HAL
open science

Comparaison entre batterie d'énergie et batterie de puissance pour l'application véhicule électrique

Julien Dauchy, Daniel Chatroux

To cite this version:

Julien Dauchy, Daniel Chatroux. Comparaison entre batterie d'énergie et batterie de puissance pour l'application véhicule électrique. EPF2010 - Electronique de Puissance du Futur, Jun 2010, Nantes, France. cea-03293173

HAL Id: cea-03293173

https://cea.hal.science/cea-03293173

Submitted on 20 Jul 2021

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

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

Comparaison entre batterie d'énergie et batterie de puissance pour l'application véhicule électrique

Julien DAUCHY, Daniel CHATROUX
CEA Grenoble DETH/LIGE,
17, rue des Martyrs
38054 Grenoble Cedex 9
julien.dauchy@cea.fr

En 2008, une présentation sur le retour d'expérience des véhicules électriques produits en France depuis les années 1995 avait montré le niveau très faible de la fiabilité des batteries, qui amenait à un coût d'usage prohibitif, trois fois plus élevé qu'un véhicule thermique. Depuis, les batteries d'origine ont été remplacées par des batteries au lithium à base de phosphate de fer qui présentent des hauts niveaux de sécurité. Cette nouvelle batterie est une batterie de puissance. Cette présentation est une comparaison entre les performances de cette batterie de puissance et une batterie d'énergie ayant le même format. La capacité spécifiée de la batterie d'énergie est 39 % plus élevée que la batterie de puissance. Cependant, pour une décharge en moins d'une heure, telle que nécessaire sur véhicule, l'énergie délivrée est bien plus faible à cause de la résistance interne et de pertes additionnelles visibles sur le cycle d'hystérésis de charge décharge. A température ambiante, le gain réel est faible. A basse température, la batterie de puissance est la plus performante.

I. INTRODUCTION

En 2008, une présentation sur le retour d'expérience des véhicules électriques produits en France depuis les années 1995 avait montré le niveau correct des performances de l'électronique de puissance et des chaines de traction des véhicules. Cette présentation avait par contre montré le niveau très faible de la fiabilité des batteries. Ceci amenait à un coût d'usage prohibitif, trois fois plus élevé qu'un véhicule thermique. Depuis, sur notre véhicule de démonstration, qui est une AX électrique, les batteries d'origines ont été remplacées par des batteries lithium à base de phosphate de fer de puissance qui présentent des hauts niveaux de sécurité. Dans cette AX, les trois packs d'origine ont été remplacés par deux packs accueillant chacun 800 petits éléments au format 26650 [1].

Cette présentation compare les résultats de cette nouvelle batterie de puissance avec une batterie d'énergie de même format, mais de plus grande capacité afin de les comparer par rapport aux besoins des véhicules électriques.

La conclusion sera extrapolée à d'autres types de véhicules.

II. LITHIUM ION A BASE DE PHOSPHATE DE FER

Il existe deux types d'accumulateur Lithium. Le premier est le Lithium métal. Son électrode négative est composée de Lithium sous forme métallique. Cette technologie comporte des problèmes importants de sécurité du fait de la réactivité du Lithium métal qui est pyrophorique.

Sur le second type, appelé Lithium ion, le Lithium est présent uniquement sous forme ionique.

Les accumulateurs de technologie Lithium ion sont constitués des éléments suivants :

- un feuillard de cuivre, sur lequel est déposé une couche de carbone sous forme graphite, qui constituera l'électrode négative
- un séparateur poreux imprégné d'électrolyte
- un feuillard d'aluminium sur lequel est déposé un autre matériau, initialement de l'oxyde de Cobalt, qui constituera l'électrode positive

La réaction électrochimique correspond à l'intercalation des ions Lithium, soit dans le graphite soit dans l'autre matériau.

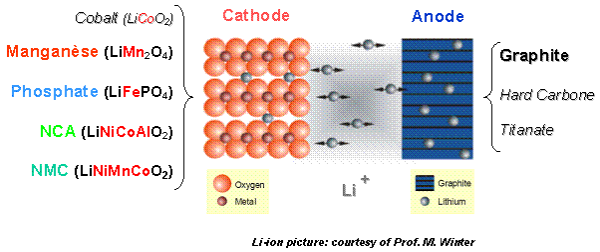

Figure 1 : Principe des accumulateurs Lithium ion

Le Lithium est toujours sous forme ionique. Il n'y a pas de dépôt de Lithium sous forme métal dans cette technologie de batterie. On a donc une meilleure sécurité intrinsèque.

Contrairement aux autres accumulateurs, les accumulateurs Lithium ion ne sont pas liés à un couple électrochimique. Tout matériau pouvant accueillir en son sein des ions lithium peut être à la base d'un accumulateur Lithium ion [2]. Ceci explique la profusion de variantes existantes.

Parmi les différentes technologies d'accumulateurs Lithium ion, celle à base de phosphate de Fer est celle qui présente le plus haut degré de sécurité intrinsèque.

Ce n'est pas la technologie ayant les meilleurs résultats en termes d'énergie massique et d'énergie volumique, mais nous avons privilégié la sécurité pour l'utilisateur.

Contrairement aux technologies utilisant de l'oxyde de Cobalt ou des oxydes mixtes de Cobalt qui présentent une décomposition de cet oxyde à faible température et des réactions chimiques exothermiques avec les autres

constituants de l'accumulateur, le phosphate de Fer présente une grande stabilité en température.

Par exemple, lors des défauts surcharge ou de court-circuit, sur les accumulateurs que nous utilisons, on observe que la surpression interne donne lieu à l'ouverture d'une soupape de sécurité par découpe du boîtier, sans réaction de feu ni fumés (fig. 2).

Figure 2 : Ouverture boîtier par surpression interne

Les dégâts provoqués par une surcharge ou un court-circuit sont donc minimes et très rassurant pour la sécurité de l'utilisateur du véhicule.

III. BATTERIE DE PUISSANCE ET BATTERIE D'ENERGIE

Il existe deux types de batteries qui sont appelés batterie de puissance et batterie d'énergie.

On peut trouver les deux types avec une même technologie de batterie. Cela dépend de la fabrication et du choix du constructeur.

Batterie d'énergie

Sur les batteries d'énergie de technologie Lithium ion, les couches de carbone sur le feuillard de cuivre et l'autre matériau (phosphate de fer dans notre cas) sur le feuillard d'aluminium sont épaisses et permettent le stockage de beaucoup d'énergie. L'enduction est donc épaisse sur ce type de batterie.

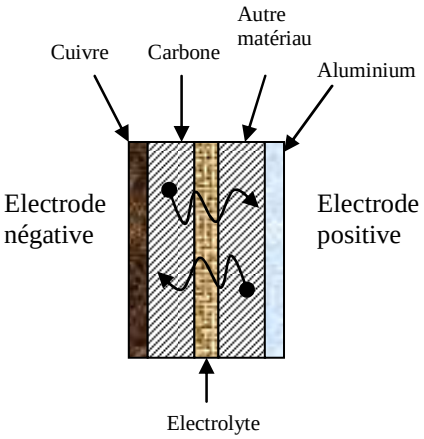

Figure 3 : Schéma représentatif de la composition d'une batterie Lithium ion

Les batteries dites d'énergie ne sont pas capable de délivrer de très forts courants. Leurs pertes seraient trop importantes et l'échauffement conséquent. En revanche leur capacité nominale est plus importante que les batteries de puissance.

Batterie de puissance

Contrairement aux batteries d'énergie, l'enduction des batteries de puissance est fine. Cela permet une pénétration et une intercalation des ions Lithium très rapide. En revanche la capacité stockée est donc plus faible.

Les batteries de puissance sont capables de délivrer de très fort courants pouvant dépasser 20 fois leur capacité nominale sans trop de pertes ni de dégagement de chaleur. Les accumulateurs Lithium phosphate de Fer sont également capables d'être rechargées rapidement sans détérioration de performance avec un faible impact sur la durée de vie. Beaucoup d'autres accumulateurs même de puissance n'acceptent pas la charge rapide. Ils sont de forte puissance, mais à la décharge seulement.

IV. DESCRIPTION DES DEUX TYPES DE BATTERIES COMPAREES

Les deux types de batteries ont exactement les mêmes dimensions et la même forme cylindrique. Ce sont des batteries de type 26 650 (diamètre 26 mm, longueur 65 mm) et de technologie Lithium Fer Phosphate ($LiFePO_4$).

Le tableau suivant présente leurs spécifications respectives :

Tableau 1 :

	Batterie de puissance	**Batterie d'énergie**
Volume	39 cm² cylindrique	39 cm² cylindrique
Masse	73.5 g	83.5 g
Capacité théorique	2.3 Ah	3.2 Ah
Tension	3.2 V	3.2 V

La batterie d'énergie a une capacité spécifiée supérieure de 39 %. Mais à cause de sa masse supérieure de 14 %, sa densité d'énergie n'est supérieure que de 22 %.

L'une des raisons expliquant la variation de masse provient du mode de connexion au boîtier et du matériau du boîtier. La batterie de puissance utilise un boîtier en aluminium soudé au feuillard en aluminium correspondant à l'électrode positive tandis que la batterie d'énergie testée comporte un boîtier en acier soudé au feuillard de cuivre correspondant à l'électrode négative.

V. COMPARAISON DE LA CAPACITE REELLE POUR DIFFERENTS TAUX DE CHARGE

Les spécifications des batteries ont été vérifiées et comparées pour ces deux types de batteries.

Le tableau 2 présente les gains théoriques concernant la capacité, l'énergie et la masse des deux types de batteries comparées. Il présente également ces mêmes gains mais en utilisation réelle avec un courant de décharge de 0.5 C (décharge en 2h), 1 C (décharge en 1h) et 2 C (décharge en 30 min).

Tableau 2 :

A 20 °C	Batterie Puissance	Batterie Energie	Gain densité volumique	**Gain densité massique**
Capacité (Ah)	2,3	3,2		**+39%**
Tension (V)	3,2	3,2		
Masse (g)	70	82		+17%
Volume (cm^3)	39	39		
	Théorique			
Energie massique (Wh/kg)	105	125		+19%
Energie volumique (Wh/L)	189	263	+39%	
	Décharge à 0,5 C			
Energie d'une cellule (Wh)	6,61	9,14		
Energie massique (Wh/kg)	94	111		+18%
Energie volumique (Wh/L)	169	234	+38%	
	Décharge à 1C			
Energie d'une cellule (Wh)	6,56	8,76		
Energie massique (Wh/kg)	94	107		**+14%**
Energie volumique (Wh/L)	168	225	+34%	
	Décharge à 2 C			
Energie d'une cellule (Wh)	6,4	8,3		
Energie massique (Wh/kg)	91	101		+11%
Energie volumique (Wh/L)	164	213	+30%	

On observe que le gain en énergie massique diminue lorsque le courant de décharge augmente. Ce phénomène est dû en premier lieu à la résistance interne de la batterie d'énergie qui est supérieure à la batterie de puissance.

Pour un courant de 2 C (décharge en 30 min), le gain en densité massique pour la batterie d'énergie et de seulement 11 % au lieu des 19 % théorique.

La batterie d'énergie comporte donc un avantage si le courant de décharge n'excède pas 0.5 C (décharge en 2 h). En revanche, au-delà d'un courant de 1 C (décharge en 1 h), les pertes dues à la résistance interne plus forte deviennent importantes et conséquentes.

Les courbes de la figure 4 et 5 sont les courbes réelles de tension en fonction de la capacité lors de décharges à différents courants.

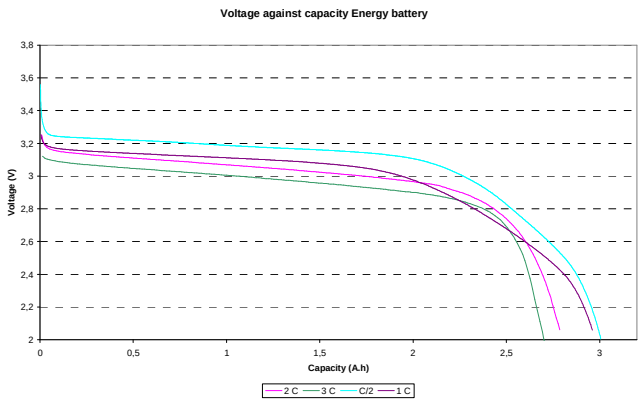

Figure 4 : Batterie d'énergie: Tension en fonction de la capacité pour différents courants de décharge

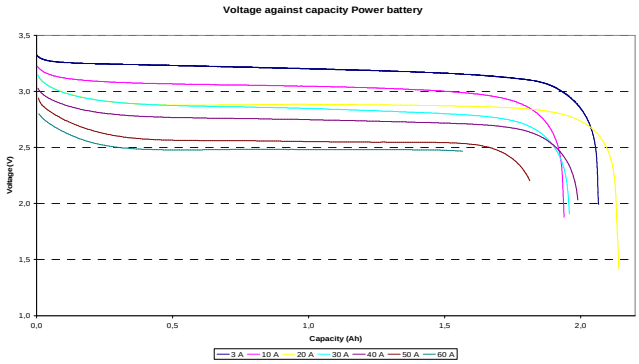

Figure 5 : Batterie de puissance : Tension en fonction de la capacité pour différents courants de décharge

VI. RESISTANCE INTERNE

La résistance interne d'une batterie est un facteur très important car ce paramètre définit le niveau de pertes d'énergie par effets joules au sein d'une batterie du aux résistances parasites internes et de contact. Pour mesurer cette résistance, on décharge les batteries en partant d'un état de charge à 100 % jusqu'à un état de charge à 0 % avec un courant fixe de 3 A en provoquant des appels brefs de courant à 20 A. Le rapport de la différence de tension sur la différence de courant lors de ces appels nous donne une résistance pour l'état charge de l'accumulateur à l'instant considéré.

Ce processus est reproduit plusieurs fois sur la durée de la décharge à différent niveau d'état de charge afin de voir l'évolution de la résistance interne en fonction de l'état de charge.

La courbe de la figure 6 montre les résistances mesurées sur les deux types de batteries.

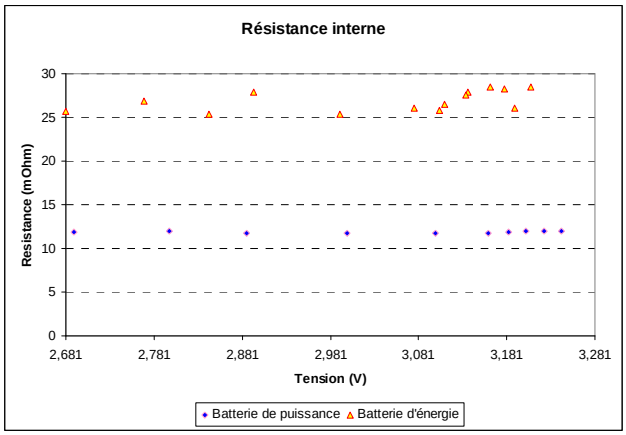

Figure 6 : Comparaison des résistances internes

La résistance interne des deux batteries est sensiblement la même durant toute la décharge. Elle n'évolue donc pas en fonction de l'état de charge.

La résistance moyenne de la batterie d'énergie est de 27 mOhm et elle est de 12 mOhm pour la batterie de puissance. Cette mesure inclus les résistances des clinquants des batteries qui sont de l'ordre de 3 mOhm pour chacune des batteries.

Cette différence de résistance interne est due à l'épaisseur différente des couches de carbone et de phosphate de fer. Les résistances présentes dans un accumulateur sont présentées sur le schéma de la figure 7.

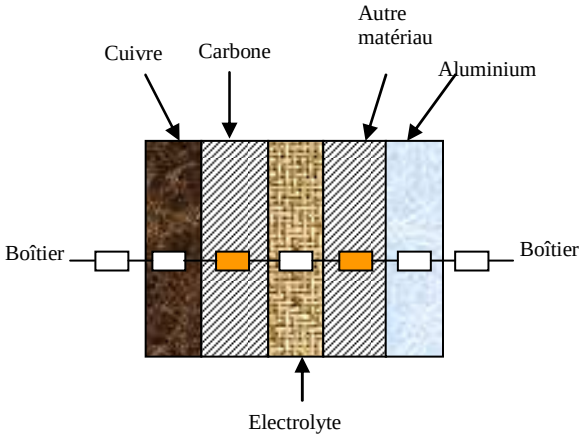

Figure 7 : Schéma des résistances internes d'un accumulateur

L'enduction de carbone et de l'autre matériau étant plus importante, les résistances de ces matériaux sont plus importantes également.

VII. COURBES DE CHARGE ET DE DECHARGE

Les courbes de charge et de décharge permettent de voir l'évolution de la tension en fonction du temps. Dans ce test, la température est aussi mesurée pour détecter l'impact du courant sur la température.

Dans le but d'être exactement dans les mêmes conditions de test pour les deux batteries, celles-ci sont placées en série. Le courant est donc exactement le même pour les deux batteries.

La courbe de la figure 8 montre la tension et la température des deux batteries pour un cycle de charge/décharge. Le taux de décharge est de 1 C pour la batterie d'énergie et de 1,4 C pour la batterie de puissance.

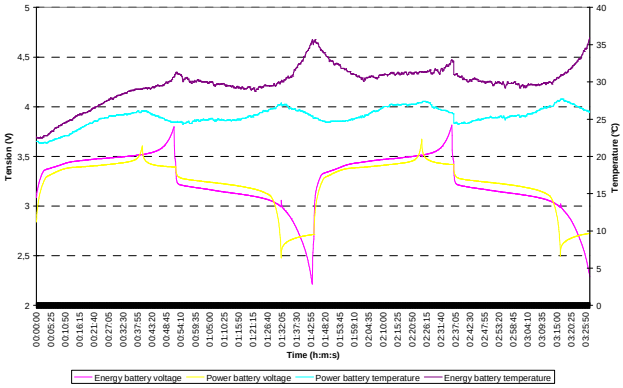

Figure 8 : Comparaison de la tension et de la température pour un courant de 1C et 1.4C

La batterie de puissance (courbe jaune) est chargée avant la batterie d'énergie (courbe rose) car sa capacité et de seulement 2,3 Ah contre 3,2 Ah pour la batterie d'énergie.

Cette courbe montre que l'élévation de la température de la batterie d'énergie est bien plus importante que celle de la batterie de puissance. L'élévation maximale de température est autour de 10 °C pour la batterie d'énergie et seulement 4 °C pour la batterie de puissance. De plus, la tension de la batterie d'énergie est plus importante durant la charge et plus faible durant la décharge que la batterie de puissance. Ceci est du en premier lieu à la tension aux bornes de la résistance interne.

La courbe de la figure 9 est exactement semblable, mais avec un taux de décharge à 2 C pour la batterie d'énergie et 2,8 C pour la batterie de puissance.

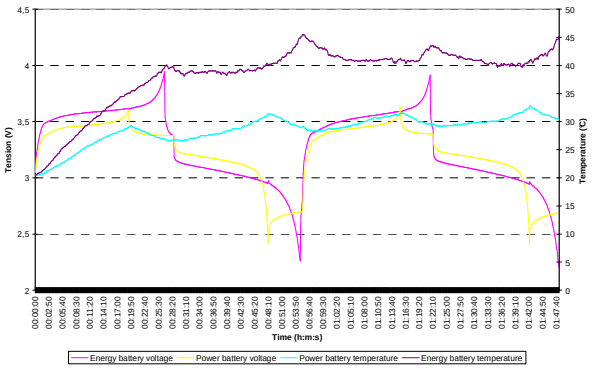

Figure 9 : Comparaison de la tension et de la température pour un courant de 2 C et 2.8 C

Les courbes montrent une forte élévation de température de la batterie d'énergie. La température maximum atteint 45 °C alors que la température maximale spécifiée par le constructeur est de 60 °C. La batterie d'énergie ne peut donc pas supporter ces vitesses de charge et décharge de plus de 2 C ou 3 C à cause de l'élévation de température.

Dans le but de mettre en évidence la différence de tension entre les deux batteries, une courbe d'hystérésis est faite pour un courant de 1 C pour la batterie d'énergie et 1,4 C pour la batterie de puissance.

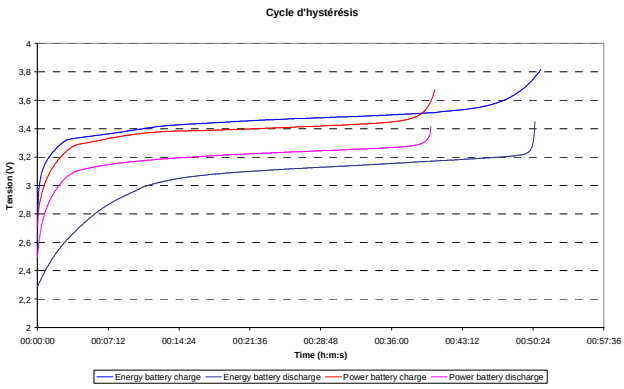

Figure 10 : Comparaison des tensions de charge et de décharge

La courbe rouge de la figure 10 correspond à la tension durant la charge de la batterie de puissance et la courbe rose de la figure 10 correspond à la tension de cette même batterie durant la décharge.

La courbe bleu clair de la figure 10 est la tension de charge de la batterie d'énergie et la courbe bleu foncé de la figure 10 est sa tension de décharge.

Les courbes rouge et rose sont moins longues dans le temps car la capacité de la batterie de puissance est plus faible.

L'effet d'hystérésis est faible pour la batterie de puissance et très important pour la batterie d'énergie. L'effet d'hystérésis traduit directement la totalité des pertes d'énergies qui donne lieu à l'élévation de température.

Une partie de ces pertes est due à la résistance interne. Par contre, les résistances mesurées varient très peu en fonction de l'état de charge.

L'effet d'hystérésis important en fin de charge et en fin de décharge de la batterie d'énergie traduit le fait que les ions Lithium ont du mal à s'insérer profondément dans l'épaisse couche de carbone et de phosphate de fer. Il faut alors une énergie supplémentaire pour faire pénétrer les ions dans les épaisses couches et inversement, de l'énergie est perdue lorsque les ions sortent des couches.

VIII. PERFORMANCE DES BATTERIES SUR VEHICULE

Fin 2008, le remplacement de batterie NiCd d'origine d'une voiture AX par 1600 petits éléments de type LiFePO4 de puissance a été effectué. L'autonomie véhicule est passée de 65 à 95 km en situation urbaine et de 80 à 110 km sur route et autoroute.

Les batteries d'énergie présentées seraient envisageables pour une autonomie de 200 km avec une vitesse de décharge à C/2.

Le tableau 3 compare les performances entre 1600 éléments et 2200 éléments avec les deux types de batteries.

Tableau 3 :

AX	Batterie puissance	Batterie d'énergie	Batterie d'énergie	Batterie de puissance
Nombre d'élément	1600	1600	2200	2200
Energie (kWh)	10,5	14	20	14,4
Autonomie (km)	110	147	210	151
Masse des batteries (kg)	138	154	212	190
Masse totale du véhicule (kg)	810	826	884	862
Ratio masse batterie/masse véhicule	17%	19%	24%	22%

Si les 1600 batteries de puissance actuelles étaient remplacées par 1600 batteries d'énergie, l'autonomie devrait augmenter de 110 km à 147 km. Si nous utilisions 2200 batteries d'énergie, l'autonomie devrait être de 210 km contre 151 km avec 2200 batterie de puissance.

La variation de la masse globale du véhicule serait acceptable et serait toujours en dessous de 900 kg.

Les valeurs présentées ci-dessus correspondent à des tests à température ambiante. Pour valider l'intérêt de la technologie d'accumulateur LiFePO4 d'énergie pour des autonomies de 200 km, il faudrait vérifier l'énergie restituée par la batterie à faible température. Les premiers résultats obtenus montrent plutôt une diminution rapide de l'énergie restituée par les accumulateurs d'énergie, et une faible chute pour les accumulateurs de puissance.

IX. CONCLUSION

Dans cette présentation, deux types de batterie Lithium ion à base de phosphate de Fer sont testés et comparés. L'une des deux est une batterie d'énergie et l'autre est une batterie de puissance.

Le gain en capacité théorique de la batterie d'énergie par rapport à la batterie de puissance est de 39 %. Mais en raison de sa masse supérieure, le gain en énergie massique n'est que de 22 %.

Durant une décharge à C/ 2 (décharge en 2 h), le gain réel est environ équivalent au gain de 22 %. En revanche lors d'une décharge à 1 C (décharge en 1 h) ou à 2 C (décharge en 30 min), le gain réel est bien moindre à cause de la plus forte résistance interne et de pertes additionnelles visibles sur le cycle d'hystérésis de charge décharge.

L'utilisation de batterie d'énergie est adaptée aux systèmes utilisant des faibles courants de décharge inférieurs à 1 C. Le rendement est alors acceptable et le gain en énergie massique est un avantage.

En revanche pour des systèmes nécessitant des courants de décharges de 1 C ou plus, l'utilisation de batterie d'énergie est proscrite et on préférera l'utilisation de batteries de puissance. La perte d'énergie massique est largement compensée par le gain en rendement. De plus ces

batteries acceptent des courants de recharge bien plus importants. On peut alors les recharger en 15 ou 20 minutes sans sortir de la spécification constructeur.

Pour les véhicules électriques, la batterie d'énergie est envisageable pour les véhicules ayant de longues autonomies (supérieures à 200 km) et donc des courants de décharge égaux ou inférieurs à C/2 (décharge de la batterie en plus d'une heure).

La batterie de puissance est bien adaptée pour des véhicules électriques ayant une centaine de kilomètre d'autonomie. La batterie a un rythme de décharge voisin de C sur route et autoroute. Une autonomie de 100 km à une vitesse moyenne de 100 km/h correspond à un temps de roulage d'une heure. Le courant moyen de décharge est donc d'environ 1 C.

Pour les véhicules ayant de faibles autonomies mais nécessitant de beaucoup de puissance, les batteries d'énergie sont déconseillées par rapport aux batteries de puissance. On pense alors aux véhicules de type scooter électrique ou encore véhicule hybride.

Tous les essais menés sur les batteries ont été fait à température ambiante. Il est nécessaire de reproduire le même genre de test à basse température de manière à analyser le comportement des batteries des véhicules en conditions hivernales.

X. REFERENCES

[1] Retour d'expérience sur des véhicules électriques du parc automobiles français, Bruno Béranger, Daniel Chatroux, EPF 2008

[2] http://fr.wikipedia.org/wiki/Accumulateur_lithium