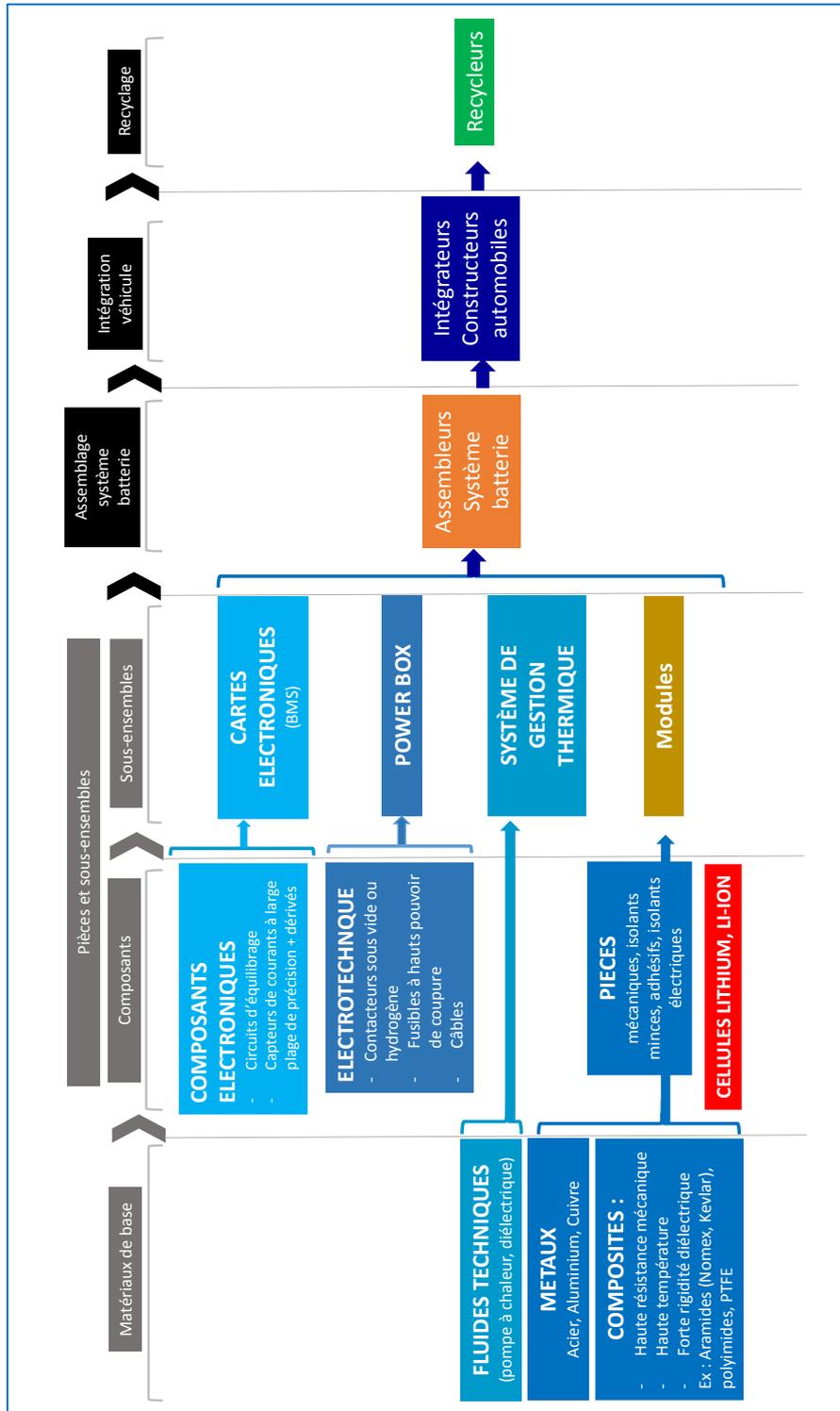


Figure 19: Chaîne de la valeur des matériaux de base jusqu'à l'assemblage des packs batteries et leur intégration au véhicule

5.2.2. Evaluation des facteurs de compétitivité pour chaque maillon de la chaîne de la valeur

Une analyse des acteurs industriels européens (Figure 20), pour chaque maillon de la chaîne de la valeur permet une évaluation des facteurs de compétitivité :

- Les acteurs français sont positionnés sur toute la chaîne de la valeur du système batterie (aucun manque en compétence) et sont internationalement reconnus dans leurs métiers.
- Des chevauchements de compétences entre les acteurs de la chaîne de la valeur : Des fabricants de cellules français sont positionnés sur l'aval de la chaîne de la valeur jusqu'à l'assemblage en pack batterie et même parfois jusqu'à l'intégration. A l'inverse, des constructeurs automobiles sont positionnés sur l'amont de la chaîne de la valeur, jusqu'à l'assemblage en module des cellules.
- Les constructeurs automobiles leaders européens du marché du véhicule électrifié sont en France et en Allemagne ; ils utilisent des cellules asiatiques, en raison de la compétitivité de ces dernières (Tableau 13).

Cell manufacturer	Chemistry	Capacity	Form	Voltage	Weight	Volume	Energy density	Specific energy	Used in:	
	Anode/ Cathode	Ah		V	kg	l	Wh/l	WH/kg	Firma	Modell
AESC	G/LMO-NCA	33	Pouch	3,75	0,80	0,40	309	155	Nissan	Leaf
LG Chem	G/NMC-LMO	36	Pouch	3,75	0,86	0,49	275	157	Renault	Zoe
Li-Tec	G/NMC	52	Pouch	3,65	1,25	0,60	316	152	Daimler	Smart
Li Energy Japan	G/LMO-NMC	50	Prismatic	3,7	1,70	0,85	218	109	Mitsubishi	i-MiEV
Samsung	G/LMO-NMC	64	Prismatic	3,7	1,80	0,97	243	132	Fiat	500
Lishen Tianjin	G-LFP	16	Prismatic	3,25	0,45	0,23	226	116	Coda	EV
Toshiba	LTO-NMC	20	Prismatic	2,3	0,52	0,23	200	89	Honda	Fit
Panasonic	G/NCA	3,1	Cylindrical	3,6	0,045	0,018	630	248	Tesla	Model S

Tableau 13: Cellules Li-ion (+ leurs caractéristiques) utilisées dans les véhicules électrifiés par les constructeurs automobiles¹⁴

- Des acteurs de la cellule, mais également des constructeurs automobiles se sont d'ores et déjà lancés dans l'utilisation des packs batteries en seconde vie, avec des démonstrateurs à succès (les packs batteries ne sont en général pas reconditionnés).
- Des acteurs asiatiques sont désormais présents sur le sol européen, ayant compris l'intérêt à être positionnés géographiquement au plus près des sites des constructeurs automobiles.

Bien qu'inquiétant, ce constat montre qu'il est encore temps d'installer une industrie en Europe, par exemple GS YUASA¹⁵ (pour une usine d'assemblage de modules à partir de cellules en provenance du Japon), SK INNOVATION¹⁶ et CATL¹⁷ (pour des usines d'assemblage de cellules) font suite à LG et SAMSUNG déjà installés respectivement en Pologne et en Hongrie.

¹⁴ AABC, Anderman 2013

¹⁵ <https://www.yuasa.co.uk/2018/01/gs-yuasa-to-establish-new-lithium-ion-battery-plant-in-hungary/>

¹⁶ <https://pushevs.com/2017/05/30/sk-innovation-will-build-battery-cell-plant-europe/>

¹⁷ <https://pushevs.com/2017/10/18/catl-expects-become-biggest-battery-cell-manufacturer/>

5.2.3. Risque pour l'industrie du système batterie à n'utiliser que des cellules Li-ion asiatiques

Le Groupe 4 identifie un très fort risque pour l'industrie du système batterie à n'utiliser que des cellules asiatiques :

- Les innovations « matériaux », « cellule », seront de plus en plus subies, avec une perte d'anticipation des évolutions possibles au niveau système
- Les chercheurs et les industriels auront progressivement des difficultés à faire émerger sur le marché des innovations « systèmes » françaises qui nécessitent des évolutions de design des cellules. En effet, seules les cellules asiatiques seront commercialisées à grande échelle, les innovations françaises seront vouées à stagner à l'échelle laboratoire, ou au mieux elles seront implantées dans des démonstrateurs qui resteront de belles vitrines.

5.3. Conditions pour renforcer l'industrie du système batterie

5.3.1. Une recherche guidée par les industriels, avec des projets à hauts niveaux de TRL

Des projets, des équipes, des lignes pilotes doivent être concentrés vers un même objectif, guidé par les industriels. Un soutien fort à la recherche amont et à la recherche industrielle doit être mis en place pour l'installation d'une forte activité en propriété intellectuelle.

Les conditions pour une accélération du transfert technologique pour aller vers des démonstrateurs à grande échelle (précurseurs d'application série), doivent être créées grâce aux collaborations renforcées avec des lignes pilotes et des projets à hauts niveaux de TRL.

5.3.2. Les défis de l'industrie du système batterie devant les spécifications du marché

Les trois principaux défis des packs batteries sont une compétitivité technologique, une baisse des coûts et une sécurité intrinsèque. Les renforts au niveau système sont de plusieurs ordres et sont décrits ci-après :

- La donnée d'entrée du pack batterie est la cellule :

Toutes les optimisations menées au niveau « CELLULE » permettront d'alléger les besoins lors du reconditionnement au niveau « SYSTEME BATTERIE ». Il sera donc important que les innovations entreprises au niveau de la cellule soient intégrées au plus tôt par l'industrie du système batterie. Cela implique **un lien étroit entre les actions menées en amont et en aval de la cellule, pour une montée en TRL précoce des innovations cellules, et ainsi une anticipation au plus tôt des innovations système.**

- La sécurité et la continuité de service grâce à une filière électronique de puissance et « systèmes intelligents »

Si l'industrie de la cellule est primordiale, elle nécessite également l'émergence d'une filière électronique de puissance et de systèmes « intelligents », qui pourra servir à l'ensemble de la chaîne de valeur de la batterie.

Pour une sécurité et des performances accrues, la batterie devra être tolérante au défaut et assurer une continuité de service. Par exemple, **des informations recueillies au niveau interne de la cellule grâce à l'intégration de capteurs, pourront être exploitées en externe grâce à de nouveaux algorithmes de BMS qui traiteront les données.**

L'électronique de « gestion » est également au cœur du fonctionnement de la batterie avec le BMS (Battery Management System). Ce dispositif sert en premier à assurer la sécurité

de la batterie et de l'utilisateur avec la gestion de la charge et de la décharge (une batterie au lithium mal utilisée peut dysfonctionner). Il permet également d'améliorer les performances et de réduire les coûts en utilisation en exploitant au mieux l'énergie (équilibre des cellules, gestion de la température) et enfin il fournit les informations indispensables à l'utilisateur comme l'état de charge et au diagnostic avec l'état d'usure des cellules.

Une filière française d'électronique de puissance « active », sous la forme d'actionneurs d'électronique de puissance intégrés au cœur de la batterie, pilotée par le BMS est en émergence.

- Le design du pack batterie :

Le design du pack batterie pourra être étudié en analysant les étapes de sa fabrication et de son intégration au véhicule, avec l'objectif de **minimiser les packagings successifs nécessaires à l'étanchéité, à la tenue mécanique.**

Le design du pack batterie doit être également analysé pour en **minimiser les besoins thermiques et électriques**, pour en optimiser les consommations en énergie et les conditionnements en température.

Les pièces du pack batterie pourront être scrutées en parallèle avec les procédés d'assemblage. Cette analyse qui devra être menée avec des équipementiers, des lignes pilotes, aura pour objectif de simplifier les composants (les alléger, les rendre moins coûteux), de **simplifier aussi les procédés d'assemblage des packs batteries (les automatiser).**

Le renfort R&D comprendra également le développement d'un pack batterie sobre, dont le rendement énergétique de fabrication et le recyclage, pourraient permettre une différenciation des batteries européennes.

- L'assemblage des batteries à proximité des lieux d'intégration au véhicule :

Dans le cadre d'une collaboration étroite entre les assembleurs de batteries et les constructeurs automobiles, et également pour une réduction des coûts et de l'empreinte carbone, **l'assemblage des batteries devra être positionné à proximité des lieux d'intégration au véhicule.**

- Les métiers manquants et formations à renforcer

Le Groupe 4 note la nécessité de favoriser et renforcer la formation des ingénieurs et techniciens dans les domaines techniques (électricité, électronique, mécanique...). De plus, une formation généraliste sur l'ensemble de la problématique système et de la chaîne de la valeur de la batterie sera pertinente, couplée à une spécialisation dans une compétence spécifique.

6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Roadmaps des marchés mobilité et stationnaire – Une exigence fondamentale de compétitivité

Par rapport aux besoins du marché de la mobilité, ceux du marché du stationnaire pour les EnR (Energies Renouvelables) sont faibles. Aussi nous sommes nous axés sur les besoins et spécifications des batteries du marché de la mobilité VL qui se segmente en 7 principaux cas d'usage.

La compétitivité est le maître mot des challenges à relever. Toute démarche non compétitive est vouée à l'échec

Les challenges prioritaires du marché de la mobilité sont :

- La diminution des coûts sur toute la chaîne de valeur.
- L'aptitude à la charge rapide, facteur d'ordre 1 pour diminuer le temps de recharge
- Les densités volumiques et massiques d'énergie, facteur d'ordre 1 pour augmenter les autonomies des véhicules
- La sécurité intrinsèque des cellules pour faciliter la mise en sécurité du véhicule.

L'industrie de la cellule batterie – Un secteur stratégique soumis à de nombreux défis

A l'exception de la fourniture en matières minières de base (Li, Co, Ni...), toute la chaîne de valeur de la cellule est couverte par des industriels en France et par là même en Europe. Si les compétences existent, la capacité de production et la performance des coûts ne sont pas actuellement au niveau requis par le marché de la mobilité.

Les roadmaps des cellules convergent vers la technologie « tout solide » de génération 4 à très haute performance en 2025. Celle-ci nécessitera des composants, des équipements, des procédés différents des technologies à électrolyte liquide. C'est donc une opportunité UNIQUE pour l'Europe de revenir dans la course de fabrication de cellules pour le marché de la mobilité.

Bien que cette technologie très prometteuse de génération 4 à très haute performance ne soit que dans les premiers niveaux de développement (TRL2/3), elle est déjà confrontée aux exigences du marché de la mobilité qui réclame une baisse des coûts. Cette performance économique ne pourra s'acquérir que dans le cadre d'une gigafactory dont la capacité reste à définir (un seuil de 8 GWh a été mentionné).

Le premier défi R&D est de type « matériaux ». Il s'agit d'identifier des polymères ou des composites polymères/céramiques conducteurs ioniques pour un fonctionnement à température ambiante ou basse.

Le deuxième défi est de type intégration de la cellule, il s'agit de mettre en œuvre ces matériaux dans un environnement contraint (volume, température, connectique) tout en assurant que les fonctions attendues (densité d'énergie et de puissance, aptitude au cyclage répété, résistance au vieillissement, absence de réactions chimiques parasites) soient fournies, et ce dans une enveloppe de coût capable de lutter avec des acteurs japonais, coréens et chinois.

Le troisième défi est de type « process ». Il s'agit d'une montée très rapide du développement de cette technologie pour aboutir à une mise sur le marché en 2025, ce qui implique d'une part une planification d'actions R&D focalisées/guidées par les défis industriels et d'autre part des projets subventionnés de lignes de prototypage et de lignes pilotes chez les industriels.

L'industrie du système batterie : une industrie liée à celle de la cellule

Les acteurs français sont positionnés sur toute la chaîne de la valeur du système batterie, et sont internationalement reconnus dans leurs métiers.

Cependant les positions des acteurs évoluent sur cette chaîne de valeur, chacun allant vers un élargissement de son domaine de compétences, soit vers l'aval soit vers l'amont.

Le groupe 4 identifie un très fort risque pour l'industrie du système batterie à n'utiliser que des cellules asiatiques : les innovations « matériaux » et « cellule » seront subies et non anticipées ; les innovations « système » françaises/européennes nécessitant des évolutions du design des cellules n'arriveront plus à émerger des laboratoires.

Le renforcement de l'industrie du système batterie passe par une recherche guidée par les industriels avec des projets à haut niveau de TRL.

Les défis des packs batteries sont issus bien sûr du marché de la mobilité et plus précisément :

- La donnée d'entrée du pack batterie est la cellule ; d'où l'importance d'une industrie française/européenne de la cellule
- Le design du pack batterie, avec pour objectifs la baisse des consommations électriques et de maintien de température ainsi que l'aptitude au recyclage ; le recyclage devenant un point de différenciation des batteries européennes
- L'assemblage de la batterie à proximité du lieu d'intégration au véhicule
- Les composants externes à la cellule à optimiser
- La sécurité renforcée grâce à l'exploitation de l'information de capteurs intégrés au niveau de la cellule.

Recommandations de politiques publiques pour soutenir ce scénario :

1. **Reconnaitre à cette industrie de la cellule le caractère de « secteur industriel stratégique et exposé », avec un soutien des pouvoirs publics dans la durée.**
2. **Soutenir les initiatives européennes dans le cadre des projets stratégiques et de grande ampleur (>10M€ en R&D, >100M€ en industrialisation) autour d'acteurs français dont SAFT et BLUE SOLUTIONS pour le secteur des cellules ; ce soutien consiste à concentrer l'enveloppe de financement sur ces projets.**
3. **Mise en place par les autorités françaises d'un mécanisme, dédié au secteur batterie, de financement des activités de R&D avec d'une part une intensité accrue incitative pour les grands groupes et d'autre part un délai d'actionnement rapide (des prises de décisions au fil de l'eau dans le cadre d'un processus allégé).**
4. **Création par les autorités françaises d'un mécanisme ambitieux de subvention des activités pilotes et d'industrialisation de batteries de génération 3 et de génération 4 (matériaux, cellules, système complet de pack batterie) intégrant les pertes opérationnelles liées à l'absence initiale d'effet d'échelle et au parcours de la courbe d'apprentissage (de cette phase d'industrialisation). Et reconnaissance, à l'instar des autorités allemandes ou du processus français d'appel à projet de ligne nano-électronique, que les phases de transfert d'industrialisation ou de pré-industrialisation sont des phases de développement et non des phases industrielles de montée en production.**
5. **Faire établir par les acteurs publics majeurs de la R&D (CEA Liten, IFPEN, RS2E) une roadmap technologique coordonnée où les industriels auraient un rôle reconnu dans la phase d'élaboration, notamment celui d'assurer la cohérence de cette roadmap avec les attentes des marchés.**
6. **Faciliter l'implantation de nouvelles capacités de production des constituants chimiques des batteries sur des sites industriels en France, en renforçant l'attractivité des « plateformes de chimie ». Un cluster dédié aux matériaux pour batteries pourrait ainsi être envisagé.**

7. Intégrer dans les appels d'offres des commandes publiques sur les batteries des critères de valeur ajoutée locale, et de performances sociales et environnementales (depuis les composants de la cellule jusqu'à la fin de vie).
8. Contribuer au niveau européen à la restriction des importations qui ne respectent pas des critères sociaux et environnementaux (notamment des règles de l'Organisation Internationale du Travail), en conformité avec les règles de l'OMC. Sensibiliser les achats publics à exiger le respect de la propriété intellectuelle des cellules et batteries achetées (incorporées ou non).
9. Rechercher des critères différenciants technologiques, environnementaux et sociaux, permettant de soutenir une fabrication française de cellules de batteries. Dans ce cadre, faire réaliser en collaboration avec l'ADEME, un modèle d'évaluation du contenu carbone des batteries, basé sur l'ACV (exemple : modèle photovoltaïque).

La mise en œuvre des recommandations ci-dessus sera suivie par des Groupes de Travail composés de représentants publics et privés. Un Comité de Pilotage conjoint (autorités et industrie) sera en charge d'assurer les progrès de ces groupes, avec un objectif de clôture des travaux avant fin 12/2018.

Nota : Les recommandations proposées par des membres des GT mais qui n'ont pas obtenu un consensus de l'ensemble des autres membres ne figurent pas dans la liste ci-dessus.

ANNEXE 1

Lettre de mission



LE MINISTRE DE L'ECONOMIE
ET DES FINANCES

LE VICE-PRESIDENT
DU CONSEIL NATIONAL DE L'INDUSTRIE

Paris, le 5 Janvier 2018

Le Ministre de l'Economie et des Finances
Le Vice-Président du CNI

à

Monsieur le Président de la Plateforme automobile
Monsieur le Président de l'Union des industries chimiques
Madame la Directrice du LITEN

Objet : Lettre de mission relative à l'émergence d'une offre industrielle française et européenne en matière de batteries

Messieurs les Présidents, Madame la directrice,

La transition énergétique va conduire à un développement progressif des solutions de stockage de l'énergie (reposant notamment sur les batteries ou l'hydrogène) pour les applications de mobilité (électrification des véhicules) et stationnaires (en réponse à l'intermittence des énergies renouvelables).

Ainsi, l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) anticipe une accélération des ventes de véhicules électriques, qui atteignent d'ores et déjà 753 000 véhicules en 2016, dont 215 000 en Europe. Selon l'AIE, le nombre de véhicules électriques en circulation pourrait passer de 2 millions fin 2016 à plus de 9 millions en 2020. En outre, plusieurs pays européens ont déjà annoncé un objectif à moyen terme de fin des ventes de voitures émettant des gaz à effet de serre, en particulier la France à l'horizon 2040. Un tel développement se traduit par un besoin croissant en batteries. La technologie lithium-ion est la technologie la plus compétitive aujourd'hui.

Une large partie des cellules sont produites en Asie. Seul l'assemblage final des batteries (packs) est aujourd'hui fait en Europe. Ce segment de marché s'avère pourtant stratégique en termes de retombées économiques, les batteries pouvant représenter jusqu'à la moitié du coût de production d'un véhicule. La France dispose d'importants atouts technologiques et industriels sur l'ensemble de la chaîne de valeur, qui pourraient lui permettre de prendre position sur ce marché.

Dans ce contexte, le Gouvernement a souhaité faire de l'émergence d'une offre industrielle française et européenne dans le domaine des batteries un chantier prioritaire des travaux du Conseil national de l'industrie, afin d'assurer la cohérence entre la politique de développement de la mobilité propre et l'évolution des filières industrielles. L'émergence d'une telle offre nécessite de renforcer la coopération entre offreurs de technologies, constructeurs et énergéticiens et d'investir dans l'innovation.


MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE
ET DES FINANCES

139 rue de Bercy – 75572 Paris Cedex 12

Nous souhaitons vous confier une mission, visant à :

- **favoriser le dialogue et la coopération entre les différents acteurs des deux chaînes de valeurs concernées :**

- en amont : composants chimiques entrant dans la fabrication des cellules de batterie
- en aval : sur les deux marchés d'application que sont la construction de véhicules d'une part, et les réseaux électriques d'autre part

En prenant en compte les spécificités de ces segments et en réunissant pour chacun d'eux les acteurs pertinents :

- identifier les facteurs clefs d'**amélioration de la compétitivité des véhicules électrifiés** ;
- analyser les gains pouvant encore être atteints avec la technologie Lithium-Ion ainsi que les perspectives d'émergence de technologies alternatives ; **identifier les travaux de R&D pouvant être menés dans ces deux domaines**, afin de permettre la poursuite des baisses de coût et le développement d'une offre européenne dans ce secteur ; identifier les défis scientifiques à relever pour garantir une compétitivité durable de la filière
- engager un travail sur la **seconde vie des batteries**, visant à offrir aux batteries de véhicules en fin de vie des débouchés vers d'autres applications (e.g. stockage stationnaire) ;
- anticiper les besoins et opportunités en termes de **formations, compétences et emplois** ;
- élaborer des propositions quant à une éventuelle « **norme batterie européenne** », d'une part s'agissant des performances et de la sécurité des batteries, et d'autre part concernant les critères environnementaux et le cycle de vie des batteries utilisées en Europe, afin d'assurer le respect des objectifs environnementaux européens.

Vous présenterez un point d'étape de vos travaux au comité exécutif du CNI en mai prochain, incluant notamment :

- une analyse de la décomposition de la chaîne de la valeur, avec pour chaque maillon une évaluation des facteurs de compétitivité;
- des propositions opérationnelles d'actions contribuant à l'émergence d'une offre industrielle française et européenne de batteries,
- des recommandations concernant les technologies de cellules de batteries à privilégier dans les feuilles de routes technologiques des différentes filières, ainsi que les besoins en R&D correspondants ;
- une première analyse des métiers impactés et des formations à mobiliser ;
- des premiers éléments de stratégie sur le plan normatif,
- une analyse des propositions d'actions appelant plus spécifiquement une mobilisation au niveau communautaire.

Dans le cadre de votre mission, vous pourrez faire appel aux directions concernées du ministère de l'économie et des finances (DGE), du ministère de la transition écologique et solidaire (DGEC, DGITM, DGPR, CGDD), et du ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation (DGRJ).

Nous vous prions d'agréer, Messieurs les Présidents, Madame la directrice, l'expression de notre considération distinguée.

Pour le Premier ministre, président du CNI,
Par délégation,
Le ministre de l'économie et des finances



Bruno LE MAIRE

Le vice-président du CNI,



Philippe VARIN

ANNEXE 2

Perspective quant à une éventuelle norme batterie européenne

La technologie « tout solide » présente un certain nombre d'avantages mentionnés par les Groupes 2 et 3 (cf § 4.3.3) notamment en matière d'environnement et d'écologie. Une recommandation de politique publique du Groupe 2 est d'instaurer des standards environnementaux et sociétaux permettant de différencier l'offre française/européenne. Une recommandation du Groupe 4 va également dans ce sens en préconisant d'axer une spécificité de l'industrie européenne du système batterie sur l'aptitude au recyclage.

Les technologies à électrolyte liquide coexisteront pendant au moins une décennie avec la technologie « tout solide » (et il n'est pas assuré que cette dernière prenne le pas sur celles à électrolyte liquide). Compte tenu des besoins croissants du marché de la mobilité (154 GWh pour l'Europe en 2030), ce marché notamment européen continuera à être alimenté par des batteries lithium-ion, sauf à vouloir arrêter la transition énergétique.

Vous trouverez ci-après un point de situation sur une évolution en cours de la réglementation et sur le délai de parution d'une norme.

Evolution en cours de la réglementation

La réglementation européenne ECE-R100 (en évolution régulière depuis sa première version de mi-2016) qui traite de la sécurité des pièces sous haute tension dans les véhicules électriques, donc de la batterie de traction. Une réglementation internationale (GTR-EVS) est en cours de développement (Europe, Japon, Corée, USA, Canada, Chine) pour une application à partir de 2020 ; elle complétera les exigences de la réglementation ECE-R100 notamment pour les batteries de traction sur les thèmes : surintensité, protection à basse température, ... puis propagation thermique, mesure des gaz toxiques...

Délai de parution d'une norme

Une norme décrit un état de l'art et dépasse les exigences de la réglementation. Une proposition de norme fait le plus souvent suite à une avancée technologique ou de l'état de l'art, la norme permettant de promouvoir les bénéfices dus à cette avancée. La norme ne préconise pas la solution technologique à adopter pour répondre à ce nouvel état de l'art, mais en faisant évoluer l'état de l'art, la norme favorise les nouvelles solutions au détriment des anciennes.

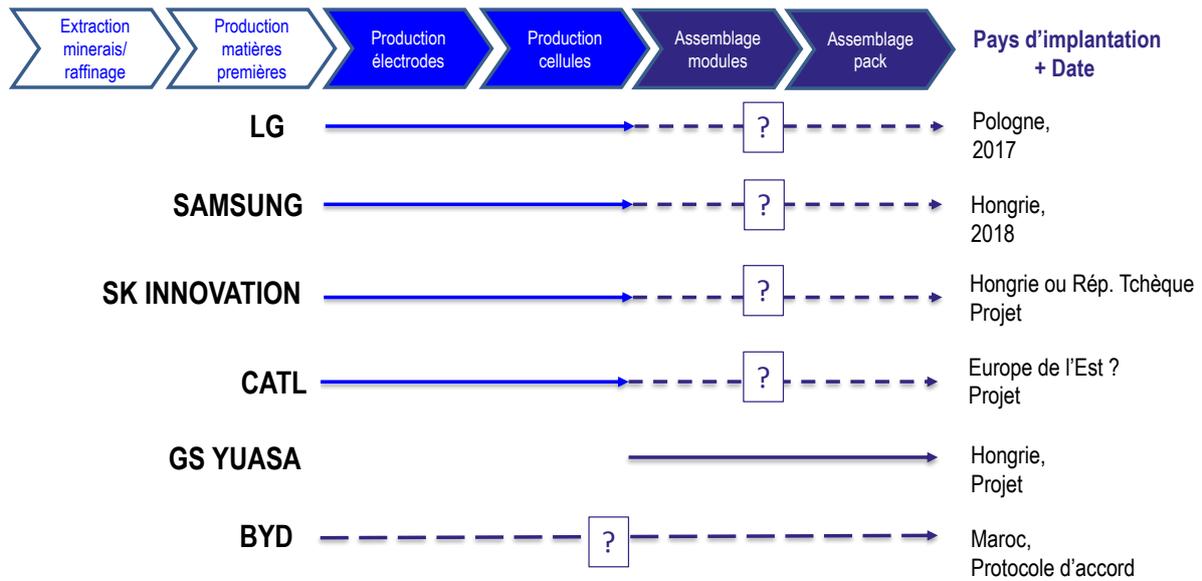
Une nouvelle norme batterie européenne (sur des thèmes non pris en compte par les réglementations) passerait par les étapes suivantes :

- Identification des thèmes de la nouvelle norme après inventaire et analyse des normes existantes
- Mise à l'ordre du jour du projet de norme au niveau européen (2 ans)
- Passage des différents jalons aboutissant à la parution de la norme (3 ans)

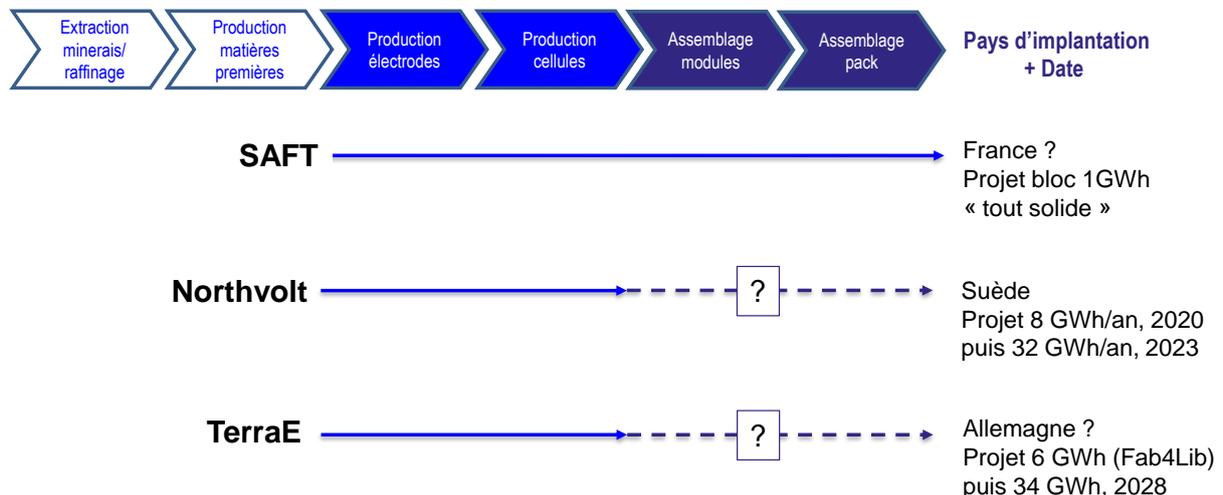
ANNEXE 3

Initiatives batteries des asiatiques vers le continent européen

Alors que les sociétés Samsung¹⁸ et LG¹⁹ finalisent leurs usines de fabrication de cellules Li-ion, respectivement en Hongrie et en Pologne, SK Innovation²⁰, GS YUASA²¹ annoncent leurs installations également sur le continent européen. A noter que BYD²² compte s'installer au Maroc, ce qui peut être considéré comme une porte d'entrée vers le continent européen, au plus près de certains constructeurs automobiles.



Projets d'acteurs européens d'implantation d'usines en Europe



¹⁸ <http://www.automobile-propre.com/samsung-sdi-finalise-construction-usine-batteries-voitures-electriques-europe/>

¹⁹ <http://www.lgchem.com/global/lg-chem-company/information-center/press-release/news-detail-783>

²⁰ <https://pushevs.com/2017/05/30/sk-innovation-will-build-battery-cell-plant-europe/>

²¹ <https://www.yuasa.co.uk/2018/01/gs-yuasa-to-establish-new-lithium-ion-battery-plant-in-hungary/>

²² <http://geopolis.francetvinfo.fr/maroc-la-chine-va-construire-trois-usines-de-vehicules-electriques-a-tanger-171911>

ANNEXE 4

Responsible Minerals Initiative Helps Companies Identify and Address Cobalt Mining Challenges in the DRC and Other High-Risk Areas

ALEXANDRIA, Va., March 5, 2018

Today's CBS News story (<https://www.cbsnews.com/news/cobalt-children-miningdemocratic-republic-congo-cbs-news-investigation/#x>), which is based in part on earlier reports by Amnesty International, highlights persistent challenges for industry supply chains related to responsibly sourcing cobalt from the Democratic Republic of the Congo (DRC) and other conflict-affected and high-risk areas. The focus of this CBS News story is children working in artisanal cobalt mines in the DRC. The Responsible Minerals Initiative (RMI), formerly the Conflict-Free Sourcing Initiative (CFSI), and its members condemn in the strongest terms the abhorrent use of child labor and we actively work to assist member companies to identify and address this issue in their global supply chains.

The RMI works within the framework of the OECD Due Diligence Guidance to help companies meet the requirements and expectations of investors, governments, customers, and other stakeholders. While ultimately it is RMI member companies' responsibilities to establish their respective due diligence processes, the RMI assists member companies in establishing the conditions for progressive improvement in cobalt supply chains.

With international frameworks (e.g., the OECD Guidelines for Multinational Enterprises, OECD Guidance, and the UN Guiding Principles on Business and Human Rights), national legislation (e.g., Dodd-Frank Act Section 1502 and EU Regulation), and input from civil society as our guideposts, RMI's programs continue to evolve from the initiative's original scope, to cover a broader set of risks and issues. This evolution is part of RMI's journey to promote the common goal of understanding and contributing to mitigating the salient social and environmental impacts of extraction and processing of raw materials in supply chains. Through its members, the RMI has been working on the responsible sourcing of cobalt as a focus area since early 2017. The RMI aims to create the enabling conditions for companies to carry out their due diligence in accordance with the OECD Guidance by providing common programs, resources and tools. For example, the RMI has :

- Worked with the Responsible Cobalt Initiative to develop a pilot audit program for cobalt refiners. The draft Cobalt Refiner Standard is currently being translated into Chinese and is planned to be made available for public consultation in March 2018.
- Published the Cobalt Reporting Template (CRT) for a pilot phase of six months, from March–August 2018, to identify choke points and collect due diligence information on the cobalt supply chain. The full text and the form can be found here on our website (emerging-risks/cobalt-reporting-template/).
- Worked with industry experts to define the choke point in cobalt supply chains and establish a definition of "cobalt refiner." Published the first Cobalt Refiner List, which can be found here on our website (responsible-minerals-assuranceprocess/exports/cmt-export/).

Furthermore, RMI and its members are actively reaching out to cobalt refiners with a view to better understand their due diligence practices and communicate responsible sourcing expectations. Cobalt refiners are being asked to complete our Risk Readiness Assessment ([emerging-risks/risk-readiness-assessment-\(rra\)/](http://emerging-risks/risk-readiness-assessment-(rra)/)) to better understand performance related to social, environmental and ethical issue areas, including child labor. The RRA includes cobalt, tin, tantalum, tungsten and gold producers and processors, and is free for mineral producers and processors to complete. As of today, the RRA platform is available to all RMI members and upstream companies. Currently there are nearly 170 companies using the platform, more than 200 facility-level assessments have been completed, and over 60 downstream companies are actively using the tool. This includes 20 cobalt producers, smelter or refiners. The RMI regularly engages key stakeholders on cobalt to align efforts across initiatives and work to continuously improve conditions in cobalt supply chains. Additional information can be found in the RMI's cobalt overview (media/docs/RRMI/RRMICobalt2.pdf) and progress report (media/docs/RRMI/RRMI-Progress2.pdf).

Media Contact :

Jarrett Bens, Director of Communications

Responsible Business Alliance

Phone : +1 571.858.5721

jbens@responsiblebusiness.org

ANNEXE 5

Impact compétences en France de l'évolution du mix énergétique et d'une filière batterie

Métiers

Production - Montage des moteurs électriques :

- Monteurs-câbleurs électriques
- Monteurs-câbleurs électroniciens
- Conducteurs d'équipement électronique
- Fonderie et usinage aluminium (fonderie haute-pression HPDC)
- Usinage acier haute précision
- Monteurs mécaniques haute précision
- Bobiniers (conducteurs d'équipements de bobinage)
- Polisseurs de métal (outilleurs-polisseurs)

Production – Assemblage des batteries :

- Monteurs-câbleurs électriques
- Monteurs-câbleurs électroniciens
- Monteurs mécaniques haute précision
- Conducteurs d'équipement industriel

R&D, conception, ingénierie :

- Chercheurs électro-chimistes, électroniciens, roboticiens et automaticiens
- Ingénieurs électroniciens
- Ingénieurs électricité puissance
- Ingénieurs systèmes électriques, gestion énergétique
- Ingénieurs développement informatique
- Ingénieurs chimistes / électro-chimistes
- Ingénieurs intelligence artificielle
- Ingénieurs sécurité informatique