



INSTITUT  
NATIONAL  
des SCIENCES  
APPLIQUÉES



Projet de Physique P6-3  
STPI/P6-3/2008 – 30



Antoine BOURDON      Jennifer GREMAUX  
Franck FOLLET      Maxime PHILIPOT  
Jean-Baptiste GOBLET      David SCHÖNFELD

Enseignant responsable du projet :  
M. François GUILLOTIN



**Stockage de l'énergie électrique**



À TAILLE  
HUMAINE  
À L'ECHELLE  
DU MONDE



Date de remise du rapport : **20/06/08**

Référence du projet : **STPI/P6-3/2008 – 30**

Intitulé du projet : ***Stockage de l'énergie électrique***

Type de projet : **Documentation, étude détaillée et manipulation.**

## TABLE DES MATIERES

<u>1. Introduction .....</u>	<u>5</u>
<u>2. Méthodologie / Organisation du travail.....</u>	<u>6</u>
<u>3. Travail réalisé et résultats .....</u>	<u>7</u>
<u>3.1. Recherches théoriques : les différents types de batteries .....</u>	<u>7</u>
<u>3.1.1. Batterie Plomb.....</u>	<u>7</u>
<u>3.1.2 Batterie Nickel.....</u>	<u>11</u>
<u>3.1.3. Batterie Lithium.....</u>	<u>13</u>
<u>3.2. Manipulations.....</u>	<u>16</u>
<u>3.2.1. Description de la manipulation.....</u>	<u>16</u>
<u>3.2.2. Résultats et analyses.....</u>	<u>17</u>
<u>4. Conclusions et perspectives.....</u>	<u>18</u>
<u>4.1. Conclusion générale.....</u>	<u>18</u>
<u>4.2. Perspectives : les nouvelles technologies.....</u>	<u>18</u>
<u>4.3. Apports personnels de l'unité de valeur.....</u>	<u>18</u>
<u>5. Bibliographie.....</u>	<u>19</u>
<u>6. Annexes.....</u>	<u>19</u>
<u>6.1. Schéma de montage, plans de conception .....</u>	<u>20</u>
<u>6.2. Courbes des résultats .....</u>	<u>21</u>

# 1. Introduction

Nos activités quotidiennes nous poussent à devenir de plus en plus mobiles. Les technologies ont, par conséquent, elles aussi évolué pour s'adapter à ces changements de mode de vie et, de ce fait, le besoin de sources d'énergie mobiles a été mis en lumière.

Désormais, il nous semblerait inconcevable d'envisager notre quotidien sans accumulateurs d'énergie et sans batteries qui sont indispensables à l'alimentation d'appareils comme les téléphones et ordinateurs portables ou bien même tout simplement au démarrage d'une voiture. Qu'importe la source d'approvisionnement (électrique, mécanique, solaire...), les systèmes de stockage de l'énergie ne diffèrent que peu. Les plus utilisés sont les batteries au plomb (la plus vieille des technologies encore utilisées), celles au Nickel/Cadmium et enfin celles composées de lithium-ion.

Notre projet se propose d'étudier ces différents systèmes de stockage. Nous pouvons maintenant détailler les principaux objectifs et axes développés de ce dossier:

\_Tout d'abord, il s'agit d'un travail de documentation et de compréhension afin de détailler les différents types de batteries les plus fréquemment utilisés. Notre réflexion aura pour finalité d'observer quel accumulateur est préconisé pour tel ou tel usage.

\_Ensuite, nous étudierons plus en détail leur mode de fonctionnement aux niveaux physiques et chimiques.

\_Enfin, nous réaliserons une expérience sur l'accumulateur au plomb. Nous avons choisi cette batterie pour une étude détaillée par commodité : en effet, d'une part pour la large disponibilité du matériel et d'autre part pour la simplicité de la technologie et la facilité de manipulation.

## 2. Méthodologie / Organisation du travail

Initialement, notre sujet concernait l'étude et la réalisation d'une batterie solaire. Malheureusement, en cours de semestre, notre sujet a été modifié et nous avons finalement dû étudier « le stockage de l'énergie électrique ». C'est pour cela que lors des premières séances nous avons étudié de façon théorique :

- \_Le fonctionnement d'une batterie (charge, décharge, tension de coupure...)
- \_Le fonctionnement d'un panneau solaire photovoltaïque (composition, efficacité...)
- \_Le couplage de ces deux derniers.

Comme manipulations, nous avons comme projet de réaliser la charge d'une batterie à l'aide du panneau solaire que l'on nous avait fourni. Nous avons donc préalablement effectué des tests sur le panneau solaire avec une lampe halogène de forte puissance (1000W) pour déterminer à quelle distance fallait il positionner cette dernière du panneau photovoltaïque, combien de temps durerait la charge, et avec quelle orientation fallait il placer le panneau.

Après ces quelques tests effectués, nous nous sommes penchés sur la charge et décharge d'une batterie automobile, tout en continuant nos recherches théoriques. Les tâches ont alors été divisées en deux : manipulations et recherches.

Lors des séances suivantes, notre sujet a donc été évolué en se focalisant exclusivement sur le stockage de l'énergie. La manipulation sur la batterie a été gardée, tandis que nous avons renoncé à celle concernant le panneau. Nous avons aussi recommencé nos recherches en s'intéressant plus particulièrement aux différents types de batteries, au stockage de l'énergie électrique.

### 3. Travail réalisé et résultats.

#### 3.1. Recherches théoriques : les différents types de batteries.

##### 3.1.1 L'accumulateur au plomb.

L'accumulateur encore le plus utilisé est l'accumulateur au plomb, inventé par Planté en 1859. Il est considéré comme étant la première batterie rechargeable de l'histoire. On le retrouve en forte proportion dans l'industrie et c'est lui qui équipe la quasi-totalité de nos véhicules automobiles. L'accumulateur au plomb, plus communément appelé « batterie au plomb » est constitué d'un bac isolant, étanche, résistant aux chocs. Il contient de l'acide sulfurique dilué dans de l'eau et dans lequel trempent des électrodes à base de plomb.



Sa tension nominale  $U$  dépend du nombre d'éléments qui la compose. La tension ou potentiel (volt) est un paramètre important fixé par le potentiel du couple redox. Elle est égal ici au nombre d'éléments multiplié par 2,1V. Dans le cas d'une batterie de voiture (cf. ci-dessus à gauche) on peut remarquer 6 éléments accordés en série, soit environ 12V. Chacun des éléments contient 2 électrodes de plomb. Une de ces deux électrodes est recouverte d'oxyde de plomb  $PbO_2$ . La réaction chimique observée lors de son fonctionnement est une réaction d'oxydoréduction qui met en jeu deux couples ainsi que de l'acide sulfurique dilué en tant qu'électrolyte.

Les deux couples redox sont  $Pb^{II}/Pb^0$  et  $Pb^{IV}/Pb^{II}$ . A la fin de la décharge, les deux couples se trouvent donc à l'état de sulfate de plomb (tout le plomb est au degré d'oxydation +II).

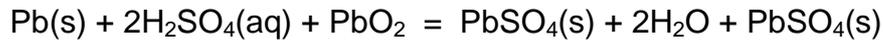
1) Au cours du fonctionnement en générateur (décharge),  $PbO_2$  est réduit en  $PbSO_4$  et  $Pb^0$  (métal) est oxydé, en  $PbSO_4$  également. A la fin de la décharge, les deux couples sont sous forme  $PbSO_4$ .

2) Au cours du fonctionnement en récepteur (charge), le plomb (II) se dismuté : il est à la fois l'oxydant et le réducteur. Une partie est réduite en  $\text{Pb}^0$  (métal) et l'autre est oxydée en  $\text{Pb}^{\text{IV}}$  ( $\text{PbO}_2$ ).

Décharge

(-)

(+) ⇌

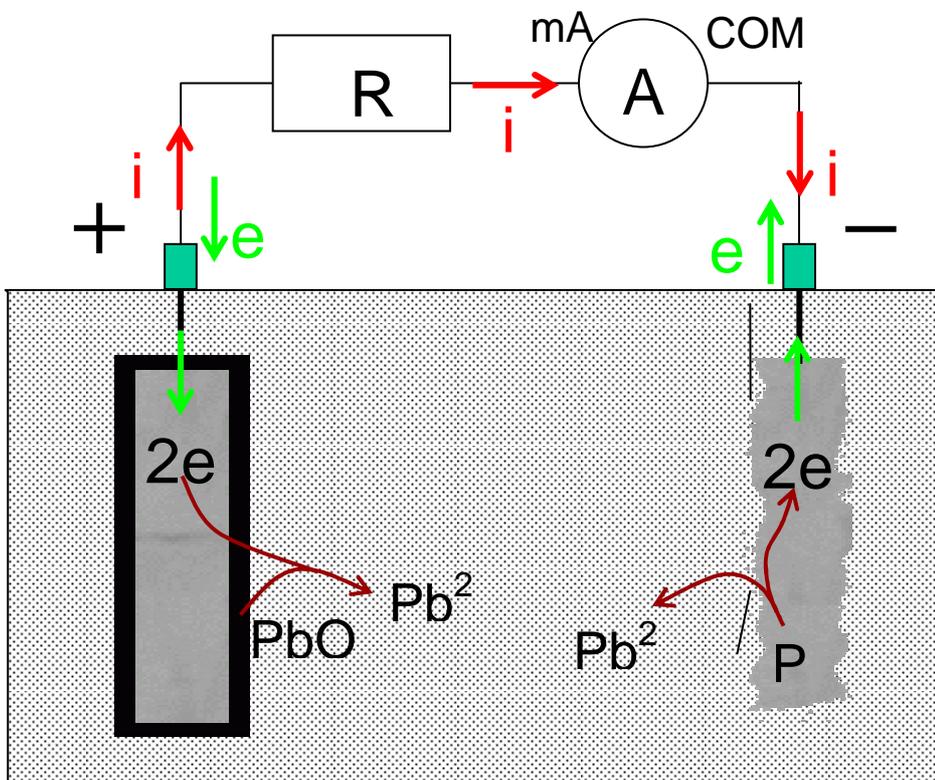


⇌ (-)

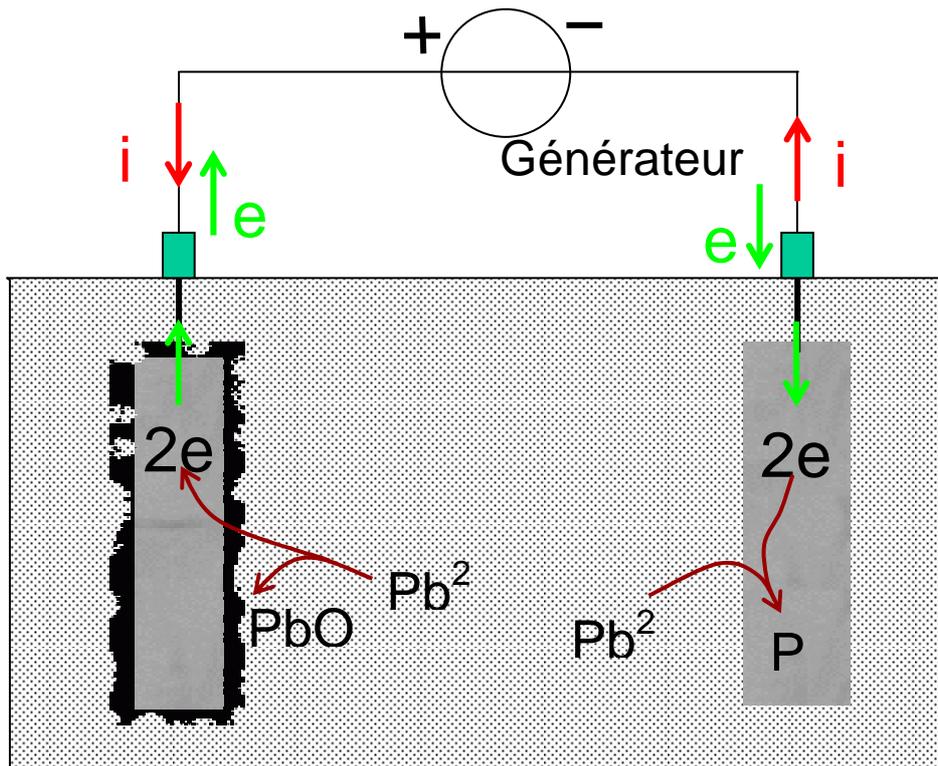
(+)

Charge

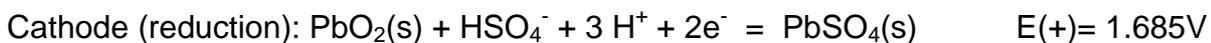
1) Décharge de l'accumulateur au plomb :



## 2) Charge de l'accumulateur au plomb :



Les réactions électrochimiques aux électrodes sont les suivantes :



$$\text{f.e.m} = E(+) - E(-) = 1.685 - (-0.356) = 2.041\text{V}$$

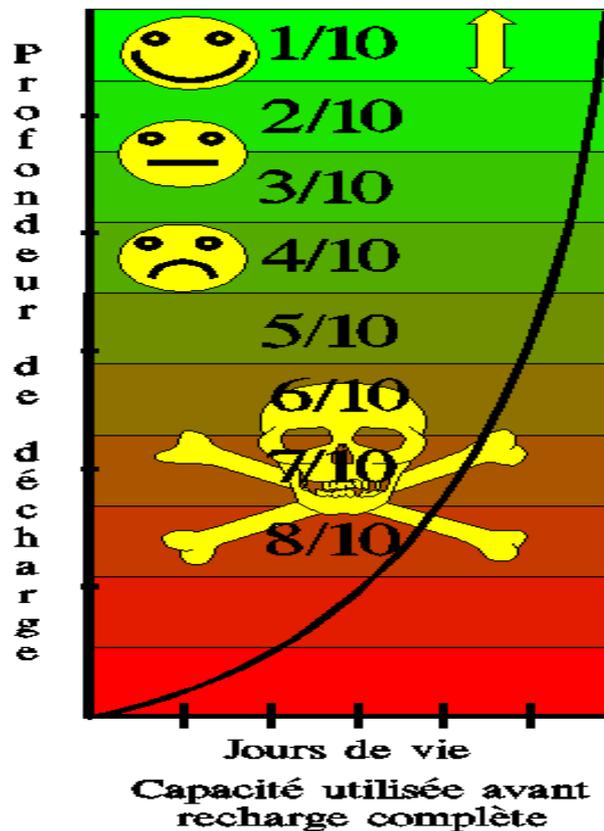
Lors de la décharge, la transformation est spontanée. Le dipôle fonctionne alors comme un générateur et on peut le définir comme une pile. Lors de la charge, c'est l'inverse, la transformation est forcée. Le dipôle fonctionne comme un récepteur. C'est une électrolyse.

La concentration en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  diminue au cours de la décharge et augmente au cours de la charge.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ayant une masse volumique plus grande que celle de l'eau, la densité de l'électrolyte augmente au cours de la charge et ceci permet de juger de l'état de charge d'une batterie par une mesure de la densité de l'électrolyte.

Pour des raisons d'encombrement et de réduction de la résistance interne, les plaques positives et négatives d'un accumulateur au plomb sont assez proches les unes des autres. Dans ces conditions, un contact direct entre 2 électrodes de polarités opposées serait possible et provoquerait un court-circuit interne. C'est pourquoi afin d'éviter cette éventualité, on dispose entre les électrodes d'un élément, appelé séparateur. Ce séparateur est constitué d'une matière poreuse et isolante électriquement. Cette dernière doit présenter une bonne résistance chimique à l'acide sulfurique.

La capacité de stockage est une autre grandeur caractéristique des accumulateurs. Elle est généralement indiquée en Ah (ampère-heure) par les constructeurs. Cette unité ne correspond pas à l'unité du Système International (S.I.) qui est le Coulomb. Son utilisation relève simplement de la pratique où la mesure est par référence au temps de charge/décharge. Dans le cas d'une batterie au plomb équipant un véhicule de tourisme la capacité s'échelonne entre 40Ah et 80Ah.

La durée de vie d'une batterie ainsi que ses performances dépendent évidemment de l'utilisation que l'on en fait. Les constructeurs quantifient cette durée de vie sous la forme d'un nombre de cycles normalisés. Les accumulateurs de voitures ont une durée de vie minimum de 4 à 5 ans ce qui correspond à nombre total de cycles de charge compris entre 500 et 1200. Les causes de dégradation des accumulateurs au plomb sont multiples. Parmi les principales on retrouve la sulfatation (accumulation de sulfate de plomb sur les électrodes), la décharge complète (phénomène irréversible au-delà de 48h), l'oxydation des électrodes et l'oxydation des bornes. Ces causes de dysfonctionnement atténuent les capacités de stockage et amputent la puissance au démarrage. Quand une batterie est au terme de sa durée de vie, l'électrolyte a un aspect noirâtre.



### 3.1.2 La batterie au Nickel.

Vers les années 1990, un nouveau type de batterie est apparu, composé de Nickel. Ce type d'accumulateur peut stocker l'énergie grâce à deux associations avec ce métal : Le Nickel - Cadmium (NiCd) et le Nickel - Métal hydrure (NiMH).

Premièrement, étudions la batterie au Nickel Cadmium.

Cette dernière est composée d'un électrolyte alcalin, d'une électrode positive de nickel et une électrode négative de Cadmium. D'une densité énergétique avoisinant les 50 WH/kg, elle possède une forte résistance aux amplitudes thermiques (-20°C à +60°C) et une longue durée de vie en nombre de cycles possibles. Compte tenu de ce rapport capacité/poids, elle est beaucoup utilisée sur des appareils portatifs comme les rasoirs électriques, téléphones portables ou encore sur des vélos.

Comparées aux batteries au plomb, elles sont plus chères, et leurs performances peuvent fortement diminuer avec le temps car elles souffrent d'un effet mémoire. Cet effet provoque une diminution de la quantité d'énergie que l'accumulateur peut échanger avec l'extérieur, avec pour conséquence une diminution de la capacité nominale de l'accumulateur. Pour éviter cela, il est recommandé de décharger complètement la batterie avant de la recharger et de les conserver déchargées dans un endroit sec et ne dépassant pas les 20°C. Aussi, après le stockage, effectuer une recharge/décharge complète permet de conserver ses performances. Une autre précaution à prendre est de ne pas laisser la batterie continuellement branchée sur le secteur.

Pour résumer, les avantages d'un tel accumulateur sont :

- \_Un gain économique
- \_Un grand nombre de recharges possibles
- \_Une recharge rapide

Mais les inconvénients existent aussi et sont :

- \_Une faible capacité de charge
- \_Une grande toxicité du cadmium qui doit être correctement recyclé ( NB : compte tenu du caractère très polluant des constituants, la batterie sera interdite de vente en septembre 2008)
- \_Une capacité réduite par l'effet de mémoire



## Intéressons nous à présent au modèle Nickel Métal hydrure (NiMH)

Constitué de nickel (sous forme d'hydroxyde) à l'électrode positive, les accumulateurs NiMH utilisent comme électrolyte une solution d'hydroxyde de potassium (potasse - KOH) ainsi qu'un alliage hydrurable à base lanthane (terre rare) et de nickel de type LaNi<sub>5</sub>. Bien que dénué de Cadmium et de plomb, deux matériaux très polluants, la fabrication et le recyclage de ce type d'accumulateur doit être opéré soigneusement. En effet, l'électrolyte utilisé réagit violemment avec l'eau et est irritant et corrosif pour la peau, les yeux, les voies respiratoires et digestives.

Comparé au modèle précédent, ces batteries ont de meilleures performances et présentent une énergie volumique supérieure d'au moins 30%. L'immunité à l'effet mémoire constitue un avantage notoire et le transport et le stockage sont nettement facilités. Cependant, leur durée de vie est inférieure et la détection de fin de charge se fait plus difficile.

Les batteries NiMH sont actuellement le standard pour équiper les voitures hybrides (moteur à combustion + moteur électrique). Elles ont l'avantage de bien supporter de forts courants de charge et de décharge et sont beaucoup plus sûres en cas de surchauffe.

Mais aujourd'hui, leur efficacité est dépassée en termes d'énergie par les accumulateurs au lithium, ce dont nous allons parler dans la suite.

Résumons ses points forts et points faibles dans le tableau suivant :

<i>Points forts</i>	<i>Points faibles</i>
Contient beaucoup plus d'énergie que le Nickel-cadmium	Résistance interne plus élevée que le Nickel-cadmium
Peu sensible à l'effet mémoire	Ne supporte pas le dépassement de charge
Simple à stocker et transporter	Détection de fin de charge difficile
Ne pollue pas comme le Nickel-cadmium	Durée de vie plus faible que le Nickel-cadmium en nombres de cycles

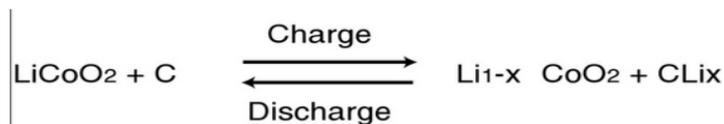
### 3.1.3 La batterie Lithium

La batterie lithium occupe aujourd'hui une place très importante sur le marché de l'électronique portable mais il faut savoir qu'il existe plusieurs types d'accumulateur fonctionnant au lithium. En effet on distingue notamment les batteries Lithium-ion (Li ion) et les batteries Lithium-ion Polymère (Li po) où l'électrolyte est en fait un polymère gélifié. De plus on observe aussi la technologie Lithium métal où l'électrode négative est composée de lithium métallique (matériau qui pose des problèmes de sécurité). Enfin il existe aussi des batteries lithium phosphate et lithium air.

#### 1. La batterie Lithium-ion

Tout d'abord commençons par la batterie lithium-ion qui est l'une des plus répandue (2 milliards de cellules sont produites chaque année, on la retrouve notamment dans les ordinateurs portables par exemple).

Cette batterie fonctionne sur l'échange réversible de l'ion lithium entre la cathode, en principe composée de dioxyde de Cobalt ( mais l'on trouve des modèles utilisant du manganèse), et une anode en graphite. L'électrolyte, quand à elle, est composé d'un sel conducteur. Au final, on obtient donc la réaction suivante :



L'avantage majeur de cette batterie est due aux propriétés du lithium. En effet le lithium possède un très bon rapport poids/potentiel électrique (une batterie au lithium a en moyenne un rapport puissance/poids de 1800 W/kg). De plus ce type de batterie possède un rendement charge-décharge d'environ 99,9% et offre à peu près 1200 cycles de charges.

Un autre avantage notable de cette batterie est l'absence d'effet mémoire. (L'effet mémoire entraîne une diminution de la quantité d'énergie que l'accumulateur peut échanger avec l'extérieur, l'accumulateur ne peut donc plus se décharger comme à l'origine.) Enfin les batteries au lithium possèdent une faible autodécharge (entre 5 et 10% par mois.)

Le gros problème de cette technologie est que si elle est mal utilisée, elle peut présenter des dangers potentiels : Les batteries lithium-ion peuvent se dégrader en chauffant au-delà de 80°C en une réaction brutale et dangereuse. Il faut toujours manipuler les accumulateurs lithium-ion avec une extrême précaution car ces batteries peuvent être explosives. De plus l'utilisation d'un électrolyte liquide présente des dangers si une fuite se produit et que celui-ci entre en contact avec de l'air ou de l'eau. C'est pourquoi ces batteries doivent toujours être équipées d'un circuit de protection, d'un fusible thermique, d'une soupape de décharge et doivent être chargées en respectant des paramètres très précis.

Enfin ce type de batterie d'autres inconvénients tels que son coût, la faiblesse des courants de charge et de décharge (la tension nominale étant d'environ 3,6V par élément) et son usure rapide. En effet même quand on ne l'utilise pas la corrosion interne et l'augmentation de la résistance interne provoque l'usure de la batterie qui possède en moyenne une durée de vie de 2-3 ans (sur les produits grand public).

## 2. La batterie Lithium-polymère (Li-Po)

Cette batterie est en fait une sorte de batterie Lithium-ion où l'électrolyte est un polymère gélifié. En effet la batterie Li-Po utilise un principe de fonctionnement semblable aux batteries Lithium-ion et a des caractéristiques proches mais possèdent tout de même quelques différences.

La batterie Li-Po est plus sûre que sa semblable car elle est plus résistante à la surcharge et aux fuites d'électrolytes. De plus elle offre un nombre de cycles de vie plus important, possède un poids très faible et peu être particulièrement petite. C'est d'ailleurs pourquoi elles sont couramment utilisées pour fournir de l'énergie aux modèles réduits volants.

Les inconvénients majeurs de cette batterie sont :

- Une charge soumise à des règles strictes sous peine de risque d'inflammation.
- Une densité énergétique plus faible que les Li-ion.
- Un prix plus important que les Li-ion.

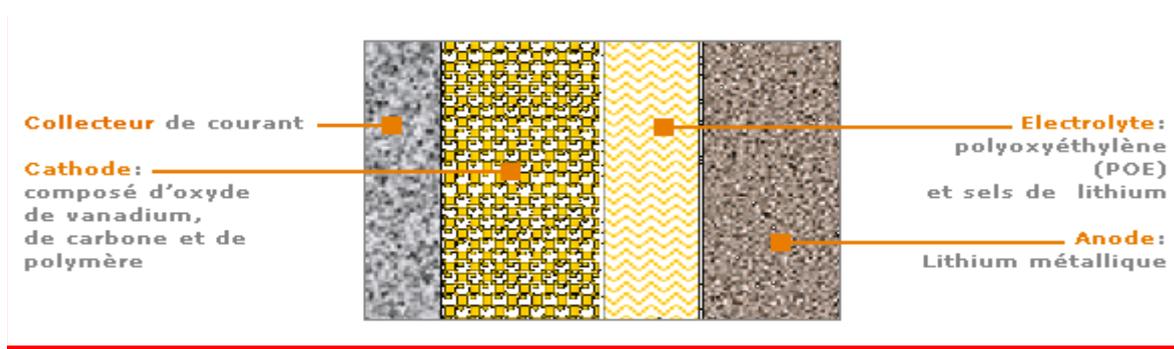
## 3. La batterie Lithium-phosphate

Cette batterie est elle aussi basée sur le même fonctionnement que la Lithium-ion sauf que la cathode contient du phosphate de fer à la place du cobalt et/ou du nickel. Et comme le phosphate de fer est un matériau beaucoup moins cher que le cobalt ou le nickel on obtient un cout naturellement moins élevé. De plus le phosphate de fer est lui non toxique contrairement au cobalt et au nickel et donne une cathode plus stable. En effet ne relâchant pas d'oxygène, le risque d'explosion ou de feux, que l'on observait pour les batteries Lithium-ion, disparaît. Cette version, plus récente,

Cependant, étant une batterie récente, des recherches sont encore en cours afin d'améliorer sa tenue à des températures élevée, d'augmenter sa durée de vie et d'amener sa capacité au niveau des autres technologies Lithium-ion.

## 4. La batterie Lithium Métal Polymère

La cellule élémentaire d'une batterie Lithium Métal Polymère (batterie LMP) est basée sur l'utilisation de quatre composants :



Cette cellule est constituée d'une anode (feuille d'aluminium) assurant la fourniture des ions lithium lors de la décharge et d'une cathode composée d'oxyde de vanadium, de carbone et de polymère. Les deux électrodes sont séparées par un électrolyte polymère solide (composé de polyoxyéthylène (POE) et de sels de lithium), conducteur des ions lithiums. Le problème majeur de cette batterie développée par la société Batscap est que la température de du polymère doit être maintenue entre 80°C et 90°C.

En revanche les avantages de ce type de batterie sont nombreux. Tout d'abord ce genre d'accumulateur est entièrement solide (donc pas de fuites) et ne contient pas non plus de polluant majeur excepté l'oxyde de vanadium. Enfin cet accumulateur possède une durée de vie d'environ 10 ans tout en ayant 3 fois plus d'énergie qu'une batterie au plomb à poids égal.

## 5. Lithium-air

La pile lithium-air (reposant sur le couple lithium-dioxygène comme son nom l'indique) est une batterie avantageuse de part sa densité énergétique très élevée (jusqu'à 5000 Wh/kg). Cette forte densité énergétique est due au fait d'une part que l'un des composants (l'oxygène) reste disponible et inépuisable sans être stocké dans la pile, mais surtout à la faible masse atomique et aux forts potentiels redox du lithium et de l'oxygène. Délivrant une tension de 3,4 V, elle présente toutefois certains inconvénients : corrosion, nécessité de filtres (exige un air très pur).

Malgré le fait que ces piles sont déjà commercialisées depuis plusieurs années (en particulier pour les piles d'appareils auditifs), les premiers modèles rechargeables sont récents. C'est pourquoi la recherche reste très active dans ce domaine.

### Tableau récapitulatif des différents types d'accumulateurs étudiés :

	<i>Plomb</i>	<i>Nickel Cadmium</i>	<i>Nickel Métal Hydrure</i>	<i>Lithium ion</i>	<i>Lithium Métal Polymère</i>
<b>Densité énergétique (Wh/kg)</b>	30 - 50	45 - 80	60 - 120	110 - 160	100 - 130
<b>Nombre de cycles de vie</b>	400 à 1200	2000	1500	500 à 1000	N/A
<b>Température de fonctionnement</b>	- 20°C à + 60°C	- 40 °C à +60°C	-20 à + 60°C	-20 à 60°C	0 à 60°C
<b>Exemples d'application</b>	Vélos électriques, voiturettes	Peugeot 106, Partner, Kangoo...	Véhicules hybrides (Prius, Honda Civic), scooter ADS Technologies	Téléphones portables, ordinateurs...	Bluecar de Bolloré, Cleanova...

## 3.2 Manipulations.

### 3.2.1 Description de la manipulation.

Le but de cette manipulation est d'évaluer la charge d'une batterie au plomb soumise à une intensité continue. On s'intéresse à différents intervalles de temps pour bien se rendre compte de l'évolution de la charge. Dans ce cas précis l'étude est faite pour une durée de 45 minutes pour observer la réaction en début de charge puis on s'intéresse à une charge complète de la batterie en 18 heures.

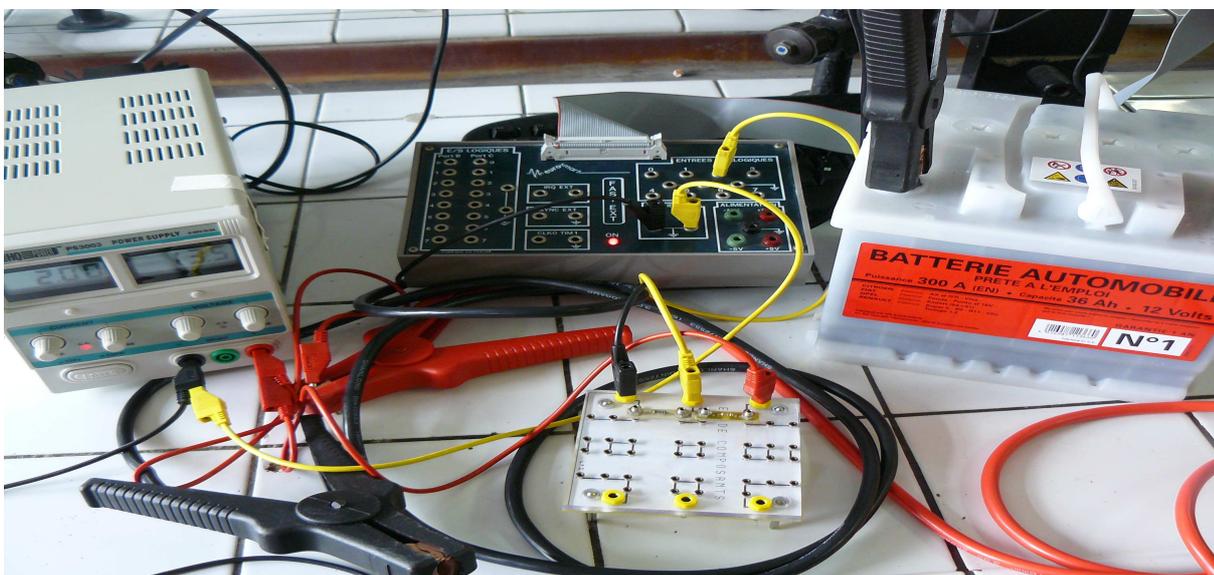
L'acquisition de la charge de la batterie au plomb de 12V est faite sur les tablettes du laboratoire. Or ces dernières ne peuvent enregistrer que des tensions comprises entre -10 et +10 V. On place donc deux résistances de 10k Ohm chacune, en parallèle avant l'acquisition afin d'obtenir des valeurs de la tension enregistrables. (Voir schéma du montage en annexe)

De plus on peut noter que le générateur de courant délivre 2A afin que la charge de la batterie de 36Ah ne dure que 18 heures.

#### Matériel utilisé :

- une batterie au plomb 300A, 36Ah, 12V
- 2 résistances de 10k Ohm
- un générateur de courant
- tablette d'acquisition analogique reliée à un ordinateur
- plusieurs fils communs

#### Photographie du montage :



### 3.2.2 Résultats et analyses.

Les courbes obtenues grâce au logiciel Synchronie version 2003 sont à consulter en annexe. Elles représentent la tension aux bornes de la batterie divisée par 2 au cours du temps de charge. En effet, nous avons mis en place un pont diviseur de tension composé de deux résistances en série de  $10k\Omega$  chacune afin de minimiser la tension aux bornes de la carte d'acquisition. Toutes les valeurs visibles sur la courbe sont donc par conséquent à multiplier par deux pour obtenir les données réelles.

Tout d'abord, on peut noter que nous avons effectué deux séries de mesures et ainsi obtenu deux courbes :

\_une acquisition sur une période correspondant aux 45 premières minutes de la charge où on peut observer une série de plateaux que nous allons expliquer.

D'après la description du fonctionnement de la batterie au plomb, on apprend qu'elle est constituée de six éléments, où se produisent les réactions d'oxydoréduction. Les éléments de la batterie sont composés de deux plaques de métal (positive et négative) plongées dans de l'acide sulfurique. On y a appris également que chaque pic (entre les plateaux) des courbes obtenues correspond en fait à la fin de l'oxydation complète des plaques présentes dans chaque élément de la batterie. Durant le plateau, les réactions chimiques se produisent dans un élément, donc entre la cathode et l'anode de plomb de l'élément. Dès lors que les électrodes sont complètement oxydées, on observe un pic et un passage sur l'élément suivant (début du nouveau plateau) où les mêmes réactions se produisent. Les six éléments de la batterie sont donc utilisés tour à tour et non tous en même temps.

Cependant, on observe seulement quatre pics sur la courbe relative au début de la charge. Cela est dû au fait que la batterie n'était pas totalement déchargée (au point de ne plus être rechargeable). La première valeur est en effet à environ 3 volts (soit 6 volts en réalité). Cette première phase de polarisation des éléments dure environ 18 minutes.

\_une acquisition de 18 heures afin d'observer la courbe de charge totale.

On peut noter que le dernier plateau peut être décomposé en deux parties distinctes. On observe effectivement que la tension est constante à environ 7 volts dans la première partie de ce plateau (soit 14 volts en réalité) puis on remarque qu'elle augmente progressivement jusqu'à 8 volts soit 16 volts en réalité. On observe en fait un léger phénomène de surcharge au niveau de la batterie. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que l'on arrive à la fin de la charge de la batterie (les électrodes du dernier élément viennent d'être oxydées et réduites entièrement).

Nous avons donc pu mettre en lumière, grâce à ces manipulations, les différentes phases de charge d'une batterie au plomb. On peut noter qu'elles s'accordent bien avec la théorie développée précédemment.

## 4. Conclusion.

### 4.1 Conclusion générale du dossier.

Ce dossier nous a permis de référencer les différents systèmes de stockage de l'énergie électrique que nous utilisons au quotidien, de l'accumulateur au Lithium ion alimentant nos technologies portatives (lecteurs mp3, caméscopes, ordinateurs) jusqu'à la batterie au plomb, dont se sert encore beaucoup l'industrie automobile traditionnelle, en passant par celle au Nickel/Cadmium qui équipe déjà les moteurs de demain.

Nous avons mis en lumière leurs propriétés physiques et chimiques ainsi que leur cycle de fonctionnement entre autre grâce à des études pratiques réalisées lors des séances. Nous tenons, à ce propos, à remercier toute l'équipe du laboratoire pour nous avoir mis tout le matériel nécessaire à l'élaboration de nos manipulations.

### 4.2 Quelques pistes sur les perspectives d'avenir.

Les accumulateurs présentés au cours de ce projet utilisent des technologies déjà matures ou même vieillissantes. Néanmoins, on peut mentionner que beaucoup de laboratoires recherchent des solutions alternatives afin d'augmenter les rendements ou de miniaturiser les systèmes de stockage.

Parmi elles, on peut noter des découvertes intéressantes comme l'utilisation de supraconducteurs ou les batteries oléopneumatiques qui sont encore en cours de développement. Elles permettent de stocker l'énergie (par exemple d'origine électrique) grâce à l'usage de gaz et liquides sous pression. Par leur rendement, leur durée de vie, leur facilité de fabrication et de recyclage en fin de vie, elles promettent des possibilités uniques en matière de stockage d'énergie.

### 4.3 Apports personnels de l'U.V.

Cette U.V de projet nous a permis d'une part de nous documenter sur les différents systèmes d'accumulateurs électriques existants sur le marché et d'autre part d'observer concrètement des phénomènes déjà étudiés dans d'autres matières (réactions d'oxydo-réduction).

De plus, cette U.V nous a permis d'améliorer nos connaissances en gestion de projet et en travail en équipe. Nous avons également apprécié la large part d'autonomie qui nous a été conféré au cours des séances.

## 5. Bibliographie.

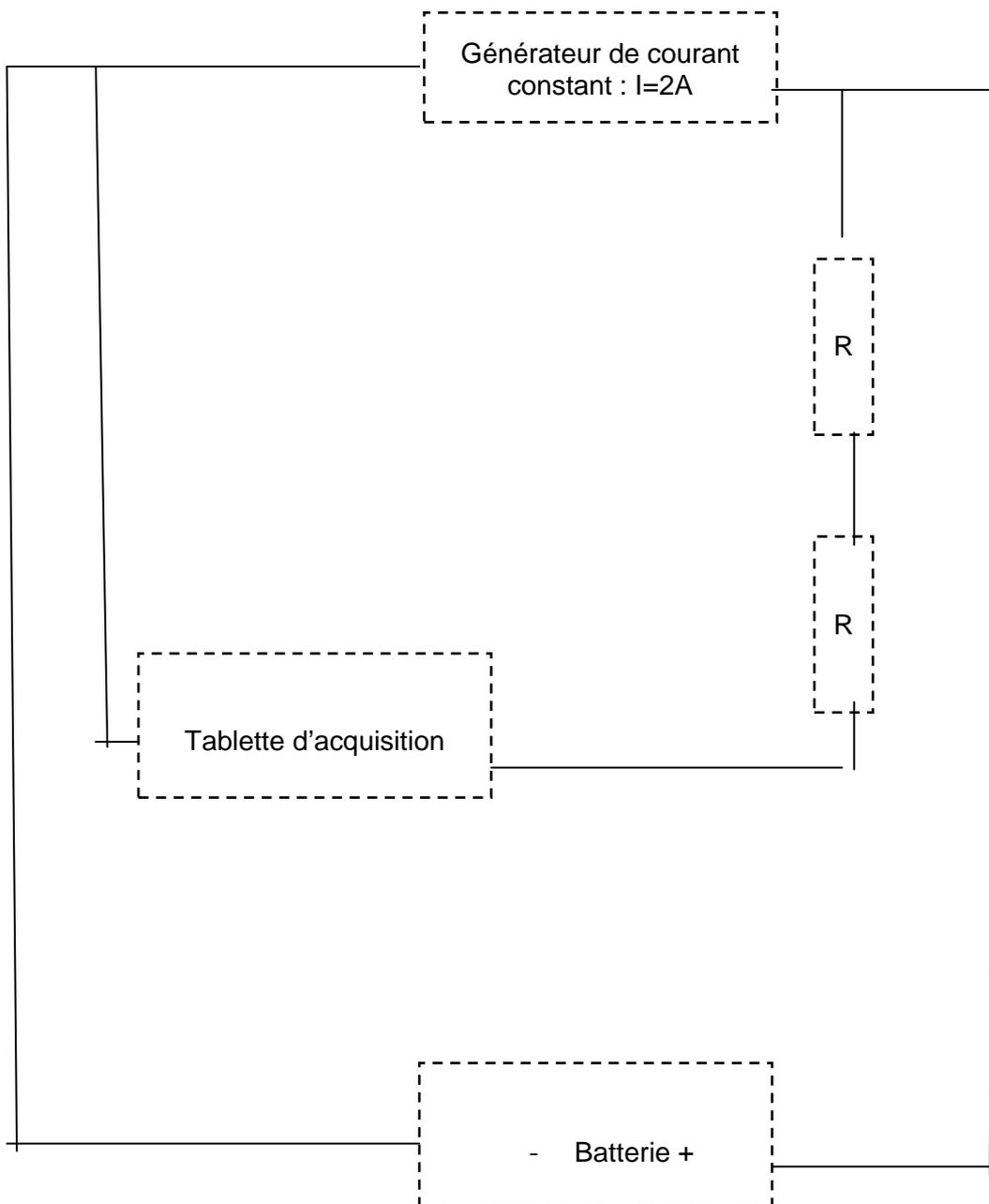
[1] Michel Wautelet "Sciences, technologies et société, Questions et réponses pour illustrer le cours de sciences", De Boeck Université.

[2] Cours d' ERE de M.Feasson (thématique CFI).

[3] Lien internet : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Batterie> (valide à la date du 18/06/2008).

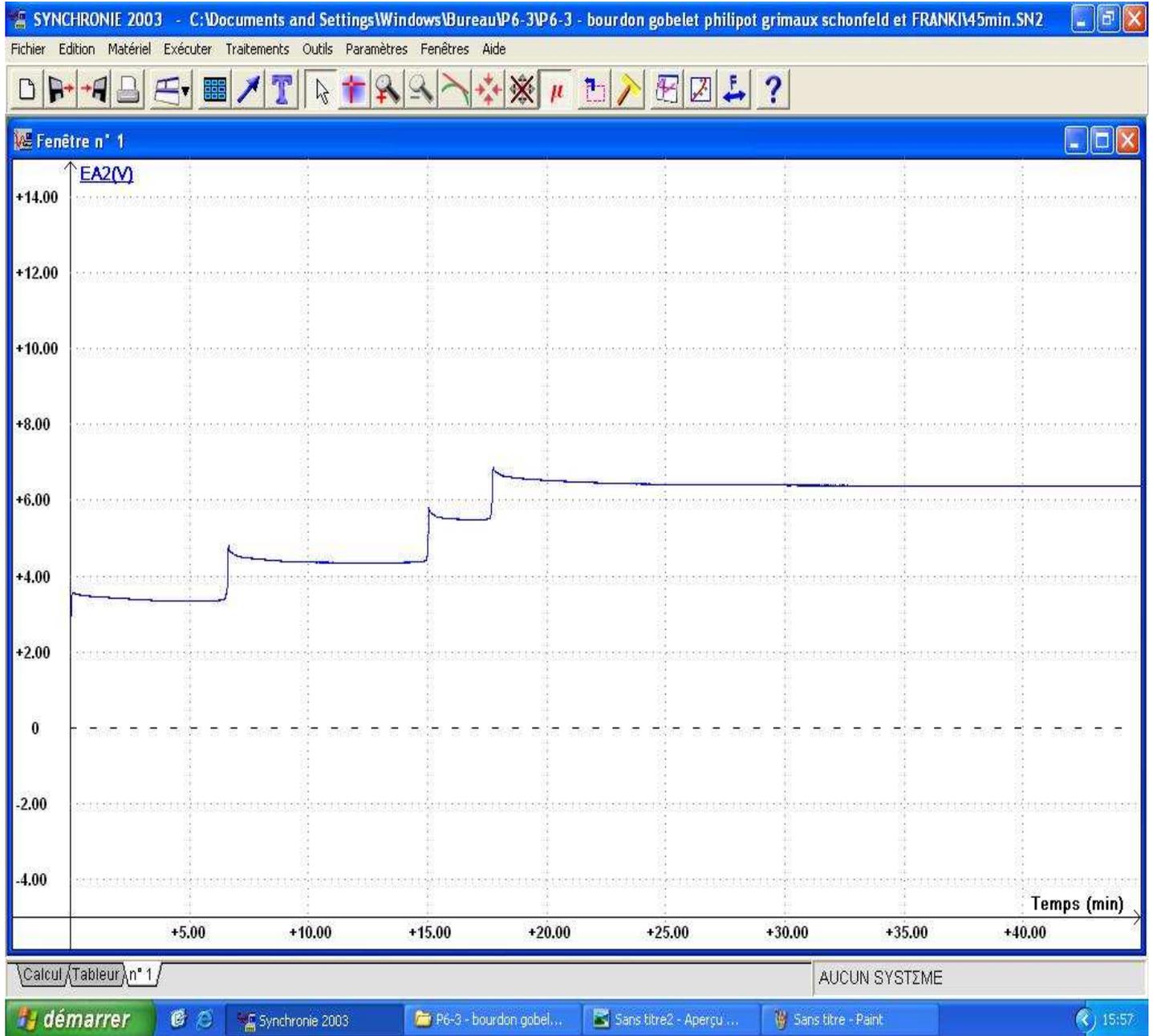
## 6. Annexes.

Schéma du montage :



## Courbes de résultats :

### 45 premières minutes de charge :



## Courbe de la charge totale (18 heures) :

