

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJIMOKHTAR-ANNABAUNIVERSITY

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار- عنابة

Année : 2016

Faculté : Sciences de l'Ingéniorat

Département : Electronique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de : MASTER

Intitulé :

Contrôle sans fil au protocole DASH7 de la
charge par induction d'une batterie
Lithium-Ion

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electronique

Spécialité : Télécommunication avancées

Par : AYED MERDACI YASMINA

DEVANT le JURY

Président	: M S.TOUMI	PROF	UBMA
Directeur de mémoire	: M M.FRIHI	MAA	UBMA
Examineur	: M M.BOUTALBI	MCB	UBMA

Remerciement

En préambule à ce mémoire, je souhaitais adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

*Je tiens à remercier sincèrement monsieur **M.FRIHI**, qui, en tant que directeur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer, pour l'effort fourni, les conseils prodigués, sa patience et sa persévérance dans le suivi, et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.*

*Mes remerciements s'adressent également à tous mes enseignants, qui m'ont donnée les bases de la science, je remercie très sincèrement monsieur **M.BOUTALBI**, pour sa générosité, je tiens aussi à remercier **S.TOUMI**.*

J'exprime ma gratitude à tous les membres de jury d'avoir bien voulu accepter de faire partie de la commission d'examineur.

J'étais enchanté de travailler sur ce projet et j'espère que le présent rapport reflète cet enthousiasme.

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

*A mes parents et mon mari CHEMSSI qui m'ont soutenue tout au long
de cette année universitaire.*

A mon fils Mohamed Wassim .

A mes frères WALID, ANIS et AYMEN .

A mes beaux parents.

Et a toute ma famille.

Résumé :

L'époque actuelle est caractérisée par une explosion de la demande des solutions mobiles. Suite à cette croissance, les appareils sont devenus de plus en plus gourmands en énergie. Pour assurer une autonomie importante, plusieurs industriels emploient des batteries à haute densité énergétique, dont le Li-Ion est la plus nouvelle technologie. L'emploi d'un BMS (Battery management system) est essentiel avec ce type de batterie. Il assure l'utilisation optimale de son énergie, l'autonomie du périphérique portable et la minimisation du risque d'endommagement de la batterie. L'utilisation d'un BMS mène à une amélioration de l'autonomie du système. En outre, il rend la durée de vie de la batterie plus longue et son utilisation plus sûre.

Au cours de ce projet, on va étudiés le contrôle du processus de charge et de décharge d'une batterie Lithium-ion.

Mots-clés : Batterie ; Li-ion ; BMS ; charge ; décharge.

Abstract:

The present era is characterized by an explosion in mobile solutions demand. As consequence, electronic devices have become increasingly energy depending and consuming. In order to ensure a substantial autonomy, many industrialists employ very high energy density batteries, which the Li-Ion is the newest technology. The use of a BMS (Battery Management System) is essential with this type of battery. It ensures the optimal use of its energy, the autonomy of the mobile device and minimizing the risk of damage to the battery. Using a BMS leads to an improvement in the autonomy of the system. In addition, it makes the life of the battery longest and safer to use.

During this project, we studied the control of the charging process and discharging a Lithium-ion battery.

Key-words: Battery ; Li-ion ; BMS; charge; discharge.

Liste des figures

Figure I.1 : la voiture électrique «jamais contente »	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.2 : histoire des batteries	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.3 : Constitution d'une batterie.	3
Figure I.4: Cellule voltaïque composée de deux demi-cellules reliées par un électrolyte.	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.5 : Représentation schématique d'une batterie en charge (a) et en décharge (b).	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.6: Exemple de courbe OCV en fonction de l'état de charge. Obtenue sur prototype graphite/ NCA, température ambiante.....	6
Figure I.7 : Exemple de courbe tension/ capacité (proche de l'OCV) pour un accumulateur titanate de lithium/ LFP [FON10].	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.8: Diminution de Q_d en fonction du nombre de cycle C_n	8
Figure I.9 : Statistique du marché des batteries rechargeables	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.1 : Schéma de fonctionnement de l'insertion / désinsertion des ions lithium au cours de la charge ou de la décharge d'une batterie lithium.....	12
Figure II.2: batterie en charge.....	13
Figure II.3: Étapes de charge d'une batterie Li-ion.....	13
Figure II.4: Batterie en décharge.....	14
Figure III.1: Schéma synoptique du BMS.....	17
Figure III.2: Hardware et software de BMS.....	18
Figure III.3: Flux d'état de la batterie	20
Figure III.4: exemple de déséquilibre dans les deux phases (charge et décharge).....	21
Figure III.5: équilibrage passif.....	22
Figure III.6: équilibrage actif.....	22
Figure III.1: Le microcontrôleur Pic 16F876A.....	25
Figure III.2: Schéma ISIS de carte de surveillance.....	28
Figure III.3: Schéma ISIS de carte de contrôle du processus de charge	28
Figure IV.4 : Schéma ISIS de l'oscillateur.....	29
Figure III.5: Organigramme de la tâche TMR0.....	29

Liste des figures

Figure III.6: Organigramme de la conversion analogique/numérique.....	30
Figure IV.: Organigramme de Transmission.....	30
Figure IV.7: Organigramme de réception.....	30
Figure IV.8: Organigramme de contrôle du processus de charge et de décharge.....	31

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques des batteries rechargeables actuellement utilisées.....9

Sommaire :

Résumé.....	I
Abstract.....	II
Liste des figures.....	III
Liste des tableaux.....	V
Sommaire.....	VI
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Généralités sur les batteries

Introduction.....	2
I.1. Les batteries dans l'histoire	2
I.2. Constitution et Principe de fonctionnement d'une batterie.....	3
I.3. Terminologies relatives aux Batteries.....	5
I.3.1. Les propriétés de l'élément	5
I.3.1.a. La capacité	5
I.3.1.b. L'énergie.....	5
I.3.1.c. La résistance	6
I.3.1.d. La tension à vide	6
I.3.2. Les indicateurs utilisés	7
I.3.2.a. État de charge/ État d'énergie	7
I.3.2.b. État de santé.....	7
I.3.2.c. Durée de vie d'une batterie	8
I.4. Les types de Batteries	8
Conclusion.....	10

Chapitre II : Les batteries Li-ion

Introduction.....	11
II.1. Historique.....	11
II.2. Présentation et fonctionnement d'une batterie Lithium-Ion.....	11
II.2.1. Processus de charge.....	13
II.2.2 Processus de décharge.....	14
II.3. Les Avantages et les Inconvénients des accumulateurs lithium-ion.....	14

Sommaire :

II.3.1.Les Avantages.....	14
II.3.2.Les Inconvénients	14
Conclusion.....	15

Chapitre III : Le système de gestion BMS

Introduction	16
III.1. Méthode d'analyse fonctionnelle du système de gestion de la batterie.....	16
III.2. Fonctionnalités assurées par le BMS.....	17
III.3. La partie hardware et software du BMS.....	18
III.3.1. Hardware	18
III.3.1.a. Gestion de la sécurité	18
III.3.1.b. Le système de capteurs.....	19
III.3.1.c. Acquisition de données	19
III.3.1.d. Gestion électrique.....	19
III.3.1.e. Communication	19
III.3.1.f. La gestion thermique.....	19
III.3.2. Software.....	20
III.3.2.a. Détermination de l'état de la batterie.....	20
III.3.2.b. L'équilibrage des cellules	21
III.3.2.b.1. Équilibrage passif	22
III.3.2.b.2. Équilibrage actif	22
III.3.2.c. Détection des défauts	23
III.3.2.d. L'interface utilisateur (afficheur LCD).....	23
III.4. Les Types et les structures de BMS	23
III.4.1. Types de BMS	23
III.4.2. Structures de BMS	23
CONCLUSION	24

Sommaire :

Chapitre VIII : Réalisation d'une carte de contrôle charge/décharge pour batterie Li-ion

Introduction.....	25
VIII.1. Présentation	25
VIII.1.1.Le microcontrôleur 16F876A.....	25
VIII .1.2. Proteus.....	26
VIII.1.3. Le protocole DASH7.....	27
VIII .2. Travail réalisé.....	27
VIII.3. Organigrammes des différentes taches	29
VIII.3.1. Organigrammes de carte de surveillance	29
VIII.3.1.a. Organigramme tache TMR0	29
VIII3.1.b. Organigramme ADC	29
VIII.3.1.c. Organigramme de transmission	30
VIII.3.2. Organigrammes de carte de contrôle	30
VIII.3.2.a. Organigramme de réception.....	30
VIII.3.2.b. Organigramme de carte de contrôle charge/décharge.....	31
Conclusion.....	32
Conclusion générale.....	33
Bibliographie.....	34

Introduction générale :

L'époque actuelle est caractérisée par une demande accrue de sources d'énergie portable, utilisées dans des applications mobiles telles que les téléphones portables, les tablettes numériques, les ordinateurs portables, les voitures électriques, les voitures hybrides, les satellites, etc. ...

Seuls les condensateurs et les batteries d'accumulateurs sont capables de disposer d'une énergie électrique autonome. Il existe plusieurs types d'accumulateurs, accumulateurs au plomb, accumulateurs au nickel cadmium, accumulateurs aux ions de lithium. Les applications portables nécessitent des batteries d'accumulateurs qui doivent présenter un rapport capacité de charge/poids (volume) le plus élevé possible, pour assurer une autonomie importante et doivent avoir une durée de vie la plus grande possible. Les batteries Li-ion répondent le mieux à ces exigences [1].

Les batteries Li-Ion ont nécessairement recours à *un système de gestion*, le **BMS** (*Battery Management System*). Ce dispositif assure l'utilisation optimale de l'énergie emmagasinée au sein de la batterie et une durée de vie maximale [12].

Ce travail entre dans le cadre de l'étude et la conception d'un système de gestion des batteries. L'objectif principal de ce projet est de faire un algorithme qui permet de faire la gestion de processus de charge et de décharge et l'équilibrage des cellules d'une batterie Lithium-ion.

Ce document se compose de quatre chapitres :

Le premier chapitre présente l'état de l'art sur les batteries à définir le principe de fonctionnement ; ses terminologies ainsi qu'une classification des différents types de batteries.

Le deuxième chapitre s'intéresse en premier lieu, à définir le principe de fonctionnement d'une batterie Lithium-ion et explique le processus de charge et de décharge ainsi les avantages et les inconvénients de ce type de batteries.

Le troisième chapitre définit le système de gestion de ce type de batterie ainsi que les différentes fonctionnalités qu'il assure. Ce chapitre commence par présenter une étude détaillée sur les deux parties software et hardware de BMS, puis les types et les structures de BMS.

Le quatrième chapitre sera consacré à la simulation de la gestion du processus de charge et décharge de la batterie Li-ion via le logiciel **ISIS PROTEUS**.

Chapitre I : Généralités sur les batteries

Introduction :

Du fait du progrès technologique et de l'évolution rapide des systèmes mobiles, de nombreuses habitudes changent. L'individu demande de plus en plus d'applications portables. Cette nouvelle tendance crée une forte demande en source d'alimentation qui doit être la plus efficace possible, que ce soit en termes de fiabilité, de temps de charge ou de décharge et surtout de surface occupée. Par rapport à tous ces points, la batterie lithium-ion apparaît comme étant la solution la plus adaptée.

Après le mauvais démarrage des batteries en lithium métallique au début des années quatre-vingt-dix, les batteries lithium-ion, connues comme les batteries les plus sûres, ont rapidement récupéré le retard. De nos jours, cette technologie est concurrentielle vis à vis des domaines à haute exigence tel que les applications militaires et spatiales.

Ce chapitre s'intéresse en premier lieu, à définir le principe de fonctionnement des batteries ; ses terminologies ainsi qu'une classification des différents types de batteries.

I.1. Les batteries dans l'histoire :

Le premier dispositif produisant du courant électrique par conversion électrochimique fut réalisé par **Volta** en 1799. Il s'agissait d'une pile constituée de couches successive de zinc, de tissu humide et de cuivre. L'histoire des accumulateurs commence quant à elle en 1859, lorsque **Gaston Plante**, invente l'accumulateur au plomb [1]. C'est en testant que cet élément, dans sa recherche de matières plus économiques que le platine, qu'il remarqua que son appareil rendait de l'électricité lorsqu'il coupait l'alimentation est ce type de batterie qui permet en 1899 à une voiture électrique en forme de torpille « jamais contente » [2] (figure I.1), de franchir la vitesse de 100 km/h. Ce dispositif, à tension nominale de 2V et toujours présent dans nos voitures par exemple, a fait l'objet de nombreuses améliorations.



Figure I.1 : la voiture électrique «jamais contente »

D'une tension nominale de 1.2 V, la technologie NiCd est plus récente dans la conception d'accumulateurs. Née en 1909, et plus performante malgré un effet mémoire marqué (Imposant leur stockage dans un état décharge), elle a trouvé sa place dans l'industrie, (outillage portatif, éclairage de sécurité...), notamment dans les secteurs aéronautique et ferroviaire, et dans les alimentations de secours. Le problème écologique lié au cadmium a été résolu dans les années 70 par l'utilisation d'hydrures métalliques pour la constitution de l'électrode négative. La technologie NiCd est aujourd'hui relativement dépassée en termes d'autonomie, elle a été progressivement supplantée depuis 1990 par les accumulateurs NiMH.

Chapitre I : Généralités sur les batteries

Le travail avant-gardiste sur la batterie au lithium débuta en 1912 avec **G. N. Lewis**, cependant il a fallu attendre jusqu'au début des années 1970 avant la mise sur le marché des premières batteries non-rechargeable au lithium. Les tentatives pour développer les batteries rechargeables au lithium ont suivi pendant les années 1980, cependant celles-ci échouèrent à cause des problèmes reliés à la sécurité [3].

À cause de l'instabilité inhérente du métal lithium, surtout pendant la charge, les recherches ont été réorientées vers une batterie au lithium non-métallique utilisant le lithium ion. Bien que sa densité énergétique soit légèrement plus faible que celle du métal lithium, la Li-ion est sécuritaire pourvu que certaines précautions soient prises pendant la charge et la décharge. En 1991, Sony Corporation a commercialisé la première batterie Li-ion. Les autres fabricants ont suivi par la suite. Aujourd'hui, la batterie de composition chimique Li-ion est la batterie qui connaît l'expansion la plus rapide et qui est la plus prometteuse. la figure I.2 montre l'évolution des batteries au cours du temps [4].

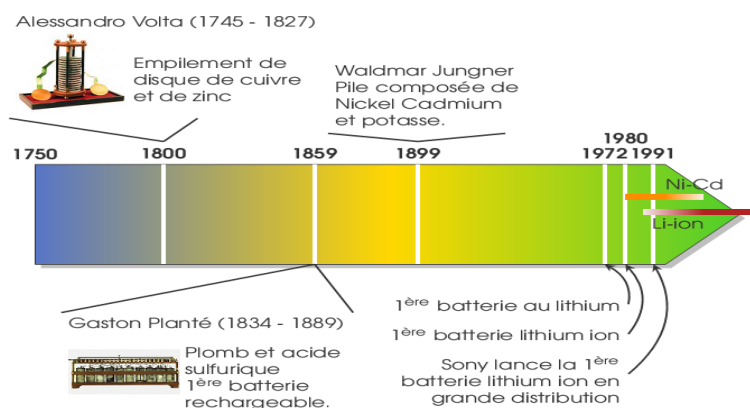


Figure I.2 : histoire des batteries

I.2. Constitution et Principe de fonctionnement d'une batterie:

Une batterie est un dispositif qui convertit l'énergie chimique directement en énergie électrique [1]. Elle se compose d'une ou plusieurs cellules voltaïques [2].

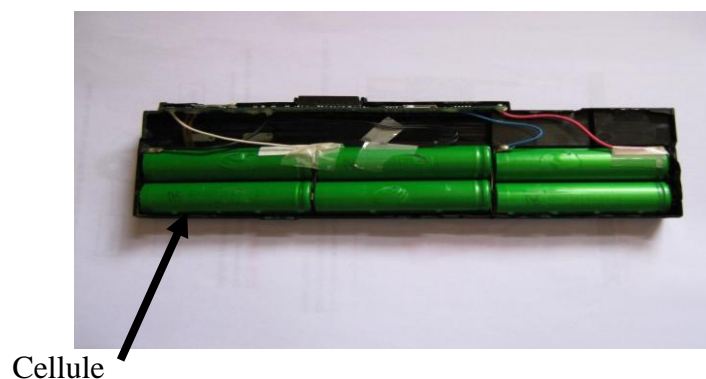


Figure I.3 : Constitution d'une batterie.

Chaque cellule voltaïque se compose de deux demi-cellules connectées en série par un électrolyte conducteur contenant des anions (ions négatifs) et des cations (ions positifs). Une demi-cellule contient l'électrolyte et une électrode utilisée pour la migration des anions, c'est l'anode ou l'électrode négative. L'autre demi-cellule comprend l'électrolyte et l'électrode

Chapitre I : Généralités sur les batteries

utilisée pour la migration des cations, c'est la cathode ou l'électrode positive. Le principe d'une cellule voltaïque est représenté à travers la figure I.4.

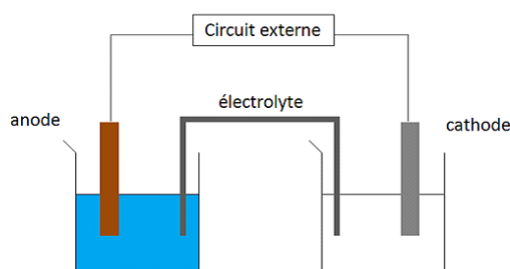


Figure I.4: Cellule voltaïque composée de deux demi-cellules reliées par un électrolyte.

Les réactions chimiques à l'origine du fonctionnement d'une batterie mettent en jeu deux couples d'oxydo-réducteurs notés Ox^-/Red^- et Ox^+/Red^+ , correspondant respectivement aux électrodes négatives et positives. Les potentiels d'équilibre résultant de chacun des couples oxydo-réducteurs notés (E^+ , E^-) sont tels que $E^+ > E^-$. Lorsque l'on relie les électrodes à travers une résistance, des électrons peuvent alors circuler de l'électrode négative vers l'électrode positive (figure I.5.b). En partant de l'électrode négative, le manque d'électrons crée une réaction d'oxydation. De même, en arrivant sur l'électrode positive, les électrons vont produire une réduction à l'interface électrochimique [3]. La figure suivante montre le principe de fonctionnement des batteries pendant la charge et la décharge.

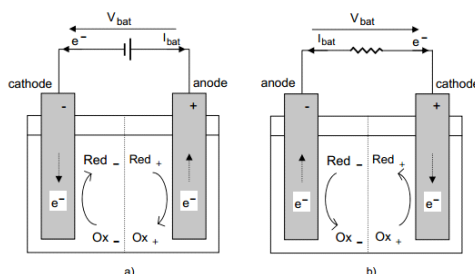
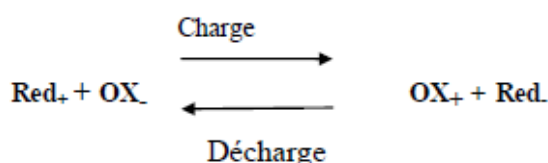


Figure I.5 : Représentation schématisée d'une batterie en charge (a) et en décharge (b).

Les générateurs électrochimiques rechargeables sont des dispositifs dont les systèmes redox sont réversibles. Deux cas sont donc à distinguer selon que le système électrochimique fournit ou récupère de l'électricité. La réaction globale du système est alors :



Chapitre I : Généralités sur les batteries

I.3. Terminologies relatives aux Batteries:

I.3.1. Les propriétés de l'élément :

I.3.1.a. La capacité :

La capacité de stockage représente la quantité de charge qu'il est possible d'obtenir lors d'une décharge complète de la batterie, initialement chargée, généralement avec un courant constant. Un certain nombre de paramètres influencent cette grandeur, comme les choix des paramètres expérimentaux (par exemple la température) ou encore le vieillissement de la batterie. En particulier, le courant de décharge ainsi que celui de charge (avant la décharge de mesure) ont une grande importance. De manière générale, la capacité d'une batterie correspond à [4]:

$$Q = \int_{e_i}^{e_f} i dt$$

Avec : i l'intensité du courant (en A),

e_i et e_f l'état initial et final correspondant à des critères (de tension en général),

Q est la quantité d'électricité échangée (en Ah ou C ; 1 C = 1 As).

La capacité nominale représente la capacité mesurée dans les conditions nominales. Ces conditions correspondent à un protocole précis, en particulier de température et de régime précis.

La capacité spécifique, ou volumique, désignent la capacité (théorique, pratique, nominale...) respectivement par unité de masse ou de volume (de matériau, de cellule, de pack batterie...). C'est une mesure permettant de prendre en compte la densité. Elle est très utilisée pour, par exemple, comparer des capacités utiles par kilogramme de pack véhicule, ou encore comparer des capacités théoriques par gramme de matériau actif.

I.3.1.b. L'énergie:

L'énergie de la batterie représente la quantité d'énergie qu'il est possible d'obtenir lors d'une décharge complète de la batterie, initialement chargée, généralement avec un courant constant. Tout comme la capacité, cette grandeur est influencée par plusieurs paramètres. Elle est, en général, mesurée au cours du même protocole que la capacité. Elle correspond à :

$$E = \int_{e_i}^{e_f} u i dt$$

Avec : u la tension de la batterie,

i l'intensité du courant (en A),

e_i et e_f l'état initial et final correspondant à des critères (de tension en général),

E est la quantité d'énergie échangée en Wh (1 Wh = 1 VAh).

On parle très souvent, dans le cas d'un pack batterie véhicule, d'énergie embarquée ou d'énergie utile. La première désigne l'énergie présente chimiquement, tandis que la seconde désigne l'énergie exploitable par le véhicule (dans le cadre des limitations de sa machinerie ou des limites fixées).

Chapitre I : Généralités sur les batteries

Comme pour la capacité, on parle d'énergie spécifique ou volumique, par unité de masse ou de volume.

I.3.1.c. La résistance:

De manière générale, en électricité, la résistance est la propriété d'un corps à s'opposer au passage d'un courant électrique. En fonctionnement, lorsque la batterie est traversée par un courant, il apparaît une polarisation entre la tension de l'élément et la tension au repos, qui caractérise la résistance de la batterie à délivrer le courant demandé. Cette résistance dépend de nombreux paramètres comme la température, l'état de charge, la qualité des branchements aux bornes de l'élément mais également du vieillissement électrochimique.

$$R(t) = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U(t) - U_0}{I(t) - I_0}$$

Une batterie est un élément électrochimique actif, avec des réactions dynamiques, contrairement à une résistance ohmique simple. En fonction du temps de mesure, le phénomène caractérisé ne sera alors pas le même. Mais, dans tous les cas, une mesure de résistance sur une batterie indiquera la difficulté pour celle-ci à délivrer/ subir un courant.

I.3.1.d. La tension à vide:

La tension à vide, ou en anglais OCV (*Open Circuit Voltage*), correspond à la tension de la batterie en équilibre en fonction de la capacité ou du SOC. Cette courbe est directement liée à la technologie utilisée au sein de l'accumulateur.

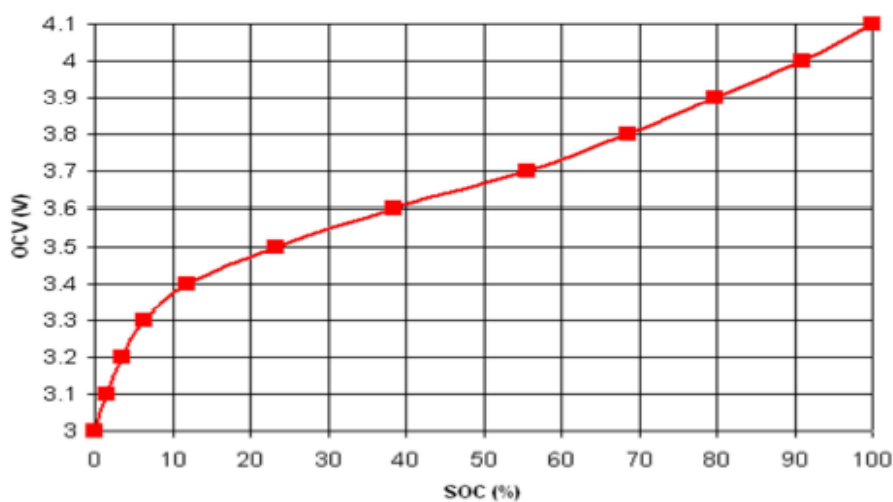


Figure I.6: Exemple de courbe OCV en fonction de l'état de charge. Obtenue sur prototype graphite/ NCA, température ambiante.

Cette courbe est supposée dépendre uniquement des paramètres électrochimiques de l'accumulateur. Les matériaux actifs d'électrode, et leurs potentiels d'équilibre, ont une influence très importante sur cette courbe. Les allures des courbes OCV sont donc très différentes d'une batterie à une autre. Par exemple, dans le cadre d'une batterie titanate de lithium/ LFP on obtient un plateau de tension sur la quasi-totalité du SOC :

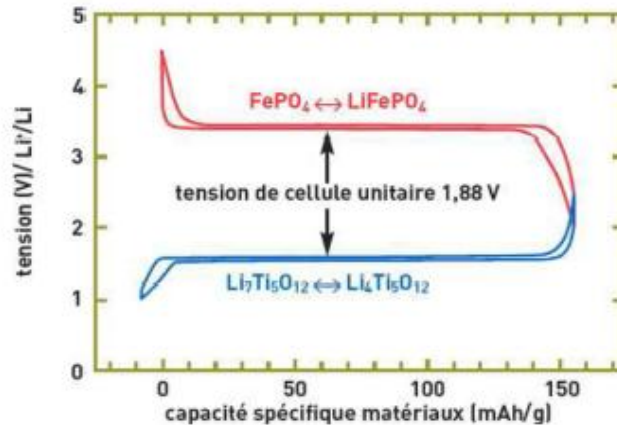


Figure I.7 : Exemple de courbe tension/ capacité (proche de l'OCV) pour un accumulateur titanate de lithium/ LFP [FON10].

I.3.2. Les indicateurs utilisés:

I.3.2.a. État de charge/ État d'énergie:

Les estimateurs SOC et SOE sont parmi les plus utilisés quand on parle de batterie. Le SOC désigne, en effet, l'état de charge (*State Of Charge*) et le SOE l'état d'énergie (*State of Energy*). Ces indicateurs servent à mesurer la quantité d'énergie utilisable (restant au sein de l'accumulateur). Tout comme la capacité, ces indicateurs d'état sont fonctions des conditions de mesures (température...). Le SOC et SOE correspondent donc à la capacité et l'énergie récupérées lors d'une décharge normalisée par rapport à une mesure de capacité normalisée. En général, SOC et SOE sont donnés en pourcentage. Nous avons donc :

$$SOC(T) = \frac{Q_n' \text{ encore disponible à } I_n'(T)}{Q_n^{\text{tot}}(T)} \times 100$$

$$SOE(T) = \frac{E_n' \text{ encore disponible à } I_n'(T)}{E_n^{\text{tot}}(T)} \times 100$$

Avec : In le régime utilisé pour mesurer la propriété (capacité/ énergie).

Ces indicateurs sont donc dépendant de la température, mais également du régime et des effets du vieillissement (car Q_n^{tot} et E_n^{tot} vont diminuer au cours du vieillissement). On peut également parler de SOC et SOE utile, correspondant respectivement à la capacité et l'énergie utile de la batterie.

I.3.2.b. État de santé:

L'indicateur SOH (*State Of Health*) est un indicateur de santé de la batterie. Il est utilisé dans le cas de l'étude du vieillissement et sert à comparer la capacité instantanée à la capacité initiale. Les deux capacités sont mesurées dans les mêmes conditions :

Chapitre I : Généralités sur les batteries

$$SOH(T) = \frac{Q^{tot}(T)}{Q^{0,tot}(T)} \times 100$$

Le SOH est un pourcentage de capacité restante à un moment donné un indicateur du vieillissement.

I.3.2.c. Durée de vie d'une batterie :

Pendant la durée de vie d'une batterie, sa santé tend à se détériorer progressivement à cause des changements physiques et chimiques irréversibles qui ont lieu en raison de l'usage et de l'âge, jusqu'à ce qu'elle ne soit plus utilisable. Le SoH donne une indication sur le point qui a été atteint dans le cycle de vie des batteries et mesure sa condition par rapport à celle d'une batterie neuve.

Le vieillissement de la batterie est un processus complexe qui implique de nombreux paramètres de la batterie (par exemple l'impédance, la capacité, etc.), la plus importante étant la capacité. Pour illustrer ce phénomène, la figure I.8 montre la capacité de décharge (Q_d) d'une batterie Li-ion en fonction du nombre de cycle (C_n). La courbe de dégradation fait apparaître clairement un point de rupture ou de transfert à partir duquel le taux de dégradation de la batterie s'accroît. La position exacte du point de transfert varie selon le type de batterie et les conditions d'exploitation [5].

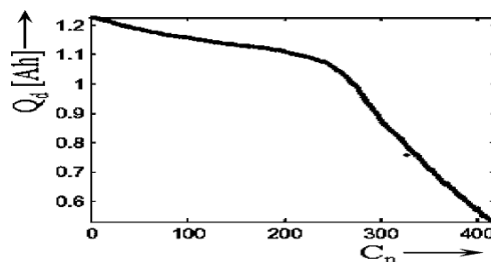


Figure I.8: Diminution de Q_d en fonction du nombre de cycle C_n .

I.4. Les types de Batteries :

Après avoir exposé le principe de fonctionnement et les différents paramètres de performances d'une batterie, nous allons présenter les différents types de batteries en fonction de la technologie utilisée. Les batteries sont essentiellement classées en deux catégories :

- Les batteries primaires qui transforment de manière irréversible l'énergie chimique en énergie électrique, comme les batteries zinc-carbone et alcalines.
- Les batteries secondaires qui peuvent être rechargées comme les batteries NiCd, NiMH, Li-Ion.

Les batteries secondaires sont essentiellement divisées en deux catégories : batterie à cellule humide et batterie à cellule sèche. Un exemple de cellule humide est la batterie plomb acide.

Comme exemple de batteries sèches, on peut citer les batteries NiCd (Nickel Cadmium), NiMH (Nickel Hydrure Métallique) et Li-Ion (Lithium Ion).

Parmi les batteries de type secondaire, la batterie Li-Ion est la plus utilisée, comme le montre la figure suivante, associée à la part de marché de chaque sèche rechargeable.

Chapitre I : Généralités sur les batteries

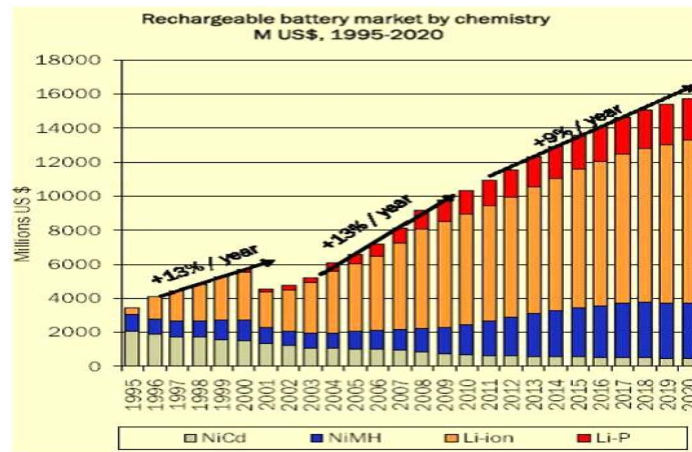


Figure I.9 : Statistique du marché des batteries rechargeables.

Pour faire une évaluation objective des performances de chacune de ces batteries, nous allons utiliser quelques unes des principales caractéristiques qui sont :

- La haute densité énergétique.
- La charge rapide et sûre de la batterie.
- La décharge sûre et efficace de la batterie.
- La haute FEM (Force Électromotrice).
- La haute efficacité de courant.
- La haute efficacité électrostatique.
- La longue vie avec conservation des performances.
- La faible autodécharge.
- Le faible entretien exigé.

Pris séparément, chacune des caractéristiques décrites ci-dessus pourra être effectivement obtenue, mais il sera impossible de les réunir toute sur une seule et même batterie. En effet, certaines batteries peuvent être conçues pour une petite taille et une longue utilisation, mais elles ont un cycle de vie limité. Une autre peut être conçue pour augmenter sa durée de vie, mais cela se fera au détriment de sa taille qui pourra être encombrante.

Le Tableau I.1 résume les points forts et les limites des systèmes de batteries populaires actuellement utilisés [6,7].

	Plomb	Nickel-cadmium	Nickel-Métal Hybrure	Lithium-ion
Tension de la cellule(V)	2	1.2	1.2	3.6 à 3.7
Énergie Spécifique (Wh/Kg)	25-50	30-60	50-90	90-115
Cycle de vie	200-500	300-700	300-600	500-1000
Plage de Température (°C)	0 à 50	-20-50	-20-50	-20-50
Autodécharge/mois	5%	15%	25%	2%
Durée de vie calendaire	5 ans	10 ans	5 ans -10 ans	5 ans -15 ans
Temps de charge standards	10h	5h	3-5h	3h
Commercialisation depuis	1834	1950	1990	1991

Tableau I.1 : Caractéristiques des batteries rechargeables actuellement utilisées.

Chapitre I : Généralités sur les batteries

Conclusion :

Le présent chapitre regroupe des généralités sur les batteries et plus précisément le principe de fonctionnement d'une cellule électrochimique ; les terminologies des batteries tels que le SOC, le C-rate.... ainsi qu'une classification des différents types de batteries.

Le chapitre suivant s'intéresse à la nouvelle technologie lithium-ion.

Chapitre II : les batteries Lithium-Ion

Introduction:

La nouvelle technologie lithium-ion récemment mise au point a révolutionné le domaine des accumulateurs, qui n'avait pas connu un tel progrès depuis près d'un siècle. D'abord développée pour les applications portables, elle est maintenant mise en œuvre dans les gros accumulateurs où la densité d'énergie et la longévité sont des propriétés essentielles, comme par exemple pour les satellites et les voitures électriques. Des améliorations sont encore à attendre, grâce aux travaux menés sur de nouvelles matières actives, tout en restant sur le même principe électrochimique de base. Le coût élevé de fabrication, en grande partie dû aux matériaux, est un obstacle important pour la diffusion des grosses batteries. Une réduction est attendue avec le développement du marché [4].

Ce chapitre s'intéresse au fonctionnement des batteries Li-ion et explique le processus de charge et de décharge ainsi les avantages et les inconvénients de ce type de batteries.

II.1. Historique:

Les batteries au lithium ont toujours été considérées avec beaucoup d'intérêt, non seulement parce que le lithium est le plus léger des métaux mais aussi parce qu'il dispose d'un fort potentiel électrochimique, qui le conduit à se transformer très facilement en ion Li^+ . La maîtrise des batteries au lithium proviendra de trois découvertes extrêmement importantes qui vont permettre leur développement [8] :

- La première réside dans l'invention en 1976 par l'américain **Stanley Whittingham** du concept d'électrode positive à « intercalation » où les ions lithium viennent s'intercaler dans une structure qui ne contient pas a priori d'ions lithium;
 - La deuxième concerne le remplacement à la cathode du lithium métallique par une structure de carbone dans laquelle là encore le lithium vient s'intercaler : l'idée a été proposée en 1980 par le Français **Michel Armand** et un autre chercheur Français. **Rachid Yazami**, est le premier qui pu intercaler effectivement du lithium dans le carbone.
 - la troisième est l'œuvre du professeur américain **John Goodenough** qui a conçu réellement les électrodes à oxyde lamellaire.
- C'est à partir de ces trois découvertes que **Sony** est parvenu à produire en 1991 la première batterie au lithium pour caméscope.

II.2. Présentation et fonctionnement d'une batterie Lithium-Ion:

Le principe de fonctionnement d'un accumulateur lithium-ion (Li-ion) repose sur l'échange réversible des ions Li^+ entre les électrodes positive et négative, tout au long des cycles de charge ou de décharge. Chacune des électrodes est donc composée de matériaux pouvant insérer ou désinsérer le lithium de leur structure cristalline, on parle de « matériaux actifs ».

Lors de la décharge, le lithium contenu dans l'électrode négative, se désinsère de la structure cristalline du matériau, migre et diffuse, sous forme ionique, à travers l'électrolyte, et vient s'insérer dans le réseau cristallin du matériau de l'électrode positive. Le transfert d'un ion Li^+ dans le circuit interne de l'accumulateur est compensé exactement par le passage d'un électron dans le circuit électrique externe, générant ainsi un courant électrique.

Chapitre II : les batteries Lithium-Ion

Lors de la charge, le processus inverse est enclenché par l'apport d'un courant extérieur et les ions Li^+ vont venir se réinsérer dans la structure hôte du matériau de l'électrode négative. Ces réactions sont résumées sur la Figure II.1 ci-dessous [9] :

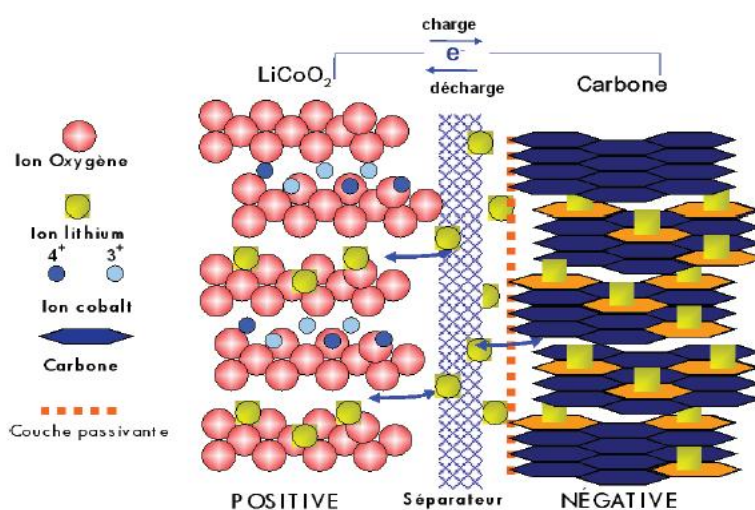
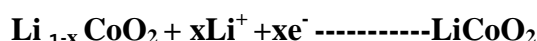


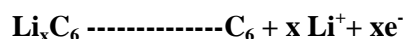
Figure II.1 : Schéma de fonctionnement de l'insertion / désinsertion des ions lithium au cours de la charge ou de la décharge d'une batterie lithium.

Pour les technologies les plus largement utilisées aujourd'hui, l'électrode positive est constituée en général d'un oxyde et l'électrode négative de graphite. Si l'on prend l'exemple du LiCoO_2 et du graphite, en tant que matériaux actifs, les réactions électrochimiques au sein de la batterie sont :

- à l'électrode positive :



- à l'électrode négative :



- l'équation bilan de fonctionnement de la batterie :



Il ne faut pas confondre un accumulateur lithium-ion et un accumulateur lithium : en effet, pour ce dernier, le lithium est présent sous forme métallique. Ce système a le défaut, au fil des charges et décharges, de produire des dendrites métalliques à la surface de l'électrode négative qui peuvent mener à des courts-circuits internes et des explosions. C'est pourquoi, après une suite d'incidents, ce type de batterie n'est guère plus utilisé au profit des systèmes lithium-ion. Ces dernières ont l'avantage d'utiliser le lithium sous forme uniquement ionique et ne peut donc pas créer de dendrites, ce qui réduit les risques de courts-circuits internes.

Chapitre II : les batteries Lithium-Ion

II.2.1. Processus de charge:

L'accumulateur est chargé par un courant constant, ce qui va causer le déplacement des électrons de l'anode (borne positive dans ce cas) vers la cathode (borne négative) [10].

Le processus est arrêté lorsque l'anode atteindra un excès d'électrons et la cathode un manque d'électrons. La figure II.2 illustre le processus de charge d'une cellule électrochimique.

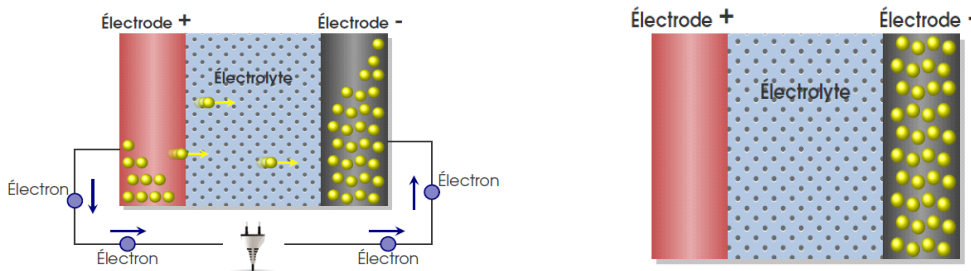


Figure II.2: batterie en charge

Lors de la charge, des ions lithium Li^+ sont extraits du LiCoO_2 et des ions Fe^{2+} sont oxydés en Fe^{3+} . Les ions lithium sont alors transportés à l'anode par l'électrolyte où ils sont réduits pour reprendre un aspect métallique (Lithium métal), tandis que les électrons sont insérés dans le graphite.

La Charge des batteries Li-ion s'effectue par la méthode (CC/VC) en deux phases :

- En début de charge et durant toute la première phase de la charge, le courant est limité (phase CC) et la tension augmente petit à petit jusqu'à atteindre la tension régulée.

- A partir de là on atteint la deuxième phase dite de remplissage (phase VC) la tension reste parfaitement stable et le courant diminue pour se rapprocher de 100 % de charge.

La charge est terminée lorsque le courant passe en dessous du seuil de décharge. Il est alors impératif de couper la charge, car les accus au Lithium ne supportent absolument pas la surcharge.

La tension de fin de charge des accumulateurs Li-ion peut être de 4,1 V ou 4,2 V suivant la spécification du fabricant de l'accumulateur [11].

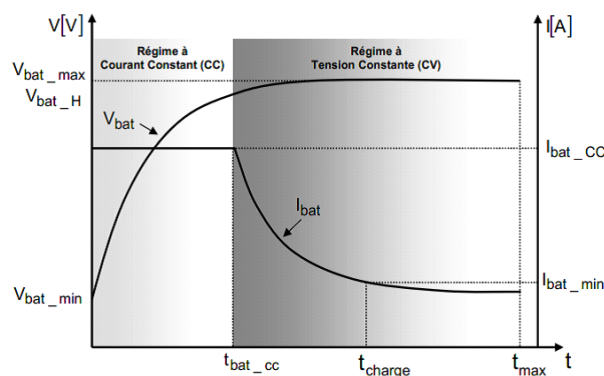


Figure II.3: Étapes de charge d'une batterie Li-ion.

Chapitre II : les batteries Lithium-Ion

II.2.2 Processus de décharge :

La décharge est le processus inverse de la charge. Quand l'accumulateur est complètement chargé, l'anode possède un surplus d'électrons et la cathode un manque d'électrons. Le déplacement des électrons à travers une charge, connectée entre les deux électrodes, va créer ainsi le courant comme le montre la figure II.4.

Lorsque les deux électrodes auront le même nombre d'électrons, l'accumulateur ne débitera plus de courant, ce qui indique la fin de la décharge [10].

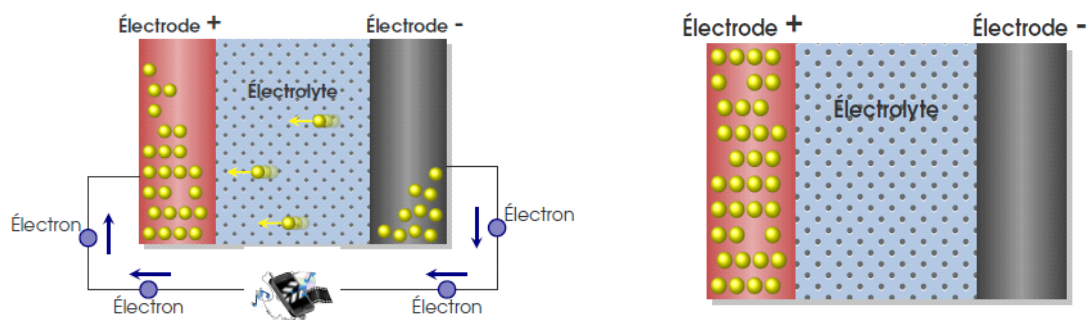


Figure II.4: Batterie en décharge

II.3. Les Avantages et les Inconvénients des accumulateurs lithium-ion:

II.3.1. Les Avantages :

- Densité énergétique très élevée
- Auto décharge très faible (1%/mois)
- Résistance interne relativement faible et aptitude à fournir des courants moyens à importants.
- poids réduit
- Pas d'effet mémoire
- Ils ne nécessitent pas de maintenance.

II.3.2. Les Inconvénients :

- Chargeur spécial requis
- Risque d'explosion en cas de court circuit ou de surcharge (Production d'hydrogène!).
- Besoin de charger chaque élément d'un pack séparément sinon risque de déséquilibre en tension.
- Profondeur de décharge : ces batteries vieillissent moins vite lorsqu'elles sont rechargées tous les 10 % que lorsqu'elles le sont tous les 80 %
- Risque d'explosion si toutes les conditions de sécurité ne sont pas remplies
- 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 (transformation en liquide corrosif : l'hydroxyde de lithium).

Chapitre II : les batteries Lithium-Ion

Conclusion :

Les avantages de la batterie lithium-ion sont sa très forte densité énergétique (énergie par unité de volume) et son importante énergie massique (énergie par unité de masse). En outre, ce type de batterie n'est pas affecté par l'effet-mémoire et son autodécharge est réduite.

Ces caractéristiques font de cette batterie l'une des meilleures solutions actuelles pour alimenter en électricité les appareils nomades (appareil photo, téléphone mobile) ou les véhicules (voiture hybride, voiture électrique).

Afin d'éviter les problèmes liés aux batteries Li-ion, l'utilisation d'un système de gestion (BMS: Battery Management System) est nécessaire, il fera l'objet du chapitre suivant.

Chapitre III: Le système de gestion de batterie BMS

Introduction :

Pour les technologies de stockage à base de lithium, des précautions de sécurité de fonctionnement doivent être prises à cause des risques encourus dans certaines conditions signalés et analysés lors des essais abusifs (conditions extrêmes de fonctionnement). Pour un produit destiné à l'habitat, il est nécessaire que les éléments de stockage soient soumis à divers accidents et que diverses procédures de sécurité garantissant au public et au personnel de secours (pompiers) un non dangerosité lors d'interventions soient développées en conséquence.

Pour assurer une durée de vie maximale, tout doit être mis en œuvre pour éviter aux divers éléments de sortir de leur zone optimale de fonctionnement limitant leur vieillissement. L'organe électronique effectuant cette surveillance s'appelle «système de gestion de batterie » ou plus souvent BMS (Battery Management System). Il est constitué de diverses fonctions de gestion relativement complexes de gestion et de surveillance.

Il a la connaissance à chaque instant des paramètres opérationnels pendant la charge et la décharge de la batterie, tel que les tensions, les courants et les températures internes de chaque batterie élémentaire et les grandeurs ambiantes environnantes. Ainsi, des capteurs ont été placés proches des éléments ainsi que les circuits de mesure internes associés. D'autres sont placés sur chacune des cartes électroniques. Les données remontent via les interfaces entre les divers modules électroniques y compris les organes de protection. Certaines alarmes se déclenchent s'il y a anomalie permettant de déconnecter la ou les batteries élémentaires. Dans un contexte de fonctionnement « normal », le BMS utilise des méthodes pour qu'à tout instant, le pack batterie soit prêt à délivrer la puissance optimale de charge tout en assurant la durée de vie de la batterie. Ainsi, la maîtrise de tous les paramètres du système en temps réel évite les dégradations possibles des éléments de stockage de nouvelles générations [2,12].

Nous présentons dans ce chapitre le système de gestion de batterie et ces fonctions et leurs principaux objectifs.

III.1. Méthode d'analyse fonctionnelle du système de gestion de la batterie:

Le BMS est constitué d'un microcontrôleur ou microprocesseur, d'une interface électronique et de plusieurs capteurs. Le microcontrôleur contient un algorithme de gestion qui est capable de déterminer le début et la fin du processus de charge dans diverses conditions.

Les capteurs envoient les informations au microcontrôleur via les interfaces. L'algorithme prend diverses décisions et renvoyant un maximum d'indications sur les différents paramètres nécessaires aux calculs comme par exemple l'état de charge de la batterie. Le BMS agit à la fois sur le processus et la méthode de charge mais aussi détermine le rendement et les performances de tout le système [12].

Pour la conception du BMS les caractéristiques de chaque technologie utilisée, en particulier le comportement lors d'une charge en mode CC et CV à différentes conditions de fonctionnement ($T^{\circ}\text{C}$) et pour des charges/décharges à des régimes proches des conditions photovoltaïques doivent être connues. De même, la sensibilité des seuils de tension (selon les conditions de fonctionnement) et la disparité en tension des éléments de stockage sont considérés.

Chapitre III: Le système de gestion de batterie BMS

III.2. Fonctionnalités assurées par le BMS:

Le système de gestion de batterie (Battery Management System : BMS) est un terme qui englobe plusieurs fonctions, parmi lesquelles :

- L'acquisition et la communication de mesures au travers d'un bus de communication
- La protection des cellules
- Le contrôle de la charge
- L'équilibrage des cellules
- La détermination de l'état de santé
- La détermination de l'état de charge
- La gestion optimale de l'énergie
- La gestion thermique du pack

Ces fonctions ont pour principaux objectifs, de protéger les batteries de tous les dommages éventuels, de prolonger la durée de vie de ces éléments, et de veiller à maintenir la batterie à un niveau de fonctionnement optimal.

Parmi ces fonctions, on peut distinguer des fonctions électroniques, qui sont plus au contact direct avec les cellules, et les fonctions logicielles dont le rôle est principalement la gestion de l'énergie au sens large.

Parmi les fonctions électroniques, on compte les systèmes d'instrumentation : capteurs de tension, de courant et de température, ainsi que les systèmes de communication des données vers le centre décisionnel du BMS.

Un BMS peut être schématisé par la figure III.1, les blocs essentiels sont décrits dans les paragraphes suivants [13].

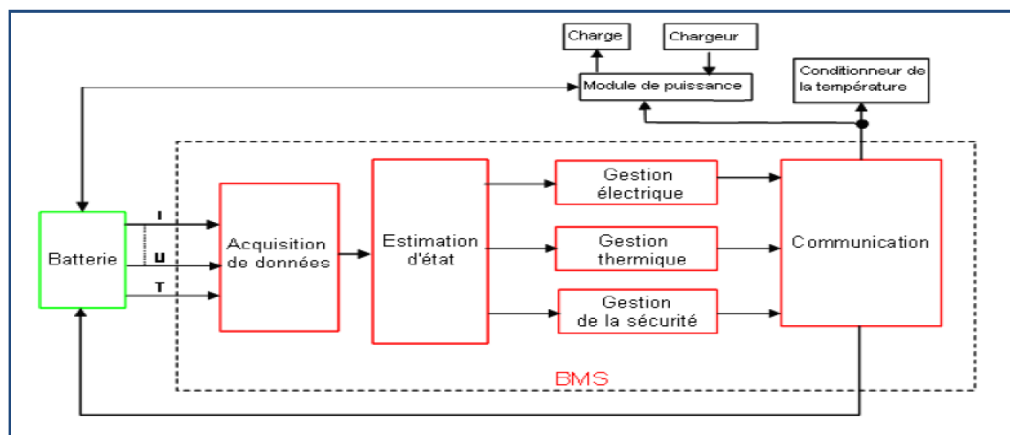


Figure III.1: Schéma synoptique du BMS.

III.3. La partie hardware et software du BMS:

Un BMS est constitué essentiellement de deux parties : une partie hardware (électronique) et une partie software (logiciel) [13].

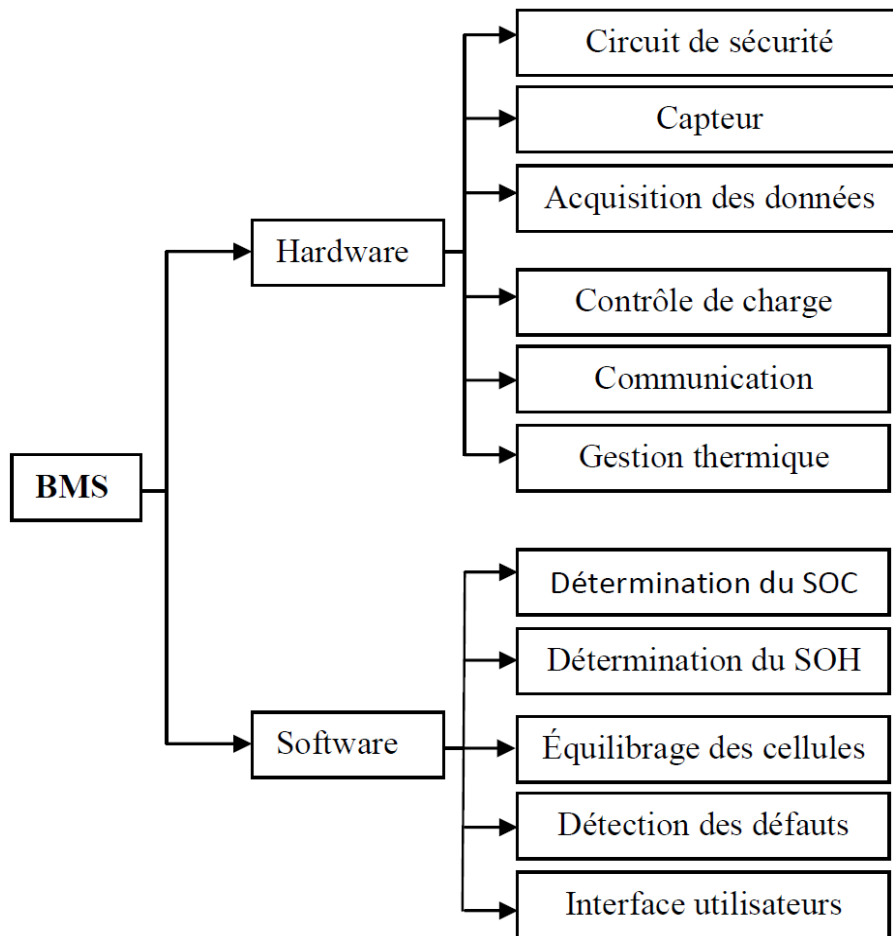


Figure III.2: Hardware et software de BMS

III.3.1. Hardware :

III.3.1.a. Gestion de la sécurité :

La gestion de la sécurité protège la batterie contre les conditions d'exploitation critiques.

Pour cela il est nécessaire d'implanter des systèmes de protection autour de chaque cellule. Ce système de protections doit être très rapide par rapport aux variations des paramètres de protection. Les paramètres les plus contrôlés sont [14]:

- Les courants excessifs,
- Les courts-circuits,
- Les surtensions et les surcharges,
- Les sous tensions,
- Les surchauffes,
- L'augmentation de la pression à l'intérieur des cellules,
- Les longues périodes en état de charge faible

Chapitre III: Le système de gestion de batterie BMS

III.3.1.b. Le système de capteurs:

Ce system constitué de différents capteurs pour surveiller et mesurer les paramètres de la batterie qui sont : la tension et la température de chaque cellule et le courant de la batterie [13].

III.3.1.c. Acquisition de données:

Les algorithmes de gestion ont besoin d'un certain nombre de données mesurées (courants, tensions, température,...) pour contrôler les processus de charge et de décharge.

La mesure de température se fait au niveau de chaque cellule et utilisée pour garantir un fonctionnement équilibré [15].

Une cellule lithium-ion LiFePO₄ cylindrique est équipée de deux thermocouples : le premier est collé sur la surface latérale du cylindre (pour estimer au la température interne) le second a été inséré au cœur de la batterie (mesure directe).

Le courant peut se mesurer par deux méthodes [14] :

- shunt de courant : pour une très faible résistance, résistance de haute précision
- capteur à effet Hall

III.3.1.d. Gestion électrique:

La gestion électrique contrôle le processus de charge et de décharge de la batterie. Les tâches suivantes doivent être remplies :

- Le contrôle du processus de chargement (système qui va détecter la fin de charge)
- Le contrôle du processus de décharge

Le processus de contrôle de charge et la limitation de la décharge dépendent fortement de la technologie des batteries employée [8, 16, 17].

III.3.1.e. Communication :

La communication entre le BMS et d'autres dispositifs est une tâche importante. Selon l'application, différents systèmes d'interfaces peuvent être utilisés pour l'échange de données.

Voici quelques exemples possibles :

- Signaux analogiques.
- signaux modulés (MLI).
- Le bus CAN (Controller Area Network) ou le bus I2C (Inter-Integrated Circuit).

III.3.1.f. La gestion thermique :

Le rôle du système de gestion de la température du pack de batteries est de garder celui ci dans une plage idéale de températures de fonctionnement. La gestion thermique consiste à assurer une distribution uniforme de la température du pack, afin d'optimiser les performances de celui ci. Plusieurs approches peuvent être envisagées pour gérer la température du pack [14]:

- Le BMS peut activer un système autonome de réchauffement ou refroidissement des batteries.
- Égalisation de la température entre les cellules.
- Le BMS peut diminuer l'utilisation du pack en cas de surchauffe ou une combinaison des deux possibilités précédentes.

Chapitre III: Le système de gestion de batterie BMS

III.3.2. Software :

La partie software est le cœur de tout système BMS, car elle contrôle toutes les opérations hardware et analyse les données des capteurs qui vont l'aider à prendre les décisions nécessaires et faire l'estimation des différents états de la batterie.

III.3.2.a. Détermination de l'état de la batterie :

L'état de la batterie est utilisé par le BMS comme paramètre d'entrée et en plus, c'est un paramètre important pour l'utilisateur. Cet indicateur peut être utilisé pour estimer l'autonomie d'un véhicule électrique ou la durée de vie de la batterie elle-même.

L'état de la batterie peut être décrit par les deux paramètres SOC et SOH [16,17]. Ces deux paramètres influencent les paramètres internes de la batterie (résistance interne, capacité de stockage, tension à vide,...) comme le montre la figure III.3.

Inversement, le SOC et le SOH sont fonction des paramètres internes et externes de la batterie (température, caractéristiques des charges, etc.). C'est pourquoi la connaissance de ces paramètres peut être employée pour estimer le SOC et SOH de la batterie à un instant donné.

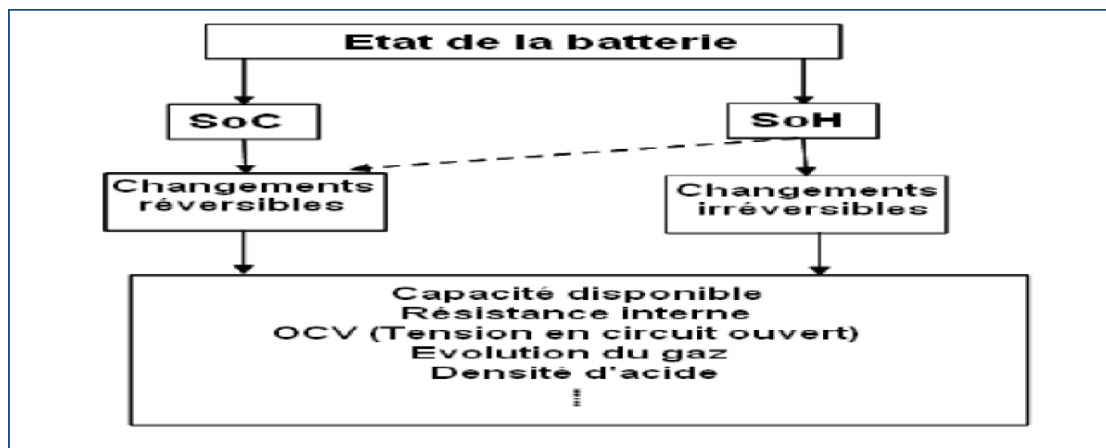


Figure III.3: Flux d'état de la batterie .

De nombreuses méthodes pour estimer l'état de charge de batterie ont été proposées. L'une des premières méthodes, proposée dès 1963 et basée sur une mesure de tension. Parmi l'ensemble des techniques proposées depuis cette époque, on distingue trois grandes familles de méthodes : les méthodes directes, les méthodes par intégration du courant et les méthodes adaptatives [14].

➤ **Les méthodes directes** [14] : ces méthodes sont basées sur des mesures de variables (tension, impédance, temps de relaxation) utilisées comme index de fonctions dépendantes du SOC. L'indexation peut se faire soit :

- ✓ Par mesure de tension à vide
- ✓ par mesure d'impédance

➤ **Les méthodes par intégration du courant** [14]: il s'agit d'un comptage coulomb métrique, qui calcule le nombre d'ampère heure entrant et sortant. Ce comptage doit tenir

Chapitre III: Le système de gestion de batterie BMS

compte du rendement faradique dépendant du taux de charge ou de décharge. La détermination de l'état de charge nécessite donc la connaissance de l'état de charge initial.

➤ **Les méthodes adaptatives** [14]: les méthodes précédentes sont basées sur l'exploitation de relevés expérimentaux. Elles deviennent quasiment inexploitable (ou tout du moins imprécises) lorsque les conditions d'utilisations balayent de grandes plages de fonctionnement. L'exploitation d'un modèle de comportement peut être exploitée de deux manières différentes :

✓ **Par filtrage de Kalman** : il s'agit d'une structure d'observateur dont la correction est effectuée de manière optimale et utilisée pour ajuster la variable SOC.

✓ **par intelligence artificielle** : il s'agit d'outils (réseaux de neurones, logique floue) permettant de synthétiser au sein de fonctions, des comportements dynamiques de batterie, de traduire une expertise acquise par expérimentation.

III.3.2.b. L'équilibrage des cellules :

Les systèmes d'équilibrage sont indispensables pour garantir que tous les éléments d'une batterie soient à un même état de charge. En effet, deux cellules identiques soumises aux mêmes sollicitations en courant, verront leurs états de charge diverger au bout de plusieurs cycles. Il existe plusieurs sources de déséquilibre qui peuvent être classées en deux principales catégories :

➤ **Les déséquilibres internes** : sont principalement dus aux processus de fabrication des éléments induisant des variations dans leur volume physique et se traduisant par des variations d'impédance interne et des différences de taux d'autodécharge.

➤ **Les déséquilibres externes** : sont liés à la température de fonctionnement et aux courants de charge et de décharge. Bien qu'une ventilation forcée permette d'évacuer les calories générées par les batteries, l'uniformisation des températures n'est cependant pas garantie.

Un système d'équilibrage est donc indispensable pour éviter que des cellules soient complètement déchargées alors que d'autres ne le sont pas (ce qui implique qu'il y'a d'autre capacités qui ne sont pas utilisés), et prévenir les risques de sur-décharges ou de surcharges.

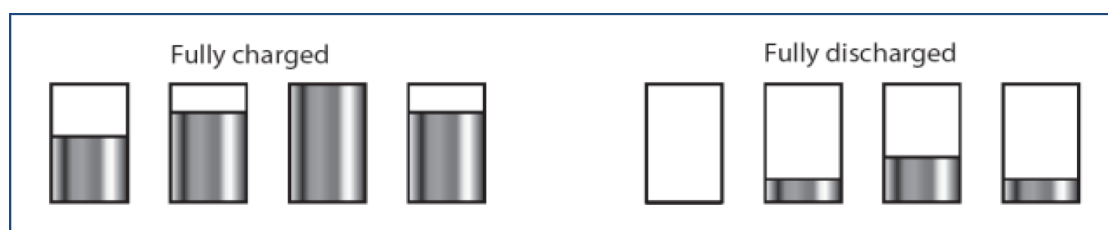


Figure III.4: exemple de déséquilibre dans les deux phases (charge et décharge)

Pour résoudre ces problèmes de disparité en tension lors d'une utilisation régulière sur du long terme, différentes méthodes d'équilibrage ont été conçues pouvant être soit passives, soit actives.

III.3.2.b.1. Équilibrage passif :

Les méthodes dites passives sont généralement utilisées pour les batteries basées sur des technologies pouvant supporter des déséquilibres comme celles à base de Plomb ou de Nickel. En effet, ces technologies peuvent être, par exemple, en condition de surcharge sans que cela cause de dommages permanents.

Dans d'autres cas de batterie, lors d'une surcharge relativement faible, l'excès d'énergie emmagasinée est directement associé à l'élévation de la température de l'enveloppe batterie. Par contre, lors d'une surcharge importante, l'excès d'énergie sera évacué par dégazage via les valves installées dans les enveloppes batterie. Cette méthode est réellement effective pour un faible nombre d'éléments connectés en série car le problème de déséquilibre s'aggrave exponentiellement avec le nombre d'éléments.

Dans cette méthode c'est la cellule de plus bas niveau de charge qui détermine le niveau de toutes les cellules après l'équilibrage. La figure suivante montre les cellules d'une batterie qui seront à 50 % après l'équilibrage [18] :

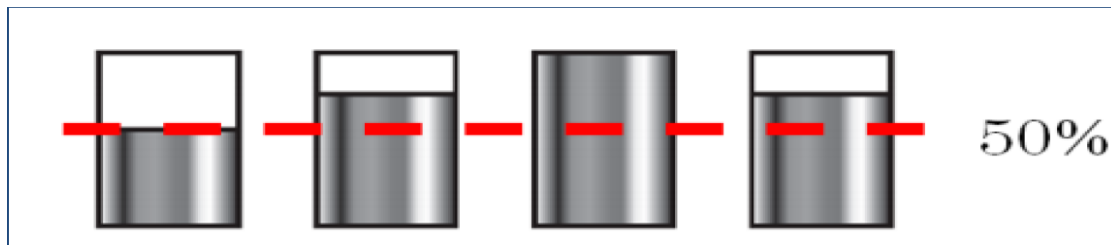


Figure III.5: équilibrage passif

Les inconvénients de cette méthode sont [18]:

- L'équilibrage passif peut être utilisé seulement durant la période de charge
- L'énergie est gaspillée sous forme de chaleur
- Nécessite un système de refroidissement

III.3.2.b.2. Équilibrage actif :

Les méthodes d'équilibrage actives se basent sur l'utilisation d'un circuit externe actif de transport d'énergie entre éléments. La différence entre la méthode passive et active c'est que cette dernière permet le recyclage d'énergie. La figure suivante montre même exemple précédent mais cette fois en utilisant la méthode d'équilibrage actif :

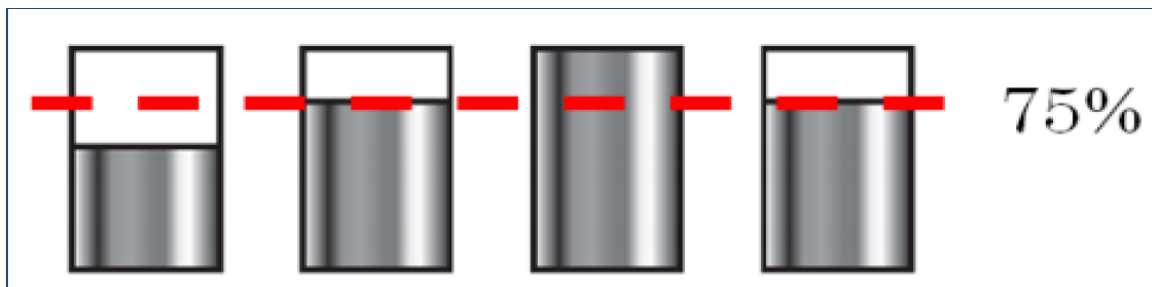


Figure III.6: équilibrage actif

Chapitre III: Le système de gestion de batterie BMS

La capacité disponible après l'équilibrage active est 75% ce qui plus haut que celle de l'équilibrage passif. Ces méthodes sont généralement utilisées pour des technologies modernes telles que le lithium-ion, par exemple.

Les méthodes d'équilibrage actives peuvent se classer en fonction de leur topologie électrique. Trois catégories apparaissent alors dans la littérature :

- Méthode dissipatrice commutée (Shunting).
- Méthode de transfert d'énergie (Shuttling).
- Méthode basée sur des micro-convertisseurs de puissance.

III.3.2.c. Détection des défauts :

Les défauts sont détectés en temps réel. Des alarmes sont déclenchées avant l'apparition d'éventuels défauts.

III.3.2.d. L'interface utilisateur (afficheur LCD) :

Cette interface doit afficher les informations essentielles du BMS. L'autonomie restante doit être indiquée sur le tableau de bord en fonction du SOC de la batterie.

III.4. Les Types et les structures de BMS :

III.4.1. Types de BMS :

Il existe différents types de BMS qui peuvent varier en fonction de la complexité et des performances demandées [18] :

- Simples régulateurs passifs permettant d'atteindre un équilibre entre chacune des cellules en "by-passant" certaines cellules lorsque leur tension atteint un certain niveau.
- Régulateurs actifs intelligents permettant d'allumer et d'interrompre une partie du chargement afin de réaliser l'équilibrage de charge.
- BMS complet signalant l'état de la batterie grâce à l'affichage, et protégeant la batterie d'un dysfonctionnement.

III.4.2. Structures de BMS :

Les BMS peuvent être classés en 3 catégories [19]:

- les BMS centralisés : un seul contrôleur est connecté à des cellules de batterie à travers une multitude de fils.
- Les BMS distribués : un contrôleur est installé sur chaque cellule, avec seulement un câble de communication unique entre la batterie et le contrôleur.
- les BMS modulaires : plusieurs contrôleurs reliés à un certain nombre de cellules, accompagnés d'une communication entre les contrôleurs.

Chapitre III: Le système de gestion de batterie BMS

CONCLUSION :

Dans ce chapitre on s'est intéressé au système de gestion des batteries qui représente une entité indispensable pour la technologie Li-Ion. On a aussi présenté ses principales fonctionnalités. Comme nous venons de le souligner, quel que soit le mode de fonctionnement, le BMS doit inclure une fonction capable de déterminer de manière précise l'état de charge du pack batterie.

Afin de mieux comprendre les batteries Li-ion, le chapitre suivant présentera une fonctionnalité du BMS à savoir le contrôle de processus de charge et de décharge et leurs comportements électriques via l'étude d'une batterie Li-ion avec le logiciel ISIS Proteus.

Introduction :

Un BMS comme présenté dans le troisième chapitre, est un système permettant la gestion des batteries, et plus précisément, des batteries lithium-ion. Il permet une utilisation plus aisée de la batterie et d'avoir en temps réel différentes informations sur celle-ci.

Une batterie lithium-ion est très fragile, et pour l'utiliser dans de bonnes conditions avec une durée de vie maximale, certains paramètres doivent être surveillés qui sont principalement la gestion électrique, gestion thermique, l'équilibrage des cellules et l'estimation de l'état de charge.

Dans ce chapitre nous limitons notre étude sur la gestion de la charge de la cellule Li-ion en utilisant le logiciel **ISIS PROTEUS**. Un paramètre à surveiller est la tension. Ces batteries ne supportent pas les décharges profondes. Au contraire, une surcharge n'est pas très grave, mais cela induit une élévation de la température qui cause une explosion.

Les éléments nécessaires pour cette implémentation sont :

- Un capteur de tension
- Un capteur de courant
- Un Microcontrôleur 16F876A
- Une Batterie Li-Ion
- Un Afficheur LCD
- Un oscillateur

IV.1.Présentation :

IV.1.1.Le microcontrôleur 16F876A :

Un microcontrôleur a une forme d'un circuit intégré comme on le voit sur la photo mais il diffère des autres circuits intégrés par :

- les circuits intégrés ont une fonction précise et seul un petit nombre d'entre eux en ont plusieurs.
- le microcontrôleur n'a pas une fonction précise mais il peut en avoir plusieurs dizaines qui peuvent être programmé par l'utilisateur.

Le microcontrôleur qu'on va utiliser le pic 16f876A « Peripheral Interface Controller » est un microcontrôleur à 40 broches fabriqué par la Société américaine MICROCHIP Technology Inc. - Arizona – USA[18].



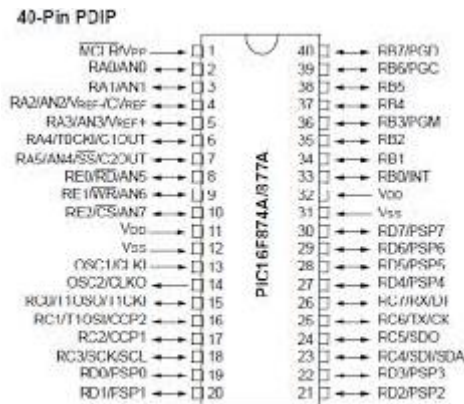
Figure IV.1: Le microcontrôleur Pic 16F876A

Chapitre IV: Réalisation d'une carte contrôle de charge pour batterie Li-ion

➤ Il contient :

8 ko de mémoire flash, 368 de mémoire de donnée, 256 de mémoire EEPROM de donnée 33 entrée/sortie 8 canaux CAN.

➤ Brochage :



sur l'image on voit les différents Ports du pic certaines pattes on des fonctions partagées qu'on expliquera le long de nos expériences

Pour que le microcontrôleur fonctionne correctement il est nécessaire d'avoir:

- Une alimentation : comme le pic ne peut pas supporter plus que 5 volts.
- Une horloge:un quartz et ces capacités.

IV .1.2. Proteus :

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société LabcenterElectronics, les logiciels incluent dans Proteus permettent la CAO dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle: ISIS, ARES, PROSPICE et VSM.

Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycée et université) utilisent cette suite logicielle. Outre la popularité de l'outil, Proteus possède d'autres avantages [19]:

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et utiliser
- Le support technique est performant
- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet

➤ **ISIS :**

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits[19].

➤ ARES :

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complètement parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficiente lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement[19].

IV .1.3. Le protocole DASH7 :

Le **DASH7** est une nouvelle forme de transmission sans fils, à l'instar du Wi-Fi, Bluetooth ou encore du ZigBee. DASH7 est le nom de la technologie promue par le consortium à but non lucratif nommé le DASH7 Alliance.

Le DASH7 est une extension du standard ISO 18000-7. Au départ, il fut créé à des fins militaires. Aujourd'hui, sa vocation a été réorientée vers des applications commerciales venant concurrencer le Zigbee, Bluetooth ou l'IEEE 802.15.4. Les industriels espèrent apporter cette technologie aux particuliers en l'intégrant par exemple dans les téléphones portables, permettant ainsi de contrôler, la consommation d'énergie des divers équipements d'un foyer. Le but est d'offrir un réseau de communication de machine à machine extrêmement simple.

Le DASH7 fonctionne dans la bande de fréquence ISM à 433 MHz et offre un débit de 27,77 Ko/s ; il permet une portée d'environ 1 000 mètres. Cette bande de fréquences est partagée avec d'autres protocoles comme la technologie LoRa(Long Range) spécifiée par Semtech. Le DASH7 est utilisable dans le monde entier[20].

IV .2. Travail réalisé :

Le travail réalisé est constitué par deux cartes pic à base de microcontrôleur PIC16F877, la première carte est implémentée à l'intérieur d'un robot nettoyeur des piscines son rôle est de faire l'acquisition des données tension et courant et commande la charge des cellules de la batterie Li-ion, la deuxième carte est implémentée à l'extérieur son rôle est d'afficher l'état de robot, la communication entre les deux cartes est sans fils a travers le protocole DASH7.

La carte intérieure fournit à la carte extérieure deux signaux « Courant » et « Tension » I_{bat} et V_{bat} ces deux paramètres nous permettent de connaître l'état de batterie.

Les schémas suivants représentent les deux cartes d'état et de contrôle de charge de la batterie Li-ion :

Chapitre IV: Réalisation d'une carte contrôle de charge pour batterie Li-ion

- ❖ La carte implémentée à l'extérieur est composée de la tâche suivante :
 - active la réception à la fin de chaque fin d'acquisition des grandeurs « tension, courant ».
 - Affiche de l'état de la batterie « courant » et « tension ».

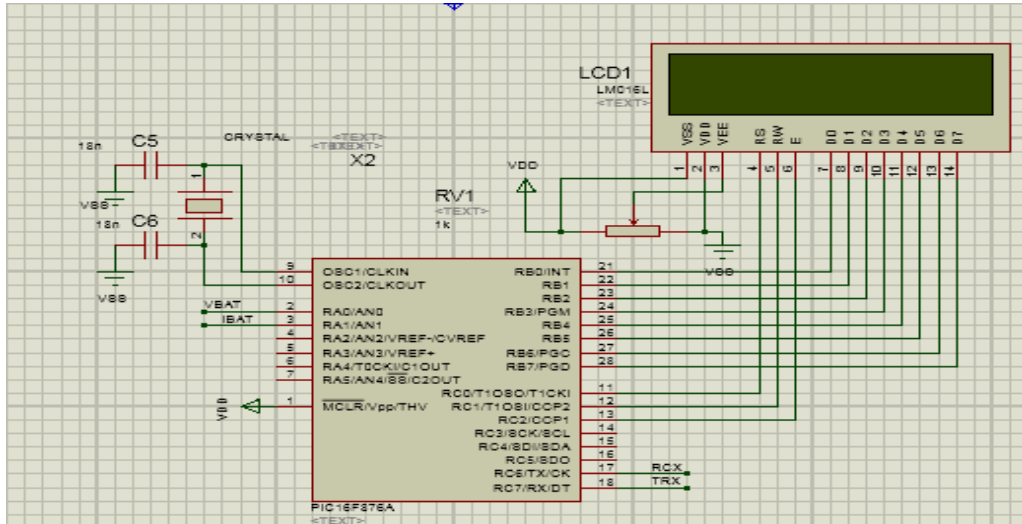


Figure IV.2 : Schéma ISIS de la carte de surveillance

- ❖ La carte implémentée à l'intérieur de robot est composée de plusieurs tâches qui fonctionnent par interruptions :
 - TIMER0 : base de temps pour l'échantillonnage des signaux analogiques.
 - Conversion analogique/numérique.
 - Transmission de l'état de la batterie (tension, courant).
 - Contrôle la fonction de charge de la batterie

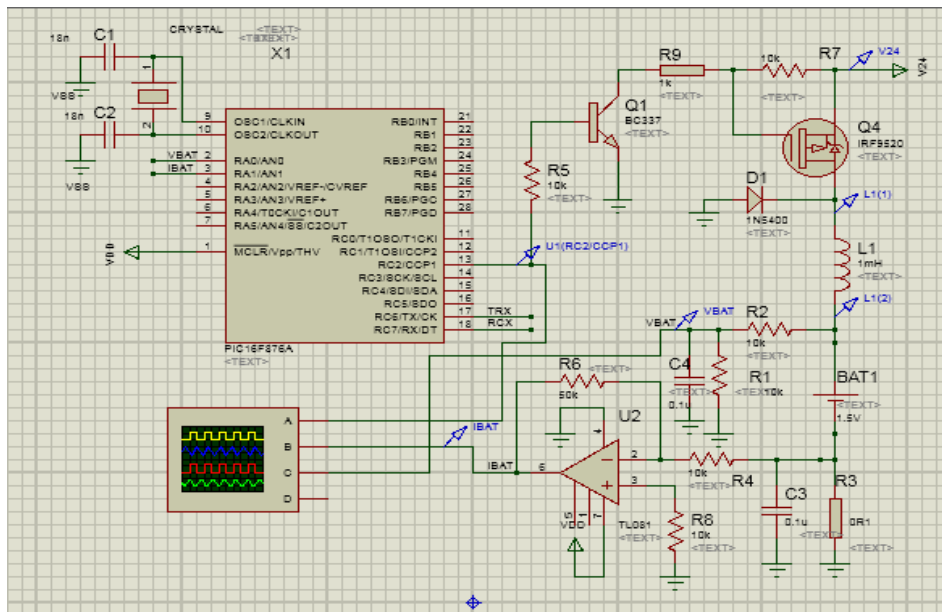


Figure IV.3 : Schéma ISIS de carte de contrôle du processus de charge.

- ❖ L'oscillateur permet l'affichage des courbes de tension, courant et de la commande MLI.
 - Le signal jaune représente la commande MLI.
 - Le signal bleu représente la tension.
 - Le signal rouge représente le courant.

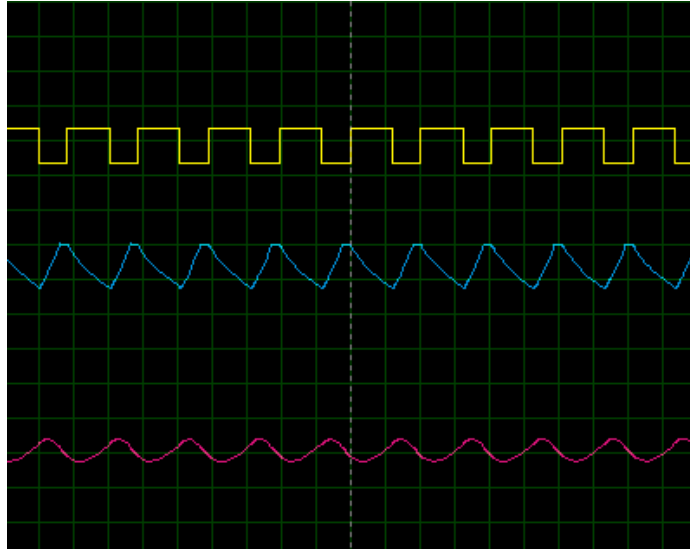


Figure IV.4 : Schéma ISIS de l'oscillateur.

IV.3. Organigrammes des différentes tâches :

IV.3.1. Organigrammes de carte contrôle de charge:

IV.3.1.a. Organigramme tâche TMR0 :

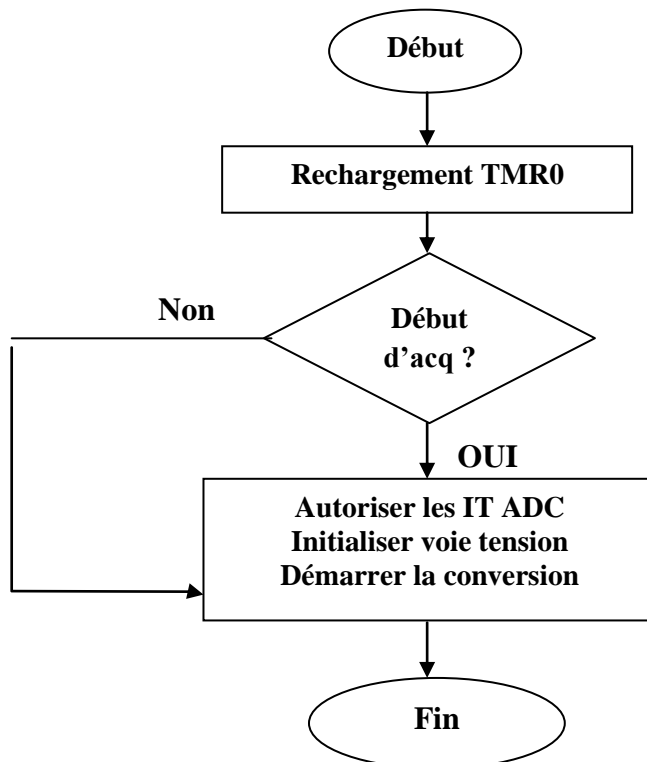
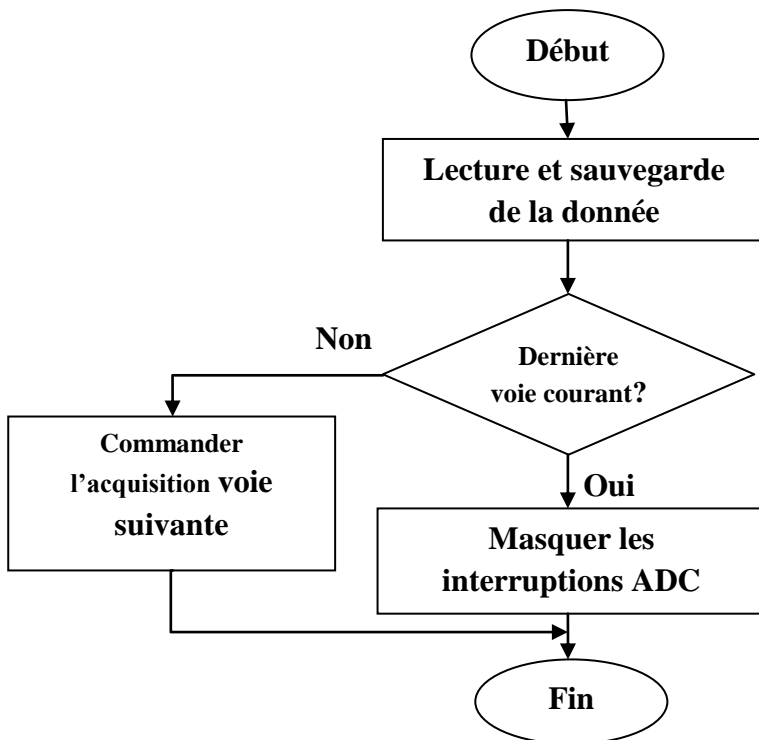


Figure IV.5: Organigramme de la tâche TMR0

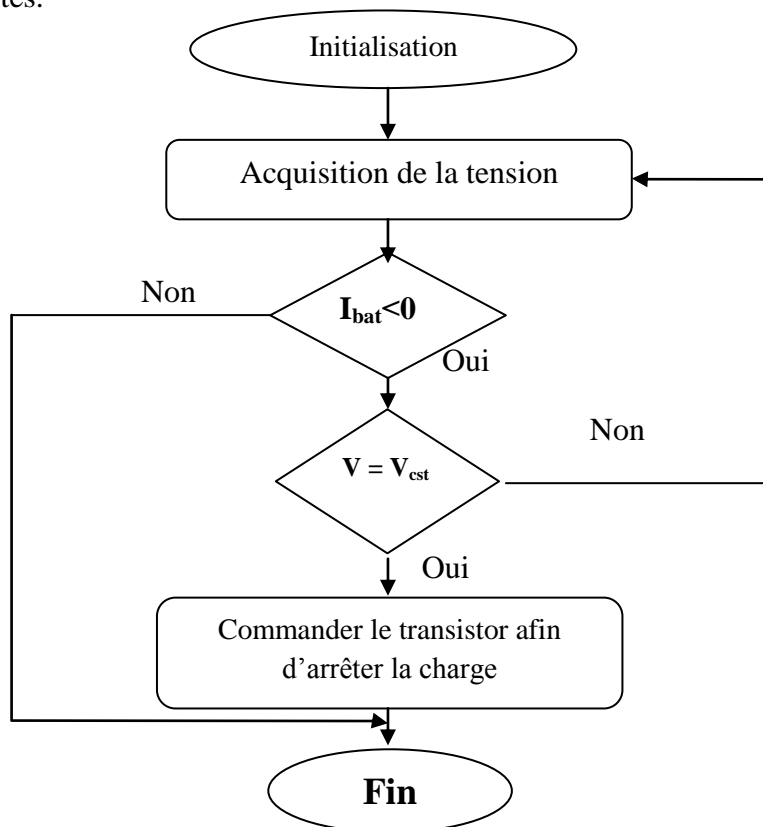
IV.3.1.b. Organigramme ADC :



FigureIV.6: Organigramme de la conversion analogique/numérique

IV.3.1.c. Organigramme tâche principale :

Le but de cette fonction est d'arrêter la charge quand la tension de la batterie atteint les valeurs limites.



FigureIV.7: Organigramme de contrôle du processus de charge

IV.3.1.d. Organigramme de transmission :

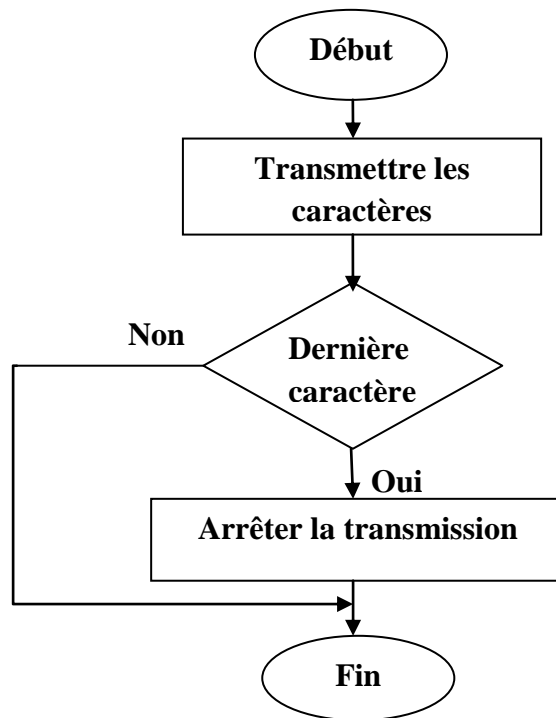
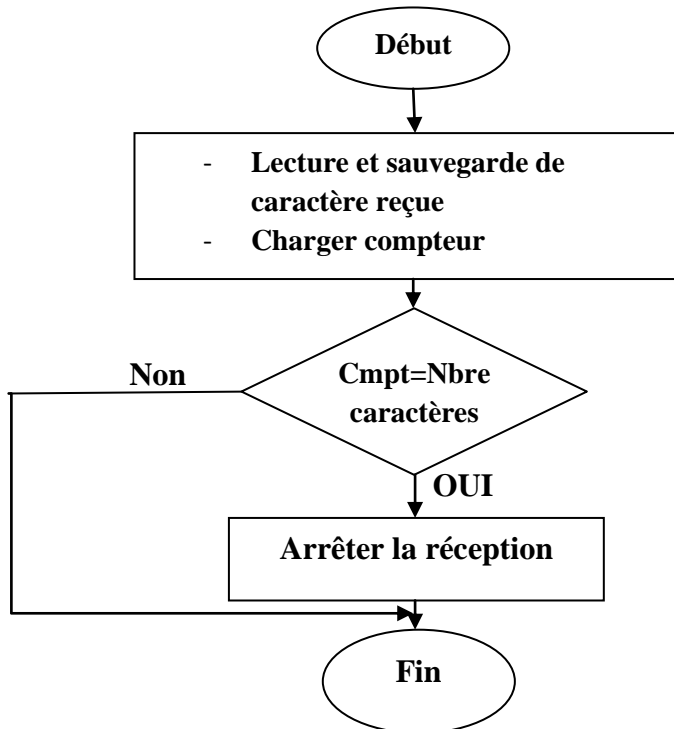


Figure IV.8: Organigramme de Transmission

IV.3.2. Organigrammes de carte de surveillance :

IV.3.2.a. Organigramme de réception :



FigureIV.9: Organigramme de réception

Conclusion :

Dans ce chapitre, on' a traité une fonctionnalité du BMS à savoir le contrôle de processus de charge pour une batterie Li-ion. Le développement de cette tâches est très important pour garder une batterie lithium en bon état et pour éviter tout problème de détérioration dû à une température trop élevée ou une tension de charge/décharge trop élevée ou trop faible.

Conclusion Générale

Dans ce projet, nous avons fait préalablement une étude de la batterie lithium-ion, ses terminologies et son BMS, qui nous a permis de nous familiariser avec cette technologie qui représente une partie indispensable aux applications des systèmes électrique et télécommunication portables.

Les batteries Li-ion ne supportent pas les décharges profondes. Au contraire, une surcharge n'est pas très grave, mais cela induit une élévation de la température qui cause une explosion.

Notre travail à permis la réalisation de deux cartes électroniques, à base de microcontrôleur PIC16F877A qui permettent des fonctions importantes constitués de tâches fonctionnant en interruption et communiquant entre eux, la première carte permet de déterminer l'état de la batterie en fonctions des paramètres de la batterie (tension, courant) et la deuxième carte son rôle est la gestion du processus de charge de la batterie Li-ion.

Une nouvelle technologie Witricity peut être utilisée pour charger la batterie à distance, Le système est constitué d'émetteurs et de récepteurs munis d'antennes à boucles magnétiques réglées sur la même fréquence. L'émetteur, alimenté par un courant électrique, génère un champ magnétique qui va entrer en résonance avec le champ magnétique du récepteur, lequel peut alimenter un appareil auquel il est branché. Ledit champ magnétique, qui fonctionne sur une gamme de fréquence de quelques mégahertz, est sans danger.

De plus ce travail, nous a permis de maîtriser la programmation assembleur des microcontrôleurs, ainsi que la maîtrise du logiciel ISIS PROTEUS.

Bibliographie :

Références:

- [1] J.O. Besenhard, "Hand Book of Battery Materials", Wiley-VCH, Nov 2008.
- [2] I. Buchmann, "Batteries in a Portable World", Battery University, (2001).
- [3] I. Buchmann, "Discharge Methods", Battery University, Retrieved 14 August 2008.
- [4] Q. Badey "Etude des mécanismes et modélisation du vieillissement des batteries lithium-ion dans le cadre d'un usage automobile" 2012.
- [5] M. Broussely et al., "Aging Mechanism in Li-ion Cells and Calendar Life Predictions", Journal of Power Sources, Volume 98, pp. 13–21, 2001.
- [6] Buchmann Cadex Electronics Inc. Est-ce que les batteries au lithium-ion alimenteront le nouveau millénaire ? Isidor Avril 2001.
- [7] Germain VALLVERDU, Principe de fonctionnement des batteries au lithium, Université de Pau et des pays de l'Adour.
- [8] H.J. Bergveld et al., "Battery Management Systems, Design by Modeling", Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [9]. I. Buchmann, "What is the Best Battery", Battery University, Retrieved 26 August 2008.
- [10] La voiture de demain : carburants et électricité, Rapport de la mission présidée par Jean Syrota.
- [11] Linden.D.& Reddy,ThomasB.Handbook of Batteries. 3^e Edition.McGraw-Hill, 1200p.
- [12]. J. Garche and A. Jossen, "Battery Management System (BMS) for Increasing Battery Life", TELESCON 2000, pp. 81-88, 2000.

Bibliographie :

[13] “Battery Management Systems in Electric and Hybrid Vehicles” Energies 2011, 4, 1840-1857; doi: 10.3390/en4111840.

[14] Thèse Diagnostic de batteries Lithium ion dans des applications embarquées.

[15] Davide Andrea Battery Management Systems for Large Lithium Ion Battery Packs .

[16]. Valer Pop et al., “Battery Management Systems: Accurate State-of-Charge Indication for Battery Powered Applications”, Springer, Volume 9, 2008.

[17]A. Jossen, “Fundamentals of Battery Dynamics”, Journal of Power Sources, Volume 154, pp. 530-538, 2006.

Sites Web:

[18] https://fr.wikipedia.org/wiki/Microcontr%C3%B4leur_PIC.

[19] <http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php>.

[20] <https://fr.wikipedia.org/wiki/DASH7>.