



LOUVAIN

School of Management

UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN

LOUVAIN SCHOOL OF MANAGEMENT

**VALORISATION DE LA PROPRIETE INTELLECTUELLE LIEE A LA
DECOUVERTE DE LA BATTERIE HYBRIDE ET ELABORATION D'UN
CADRE DE NEGOCIATION**

Promoteur : **Xavier Desclée de Maredsous**

Mémoire-projet présenté par

**Pierre Boulanger
Cédric Bourgeois**

en vue de l'obtention du titre de
Master en ingénieur de gestion

ANNEE ACADEMIQUE 2014-2015

REMERCIEMENTS

Nous tenions à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire. Leur soutien et leur collaboration nous ont été d'une aide précieuse.

Nous tenons tout d'abord à remercier monsieur Xavier Desclée De Maredsous, notre promoteur, pour le temps qu'il a pu nous consacrer, pour son soutien et son enthousiasme envers notre projet, mais aussi pour les nombreux conseils qu'il nous a donné tout au long de ce travail.

Nous souhaitons également remercier le Professeur Jean-François Gohy et le Docteur Alexandru Vlad d'avoir accepté l'élaboration d'un mémoire « économique » en rapport avec leur découverte, mais aussi pour le temps qu'ils ont pris pour répondre à nos nombreuses questions. Nous les remercions vivement pour cette collaboration enrichissante.

Il est également important pour nous de remercier Catherine Mouart pour les relectures attentives qu'elle a réalisées.

Nos remercions enfin nos familles, nos amis et plus particulièrement Victoria et Elise pour le soutien quotidien qu'ils ont montré à notre égard.

TABLES DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
REVUE DE LITTÉRATURE.....	3
1. Théorie sur les batteries	3
1.1 Introduction	3
1.2 Définition batterie.....	4
1.3 La batterie dans l’histoire	6
1.4 Les Batteries Lithium-ion	8
1.4.1 Le principe d’intercalation.....	11
1.4.2 Composants de la Cathode.....	13
1.4.3 Tendances futures de la batterie Li-ion.....	14
1.4.3.1 Lithium-soufre	14
1.4.3.2 Lithium-air	15
1.5 Les supercondensateurs	16
2. Valorisation d’un brevet	17
3. Planification Stratégique face à l’incertitude	18
DESCRIPTION DU PRODUIT	21
1. Introduction	22
2. La Batterie Hybride	22
2.1 LiFePO4	23
2.2 PTMA.....	23
3. Le principe de charge rapide.....	24
4. Avantages et limites.....	25
ETAT ACTUEL DU DEVELOPPEMENT COMMERCIAL.....	28
1. Acteur et leurs rôles.....	29
1.1 La Sopartec.....	29

1.2	Les Inventeurs	29
1.3	Le partenaire industriel	30
2.	Titularité de l'invention et des droits	30
3.	Développement Commercial	32
ANALYSE DE LA VALORISATION		34
1.	Les marchés	35
1.1	L'ensemble du marché	35
1.1.1	Contexte Général	35
1.1.2	Le marché de la batterie li-ion	38
1.2	Analyse des deux marchés	41
1.1.1	Le marché des voitures électriques	42
1.1.1.1	Description	42
1.1.1.2	Chaine de Valeur	44
a)	Fournisseurs de matières premières	45
b)	Fabricants de voitures électriques	46
1.1.2	Le marché des appareils électriques portables	47
1.1.2.1	Description	48
1.1.2.2	Chaine de Valeur	51
a)	Fabricants d'appareils électriques portables	52
2.	Le taux de pénétration	55
2.1	Présentation des variables incertaines	55
2.2	Présentation des scénarios	57
2.2.1	Marché des véhicules électriques	57
2.2.1.1	Scénarios optimistes	58
a)	Le prix du polymère	58
b)	L'apparition de produits substitués	59

c) L'intégration.....	59
2.2.1.2 Scénarios pessimistes	59
a) Le prix du polymère	59
b) L'apparition de produits substitués.....	60
c) L'intégration.....	61
2.2.2 Marché des appareils électriques portables	61
2.2.2.1 Scénarios optimistes	62
2.2.2.2 Scénarios pessimistes	63
a) Le prix du polymère	63
b) L'apparition de produits substitués.....	63
c) L'intégration.....	64
2.3 Synthèse des scénarios	64
3. Méthode et Résultats	66
3.1 Calcul de l'avantage économique	66
3.1.1 Les hypothèses	66
3.1.2 Les revenus.....	68
3.1.3 Les coûts.....	69
3.1.4 La VAN	70
INFLUENCE DES RESULTATS DANS LA NEGOCIATION	72
1. Résultats de l'analyse de valorisation	73
1.1 Scénarios à VAN positive.....	73
1.1.1 Positif modéré	73
1.1.2 Positif.....	74
1.2 Scénarios à VAN négative	75
1.3 Interprétation des résultats dans le cadre de la négociation.....	76
2. Recommandations	76

2.1	La réalisation des scénarios	76
2.2	Les informations qui réduisent l'incertitude	77
2.3	L'exploration d'autres marchés	77
2.4	La vente ou licence du brevet	78
CONCLUSION.....		79
BIBLIOGRAPHIE		81

INTRODUCTION

Le domaine des batteries rechargeables qui composent tous nos appareils électroniques est un domaine extrêmement important vu l'ampleur de l'impact qu'une innovation dans celui-ci pourrait avoir sur la manière dont fonctionne notre société actuelle. De nos jours, les batteries du type Lithium-ion se sont imposées et sont présentes dans la majeure partie de nos appareils électroniques tels que les Smartphones, GPS, ordinateurs portables, tablettes,...etc. Commercialisées pour la première fois en 1991, elles se sont imposées grâce à leurs caractéristiques adaptées aux besoins de ces appareils : bonne autonomie, longue durée de vie de la batterie, charge relativement rapide.

Mais ces performances ne suffisent plus face à l'évolution plus rapide des composants électroniques toujours plus énergivores. De nombreuses recherches sont en cours dans le domaine des batteries pour apporter une solution à ce décalage. Parmi celles-ci, les recherches effectuées par le Docteur Alexandru Vlad, le Professeur Jean-François Gohy et leur équipe ont abouti sur une technologie prometteuse. Leurs recherches ont donné lieu à la découverte d'un nouveau polymère actif qui, une fois placé en lieu et place du polymère liant dans la cathode d'une batterie Lithium-ion, permet une charge beaucoup plus rapide de celle-ci. En effet, cette nouvelle batterie hybride a la capacité de se charger à hauteur de 90% en moins de 5 minutes.

Ce mémoire a pour objectif d'établir un cadre de négociation pour aider les détenteurs des droits exclusifs du brevet dans le cas d'une possible revente de celui-ci ou d'une vente de licence. Ce mémoire s'inscrit dans la continuité des actions qui ont été entreprises par les différentes parties prenantes. En concertation avec le Professeur Jean-François Gohy et le Docteur Alexandru Vlad, nous avons déterminé de quelle manière notre travail pouvait avoir le plus d'impact sur l'évolution de cette technologie. L'objectif principal de ce mémoire est de déterminer la valeur économique de la propriété intellectuelle entourant la technologie, c'est à dire la valeur du brevet sur la synthétisation du polymère actif. Cela afin de déterminer au mieux quel pourrait être le prix de vente de ce brevet.

Dans le cas de la batterie hybride, la complexité de la technologie et l'environnement changeant rapidement créent de nombreuses incertitudes pour le futur. Celles-ci ont un grand impact sur les choix stratégiques entourant la commercialisation du produit. Afin de

gérer au mieux cette incertitude, nous utiliserons la méthode des scénarios qui permet d'établir différents futurs sur base de variables pivots.

Ce mémoire est rédigé en quatre parties. La première est une revue de littérature qui couvre les trois thèmes principaux de ce mémoire. Tout d'abord elle présente les informations nécessaires à la compréhension de la technologie des batteries en elles-mêmes. Ensuite elle développe les techniques de valorisation d'un brevet, ainsi que les différentes possibilités de planification stratégiques dans un environnement incertain. La seconde partie s'attarde sur la description de la batterie hybride et sur l'état actuel de son développement commercial. La troisième partie porte sur la méthode utilisée pour l'analyse de la valorisation du brevet. Enfin, la dernière partie présente les résultats de la valorisation, leur influence, ainsi que toutes les recommandations nécessaires afin de renforcer la position des détenteurs du brevet dans la négociation.

REVUE DE LITTÉRATURE

1. Théorie sur les batteries

1.1 Introduction

Depuis l'arrivée et la croissance toujours plus grande du marché des smartphones, ordinateurs portables, tablettes et autres appareils électroniques portables. La demande en sources d'énergie portables et rechargeables n'a cessé de croître.

Mais bien que les batteries utilisées dans ces appareils soient à la pointe de la technologie actuelle, cela ne suffit pas à combler le gap entre les performances des batteries et celles des processeurs et autres composants de ces appareils. En effet, l'évolution des performances des processeurs par exemple, suit de manière étonnamment fidèle la loi de Moore établie par Gordon Moore, co-fondateur de Intel, en 1965. Selon celle-ci, le nombre de transistors présents sur un circuit de même taille allait doubler tous les 2 ans approximativement (Thackray, Brock & Jones, 2015). Cette évolution exponentielle s'est depuis vérifiée et continue encore aujourd'hui. La capacité sur les disques durs connaît aussi une évolution exponentielle.

Par contre, la capacité de stockage d'énergie des batteries a, elle, évolué dans une bien moindre mesure, de l'ordre de 2-3% par an (Voir Figure 1) (Madou, 2011).

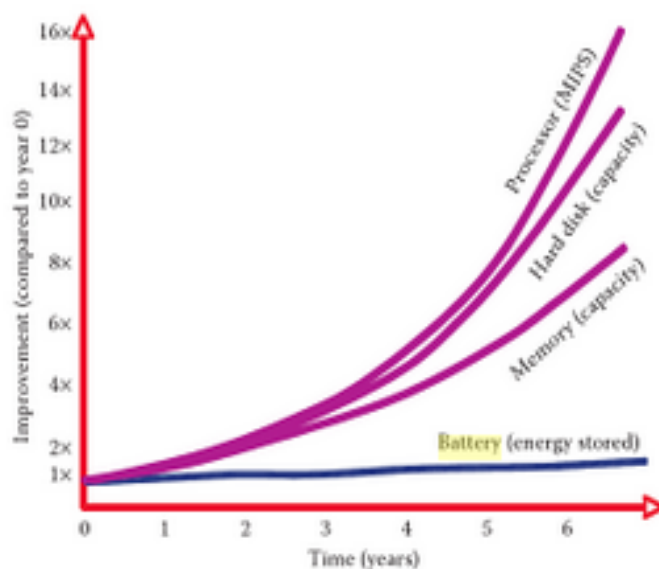


Figure 1 : Evolution de la performance des processeurs, disques durs, mémoire et du stockage d'énergie dans les batteries (Madou, 2011).

Il est donc certain que la performance des batteries est un domaine extrêmement important et qui fait l'objet de nombreuses recherches aussi bien dans le milieu privé que dans le milieu académique.

1.2 Définition batterie

Une batterie (Voir Figure 2) est un appareil chimique destiné au stockage de l'électricité (Dell & Rand, 2001). Dedans, de l'énergie chimique est convertie en énergie électrique par une réaction électrochimique d'oxydoréduction (redox).

Une batterie contient plusieurs composants. Les plus importants sont :

- Anode (électrode positive)
- Cathode (électrode négative)
- Electrolyte

- Séparateur
- Conteneur

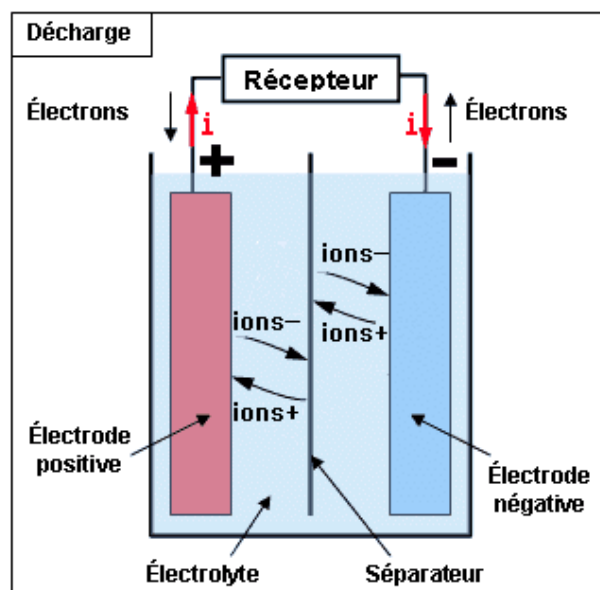


Figure 2 : Schéma batterie (Prensier, 2014).

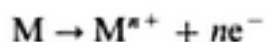
Le séparateur, généralement poreux, a pour rôle d'empêcher les deux électrodes positives et négatives de rentrer en contact. Ces pores sont remplis par l'électrolyte. Celui-ci permet le transfert des ions¹ entre les électrodes, mais il est aussi un isolant électronique (il empêche le transfert des électrons). Cette dernière caractéristique est essentielle car si l'électrolyte permettait le transfert de ces électrons, cela engendrerait un court-circuit interne et favoriserait l'auto-décharge². Les électrolytes les plus communs sont des solutions aqueuses d'acides, des alcalis ou des sels (Dell & Rand, 2001).

Pour produire l'électricité, une réaction d'oxydation-réduction (redox) a lieu au sein de la batterie. Cette réaction chimique est divisée en deux réactions dans les électrodes, celle dans l'électrode négative qui libère des électrons (c'est l'oxydation) et l'autre dans l'électrode positive qui les absorbe (c'est la réduction). Les réactions d'oxydation et de réduction peuvent être représentées comme suit (Dell & Rand, 2001) :

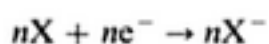
¹ Un atome ou une molécule dans laquelle le nombre total d'électrons n'est pas égal au nombre total de protons. Cette atome/molécule a alors une charge électrique positive ou négative (Batmanian, Ridge & Worrall, 2011).

² Perte de capacité électrique par la batterie alors qu'elle n'est pas utilisée. Varie selon le type de composants formant la batterie.

- Réaction dans l'électrode négative :



- Réaction dans l'électrode positive :



Ici, M est un métal et X est un agent oxydant.

Les électrons, ne pouvant pas passer par l'électrolyte, sont transférés par un circuit externe auquel est connecté l'appareil que l'on souhaite utiliser (Ipod, lampe de poche,...). C'est ce déplacement d'électrons dans le circuit externe qui produit le courant électrique souhaité. Pour contrebalancer ce transfert d'électrons négatifs, des ions positifs sont eux aussi transférés d'une électrode à l'autre.

Il existe différents types de technologies de batteries, les primaires et les secondaires. Les batteries primaires sont celles qui ne sont pas rechargeables. Les batteries secondaires par contre, elles, sont rechargeables (Crompton, 2000).

1.3 La batterie dans l'histoire

Les batteries sont apparues il y a un peu plus de 200 ans. La première étant attribuée à Alessandro Volta (1745 - 1827) qui a construit, en 1800, la première « source de courant électrique continu » en empilant des couches de cuivre et de zinc à l'université de Pavia en Italie. (Dell & Rand, 2001)

La seconde grande découverte en la matière est attribuée à Gaston Planté, scientifique français en électrochimie. C'est lui qui, en 1859, développe la première batterie rechargeable (secondaire) avec un système de Plomb-acide sulfurique.

A partir de là, différents systèmes de batteries ont été développés tels que ceux au Nickel-Cadmium (Ni-Cd), Nickel-hydrure de métal (Ni-MH), Lithium, Lithium-polymère (Li-Po) et Lithium-ion (Li-ion). La figure 3 permet de visualiser les performances en termes d'énergie et puissance spécifiques³ selon les types de batteries.

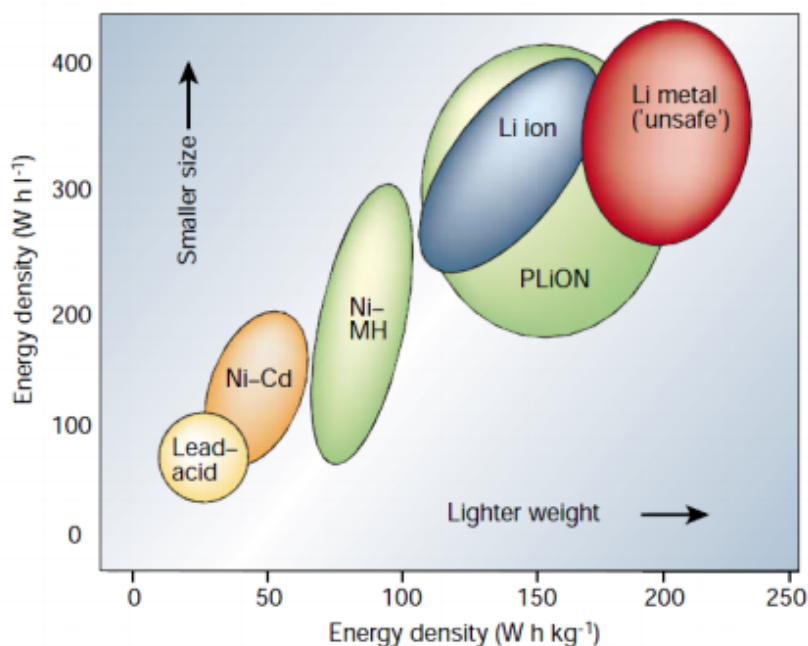


Figure 3 : Systèmes de batteries selon leur densité d'énergie massique et volumique (Tarascon & Armand, 2001).

Voici une petite explication des systèmes représentés :

Lead-acid (Acide de plomb) : Utilisée en automobile ou bien pour les éclairages d'urgence. Encore très présente malgré sa moindre performance grâce à son coût très faible et à sa simplicité de fabrication. Le grand désavantage est sa masse, elle a la plus faible énergie spécifique⁴ parmi les batteries modernes (30 – 50 kWh/kg). Son utilisation est donc plus portée dans les applications dont le poids n'est pas un critère important.

³ Puissance maximale disponible par unité de masse. C'est la capacité d'une batterie à délivrer de la puissance. Exprimée en W/kg (MIT Electric Vehicle Team [EVT], 2008).

⁴ L'énergie stockée par unité de masse, exprimée en Wh/kg. C'est la capacité d'une batterie à contenir de l'énergie (Dell & Rand, 2001).

Nickel-Cadmium (Ni-Cd) : Long cycle de vie⁵, charge rapide et large intervalle de température de fonctionnement (-40 to 60°C). Mais cette batterie contient des métaux toxiques et est donc mauvaise pour l'environnement. Elle a aussi un grand taux d'auto-décharge (20% par mois).

Nickel- hydrure de métal (Ni-MH) : Cycle de vie plus court que Ni-Cd, mais présente une plus grande énergie spécifique. Son taux d'auto-décharge est aussi très élevé (30% par mois) mais elle ne contient pas de métaux toxiques et est donc beaucoup moins nocive pour l'environnement.

Le type de batterie qui nous intéresse particulièrement est la Lithium-ion. Les raisons pour lesquelles la Li-métal, malgré ses meilleures performances apparentes, nous intéresse moins seront expliquées plus tard.

Voici une comparaison à la Figure 4 des différents types de batteries selon les attributs pertinents traduisant la performance d'une batterie :

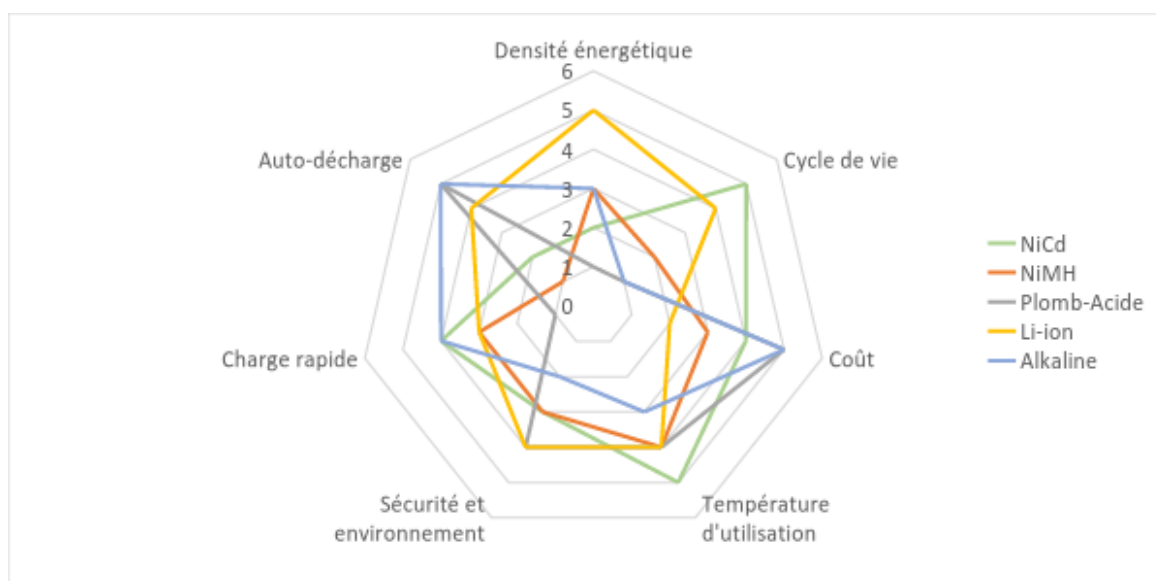


Figure 4 : Comparaison par attributs des différents types de batteries (Buchmann, 2015).

1.4 Les Batteries Lithium-ion

Les premières études sur des batteries au Lithium ont été menées dès 1912 sous G.N Lewis. Mais la commercialisation des batteries non-rechargeables au Lithium n'est apparue

⁵ Nombre de cycle de charge-décharge qui peut être obtenu d'une batterie avant que sa performance ne soit plus optimale (performance inférieure à un seuil prédéterminé).

qu'autour des années 1970. L'intérêt du développement d'une batterie au Lithium tenait au fait que le Lithium est le métal le plus léger, avec la densité la plus faible et aussi celui avec le plus haut voltage (Voir Figure 5). Cela donne donc une plus grande capacité de stockage énergétique que dans les autres technologies de batteries.

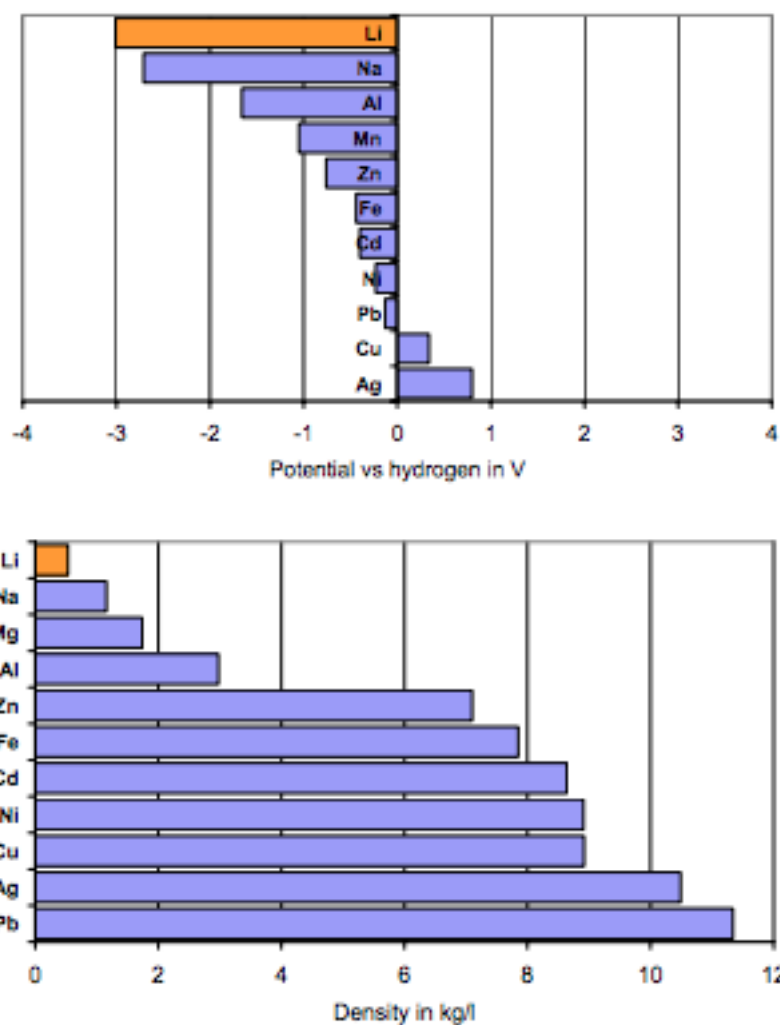


Figure 5 : Comparaison du potentiel et de la densité entre les matériaux de batterie (Jossen & Wohlfahrt-Merhens, 2007).

Une dizaine d'année plus tard, des tentatives de développement d'une batterie Lithium rechargeable ont été menées mais ont échouées pour cause de problèmes de sécurité. Ceux-ci étaient dus au fait que le Lithium sous forme métallique (Li^0) ne se reformait pas de manière uniforme et créait des dendrites. Ces dendrites, instables et réactives, pouvaient percer le séparateur et causer une explosion. Pour cette raison, les batteries rechargeables

au Lithium actuelles ne contiennent plus de Lithium sous forme métallique sauf pour une utilisation limitée dans certaines piles bouton de faible capacité. (Yoshio, Brodd & Kozawa, 2010)

A la place de ce Lithium métallique, d'autres matériaux ont été utilisés pour les électrodes positives et négatives et la plus grande découverte a été faite en 1980, par J. B. Goodenough qui a proposé l'utilisation d'un oxyde lithié, le LiCoO_2 comme composant principal de la cathode (Yoshio, Brodd & Kozawa, 2010).

L'anode est, elle, généralement constituée de carbone graphite. Peu de recherches sont faites sur le développement de l'anode car ce n'est pas celle-ci qui limite la capacité. En effet, la capacité du graphite est de l'ordre de 350 mAh/g alors que celle du LiCoO_2 est de l'ordre de 150 mAh/g. C'est donc la cathode qui limite les performances (Jossen & Wohlfahrt-Mehrens, 2007).

C'est en 1991, après tous ces développements, que la première batterie Lithium-ion a été commercialisée par Sony Corporation au Japon.

La batterie au Lithium-ion est rapidement devenue la batterie de référence, cela notamment grâce à la bonne concordance entre les attributs de cette batterie et les besoins des marchés en expansion comme celui des appareils électroniques portables.

Voici une liste des caractéristiques notables des batteries Li-ion (Dell & Rand, 2001):

- Grande énergie : énergie spécifique = $\pm 125 \text{ Wh/kg}$; énergie spécifique volumétrique = 300 Wh/dm^3 .
- Voltage de fonctionnement moyen élevé (3,6V).
- Capacité de charge/décharge excellente, supérieur à 500 cycles.
- Niveau d'autodécharge acceptable (inférieur à 10% par mois).
- Absence d'effet mémoire⁶
- Détermination facile de la capacité restante

⁶ Tendance d'une batterie à adapter ses propriétés électriques à un cycle auquel il a été soumis durant une longue période de temps (Crompton, 2000).

- Beaucoup plus sûre que les batteries équivalentes au Lithium métallique; pas de régulation spécifique de transportation
- Charge rapide possible

1.4.1 Le principe d'intercalation

La batterie fonctionne grâce au procédé d'intercalation réversible des ions Lithium (Li^+) dans l'anode et la cathode. Dans ce procédé, selon la charge ou la décharge, les ions Li^+ s'introduisent dans la structure moléculaire d'une des deux électrodes (Voir Figure 6). C'est à dire que lors de la décharge, les ions Li^+ sont désintercalés des couches qui forment la cathode, transférés au sein de l'électrolyte et intercalés dans les couches de l'anode graphite.

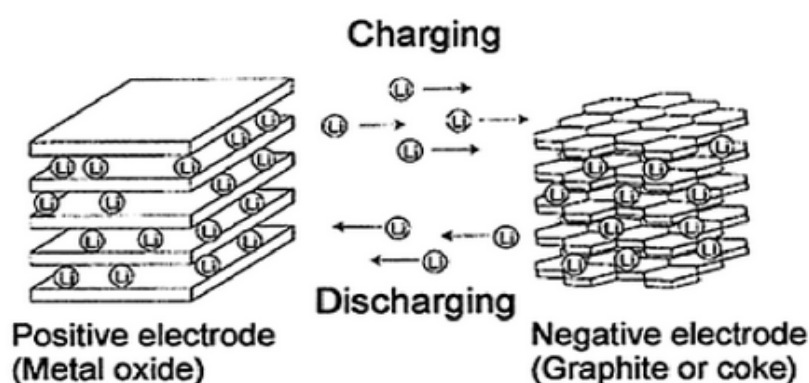


Figure 6 : Transfert ionique entre les électrodes durant le processus de charge et décharge (Kiehne, 2003)

Prenons l'exemple (Voir Figure 7) de la batterie Lithium-ion traditionnelle avec du graphite comme électrode négative (anode) et l'oxyde métallique LiCoO_2 en tant qu'électrode positive (cathode). Lors de l'utilisation de la batterie, c'est à dire durant la décharge de celle-ci, les ions Li^+ sont transférés au travers de l'électrolyte en partant de l'anode qui s'oxyde (libère les électrons) et arrivent dans la cathode qui se réduit (absorbe les électrons).

Durant le processus de charge, c'est le processus inverse qui se passe. Une source d'électricité est connectée à la batterie qui va inverser le sens du courant. Les électrons retournent alors vers l'anode et les ions sont transférés de la cathode vers l'anode (Sadoway, 2012). La réaction d'oxydation va donc se faire dans la cathode tandis que la réduction se fera dans l'anode.

Les schémas suivants présentent les réactions internes du système expliquées ci-dessus, toujours dans le cas d'une batterie Lithium-ion traditionnelle LiCoO_2 :

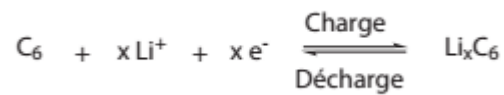


Schéma 1 : Réaction de charge/décharge dans l'anode d'une batterie Li-ion

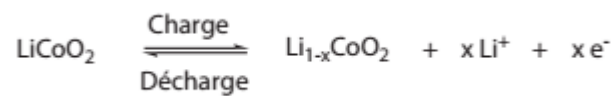


Schéma 2 : Réaction de charge/décharge dans la cathode d'une batterie Li-ion

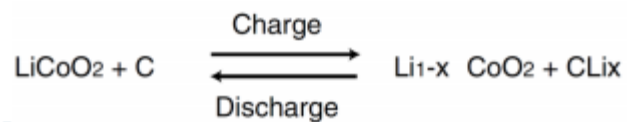


Schéma 3 : Réaction générale de charge/décharge dans une batterie Li-ion

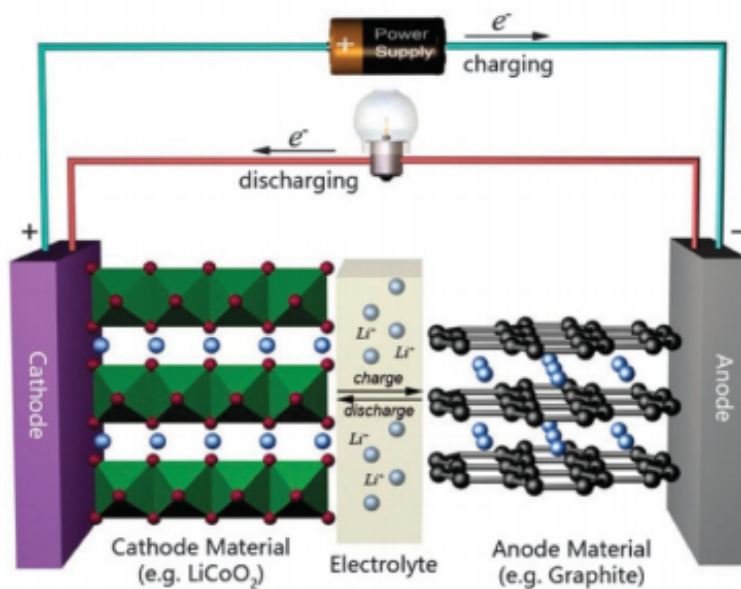


Figure 7 : Schéma général de la batterie Lithium-ion (Liu, Duay & Lee, 2011).

1.4.2 Composants de la Cathode

Les oxydes les plus courants actuellement sont (Maguin, 2013) :

- Oxydes de cobalt et de Lithium (LiCoO_2)
- Oxydes de métaux mixtes lithiés (Co, Ni ou Al)
- Oxydes de Manganèse et de Lithium (LiMn_2O_4)
- Phosphate de Fer lithié (LiFePO_4)

Voici une comparaison de ces différents matériaux qui composent l'électrode positive d'une batterie Lithium-ion selon les attributs pertinents pour la performance générale d'une batterie (Voir Figure 8).

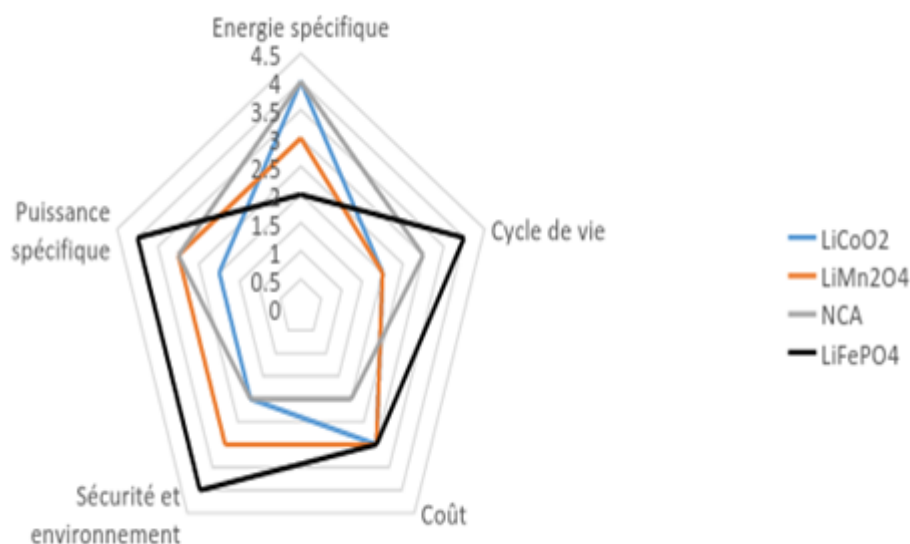


Figure 8 : Comparaison par attributs des composants de cathodes dans les batteries Li-ion (Buchmann, 2015).

A l'heure actuelle, le LiCoO_2 est le matériel le plus communément utilisé dans la cathode d'une batterie Lithium-ion. Ces batteries sont aussi appelées les batteries Li-ion à haute puissance à cause de leur grande densité énergétique. C'est la raison principale pour laquelle les appareils électroniques comme les ordinateurs, les téléphones portables, les caméras digitales et autres utilisent tous ce type de batterie Li-ion (Oswal, Paul & Zhao, 2010).

Mais il a aussi des désavantages, son coût est élevé à cause du Cobalt qui est cher, il souffre en cas de surcharge, son temps de vie est limité et il a une puissance spécifique assez faible. De plus, cette présence de Cobalt rend le composant toxique et mauvais pour l'environnement.

1.4.3 Tendances futures de la batterie Li-ion

Dans le futur, d'autres découvertes dans le domaine des appareils de stockage d'énergie vont apparaître, les performances vont être améliorées. Plusieurs technologies innovantes pourraient voir le jour dans le futur et pourraient faire leur apparition sur le marché. Par exemple, les batteries Li-ion contenant une électrode positive de Soufre (Li-Soufre) ou bien celles basées sur une réaction avec l'air (Li-air). Ces deux technologies sont en plein développement et sont au cœur de nombreuses recherches en raison de leur potentiel à offrir un appareil ayant une énergie spécifique beaucoup plus élevée que les appareils présents actuellement sur le marché, ce qui est particulièrement intéressant dans les cas des appareils électroniques portables (Santhanagopalan et al., 2014). Son intérêt se trouve aussi dans le domaine des véhicules électriques.

1.4.3.1 Lithium-soufre

Le développement d'une batterie au Lithium-soufre est une innovation très prometteuse pour le futur. Elle présente une énergie spécifique théorique très élevée, de l'ordre de 2600 Wh/kg, notamment grâce à la faible masse moléculaire du Soufre. En plus de cela, le coût faible et l'abondance de Soufre disponible facilite le processus de production.

Mais la technologie n'est pas encore prête à être adoptée sur le marché car elle présente encore certains problèmes (Santhanagopalan et al., 2014) :

- Conductivité électronique faible
- Taux d'auto-décharge élevé (supérieur à 10%)
- Nombre de cycles de charge faible

1.4.3.2 Lithium-air

La batterie Lithium-air a été initialement proposée en 1996 (Imanishi, Luntz & Bruce, 2014). Mais un grand intérêt autour de celle-ci s'est développé dans les dernières années. La particularité de cette batterie est sa capacité de stockage d'énergie spécifique beaucoup plus élevée que toutes les autres technologies de batteries actuelles. L'ordre de grandeur est de 5 à 10 fois plus élevée. Si son développement continue et permet une commercialisation, la batterie Li-air pourrait devenir une source d'énergie pour les véhicules électriques qui rivaliseraient avec les véhicules à moteur à explosion en termes de performances.

Mais la technologie présente encore certaines limites qui devront être dépassées pour permettre sa mise sur le marché. Parmi celles-ci, on retrouve la durée de vie de la batterie. Au début de cette année, des chercheurs ont réussi à développer une batterie au Li-air expérimentale pouvant subir 60 cycles de charge sans perte de capacité de stockage, c'est à dire près du double par rapport aux versions précédentes. Mais cela n'est pas suffisant pour alimenter un véhicule, qui lui devrait être équipé d'une batterie pouvant subir environ 1000 cycles de charge (Bullis, 2015).

A la Figure 9, on peut trouver les capacités de stockage théoriques et pratiques des différents types de batteries comparées à l'essence.

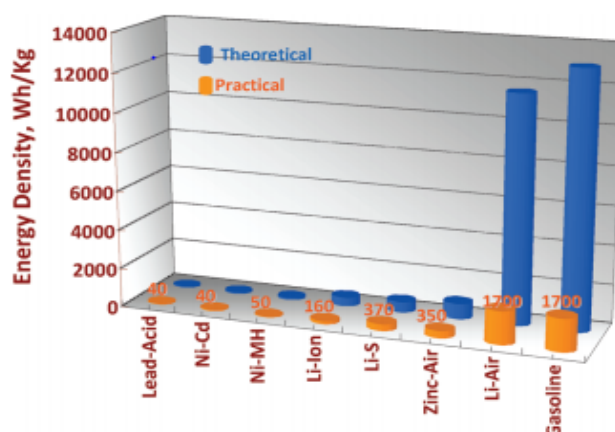


Figure 9 : Densité énergétique théorique et pratique de différents types de batteries rechargeables (Girishkumar, McCloskey, Luntz, Swanson & Wilcke, 2010)

Au-delà de ces deux technologies prometteuses, il y a d'autres innovations qui sont également en phase de développement. On peut notamment citer les batteries organiques

dont les électrodes sont fabriquées à partir de biomasse, ou bien les batteries au Zinc-air, proches de la technologie des batteries Lithium-air.

1.5 Les supercondensateurs

Les supercondensateurs, aussi appelés ultracondensateurs ou condensateurs électrochimiques, sont des appareils de stockage d'énergie qui, contrairement aux technologies de batteries actuelles, peuvent libérer de l'énergie très rapidement mais ne peuvent pas en stocker beaucoup. Ils sont donc caractérisés par une grande puissance mais une faible énergie spécifique.

Il y a 2 types de supercondensateurs, le premier est le condensateur électrique à double couche (EDLC) et le second est appelé pseudo-condensateur. Ces condensateurs électrochimiques stockent de l'énergie soit par absorption d'ions (condensateurs à doubles couches) soit par réactions rédox rapide à la surface (pseudo-condensateurs) (Simon & Gogotsi, 2008).

L'énergie spécifique d'un supercondensateur varie autour de 1 à 30Wh/kg, c'est à dire près d'un cinquième de celle d'une batterie Lithium-ion classique. (batteryuniversity, 2015). Mais sa puissance spécifique se trouve proche des 10 000 W/kg, là où une batterie Li-ion classique ne dépasse pas les 3000 dans les cas les plus performants. On retrouve dans le tableau ci-dessous (Figure 10) les principales caractéristiques d'un supercondensateur comparé à une batterie Li-ion :

Function	Supercapacitor	Lithium-ion (general)
Charge time	1–10 seconds	10–60 minutes
Cycle life	1 million or 30,000h	500 and higher
Cell voltage	2.3 to 2.75V	3.6 to 3.7V
Specific energy (Wh/kg)	5 (typical)	100–200
Specific power (W/kg)	Up to 10,000	1,000 to 3,000
Cost per Wh	\$20 (typical)	\$0.50-\$1.00 (large system)
Service life (in vehicle)	10 to 15 years	5 to 10 years
Charge temperature	–40 to 65°C (–40 to 149°F)	0 to 45°C (32° to 113°F)
Discharge temperature	–40 to 65°C (–40 to 149°F)	–20 to 60°C (–4 to 140°F)

Figure 10 : Comparaison par attributs des supercondensateurs et des batteries Lithium-ion classiques (Buchmann, 2015).

Les supercondensateurs sont plus souvent utilisés comme compléments de batteries pour combler le manque de puissance à certains moments. En effet, ils ne peuvent être utilisés en tant que source d'énergie unique en grande partie à cause de leur coût de production et surtout par leur faible capacité à stocker de l'énergie.

On les retrouve plus particulièrement dans les systèmes de récupération d'énergie aux freinages dans le domaine de l'automobile. Ces caractéristiques permettent une charge maximale durant la courte période du freinage. Cette énergie emmagasinée peut alors être tout aussi rapidement délivrée lorsque la demande en puissance est élevée, par exemple durant l'accélération du véhicule. Cela permet de soulager la batterie principale de ces demandes instantanées de puissance.

2. Valorisation d'un brevet

Il existe plusieurs techniques pour valoriser un brevet. Flignor et Orozco (2006) regroupent ces techniques en quatre approches.

- L'approche par les coûts valorise le brevet sur base des coûts nécessaires pour imiter ou remplacer la technologie. Cette méthode permet de définir un prix plafond au brevet, mais ne permet en rien de définir une valeur exacte de celui-ci (Anson, Suchi & Ahva, 2005).
- L'approche par le marché définit la valeur du brevet en se basant sur la valeur d'une transaction impliquant des biens et des marchés similaires. Si aucune transaction de ce type n'est disponible, cette méthode est inutile (Pugatch 2004).
- L'approche par les revenus établit la valeur du brevet sur base des estimations des bénéfices qu'il devrait générer (Anson, Suchi & Ahva, 2005).
- L'approche par les options utilise le principe financier des options pour valoriser les brevets. Les droits sur la propriété intellectuelle sont alors considérés comme des options qui peuvent être achetées ou revendues durant la phase de développement du produit. Cela ajoute plus de flexibilité au processus de calcul. Il s'agit d'une approche purement financière pas toujours proche de la réalité (Pugatch 2004).

La technologie étant nouvelle et innovante, il n'est pas aisé d'utiliser les approches par les coûts ou par le marché. L'approche par les options, étant purement financière, n'est pas pertinente dans le cadre du mémoire. L'approche par les revenus est donc la méthode la plus pertinente dans le cadre d'une innovation technologique.

Présentons-la maintenant dans le détail. L'idée de cette méthode est de calculer le montant total actualisé des bénéfices qui seront générés grâce à cette technologie. Pour ce faire, il faut dans un premier temps estimer les revenus et dépenses futures que la technologie entraîne. De ces valeurs peuvent être déduits les bénéfices pour chaque année (t) :

$$Bénéfices_t = Revenus_t - Dépenses_t$$

La valeur du brevet, qui correspond à la Valeur actuelle nette (VAN), est ensuite déterminée en actualisant ces bénéfices de la manière suivante :

$$VAN = \sum_{t=1}^{\infty} \frac{(Bénéfices)_t}{(1+r)^t}$$

Deux éléments essentiels interviennent dans cette formule ; le taux d'actualisation (r) et le nombre d'années (t) de rentabilité de la technologie (Pugatch 2004). Le taux d'actualisation à utiliser dans le cadre d'une VAN est le Weighted Average Cost of Capital (WACC). Celui-ci représente en effet le taux minimum de rentabilité pour lequel l'entreprise produit de la valeur pour ses investisseurs (Investopedia, 2015). Le nombre d'années dépend du type de brevet en lui-même. En Belgique, « *les droits exclusifs résultant du brevet sont valables pour une durée déterminée. Celle-ci est de 20 ans à dater du dépôt de la demande de brevet.* » (SPF Economie, 2013). La durée des prévisions à faire sera donc probablement à long terme, augmentant ainsi l'incertitude autour de ces prévisions.

3. Planification Stratégique face à l'incertitude

« *La stratégie d'une entreprise est l'ensemble des décisions destinées à adapter, dans le temps et dans l'espace, les ressources de la firme aux opportunités et aux risques d'un environnement et de marchés en mutation constante* » (Gélinier, 1966).

Un grand nombre d'outils existent pour une entreprise en vue d'établir une stratégie. Pour n'en citer que quelques-uns, il y a le modèle des cinq forces de Porter, la chaîne de valeur, les matrices d'allocation de ressources, l'analyse des concurrents par les coûts ou ressources, ... (Johnson, Scholes, Whittington & Fréry, 2008). Ces modèles ont en commun qu'ils postulent que le futur peut être estimé sur base du passé, ils supposent ainsi un environnement stable (Fréry, 2009).

S'il existe des industries dont on peut qualifier l'environnement de stable et où les incertitudes sont peu nombreuses, d'autres secteurs au contraire sont soumis à des changements rapides et présentent de nombreuses incertitudes quant à leur évolution, notamment ceux basés sur les technologies. De manière générale, faire face à l'inconnu, que ce soit en développant une nouvelle technologie ou en arrivant sur un nouveau marché, entraîne une certaine incertitude (Sommer, Loch & Dong, 2008). Notre mémoire traitant d'une innovation technologique, il est pertinent de savoir faire face à cette incertitude.

Godet (1991) a établi trois postures possibles pour y faire face (Barrand, 2012):

- L'attitude passive qui consiste à attendre que ça passe.
- L'attitude adaptative qui consiste à s'adapter lorsque les événements surviennent.
- L'attitude volontariste qui consiste à anticiper le futur et décider la meilleure voie à prendre.

La troisième posture étant la plus complète, c'est celle qui nous intéressera. Frédéric Fréry (2009) nous apprend que l'approche dite des scénarios permet d'adopter une attitude volontariste face à l'incertitude. Cette approche permet de « *déterminer vers quelles configurations peut évoluer l'environnement, puis à planifier les actions à mener dans chacun des cas plausibles* » (Fréry, 2009). La méthode des scénarios consiste donc à envisager plusieurs futurs sur base de variables pivots et d'établir le comportement le plus adapté dans chacun des cas.

Afin d'établir ces scénarios, il convient d'effectuer plusieurs étapes (Meinert, 2014):

- Définir les bases : fixer ce qu'on cherche ainsi que l'horizon temporel.
- Déterminer les variables pivots : cibler les variables incertaines parmi les variables importantes.

- Trouver les alternatives : formuler pour chaque variable pivot les différents chemins qu'elle pourrait emprunter durant l'horizon temporel ciblé.
- Créer les scénarios : synthétiser les différentes évolutions possibles sous forme d'une histoire telle qu'elle pourrait être racontée par un narrateur.

C'est ensuite sur base de ces scénarios qu'il convient de prendre les décisions stratégiques pertinentes.

DESCRIPTION DU PRODUIT

Après avoir abordé tous les aspects théoriques nécessaires à la compréhension de ce mémoire dans la section précédente, nous nous intéressons ici à la description de l'innovation, faite par monsieur Gohy et son équipe, appelée batterie hybride. Il est, en effet, indispensable de bien comprendre le fonctionnement de celle-ci en vue de réaliser notre objectif ; à savoir l'analyse de la valeur économique de la propriété intellectuelle qui entoure la cette découverte.

Ainsi, nous commencerons d'abord par décrire les deux composants principaux de la batterie, le LFP et le PTMA, ainsi que leur utilité. Ensuite, nous décrirons avec précision le fonctionnement de la charge rapide. Enfin nous aborderons les avantages et inconvénients d'une telle technologie avant de clôturer cette section par une comparaison avec les autres batteries actuelles existantes.

1. Introduction

La vision d'une batterie Li-ion (LIB) plus performante sur tous les niveaux a conduit le Professeur Jean-François Gohy et son équipe à concentrer leurs recherches dans ce domaine. Ces caractéristiques sont les suivantes :

- Grande énergie spécifique
- Grande puissance spécifique
- Nombre de cycle de charges élevé
- Coût faible
- Grande sécurité

L'un des problèmes fondamentaux dans la production d'une batterie Li-ion ayant ce type de caractéristiques alléchantes est leur capacité limitée à se charger rapidement. En effet, bien que leur énergie spécifique soit élevée, leur puissance quant à elle reste très faible. Pour l'instant, lorsque l'on charge rapidement ces batteries, cela entraîne une dégradation rapide des composants et amène un risque d'incendie.

Elles ont une énergie spécifique élevée, mais souffrent d'une faible puissance due aux réactions redox se produisant dans les électrodes. En effet, ces réactions impliquent la diffusion des ions au sein des électrodes et le transfert de charge qui, étant des processus lents, ralentissent la livraison de puissance et augmentent le temps de charge.

Par leurs recherches, le Professeur Jean-François Gohy et son équipe ont répondu à ce problème et ont développé une batterie qui allie une grande énergie spécifique et une grande puissance spécifique. (Vlad, Singh, Rolland, Melinte, Ajayan & Gohy, 2014)

2. La Batterie Hybride

L'objectif de combiner haute énergie et haute puissance dans un seul appareil implique de combiner différents types de sources de stockage d'énergie. Beaucoup de tentatives d'hybridation entre des EDLCs et des LIBs ont déjà été testées. Mais aucune électrode véritablement hybride n'a encore vu le jour.

Dans une batterie Li-ion classique, la cathode est constituée de 3 éléments : un oxyde métallique lithié pour assurer le transfert ionique inhérent à la réaction, un polymère liant

qui permet à la structure de respirer et de mieux subir les changements de volume se produisant lors de la charge/décharge, et du carbone pour assurer la conductivité au sein du matériel actif⁷. En général, le polymère liant utilisé dans les batteries Li-ion commerciales est du polyvinylidene difluoride (PVdF). L'innovation porte sur la synthétisation et l'utilisation d'un nouveau polymère comme remplaçant du PVdF.

La batterie développée consiste donc à construire une électrode positive (cathode) hybride à haute performance. Pour cela, deux éléments sont combinés : d'un côté du phosphate de Fer lithié ou LFP (LiFePO_4), un matériau d'une batterie Li-ion à haute énergie spécifique, et de l'autre du poly(2,2,6,6-tetraméthyl-1-piperinidyloxy-4-yl méthacrylate) (PTMA), un polymère supercondensateur redox à haute puissance spécifique.

2.1 LiFePO_4

Le LFP (LiFePO_4) est utilisé pour l'électrode en raison de son faible coût, sa non-toxicité, l'abondance de Fer et sa sûreté. Sa capacité spécifique théorique est de 170 mAh/g avec un potentiel de charge et décharge de 3,4V. Ce voltage d'équilibre représente le voltage minimum nécessaire pour que la charge du LiFePO_4 puisse avoir lieu.

Pourquoi avoir choisi le LiFePO_4 au lieu du LiCoO_2 , pourtant plus couramment utilisé et ayant une densité énergétique plus élevée ? Cela est dû au potentiel d'équilibre trop élevé du LiCoO_2 . Celui-ci étant de 4,2V, il est supérieur à celui du PTMA. Le transfert de charge entre les deux, qui est à l'origine de la charge rapide et qui sera développé ci-après, n'est donc plus possible.

2.2 PTMA

Le PTMA (poly(2,2,6,6-tetraméthyl-1-piperinidyloxy-4-yl méthacrylate)). Sa capacité spécifique théorique est de 111 mAh/g avec un potentiel de 3,6V. Il présente une longue durée de vie, un taux de charge ultra-rapide et une faible polarisation d'électrode.

⁷ Matériel dans les électrodes qui prennent part à la réaction électrochimique qui stocke/fournit de l'énergie électrique (Dell & Rand, 2001).

Les recherches en laboratoire ont déterminé que la synergie entre le PTMA et le LiFePO_4 donne des performances optimales qui allient les avantages de chacun des composants. La batterie présente alors une grande énergie spécifique ainsi qu'une grande puissance.

3. Le principe de charge rapide

C'est de cette combinaison qu'est tiré le principe de charge rapide découvert par le Professeur Jean-François Gohy et son équipe.

Le PTMA va réagir le premier au survoltage et se charger (s'oxyder) car la cinétique de charge est plus rapide dans celui-ci que dans le LiFePO_4 , c'est à dire que les ions sont transférés plus rapidement. Durant cette période, c'est donc le comportement du PTMA qui prime. Celui-ci ayant une puissance spécifique élevée, on obtient alors un temps de charge extrêmement rapide. Une fois chargé, le potentiel appliqué est coupé et le système se retrouve alors en déséquilibre thermodynamique. En effet on se retrouve avec le PTMA à haut potentiel redox sous forme oxydée et le LiFePO_4 à faible potentiel redox sous forme réduite. Un équilibre des états redox des deux composantes va donc se faire, le PTMA va relaxer thermodynamiquement en oxydant le LiFePO_4 via un processus de transfert de charge interne. Cette oxydation se fait tout aussi rapidement grâce à la configuration de l'électrode hybride. C'est le contact étroit entre les composants qui assure à la fois un transfert électronique et une interface de diffusion ionique durant la réaction de relaxation efficace (Vlad et al., 2014).

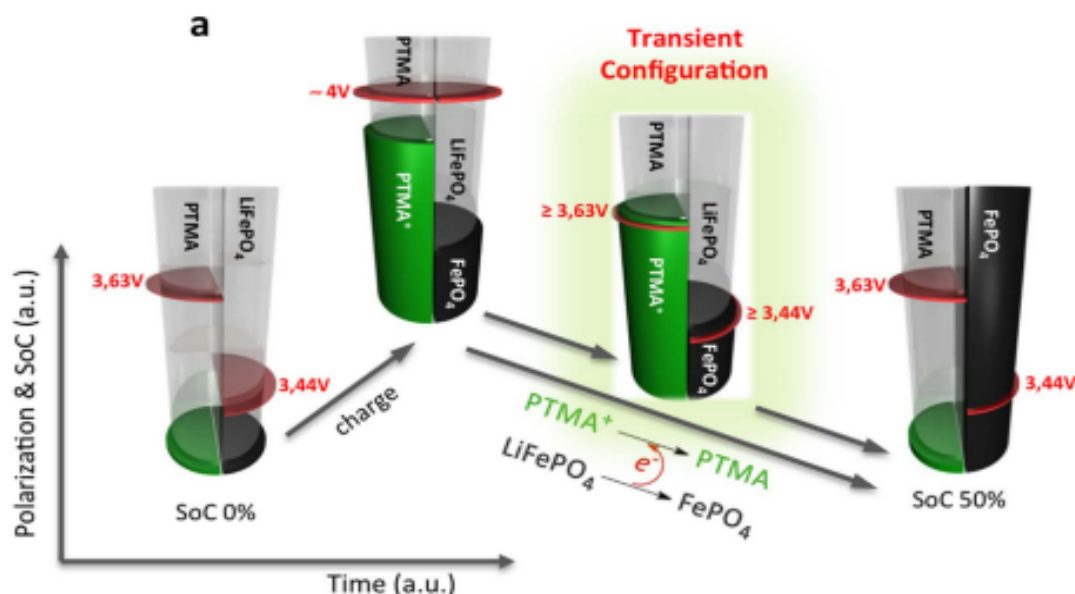


Figure 11 : Représentation schématique de la charge rapide et du processus de relaxation dans la batterie hybride (Vlad et al., 2014).

Dans la figure ci-dessus (Figure 11), on voit schématiquement le processus de charge rapide et de relaxation du PTMA. Les positions des disques rouges indiquent la polarisation des composants de la cathode hybride. Les demi-cylindres verts et noirs indiquent la charge stockée dans le PTMA et le LiFePO₄ respectivement. On voit que l'application d'un voltage supérieur (4V) donne une configuration instable thermodynamiquement avec la coexistence du PTMA à haut potentiel avec le LiFePO₄ à faible potentiel. A l'équilibre, après le transfert de charge, seul le LiFePO₄ est chargé (Vlad et al., 2014).

4. Avantages et limites

De manière générale, la batterie hybride se trouve donc être une batterie Lithium-ion LiFePO₄ dont on a uniquement remplacé le polymère liant par un polymère super-condensateur redox (PTMA). Celui-ci permet à la batterie d'avoir une grande puissance spécifique et donc de se charger beaucoup plus rapidement que les batteries LFP classiques. Avec ce système innovant, on atteint un état de charge supérieur à 90% en un temps inférieur à 5 minutes. C'est l'avantage principal de cette batterie hybride.

Au-delà de ça, la batterie a d'autres avantages qui font d'elle une innovation capable de rentrer en force sur le marché des batteries Li-ion. Parmi ceux-ci, le fait que l'oxyde métallique utilisé soit du LiFePO_4 est avantageux par rapport aux batteries Li-ion les plus couramment utilisées, à savoir celles dont l'oxyde métallique est du LiCoO_2 . En effet, d'une part l'absence de Cobalt rend la batterie beaucoup moins dangereuse pour l'environnement et d'autre part, le composant principal étant le Fer, matériau que l'on peut trouver en abondance sur la terre, cela permet de réduire le coût de la batterie. La batterie hybride a un autre avantage par rapport à une batterie Li-ion LFP classique au niveau de sa longévité. Il apparaît que la batterie hybride adopte un cycle de vie prolongé similaire à celui du PTMA plutôt qu'à celui du LiFePO_4 . (Vlad et al., 2014).

Aussi, étant constituée en grande partie de la même manière qu'une batterie Li-ion, la batterie hybride peut être manufacturée sur n'importe quelle chaîne de production de batterie actuelle sans avoir besoin d'une modification importante de la chaîne, synonyme d'investissements lourds.

L'étendue des applications possibles pour cette batterie est aussi très large car la proportion des composants peut être modifiée pour convenir au mieux au type d'utilisation. Si une grande densité est nécessaire avec un besoin en puissance moins important, il suffit de mettre plus de LiFePO_4 et moins de PTMA. Inversement, si le besoin en puissance est plus grand que celui en densité, on augmentera la proportion de PTMA et diminuera celle du LiFePO_4 .

Mais cette structure présente aussi certaines limites. En effet, la densité énergétique de la batterie hybride est plus faible que celle d'une batterie au LFP classique. Étant donné que l'électrode contient les deux composants, ce sont leur densité à chacun qui sera prise en compte selon leur proportion. La première batterie hybride étant composée de LFP à 50% et de PTMA 50%, la densité générale de la batterie se trouvera être la moyenne pondérée des deux. Sachant que la densité du LFP est considérée comme étant à hauteur de 170 mAh/g et que celle du PTMA tourne autour des 111 mAh/g, on aura une densité générale de 140 mAh/g, ce qui équivaut à 448 Wh/kg.

C'est une diminution de densité de l'ordre de 18%. Cela peut avoir de grandes conséquences dans certains secteurs, notamment celui de l'automobile. Imaginons Tesla et sa batterie de

85 kWh dans sa Model S. En utilisant la batterie hybride, Tesla devrait, pour garder la même puissance, augmenter le volume de celle-ci ce qui pourrait créer des problèmes au niveau de l'intégration.

La figure ci-dessous (Figure 12) représente la comparaison entre les différents types de batteries effectuée dans la revue de littérature mais, cette fois, avec la batterie hybride.

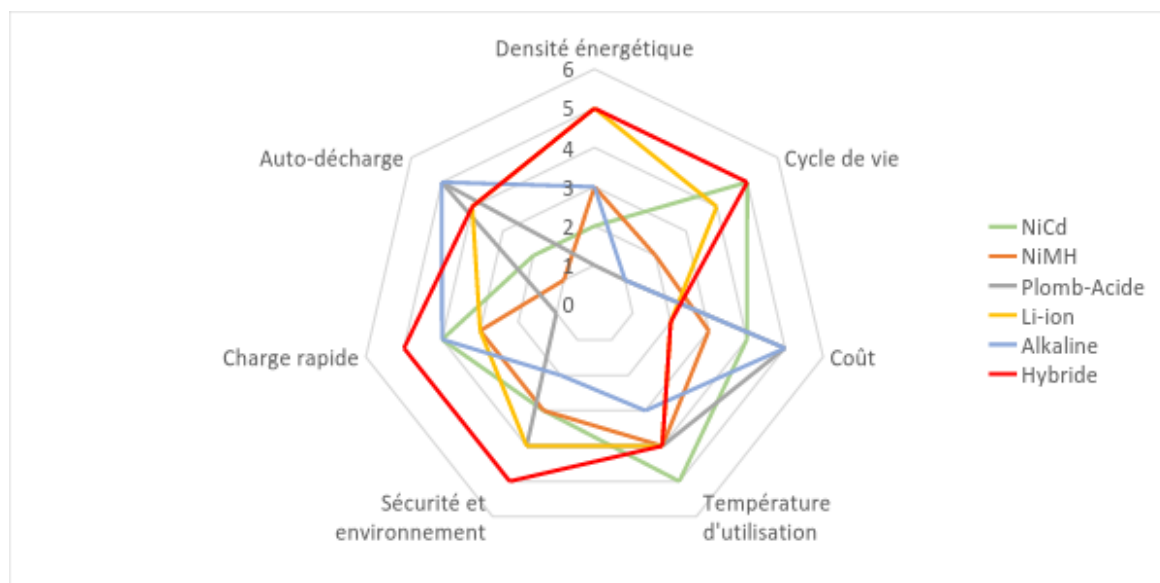


Figure 12 : Comparaison par attributs de types de batteries et de la batterie hybride.

ETAT ACTUEL DU DEVELOPPEMENT COMMERCIAL

Maintenant que les aspects théoriques et la description du produit ont été abordés, il est temps de présenter le réel objectif de ce travail avant d'aborder la suite.

En concertation avec notre promoteur et monsieur Gohy, il a été établi que valoriser l'invention était ce qui permettait vraisemblablement à notre travail de leur être le plus utile. Il s'agit, par conséquent, de l'objectif principal de notre mémoire.

Pour ce faire il est important dans un premier temps d'effectuer un constat de l'état actuel du développement commercial. C'est la finalité de cette section.

Nous présenterons donc ici les différents acteurs impliqués dans l'élaboration de l'invention. En plus de cela, c'est aussi dans cette partie que nous expliquerons le principe de la propriété intellectuelle relative à la technologie. Et enfin nous aborderons les différentes perspectives d'avenir imaginables avec un tel brevet en sa possession.

1. Acteur et leurs rôles

Ici nous allons rappeler l'ensemble des parties prenantes jouant un rôle dans le développement commercial de la batterie hybride ainsi que leurs rôles respectifs.

1.1 La Sopartec

Dans le cadre de la mission de recherche de l'UCL, un des enjeux majeurs est de « protéger et valoriser les résultats des recherches effectuées dans ses laboratoires et unités » (Université Catholique de Louvain, 2012). A cet effet, la Sopartec au travers du Louvain Technology Transfer Office (LTTO), est l'institution en charge de cet enjeu.

La Sopartec est la société de transfert de technologie de l'Université catholique de Louvain. Sa « mission est de valoriser, au sein du Louvain Technology Transfer Office (LTTO), les résultats des recherches menées à l'UCL, aux Cliniques universitaires St-Luc et à l'Institut de Duve (ICP) par la création de spin-off et la négociation des accords de licence » (Sopartec, 2015).

La Sopartec est aussi la société de gestion du fond d'investissement VIVES Louvain Technology Fund, un fond technologique multisectoriel dédié aux spin-offs de l'UCL et aux start-ups en Belgique et dans les pays limitrophes.

1.2 Les Inventeurs

Deux personnes sont mentionnées comme inventeurs dans le brevet portant sur le procédé de préparation d'un composite polymère conducteur (PTMA). La première est le Docteur Alexandru Vlad de l'Institute of Information and Communication Technologies, Electronics and Applied Mathematics, Electrical Engineering, Université catholique de Louvain à Louvain la Neuve, et la seconde est le Professeur Jean-François Gohy de l'Institute of Condensed Matter and Nanosciences, Bio- and Soft Matter, Université Catholique de Louvain à Louvain la Neuve.

Les noms de ces inventeurs ont été mentionnés par l'UCL lors du dépôt de sa demande de brevet afin de leur garantir leur droit personnel de paternité sur l'invention.

Plus de détails sur la réparation des droits et devoirs des différentes parties prenantes seront donnés au point suivant.

1.3 Le partenaire industriel

L'acheteur potentiel du brevet ou de la licence est un producteur de matériaux qui aurait les infrastructures nécessaires pour la production du nouveau composite polymère conducteur (PTMA), moyennant peu ou pas de changement fondamental dans sa chaîne de production. Un autre élément important est sa présence sur la scène mondiale. Un acheteur reconnu mondialement et ayant la capacité de délivrer le produit aux quatre coins du monde serait beaucoup plus intéressant du point de vue du détenteur des droits sur le brevet.

Parmi les différents producteurs de matériaux envisagés, on peut citer Umicore, Solvay, Nanocyl, Officium ou encore Erachem.

Actuellement, le LTTO est en discussion avec un producteur de matériaux pour déterminer la faisabilité de la production du PTMA. Il nous a été demandé de tenir confidentiel le nom de celui-ci.

2. Titularité de l'invention et des droits

La synthèse du PTMA et le système hybride de batterie Li-ion PTMA-LiFePO₄ sont des résultats de recherches effectuées dans le cadre d'un contrat de travail avec l'UCL. Par résultat de recherche, on entend « les résultats, brevetables ou non, obtenus dans le cadre des recherches effectuées à l'UCL à l'exclusion des inventions libres, c'est-à-dire des inventions réalisées par des personnes liées à l'Université dans des domaines totalement extérieurs à ceux de leur activité professionnelle et sans le recours à des moyens matériels et/ou humain provenant de l'UCL » (Université Catholique de Louvain, 2012).

Sur le plan législatif, la loi belge ne précise pas qui de l'employeur ou de l'employé bénéficie du droit de demander le brevet (Loi sur les brevets d'invention, 1984). Cette question est dès lors généralement réglée dans le contrat de travail entre les deux parties.

Dans le cas de l'UCL, celle-ci a naturellement au cœur de sa mission de recherche la volonté de protéger et valoriser les éventuels résultats de recherches. Elle a donc prévu dans son

règlement toutes les clauses importantes liées à ceux-ci. Et ce règlement est appliqué à tout nouveau chercheur qui accepte de travailler à l'UCL (art 3. Règlement propriété intellectuelle UCL).

Selon l'article 4.1 du Règlement en matière de propriété, de protection et de valorisation des résultats des recherches réalisées au sein de l'UCL, « l'Université est propriétaire des résultats de recherches effectuées par le ou les chercheur(s) ». De plus, l'UCL a aussi établi dans son règlement que « lorsque l'Université est seule propriétaire des résultats des recherches, elle décide seule des mesures de protection juridique éventuelles de ceux-ci. »

Chaque chercheur souhaitant valoriser les résultats de sa recherche doit contacter le LTTO via son guichet unique. Le LTTO se chargera d'évaluer avec lui l'opportunité commerciale et les stratégies de protection de la propriété intellectuelle générée lors de ses recherches.

Dans le cas de la batterie hybride, le Professeur Jean-François Gohy a contacté le LTTO et, ensemble, ils ont fait une demande internationale de brevet. Deux brevets ont été déposés durant l'année 2014. Le premier porte sur le nouveau procédé de préparation d'un composite polymère conducteur (PTMA) (Vlad & Gohy, 2015) et le second porte sur l'électrode hybride pour une batterie secondaire à électrolyte non-aqueux (Vlad, Gohy & Melinte, 2015). En concertation avec le Professeur Jean-François Gohy, il a été convenu que notre analyse de la valorisation porterait sur le premier brevet, à savoir celui du nouveau procédé de préparation du polymère. Cela en raison du fait que c'est sur ce brevet là que des démarches commerciales ont déjà été entamées.

Pour cette analyse de valorisation, il est important de préciser que ce brevet ne présente pas une protection perpétuelle aux détenteurs de ses droits exclusifs. Un brevet a une durée de vie de 20 ans à dater du dépôt de la demande. Au-delà, des taxes liées au maintien du brevet sont aussi dues. Si celles-ci ne sont pas honorées, le titulaire du brevet est déchu de tous ses droits sur celui-ci. Un autre risque est l'annulation du brevet qui peut survenir pour plusieurs raisons notamment lorsque l'invention ne répond pas correctement aux conditions requises de brevetabilité (Belgian Federal Government, 2013).

Etant donné cette durée de vie, l'analyse de la valorisation devra prendre en compte les 20 années suivant le dépôt de la demande de brevet qui a été effectuée en 2014. Nos analyses porteront donc sur une période de temps s'étendant jusqu'en 2034.

3. Développement Commercial

Au-delà de cette étape, le LTTO accompagne aussi les chercheurs dans la validation de « l'opportunité commerciale la plus adaptée en identifiant la meilleure voie de valorisation » (Louvain Technology Transfer Office, s.d.). On distingue un bon nombre de voie de valorisation mais trois d'entre elles nous intéressent particulièrement :

- Contrat de Licence : Le brevet est donné en Licence à une société déjà existante qui s'occupera du développement et de la commercialisation de l'invention.
- Revente entière du brevet : Le brevet est revendu dans son entièreté à une société déjà existante qui en possède désormais la propriété. Elle peut dès lors décider de poursuivre le développement de l'invention et sa commercialisation ou bien mettre celle-ci « au placard », cela pour éliminer toute possible concurrence par exemple.
- Création d'une société Spin-off : Création d'une société pour exploiter les résultats de recherches.

Après discussion avec le Professeur Jean-François Gohy, il a été dit que, sur base des résultats de l'étude de marché effectuée par le LTTO, des retours obtenus des industriels et des ressources disponibles pour développer une preuve de concept, la création d'une Spin-off n'était pas envisageable.

Cela est dû à plusieurs raisons. La première étant que la production des batteries Lithium-ion à charge rapide n'est pas envisageable en Belgique. En effet, il n'y a aucune ligne de production de batteries en Belgique et le coût qu'impliquerait la construction d'une ligne en Belgique est beaucoup trop important. Dans le cadre d'une création de Spin-off de l'UCL, plusieurs fonds⁸ sont accessibles et permettent de lancer de manière optimale cette nouvelle société. Mais dans notre cas, les fonds nécessaires sont trop importants. Cette demande de fonds importants est donc une des grandes barrières à l'entrée si l'on veut intégrer ce marché de fabricant de batteries.

⁸ Fonds accordés par la Région Wallonne , la Région Bruxelloise,...

La voie de valorisation par la création de Spin-off étant éliminée, il ne reste que la valorisation par licence ou par vente du brevet sur le procédé de production du polymère. La suite de ce mémoire sera consacrée à l'analyse de la valorisation économique du brevet.

Sur cette base sera établi un cadre de référence pour une possible négociation dans le futur entre les détenteurs des droits sur le brevet et les potentiels acheteurs, fabricants de polymère.

ANALYSE DE LA VALORISATION

L'objectif de cette section est de présenter la méthodologie que nous avons employée afin de chiffrer la valeur du brevet, que ce soit pour une revente complète du brevet ou pour du pour une vente de licence. Comme spécifié dans la revue de littérature, nous utiliserons la méthode basée sur les revenus pour calculer la valeur du brevet. Afin d'estimer au mieux les revenus et dépenses effectués, il est nécessaire d'analyser en profondeur deux éléments ; les marchés liés aux batteries d'une part, le taux de pénétration de la batterie hybride d'autre part. Cette section sera ainsi découpée en trois parties.

Dans un premier temps, nous analyserons les marchés liés aux batteries Lithium-ion afin de cibler les plus prometteurs. Nous développerons ceux-ci plus en détails en mettant en évidence les acteurs, les chiffres et les tendances pertinentes qui seront utilisées pour valoriser l'invention.

Après la sélection et l'analyse des marchés, nous déterminerons le taux de pénétration de la technologie sur ceux-ci. Ce taux peut varier suivant plusieurs paramètres et est ainsi incertain, il sera donc développé autour de différents scénarios comme expliqué dans la revue de littérature.

Nous présenterons enfin dans le détail notre méthode de valorisation du brevet.

1. Les marchés

Cette section s'intéresse à tout ce qui touche aux marchés où la batterie hybride pourrait être intégrée. Dans un premier temps nous décrivons, dans son ensemble, celui des batteries et ses tendances futures. Par la suite, nous nous focaliserons plus en détails sur les batteries Lithium-ion en donnant des chiffres clés nous permettant de sélectionner deux marchés prometteurs pour la batterie à charge rapide. Nous clôturons enfin cette section par une analyse complète de ceux-ci.

La plupart des chiffres et prévisions utilisés dans cette section proviennent d'Avicenne. Il s'agit d'une entreprise de consultance en stratégie et marketing spécialisée dans les marchés technologiques. Active depuis 1992 dans l'élaboration de rapport sur les batteries, Avicenne est maintenant réputée mondialement pour la précision et justesse de ceux-ci.

1.1 L'ensemble du marché

1.1.1 Contexte Général

Dans un monde où les appareils électroniques sont légions, les besoins en stockage d'énergie sont indispensables. On peut vraisemblablement affirmer que la batterie est, au 21^{ème} siècle, un élément primordial. C'est en tout cas, ce que la documentation tend à confirmer.

Depuis 1991 et la commercialisation de la première batterie Li-ion par Sony, le marché de ces batteries n'a cessé de croître (Voir Figure 13). Il connaît depuis les années 90 une croissance annuelle moyenne d'environ 5%. Au début, il était principalement caractérisé par la technologie « Lead Acid » qui représentait la quasi-totalité du marché. Par la suite, d'autres technologies sont apparues comme la « NiCD », « NiMH », « Li-ion »,... Parmi celles-ci, la Li-ion, qui nous intéresse pour la suite du travail, a connu la plus forte croissance. Malgré ces apparitions, la batterie « Lead Acid » représente encore à ce jour approximativement 90% des parts de marché en termes de MWh.

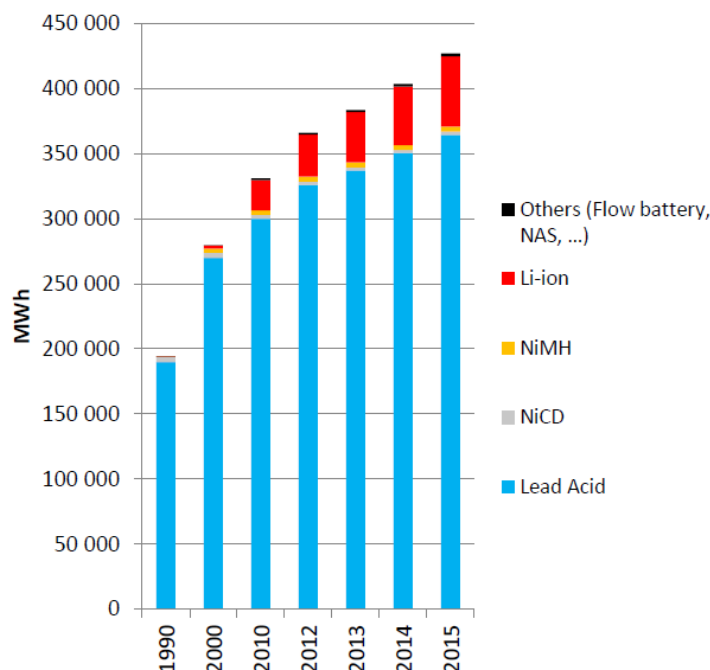


Figure 13 : Evolution du marché des batteries entre 1990 et 2015 (AVICENNE ENERGY, 2015)

En plus du nombre croissant de technologies de batteries, leur zone d'application s'est aussi accrue avec le temps. En effet, si dans les années 90 les batteries étaient principalement utilisées pour le « Start Light and Ignition » (SLI) ⁹ dans les voitures, motos, bateaux et autres, force est de constater que ce n'est plus le cas aujourd'hui. La figure suivante (Figure 14) nous montre qu'il existe aujourd'hui des dizaines d'applications pour les batteries. Celles-ci sont, en effet, également présentes dans des secteurs comme les appareils portables, les appareils maritimes, mais aussi dans les milieux médicaux ou de stockage d'énergie solaire pour le foyer.

⁹ Type de batterie présente dans les voitures à combustion qui alimente le démarreur du moteur, les phares et le système d'allumage du moteur.

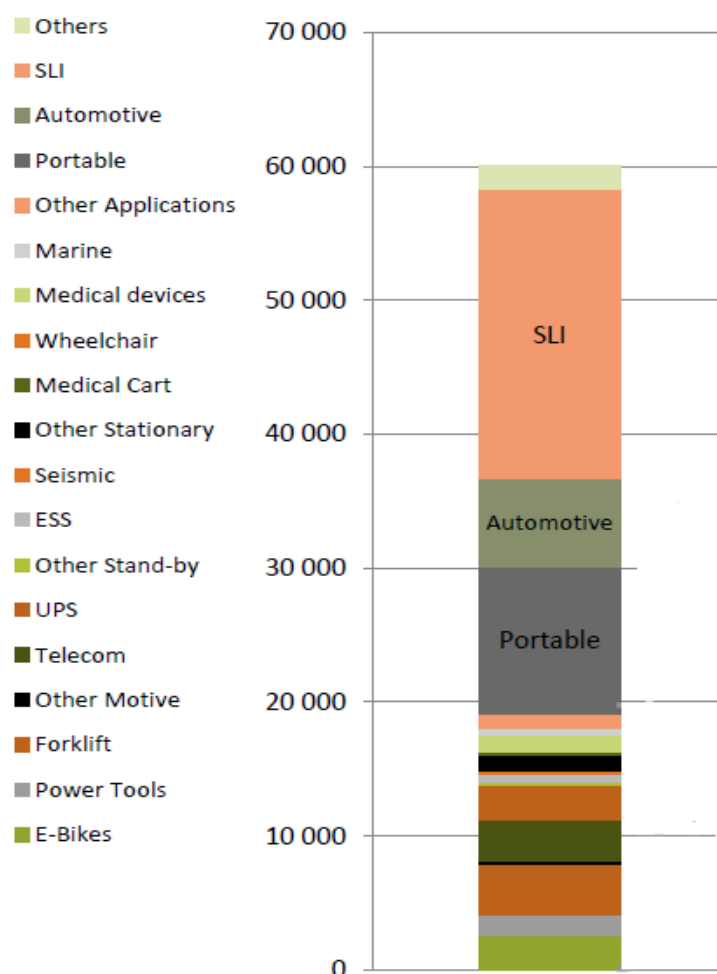


Figure 14 : Applications des Batteries en 2014 UNITE M\$
(AVICENNE ENERGY, 2015)

Nous avons donc vu que jusqu'à aujourd'hui le nombre de types de batterie et le nombre d'application n'a fait que croître depuis ses débuts sur le marché. Les investissements dans le secteur des batteries sont élevés et les recherches qui y sont opérées sont très nombreuses. Les prévisions annoncent que la taille de ce marché pourrait doubler entre 2014 et 2025 (Voir Figure 15). Il s'agit donc là d'un marché qui est encore en pleine expansion.

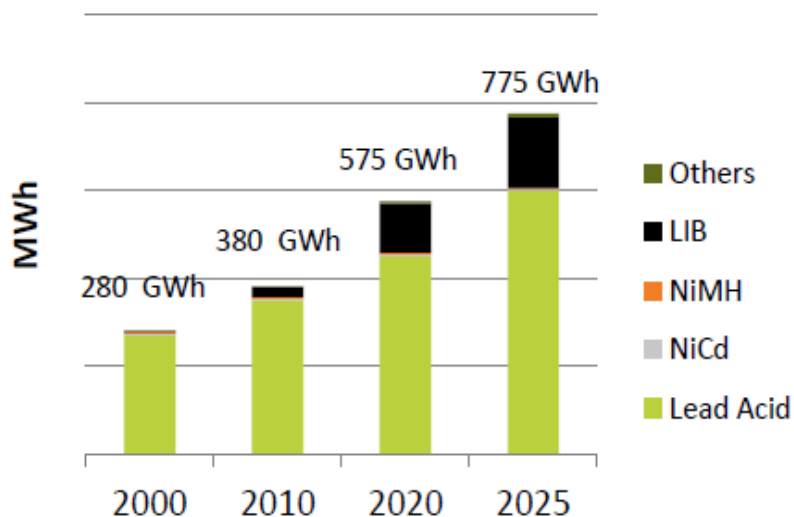


Figure 15 : Tendances futures du marché des batteries
(AVICENNE ENERGY, 2015)

1.1.2 Le marché de la batterie li-ion

Abordons ici le cas du marché de la batterie Li-ion qui connaît véritablement une croissance fulgurante. La batterie hybride étant de type Li-ion, c'est sur ce marché que nous allons nous focaliser.

La figure suivante (Figure 16) montre qu'il connaît une croissance annuelle moyenne de 21% en termes de volume depuis 2004. Il représente aujourd'hui approximativement 10% du marché global des batteries qui est, rappelons-le, principalement représenté par les « Lead Acid ».

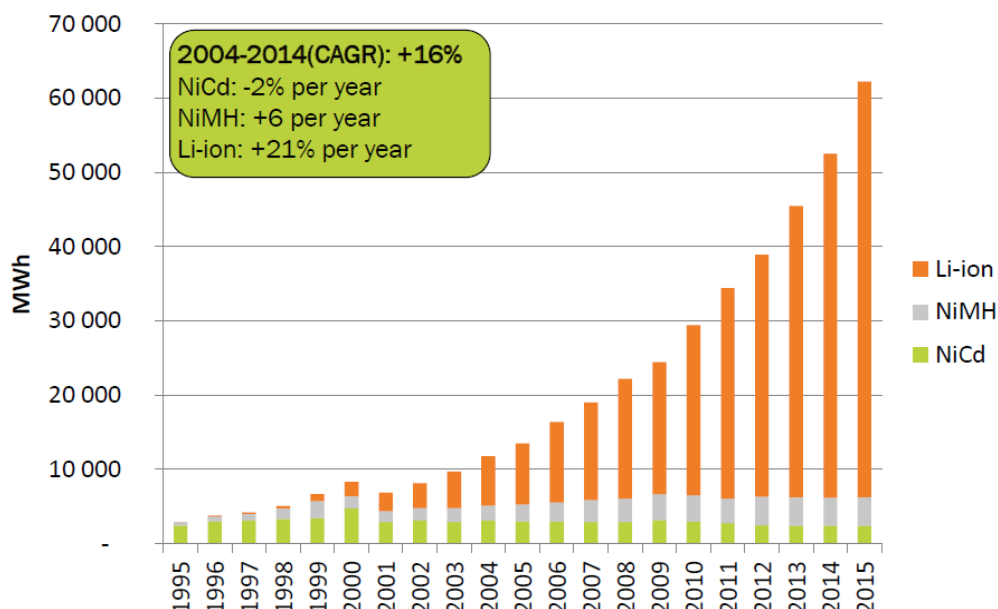


Figure 16 : Evolution et composition du marché de la batterie en termes de volume (AVICENNE ENERGY, 2015)

En analysant dans le détail la composition du marché Li-ion à la figure 17 on remarque que si les applications sont nombreuses, seules quelques-unes se partagent les plus grosses parts de marché. Parmi celles-ci, on retrouve les téléphones portables, les ordinateurs portables, les tablettes et, enfin, les voitures électriques. À elles quatre, elles ont accaparé environ 78% du marché des batteries Lithium-ion en 2014. En plus de cela, on remarque que la croissance du marché Li-ion est fortement due à une tendance à la hausse du volume de batterie Li-ion utilisé pour les tablettes et les voitures électriques depuis quelques années.

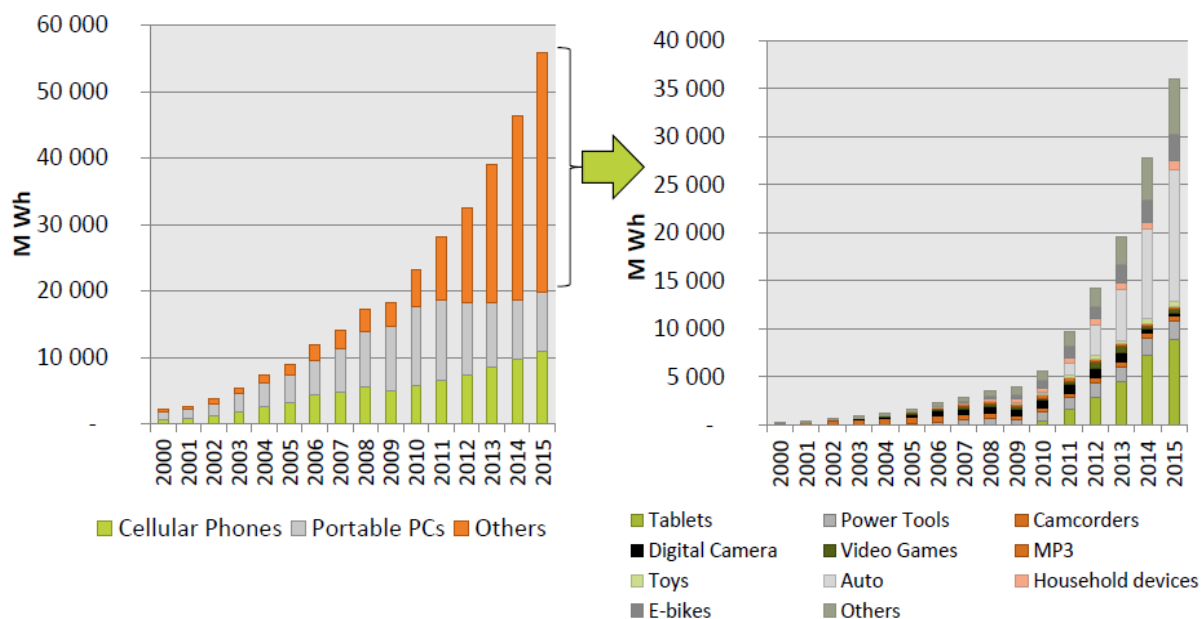


Figure 17 : Evolution et composition du marché de la batterie Lithium en termes de volume (AVICENNE ENERGY, 2015)

Le marché des batteries Li-ion étant tellement vaste et diversifié, il nous a semblé judicieux, pour les raisons expliquées ci-dessous, de nous concentrer, pour la suite de ce mémoire, sur un nombre limité d'applications. Nous avons, à cet effet, décidé de nous focaliser sur les quatre applications abordées ci-dessus. Nous les analyserons sous la forme de deux marchés distincts ; le marché des voitures électriques d'une part, et celui des appareils électriques portables comprenant les téléphones portables, ordinateurs portables et tablettes d'autre part. Nous tâcherons dans la section suivante de les présenter en détail et d'analyser les acteurs importants qui y opèrent.

Plusieurs raisons nous ont poussé à choisir ces deux marchés. Premièrement parce que les caractéristiques principales de la batterie hybride semblent taillées sur mesure pour les produits présents sur de tels marchés. Ensuite pour la taille conséquente qu'ils représentent. Nous l'avons dit, ils constituent ensemble 78% du marchés des batteries Lithium-ion en terme de volume, cela équivaut à une valeur de 11 milliards de dollars (Voir Figure 18). Cherchant à vendre la licence ou le brevet, c'est vraisemblablement vers les applications les plus porteuses que nous devons nous tourner. Enfin, les perspectives futures sur ces deux marchés s'annoncent excellentes.

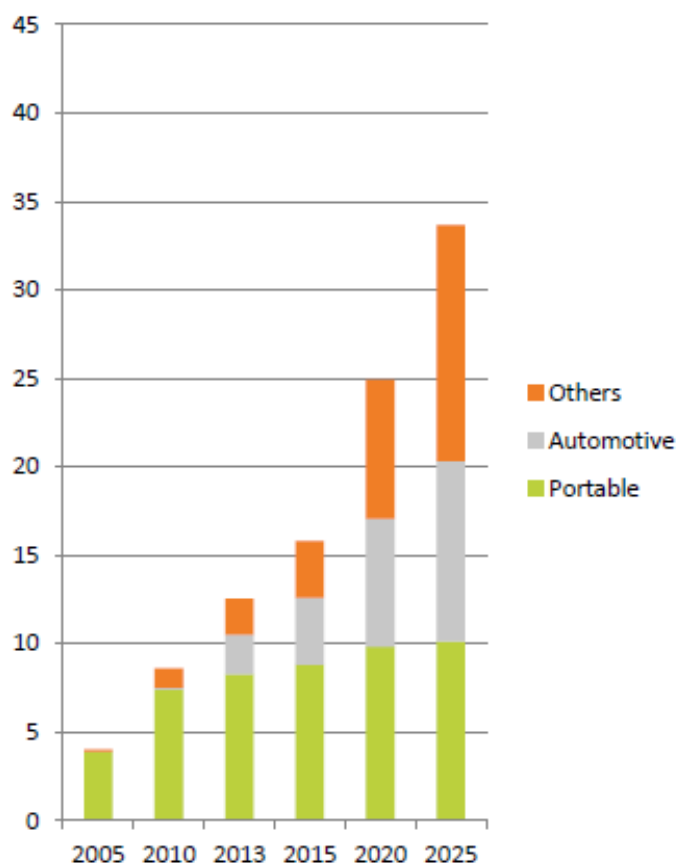


Figure 18 : Evolution du marché des batteries lithium en milliard de dollars (AVICENNE ENERGY, 2014)

1.2 Analyse des deux marchés

Il est maintenant temps d'analyser plus en profondeur les deux marchés sélectionnés. Cette analyse s'effectue en deux étapes ; dans un premier temps nous décrivons le marché en y mentionnant des chiffres importants mais aussi les tendances futures, ensuite nous analysons en détail les maillons de la chaîne de valeur de l'industrie que nous jugeons pertinents pour la suite du travail.

La chaîne de valeur d'une industrie est « *une représentation physique des différents processus impliqués dans la production de produits ou services, depuis les matières premières jusqu'à la livraison.* » (Wikipédia, 2015). L'analyse de ces chaînes de valeur nous permet de mettre en évidence les acteurs importants sur chacun des maillons de celle-ci ; cela facilitera le travail à effectuer lors des étapes ultérieures de ce mémoire, comme la détermination et le choix des acheteurs potentiels, ou encore le choix de partenaires.

1.1.1 Le marché des voitures électriques

Avant d'entrer de plein pied dans l'analyse de ce marché, il convient dans un premier temps d'en fixer son étendue. On entend par marché des voitures électriques celui qui touche aux voitures de types HEV (Hybrid Electric Vehicles), PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) ou EV (Electric Vehicles). Un HEV est un véhicule dont l'énergie de propulsion est fournie à la fois par un moteur à combustion interne (moteur traditionnel) et un moteur électrique qui est uniquement chargé par des sources d'énergies interne au véhicule (Chan & Chau, 2001). Un PHEV est un véhicule dont l'énergie de propulsion est fournie à la fois par un moteur à combustion interne et un moteur électrique qui peut être chargé grâce à une source électrique externe. Un EV est un véhicule dont l'énergie de propulsion est fournie uniquement par un moteur électrique, chargeable à la fois par des sources d'énergie internes et externes.

1.1.1.1 Description

Aussi surprenant que cela puisse paraître, les voitures électriques ne datent pas d'hier. C'est en 1834 que fut créée la première voiture électrique. La voiture électrique était à cette époque une réalité à tel point qu'à la fin du 19^{ème} siècle 38% du marché américain de l'automobile était capté par les véhicules électriques. C'est dans les années 1920 que l'attrait pour les véhicules électriques a été remplacé par les véhicules thermiques présentant des caractéristiques beaucoup plus séduisantes. Depuis lors, les véhicules électriques avaient complètement disparu du paysage automobile (Avere-France, 2014).

C'est dans un contexte de contraintes économiques mais aussi, et surtout, environnementales que les véhicules à propulsion électrique ont revu le jour dans les années 90, sans pour autant être un franc succès. Début des années 2000, des véhicules électriques apparaissaient çà et là sans rencontrer leur public. C'est dans les années 2010 et l'utilisation de batteries Lithium-ion que les véhicules électriques ont fait leur apparition en force dans l'industrie automobile (Arval, 2010).

Le marché des voitures électriques est depuis 2010 en pleine croissance. Sur la figure suivante (Figure 19), on constate que le nombre de véhicules électriques vendus a augmenté d'approximativement 1 million en 2010 jusqu'à environ 2,5 millions en 2014. Plus encore, les

spécialistes prévoient une hausse jusqu'à 9 millions de véhicules électriques en 2025, soit une croissance annuelle moyenne de 14% entre 2015 et 2025. Rolandberger (2011), entreprise de consultance en stratégie, prévoit une production de 114 millions de véhicules dans le monde en 2025. Les véhicules électriques représenteraient ainsi 8% du marché.

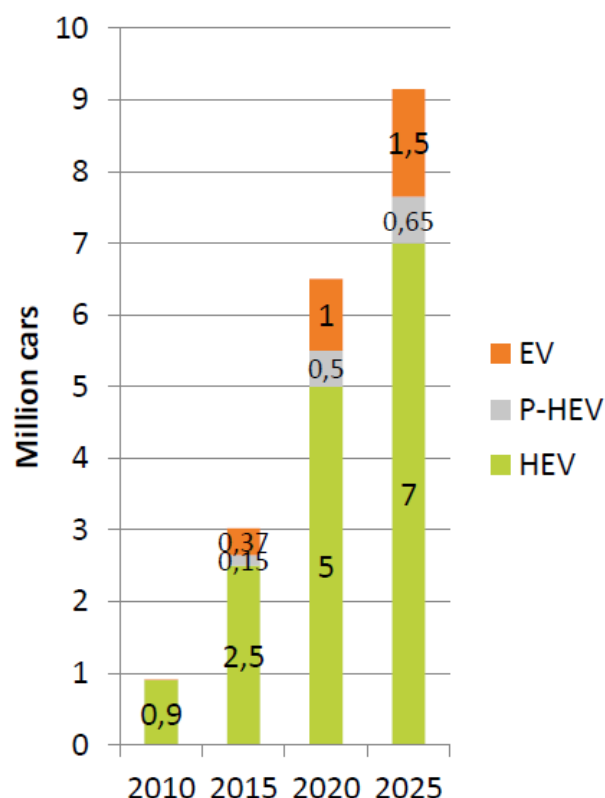


Figure 19 : Prévisions des ventes de véhicules électriques jusqu'en 2015 (AVICENNE ENERGY 2015)

A ce jour, deux types de batteries sont utilisées dans les voitures électriques ; la Nickel métal hydride (NiMH) et la Li-ion. La production de voitures électriques augmentant, il est logique de voir la demande en batterie augmenter. Selon Avicenne, cette hausse de demande devrait continuer dans les années à venir avec une croissance annuelle moyenne de 23% entre 2013 et 2020. Si la demande en batterie NiMH semble constante sur le marché des véhicules électriques, c'est loin d'être le cas pour la Li-ion. En effet la figure suivante (Figure 20) montre que, inexistante avant 2010 sur ce marché, elle comble aujourd'hui plus de 75% des besoins en batterie pour les véhicules électriques et plus encore dans les années à venir.

Cette hausse de la demande en batterie sur ce marché est donc accompagnée d'une hausse de la technologie Lithium-ion qui, selon les spécialistes, y deviendra la batterie de référence.

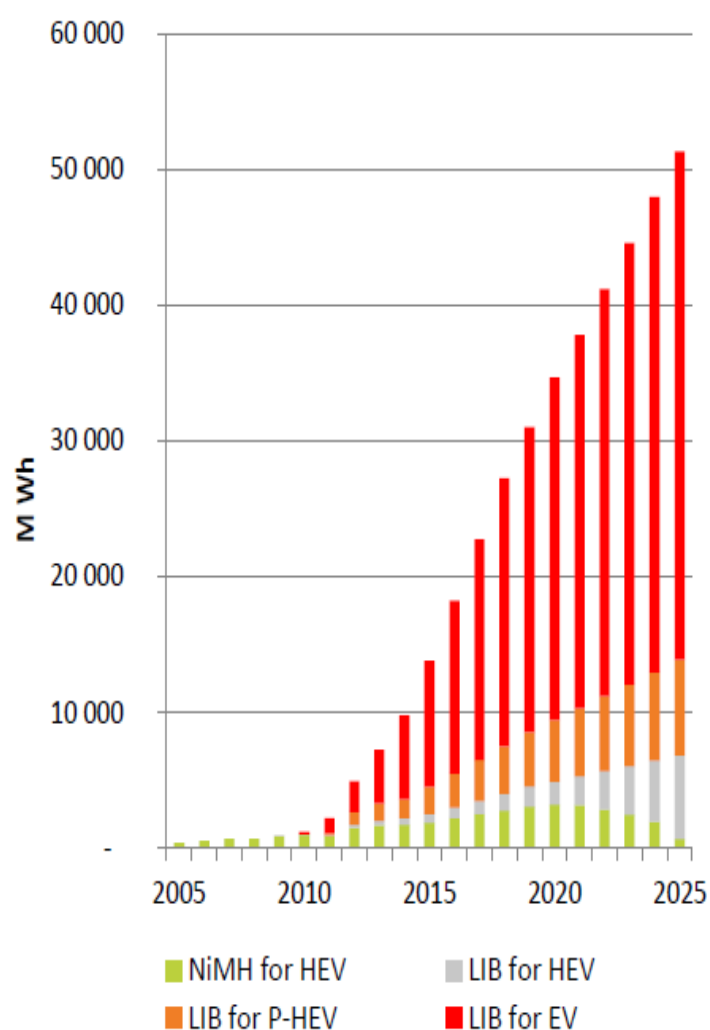


Figure 20 : Evolution de la demande de batterie sur le marché des voitures électriques (AVICENNE ENERGY, 2015)

1.1.1.2 Chaîne de Valeur



Ci-dessus se trouve la chaîne de valeur de l'industrie des batteries Li-ion sur le marché des voitures électriques. Dans un premier temps, les fabricants de batteries produisent leurs batteries grâce aux matériaux achetés aux fournisseurs de matières premières. Ces batteries sont ensuite assemblées par les producteurs de pack et envoyées (sous forme de pack) aux constructeurs automobiles qui les placent dans leurs véhicules électriques.

Sur base de l'objectif qui, rappelons-le, est la vente du brevet ou de la licence, deux maillons de cette chaîne de valeur nous semblent importants. Les fournisseurs de matières premières d'abord, car la production de la batterie dépend de leur bon vouloir et de leur intérêt à produire du PTMA, élément indispensable au bon fonctionnement de la batterie hybride. C'est à eux que nous visons la vente du brevet, il est donc indispensable de bien en connaître le marché. Les fabricants de voitures électriques ensuite parce qu'il est évident que si la technologie hybride ne les intéresse pas, il n'est pas utile de la produire. Analysons maintenant en détails chacun de ces deux maillons.

a) Fournisseurs de matières premières

Le PTMA étant du polymère, nous nous intéressons ici de près au marché de production des polymères afin de cibler les entreprises les plus susceptibles d'acheter la propriété intellectuelle portant sur le nouveau procédé de production du composite polymère conducteur PTMA. Plus particulièrement, ciblons ici les meilleurs producteurs de PVDF, principal polymère utilisé dans les batteries, car ceux-ci disposent déjà de relations avec les producteurs de batteries. Ce sont donc eux qui sont les plus à même d'apprécier l'invention.

Prnewswire (2014) a établi une liste des meilleurs producteurs de PVDF dans laquelle on retrouve les entreprises suivantes : Arkema (France), Solvay S.A. (Belgique), Daikin Industries Ltd (Japon), Dyneon GmbH (Allemagne), Kureha Corporation (Japan), Shanghai 3F New Materials Company Limited (Chine), Shanghai Ofluorine Chemical Technology Co. Ltd. (Chine), Quadrant Engineering Plastics Products Inc. (Suisse), Zhejiang Fotech International Co. Ltd. (Chine), Zhuzhou Hongda Polymer Materials Co. Ltd. (Chine).

C'est donc vers ces entreprises qu'il peut être intéressant de se tourner en vue de vendre le brevet.

b) Fabricants de voitures électriques

Force est de constater lorsqu'on voit la liste des véhicules électriques sortis en 2014 sur le site evobsession (2014) qu'une grande majorité des constructeurs automobiles produisent des modèles électriques. Renault, Mitsubishi, Smart, Nissan, Ford, Toyota, Fiat, Volkswagen, Kia, Chevrolet, Peugeot, Citroën, Honda, Mercedes, BMW, Audi, Tesla, Cadillac, Porsche, Volvo, et d'autres y sont allés de leur modèle en 2014.

En analysant les ventes effectuées en 2014 (Voir Figure 21), on s'aperçoit que certains constructeurs automobiles dominent le marché plus que d'autres. En ce qui concerne les HEV, la domination de Toyota est énorme. En effet, en 2014 près de 75% des HEV vendus sont de Toyota. Honda, Hyundai et Ford sont les principaux constructeurs automobiles se partageant les 25% restants.

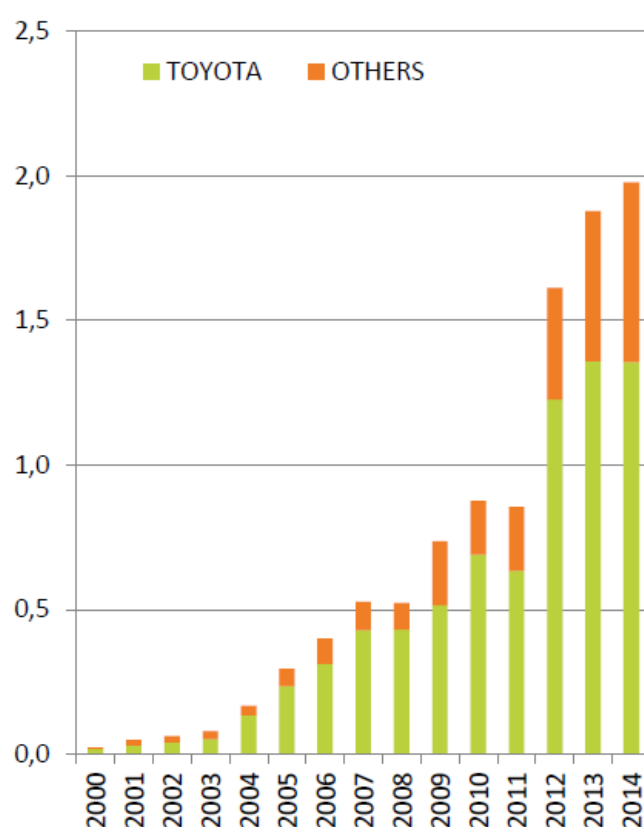


Figure 21 : Ventes de HEV partout dans le monde entre 2000 et 2014 en million d'unités (AVICENNE ENERGY, 2015)

Le marché des P-HEV est plus équilibré, les ventes sont principalement réparties entre quatre constructeurs ; Mitsubishi qui est leader en terme de vente sur ce marché ainsi que Général Motors, Toyota et Ford (Voir Figure 22).

Le marché des EV est dominé par les constructeurs Chinois qui ont généré 31% des ventes en 2014. Nissan, Tesla et BMW ont également effectué un nombre important de ventes (voir Figure 23).

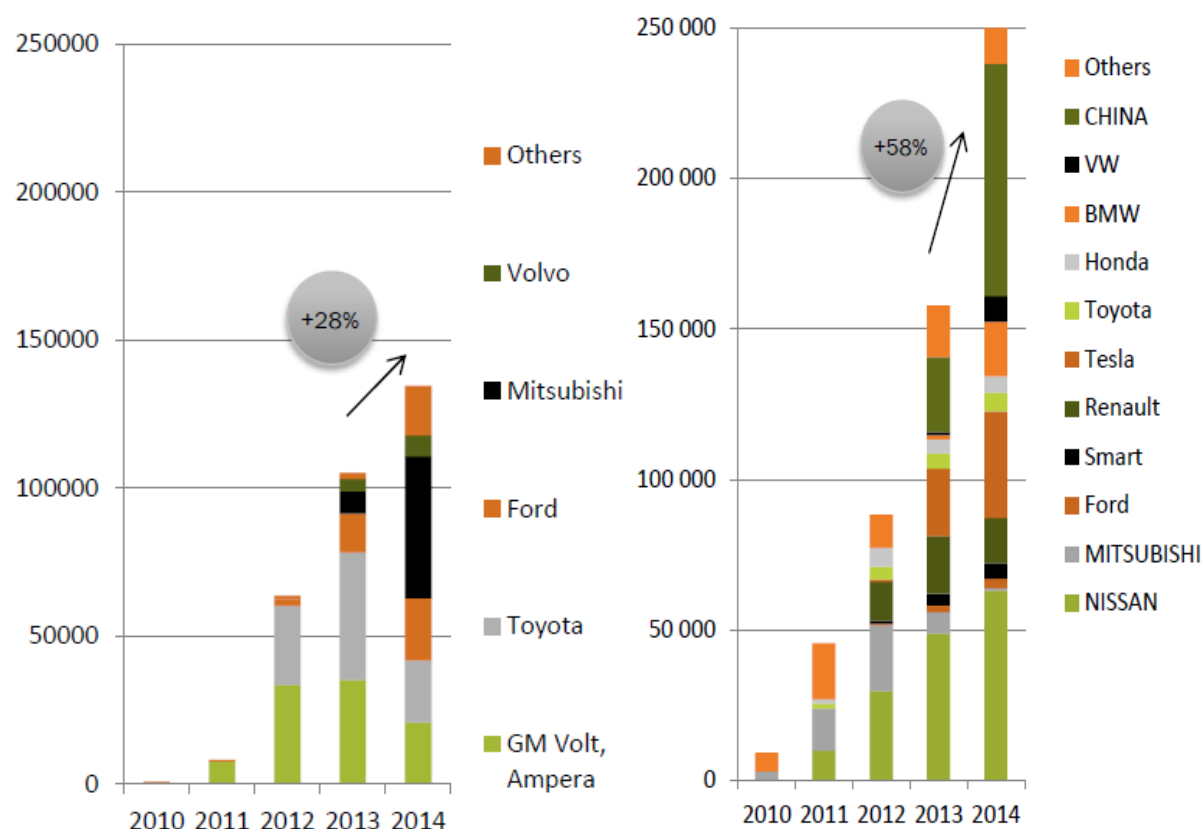


Figure 22 : Ventes de PHEV partout dans le monde entre 2010 et 2014 (AVICENNE ENERGY, 2015)

1.1.2 Le marché des appareils électriques portables

Pour rappel, le marché des appareils électriques portables tel que nous l'entendons comprend les téléphones portables, ordinateurs portables et tablettes.

1.1.2.1 Description

Lorsqu'on parle de ce marché, on ne peut que souligner les évolutions formidables qu'ont connues ces trois types d'appareil. Le premier ordinateur portable, né en 1981, pesait 11 Kg et présentait des caractéristiques ridiculement faibles comparés aux actuels. Les téléphones portables connaissent, eux aussi, le même phénomène. Entre un smartphone actuel et le premier téléphone portable apparu en 1984 avec ses 23 centimètres de longueur, il n'y a pas photo. Les tablettes ont, elles aussi, connu de formidables améliorations. Le marché des appareils électroniques portables présente aujourd'hui des chiffres de ventes excellents, il fait partie de ceux qui rencontrent le plus de succès ces derniers temps.

Concernant les téléphones portables, la figure 24 ci-dessous montre qu'en 2014 près de 2 milliards de modèles ont été vendus. En plus de ce nombre énorme de ventes, les prévisions prévoient une croissance annuelle moyenne de 5,5% entre 2015 et 2025. Si ces prévisions s'avèrent exactes, plus de 3 milliards de téléphones portables seraient vendus partout dans le monde. Si les ventes sur les marchés US et Européen semblent saturées, la croissance prévue s'explique par une augmentation des ventes partout ailleurs et principalement sur les marchés émergents. Une autre des forces de ce marché réside dans le fait que les consommateurs remplacent leur téléphone régulièrement, assurant ainsi des ventes régulières (AVICENNE ENERGY, 2015).

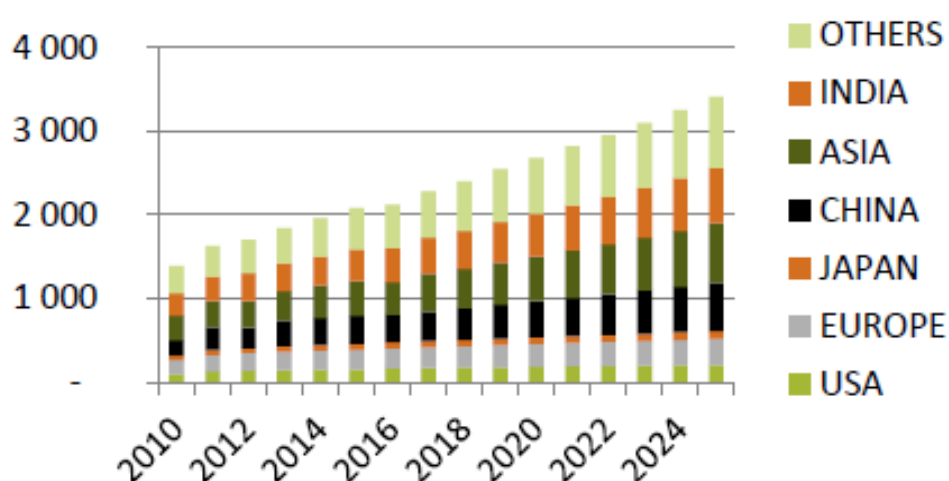


Figure 24 : Evolution et prévision des ventes de téléphones portables entre 2010 et 2025 en million d'unités (AVICENNE ENERGY, 2015)

Le cas des ordinateurs portables est relativement similaire à celui des téléphones portables dans des proportions toutefois moins importantes. On dénombre qu'en 2014 approximativement 200 millions d'ordinateurs portables ont été vendus partout dans le monde (Voir Figure 25). Ce nombre devrait continuer à croître selon les spécialistes qui annoncent une croissance annuelle moyenne de 4% entre 2015 et 2025, portant ainsi les ventes à plus de 300 millions. Cette croissance est due encore une fois aux marchés émergents, la demande restant stable sur les marchés matures.

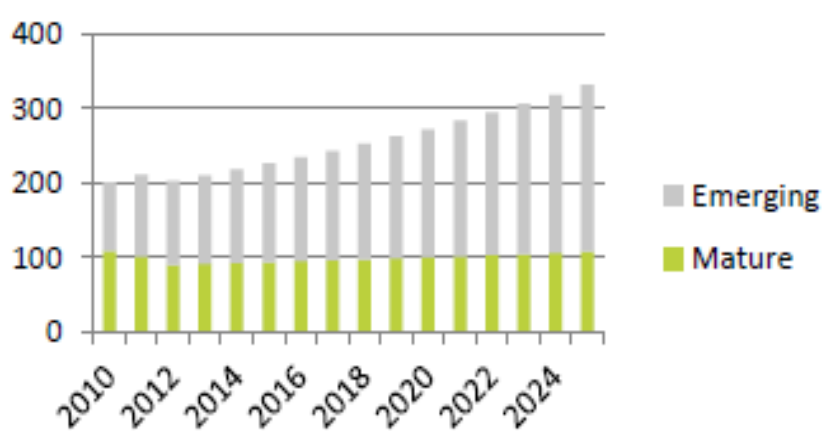


Figure 25 : Evolution et prévisions des ventes d'ordinateurs portables entre 2010 et 2025 en million d'unités (AVICENNE ENERGY, 2015)

Si les marchés des ordinateurs et téléphones portables suivent des trajectoires relativement similaires, c'est n'est pas le cas pour celui des tablettes. Selon International Data Corporation (2014), une entreprise américaine d'analyse marketing, les tablettes se sont vendues à environ 230 millions d'exemplaires en 2014. La première tablette, l'Ipad, ayant été commercialisée en 2010, le marché des tablettes est encore en pleine croissance. Avicenne prévoit une croissance annuelle moyenne de 9% entre 2015 et 2025 (Voir Figure 26), dépassant ainsi largement les ventes d'ordinateurs portables.

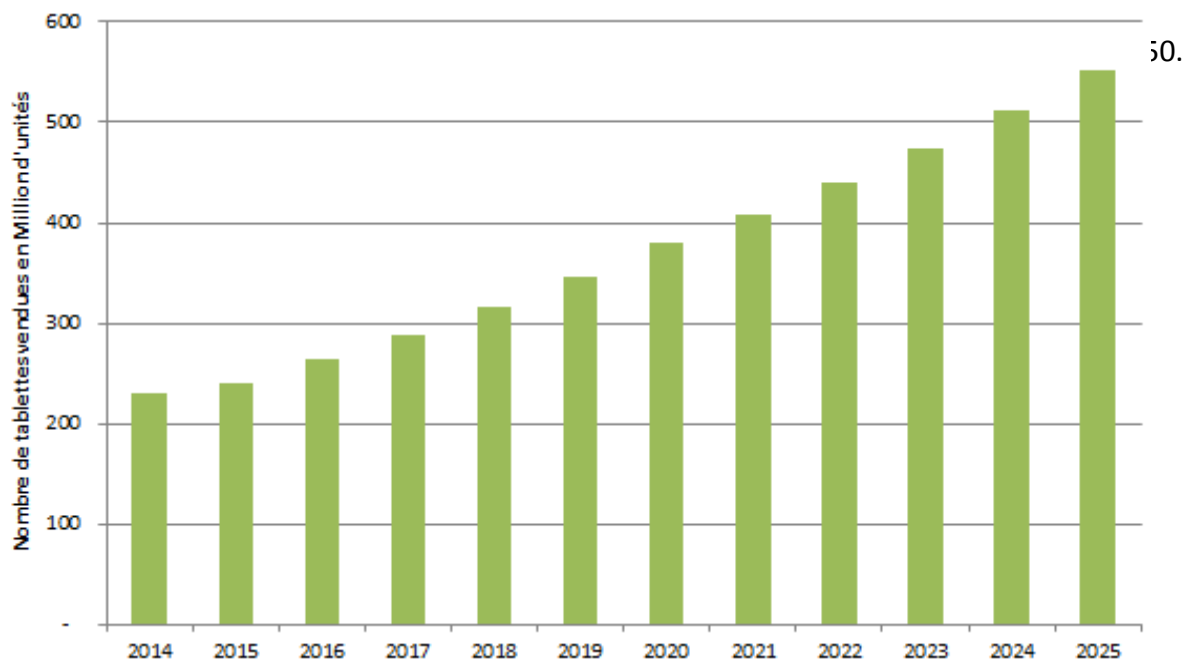


Figure 26 : Prévisions des ventes de tablettes partout dans le monde entre 2013 et 2017 (IDC, 2014)

De manière générale, le marché des appareils électriques portables représente un potentiel énorme pour la batterie hybride. Même si, par rapport au marché des voitures électriques, sa croissance est modérée, ses chiffres en termes de ventes sont gigantesques. Regardons sur la figure suivante (Figure 27) l'impact qu'ont ces trois types d'appareils sur la demande en batterie Li-ion. On remarque, logiquement, que celle-ci augmente chaque année. Elle passerait de 25 000 MWh en 2014 à 55 000 en 2025, les spécialistes considèrent donc que celle-ci doublerait au cours des 10 prochaines années.

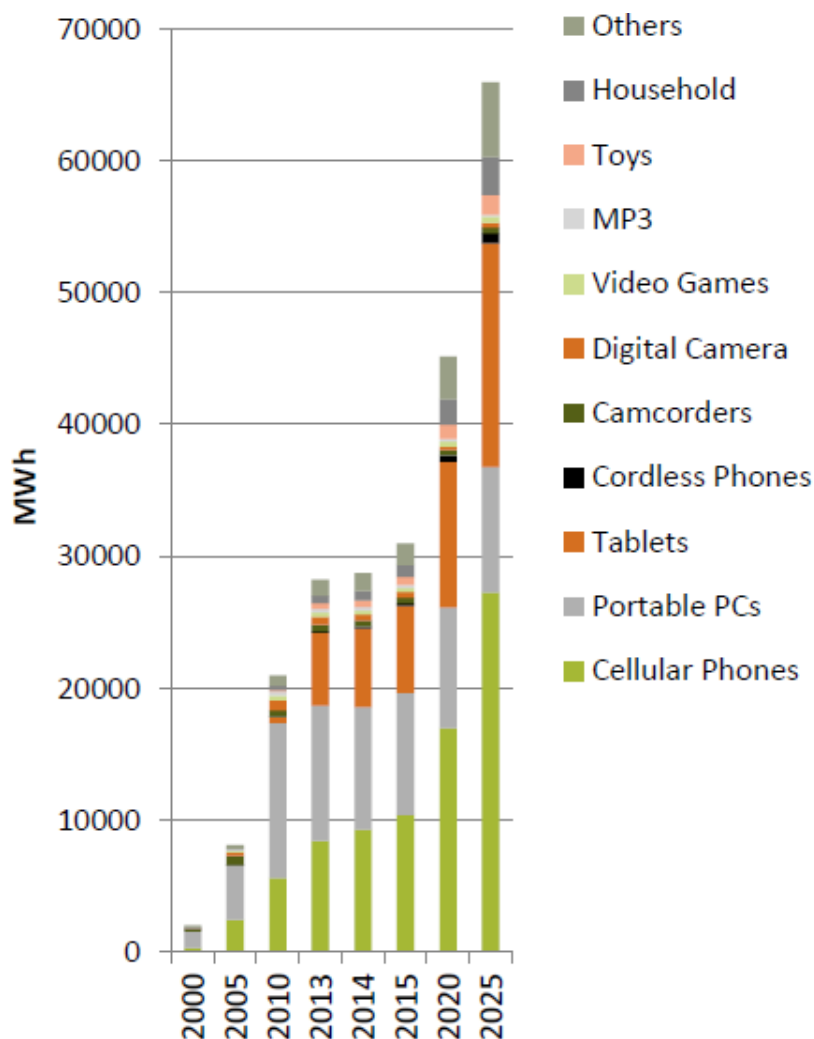


Figure 27 : Evolution de la demande (en MWh) en batterie li-ion sur le marché des appareils électriques portables entre 2000 et 2025 (AVICENNE ENERGY, 2015)

1.1.2.2 Chaîne de Valeur



La chaîne de valeur de l'industrie des batteries Lithium-ion sur le marché des appareils électriques portables, décrite ci-dessus, est constituée de trois maillons importants. Les batteries sont fabriquées grâce aux matériaux élaborés par les fournisseurs de matières

premières. Elles sont ensuite utilisées par les fabricants d'appareils électriques portables qui se chargent de les assembler sous forme de pack puis de les mettre dans leurs produits. Cette chaîne de valeur ressemble donc fortement à celle pour le marché des voitures électriques, à l'exception du fait qu'assembleur et fabricant final ne forment ici qu'une seule entité.

Pour les mêmes raisons que pour le marché des voitures électriques, deux maillons semblent essentiels pour la suite de notre travail. Cependant, nous n'en analyserons qu'un d'entre eux. En effet, les fournisseurs en matières premières étant les mêmes pour ces deux marchés, il ne sert à rien de nous répéter.

a) Fabricants d'appareils électriques portables

Commençons tout d'abord par les téléphones portables. Il s'agit d'un marché très dense sur lequel GSM Arena (2015) dénombre une centaine de fabricants. En analysant le nombre de téléphones portables vendus par ces fabricants en 2013 et 2014 (Voir Figure 28), on s'aperçoit que Samsung, Apple et Microsoft dominent ce marché. Regardons donc de plus près les performances de ces trois leaders.

Si Samsung est incontestablement le premier avec plus de 20% des parts de marché, il a connu en 2014 une diminution de son nombre de ventes de 12%. Apple quant à lui est passé deuxième en terme de vente grâce à une hausse de ses ventes de 27% mais aussi parce que Microsoft est en chute libre avec une diminution de 25%. A eux trois, ils totalisent près de 40% du marché total réduisant ainsi considérablement la place pour leurs nombreux poursuivants.

Parmi les poursuivants notons les présences de Lenovo, LG Electronics et Huawei respectivement 3,4 et 5^{èmes} sur le marché qui ont tous enregistré une hausse de leurs nombre d'appareils vendus entre 2013 et 2014. La plus grande progression est à attribuer à Xiaomi, fondée en 2010, qui a vu son nombre de ventes tripler en un an.

Company	2014 Units	2014 Market Share (%)	2013 Units	2013 Market Share (%)
Samsung	392,546	20.9	444,472	24.6
Apple	191,426	10.2	150,786	8.3
Microsoft	185,660	9.9	250,835	13.9
Lenovo*	84,029	4.5	66,463	3.7
LG Electronics	76,096	4.0	69,094	3.8
Huawei	70,499	3.8	53,296	2.9
TCL Communication	64,026	3.4	49,538	2.7
Xiaomi	56,529	3.0	13,423	0.7
ZTE	53,910	2.9	59,903	3.3
Sony	37,791	2.0	37,596	2.1
Micromax	37,094	2.0	25,431	1.4
Others	629,360	33.5	587,764	32.5
Total	1,878,968	100.0	1,808,600	100.0

Figure 28 : Nombre (en millier) de téléphones portables vendus en 2013 et 2014
(<http://www.gartner.com/newsroom/id/2996817>, 2015)

Sur le marché des ordinateurs portables, six constructeurs se partagent plus de 80% du nombre d'unité vendues (Voir Figure 29); il s'agit de HP, Lenovo, Dell, Asus, Acer et Apple. Selon IDC¹⁰ (2015), les parts de marché de ces six augmentent depuis quelques années et continueront dans le futur, laissant aux autres de moins en moins de place. Ces leaders peuvent être divisés en deux sous-groupes. HP et Lenovo d'une part qui se battent pour la première place, ont effectués chacun environ 20% des ventes en 2014. Les quatre autres d'autre part qui se battent pour la troisième place tourne autour des 10%.

¹⁰ International Data Collector

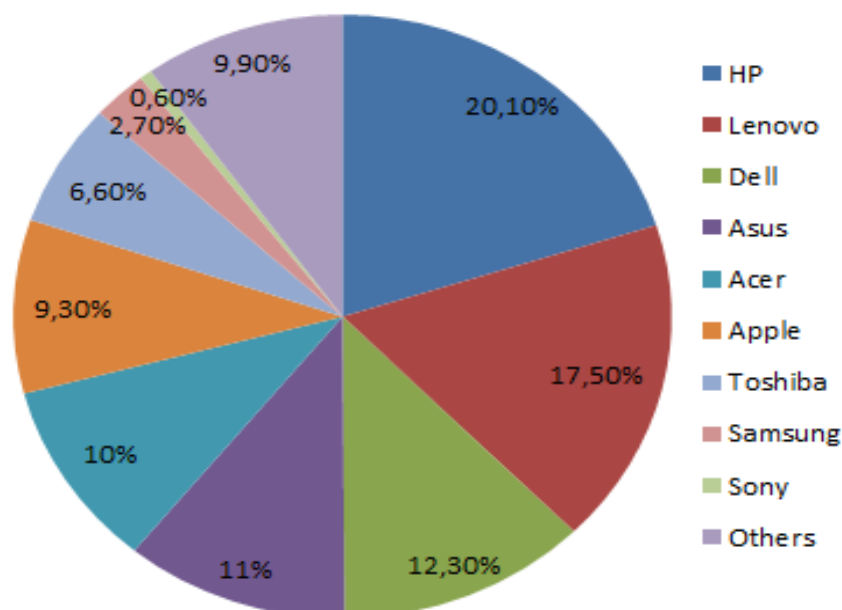


Figure 29 : Part de marché des principaux vendeurs d'ordinateurs portables en 2014 sur base du nombre d'unités vendues

(<http://press.trendforce.com/node/view/1821.html>, 2015)

Le marché des tablettes est principalement dominé par deux entreprises. On retrouve Apple en tête du nombre de tablettes vendues en 2014, accaparant 27,6% des parts de marché. Samsung est classé deuxième avec 17,5%. Asus puis Lenovo et, enfin, Amazon complètent le podium (Voir Figure 30).

Vendor	2014 Unit Shipments	2014 Market Share	2013 Unit Shipments	2013 Market Share	Year-over-Year Growth
1. Apple	63.4	27.6%	74.3	33.8%	-14.6%
2. Samsung	40.2	17.5%	39.7	18.1%	1.1%
3. ASUS	11.5	5.0%	12.2	5.6%	-5.5%
4. Lenovo	11.2	4.9%	7.8	3.5%	43.5%
5. Amazon.com	3.3	1.4%	9.8	4.4%	-66.4%
Others	100.0	43.6%	76.1	34.6%	31.4%
Total	229.6	100.0%	219.9	100.0%	4.4%

2. Le taux de pénétration

Afin de déterminer le taux de pénétration de la technologie sur le marché, il est nécessaire de s'intéresser à toutes les variables ayant une influence sur celui-ci. Celles-ci sont nombreuses et peuvent être regroupées en plusieurs catégories.

Une première regroupe les variables qui touchent au macro et microenvironnement autour de la batterie hybride. Une seconde repose sur toutes les caractéristiques de la batterie face à la concurrence, particulièrement celles pouvant amener un avantage concurrentiel. Une autre est constituée des facteurs opérationnels liés à la production du PTMA. Une dernière rassemble les risques liés aux technologies et produits, actuels et à venir, de substitution à la technologie hybride.

Si l'influence de la plupart de ces variables sur la technologie dans le futur peut raisonnablement être prévue de manière assez précise, il y en a encore beaucoup d'autres qui présentent un degré d'incertitude élevé rendant ainsi très difficile la détermination du taux de pénétration de la batterie hybride sur le marché. Afin de faire face à ce haut degré d'incertitude, nous utiliserons la méthode des scénarios présentée dans la revue de littérature.

Nous commencerons donc par détailler les variables incertaines pour ensuite expliquer les scénarios qui s'articulent autour de celles-ci.

2.1 Présentation des variables incertaines

Parmi les variables influençant la pénétration de la technologie sur les marchés les trois suivantes peuvent avoir une forte influence et présentent un degré d'incertitude élevé :

- Le prix du polymère: A l'heure actuelle, il est impossible, pour nous ou Monsieur Gohy et son équipe, de connaître avec précision le prix de fabrication de la batterie hybride. En effet, si la liste des matières premières est facilement élaborée, les coûts liés aux processus de fabrication sont difficilement quantifiables.
Etant donné que le PTMA améliore les caractéristiques des batteries, son prix de vente peut être supérieur à celui des polymères actuellement utilisés. Il ne peut

cependant excéder ce que les consommateurs sont prêts à payer pour l'avantage qu'il fournit.

Cette incertitude autour du prix aura assurément un impact sur la faculté à pénétrer le marché. En effet, la demande en voitures électriques dépend de son prix qui, lui, dépend en partie de sa batterie qui est, elle, en partie composée du PTMA.

Deux cas de figures seront donc envisagés autour de cette variable. Le cas optimiste, d'une part, qui considère le cas où le prix du PTMA est en adéquation avec les attentes du marché. Le cas pessimiste, d'autre part, qui considère le cas où le prix du PTMA est trop élevé rendant ainsi la technologie invendable.

- Apparition de produits substitués : Si à l'heure actuelle l'avenir semble radieux pour les batteries Li-ion (Voir section marché) dont une croissance de la demande est prévue dans les années à venir, rien ne nous permet d'affirmer que de nouvelles technologies ne vont pas venir entacher cette croissance. Nous avons abordé le cas de deux technologies prometteuses dans la revue de littérature, celles-ci pourraient avoir une incidence sur le taux de pénétration du marché de l'invention dans les années à venir.

Ces technologies n'étant pas encore suffisamment développées que pour entrer sur le marché et être commercialisées, il est impossible de prédire leur impact futur de manière précise. Celui-ci reste donc encore très incertain.

Afin de quantifier le taux de pénétration, nous envisagerons pour cette variable deux futurs probables. Premièrement, celui où aucune de ces technologies ne parvient à percer dans l'horizon temporel qui nous intéresse. Deuxièmement, le cas où les développements dans le domaine de la batterie Lithium-air s'intensifient et où une batterie commercialisable fait son apparition sur le marché en 2020, diminuant ainsi fortement le taux de pénétration de la batterie hybride sur le marché.

- Intégration : Passer de l'état de prototype en laboratoire à l'intégration dans le produit final n'est jamais chose aisée. Si aujourd'hui tout semble fonctionner au laboratoire, Monsieur Gohy et son équipe n'ont jamais eu l'occasion d'utiliser leur invention pour une application réelle. Il existe donc aujourd'hui une incertitude quant à la possibilité et la faisabilité d'intégrer l'invention dans les produits finaux ciblés.

Deux futurs liés à cette variable seront donc pris en compte. D'un côté celui ou des solutions aux problèmes sont trouvées, rendant ainsi l'intégration sans encombre. De l'autre, celui où malgré les efforts consentis aucun moyen n'est trouvé pour intégrer la technologie aux produits finaux.

2.2 Présentation des scénarios

C'est dans cette partie que nous abordons et présentons les scénarios liés aux variables pivots présentées juste avant. Afin d'alléger la lecture et d'éviter les répétitions inutiles, nous avons décidé de ne présenter que les scénarios ou tout est optimiste ou pessimiste.

Si nous ne présentons ici que deux scénarios, il en existe en réalité huit combinant en même temps des variables optimistes et pessimistes. Les pénétrations de marchés liées à chacun de ceux-ci seront synthétisées à la fin de cette sous-section.

2.2.1 *Marché des véhicules électriques*

Le temps de recharge des voitures électriques est en 2015 l'un de ses problèmes majeurs. Plusieurs heures sont en effet nécessaires pour charger complètement le véhicule, ce qui rebute aujourd'hui plus d'un consommateur à abandonner son véhicule à combustion traditionnel (Electricroad, 2014).

Une découverte scientifique voit alors le jour. Il s'agit d'un matériau appelé PTMA qui permet aux batteries de pouvoir se charger très rapidement, en plus de garder toutes les caractéristiques des batteries pratiquement intactes.

Piqués de curiosité, plusieurs constructeurs automobiles s'intéressent à cette technologie nouvelle. Si celle-ci semble vraiment intéressante, les zones d'ombres autour du prix, des produits de substitutions et la facilité d'intégration ont suffi à refroidir la majorité des constructeurs. Ce n'est pas le cas d'un autre constructeur automobile important (par hypothèse, prenons Ford) qui pourrait être intéressé et qui voit en cette technologie une opportunité pour lui de se faire une place importante sur le marché des voitures électriques.

Ford s'engage donc à intégrer la technologie sur l'ensemble de ses véhicules électrique dès que celle-ci est commercialisée. Nous supposons que trois années de recherches et

développements seront nécessaires afin de résoudre tous les aspects liés à la mise en œuvre de la commercialisation.

La pénétration de la technologie de recharge rapide sur ce marché dépend maintenant de l'évolution des variables pivots.

2.2.1.1 Scénarios optimistes

C'est en 2018 que sont lancés les premiers modèles de voitures électriques à recharge rapide. Ford axant toute sa communication et publicité sur cet avantage, cela n'échappe pas aux consommateurs qui voient là un gain de temps non négligeable. Cette année-là, 4% des véhicules électriques vendus seront équipés de la technologie (Voir Figure 31). Ces 4% correspondent aux parts de marchés détenues à ce jour par Ford sur ce marché, nous avons donc fait l'hypothèse qu'elles restent constantes jusqu'en 2018.

L'attrait des consommateurs pour cette technologie étant grand, les constructeurs décident donc un à un d'adopter celle-ci qui connaît ainsi chaque année une hausse de sa présence sur le marché. En 2021 un véhicule électrique sur quatre est équipé de cette technologie, en 2023 un véhicule sur deux. Cette hausse continuera jusqu'à atteindre 90% de présence sur le marché des véhicules électriques pour ensuite se maintenir à ce niveau, certains adoptant une autre stratégie que miser sur cet avantage.

Variable	Scénario	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Prix du polymère																					
Nouvelles Technologies	Optimiste	0%	0%	0%	4%	7%	14%	25%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Intégration véhicule																					

Figure 31 : Taux de pénétration sur le marché des véhicules électriques dans les cas optimistes (Valuation, 2015).

Cette croissance n'a été possible que parce que les problèmes et inquiétudes quant au prix du PTMA, aux nouvelles technologies et à la facilité d'intégration dans les véhicules électriques ont pu être solutionnés.

a) Le prix du polymère

Si de prime à bord le prix du PTMA semblait être un problème cela n'a pas été le cas. Durant les trois années de recherche et développement, un des principaux objectifs du fabricant de

polymère a été de réduire les coûts liés à la production de celui-ci, permettant ainsi de le vendre à un prix acceptable sur le marché.

Cette diminution des coûts a été effectuée grâce à une optimisation complète du système de production. Les matières premières ont été négociées au rabais en appuyant sur les perspectives économiques que peuvent rapporter un tel produit pour les fournisseurs. La chaîne de production a également été optimisée diminuant ainsi les frais liés aux machines et au personnel. Grâce à ses mesures, les coûts ont pu être diminués permettant ainsi la vente du PTMA à un prix compétitif.

b) L'apparition de produits substitués

Durant toutes les années d'exploitation de la technologie, beaucoup d'innovations ont vu le jour. Toutes semblaient, sur papier, plus performantes que la nôtre. Si certaines voitures électriques présentant cette technologie sont apparues, aucune n'est cependant parvenue à s'y imposer.

Toutes ont dû faire face à des problèmes qu'elles n'ont pas réussi à résoudre. Parmi ceux-ci on peut citer le prix, la sécurité, le respect de l'environnement,... Le malheur des uns faisant le bonheur des autres, la batterie hybride est donc restée la seule viable sur le marché.

c) L'intégration

Il était primordial que la technologie puisse être intégrée sans encombre dans les véhicules électriques. Durant les trois années de recherche et développement, Ford et les fabricants de batteries et de PTMA ont travaillé ensemble pour que cela se passe sans encombre. Chaque problème auxquels ils ont fait face a été résolu permettant ainsi à Ford de commercialiser des modèles aboutis présentant les caractéristiques annoncées.

2.2.1.2 Scénarios pessimistes

a) Le prix du polymère

Après la commercialisation de ses véhicules hybrides, Ford s'aperçoit que le prix affiché pour ses nouveaux modèles est trop élevé. Malgré le plan de promotion et l'avantage apporté à l'expérience qu'est de posséder et utiliser un véhicule électrique, la demande reste faible et peine à maintenir son niveau de départ. Déjà l'année suivante, en 2019, les ventes

diminuent. Le véhicule est trop cher au goût des consommateurs et le modèle perd des parts de marché. Ford ne détient plus que 2% des parts de marché et la tendance est encore à la baisse (Voir Figure 32).

En 2020, Ford se rend compte que les prix affichés des véhicules sont trop élevés et ne satisfont pas la demande des consommateurs qui se tournent vers des véhicules qui ne présentent pas cet avantage de charge rapide mais qui sont beaucoup moins chers. Même en diminuant drastiquement les marges faites, le coût de la batterie hybride est trop élevé. Un véhicule électrique présentant cette technologie ne peut être vendu sur le marché. Ford décide donc de retirer de celui-ci tous ses modèles présentant cette technologie. La batterie hybride n'est plus vendue, la technologie n'est pas acceptée sur le marché car son prix de revient est trop élevé.

Variable	Scénario	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Prix du polymère	Pessimiste	0%	0%	0%	4%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Figure 32 : Taux de pénétration sur le marché des véhicules électriques dans le cas pessimiste sur le prix (Valuation, 2015).

b) L'apparition de produits substitués

Jusqu'ici, la pénétration du produit connaissait chaque année une bonne croissance. Malheureusement, les recherches en matière de batteries ont mené à de nouvelles technologies qui présentent des avantages plus intéressants et plus importants aux yeux des consommateurs. Celles-ci sont suffisamment développées pour pouvoir être commercialisées.

Durant l'année 2022, des recherches sur la technologie Lithium-air permettent de surmonter les dernières barrières qui empêchaient son développement commercial. Elle est alors lancée sur le marché et sa capacité de stockage exceptionnelle permet d'augmenter drastiquement l'autonomie des véhicules électriques. Son adoption se fait très rapidement et la technologie hybride perd vite du terrain. En l'espace de 4 ans, la Lithium-air devient incontournable et équipe l'ensemble des voitures EV, HEV et P-HEV sur le marché.

L'apparition de cette nouvelle technologie change fondamentalement le paysage concurrentiel du secteur ainsi que son évolution. La batterie hybride, qui était en phase de

forte croissance et qui était adoptée par de plus en plus de constructeurs jusqu'à atteindre 40% de parts de marché subit maintenant une décroissance (Voir Figure 33). Après 4 ans, plus aucun véhicule n'est équipé de la batterie hybride. Dès 2026 donc, plus aucun revenu n'est tiré de la technologie.

Variable	Scénario	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Nouvelles Technologies	Pessimiste	0%	0%	0%	4%	7%	14%	25%	40%	30%	10%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Figure 33 : Taux de pénétration sur le marché des véhicules électriques dans le cas pessimiste sur les substituts (Valuation, 2015).

c) L'intégration

Malheureusement, lors de la phase de recherche et développement, on se rend compte d'une limitation qui empêche l'intégration de la technologie sur un produit aussi imposant et demandant une capacité aussi conséquente qu'un véhicule électrique.

Dès lors, il apparaît clair que la batterie ne peut être intégrée dans un modèle de véhicule électrique. Celle-ci ne perçoit donc jamais sur le marché (Voir Figure 34). Aucun revenu n'est tiré de la technologie et seuls des frais ont été subis ce qui résulte sur des pertes nettes.

Variable	Scénario	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Intégration véhicule	Pessimiste	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Figure 34 : Taux de pénétration sur le marché des véhicules électriques dans le cas pessimiste sur l'intégration (Valuation, 2015).

2.2.2 Marché des appareils électriques portables

La nouvelle d'une batterie hybride permettant une recharge rapide n'est pas perçue comme une révolution sur le marché des appareils électriques portables. Le marché est plus à la recherche d'une batterie avec une grande densité d'énergie permettant de recharger son appareil moins souvent. En plus de ça, cette technologie présente des incertitudes autour de son prix, de ses facilités d'intégration dans les appareils et des technologies futures.

Tout ceci mis l'un dans l'autre fait que la majorité des constructeurs d'appareils électriques portables se désintéressent de cette technologie. Certaines entreprises pourraient malgré tout se montrer intéressées par la technologie, supposons pour la suite du travail que Sony

qui, ayant de plus en plus de mal à garder une place sur les marchés des ordinateurs, tablettes et téléphones portables, voit là une occasion en or d'apporter un petit plus à ses produits et ainsi tenter de récupérer quelques parts de marché. Il s'engage donc à intégrer cette technologie dans ses produits dès que celle-ci sera assez mature.

Nous supposons que trois années de recherche et développement seront nécessaires avant que les produits Sony présentant la technologie de recharge rapide ne soient commercialisés.

2.2.2.1 Scénarios optimistes

C'est donc en 2018 que les premiers modèles apparaissent, les chiffres de ventes sont encourageants puisque 2% des appareils électriques portables vendus cette année-là sont équipés de la technologie hybride. Ces 2% correspondent aux parts de marchés détenues à ce jour par Sony sur ce marché, nous avons donc fait l'hypothèse qu'elles restent constantes jusqu'en 2018.

Dans les années qui suivent, d'autres constructeurs décident d'intégrer cette invention dans leurs appareils. La présence de batteries à recharge rapide augmente donc progressivement sur le marché pour atteindre près de la moitié du marché en 2024. Cette croissance commencera ensuite à s'essouffler pour plafonner à 65% (Voir Figure 35). Ce plafond s'explique par le fait que tous les consommateurs ne sont pas prêts à payer pour cette technologie obligeant ainsi les constructeurs à faire des modèles plus « low cost » ne présentant pas cet avantage. En effet, la charge rapide sur ce marché est plus perçue comme un bonus que comme un élément essentiel.

Variable	Scénario	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Prix du polymère																					
Nouvelles Technologies	Optimiste	0%	0%	0%	2%	5%	10%	17%	27%	40%	47%	55%	62%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
Intégration véhicule																					

Figure 35 : Taux de pénétration sur le marché des appareils électriques portables dans les cas optimistes (Valuation, 2015).

Cette croissance de la présence de la batterie hybride sur le marché des appareils électriques portables n'est possible que si les variables incertaines évoluent dans un sens

positif. Cette évolution étant la même que celle décrite dans la partie des scénarios pour le marché des véhicules électriques, il ne nous semble pas utile de nous répéter.

2.2.2.2 Scénarios pessimistes

a) Le prix du polymère

Comme sur le marché des voitures électriques, malgré les 3 années de recherches et développements, le prix du polymère est trop élevé. Les ventes de produits équipés de l'invention chutent rapidement, Sony décide donc de stopper l'hémorragie en arrêtant la commercialisation de ceux-ci. Dès 2020 la technologie de charge rapide disparaît du marché, concluant le lancement de cette technologie sur un échec (Voir Figure 36).

Variable	Scénario	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Prix du polymère	Pessimiste	0%	0%	0%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Figure 36 : Taux de pénétration sur le marché des appareils électriques portables dans le cas pessimiste sur le prix (Valuation, 2015).

b) L'apparition de produits substitués

Comme sur le marché des voitures électriques, l'apparition de batteries Lithium-air est venue entacher la progression de la présence de la batterie hybride sur le marché. Cette technologie présente une capacité de stockage d'énergie beaucoup plus élevée que toutes les autres disponibles sur le marché. Cet élément de capacité étant le plus important du point de vue du consommateur, la plupart des constructeurs se tournent vite vers les batteries au Lithium-air. Dès 2023, la batterie hybride n'équipe plus que 20% des appareils électriques portables. L'adoption de la batterie Lithium-air est tellement fulgurante que dès 2026, la technologie hybride n'équipe plus aucuns appareils et ne génère donc plus aucun revenu (Voir figure 37).

Variable	Scénario	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Nouvelles Technologies	Pessimiste	0%	0%	0%	2%	5%	10%	17%	27%	20%	10%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Figure 37 : Taux de pénétration sur le marché des appareils électriques portables dans le cas pessimiste sur le prix (Valuation, 2015).

c) L'intégration

Comme sur le marché des véhicules électriques, on découvre une limitation rendant impossible la commercialisation de produits équipés de la batterie hybride (Voir Figure 38).

Variable	Scénario	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Intégration véhicule	Pessimiste	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Figure 38 : Taux de pénétration sur le marché des appareils électriques portables dans le cas pessimiste sur l'intégration (Valuation, 2015).

2.3 Synthèse des scénarios

Voici donc les pénétrations de marchés prévues pour chacun des scénarios envisagés. Nous envisageons toutes les combinaisons possibles liées aux variables pivots pour chacun des marchés. Le taux de pénétration choisi est le minimum des taux de pénétrations liés aux variables correspondantes.

Cela nous donne pour le marché des véhicules électriques (Voir Figure 39) :

Pivot 1	Prix polymère faible				Prix polymère élevé			
Pivot 2	Substitution faible		Substitution forte		Substitution faible		Substitution forte	
Pivot 3	Intégration facile	Intégration difficile	Intégration facile	Intégration difficile	Intégration facile	Intégration difficile	Intégration facile	Intégration difficile
Scénario	1	2	3	4	5	6	7	8
2015	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2016	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2017	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2018	4%	0%	4%	0%	4%	0%	4%	0%
2019	7%	0%	7%	0%	2%	0%	2%	0%
2020	14%	0%	14%	0%	0%	0%	0%	0%
2021	25%	0%	25%	0%	0%	0%	0%	0%
2022	40%	0%	40%	0%	0%	0%	0%	0%
2023	50%	0%	30%	0%	0%	0%	0%	0%
2024	60%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	0%
2025	70%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%
2026	80%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2027	90%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2028	90%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2029	90%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2030	90%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2031	90%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2032	90%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2033	90%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2034	90%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Figure 39 : Synthèse des taux de pénétration sur le marché des véhicules électriques (Valuation, 2015).

Pour celui des appareils électriques portables (Voir Figure 40):

Pivot 1	Prix polymère faible				Prix polymère élevé			
Pivot 2	Substitution faible		Substitution forte		Substitution faible		Substitution forte	
Pivot 3	Intégration facile	Intégration difficile	Intégration facile	Intégration difficile	Intégration facile	Intégration difficile	Intégration facile	Intégration difficile
Scénario	1	2	3	4	5	6	7	8
2015	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2016	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2017	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2018	2%	0%	2%	0%	2%	0%	2%	0%
2019	5%	0%	5%	0%	1%	0%	1%	0%
2020	10%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	0%
2021	17%	0%	17%	0%	0%	0%	0%	0%
2022	27%	0%	27%	0%	0%	0%	0%	0%
2023	40%	0%	20%	0%	0%	0%	0%	0%
2024	47%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	0%
2025	55%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%
2026	62%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2027	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2028	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2029	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2030	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2031	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2032	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2033	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2034	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Figure 40 : Synthèse des taux de pénétration sur le marché des appareils électriques portables (Valuation, 2015).

Lorsqu'on analyse de plus près les synthèses des pénétrations de la batterie hybride sur les deux marchés, on remarque facilement que seul le premier et, éventuellement, le troisième scénario semblent rentables. Les six autres scénarios engendreraient inévitablement un échec. Cette constatation qui peut, à première vue, sembler alarmante est à relativiser.

En effet, si une certaine incertitude règne autour des variables pivots il n'est néanmoins pas impossible d'anticiper certaines tendances.

En ce qui concerne les risques autour de l'intégration, aucun problème n'a encore été rencontré à ce jour. Toutes les étapes jusqu'au produit final n'ayant pas encore été réalisées, une incertitude subsiste mais, selon monsieur Gohy, il est fort probable que l'intégration soit facile et se passe sans encombre. D'autant plus que la batterie hybride est fortement semblable aux batteries Li-ion actuelles facilitant ainsi son intégration dans les chaînes de productions déjà existantes.

A propos des produits substitués, on peut sur base du passé remarquer qu'il n'est pas aisé pour une nouvelle technologie de batterie de faire son apparition sur le marché. En effet,

depuis 1991 et la commercialisation de la première batterie Li-ion, peu de nouvelles technologies ont fait leur apparition sur le marché, et aucune n'est venue entacher la progression de la batterie Lithium-ion. Si la technologie hybride parvient à s'imposer sur le marché, le passé nous permet de croire que les chances de voir une technologie concurrentielle solide sont très faibles.

C'est au niveau du prix du polymère que subsiste la plus grande incertitude. Nous n'avons à ce jour que très peu d'informations. Il est évident qu'il faudra à l'avenir préciser ce prix tant il est essentiel à la détermination du prix du brevet.

3. Méthode et Résultats

Dans cette partie nous expliquons la méthode utilisée pour calculer la valeur économique de l'innovation que la batterie hybride apporte sur le marché. Pour ce faire, il faut se positionner du point de vue du producteur de polymère. L'objectif est de déterminer son avantage économique à produire le PTMA. Cette valeur économique est basée sur la valeur actualisée nette de tous les revenus et dépenses futurs du producteur s'étendant sur la durée de vie du brevet, c'est-à-dire sur 20 ans.

3.1 Calcul de l'avantage économique

Avant d'aborder dans le détail la méthode utilisée pour calculer les revenus et les dépenses, nous mentionnerons dans un premier temps les hypothèses de travail que nous avons dû faire afin de combler des informations qui n'étaient pas à notre portée. Il est évident que ces données restent approximatives et qu'une modification de celle-ci par un expert rendrait notre modèle plus réaliste.

3.1.1 Les hypothèses

Ci-dessous (Voir Figure 41) se trouve un tableau reprenant les hypothèses de travail les plus importantes que nous avons du faire. Il nous semble important d'en détailler certaines.

- Commençons par les MWh/appareils, pour des raisons de simplification nous supposons que les valeurs utilisées sont constantes dans le temps.

- Concernant la proportion de polymère dans une batterie, Argonne National Laboratory (2012) précise que le polymère liant constitue en moyenne 2,5% du poids total d'une batterie. Nous faisons donc l'hypothèse que la même proportion de PTMA sera présente dans les batteries hybrides.
- De la dernière hypothèse découle logiquement le nombre de g/KWh.
- Le prix de vente du nouveau composite polymère PTMA est très incertain car le coût de production de celui-ci reste actuellement inconnu. Celui-ci est basé sur le prix de vente du polymère liant présent habituellement dans les batteries Li-ion, le PVDF. Nous faisons ensuite l'hypothèse qu'il est raisonnable de majorer celui-ci de 20% en raison de l'avantage apporté par le PTMA. . Nous faisons l'hypothèse que le coût de production reste inférieur au prix de vente fixé.
- Les COGS et SG&A seront développés dans le détail ultérieurement.
- Les frais de R&D sont présents les trois premières années en vue d'amener la technologie à maturité et ainsi la commercialiser. N'étant qu'à l'état de prototype, nous supposons que 300000€ la première année puis 100000€ les deux suivantes seront nécessaires. Ces montants comprennent la mise en place d'un laboratoire et l'achat du matériel la première année ainsi que les salaires de deux chercheurs et un assistant à temps plein durant ces trois années. Par la suite, nous considérons sur base de Industryweek (2008) que 1% des revenus seront réinvestis en R&D l'année suivante pour maintenir la technologie à niveau.
- Sur base des investissements effectués par SOCAR (Interfax, 2015), nous supposons que 2.000.000€ d'investissements seront nécessaires pour la mise à niveau de l'usine et l'adaptation de la chaîne de production à la nouvelle technologie. Ces investissements permettraient de couvrir la demande en PTMA jusqu'en 2025, soit 5.500.000 Kg de polymère par années. Ces investissements sont réduits grâce au fait que le brevet sera vendu à une entreprise disposant déjà des infrastructures nécessaires, aucune usine de production ne devra donc être créée de toutes pièces. Dans le cas d'un scénario positif, l'usine ne serait plus capable de combler la demande à partir de 2025. Une nouvelle usine serait donc créée dès 2023 pour la somme de 10.000.000€ permettant d'étendre la production de polymère jusqu'à 9.000.000 de Kg comblant ainsi la demande jusqu'en 2034.

Hypothèses	
REVENUS	
Types	Valeur
croissance des marchés	voir partie marché
MWh/EV	0,025
MWh/PHEV	0,01
MWh/HEV	0,001
MWh/Téléphones	0,000005
MWh/Ordinateurs	0,00005
MWh/Tablettes	0,000029
Poids polymère dans batterie	2,5% poids total
g/MWh	55803,571
€/g de polymère	0,07 €
Pénétration sur le marchés	voir partie scénarios
DEPENSES	
Types	Valeur
COGS	74,27% des revenus
SG&A	14,44% des revenus
R&D 2015	300 000 €
R&D 2016	100 000 €
R&D 2017	100 000 €
R&D	1% des revenus
Investissements initiaux	2 000 000 €
Investissements supplémentaires	10 000 000 €
AUTRES	
Types	Valeur
WACC	8,28%

Figure 41 : Hypothèses de travail (Valuation, 2015).

3.1.2 Les revenus

La valeur actualisée nette se calcule par la différence entre les revenus futurs et les dépenses futures liés à la production du polymère. La première étape est donc le calcul des revenus. Celui-ci se fait de la manière suivante :

Equation des revenus de la production du polymère PTMA	
<i>Volume vente prévue (# produit)_t</i>	
<i>* MWh moyen par produit (MWh / # produit)_t</i>	
<i>* Quantité de PTMA pour produire un MWh (g / MWh)_t</i>	
<i>* Prix de vente du PTMA (€ / g)_t</i>	
<i>* Taux de pénétration (%)</i>	
= Revenus (€)_t	

Pour chaque année, nous partons de la prévision du volume de ventes des produits tirée de notre analyse des marchés et de leurs tendances futures. Pour le marché de l'automobile, nous nous baserons donc sur les prévisions de volume de ventes des véhicules EV, HEV et P-HEV. Ce seront les prévisions de volume de ventes des smartphones, des tablettes et des ordinateurs portables sur lesquelles se basera le calcul des bénéfices tirés de la vente du polymère au niveau du marché des appareils portables. Connaissant le nombre moyen de MWh nécessaire pour chaque appareil présent sur ces marchés, on peut trouver le volume de vente annuelle totale en MWh.

Nous connaissons le nombre de grammes de polymère nécessaires à la fabrication de la batterie hybride qui délivre 448 Wh/Kg. Sachant, sur base de nos hypothèses que 2,5% du poids de la batterie est dû au polymère, nous pouvons déterminer le nombre de grammes de polymère nécessaire pour répondre au volume de vente de produits finaux prévu sur chaque marché.

Ce volume de polymère représente le volume nécessaire pour répondre à 100% de la demande prévue. Répondre à 100% de la demande sous-entendrait que la technologie de batterie hybride soit la seule présente sur le marché et donc en position de monopole. Or ce n'est pas le cas. Ce volume doit être multiplié par le taux de pénétration de la technologie sur les marchés pour déterminer le volume effectif à produire. Le taux de pénétration à utiliser correspond au taux de pénétration le plus faible engendré par les trois variables selon le scénario.

Les revenus sont alors déterminés en multipliant ce volume mis à jour par le prix de vente du polymère tel qu'il a été fixé dans nos hypothèses.

3.1.3 Les coûts

La deuxième étape est la détermination de tous les coûts liés à la production du polymère. Ceux-ci sont divisés en quatre grandes catégories (Salviac, Vollet & Bernard, 2013) :

1. Les coûts des ventes ou coûts d'achat des marchandises vendues (Cost of Goods Sold - COGS)
2. Les coûts commerciaux et administratifs (Selling, Marketing, General & Administrative Expense - SG&A)

3. Les coûts de recherche et développement (R&D)

4. Les investissements

Les coûts des ventes des marchandises vendues incluent les coûts des matériaux utilisés pour créer le produit ainsi que les coûts de main d'œuvre liés à la production du produit (Scherer, 2006). Les coûts commerciaux et administratifs incluent tous les coûts directs et indirects liés à la vente du produit (main d'œuvre, promotion,...) et tous les coûts généraux et administratifs, notamment les frais de chauffage, de location ou de main d'œuvre du personnel exécutant.

Pour ces deux catégories de frais, nous nous sommes basés sur les chiffres présentés dans une base de données publiée par le NYU Stern School of Business (2015). Dans cette base de données sont représentées, en pourcentage du revenu, les parts de coût liées au COGS et au SG&A selon les industries. Nous avons pris les données relatives à l'industrie « Chemical (specialty) ». Nous avons donc 74,27% des revenus qui partent dans les COGS et 14,44% qui sont alloués aux SG&A.

Les frais de recherche et développement ainsi que les investissements ont déjà fait l'objet d'une explication dans la sous-section des hypothèses.

3.1.4 La VAN

Une fois les revenus et les dépenses calculées, la soustraction des dépenses aux revenus donne les bénéfices ou pertes de cette année. Ce calcul est effectué pour les 20 années futures ce qui nous permet de voir l'évolution des bénéfices futurs. Les tableaux représentant les calculs seront présentés dans la section suivante

La valeur actuelle nette de ces bénéfices futurs peut alors être calculée comme suit :

$$VAN = \sum_{t=1}^{20} \frac{(Revenus - Coûts)_t}{(1 + r)^t}$$

Où,

r = Taux d'actualisation

t = Année

Le taux d'actualisation choisi est le WACC moyen du marché des « Chemicals (specialty) » qui est établi à 8,28%. Cette donnée à une nouvelle fois été tirée des bases de données publiées par le NYU Stern School of Business (2015).

INFLUENCE DES RESULTATS DANS LA NEGOCIATION

La prochaine étape dans le cadre du développement de la batterie hybride est la négociation de la vente de licence ou du brevet de la production de PTMA. La section précédente expliquait la méthode utilisée pour valoriser le brevet ainsi que les éléments clé qui influencent cette valorisation.

Cette dernière section présente les résultats de notre analyse de la valorisation selon les différents scénarios établis. En plus de cela, elle donne un cadre de travail pour une négociation au cas où un fabricant de polymère serait un jour intéressé dans la production du PTMA.

Finalement nous formulerons certaines recommandations qui pourraient être bénéfique quant à l'amélioration de notre analyse. Cela dans le but final de renforcer la position de l'UCL dans les négociations futures.

1. Résultats de l'analyse de valorisation

Les méthodes de calcul des valeurs économiques potentielles du brevet ont été expliquées dans la section précédente. Ces valeurs calculées dépendent de l'évolution dans le futur des variables pivots établies sur base de jugements personnels et des informations recueillies durant l'élaboration de ce mémoire. Parmi l'ensemble des variables qui influencent le taux de pénétration de la technologie sur les marchés analysés, les variables pivots ont été sélectionnées car elles étaient celles présentant le plus grand degré d'incertitude.

C'est cette incertitude autour de l'évolution de ces variables pivots qui nous a poussés à construire des scénarios. Ceux-ci représentent toutes les combinaisons vraisemblables d'évolution de ces variables pivots.

Dans chaque scénario donc, les événements autour de ces variables pivots se déroulent de manières différentes. L'avenir étant différent selon chacun des scénarios, la valeur économique du brevet est donc, elle aussi, différente dans chacun des cas.

Nous avons décidé de regrouper les huit scénarios existants en 2 cas de figures distincts. Le premier comprend tous les scénarios générant une valeur actualisée nette positive. Le second les scénarios entraînant une négative.

1.1 Scénarios à VAN positive

Les scénarios qui présentent une valeur actualisée nette positive sont les scénarios pour lesquels le projet serait effectivement mis en place. C'est à dire que le producteur de matériaux tirerait des revenus de la production du PTMA et aurait donc un intérêt à lancer cette production.

On distingue dans ce premier cas de figure deux scénarios dont la valeur actualisée nette est positive.

1.1.1 Positif modéré

Dans ce scénario, deux des trois variables pivots suivent une évolution optimiste tandis que la dernière suit une évolution pessimiste. Le prix du polymère reste en deçà de ce que les consommateurs sont prêts à payer et l'intégration de la technologie dans les produits finaux

se fait sans problème. Mais un produit substitut apparaît, ce qui va faire chuter les ventes de la batterie hybride jusqu'à arriver à un volume de vente nul en 2026. Néanmoins, des revenus ont été tirés des premières années de vente et la valeur actualisée nette de ceux-ci vaut 17.902.469,23€ (Voir Figure 42).

Cette valeur correspond donc à la valeur totale du brevet sur le nouveau procédé de production du composite polymère conducteur PTMA.

	Catégories	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	...
Revenus	EV	0	0	0	2 624 465	5 603 230	13 671 875	26 476 361	45 940 586	37 365 952	13 507 440	7 324 219	0	...
	PHEV	0	0	0	482 657	1 074 614	2 734 375	5 145 869	8 676 955	6 858 313	2 409 266	1 269 531	0	...
	HEV	0	0	0	592 077	1 190 206	2 734 375	5 222 707	8 938 018	7 170 148	2 556 422	1 367 187	0	...
	Téléphones	0	0	0	909 262	2 398 180	5 060 159	9 075 395	15 206 626	11 883 697	6 268 650	3 306 713	0	...
	Ordinateurs	0	0	0	959 650	2 495 089	5 189 785	9 175 540	15 155 833	11 675 605	6 071 314	3 157 083	0	...
	Tablettes	0	0	0	717 241	1 962 745	4 296 875	7 872 859	13 476 533	10 759 083	5 797 972	3 124 474	0	...
	TOTAL	0	0	0	6 285 351	14 724 062	33 687 444	62 968 732	107 394 552	85 712 797	36 611 064	19 549 208	0	...
Dépenses	COGS	0	0	0	4 668 130	10 935 561	25 019 665	46 766 877	79 761 934	63 658 894	27 191 037	14 519 197	0	...
	SG&A	0	0	0	907 605	2 126 155	4 864 467	9 092 685	15 507 773	12 376 928	5 286 638	2 822 906	0	...
	R&D	300 000	100 000	100 000	62 854	147 241	336 874	629 687	1 073 946	857 128	366 111	195 492	0	...
	Investissements	0	2 000 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...
	TOTAL	300 000	2 100 000	100 000	5 638 588	13 208 956	30 221 006	56 489 249	96 343 653	76 892 950	32 843 785	17 537 595	0	...
Bénéfices		-300 000	-2 100 000	-100 000	646 763	1 515 106	3 466 438	6 479 482,49	11 050 899,40	8 819 846,79	3 767 278,44	2 011 613,51	0	...
VAN														17 902 469,23 €

Figure 42 : Tableau de calcul de la VAN dans le cas positif modéré (Valuation, 2015).

1.1.2 Positif

Ce scénario-ci présente celui où les trois variables pivots suivent une évolution optimiste. Il s'agit donc du cas où le prix correspond aux attentes du marché, où l'intégration de la technologie dans les produits finaux se fait sans encombre et, enfin, où aucun produit substitut n'est parvenu à se faire une place sur ces marchés. Dans de telles conditions, le fabricant de PTMA pourrait faire des bénéfices durant les 20 prochaines années équivalant à 135.452.803,83€, correspondant ainsi à la valeur potentielle du brevet (Voir Figure 43).

	Catégorie	2015	2016	2017	2018	2019	2020	...	2030	2031	2032	2033	2034
Revenus	EV	0	0	0	2 624 465	5 603 230	13 671 875	...	197 753 904	214 458 527	232 574 218	252 220 175	273 525 659
	PHEV	0	0	0	482 657	1 074 614	2 734 375	...	29 707 031	31 307 466	32 994 123	34 771 647	36 644 933
	HEV	0	0	0	592 077	1 190 206	2 734 375	...	34 453 125	36 851 420	39 416 661	42 160 470	45 095 276
	Téléphones	0	0	0	909 262	2 398 180	5 060 159	...	45 180 049	45 631 850	46 088 168	46 549 050	47 014 541
	Ordinateurs	0	0	0	959 650	2 495 089	5 189 785	...	43 135 644	43 567 001	44 002 671	44 442 697	44 887 124
	Tablettes	0	0	0	717 241	1 962 745	4 296 875	...	44 845 738	45 742 653	46 657 506	47 590 656	48 542 469
	TOTAL	0	0	0	6 285 351	14 724 062	33 687 444	...	395 075 492	417 558 916	441 733 347	467 734 694	495 710 002
Dépenses	COGS	0	0	0	4 668 130	10 935 561	25 019 665	...	293 422 568	310 121 007	328 075 357	347 386 557	368 163 818
	SG&A	0	0	0	907 605	2 126 155	4 864 467	...	57 048 901	60 295 507	63 786 295	67 540 890	71 580 524
	R&D	300 000	100 000	100 000	62 854	147 241	336 874	...	3 950 755	4 175 589	4 417 333	4 677 347	4 957 100
	Investissements	0	2 000 000	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0
	TOTAL	300 000	2 100 000	100 000	5 638 588	13 208 956	30 221 006	...	354 422 223	374 592 103	396 278 986	419 604 794	444 701 443
Bénéfices		-300 000	-2 100 000	-100 000	646 763	1 515 106	3 466 438	...	40 653 268	42 966 812	45 454 361	48 129 900	51 008 559
VAN													135 452 803,83 €

Figure 43 : Tableau de calcul de la VAN dans le cas positif (Valuation, 2015).

1.2 Scénarios à VAN négative

Ce cas de figure reprend les six autres scénarios, tous ont en commun de générer une valeur actualisée nette négative, rendant ainsi la production inintéressante pour le fabricant de PTMA. Plusieurs raisons peuvent expliquer cela. Une première est que la technologie n'a jamais pu être intégrée dans les produits finaux, entraînant ainsi une perte nette équivalente aux frais de recherche et développement (Voir Figure 44). Une deuxième est que malgré la commercialisation de la technologie, l'attrait des consommateurs finaux pour celle-ci est restée faible à cause de son prix trop élevé. Le peu de bénéfices générés n'a jamais pu dépasser les frais de recherche et développement et investissements encourus (Voir Figure 45).

Catégories		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Revenus	EV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PHEV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	HEV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Téléphones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ordinateurs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tablettes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dépenses	COGS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SG&A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R&D	300000	100000	100000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Investissements	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	300000	100000	100000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bénéfices		-300000	-100000	-100000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VAN		-441 119,52 €																			

Figure 44 : Tableau de calcul de la VAN dans le premier cas négatif (Valuation, 2015).

Catégories		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Revenus	EV	0	0	0	2 624 465	1 600 923	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PHEV	0	0	0	482 657	307 032	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	HEV	0	0	0	592 077	340 059	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Téléphones	0	0	0	909 262	479 636	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ordinateurs	0	0	0	959 650	499 018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tablettes	0	0	0	717 241	392 549	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	0	0	0	6 285 351	3 619 217	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dépenses	COGS	0	0	0	4 668 130	2 687 992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SG&A	0	0	0	907 605	522 615	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R&D	300000	100000	100000	62 854	36 192	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Investissements	0	2000000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	300000	2100000	100000	5 638 588	3 246 799	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bénéfices		-300000	-2100000	-100000	646 763	372 417	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VAN		-1 426 248,23 €																			

Figure 45 : Tableau de calcul de la VAN dans le second cas négatif (Valuation, 2015).

1.3 Interprétation des résultats dans le cadre de la négociation

L'objectif de l'UCL est d'obtenir de la part de l'acheteur un montant se rapprochant le plus possible de la VAN. Mais bien évidemment l'acheteur va négocier pour réduire au maximum ce montant. Notre estimation donne donc à l'UCL une valeur de départ sur laquelle baser la négociation.

Concernant les scénarios pour lesquels la VAN est négative, il est clair qu'aucun producteur de matériaux n'investirait dans ce type de projet. Celui-ci serait donc abandonné, le brevet resterait invendu et l'UCL ne retirerait aucun revenu de cette innovation.

2. Recommandations

Au-delà de la valeur économique du brevet qui est l'élément principal de la négociation autour d'une vente de licence ou d'une revente de brevet, d'autres éléments sont aussi à prendre en compte. Cette partie s'attarde sur les différents paramètres qui auront aussi une influence lors de la négociation future.

Cette réflexion sur les différents paramètres importants et leur influence sur la valeur du brevet permet de poser un cadre de travail pour la négociation future entre les détenteurs des droits exclusifs sur le brevet de production du polymère PTMA et les acheteurs potentiels de la licence ou du brevet.

Une dernière partie sera consacrée à la pertinence du choix de vente de licence ou de revente complète du brevet.

2.1 La réalisation des scénarios

L'établissement des scénarios qui ont été utilisés pour déterminer les évolutions possibles de l'avenir et donc les différentes valorisations possibles du brevet s'est fait sur base de notre jugement personnel. Celui-ci se base sur nos recherches et nos connaissances générales en rapport avec le marché des batteries ainsi que l'évolution de la technologie. Néanmoins, il est clair que nous ne détenons pas les connaissances suffisantes pour faire des prévisions suffisamment fondées.

L'avis d'experts est donc une nécessité afin d'anticiper les scénarios les plus ayant le plus de chance de se produire. Par leurs connaissances, ils pourront définir de manière plus réaliste les chances qu'auront ces scénarios de se produire. Cela améliorera la précision de l'analyse de la valorisation du brevet.

2.2 Les informations qui réduisent l'incertitude

Dans la section précédente, trois variables pivots ont été établies pour élaborer des scénarios. Cette méthode a été utilisée en raison de l'incertitude importante qui entourait ces variables.

Mais cette incertitude peut être drastiquement diminuée. En effet, l'acheteur potentiel ayant fait son étude de faisabilité, il aura déterminé le coût de production du polymère. Celui fixé, une variable pivot peut être éliminée et l'avenir devient alors moins incertain. Aussi, les éventuels problèmes d'intégration de la technologie dans les différents produits peuvent être déterminés durant cette étude de faisabilité. Cela diminuerait encore l'incertitude autour d'une deuxième variable pivot.

Tous ces éléments permettent de mettre à jour les calculs effectués pour déterminer la valeur du brevet. Les résultats obtenus seront alors beaucoup plus fiables et les bases de la négociation plus réaliste.

2.3 L'exploration d'autres marchés

Lors de notre analyse de la valorisation du brevet, nous nous sommes concentrés sur les deux marchés principaux des batteries rechargeables. Mais il ne faut toutefois pas ignorer les autres marchés existants ou non-existants. En effet, il est possible que la technologie de batterie hybride soit parfaitement adéquate avec les besoins d'un marché plus petit en taille. Il se peut que négliger cette source de revenu soit une erreur si la batterie hybride occupe une grande part de ce marché.

Pour prendre un exemple, le marché à peine naissant des batteries de foyer se rechargeant via les panneaux solaires pourrait profiter de cette caractéristique de charge rapide. Sous certaines conditions cela permettrait de recharger complètement la batterie même lors de courtes périodes d'exposition.

2.4 La vente ou licence du brevet

La question de savoir s'il est plus intéressant de vendre le brevet ou de vendre une licence se discute durant la négociation entre les deux parties. Néanmoins, certains éléments peuvent aider les détenteurs de la propriété du brevet à se décider.

En effet, par exemple, selon que l'acheteur a une influence plus ou moins grande sur le marché la stratégie de revente changera. Si l'acheteur a une grande influence et est capable de toucher l'ensemble du marché, il sera prêt à payer un prix élevé car il pourra tirer un revenu élevé. La stratégie la plus intéressante est donc la revente complète du brevet. Si par contre, l'acheteur n'a pas les capacités pour toucher l'ensemble du marché, il ne voudra pas payer la totalité de la valorisation du brevet. Dans ce cas, la stratégie de vente d'une licence est plus adéquate. Après quelques années, un point est fait pour voir l'acceptation ou non de la technologie par le marché. S'il apparaît que la technologie est acceptée mais que l'acheteur ne parvient pas à satisfaire toute la demande, il est encore possible de revendre la licence à un autre acheteur potentiel ayant la capacité de toucher une plus grande part du marché et ainsi augmenter le revenu tiré de cette licence.

CONCLUSION

L'objectif principal de ce mémoire était d'effectuer une estimation de la valeur économique du brevet portant sur le nouveau procédé de production du composite polymère conducteur PTMA. Cela dans le but d'établir le prix de vente potentiel de celui-ci et donc les revenus potentiels que l'UCL et les autres détenteurs des droits exclusifs pourraient tirer de cette innovation.

En premier lieu, les marchés les plus intéressants sur lesquels la batterie hybride pourrait être vendue ont été déterminés. Ensuite, nous nous sommes attardés sur le taux de pénétration que la batterie hybride pourrait avoir sur ces différents marchés dans les années futures. Pour cela, nous nous sommes intéressés aux variables qui ont une influence sur ce taux de pénétration et qui présentaient la plus grande incertitude quant à leur évolution future. Afin de répondre à l'incertitude entourant le développement commercial d'une technologie innovante, des scénarios ont été développés autour de ces variables pour envisager les différentes évolutions possibles du futur.

Un modèle financier a ensuite été élaboré pour estimer la valeur économique du brevet. Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode des revenus qui permet d'établir la valeur du brevet sur base des estimations des bénéfices futurs qu'il devrait générer. Pour cette méthode, l'ensemble des revenus et dépenses annuels futurs ont été estimés et une valeur actualisée nette (VAN) des bénéfices futurs a été calculée. Le résultat de notre modèle financier indique que sur une période de 20 ans, la VAN du projet est de 135.452.803,83€ dans le cas où tous les scénarios suivent une évolution optimiste.

Cette analyse de la valeur économique du brevet avait pour but d'établir un cadre de travail sur lequel les deux parties pouvaient se baser lors de la négociation de la revente complète du brevet ou d'une licence de celui-ci. Au-delà de ça, nous avons exprimé des recommandations adressées aux détenteurs des droits du brevet afin qu'ils puissent renforcer leurs positions dans la négociation. Notamment l'importance de la réévaluation des hypothèses de travail que nous avons établies sur base de nos connaissances personnelles.

Ce mémoire permet donc à l'UCL et aux autres détenteurs des droits exclusifs sur le brevet d'avoir une base de calcul de la valeur de celui-ci. A côté de cela, il est nécessaire que ces détenteurs des droits soient attentifs à la meilleure stratégie de revente à adopter (revente complète ou vente de licence) selon l'acheteur potentiel engagé dans la négociation. Aussi, il est nécessaire de garder à l'esprit la potentielle évolution d'autres marchés sur lesquels la batterie hybride pourrait être intégrée.

BIBLIOGRAPHIE

- Anson, W., Suchy, D., & Ahya, C. (2005). *Intellectual Property Valuation: A Primer for Identifying and Determining Value*. Chicago : The American Bar Association.
- Arval (2010). Tout savoir sur les véhicules électriques. Repéré à http://www.arval.be/docs/Arval_Brochure_FR_finaal.pdf.
- Avere-France (2014). *L'histoire du véhicule électriques*. http://www.aver-france.org/Site/Article/?article_id=5871 (Consulté le 10/05/2015).
- Barrand, J. (2012). *Le manager agile – agir autrement pour la survie des entreprises*. Paris : Dunod.
- Batmanian, L., Ridge, J. & Worrall, S. (2011). *Biochemistry for Health Professionals*. Elsevier Australia.
- Belgian Federal Government (2013). *Durée de validité, renonciation, révocation, déchéance et annulation du brevet*. http://economie.fgov.be/fr/entreprises/propriete_intellectuelle/Brevets/Duree_valide_decheance_annulation_brevet/#.VcKeaJPtmkp (consulté le 22/05/2015).
- Buchmann, I. (2015). *BU-209: How does a Supercapacitor Work?*. http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_role_of_the_supercapacitor (Consulté le 08/05/2015).
- Buchmann, I. (2015). *BU-107: Comparison Table of Secondary Batteries*. http://batteryuniversity.com/learn/article/secondary_batteries (Consulté le 08/05/2015).
- Buchmann, I. (2015). *BU-205: Types of Lithium-ion*. http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion (Consulté le 08/05/2015).
- Bullis, K. (2015). *Advance Doubles the Longevity of High-Energy Electric Car Batteries*. <http://www.technologyreview.com/news/534446/advance-doubles-the-longevity-of-high-energy-electric-car-batteries/> (consulté le 17/05/2015).

- Chan C. & Chau K. (2001). *Modern Electric Vehicle Technology*. Oxford : Oxford University Press.
- Crompton, T. (2000). *Battery Reference Book*. Newnes.
- Dell, R. & Rand, D. (2001). *Understanding Batteries*. Royal Society of Chemistry.
- Dunn, J.B., Gaines, L., Barnes, M., Sullivan, J., & Wang, M. (2012). *Material and Energy Flows in Materials Production, Assembly, and End-of-Life Stages of the Automotive Lithium-Ion Battery Life Cycle*. Pennsylvanie : Argonne National Laboratory.
- Electricroad (2014). *Batteries des voitures électriques*. <http://www.electric-road.com/energie-embarquees/batteries> (Consulté le 15/05/2015).
- Evobsession (2014). *Electric car 2014 – list*. <http://evobsession.com/electric-cars-2014-list/> (Consulté le 04/04/2015).
- Flignor, P., & Orozco, D. (2006). *Intangible asset & Intellectual Property Valuation : A multidisciplinary Perspective*. Bulletin d'information de l'OMPI sur les PME.
- Fréry, F. (2009). Les postures stratégiques face à l'incertitude : *L'Expansion Management Review*, 2 (133), 20-27.
- Gartner (2015). *Smartphone Sales Surpassed One Billion Units in 2014*. <http://www.gartner.com/newsroom/id/2996817> (Consulté le 08/05/2015).
- Gélinier, O. (1966). *Le Secret des structures compétitives*. Edition Hommes et techniques.
- Girishkumar, G., McCloskey, B., Luntz, A. C., Swanson, S. & Wilcke, W. (2010). *Lithium-Air Battery: Promise and Challenges*. The Journal of Physical Chemistry Letters.
- Godet, M. (1991). *De l'anticipation à l'action*. Paris : Dunod.
- Gsmarena (2015). *All mobile phone brands*. <http://www.gsmarena.com/makers.php3> (Consulté le 11/05/2015).

- IDC (2015). *PC Leaders Continue Growth And Share Gains As Market Remains Slow*. <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS25372415> (Consulté le 08/05/2015).
- IDC (2015). *Worldwide Tablet Shipments Experience First Year-Over-Year Decline in the Fourth Quarter While Full Year Shipments Show Modest Growth*. <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS25409815> (Consulté le 08/05/2015).
- Imanishi, N., Luntz, A. & Bruce, P. (2014). *The Lithium Air Battery: Fundamentals*. Springer Science & Business Media.
- Investopedia (2015). *Cost of Capital – Weighted Average Cost of Capital (WACC)*. <http://www.investopedia.com/walkthrough/corporate-finance/5/cost-capital/wacc.aspx> (Consulté le 19/06/2015).
- Interfax (2015). *Construction of SOCAR Polymer plant to cost \$700 mln*. <http://www.interfax.com/newsinf.asp?pg=11&id=584879> (Consulté le 25/06/2015).
- Johnson, G., Scholes, K., Whittington R., & Fréry F. (2008). *Stratégique*. France : Pearson Education.
- Jossen, A. & Wohlfahrt-Mehrens, M. (2007). Overview on current status of lithium-Ion batteries. Repéré à http://www.lifepo4.info/Battery_study/Batteries/Overview_on_current_status_of_lithium-Ion_batteries.pdf.
- Kiehne, H.A. (2003). *Battery Technology Handbook*. Boca Raton : CRC Press.
- Liu, R., Duay, J., & Lee, S. (2011). *Heterogeneous nanostructured electrode materials for electrochemical energy storage*. Chemical communications, 47, 1384–1404.
- Loi sur les brevets d'invention. (1984). Repéré à <http://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/fr/be/be031fr.pdf>.
- Louvain Technology Transfer Office (s.d.). *Favoriser l'éclosion des technologies issues des laboratoires de recherche de l'Université*. <http://www.ltto.com/fr/maturation> (consulté le 25/05/2015).

- Madou, M. (2011). *From MEMS to Bio-MEMS and Bio-NEMS: Manufacturing Techniques and Applications*. CRC Press.
- Maguin, Q. (2013). *Synthèse de copolymères à blocs porteurs de groupements nitroxydes pour la formation de cathodes micellaires*. Mémoire de master en sciences chimiques non publié, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve.
- Masquillier, J-F. (2013). *Aluminum Nanoparticles as New Constituents in Lithium-ion Battery Cathode*. Mémoire de master en sciences chimiques non publié, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve.
- Meinert, S. (2014). *Field manual – Scenario building*. Bruxelles : European Trade Union Institute.
- MIT Electric Vehicle Team (2008). A Guide to Understanding Battery Specifications. Repéré à http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf.
- NYU Stern School of Business (2015). Wacc Global. Repéré à <http://people.stern.nyu.edu/adamodar/pc/datasets/>.
- NYU Stern School of Business (2014). uValuedataJan2014. Repéré à <http://people.stern.nyu.edu/adamodar/pc/datasets/>.
- Oswal, M., Paul, J. & Zhao, R. (2010). A comparative study of Lithium-Ion Batteries. Repéré à http://www-scf.usc.edu/~rzhao/LFP_study.pdf.
- Pillot C. (2015). *The Rechargeable Battery Market and Main Trends 2014 – 2025*. Communication présentée au 32e International Battery Seminar & Exhibit, Fort Lauderdale.
- Pillot C. (2014). *Battery Market Development for Consumer Electronics, Automotive, and Industrial*. Communication présentée au 31e International Battery Seminar & Exhibit, Nice.
- Prensier, J-L. (2013). *Annexe : Principe de fonctionnement et constituants d'une batterie*. <http://www.si.ens->

cachan.fr/accueil_V2.php?id=8&numannexe=6&page=affiche_ressource&page2=annexe (Consulté le 12/05/2015).

- Prnewswire (2014). *Global Polyvinylidene Fluoride (PVDF) (Chemical Processing, Construction, New Energies, and Oil & Gas) Market by End User Industry & by Application – Trends Forecasts to 2019*. <http://www.prnewswire.com/news-releases/global-polyvinylidene-fluoride-pvdf-chemical-processing-construction-new-energies-and-oil-gas-market-by-end-user-industry-by-application---trends-forecasts-to-2019-259249411.html> (Consulté le 11/05/2015).
- Pugatch, P. (2004). *The International Political Economy of Intellectual Property Rights*. Northampton : Edward Elgar Publishing Limited.
- RolandBerger. (2011). Automotive Landscape 2025 : Opportunities and challenges ahead. Repéré à http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Automotive_Landscape_2025_E_20110228.pdf.
- Sadoway, D. (2012). *The missing link to renewable energy*. Repéré à http://www.ted.com/talks/donald_sadoway_the_missing_link_to_renewable_energy?language=en.
- Salviac, E., Vollet, C-H., & Bernard F. (2013). *Performance et création de valeur de la fonction achats*. Paris : Maxima Laurent Du Mesnil Edit.
- Santhanagopalan, S., Smith, K., Neubauer, J., Kim, G., Pesaran, A. & Keyser, M. (2014). *Design and Analysis of Large Lithium-Ion Battery Systems*. Artech House.
- Simon, P., & Gogotsi, Y. (2008). *Materials for electrochemical capacitor*. Nat. Mater., 7 (11), 845 – 854.
- Sommer, S., Loch, C., & Dong, J. (2009). Managing Complexity and unforeseeable Uncertainty in Startup Companies : *an Empirical Study*, 20(1), 118-133.
- SPF Economie (2013). *Durée de validité, renonciation, révocation, déchéance et annulation du brevet*.

http://economie.fgov.be/fr/entreprises/propriete_intellectuelle/Brevets/Duree_valide_decance_annulation_brevet/#.VYmkHPntmko (Consulté le 19/06/2015).

- Tarascon, J., Armand, M. (2001). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature*, 414, 359–367.
- Thackray, A., Brock, D. & Jones, R. (2015). *Moore's Law: The Life of Gordon Moore, Silicon Valley's Quiet Revolutionary*. New York : Basic Book.
- The Guardian (2013). *Tablets will challenge PC sales by 2017 as Android passes iPad, says IDC*. <http://www.theguardian.com/technology/2013/mar/13/tablets-challenge-pc-sales-2017-android> (Consulté le 04/05/2015).
- Trendforce (2015). *Notebook Shipments Totaled 175 M with HP at Number One and Apple Having the Highest Growth*. <http://press.trendforce.com/node/view/1821.html> (Consulté le 08/05/2015).
- Université Catholique de Louvain (2012). *Règlement en matière de propriété, de protection et de valorisation des résultats des recherches réalisées au sein de l'UCL*. <http://www.uclouvain.be/393204.html> (Consulté le 23/05/2015).
- Value Chain. (s.d.). Dans *Wikipédia, l'encyclopédie libre*. Repéré le 15/05/2015 à https://en.wikipedia.org/wiki/Value_chain.
- Vlad, A. et Gohy, J-F. Procédé de préparation d'un composite polymère conducteur. Brevet WO2015032951 A1 [en ligne]. 12 mars 2015. Disponible sur : <https://www.google.be/patents/WO2015032951A1?cl=fr&dq=ininventor:%22Alexandru+VLAD%22&hl=en&sa=X&ved=0CC8Q6AEwAmoVChMIhJ7ynuSMxwIVzG8UCh1jpQgm> (22/05/2015).
- Vlad, A., Gohy, J-F. et Melinte, S. Électrode hybride pour une batterie secondaire à électrolyte non aqueux. Brevet WO 2015032950 A1 [en ligne]. 12 mars 2015. Disponible sur : <https://www.google.be/patents/WO2015032950A1?cl=fr&dq=ininventor:%22Alexan>

[dru+VLAD%22&hl=en&sa=X&ved=0CC0Q6AEwAmoVChMIvrj3lY2TxwIVCW0UCh21CgHC](#) (22/05/2015).

- Vlad, A. et al. Hybrid supercapacitor-battery materials for fast electrochemical charge storage. Sci. Rep. 4, 4315; DOI:10.1038/srep04315 (2014).
- Yoshio, M., Brodd, R. & Kozawa, A. (2010). *Lithium-Ion Batteries: Science and Technologies*. Berlin : Springer Science & Business Media.