

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

Département d'Electronique

Mémoire de Master en électronique

---

# Technique de charge impulsionnelle pour les batteries Acide—Plomb

---

**Billel DJELLOULI**

Sous la direction de **M. Mourad HADDADI** (Professeur)

Présenté et soutenu publiquement le **10/10/2016**

## Composition du Jury :

Président	M. Med Salah AIT CHEIKH	Pr.	ENP
Rapporteur/ Promoteur	M. Mourad HADDADI	Pr.	ENP
Examineur	M. Cherif LARBES	Pr.	ENP

**ENP 2016**

## **Remerciements**

*En premier lieu, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour réaliser ce travail.*

*Je remercie mes parents, mes chers frères et sœurs qui m'ont soutenu durant mes études.*

*Je remercie mes six neveux qui m'ont toujours apporté la joie et la bonne humeur.*

*Mes sincères gratitude à M. Mourad Haddadi qui m'a orienté et dirigé durant mon projet.*

*Je remercie également les membres de jury: M. Med Salah Ait Cheikh Président de jury / Chef du département d'électronique, ainsi que M. Cherif Larbes comme examinateur, qui nous ont honorés en accordant du temps et de l'énergie à la lecture de ce document et qualifier notre travail.*

*Je remercie chaleureusement tous les membres de l'équipe du Laboratoire des Dispositifs de Communication et de Conversion Photovoltaïque qui m'ont éclairé avec leur savoir et leur expérience.*

*Enfin, je remercie tous mes amis qui m'ont soutenu moralement, et toute personne qui m'a aidé de près ou de loin afin d'effectuer ce travail.*

## ملخص

إن إطالة عمر بطاريات الرصاص هو مشروع بحث كبير للتطوير والاستغلال الأمثل للموارد. واحدة من أسباب تدهور البطارية الرصاص هي تشكل كبريتات الرصاص الثنائي في القطب الموجب للبطارية. من ناحية أخرى، فإن الطريقة البديهية لتسريع زمن الشحن هو ببساطة رفع مستوى التيار الكهربائي. و لكن، هذا يؤدي إلى تأثير سلبي على البطارية. لمعالجة هذه المشاكل، تم استعمال أسلوب الشحن عن طريق نبضات في التيار. وبالإضافة إلى ذلك تم اقتراح دائرة كهربائية الشحن.

**الكلمات المفتاحية:** شاحن كهربائي، بطاريات الرصاص، شحن عن طريق نبضات، شحن سريع.

## Abstract

Extend the life of lead-acid batteries is a major research project for the development and optimization of resources. One of the main battery deterioration reasons is the sulfation at the anodes. On the other hand, the intuitive method to reduce charging time is simply performed by using high direct current intensity. However, this causes adverse effects on the battery. To solve these problems, a pulse charging method was considered. In addition, a charging circuit has been proposed.

**Keywords:** Charger, Lead Acid Batteries, Pulse charging, fast charging.

## Résumé

Prolonger la durée de vie des batteries au plomb est un projet de recherche important pour le développement et l'optimisation des ressources. Une des principales raisons de détérioration des batteries est la sulfatation au niveau des anodes. D'un autre côté, la méthode intuitive d'accélérer le temps de charge est réalisée simplement en utilisant un courant continu de grande intensité. Cependant, cela provoque des effets néfastes sur la batterie. Pour remédier à ces problèmes, une méthode de charge à impulsions été considérée. En plus un circuit de charge a été proposé.

**Mots clés:** Chargeur, Batteries Acide-Plomb, Charge impulsionnelle, charge rapide.

# Tables des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale .....	9
 <i>Chapitre 1: Rappel théorique sur les batteries acide—plomb</i>	
1.1. Introduction .....	11
1.2. Constitution générale.....	11
1.3. Réaction chimique.....	12
1.4. Les différents types de batteries au plomb.....	13
1.4.1. La batterie au plomb ouverte .....	13
1.4.2. La batterie à recombinaison de gaz .....	13
1.5. Charge d'une batterie au plomb .....	14
1.5.1. Mode de charge à tension constante (CV).....	14
1.5.2. Mode de charge à courant constant (CC) .....	14
1.5.3. Mode de charge à courant constant - tension constante (CC/CV) .....	15
1.5.4. Mode de charge à trois phases .....	15
1.5.5. Récapitulatif des modes de charges.....	16
1.6. Conclusion .....	16
 <i>Chapitre 2: Charge impulsionnelle</i>	
2.1. Introduction .....	18
2.2. Sulfatation des batteries .....	18
2.3. Expériences de désulfatation et prolongement de duré de vie.....	19
2.3.1. Expériences de l'équipe ITE Battery Research Institute.....	19
2.3.2. Expérience de l'activateur à impulsions.....	23
2.4 Conclusion .....	25
 <i>Chapitre 3: Proposition d'une réalisation pratique</i>	
3.1. Introduction .....	28
3.2. Algorithme de charge proposé.....	28
3.3. Présentation du circuit .....	29
3.4. Fonctionnement global .....	30
3.5. Fonctionnement détaillé .....	31

3.6. Conclusion .....	31
Conclusion générale .....	32
Bibliographie .....	33

## Liste des figures

Figure 1.1: Batterie au plomb pour les automobiles .....	9
Figure 1.2: Constitution d'une cellule de batterie au plomb .....	11
Figure 1.3: Représentation des électrodes dans une batterie au plomb .....	12
Figure 1.4: Courbe de charge à tension constante .....	14
Figure 1.5: Courbe de charge à courant constant .....	14
Figure 1.6: Courbe de charge à tension constante – courant constant .....	15
Figure 1.7: Courbe de charge à trois phases .....	15
Figure 2.1 : Sulfatation d'une borne de batterie .....	18
Figure 2.2 : Circuit de charge/décharge .....	20
Figure 2.3 : Forme d'onde du courant .....	20
Figure 2.4 : Procédé de commutation entre la charge et la décharge .....	21
Figure 2.5 - a : Résultats des expériences charge/décharge. Le pic du courant est 45A. Courant moyen 8A. Durée de l'impulsion est de 1ms (10000s après le début de l'expérience) .....	21
Figure 2.5 - b : Résultats des expériences charge/décharge. Le pic du courant est 45A (30000 à 32500s après le début de l'expérience) .....	21
Figure 2.6 : Résultats de charge/décharge avec une charge impulsionnelle sur une ancienne batterie avec des additifs .....	22
Figure 2.7 : Caractéristique de décharge avant et après la charge impulsionnelle .....	22
Figure 2.8 : Schéma de l'activateur d'impulsions .....	23
Figure 2.9 - a : Modèle de dissolution de la matière active par un courant élevé de décharge .....	23
Figure 2.9 - b: Modèle de dissolution de la matière active par un courant élevé de charge .....	23
Figure 2.10 - a : Courant impulsionnel et courant de charge dans la charge et la décharge ..	24
Figure 2.10 - b : Forme d'onde du courant de l'activateur, Courant impulsionnel et courant de charge dans la charge et la décharge .....	24

Figure 2.11 : Comparaison d'une charge normale et une charge avec un activateur à impulsions .....	25
Figure 2.12 : Comparaison entre un chargeur typique avec un chargeur à impulsions (PulseTech) .....	26
Figure 3.1: Courbe de tension et courant pour la charge impulsionnelle proposée .....	29
Figure 3.2: Schéma synoptique global du chargeur .....	30
Figure 3.3 : Circuit électronique de charge .....	31

## Liste des tableaux

Tableau 1.1: Récapitulatif des avantages et inconvénients des modes de charge .....	14
---	----

## Introduction générale

La batterie au plomb constitue l'une des premières sources chimiques du courant électrique. Elle a apparue à la fin du XVIIIème siècle. C'est l'une des types de batteries le plus largement répandu sur le marché. La taille globale du marché des batteries acide-plomb a été évaluée à 47.88 milliards de dollars en 2014 et devrait connaître une croissance significative au cours des sept prochaines années, en raison d'une demande croissante pour l'automobile et les alimentations sans interruption [1]. Le marché mondial de ce type de batteries atteindra 76.44 milliards de dollars en 2022 [2].



*Figure 1.1: Batterie au plomb pour les automobiles*

La batterie est un élément très important dans les appareils électriques. Cependant, les caractéristiques de la batterie telle que la capacité, la densité d'énergie, temps de charge, la durée de vie et le coût restent des problématiques. La durée de vie et le temps de charge dépendent fortement des caractéristiques du chargeur. Par conséquent, il y a plusieurs travaux importants qui se font pour la recherche avancée des techniques nouvelles et pour minimiser simultanément le temps de charge et d'optimiser la durée de vie de la batterie. Idéalement, un chargeur rapide peut injecter de l'énergie dans une batterie de telle sorte que la batterie est chargée à sa pleine capacité dans un court laps de temps. Donc un chargeur peut fournir un taux élevé de courant, cependant, cela provoque une perturbation dans la concentration des ions entre les électrodes et excite fortement les réactions chimiques à l'intérieur de la batterie. Cela se traduit par la génération de la chaleur et une diminution des performances de l'électrode, ce qui conduit à réduire la capacité maximale et raccourcir la vie de la batterie [3]. Pour faire face à ce problème les chercheurs ont commencé à développer une nouvelle technique pour accélérer la charge de la batterie et augmenter sa durée de vie, c'est la charge impulsionnelle.

# ***Chapitre 1***

## ***Rappel théorique sur les batteries acide—plomb***

## 1.1. Introduction

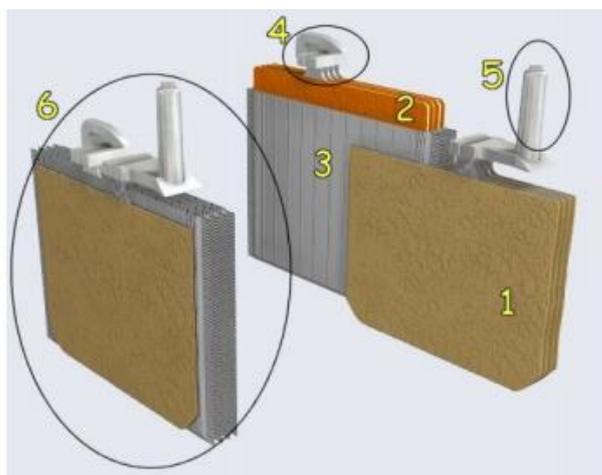
Dans ce chapitre nous allons introduire des généralités sur les batteries au plomb. Nous allons décrire la constitution générale et la réaction chimique qui se produit. Ensuite, nous allons rappeler brièvement les types des batteries au plomb. Et enfin, nous décrirons les méthodes de charge en citant leurs avantages et inconvénients.

## 1.2. Constitution générale

Une batterie au plomb est composée de plusieurs éléments dont le nombre détermine la tension que la batterie délivrera. Un élément est une association d'électrodes positives et négatives baignant dans de l'électrolyte. L'ensemble a une différence de potentiel entre ses bornes d'environ 2 Volts.

L'électrode positive est composée d'oxyde de plomb et l'électrode négative de plomb. L'électrolyte, dont la fonction est d'assurer le transfert des ions entre les électrodes pendant la réaction chimique, est une solution acide. [4]

Un élément de batterie de démarrage (technologie « plomb ouvert ») comprend des plaques planes positives **(2)** et négatives **(1)** assemblées en alternance (Voir figure 1.2). Le nombre de plaques pour chaque polarité et leur surface sont les paramètres qui définissent la capacité de l'élément. Par exemple, l'électrode positive comporte ici 4 plaques en parallèle, reliées par un connecteur **(4)**. Pour éviter les courts circuits entre les plaques de polarité différente, un séparateur microporeux isolant est placé entre ces plaques lors du montage **(3)**. Les plaques positives et négatives sont assemblées en faisceaux **(6)** et plongées dans une solution d'acide sulfurique et d'eau distillée. Chaque faisceau constitue ainsi un élément. [5]



- (1) Électrode négative, composée de 4 plaques en plomb spongieux (Pb)
- (2) Électrode positive, composée de 4 plaques de dioxyde de plomb (PbO<sub>2</sub>)
- (3) Séparateur micro poreux (pochette en polyéthylène)
- (4) Pontet de connexion en plomb
- (5) Borne terminale négative
- (6) Un élément Pb/PbO<sub>2</sub>

Figure 1.2: Constitution d'une cellule de batterie au plomb

### 1.3. Réaction chimique

Le procédé chimique d'une batterie au plomb est constitué de deux électrodes: l'électrode négative est formée du plomb métallique (Pb) et l'électrode positive est formée de l'oxyde de plomb (PbO<sub>2</sub>). Toutes les deux sont immergées dans une solution d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), comme illustré sur la figure ci-contre.

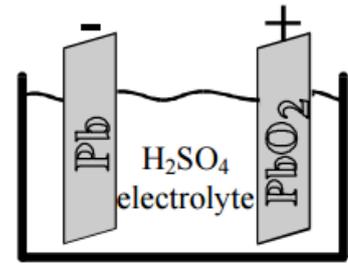
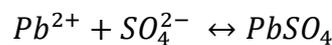
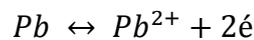
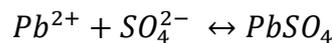
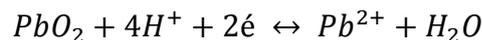


Figure 1.3: Représentation des électrodes dans une batterie au plomb

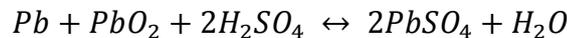
Lors de la décharge de la cellule, les deux électrodes accumulent le sulfate de plomb PbSO<sub>4</sub> (solide) et l'électrolyte est converti en H<sub>2</sub>O, alors que l'inverse se produit lors de la charge. A l'électrode négative, ce processus peut être décrit par les équations chimiques suivantes:



De même à l'électrode positive, nous pouvons écrire:

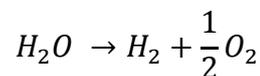


Donc la réaction globale s'écrit



Ou la réaction de charge se produit de droite vers la gauche. Quant à la réaction de décharge elle se produit de gauche vers la droite.

Quand la cellule atteint la charge complète et la majorité du PbSO<sub>4</sub> a été converti en Pb et PbO<sub>2</sub>, la tension de charge de la cellule devient supérieure à un certain seuil appelé la « tension de gazage ». A ce point, la réaction de surcharge commence, en plus des réactions de la charge normale, ce qui entraîne la production du gaz d'hydrogène et du gaz d'oxygène (réaction de l'électrolyse de l'eau).



La production excessive de gaz de la batterie est indésirable car elle entraîne un gaspillage d'énergie et une augmentation importante du temps de charge. En même temps, si le gaz n'est pas correctement ventilé, il sera recueilli et aura un potentiel explosif. Dans les batteries VRLA (Voir 1.4.2), ce problème est minimisé car ces gaz se recombinaient à une pression élevée, mais le gazage excessif à la suite d'une mauvaise charge oblige la valve de protection de l'évacuer. [6]

## 1.4. Les différents types de batteries au plomb

Il existe deux principaux types d'accumulateurs au plomb, la batterie dite ouverte et la batterie scellée ou à recombinaison de gaz

### 1.4.1. La batterie au plomb ouverte

Lors du fonctionnement de la batterie au plomb dite ouverte, il y a une production de gaz suite aux réactions secondaires de décomposition de l'eau. Ces gaz s'échappent naturellement par les orifices prévus au niveau des bouchons. Le dégagement du dihydrogène  $H_2$  dans le lieu de stockage des batteries est une source de danger, car son mélange avec l'air ambiant est potentiellement explosif à partir de 4% en volume. Pour cela, dans le cadre du stationnaire de secours, une installation en locaux spécifiques ventilés est obligatoire.

### 1.4.2. La batterie à recombinaison de gaz

Les batteries à recombinaison de gaz sont appelées aussi batteries VRLA (Valve Regulated Lead-Acid) ou parfois batteries étanches: l'électrolyte est gélifié. Après, la maîtrise des procédés d'absorption d'acide dans la fibre de verre, les chercheurs ont élaboré des séparateurs imbibés d'électrolyte: le marché de cette technologie à électrolyte immobilisé prenait son essor.

L'électrolyte immobilisé est la clef du processus de recombinaison, dont le rendement est élevé. Toutefois, 2 à 3% des gaz produits ne sont pas recombinaison, et pour se prévenir de tout risque de surpression qui pourrait provoquer une destruction interne de la batterie, une soupape d'aération régulée par pression est nécessaire. C'est pourquoi les batteries à recombinaison de gaz sont appelées aussi batteries VRLA (pour Valve-Regulated Lead-Acid) et parfois improprement batteries étanches.

Ce type d'électrolyte offre plusieurs avantages :

- \* Il permet la formation de chemins gazeux facilitant le transfert rapide du dioxygène, qui suit alors un cycle interne. Cette propriété se traduit par une très faible consommation en eau lors de surcharges de la batterie.
- \* Il supprime quasiment le phénomène de stratification de l'électrolyte.
- \* Il autorise le placement des batteries dans des locaux quelconques, dans n'importe quelle position (souvent horizontale, ce qui facilite l'accès aux bornes). [5]

## 1.5. Charge d'une batterie au plomb

### 1.5.1. Mode de charge à tension constante (CV)

Le mode de charge à tension constante est le moyen le plus simple pour charger la batterie. Sa courbe de charge est représentée sur la figure 1.4. On peut voir que le courant de charge diminue progressivement lorsque la batterie tend vers l'état de la charge complète. Cette méthode ne provoque pas l'augmentation significative de la température de la batterie, et le problème de la surcharge ne produira pas. Cependant, elle a besoin d'un temps de chargement long, et le courant au début de charge peut excéder le courant nominal.

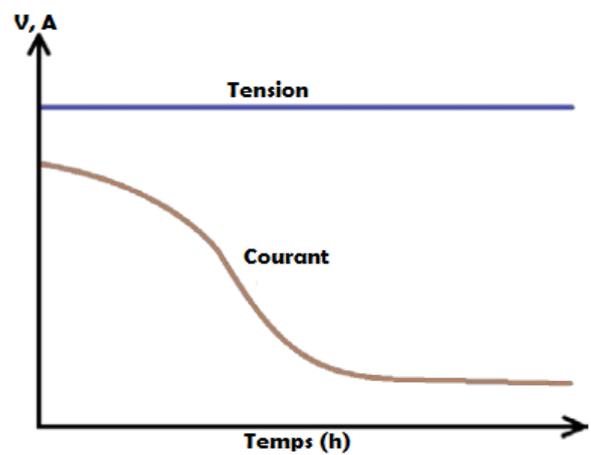


Figure 1.4: Courbe de charge à tension constante [7]

### 1.5.2. Mode de charge à courant constant (CC)

La courbe de charge, en utilisant le mode à courant constant, est représentée dans la figure 1.5. Dans ce mode, une source de courant est utilisée pour entraîner un courant uniforme à travers la batterie dans une direction opposée au sens de la décharge. Il est possible que le courant de charge puisse être réglé en dessous du courant nominal de sorte qu'il ne sera pas supérieur à la limite nominale. D'autre part, la tension de charge dépend du courant de charge et le temps de charge peut être estimé facilement. Cependant, l'inconvénient est que cela peut causer le problème de surcharge, et la température de la batterie peut augmenter rapidement.

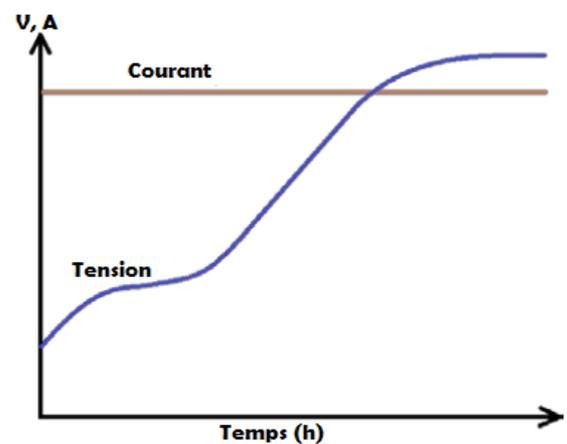


Figure 1.5: Courbe de charge à courant constant [7]

### 1.5.3. Mode de charge à courant constant - tension constante (CC/CV)

Ce mode combine à la fois la méthode de charge courant constant et tension constante. Dans le premier stade, appelé bulk, le courant constant est utilisé pour charger la batterie jusqu'à ce que la tension de la batterie atteigne la tension de surcharge. Ensuite, le mode de charge passe à l'étape de la tension constante, appelé phase d'absorption, ou la tension de la batterie est maintenue sur une valeur bien définie. La

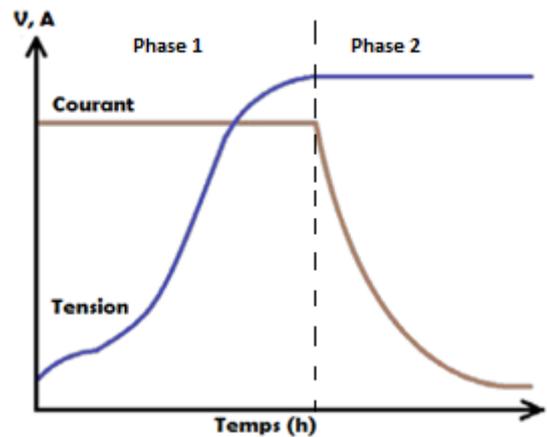


figure 1.6 indique la courbe de charge. L'avantage de cette méthode est que le temps de charge peut être réduit de façon considérable. [7]

Figure 1.6: Courbe de charge à tension constante - courant constant [7]

A noter que la valeur typique du courant de charge typique est de  $C / 10$ . Il pourrait être augmenté pour une charge rapide mais peut causer des problèmes pour la batterie. Pour la tension maximale, son choix est très critique. La valeur typique est de 2.30 V à 2.45V. Si une charge lente est acceptable, ou la température ambiante peut dépasser 30 ° C, la limite de tension recommandée est de 2.35V / cellule. Si une charge plus rapide est nécessaire, et la température ambiante reste inférieure à 30 ° C, 2.40 à 2.45 V / cellule peut être utilisée. [8]

### 1.5.4. Mode de charge à trois phases

En plus des phases du CC/CV, une 3<sup>ème</sup> phase de tension constante, dite de maintien ou floating, est ajoutée à la fin.

Une fois la batterie est complètement chargée et peut être opérationnelle, un niveau inférieur de tension est maintenu aux bornes de la batterie. Cette étape est ajoutée afin de compenser les pertes par le phénomène d'autodécharge.

La tension de maintien recommandée de la plupart des batteries au plomb à basse pression est comprise entre 2,25 à 2.30V par cellule. Un bon compromis est 2.27V. [8]

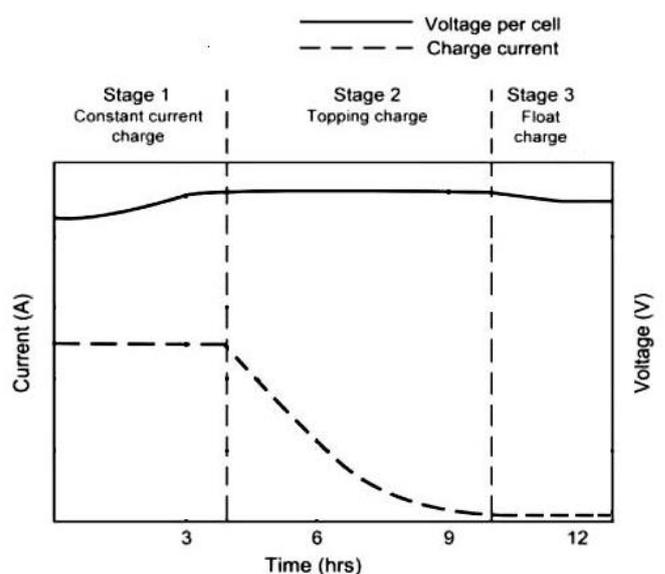


Figure 1.7: Courbe de charge à trois phases [8]

### 1.5.5. Récapitulatif des modes de charges

Chaque méthode a ces points forts mais présente aussi des points faibles qu'on essaie toujours d'éliminer ou réduire leurs effets. Le tableau suivant liste les avantages et les inconvénients de chaque méthode.

**Tableau 1.1: Récapitulatif des avantages et inconvénients des modes de charge**

<b>Méthode</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
Tension constante (CV)	<ul style="list-style-type: none"><li>• La plus simple</li><li>• Pas de problème de surcharge</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Temps de chargement très long.</li></ul>
Courant constant (CC)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Temps de chargement plus court et la possibilité de l'estimer</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Problème de surcharge</li><li>• Augmentation de la température</li></ul>
Courant constant - Tension constante (CC/CV)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Un compromis entre CC et CV</li><li>• Temps de chargement court</li><li>• Elimination du problème de surcharge</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Autodécharge quand la batterie n'est pas utilisée</li></ul>
Mode de charge à trois phases	<ul style="list-style-type: none"><li>• Avantages du CC/CV en plus maintien de la batterie</li></ul>	

Bien que le mode charge à trois phases ne présente pas des inconvénients particuliers, la réduction du temps de charge et la préservation de la durée de vie restent des enjeux perpétuels. Cela donc est un moteur pour développer les chargeurs actuels, ce qui a amené les chercheurs pour trouver d'autres méthodes, à savoir la charge impulsionnelle.

## 1.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons introduit des généralités de base sur les batteries au plomb. Nous avons décrit le mécanisme de la réaction chimique qui se produit. Ensuite, nous avons vu brièvement les deux grands types de batteries au plomb qui sont : La batterie ouverte et la batterie à recombinaison de gaz. Et enfin, nous avons décrit les méthodes de charge standard : CC, CV, CC/CV à 2 phases et la CC/CV à 3 phases en récapitulant avec leurs points positifs et négatifs.

## ***Chapitre 2***

### ***Charge impulsionnelle***

## 2.1. Introduction

De nombreuses études ont été menées afin de prolonger la durée de vie des batteries acide-plomb. Ces études sont classées en: (1) étude par rapport à la manipulation et à l'environnement de l'utilisation des batteries, (2) les méthodes utilisant des additifs, et (3) les méthodes pour contrôler le courant électrique dans la charge et la décharge. Nous allons nous intéresser à la troisième approche.

Ce chapitre va expliquer le problème de sulfatation au niveau des batteries. Deux études seront présentées par la suite. Elles ont été réalisées par des équipes de « ITE Battery Research Institute » de l'université d'Osaka City. Ils visent à éliminer le sulfate, augmenter la durée de vie et améliorer la charge des batteries au plomb en utilisant des techniques impulsives.

## 2.2. Sulfatation des batteries

Pendant l'utilisation des batteries, de petits cristaux de sulfate se forment, mais ceux-ci sont normaux et ne sont pas nuisibles. Cependant, il se peut que le sulfate de plomb amorphe se transforme en un solide cristallin et se stabilise sur les plaques. Cela conduit à l'élaboration de gros cristaux qui réduisent la matière active de la batterie, qui est responsable de la performance.



*Figure 2.1 : Sulfatation d'une borne de batterie*

Il existe deux types de sulfatation: réversible (ou sulfatation moue), et permanente (sulfatation dure). Si une batterie déjà utilisée, la sulfatation réversible peut souvent être corrigée par l'application d'une surcharge à une batterie déjà complètement chargée, sous la forme d'un courant régulé. La tension aux bornes de la batterie est autorisée à atteindre entre 2,50 et 2.66V / cellule (15 et 16V pour pack de 12V) pendant environ 24 heures. L'augmentation de la température de la batterie à 50-60 °C pendant la correction supplémentaire aide à dissoudre les cristaux.

La sulfatation permanente apparaît quand une batterie, est dans un état de faible charge, a été stockée pendant plusieurs semaines ou de mois. A ce stade, aucune forme de restauration ne semble possible. Toutefois, de nouvelles batteries au plomb peuvent

souvent être entièrement restaurées après un séjour dans un état basse tension pendant plusieurs semaines. D'autres facteurs peuvent jouer un rôle.

Une indication subtile si l'acide de plomb peut être récupéré ou non est visible sur la courbe de décharge de tension. Si une batterie complètement chargée conserve un profil de tension stable pendant la décharge, les chances de réactivation sont meilleures que si la tension diminue rapidement [9].

Plusieurs travaux de recherche ont été effectués et plusieurs entreprises ont développées une nouvelle technique afin de désulfater les batteries, c'est la charge impulsionnelle. Cette dernière vise à envoyer des impulsions de courant afin de dissoudre les cristaux de sulfate formés. Cela donc va aider à la régénération de la batterie et augmenter sa durée de vie.

## **2.3. Expériences de désulfatation et prolongement de durée de vie**

Jusqu'à présent, en général, il a été recommandé de ne pas décharger à un courant important, de ne pas décharger profondément et ne pas le charger excessivement afin d'utiliser les batteries pendant une longue période de temps. Si la décharge d'un courant important est effectuée, ou si la décharge est répétée au taux normal de 5C-10C, un noyau de  $PbSO_4$  se produit à la surface de l'anode, et la cristallisation d'un non-conducteur est susceptible de se produire. Comme moyen de prolonger la durée de vie, un procédé de réalisation d'une charge infime afin d'améliorer les caractéristiques principales aussi longtemps que possible en extrayant le plomb de l'intérieur de l'électrode à la surface a été réalisée. La méthode de mettre un petit courant à haute fréquence de charge dans des batteries appartient à cette catégorie.

### **2.3.1. Premières expériences de l'équipe ITE Battery Research Institute**

Une étude a été menée par l'équipe ITE Battery Research Institute de l'université d'Osaka City sera présentée. Cette étude vise à prolonger la durée de vie des batteries en enlevant le sulfate des anodes.

#### **Expérience 1**

Dans cette expérience les batteries acide—plomb de démarrage de véhicule ont été utilisées. La batterie ayant une capacité de 28Ah. Le dispositif de charge est indiqué dans la figure 2.2. Lorsque le commutateur « S » est fermé, c'est un circuit de charge et décharge standard avec un courant continu. Lorsque le commutateur « S » est ouvert, la charge va être réalisée par un cycle de service commandé par le générateur de fonctions. La figure 2.3 est un exemple de la forme d'onde du courant utilisée dans l'expérience. Le courant de

charge est 45A, et le courant moyen est d'environ 7,5A. Une résistance d'1  $\Omega$  a été utilisée comme charge. Un condensateur de 22000  $\mu\text{F}$  a été placé en parallèle avec la source d'alimentation. Ceci permet l'accumulation d'un grand courant pour le courant d'impulsion. Marche/Arrêt de la charge ou décharge est assuré par les deux commutateurs « 1 » et « 2 ».

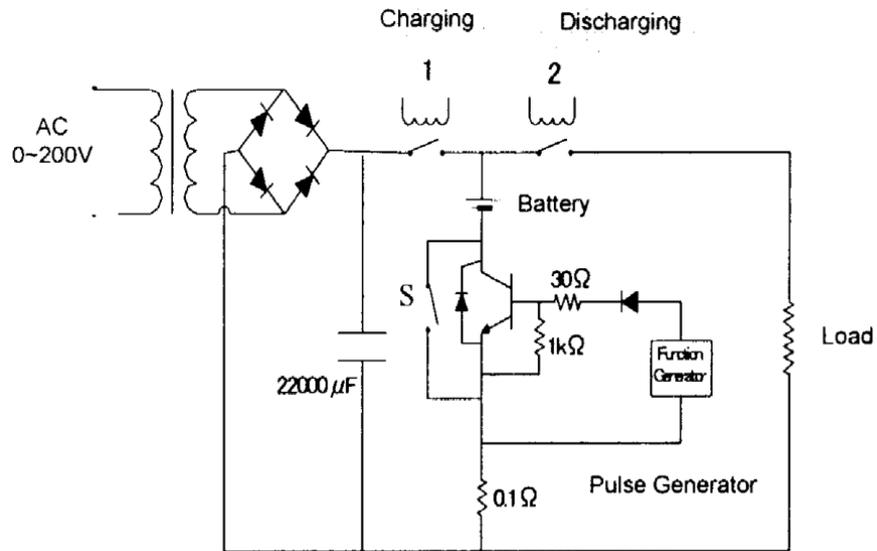


Figure 2.2 : Circuit de charge/décharge

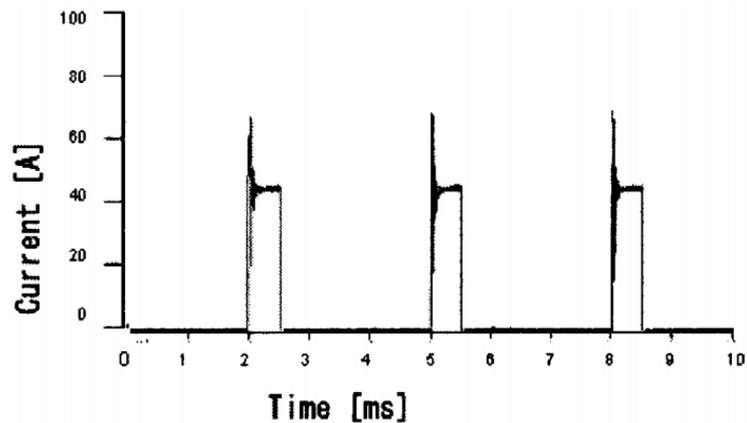


Figure 2.3 : Forme d'onde du courant

Deux types de forme d'onde de courant qui simulent le fonctionnement réel des véhicules, ont été utilisés dans cette expérience. Une méthode consiste à arrêter la charge lorsque la tension devient 14.5V, et le passage en charge lorsque la tension diminue à 10.5V pendant la décharge. Les nouvelles batteries ont été utilisées pour l'expérience. La figure 2.4 montre le procédé de commutation entre la charge et la décharge.

## Time Sequence

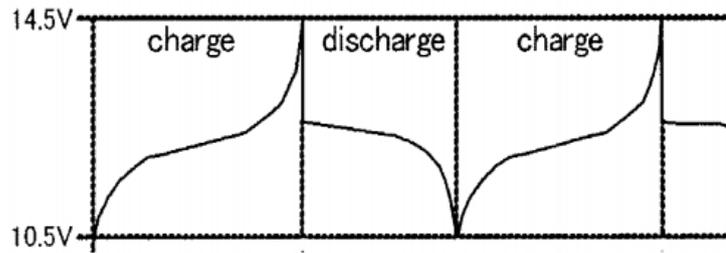


Figure 2.4 : Procédé de commutation entre la charge et la décharge

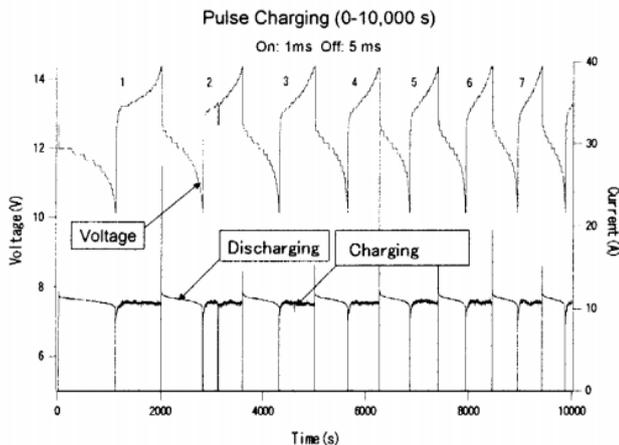


Figure 2.5 - a : Résultats des expériences charge/décharge. Le pic du courant est 45A. Courant moyen 8A. Durée de l'impulsion est de 1ms (10000s après le début de l'expérience)

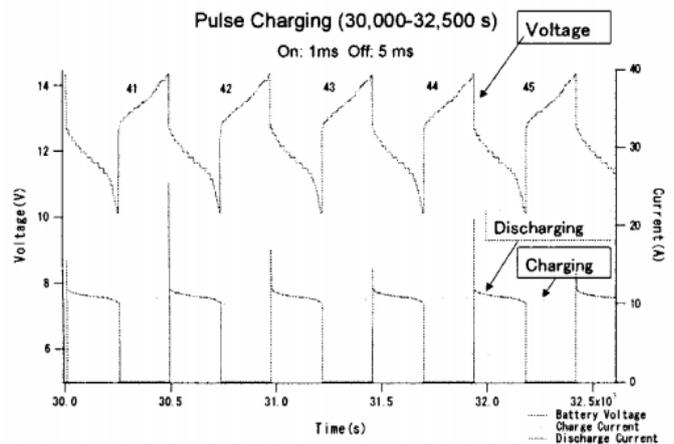


Figure 2.5 - b : Résultats des expériences charge/décharge. Le pic du courant est 45A (30000 à 32500s après le début de l'expérience).

Dans cette expérience, la résistance interne a augmenté en raison de la détérioration des batteries et le chargement est arrêté à une tension de la batterie de 14.5V; la charge n'a pas été terminée complètement. Par conséquent, la durée de décharge des batteries a été raccourcie. Il est apparu que la détérioration des batteries a été accélérée. Par conséquent, une autre expérience a été menée.

## Expérience 2

Afin d'éviter l'impact provoqué par l'augmentation de la résistance à l'intérieur des batteries, le temps de charge est rendu constant. En outre, la décharge a été réalisée avec une résistance de  $1 \Omega$  jusqu'à ce qu'à la tension de 10.5V, et cela a été répété pendant plusieurs cycles. Ceci est représenté sur la figure 2.7. Dans cette expérience, des batteries qui n'ont pas été utilisées pendant presque un an ont été utilisées, et que les batteries sont à une capacité de 28Ah, ce qui est la même pour les batteries de l'expérience 1. Ces batteries contiennent des additifs ITE.

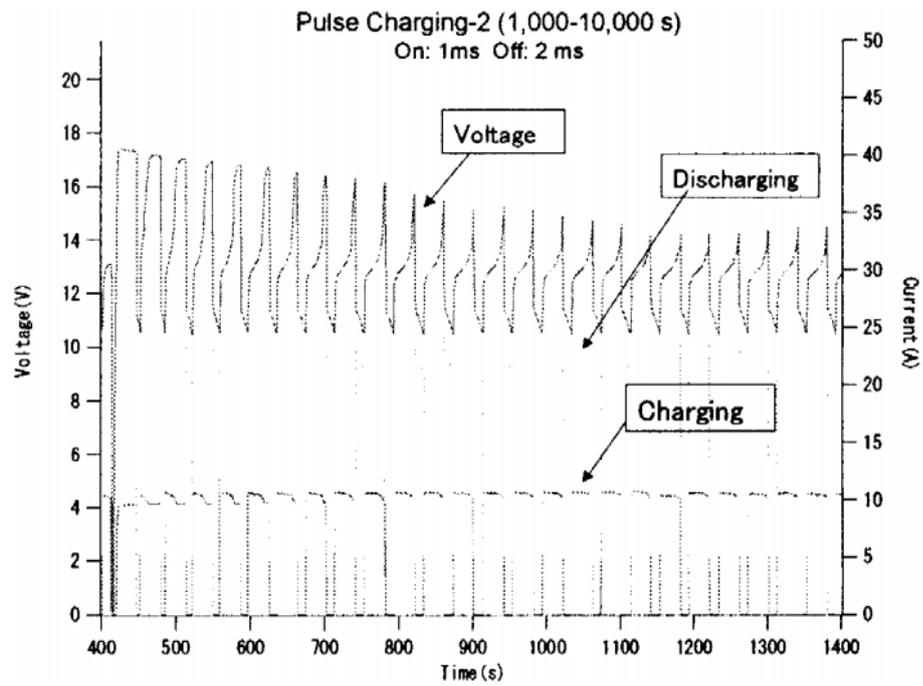


Figure 2.6 : Résultats de charge/décharge avec une charge impulsionnelle sur une ancienne batterie avec des additifs

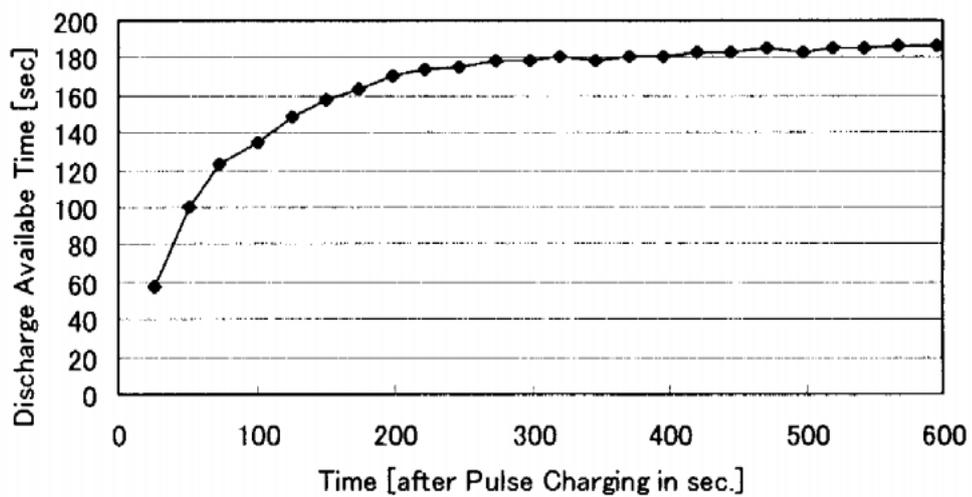


Figure 2.7 : Caractéristique de décharge avant et après la charge impulsionnelle

La figure 2.8 montre clairement que si la charge impulsionnelle a été répétée, le temps de décharge se prolonge et ce pour une période de charge identique, ce qui veut dire que la durée de vie a été augmenté [10].

### 2.3.2. Expérience de l'activateur à impulsions

À l'heure actuelle, il existe dans le commerce des activateurs à impulsions qui éliminent sulfatation, mais le nouvel activateur à impulsion développé utilise le courant très fort, ce fort courant est bien justifié et son efficacité a été vérifiée par l'expérience qui sera expliquée la suite.

#### 2.3.2.1. Présentation

Cet activateur à impulsions tire un courant de décharge de la batterie, puis immédiatement il le renvoie à la batterie. Lors d'une expérience, la charge et de décharge sont maintenues à 14A. Une batterie d'une capacité de 28Ah a été utilisée.

Cet activateur d'impulsion décharge rapidement d'abord la batterie avec un courant élevé, puis immédiatement il la recharge avec un courant élevé aussi. Cette séquence est importante car la

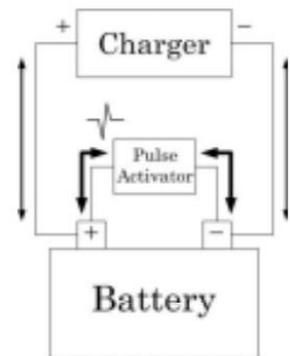


Figure 2.8: Schéma de l'activateur d'impulsions

matière active des électrodes est tout d'abord dissoute par décharge à courant élevé pour concentrer les ions  $Pb^{2+}$  à proximité des électrodes. Puis immédiatement après, le chargement commence avant que ces ions  $Pb^{2+}$  se dispersent pour revenir matière active aux électrodes. Pour cette raison, il est important que le nouveau chargement d'activateur d'impulsion arrive après la décharge. Par ailleurs, la charge continue normale d'environ 14A utilise uniquement les tronçons superficiels de la matière active sur la surface de l'électrode, cependant avec la décharge avec un courant élevé, la décharge peut utiliser des matières actives dans des couches plus profondes de l'électrode. Cette approche dissout plus de matière active de l'électrode que juste en utilisant la charge continue. La matière active dissoute devient des ions  $Pb^{2+}$  par réaction et se concentre à proximité des électrodes (figure 2.10).

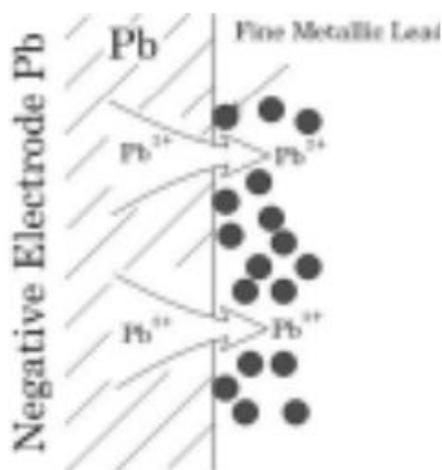


Figure 2.9 - a : Modèle de dissolution de la matière active par un courant élevé de décharge

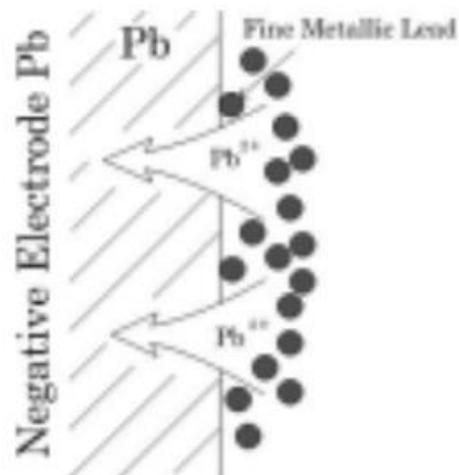


Figure 2.9 - b : Modèle de dissolution de la matière active par un courant élevé de charge

En répétant ce processus de dissolution et le dépôt électrolytique immédiatement après la matière active de l'électrode, les électrodes sont régénérées.

Le circuit de l'activateur a été effectué avec un FET à canal N au centre et commandé par un générateur d'impulsions. L'amplitude du courant des impulsions peut être modifiée en changeant le nombre de tours sur le côté primaire et secondaire du transformateur. L'avantage de cet activateur d'impulsion est que les électrodes peuvent être activées en retournant le même courant tiré de la batterie à la batterie; il fonctionne en utilisant la batterie elle-même en tant que source d'alimentation.

Les figures 2.11 a et b montrent le comportement actuel de la batterie lors de l'utilisation cet activateur d'impulsions.

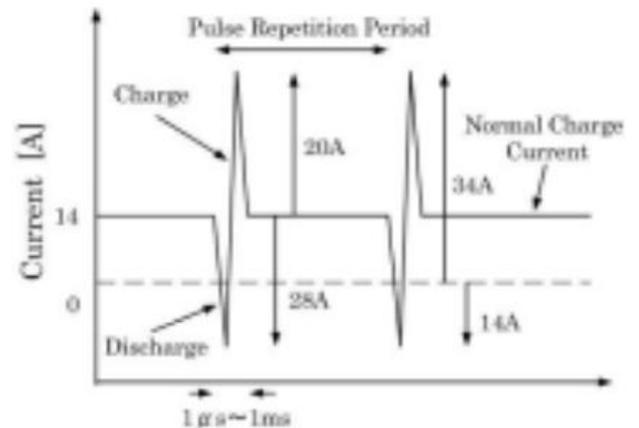
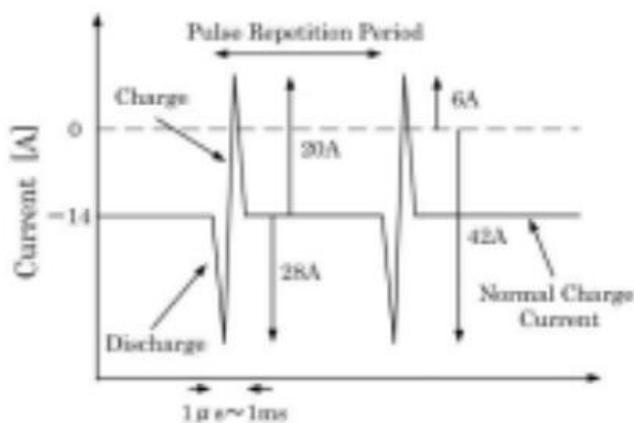
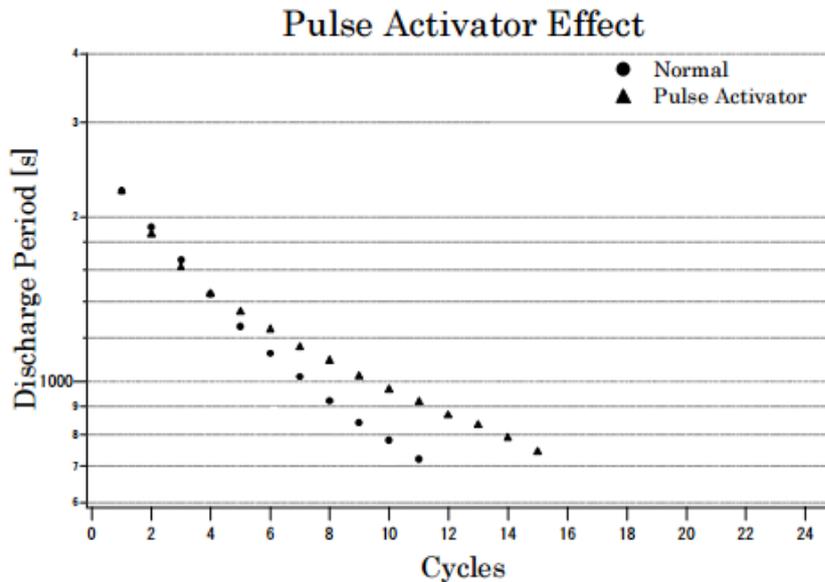


Figure 2.10 - a : Courant impulsionnel et courant de charge pendant la décharge

Figure 2.10 - b : Forme d'onde du courant de l'activateur, Courant impulsionnel et courant de charge dans la charge

### 2.3.2.2. Résultats des expériences

Le courant de charge et de décharge ont été fixé à 14A, tandis que la tension finale de charge a été fixée à 14.5V, et la tension de décharge finale a été fixée à 10,5V. La méthode d'évaluation de l'efficacité de l'activateur d'impulsion était de compter le nombre de cycles jusqu'à la durée de décharge par cycle atteint 720s. Cette durée est équivalente à une baisse de la capacité de service à 10% (2.8Ah).

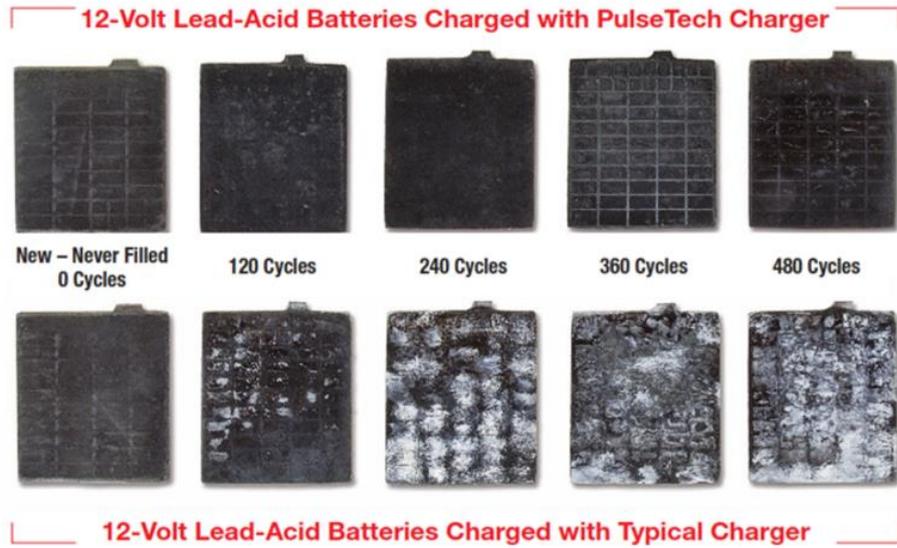


**Figure 2.11 : Comparaison d'une charge normale et une charge avec un activateur à impulsions**

La figure 2.12 montre les caractéristiques de décharge entre une charge normale et une charge avec l'activateur à impulsions. La charge normale permet souvent 11 cycles de décharge. Cependant, l'activateur à impulsions a été en mesure de décharger la batterie jusqu'à 15 cycles. Par conséquent, l'activateur d'impulsion prouve son efficacité dans la prévention de la détérioration et le prolongement de durée de vie de la batterie [11].

## 2.4 Conclusion

Les expériences présentées sont la preuve de l'efficacité des chargeurs impulsionnels. La charge avec des courants impulsionnels intenses est, donc, un moyen de prolonger la durée de vie des batteries acide—plomb. Cela éliminera le sulfate généré au niveau des anodes. Par conséquent, la capacité de la batterie a été augmentée et le temps de charge a été réduit.



**Figure 2.12 : Comparaison entre un chargeur typique avec un chargeur à impulsions (PulseTech) [12]**

## ***Chapitre 3***

# ***Proposition d'une réalisation pratique***

### 3.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons décrire une proposition d'un circuit de charge à impulsions adapté d'un circuit de charge courant constant / tension constante. Nous allons montrer ainsi l'algorithme implémenté dans le microcontrôleur PIC.

### 3.2. Algorithme de charge proposé

L'algorithme de charge proposé est constitué de deux phases : une phase de charge impulsionnelle et une phase de charge de maintien.

#### Phase 1: Charge impulsionnelle

Les impulsions attaquant la batterie ont but, d'une part, d'enlever le sulfate formé dans l'anode de la batterie. Ce qui régénère la batterie, augmente la capacité de la batterie et prolongera sa durée de vie. Et d'une autre part, ces impulsions de courant fournissent de l'énergie à la batterie pour la charger.

La valeur typique du courant d'une charge standard CC est de  $C/10$ . Pour réduire le temps de charge de la batterie, il faut augmenter le courant de charge. Cependant, l'augmentation du courant excite fortement la réaction chimique à l'intérieur de la batterie ce qui provoque un dégagement de la chaleur et une réduction du rendement de la charge. Ce qui prouve que la charge impulsionnelle est une bonne solution pour réduire le temps de charge. Cela n'aura lieu que par un choix adéquat des courants maximum ( $I_{Max}$ ) et moyen ( $I_{Moy}$ ).

En réalité, le courant de charge vu par la batterie est le courant moyen  $I_{Moy}$ . Donc l'astuce c'est de choisir  $I_{Moy}$  supérieur la valeur typique  $C/10$  ( $C/5$  ou  $C/2$  par exemple). Cela permettra à la batterie de recevoir un fort courant pendant un temps  $T_{ON}$  et laisse la réaction chimique se relâche et se stabilise pendant un temps  $T_{OFF}$ . Cette méthode réduira le temps de charge sans déséquilibrer la réaction, dégager de la chaleur ou endommager la batterie.

#### Phase 2: Charge de maintien

Une fois la tension de la batterie atteint la tension maximale (14.4 étant la valeur typique à 25°C) la charge impulsionnelle s'achève. Dans cette phase nous appliquons une tension constante inférieure à la tension maximale qui vaut 13.8 V pour maintenir la batterie chargée et compenser l'autodécharge.

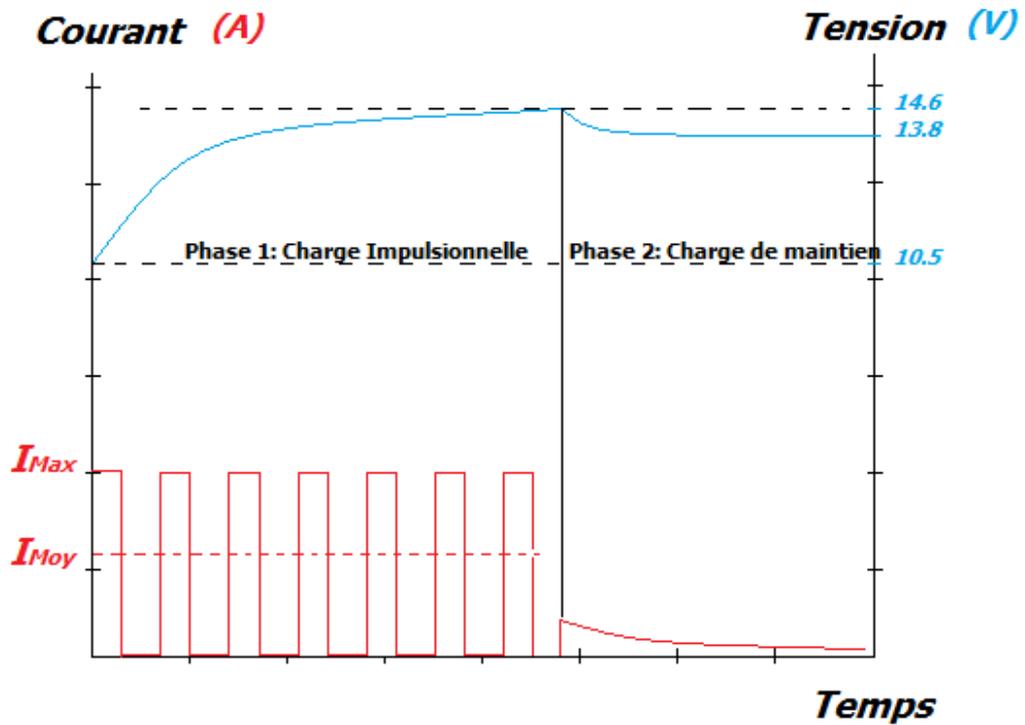


Figure 3.1 : Courbe de tension et courant pour la charge impulsionnelle proposée

#### Remarque

La courbe bleue n'est qu'une allure de l'évolution de la tension de la batterie, car la tension réelle augmente en dents de scie (suivant que le courant soit à l'état haut ou à l'état bas).

### 3.3. Présentation du circuit

Après avoir réalisé un chargeur de batterie au plomb d'une tension de 12V dans le cadre de notre projet de fin d'étude ([13]) avec un algorithme à trois phases, nous allons maintenant tenter d'adapter notre travail pour qu'il fonctionne comme un chargeur à impulsions.

La figure suivante montre le schéma synoptique adopté dans le cas du chargeur à 3 phases.

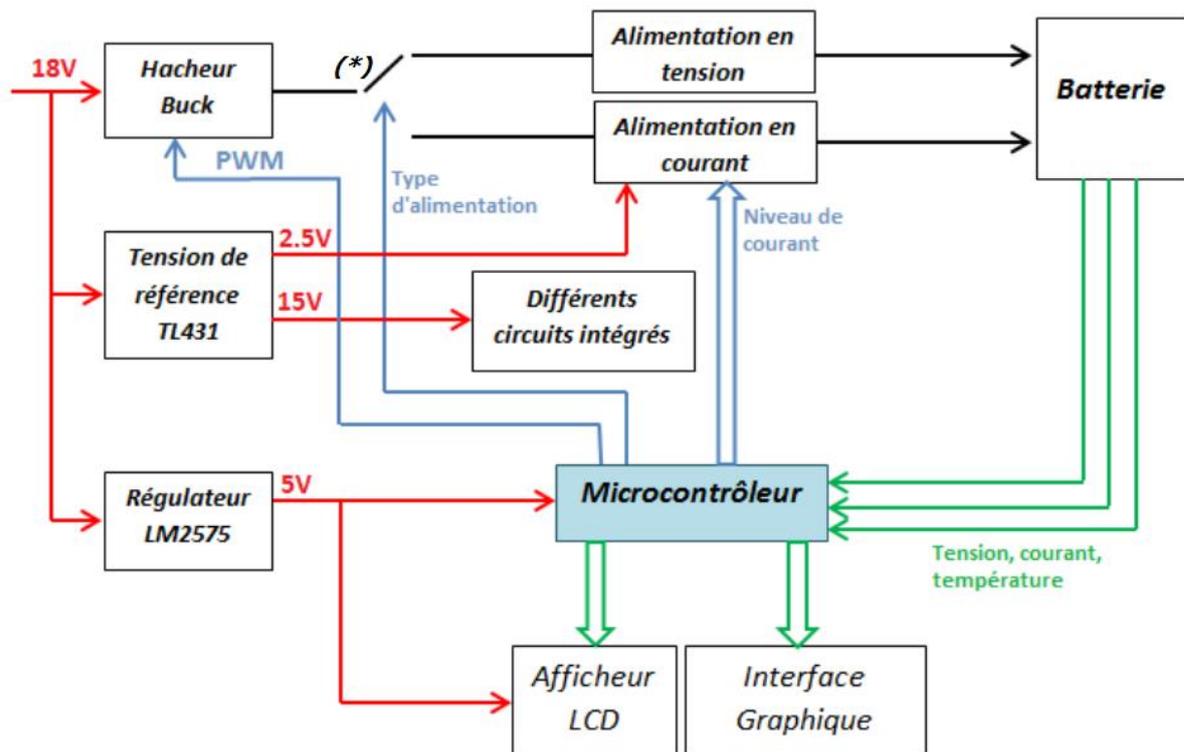


Figure 3.2 : Schéma synoptique global du chargeur

### 3.4. Fonctionnement global

Ce circuit contient plusieurs blocs fonctionnels: Régulateurs, Amplificateurs opérationnels, transistors, éléments passifs, capteurs, ... ils sont tous bâtis autour d'un seul cerveau qui est le microcontrôleur.

Le circuit nécessite une alimentation d'au moins 18V. Le type d'alimentation (en tension ou en courant) est ajustable suivant le blocage ou la saturation de MOSFET (Plus de détails seront expliqués plus tard). Le niveau de la tension responsable à la charge peut être réglé par l'utilisateur, en plus la tension de maintien dépend de la température, nous avons donc réalisé un hacheur qui va convertir les 18V en une tension choisie par l'utilisateur dans la phase de charge impulsionnelle et vers une tension de 13.8V (25°C) pour la phase de maintien. Nous avons prévu aussi une option pour que l'utilisateur puisse ajuster le niveau de courant souhaité. Cela permettra d'avoir un chargeur compatible avec des batteries de différentes capacités. Pour l'alimentation des différents circuits intégrés et autres modules nous avons ajouté des régulateurs de 15V (pour les amplificateurs, le driver des MOSFET et l'optocoupleur) et de 5V (pour le microcontrôleur, l'afficheur LCD et le capteur de température).

### 3.5. Fonctionnement détaillé

La figure ci-dessous montre un schéma de base pour la charge de la batterie à impulsions.

Pour une charge avec des impulsions : La valeur du courant ( $I_{Max}$ ) est ajustée suivant la tension de référence avec le montage R-2R (Voir [13]). Le rapport cyclique (qui donne  $I_{Moy}$ ) et la fréquence sont réglés dans l’algorithme de charge implémenté dans le PIC.

L’activation du générateur de courant se fait en saturant  $M_1$  et bolquant  $M_2$  (c’est-à-dire : **I\_Stop** et **V-ON/OFF** est à 0V). Quant à l’activation du générateur de tension se fait en bolquant  $M_1$  et saturant  $M_2$  (c’est-à-dire : **I\_Stop** et **V-ON/OFF** est à 5V). Pour avoir des impulsions de courant nous avons qu’activer le générateur de courant et activer ou désactiver le hacheur à travers la commande du PWM.

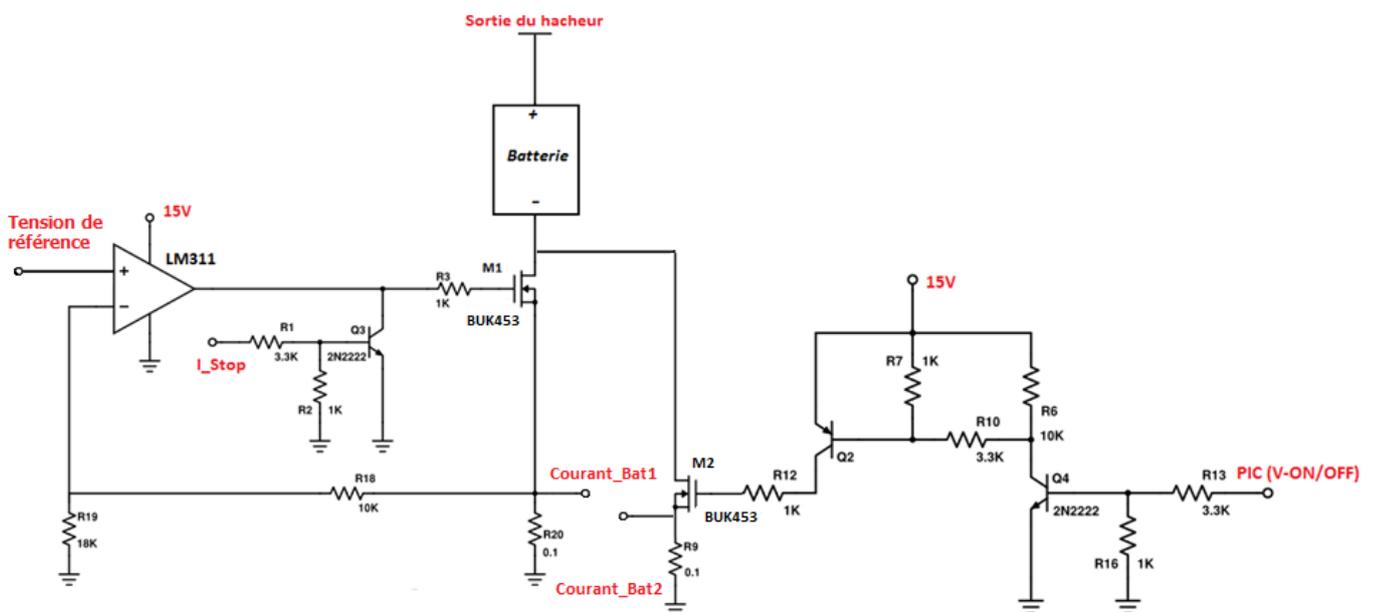


Figure 3.3 : Circuit électronique de charge

**Remarque :** Le schéma détaillé du chargeur est donné dans la référence [13].

### 3.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné une proposition d’adapter la configuration du circuit CC/CV à trois phases à un chargeur à impulsions. L’architecture électrique reste la même le changement se fait essentiellement sur l’algorithme implémenté sur le PIC. Eventuellement, il est possible d’augmenter la tension d’alimentation pour fournir un plus fort courant ou d’ajouter d’autres MOSFET en parallèle s’il y aura un problème de surchauffe (si cela est nécessaire).

## Conclusion générale

De nos jours, une grande partie de l'activité humaine exige l'utilisation de batteries. Leur demande à l'échelle mondiale ne cesse à s'accroître, en particulier les batteries acide – plomb. Leur omniprésence dans tous les domaines: Automobile, aérospatial, énergie renouvelable, ... en est la preuve.

Plusieurs travaux ont été fait auparavant afin d'optimiser la méthode de charge. Plusieurs méthodes ont été proposées, cependant la recherche à augmenter la durée de vie reste toujours perpétuelle. Cette contrainte est limitée par la formation du sulfate au niveau de l'anode qui réduit la capacité, la longévité et le rendement de la charge. Pour cela, des expériences ont été faites sur une nouvelle technique de charge qui est « la charge à impulsions ». Cette technique a montré ces effets positifs sur l'élimination du sulfate et l'augmentation de la durée de vie de la batterie.

D'un autre volet de ce présent travail, nous avons tenté de proposer une adaptation de du circuit réalisé au projet de fin d'étude ([13]) pour le rendre fonctionnel comme chargeur impulsionnel. Nous avons aussi proposé une manière de voir, afin de réduire le temps de charge sans détériorer la batterie.

Il existe des travaux réalisés pour les batteries au lithium Li-ion pour optimiser la charge impulsionnelle. Cela en utilisant une fréquence dynamique [14] ou un rapport cyclique dynamiques [15] ou les deux en même temps [16]: la fréquence instantanée étant choisie afin de minimiser l'impédance série avec la batterie, et le rapport cyclique est choisi de tel façon le courant de charge n'atteigne pas la courbe du courant maximal [16, 17]. Ces méthodes ont montré une très grande efficacité pour réduire le temps de charge. A partir de cela les prochains travaux peuvent s'inspirer des méthodes utilisées pour les batteries Li-ion et tenter de les appliquer sur les batteries au plomb et trouver des méthodes plus optimales.

## Bibliographie

[1] : Grand View Research Report: Lead Acid Battery Market Analysis By Product, By Construction Method, By Application And Segment Forecasts To 2022. Mars 2016.

Résumé disponible sur: <http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/lead-acid-battery-market>. Consulté le 16 Octobre 2016.

[2] : GlobeNewsWire : Lead Acid Battery Market to Exhibit 6.4% CAGR During 2015-2022 Owing To Enhanced Demand From Automotive Industry: Grand View Research, Inc.

Disponible sur : <https://globenewswire.com/news-release/2016/05/12/839297/0/en/Lead-Acid-Battery-Market-to-Exhibit-6-4-CAGR-During-2015-2022-Owing-To-Enhanced-Demand-From-Automotive-Industry-Grand-View-Research-Inc.html>. Consulté le 16 Octobre 2016.

[3] : K. C. Tseng, T. J. Liang, J. E. Chen, M. T. Chang. High Frequency Positive/Negative Pulse Charger with Power Factor Correction. National Cheng Kung University.

[4] : DONDEL Théo, ESNAULT Jérémy. Pré-Projet d'étude et réalisation: Chargeur de Batterie au plomb 48V, 2006. Institut Universitaire de technologie de Tours

[5] : DILLENSEGER, Guillaume. Caractérisation de nouveaux modes de maintien en charge pour batteries stationnaires de secours.

Thèse de doctorat : Electronique, Université Montpellier II : 2004.

[6] : J J A Wilkinson, G A Covic. A new pulse charging methodology for lead acid batteries. IPENZ Transactions, 1998.

[7] : Cheng Siong Lee, Hsiung Cheng Lin, Sin-You Lai, Development of Fast Large Lead-Acid Battery Charging System Using Multi-state Strategy, International Journal on Computer, Consumer and Control, 2013.

[8] : BUCHMANN, Isidor, Batteries in a Portable World: A handbook on rechargeable batteries for non-engineers, 2ème édition. 2001.

[9] : Battery University : Sulfation and How to Prevent it. Disponible sur : [http://batteryuniversity.com/learn/article/sulfation\\_and\\_how\\_to\\_prevent\\_it](http://batteryuniversity.com/learn/article/sulfation_and_how_to_prevent_it)

Mise à jour du 22 septembre 2016.

[10] : Shigeyuki Minami, Yoichiro Onishi, Song Jie Hou, and Akiya Kozawa. A New Intense Pulse-charging Method for the Prolongation of Life in Lead-acid Batteries. Journal of Asian Electric Vehicles, Vol 2, N°=1, June 2004.

[11] : Hajimu Ikeda, Shigeyuki Minami, Song Jie Hou, Yoichiro Onishi, and Akiya Kozawa. Nobel High Current Pulse Charging Method for Prolongation of Lead-acid Batteries. Journal of Asian Electric Vehicles, Vol 3, N°=1, June 2005.

[12] : Pulse Technology. Consulté le 12 octobre 2016. Disponible sur :  
<http://www.pulsetech.net/Content/Our-Technology/Pulse-Technology.aspx>

[13] : DJELLOULI, Billel. Gestion par ordinateur d'un banc d'accumulateurs.

Projet de fin d'études : Electronique, Ecole Nationale Polytechnique : 2016.

[14] : Liang-Rui Chen. A Design of an Optimal Battery Pulse Charge System by Frequency-Variied Technique. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 54, NO. 1, 2007

[15] : Liang-Rui Chen. Design of Duty-Variied Voltage Pulse Charger for Improving Li-Ion Battery-Charging Response. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 56, NO. 2, 2009

[16] : Meng Di Yin, Jeonghun Cho and Daejin Park. Pulse-Based Fast Battery IoT Charger Using Dynamic Frequency and Duty Control Techniques Based on Multi-Sensing of Polarization Curve. Open Access Energy Research, Engineering and Policy Journal. 2016.

[17] : Jiuchun Jiang, Qiujiang Liu, Caiping Zhang and Weige Zhang. Evaluation of Acceptable Charging Current of Power Li-Ion Batteries Based on Polarization Characteristics. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 61, NO. 12, 2014.