

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Machines électriques

Présenté par :

SASSOUI MOHAMMED ALI

HAMADA AYMEN

Thème :

Etude et réalisation d'un circuit BMS pour Batteries Li/Lon

Soutenu publiquement : Le :13/06/2023

Devant les jurys :

M R M ED LAKHDAR LOUAZEN

MCA

Président

UKM Ouargla

M R KOURAS Sid Ali

MAA

Encadreur/rapporteur

UKM Ouargla

M R KHELIFA MOUSSA

MCB

Examineur

UKM Ouargla

Année universitaire 2022/2023

Dédicace

Jedédiemontravail

*À la source de tendresse, l'exemple de dévouement,
la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur
maman que j'adore.*

*A mon chère binôme dans cette mémoire **Ayman***

Sassoui .MohammedAli

Dédicace

Je dédie ce travail

À mes chers parents Pour leur soutien moral et matériel, Les encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés dans les moments les plus difficiles.

A tous mes frères et sœurs, je dédie ce travail qui les réjouit avant tout pour leurs conseils, leur aide et leurs encouragements.

*A mon encadrant Mr. **KOURAS Sid Ali***

*A mon chère binôme dans cette mémoire
Mohammed Ali*

Et à tous mes amis.

Hamada .Ayman

Remerciements

*Avant tout, on remercie **ALLAH** le Tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail dans des meilleures Conditions.*

*Nous adressons un immense Merci spatialement Mon encadreur Mr: **KOURASSidAli** notre encadreur pour ces précieux conseils qu'ils n'ont cessé de me prodiguer tout à la longue la réalisation de ce travail ainsi que pour sa disponibilité quotidienne.*

Sans oublier on remercie les jurys qui nous feront l'honneur de juger ce travail.

*Nos gratitude va particulièrement à tous les enseignants de Département de Génie électrique (**UKMOuargla**) pour tous leurs efforts durant ces années.*

Enfin, dans ces dernières lignes on tient à remercier nos parents, nos sœurs et nos frères, nos amis pour les conseils et les encouragements qu'ils nous ont toujours prodigués ainsi que pour leur soutien tant moral que financier. Sans eux, on n'en serait pas où on 'en est et ce qu'on est.

.Merci encore à tous...



Liste Des Figures

Figure	Titre	Page
FigureI.1	Diagramme des densités d'énergie massique set volumiques	14
Figure I.2	Figure.2.Schéma d'un ecellule Li-ion	15
FigureI.3	Cellule voltaïque composée de deux demi-cellules reliées par un électrolyte	16
FigureI.4	Représentation schématique d'une batterie en charge (a) et en décharge (b)	18
FigureI.5	L'effet de la température sur la résistance effective totale.	20
FigureI.6	batterie en charge	21
FigureI.7	Étapes de charge d'une batterie Li-ion	22
FigureI.8	Batterie en décharge	23
FigureI.9	Architecture fonctionnelle d'un pack batterie	25
FigureI.10	parties essentielles du BMS	25
FigureI.11	Exemple de correspondance entre tension de repos et état de charge	26
FigureI.12	Flux d'état de la batterie	29
FigureI.13	exemple de déséquilibre dans les deux phases (charge et décharge)	31
FigureI.14	équilibre passive	32
FigureI.15	équilibre actif	33
FigureI.16	Blocs du BMS avec circuit d'équilibrage	34
FigureI.17	équilibre à condensateurs commutés classique	34
FigureII.1	Lacarte Arduino UNO	41
FigureII.2	Lacarte Arduino mega.	43
FigureII.3	L'écran LCD (16×2	45
FigureII.4	Photo du montage de l'écran LCD.	46
FigureII.5	Batterie lithium-ion.	47
FigureII.6	La résistance de puissance	48
FigureII.7	Relais	48
FigureII.8	BMS Protection Board For 4 Pack 18650.	49

FigureIII.1	Interruption de charge	53
FigureIII.2	La surtension/sous-tension	54
FigureIII.3	Organigramme du chargeur de batterie au Lithium Ion.	58
FigureIII.4	Schéma global du dispositif réalisé sous ISIS Proteus	59
FigureIII.5	Déclaration des bibliothèques	61
FigureIII.6	la fonction setup	61
FigureIII.7	Echantillon du programme «BMS»	62
FigureIII.8	Photo présentant la phase de charger	63
FigureIII.9	Résultats de charge dans la batterie 1 (Tension)	64
FigureIII.10	Résultats de charge dans la batterie 1 (Curent)	64
FigureIII.11	Résultats de charge dans la batterie 1 (puissans)	65
FigureIII.12	Résultats de charge dans la batterie 2 (Tension)	65
FigureIII.13	Résultats de charge dans la batterie 2 (Curent)	66
FigureIII.14	Résultats de charge dans la batterie 2 (puissans)	66
FigureIII.15	Résultats de charge dans la batterie 3 (Tension et Curent)	67
FigureIII.16	Résultats de charge dans la batterie 3 (puissans)	67
FigureIII.17	Résultats de charge dans trois la batterie(Tension et Curent)	68

Nomenclature

BMS: Battery Management System

Q: est la capacité de stockage de la batterie, en mAh ou en Ah

I: est le courant débité en mA ou en A.

t: est le temps en heure que la batterie met pour une décharge complète.

k : est la constante de Peukert pour une technologie de batterie donnée.

SOC(t) : état de charge de la batterie à l' instant t.

SOC₀ : état de charge à l'état initial.

I_b:Le courant de décharge de la batterie.

$\int_{t_0}^t I_b dt$: représente la charge délivrée par la batterie à l'instant t (charge actuelle).

Q : est la charge nominale de la batterie.

E :est la tension sans charge (V)

E₀ : est la tension constante de la batterie (V)

K:est la tension de polarisation (V)

A : est l'amplitude de la zone exponentielle (V)

B : est l'inverse de la constante de temps de la zone exponentielle (Ah)⁻¹

Sommaire

<i>Dédicace</i>	2
<i>Remerciements</i>	4
Liste Des Figures	5
Nomenclature	8
Introduction général.....	11

Chapitre I Erreur ! Signet non défini.Généralités Batteries Li/Lon

I-1) Introduction :	14
I.2)Principe de fonction nement d'une batterie Li-ion :	14
I.3) Capacité de stockage de la Batterie :	17
I.4) Processus de charge :	21
I.5) Processus de décharge :	23
I.6) Avantages et les Inconvénients des accumulateurs lithium-ion :	24
I.7) Rôle du BMS :	24
I.8) Architecture fonctionnelle :	25
I.9)La sécurisation :	27
I.10) Les capteurs :	27
I.11) La donnée :	27
I.12) Le contrôle :	27
I.13) L'interface :	28
I.14) La gestion thermique :	28
I.15) L'état de la batterie :	28
I.16) Types de BMS :	35
I.17) CONCLUSION :	37

Chapitre II : Le dispositif programmable ARDUINO

II.1) Introduction :	39
II.2) Définition du module Arduino :	39
II.3) Partie matérielle :	45
II.4) Conclusion.....	50

Chapitre III : Description et analyse de programme

III.1) Introduction.....	52
III.2) Les différentes étapes de la réalisation :	53
III.3) Etude du système	53
III.4) Estimation basée sur l'intégration du courant :	55

III.5) Estimation basée sur la tension à vide :	56
III.6) Modèle :	57
III.7) Notre programme :	61
III.8) Conclusion.....	70
Conclusion Générale.....	70
Bibliographies:	72
Résumé :.....	77

Introduction générale

Introduction général

Bien que le stockage d'énergie été une des plus grandes préoccupations des chercheurs depuis bien longtemps, ce n'est qu'au début des années 70, que l'idée de combiner du disulfure de titane au lithium a vu le jour, les ions lithium passent facilement d'une partie de la batterie (anode) vers l'autre (cathode), où ils sont attirés par le disulfure de titane. Les électrons libérés par ce processus sont prêts à être utilisés.

Une invention dont on n'ose imaginer l'absence dans notre quotidien ; récompensée par un prix Nobel de chimie en 2019 ; développée par un britannique, un américain et un japonais. C'est l'histoire de la batterie lithium-ion, utilisée dans nos ordinateurs portables, nos téléphones mobiles, nos vélos et voitures électriques. Le britannique Stanley Whittingham est le père de la batterie rechargeable.

L'américain John B. Goodenough est le premier à développer une batterie rechargeable capable de générer encore plus d'énergie. Il utilise à cette fin l'oxyde de cobalt. Vient par la suite, le japonais Akira Yoshino qui a remplacer le lithium de l'anode par du coke de pétrole (fines couches de carbone), et d'y ajouter des ions lithium en les combinant à la cathode, à l'oxyde de cobalt et au lithium de Goodenough, mais le modèle de la batterie rechargeable que nous connaissons aujourd'hui revient à Yoshino.

De nos jours, le monde de la batterie se développe toujours à un rythme soutenu. Les scientifiques et les entreprises accordent toute leur attention à la capacité (par rapport au poids), la durabilité (sociale) des matériaux ainsi qu'à la sécurité.

La plupart des dispositifs de batterie disposent d'un système de gestion appelé communément (BMS), ce dernier doit être capable d'assurer tout d'abord la sécurité du dispositif, la surveillance de la puissance de la batterie ainsi que plusieurs paramètres importants dans le système de gestion notamment la tension, la température, la pression et le courant de chaque cellule et s'assurant que ces grandeurs restent dans des valeurs sûres pendant les phases de charge et de décharge. Cela a un impact direct sur les performances et la durée de vie de la batterie. Par conséquent, plusieurs algorithmes de charge ont été développés.

En règle générale, les algorithmes de facturation varient en fonction de certains critères, tels que temps de charge, efficacité de charge et impact négatif sur le cycle de vie de la batterie, et la complexité de la mise en œuvre d'un chargeur approprié, aussi le coût est pris en compte. ces algorithmes se divisent en deux grandes catégories Courant Constant ou Tension Constante

L'objectif de ce mémoire été de faire l'étude, la modélisation et la réalisation d'un système de gestion de batterie, pour cela nous avons essayé d'exposer les Principaux tannant et aboutissant d'un tel système, les différents type et technologie ainsi que le code informatique et autre algorithme qui régissent le système.

Ce mémoire est organisé autour de trois axes principaux :

Dans le premier chapitre, nous avons présenté une recherche bibliographique sur le système de charge et de stockage de batterie utilisant le programme contrôleur ARDUION afin de charger trois batteries différentes dans la capacité primaire stockée dans chaque batterie sur des circuits différents.

Au second chapitre nous l'avons consacré à l'instrumentation utilisés, effectivement nous nous sommes fait aider par la carte ARDUINO, qui nous a permis d'économiser beaucoup de temps grâce au nombreuse accessibilité prédéfini et a bibliothèque de composant très full.

Dans le troisième chapitre, nous avons convertis l'étude théorique en travail pratique. L'essentiel de notre travail a consisté à développer le circuit choisi avec des explications sur les choix en tenant compte de l'évolution du code et de l'organigramme associé ainsi que du circuit à réaliser.

Chapitre I

Généralités Batteries Li/Lon

I-1) Introduction :

Les batteries au lithium ont pris une place prépondérante, depuis les années 80, comme sources d'énergie dans divers domaines tels que les systèmes embarqués, les dispositifs portatifs et les applications médicales. Les applications touchent pratiquement tous les domaines, des téléphones portables jusqu'aux satellites et bien sûr les véhicules électrifiés qui sont très à la mode en ce moment. Avec une très forte densité énergétique massique et volumique, les batteries au lithium sont beaucoup plus avantageuses comparé à leur concurrentes, considéré comme le plus léger des métaux ($6,94 \text{ g.mol}^{-1}$ pour une densité volumique de $0,53 \text{ g.cm}^{-3}$) mais aussi il est le plus électropositif ($-3,04 \text{ V}$ relativement au potentiel standard de l'hydrogène). Il confère à la batterie une densité énergétique élevée (supérieure à 150 Wh.kg^{-1} et à 200 Wh.l^{-1}). [1]. Les batteries au lithium regroupent trois principales technologies : le lithium-ion, le lithium- polymère et le lithium métal (Figure I-1).

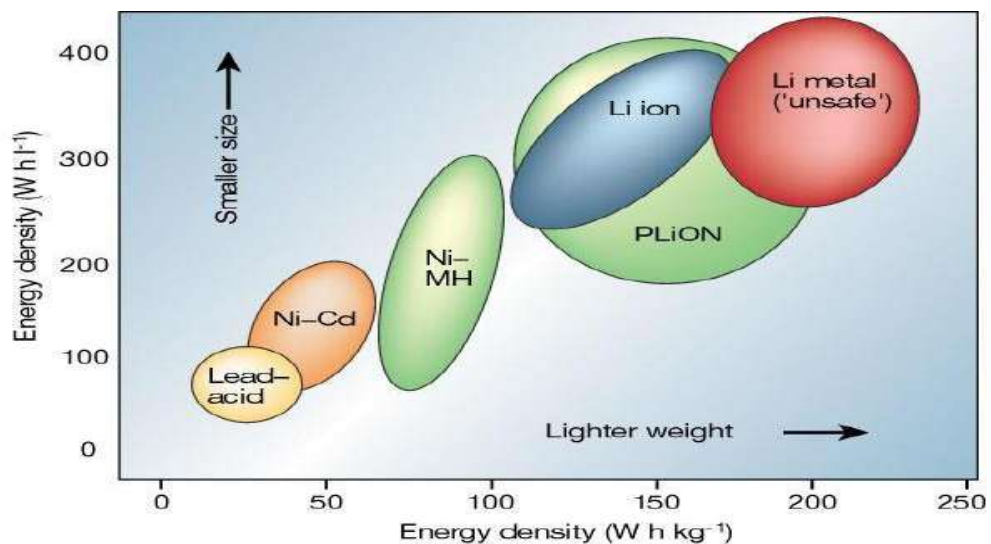


Figure I.1 : Diagramme des densités d'énergie massique et volumiques [1]

Dans ce premier chapitre nous allons présenter des généralités sur les batteries et leurs différents types selon les technologies impliquées et leurs domaines d'application, les paramètres et phénomènes interagissant, nous terminant en présentant les indicateurs qui reflètent l'évolution de l'état de la batterie, la charge/décharge et le système de gestion et de contrôle.

I.2) Principe de fonctionnement d'une batterie Li-ion :

La Figure 1.2 illustre de manière schématique une cellule Li-ion et son principe aux constituants, et permet de comprendre son principe de fonctionnement. On distingue deux électrodes, une positive et l'autre négative. Ces électrodes présentent une différence de potentiel globale qui est fonction de

lanature chimique des deux matériaux d'électrode. Chaque électrode comporte un support servant de collecteur métallique de courant, le plus souvent un collecteur en aluminium pour l'électrode positive et un collecteur en cuivre pour l'électrode négative. L'électrode est composée de matières actives (> 80%), d'un percolant électronique (noir de carbone) et d'un liant polymère. Les collecteurs métalliques sont reliés à un circuit extérieur, leur rôle étant d'assurer la circulation des électrons. Il faut noter qu'un séparateur est disposé entre les deux électrodes afin d'éviter un court-circuit interne. Il s'agit d'une membrane poreuse, dont le rôle est de permettre le passage des ions entre les deux électrodes sans pour autant permettre une conduction électronique. Les deux électrodes baignent dans un électrolyte dont la conductivité ionique est élevée pour faciliter le déplacement des ions Li^+ .

Le fonctionnement de la cellule repose sur des réactions électrochimiques d'oxydoréduction qui ont lieu au niveau des matières actives des électrodes. Dans le cas des accumulateurs Li-ion, le fonctionnement repose également sur une réaction de chimie de solide, dite d'insertion/désinsertion, dans laquelle les ions Li^+ , ayant un diamètre très petit, prennent place dans la structure cristalline hôte des deux électrodes.

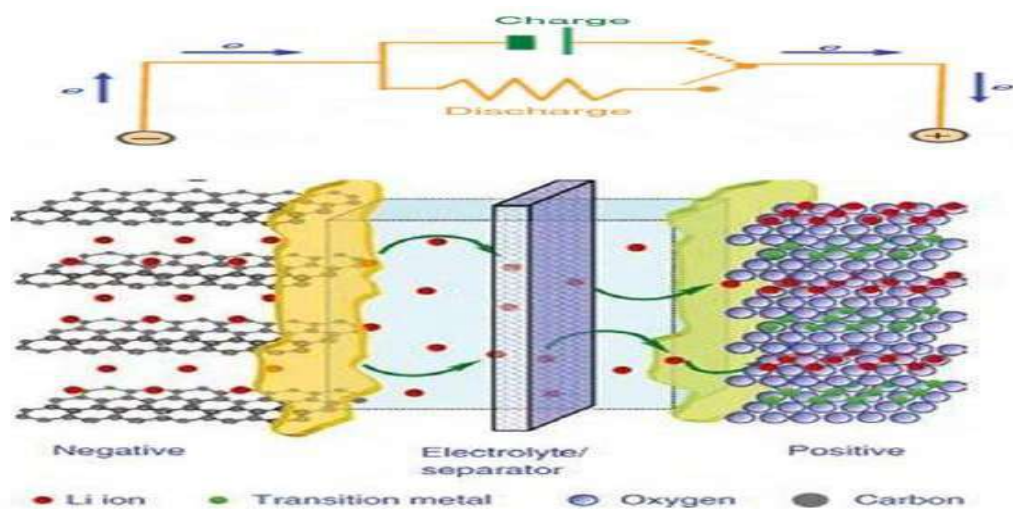


Figure I.2 : Schéma d'une cellule Li-ion

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.3.). 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 [8]. La figure suivante montre le principe de fonctionnement des batteries pendant la charge et la décharge.

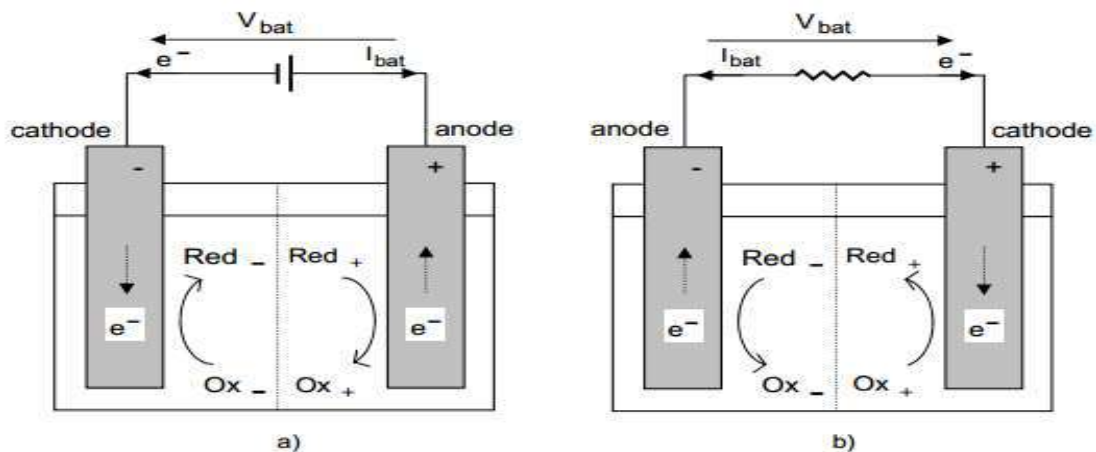
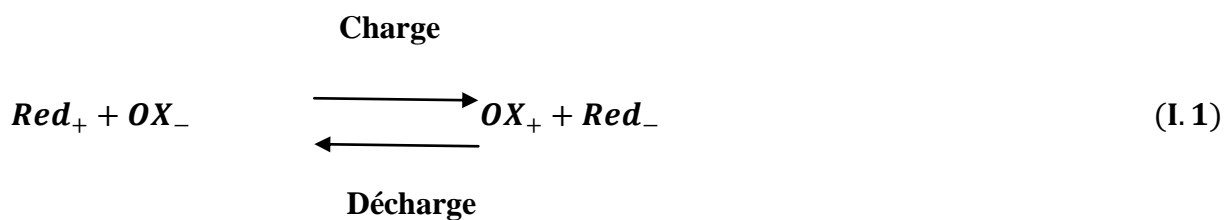


Figure I.3: Représentation schématique d'une batterie en charge (a) et en décharge (b)

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 :



I.3) Capacité de stockage de la Batterie :

L'énergie emmagasinée dans une batterie correspond à sa capacité de stockage. Généralement, elle se mesure en Ah (ampères-heures). Plus il y a de matériel d'électrolyte et d'électrodes dans la cellule, plus la capacité de stockage de la cellule est importante, et viceversa [6, 1, 2]. Ainsi, pour

une technologie chimique donnée, une petite cellule a moins de capacité de stockage qu'une cellule plus grande, même si elles développent la même tension en circuit ouvert [8].

La capacité nominale de la batterie est toujours liée à la durée prévue de décharge :

$$t = \frac{Q}{I} \quad (1.2)$$

Avec :

Q: est la capacité de stockage de la batterie, en mAh ou en A

I: est le courant débité en mA ou en A.

t: est le temps en heure que la batterie met pour une décharge complète.

La capacité disponible de la batterie est aussi fonction de son régime de décharge [8,14]. Si une batterie est déchargée à un taux relativement plus élevé, la capacité disponible sera plus faible que prévu. Une explication mathématique de la raison de ce phénomène a été tout d'abord donnée par W. Peukert en 1897. Ce phénomène suit donc une loi pouvant être exprimée comme suit.

$$Q = I^k \cdot t \quad (1.3)$$

Avec :

Q : est la capacité de stockage de la batterie en Ah.

I : est le courant de décharge en A.

t: est le temps de décharge en heure

k : est la constante de Peukert pour une technologie de batterie donnée.

I.3.1. Résistance Interne :

La résistance interne d'une batterie est définie comme l'opposition à la circulation du courant dans une batterie. Il y a deux composantes essentielles pour cette résistance : La résistance électronique et la résistance ionique. Cette dernière est l'opposition au passage du courant dans la batterie due à des facteurs électrochimiques divers tels que la conductivité de l'électrolyte, la mobilité des ions et la surface de l'électrode. Cet effet se produit plus lentement que la résistance électronique [1, 2,15].

Alors La résistance interne de la batterie est reliée à l'ensemble des éléments qui constituent la batterie. Elle comprend [12] :

- La résistance de l'électrolyte.
- La résistance des matériaux actifs de chaque électrode.
- La résistance de contact entre les électrodes et les cellules.

En générale, la résistance interne de la batterie augmente quand la température ambiante diminue. Ce résultat peut s'expliquer par le fait qu'à basse température les réactions électrochimiques qui ont lieu au sein de la batterie ralentissent. En conséquence, la mobilité des ions dans la batterie diminue. L'effet de la température sur la résistance effective totale d'une batterie en alcaline neuve, est représentée dans la figure II.7 [5].

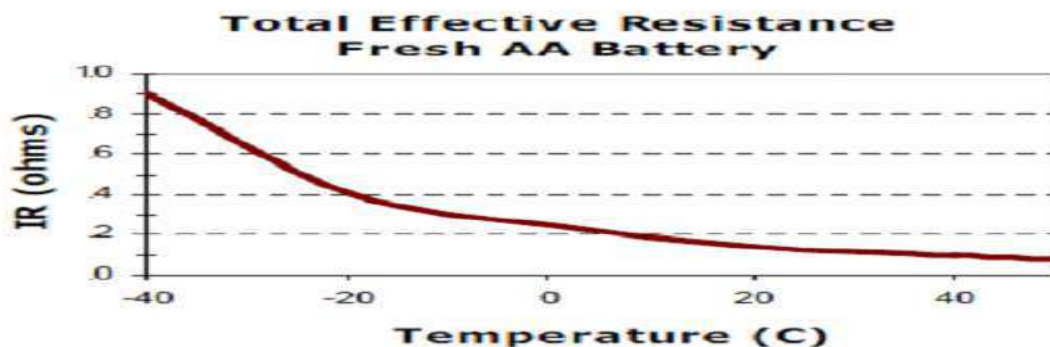


Figure I.4 : L'effet de la température sur la résistance effective totale.

I.3.2. État de santé (SOH) :

Le SOH reflète un état général de la batterie (état de santé de la batterie) et sa capacité à fournir les performances spécifiées par rapport à une batterie neuve. Elle dépend de plusieurs paramètres tels que l'acceptation de charge, la résistance interne, la tension, l'autodécharge. Donant une indication sur la position de la batterie par rapport à son cycle de vie.

I.3.3. État de charge (SOC) :

Le SOC (état de charge) est le pourcentage de la charge actuelle par rapport à la charge maximale prévue dans une batterie [1]. Le SOC est l'équivalent d'une jauge de carburant pour le pack de batterie dans un BEV (Battery Electric Vehicle), un HEV (Véhicule Electrique Hybride) ou

un PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle). impliquant des mesures il est lié à plusieurs paramètres électriques et chimiques, comme la tension à vide, la tension en charge, le courant, la température, l'impédance interne et la densité spécifique de l'électrolyte.

I.3.4. 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 (NickelCadmium), 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.

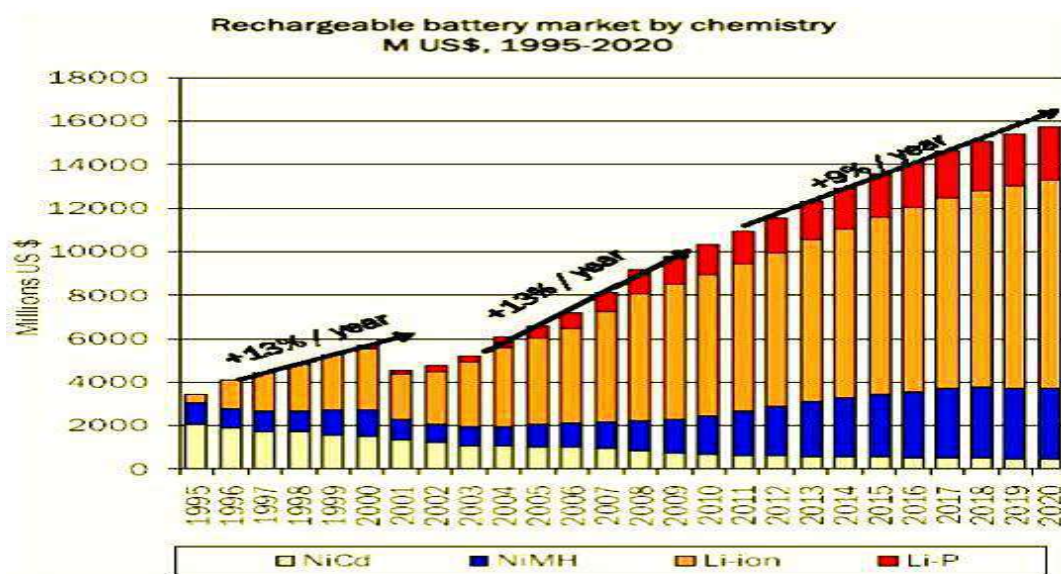


Figure I.5: Statistique du marché des batteries rechargeables.

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 1 résume les points forts et les limites des systèmes de batteries populaires actuellement utilisés [3, 13].

	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

I.4) 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) [14]. Le processus est arrêté lorsque l'anode atteindra un excès d'électrons et la cathode un manque d'électrons. La figure II.11 illustre le processus de charge d'une cellule électrochimique.

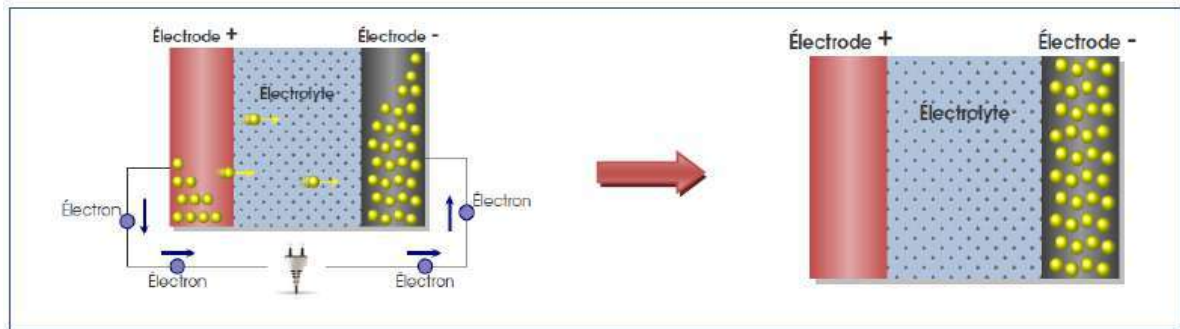
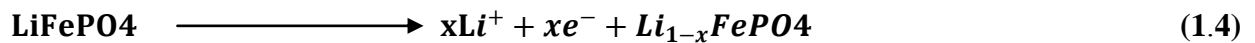


Figure I.6 : batterie en charge

Prenant l'exemple d'une technologie lithium basée sur l'oxyde d'Olivine lithié(LiFePO₄) pour l'électrode positive et sur le graphite (LiC₆) pour l'électrode négative [14] :

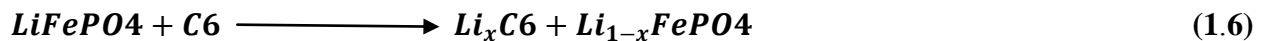
- Réaction en charge à la cathode peut s'exprimer selon l'équation suivante :



- Réaction en charge à l'anode peut s'exprimer selon l'équation suivante :



- La réaction globale peut s'exprimer selon l'équation suivante :



Lors de la charge, des ions lithium Li⁺ sont extraits du LiFePO₄ et des ions Fe₂₊ sont oxydés en Fe₃₊. 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 [16]

- 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 (2.1V). 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 [3].

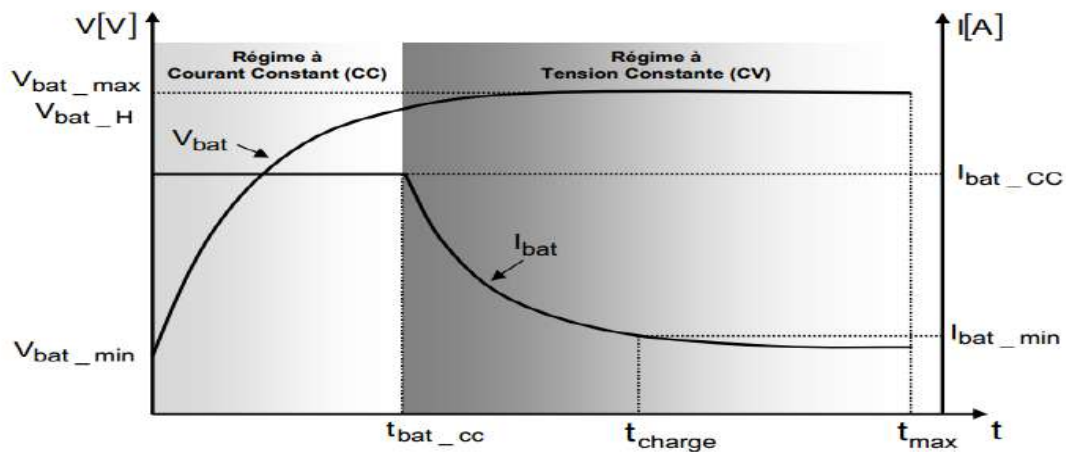


Figure I.7 : Étapes de charge d'une batterie Li-ion [3]

I.5) 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.13. 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 [14].

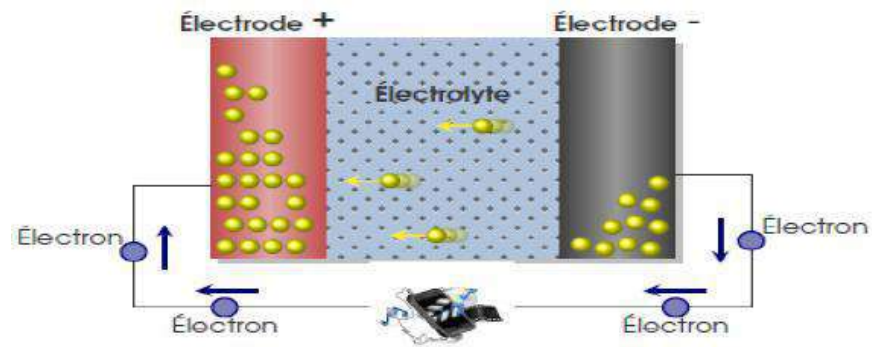


Figure I.8 : Batterie en décharge

Réaction en décharge à la cathode peut s'exprimer selon l'équation suivante :



- Réaction en charge à l'anode peut s'exprimer selon l'équation suivante :



- La réaction globale en décharge peut s'exprimer selon l'équation suivante :



La formation de Li_xC_6 résulte de l'insertion d'atomes de lithium entre les plans carbonés de l'anode.

I.6) Avantages et les Inconvénients des accumulateurs lithium-ion :

I.6.1. 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.

I.6.2. 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 de 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).

I.7) Rôle du BMS :

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

I.8) Architecture fonctionnelle :

Un BMS peut être schématisé par la figure I.1, les blocs essentiels sont décrits dans les paragraphes suivants:

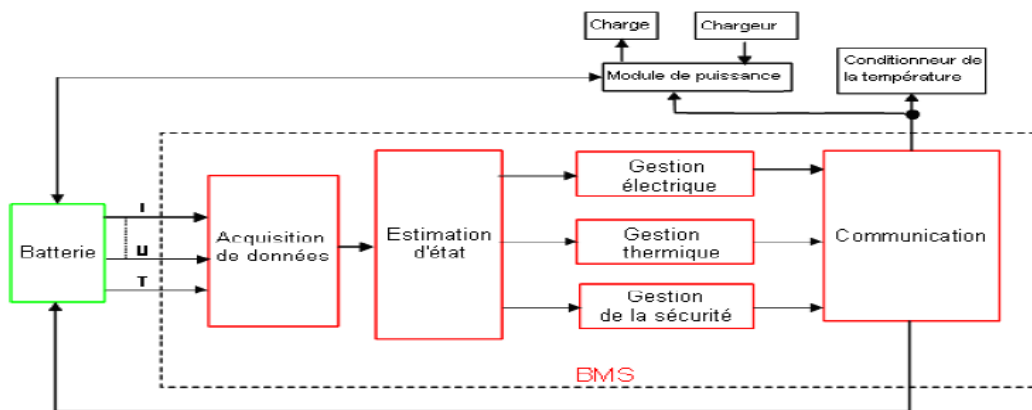


Figure I.9 : Architecture fonctionnelle d'un pack batterie

Un BMS est constitué essentiellement de deux parties

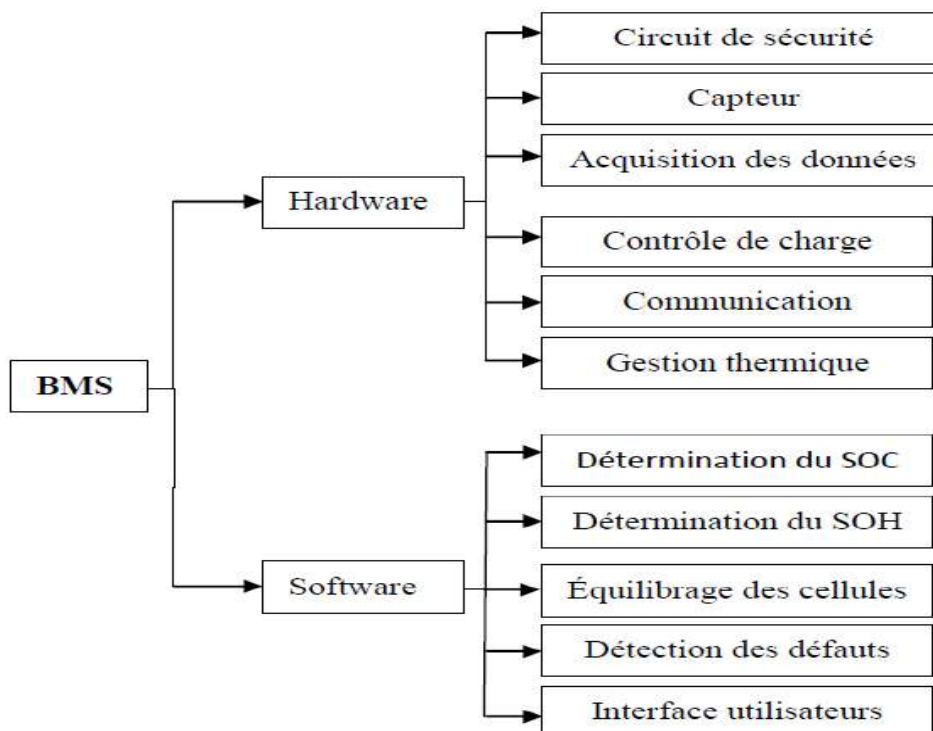


Figure I.10 : parties essentielles du BMS

Le pack batterie comporte les parties dont le BMS est connecté :

- Éléments à superviser (mesure de leur tension et température),

- Organes contrôlant la connexion de la puissance (contacteur, disjoncteur) et mesurant les caractéristiques électriques de cette partie puissance (courant et isolement),
- Applicatif extérieur (équipement alimenté par le pack batterie ou équipement qui sert à charger le pack batterie), pour échanger avec lui toutes les informations requises par l'utilisation (état de charge, alarme, ...),
- Système de régulation de la température du pack,
- Aux éventuels moyens de protection contre les incendies (rencontré surtout sur les applications de stockage stationnaire).
- Alimentation du BMS dont elle est réalisée par le pack batterie lui-même.

Ce comportement étant trop complexe à modéliser (et variable selon la technologie de la cellule), des tables de correspondances (ou des lois simplifiées) sont établies expérimentalement afin de donner la correspondance entre OCV et SOC dans différentes situations (température, vieillissement, ...), et pourront être extrapolées afin de se rapprocher du SOC réel.

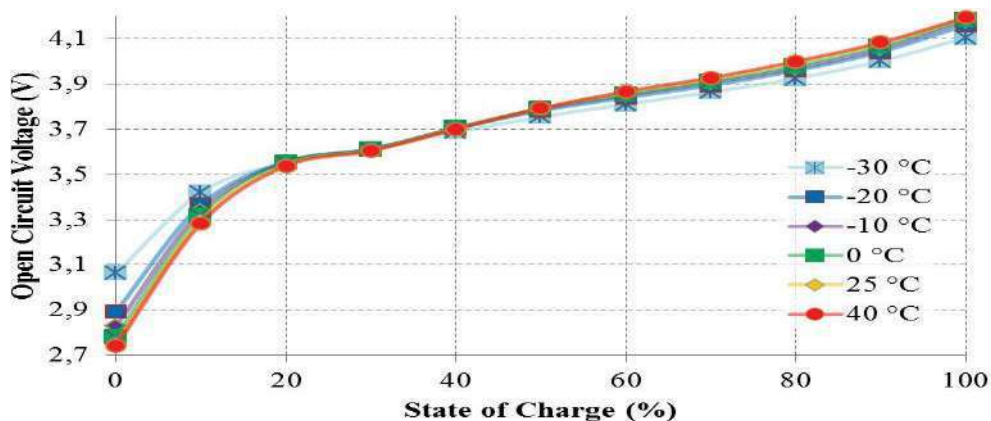


Figure I.11 : Exemple de correspondance entre tension de repos et état de charge pour une cellule Li-ion nickel-manganèse-cobalt neuve (tracé moyen entre cycle de charge et décharge)

I.9) La sécurisation :

Le BMS doit en premier lieu pouvoir gérer la gestion de la sécurité et protéger la batterie contre les conditions d'exploitation critiques. Lest donc nécessaire d'avoir des protections autour de

chaque cellule. Ce système de protections doit être activé si les seuils de ces grandeurs sont atteints, le BMS doit isoler électriquement la batterie. Les paramètres les plus contrôlés sont :

- Les courants excessifs, et courts-circuits,
- Les trop faibles tensions, surtensions et les surcharges,
- Les surchauffes, température (≈ 60 °C pour les batteries Li-ion)
- La pression ou cou dans les cellules,
- Les décharges profondes et longues périodes en état de charge faible

I.10) Les capteurs :

La tension, la température de chaque cellule et le courant de la batterie sont d'autant plus de paramètres dont les différents capteurs surveillent et mesurent les paramètres du system de batterie.

I.11) La donnée :

Les capteurs (courants, tensions, température,...) présents dans le BMS fournissent des mesures traduites en données et récolté par les algorithmes de gestion pour contrôler les processus de charge et de décharge. La température est mesurée au niveau de chaque cellule. Une cellule a en générale deux thermocouples : le premier est collé sur la surfacee second a été inséré au cœur de la batterie (Figure I.4). Les capteurs de courant sont des shunts de courant ou parfois des capteurs à effet Hall.

I.12) Le contrôle :

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 [1, 2, 3].

I.13) L'interface :

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).

I.14) 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 [4] :

- 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.

Le cœur de tout système BMS est la programmation du code qui va contrôler toutes l'opération et analyser les données des capteurs afin de prendre les décisions nécessaires et faire l'estimation des différents états de la batterie.

I.15) L'état de la batterie :

Pour les utilisateurs de dispositifs avec batteries l'état de la batterie est le plus important, notamment de plus en plus pour les utilisateurs de véhicule électrique, afin d'estimer l'autonomie, mais pour le BMS l'état de la batterie est utilisé comme paramètre d'entrée.

L'état de la batterie nécessite de connaître l'état de charge (SOC ou State of Charge) actuel des cellules, leur état de santé (SOH ou State of Health)[1,2] pour le type d'application auxquelles elles sont destinées. Ces deux paramètres influencent les paramètres internes de la batterie

(résistance interne, capacité déstockage, tension à vide,...) et c'est inversement vrais, et sont fonction en même temps des paramètres internes et externes de la batterie (température, caractéristiques des charges, etc.) la figure I.7la montre parfaitement.

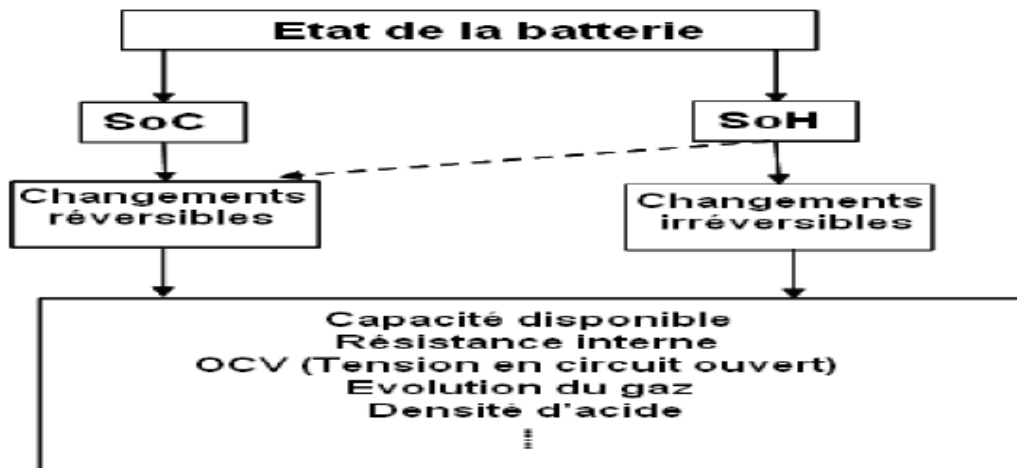


Figure I.12: Flux d'état de la batterie [5].

- Application type énergie (cas des véhicules électriques par exemple), où les cellules de la batterie doivent pouvoir fournir le maximum d'autonomie et donc avoir la meilleure capacité possible. C'est alors la perte de capacité lors du vieillissement que doit quantifier le SOH [7][8]. Il nécessite donc de pouvoir déterminer l'évolution de la capacité de la cellule ($A_{cutesse}$).
- Application type puissance où les cellules doivent pouvoir faire face à de fortes puissances (en charge et décharge) et donc avoir une résistance interne faible. C'est donc l'augmentation de cette valeur de résistance qui est évalué pour le SOH. Le SOH est alors le rapport entre la résistance interne à un instant t et la résistance interne lorsque le composant est sain. Au-delà d'une certaine augmentation de sa valeur (couramment un doublement par rapport à l'état neuf), le pack est considéré défaillant.
- L'état de fonction

Le besoin de savoir si dans les conditions de SOH, de SOC et de température, à un instant t , la

batterie est capable de réaliser une fonction donnée à pousser l'apparition de ce paramètre. Cette fonction peut notamment se matérialiser par l'identification d'une valeur de puissance atteignable (en charge et décharge [1]) pour un horizon de temps souhaité. Ainsi, compte tenu des conditions de température, des états de charge et de santé, le BMS définit les valeurs de puissances que le pack est capable de recevoir ou de fournir durant un temps défini.

Dans notre étude nous allons néanmoins nous intéresser plus à l'état de charge.

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 [4].

I.15.1. Les méthodes directes:

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

I.15.2. Les méthodes par intégration du courant:

Ils 'agit d'un comptage coulomb métrique, qui calcule le nombre d'ampère heure entrant et sortant. Ce comptage doit tenir 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.

I.15.3. Les méthodes adaptatives:

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 des 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 rajuster 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.

I.15.4. Systèmes d'équilibrage des cellules :

Pour garantir que tous les éléments d'une batterie soient à un même état de charge on doit utiliser ce qu'on appelle systèmes d'équilibrage des cellules. En effet, au bout de plusieurs cycles deux cellules identiques soumises aux mêmes sollicitations en courant, verront leurs états de charge diverger, deux principales catégories existent pour classer les sources de déséquilibre

- **Internes :** deux cellules identiques ne sont pas forcément identiques, des variations dans leur volume physique dus aux processus de fabrication sont inévitables, ces défauts de fabrication se traduisent par des variations d'impédance interne et des différences de taux d'autodécharge.
- **Externes :** au cours de l'utilisation de ces batteries charge et décharge des déséquilibres se produisent et sont liés à la température de fonctionnement et aux courants.
- Le système d'équilibrage est donc indispensable pour éviter que des cellules soient complètement déchargées alors que d'autres ne le sont pas, et prévenir les risques de sur-décharges ou de surcharges.

Il faut noter par ailleurs que l'uniformisation des températures n'est cependant pas garantie, bien qu'une ventilation forcée permette d'évacuer les calories générées par les batteries.



Figure I.13 : exemple de déséquilibre dans les deux phases (charge et décharge)

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

I.15.5. 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 des 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 [6] :

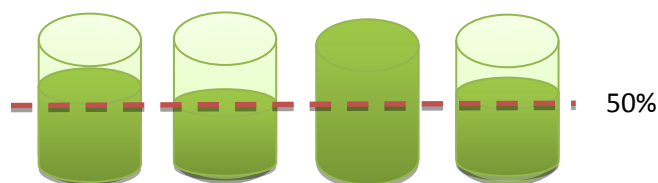


Figure I.14 : équilibrage passive

Les inconvénients de cette méthode sont [6] :

- 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

I.15.6. 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 I.15 : équilibrage actif

La capacité disponible après l'équilibrage active est 75% ce qui plus haut que celle de l'équilibrage passif.

Basée sur le transfert de l'énergie entre les cellules c'est-à-dire simplement d'une cellule à l'autre ou d'une cellule à l'ensemble de la batterie, ou bien l'inverse, Cette méthode d'équilibrage ne dépend pas des caractéristiques chimiques des cellules et peut être utilisé pour la plupart des types de batteries rechargeables modernes.

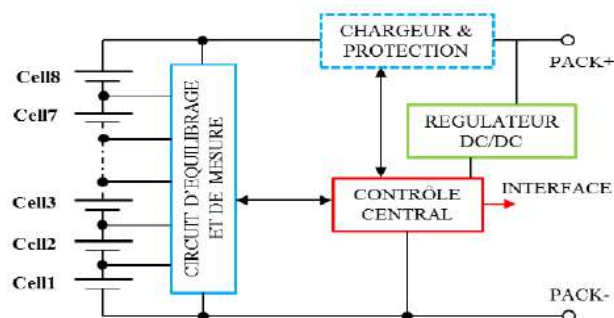


Figure I.16: Blocs du BMS avec circuit d'équilibrage

Dans un premier temps l'énergie des cellules fortes est absorbée par ces éléments de stockage actifs (capacité ou inductance), et est libérée vers les cellules faibles dans un deuxième temps c'est ainsi que le transfert d'énergie d'une cellule à l'autre est réalisé. Il faut que le courant d'équilibrage soit toujours supérieur à celui de décharge ou de charge du pack pour équilibrer la tension des cellules, ce type de convertisseur intégré permet de réduire la taille des circuits et d'augmenter la densité de conversion d'énergie du système.

Une des technologies qui apparue en premier lieu fut l'équilibrage capacitif, aussi connu comme sous le nom d'équilibrage à "condensateur commuté", qui utilise des condensateurs comme l'élément principal de stockage tampon d'énergie pour redistribuer l'énergie entre les cellules. Comme indiquer dans la figure ci-dessous.

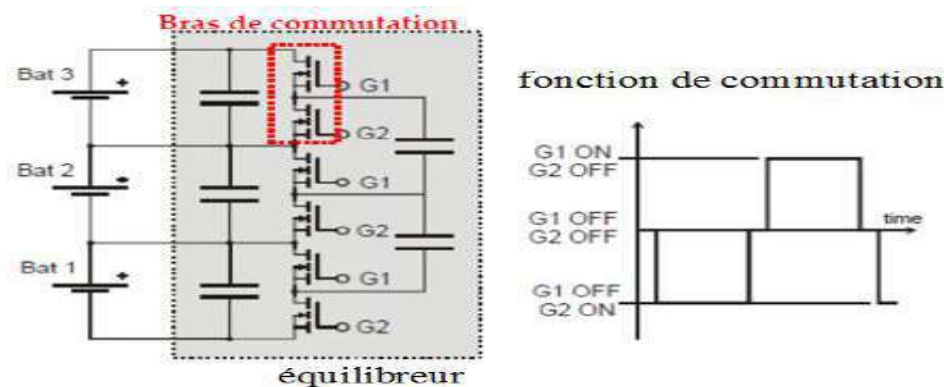


Figure I.17: équilibrage à condensateurs commutés classique

Il y a deux groupes d'interrupteurs. Le groupe 1 (G1) relie les condensateurs commutés à toutes les bornes positives des cellules, tandis que le groupe 2 (G2) relie les condensateurs commutés aux bornes négatives. Les deux groupes sont commutés alternativement.

L'équilibrage de n cellules est réalisé par l'utilisation de $(n-1)$ condensateurs et $2(n-1)$ interrupteurs connectés en échelle. Lorsque les interrupteurs du groupe 1 sont tous fermés, les tensions des condensateurs commutés approchent celles des cellules 1 à $n-1$. Lorsque les interrupteurs dans le groupe 2 sont tous fermés, les tensions de ces condensateurs approchent celles

des cellules de 2 à n. L'énergie est transférée naturellement entre deux cellules adjacentes, de celle la plus chargée vers celle la moins chargée.

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.

Le tableau suivant reprend les trois méthodes actives d'équilibrage dont on donne brièvement les fonctionnalités de chacun :

Tableau I.2 : Comparatif des différentes méthodes actives d'équilibrage

Méthodes d'équilibrage	Catégories	Composants nécessaires à l'équilibrage de n élément en série	Période de meilleure efficacité	Capacité système de modularité
Résistances Shunt Dissipatrices	Dissipatrice commutée	n Interrupteurs, n Résistances	Charge	Simple
Convertisseur buck-boostA	Convertisseurs	1 Convertisseur fonctionnant à la fois	Charge et décharge	Modérée
Convertisseurs buck-boostB	Convertisseurs	n-1 Convertisseurs	Charge et décharge	Modérée

I.16) Types de BMS :

Il existe différents types de BMS qui peuvent varier en fonction de la complexité études performances demandées [6] :

- 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.

Les BMS centralisés sont plus économiques, moins flexibles, et sont accompagnés d'une multitude de fils de connexion. Les BMS distribués sont généralement plus chers, plus simples à installer, et ont un aspect plus propre. Les BMS modulaires offrent un bon compromis entre les avantages et les inconvénients des deux autres topologies.

I.17) CONCLUSION :

Nous nous sommes intéressés dans ce chapitre au système de gestion qui est l'entité indispensable pour les technologies des batteries notamment celle de Li-Ion, nous avons ainsi mis le point sur les principales fonctionnalités, et accès notre étude sur le design de structures d'équilibrage actives plus performantes qui peuvent assurer un fonctionnement efficace des batteries dans de multiples domaines d'application. Pour concevoir une telle structure, une revue sur les topologies d'équilibrage actuelles nous a été nécessaire.

Chapitre II

Le Dispositif programmable ARDUINO

II.1) Introduction :

Arduino est une plate-forme de prototypage interactive pour une utilisation créative qui se compose d'une planche à pain et d'un environnement de programmation.

Sans tout connaître ou tout comprendre de l'électronique, cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de concevoir ses projets grâce à une expérimentation de première main à l'aide de diverses ressources disponibles en ligne.

Pont étendu entre le monde réel et le monde numérique, Arduino permet d'étendre les capacités des relations homme/machine ou environnement/machine.

Arduino est un projet open source : il permet à un grand nombre d'utilisateurs et de concepteurs de trouver des réponses à leurs questions.

Dans cette partie, nous présentons le programme Arduino, certains de ses types et la portée de ses utilisations. Nous mettons également certains des outils que nous avons utilisés dans ce travail, car ce travail a été réalisé pour obtenir des résultats appliqués afin de mesurer la tension, l'intensité du courant et la température de la batterie au lithium.

II.2) Définition du module Arduino :

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre dont certains composants de la carte: comme le microcontrôleur et les composants complémentaires qui ne sont pas en licence libre. Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses, Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme). Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). pour programmer cette carte, on utilise l'logiciel IDE Arduino. [3]

II.2.1. Les gammes de la carte Arduino :

Actuellement, il existe plus de 20 versions de module Arduino, nous citons quelques un afin d'éclaircir l'évaluation de ce produit scientifique et académique :

- Le NG d'Arduino , avec une interface d'USB pour programme retusage d'un ATmega8.
- L'extrémité d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer retusage d'un Microcontrôleur ATmega8.
- L'Arduino Mini, une version miniature de l'Arduino en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Nano, une petite carte programme à l'aide porte USB cette version utilisant un microcontrôleur ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version).
- Le LilyPad Arduino, une conception de minimaliste pour l'application wearable en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- Le NG d'Arduino plus, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un ATmega168.
- L'Arduino Bluetooth, avec une interface de Bluetooth pour programmer en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Diecimila, avec une interface d'USB et utilise un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Duemilanove ("2009"), en utilisant un microcontrôleur l'ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version) et actionné par l'intermédiaire de la puissance d'USB/DC.
- L'Arduino Mega, en utilisant un microcontrôleur ATmega1280 pour I/O additionnel et mémoire.
- L'Arduino UNO , utilisation smicro contrôleur ATmega328.
- L'Arduino Mega2560, utilisations un microcontrôleur ATmega2560, et possède toute la mémoire à 256 KBS. Elle incorpore également le nouvel ATmega8U2 (ATmega16U2 dans le jeu de puces d'USB de révision 3).
- L'Arduino Leonardo, avec un morceau ATmega3U4 qui élimine le besoin de raccordement d'USB et peut être employé comme clavier.
- L'Arduino Esplora: ressemblant à un contrôleur visuel de jeu, avec un manche et des sondes intégrées pour le bruit, la lumière, la température, et l'accélération. [4]

Parmi ces types, nous avons choisi une carte Arduino UNO (carte Basique), l'intérêt principal de cette carte est de faciliter la mise en œuvre d'une telle commande qui sera détaillée par la suite.

L'Arduino fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils open source comme interface de programmation, l'injection du programme déjà converti par l'environnement sous forme d'un code «HEX» dans la mémoire du micro contrôleur se fait d'une façon très simple

par la liaison USB.

En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties, cette carte est basée sur un microcontrôleur ATmega 328 et des composants complémentaires.

La carte Arduino contient une mémoire morte de 1 kilo, elle est dotée de 14 entrées/sorties digitales (dont 6 peuvent être utilisées en tant que sortie PWM), 6 entrées analogiques et un cristal à 16 MHz, une connexion USB et Possède un bouton de remise à zéro et une prise jack d'alimentation. La carte est illustrée dans la figure ci-dessous. [1]



Figure II.1 La carte Arduino UNO

II.2.2. Pourquoi Arduino UNO :

Il y a de nombreuses cartes électroniques qui possèdent des plateformes basées sur des microcontrôleurs disponibles pour l'électronique programmée, tous ces outils prennent en charge les détails compliqués de la programmation et les intègrent dans une présentation facile à utiliser, de la même façon, le système Arduino simplifie la façon de travailler avec les microcontrôleurs tout en offrant à personnes intéressées plusieurs avantages cités comme suit:

- **Le prix (réduits) :** les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plates-formes. La moins chère des versions du module Arduino peut être assemblée à la main, (les cartes Arduino pré assemblées coûtent moins de 2500 Dinars).
- **Multi plateforme :** le logiciel Arduino, écrit en JAVA, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.

- **Un environnement de programmation clair et simple** : l'environnement de programmation Arduino (le logiciel Arduino IDE) est facile à utiliser pour les débutants, tout en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent en tirer profit également.

- **Logiciel Open Source et extensible** : le logiciel Arduino et le langage Arduino sont publiés sous licence open source, disponible pour être complété par des programmeurs expérimentés. Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application JAVA multi plateformes (fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).

- **Matériel Open source et extensible** : les cartes Arduino sont basées sur les Microcontrôleurs Atmel ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328, les schémas des modules sont publiés sous une licence créative Commons, et les concepteurs des circuits expérimentés peuvent réaliser leur propre version des cartes Arduino, en les complétant et en les améliorant. même les utilisateurs relativement inexpérimentés peuvent fabriquer la version sur plaque d'essai de la carte Arduino, dont le but est de comprendre comment elle fonctionne pour économiser le coût.[15]

II.2.3. La constitution de la carte Arduino UNO :

Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur ATMEL AVR, et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Le microcontrôleur est préprogrammé avec un bootloader de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire.

II.2.4. Aperçu de la carte Arduino Mega 2560, la grande sœur de la carte Uno :

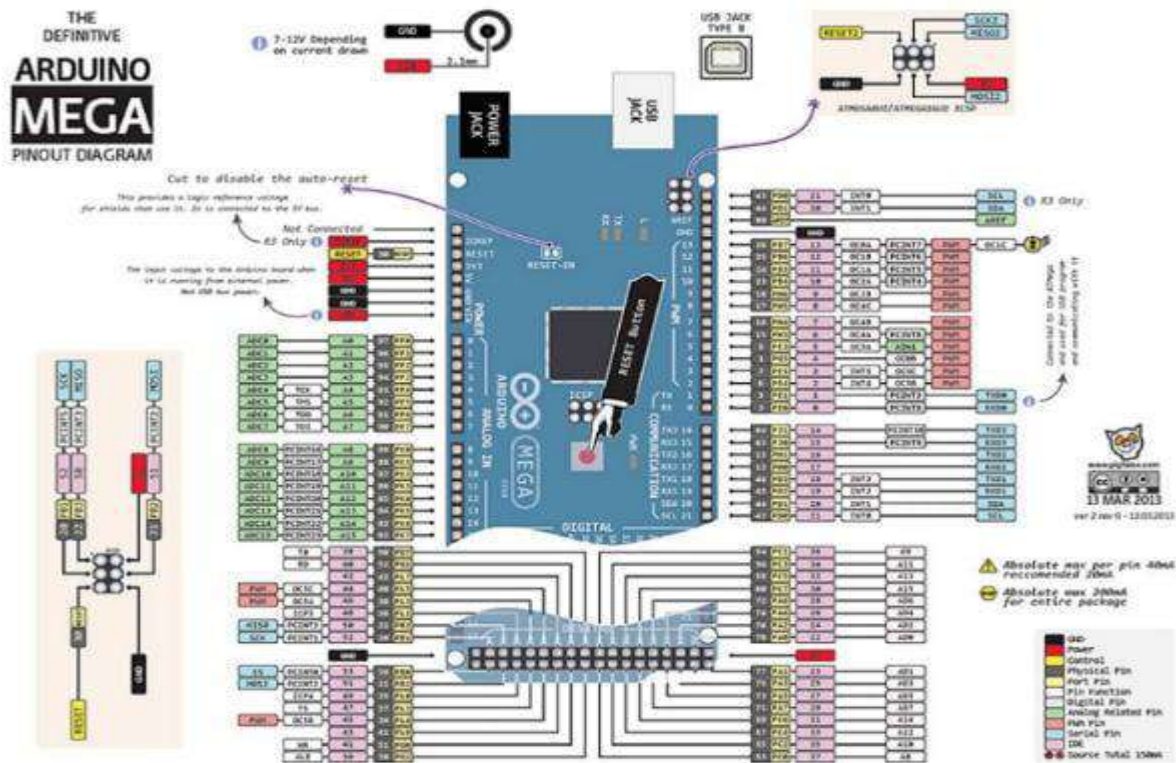


Figure II.2. La carte Arduino méga.

Le leader des cartes de développement et des logiciels libres, Arduino Corporation, est connu pour sa carte de haute qualité, appelée Arduino Uno. La carte Arduino Mega 2560, bien qu'elle soit un peu moins connue, est la grande sœur, plus rapide, de la carte Uno.

La carte Arduino Mega 2560, dont les capacités équivalent à quatre cartes Uno combinées, comporte un microcontrôleur et est construite autour du puissant microprocesseur ATmega2560. Cette carte robuste résiste à presque tout.

Le microprocesseur ATmega2560 est le cerveau de la carte Arduino Mega. Grâce à ce microprocesseur (et à l'oscillateur à cristaux qui lui est associé), la carte Arduino Mega est cadencée à 16 MHz et possède une mémoire flash de 256 Ko, une mémoire vive de 8 Ko et une mémoire EEPROM de 4 Ko.

La puissance supérieure du processeur permet aussi à la carte Mega de disposer de 54 broches d'E/S numérique (dont 15 peuvent servir de sortie PWM) et de 16 broches analogiques, soit presque

quatre fois plus que sa petite sœur, la carte Uno. Le graphique ci-dessous illustre la répartition des broches de la carte Mega.

II.2.5. Brochage de la carte Arduino Mega 2560 :

Afin d'être reliée à un ordinateur, la carte Mega présente quatre ports série pour des raccordements généraux, une connexion USB (avec un processeur ATmega16U2 dédié pour l'interface avec votre ordinateur), un bouton de réinitialisation et un port d'alimentation.

Comme la carte Uno, la carte Mega fonctionne dans l'environnement de développement intégré (IDE) d'Arduino. Le logiciel de codage libre offre des caractéristiques diverses qui le rende accessible autant aux débutants qu'aux experts de la programmation, notamment la librairie de projets et de syntaxe associés à l'IDE créés par la communauté d'utilisateurs Arduino. Avec ce logiciel, n'importe qui peut ajouter du code ou se servir des nombreux codes proposés et ainsi profiter des possibilités de programmation infinies.

Les blindages Arduino constituent un autre atout majeur des cartes Arduino, y compris de la carte Mega. Les cartes de circuits imprimés s'interfacent directement dans les embases de la carte Mega, ce qui lui confère des capacités incroyables malgré sa taille réduite. Avec le blindage, votre carte Mega vous permet de disposer en toute simplicité de plusieurs options d'affichage, de la connectivité Wi-Fi et même d'un logiciel d'émulation de jeu vidéo. Le choix de blindage disponible inclut tous les blindages compatibles avec les cartes Arduino Duemilanove et Diecimila.

La carte Arduino Mega 2560 est idéale pour le prototypage, en particulier pour les imprimantes 3D et la robotique, pour lequel la carte Uno n'est tout simplement pas suffisante. Pour plus d'informations sur la carte Uno.

II.3) Partie matérielle :

II.3.1. Réalisation d'affichage :

La réalisation d'affichage présente la sous réalisation numéro une ; elle est basée sur deux types d'affichage « l'affichage sur le moniteur série de l'environnement IDE de l'Arduino et l'affichage de l'information par caractères sur un LCD ».

Les afficheurs standards HD44780 sont utiles pour créer des projets autonomes. Ils peuvent facilement s'interfacer avec de nombreuses plates formes hard telles que les Arduino comme dans notre projet, où nous proposons l'utilisation de l'écran LCD 16×2 caractères rétro-éclairés sur fond vert accompagné d'un contrôleur d'interface LCD I²C.

Comme adresse d'identification I²C pour ce type d'afficheur la signification « 0x27 » définit cet élément. Un minimum de broches gère cette communication avec l'exploitation de quatre broches « Pin: V_{CC}, GND, SDA, SCL ». Les caractéristiques principales de cet afficheur sont :

- a. Alimentation: 5 Volt sur V_{CC} assurée par la carte Arduino Nano;
- b. Interface I²C (adresse 0x27) assurée seulement par les deux broches SDA/SCL;
- c. Caractères noirs sur fond vert;
- d. Contraste ajustable via potentiomètre;
- e. Dimensions: 98x60x20mm ;
- f. La figure ci-dessous présente une photo réelle de l'afficheur utilisé ;

L'écran LCD a 16 broches de connexion, numérotées de 1 à 16 de gauche à droite.

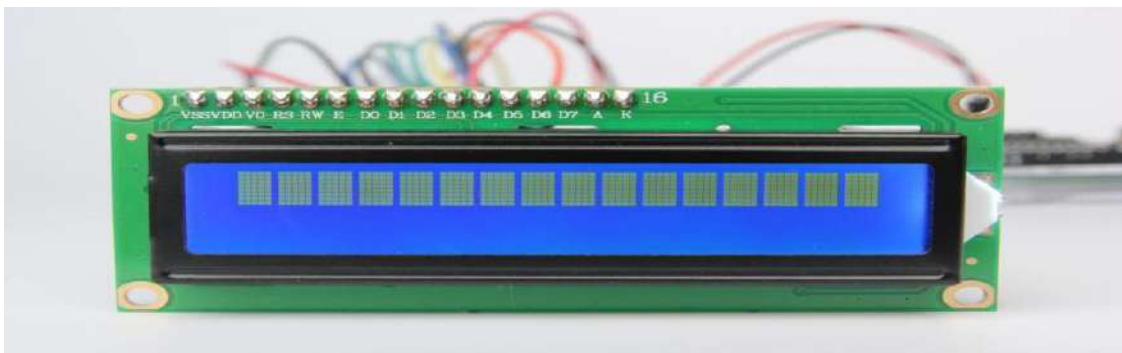


Figure II.3 L'écran LCD (16×2)

Une bonne démarche doit être précédée par un essai virtuel sous un CAO électrique tel que ISIS de Proteus (voir annexe) ; pour cela, nous avons réalisé une carte électrique programmée basée

seulement sur une Arduino Nano et l'afficheur LCD 16x2 I²C afin d'afficher un message de démarrage qui dure trois secondes comme il est montré sur la figure II..

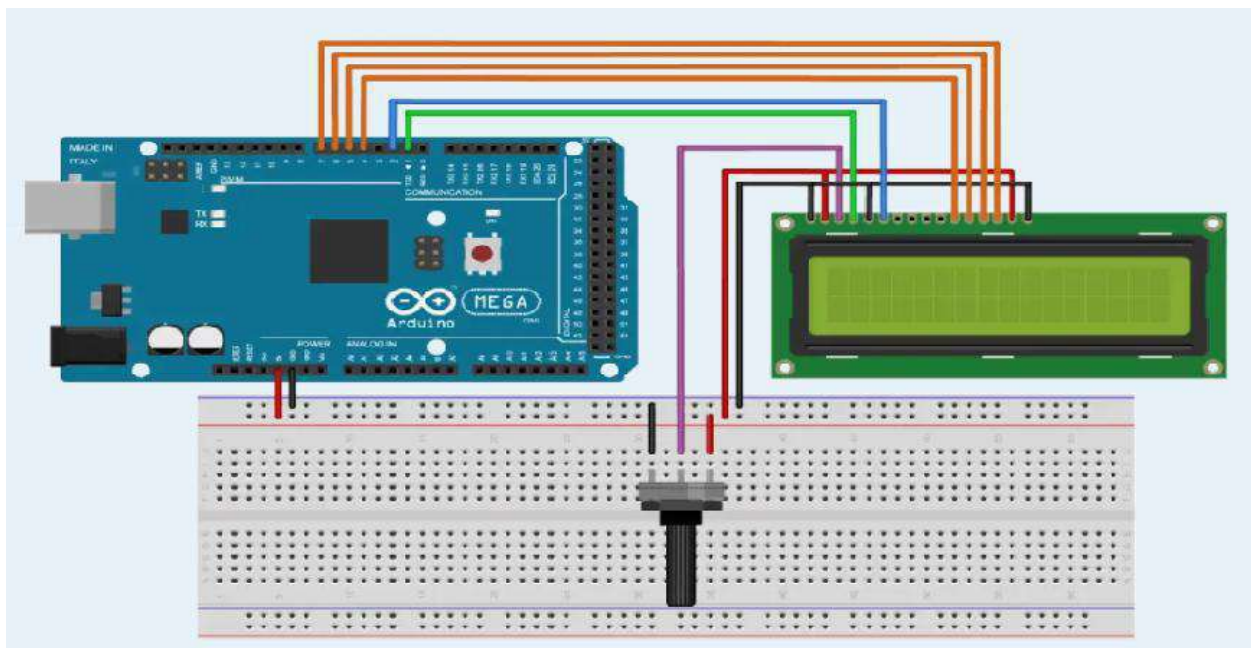


Figure II.4 Photo du montage de l'écran LCD.

II.3.2. Batterie lithium-ion 18650 :

Il existe une grande variété de types de batteries lithium-ion, ces variétés diffèrent par leur composition chimique et les additifs. Dans notre travail, nous avons sélectionné un type populaire de ces cellules : le 18650. Elle est un standard utilisé dans de nombreux appareils et notamment dans les smart batteries d'ordinateurs. Les cellules 18650, les plus répandues font 18mm de diamètre et 65mm de longueur. La forme en cylindre indiquée par le chiffre zéro n'est certainement pas la meilleure en terme d'encombrement mais rappelons nous du fait que la température de ces accusés est un point critique et la forme cylindrique permet de limiter les échanges thermiques entre éléments tout en permettant une circulation d'air pour le refroidissement.[5,14]

La tension nominale d'un élément Lithium-ion est de 3,6 ou 3,7 Volts «selon la technologie ». La tension de charge ne doit jamais dépasser 4.2 Volts (sachant que le fait de dépasser cette tension, a non seulement de graves conséquences pour l'accumulateur mais peut s'avérer très dangereuse).

La tension minimale supportée est de 3 Volts dans la pratique. Techniquement, toute tension inférieure à 2.5 Volts entraîne une forte dégradation de la cellule. Par conséquent, on doit

toujours se tenir à un seuil minimal de 3Volts en dessous duquel la cellule risque de subir des situations dites de stress qui vont rapidement dégrader ses performances [5]. Sur la figure II.6 une cellule 18650 est présentée sur un support unitaire.



Figure II.5 : Batterie lithium-ion.

II.3.3 .La résistance de puissance :

L'élément utilisé pour décharger la cellule 18650 c'est juste une résistance de puissance de 10 Watts 10 Ohms vernie en or et bobinée en aluminium ; elle est donc une résistance de revêtement dissipateur. Elle possède une stabilité et une précision élevées. De plus, elle a été utilisée pour diverses applications en raison de la large plage de résistance et est caractérisée comme suit :

- b. Revêtement en aluminium résistance;
- c. Tolérance de la résistance: $\pm 5\%$ (J); plomb: diamètre 0,8mm/0,0315;
- d. Longueur totale: 63mm/2,5;
- e. Taille du corps: 19×11×10mm/0.75×0.43×0.39(L×W×T)
- f. Matériau extérieur: aluminium ;Couleur :Or;
- g. Poids net :10grammes.



Figure II.6 La résistance de puissance.

II.3.4. Le relais :

C'est un composant qui possède une bobine (électro-aimant) qui est parcourue par un courant électrique agissant sur un ou plusieurs contacts. Le relais est une solution à la commande en puissance. Il assure en outre une isolation galvanique en mettant en oeuvre un mouvement mécanique. [10]

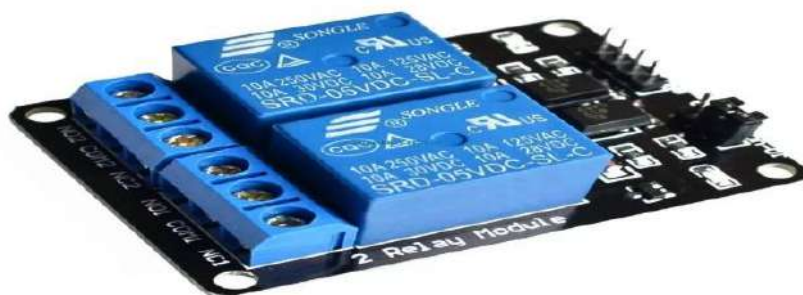


Figure II.7 relais.

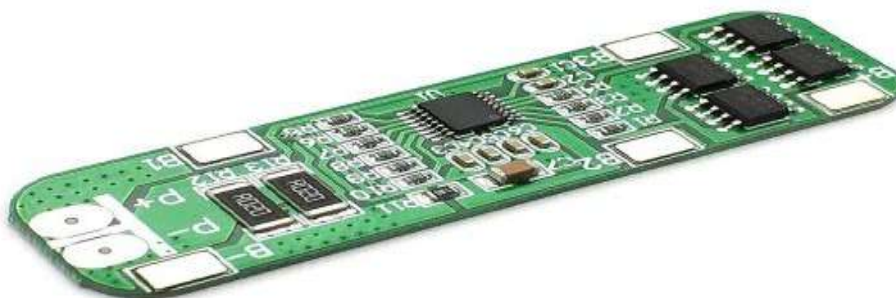
II.3.5. BMS Protection Board For 4 Pack 18650 Battery Cell:

Product details of 4S 6A 14.8V PCB BMS Protection Board For 4 Pack 18650 Battery Cell

- Charging Voltage: 16.8V-17V

- Over charge Voltage Range: $4.25V-4.35V \pm 0.05V$
- Over pressure Voltage Range: $2.3V-3.0V \pm 0.05V$
- Upper Limit Operating Current: 6-8A
- Upper Limit Instantaneous Current: 12A
- Quiescent Current: less than 30uA.
- Internal Resistance: less than 100m Ω
- Effective Life: more than 50,000 hours
- Operating Temperature: -40- +50 degrees
- Storage Conditions: -40- +80 degrees
- Size: 72* 17* 3mm

As the lithium battery itself determines the material itself can not be overcharge, over discharge, overcurrent, short circuit and ultra-high temperature charge and discharge, so lithium battery lithium components will always follow a protective resistor with a sampling resistor and a current fuse.



FigureII.8.BMS Protection Board For 4 Pack 18650.

II.4) Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons projeté la lumière sur une carte d'acquisition qui est l'Arduino donnant ainsi les raisons pour lesquelles on l'a choisie, puis nous avons cité des différents types de cette dernière. Ensuite, nous avons expliqué les deux parties essentielles de l'Arduino; (la partie matérielle et la partie de programmation) plus précisément. Nous avons également expliqué le principe de fonctionnement de la carte Arduino sans oublier ses caractéristiques.

Le chapitre suivant sera consacré à l'étude et la réalisation d'un dispositif de commande domotique comme une première phase et une deuxième phase de commande à distance des véhicules gérés par un smart phone.

Chapitre III

Description et analyse de programme

III.1) Introduction

Le stockage de l'énergie électrique en grande quantité est l'enjeu majeur de cette décennie, l'avènement des véhicules électriques accroît la compétition entre les constructeurs les rendant à la recherche de la moindre optimisation dans les caractéristiques influant directement sur leurs performances.

Afin de calculer le niveau des batteries ainsi que leur autonomie au fur et à mesure de leur utilisation, un système de gestion de l'énergie associé à la batterie est développé par le constructeur, nécessaire pour garantir un minimum de sécurité en cas de réchauffement des cellules, mais aussi sert à optimiser le temps de charge. L'un des paramètres les plus importants est le SoC (State of Charge) de la batterie, facteur caractéristique de l'état de charge de la batterie essentiel pour l'estimation de l'autonomie du dispositif.

Dans ce chapitre, nous allons exposer les différentes étapes de réalisation du dispositif. Nous afficherons le code à l'aide de l'IDE Arduino avec une explication des étapes suivies. Nous terminons par l'exposition de notre réalisation. Un fichier Excel est dans lequel nous avons exporté les données récupérées sur la carte SD nous a permis de classer les données puis tracer les courbes courantes tensions et puissance.

Parmi les cartes électroniques programmables les plus faciles à utiliser, la carte ARDUINO est probablement la plus populaire ces derniers temps, en plus d'être peu onéreuse, elle permet à tout débutant de se lancer dans tous ses premiers petits projets, et il est très facile de se référer aux nombreux tutoriels sur le net, lorsqu'il s'agit de frapper des périphériques, de gérer des algorithmes lourds ou d'interagir avec le système d'exploitation Arduino, certains offrent un nombre d'E/S beaucoup plus élevé (54 contre 14), un processeur plus puissant avec plus de mémoire qui permet des algorithmes plus complexes, des ports USB qui permettent la communication avec l'environnement Arduino.

III.2) Les différentes étapes de la réalisation :

Notre travail est basé sur quatre grands axes :

- L'étude du système.
- La programmation du logiciel ARDUINO.
- La simulation avec ISIS PROTEUS.
- La réalisation de la carte.

III.3) Etude du système :

L'étude de notre système est divisée en plusieurs points:

- Interrompre la décharge des cellules avant un seuil critique.
- Interrompre la charge des cellules après une tension prédéfinie.
- Optimiser le chargement homogène d'une cellule à l'autre
- Vérifier la température des cellules
- Couper l'alimentation en cas de surtension.
- Couper l'alimentation en cas de la sous-tension.
- Donner une estimation du paramètre SOH "State Of Health".
- Calculer le paramètre SOC "State Of Charge"

III.3.1. Interruption de charge :

Comme l'interruption de décharge de la batterie est systématique quand la tension arrive à certain niveaux de charge, les problèmes rencontrés en cas de surcharge sont multiples et peuvent causer beaucoup d'accidents et nuisent à l'état des cellules, le code doit évidemment pouvoir interrompre l'alimentation en courant et afficher par la suite un message que le chargement de la batterie est terminé.

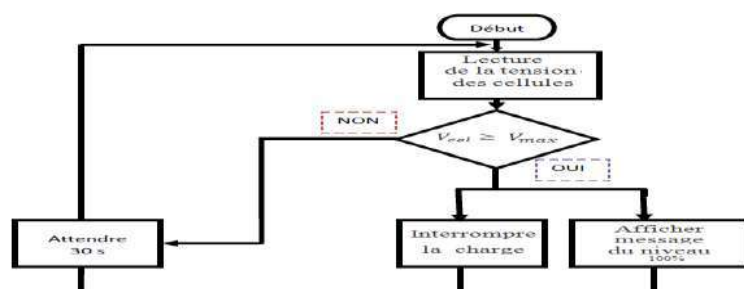


Figure III.1 interruption de charge

III.3.2.Optimisation de chargement :

La tension des cellules est mesurée puis le chargement doit d'abord commencer par la cellule la moins chargée jusqu'à ce qu'elle soit au niveau de celle la plus chargée, par la suite vient le tour de la deuxième cellule qui doit arriver au niveau des deux autres et lorsque les trois cellules sont au même niveau la carte commence à les charger ensemble simultanément.

III.3.2.1. La température T_{cel} T_{max} :

La température des cellules est un paramètre qu'il faut suivre attentivement car la première cause des accidents des batteries vient des surchauffes de celle-ci, dès que la température arrive à un certain seuil le dispositif doit être mis à l'arrêt qu'il soit dans un mode charge ou décharge bien évidemment une température très basse va aussi nuire à l'état de la batterie.

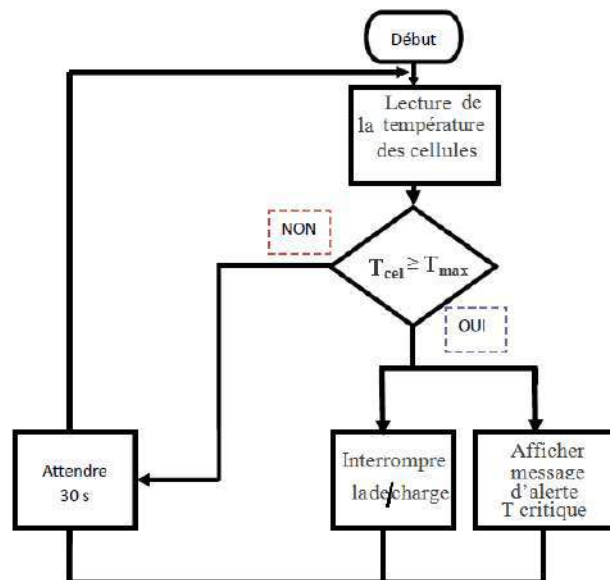


Figure III.2. La surtension/sous-tension.

III.3.2.2. Estimation du SOH et calcul du SOC :

La connaissance de l'état de charge de la batterie est primordiale dans la majorité des applications faisant intervenir un système de stockage d'énergie, C'est l'équivalent d'une jauge d'essence pour une voiture ordinaire. Dans le cas d'un véhicule électrique, cette information va aider le conducteur à savoir la distance restante à parcourir avant que sa batterie ne se vide.

D'ailleurs, cette indication va nous aider à éviter une décharge profonde ou une charge excessive de la batterie, ainsi, la durée de vie de la batterie sera plus grande, le problème qui est souvent rapporté dans la littérature, c'est que l'état de charge ne peut pas être mesuré directement à l'aide de capteurs comme le cas d'une voiture ordinaire où on peut mesurer le niveau d'essence dans le réservoir à l'aide d'une jauge d'essence. Donc, pour palier à ce problème quelques méthodes ont été développées pour estimer l'état de charge.

Ces méthodes sont applicables pour la majorité des batteries. Elles sont basées sur la mesure des paramètres électriques comme la tension, le courant et la résistance interne, parmi ces méthodes on va citer deux qui seront utilisées dans les deux modèles étudiés de la batterie.

III.4) Estimation basée sur l'intégration du courant :

C'est la méthode la plus commune pour calculer l'état de charge étant donné que la charge et la décharge sont liées directement au courant fourni ou retiré de la batterie, si l'état de charge initiale SOC_0 est connu, la valeur de l'intégrale du courant est un indicateur de l'état de charge SOC.

L'état de charge peut être défini par l'équation suivante :

$$SOC(t) = SOC_0 - \frac{\int_{t_0}^t I_b dt}{Q} \quad (III.1)$$

Avec :

$SOC(t)$: état de charge de la batterie à l'instant t .

SOC_0 : état de charge à l'état initial.

I_b : Le courant de décharge de la batterie.

$\int_{t_0}^t I_b dt$: représente la charge délivrée par la batterie à l'instant t (charge actuelle).

Q : est la charge nominale de la batterie.

III.5) Estimation basée sur la tension à vide :

Cette approche est basée sur le fait qu'il existe une relation linéaire approximative entre l'état de charge et la tension à vide, d'où l'idée d'estimer l'état de charge à partir de l'estimation de la tension à vide en se basant sur la mesure du courant et de la tension, pour utiliser cette approche la batterie est essentiellement modélisée par un circuit électrique semblable à celui de Thevenin .

Selon cette méthode, la relation entre l'état de charge et la tension à vide est exprimée par l'équation suivante :

$$SOC(t) = \frac{V_0(t) - A}{B} \quad (III.2)$$

Avec :

- A est la tension quand le $SOC(t) = 0\%$.
- B est obtenue à partir de la valeur de A et $V_0(t)$ quand $SOC(t) = 100\%$.

L'estimation de l'état de charge est un paramètre intrinsèque spécifique à chaque batterie, à fin de pouvoir le calculer, il est important de modéliser la batterie, Afin de prédire le comportement de cette dernière s batteries, plusieurs modèles ont été développés, il n'est pas nécessaire de prendre en compte tous les phénomènes physiques régissant le comportement de la batterie car il est clair que l'influence de certain paramètre est minime sur l'état de charge.

Néanmoins la plus part des phénomènes physiques et chimiques qui se manifestent à l'intérieur de la batterie pendant son fonctionnement sont très important et pris en compte dans tous les modèles existant, en plus, certains modèles ont été développés selon des applications bien précises et dans certains cas pour un seul type d'accumulateur.

III.6) Modèle :

Le modèle que nous avons étudié dans notre mémoire est basé sur les travaux de Shepherd et all, le principe est de développer une équation qui décrit le comportement électrochimique de la batterie en fonction de la tension aux bornes de la batterie, la tension en circuit ouvert, la résistance interne, le courant de décharge et l'état de charge.

$$E = E_0 - k \left(\frac{Q}{Q - it} \right) + A \exp(-B \cdot it) \quad (III.3)$$

Où

E est la tension sans charge (V)

E_0 est la tension constante de la batterie (V)

K est la tension de polarisation (V)

Q est la capacité de la batterie (Ah)

I est la charge actuelle de la batterie (Ah)

A est l'amplitude de la zone exponentielle (V)

B est l'inverse de la constante de temps de la zone exponentielle (Ah)⁻¹.

Ce modèle de la batterie est facile à reprendre sur un logiciel de simulation dynamique. Ce modèle utilise uniquement l'état de charge de la batterie (SOC) comme une variable d'état. Ce modèle est composé d'une source de tension commandée en série avec la résistance interne de la batterie.

En se basant sur le circuit du modèle, la tension de la batterie sera donc :

$$V_{batt} = E - R \cdot I_{batt} \quad \text{(III.4)}$$

Où est la tension de la batterie en (V), R est sa résistance interne en (Ω) et est son courant en (A). Ce modèle présente un terme dépendant uniquement de la charge actuelle de la batterie. Ce qui signifie qu'en cas de décharge complète de la batterie, sa tension sera près de zéro. Mais, ce modèle donne des résultats précis et représente également le comportement réel de la batterie.

Ce modèle se base sur une série d'hypothèses :

- La résistance interne est supposée constante durant les cycles décharge/décharge et ne dépend pas de l'amplitude du courant.
- Les paramètres du modèle sont déduits des courbes de décharge et sont supposés être les mêmes pour la charge.
- On ne considère pas l'effet de Peukert (la capacité de la batterie ne varie pas en fonction de l'amplitude du courant).
- La température ne perturbe pas le comportement du modèle

➤ On ne considère pas l'autodécharge et l'effet mémoire.

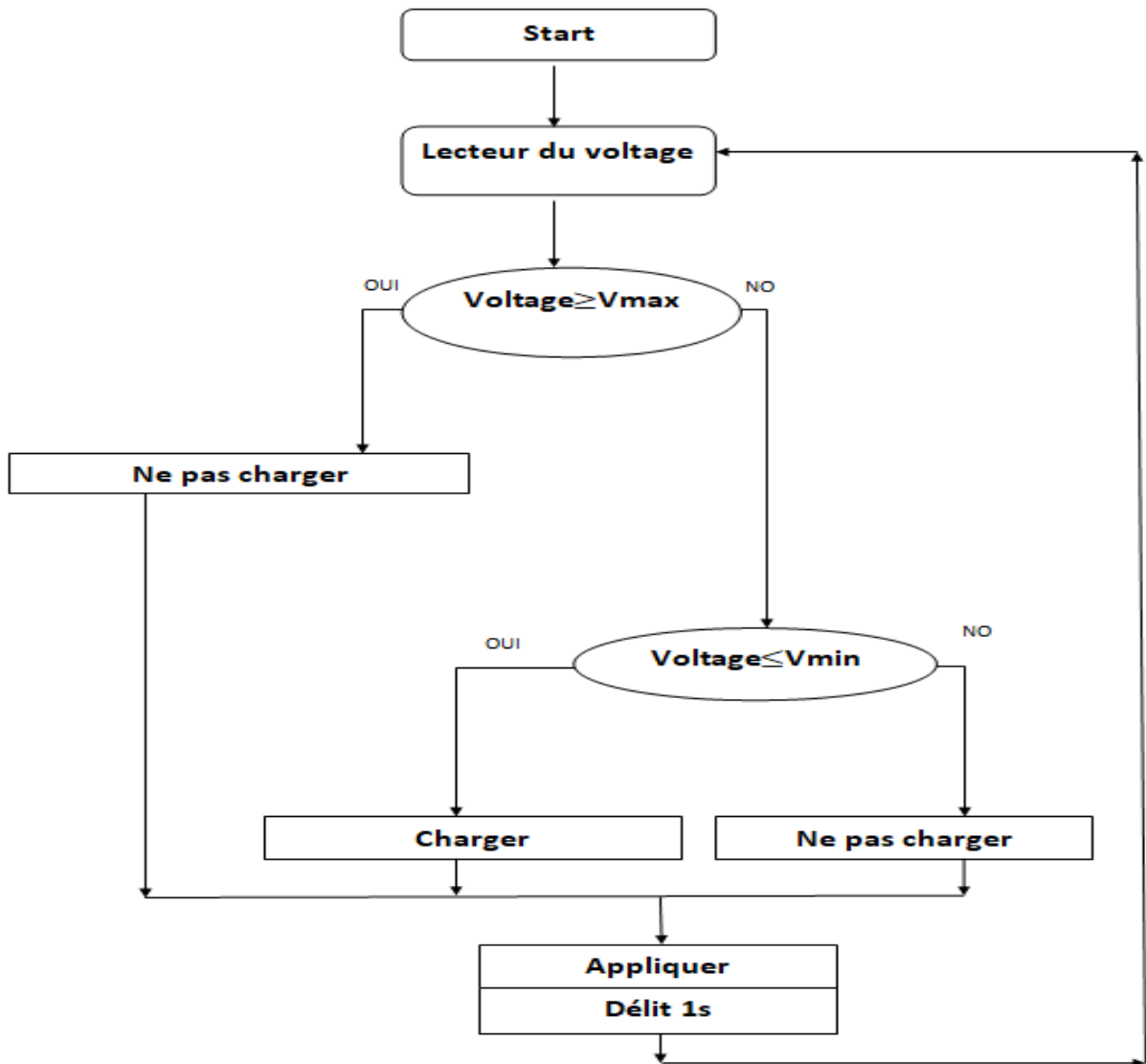


Figure III.3 Organigramme du chargeur de batterie au Lithium Ion.

III.6.1. Matériel électronique :

La conception et la fabrication d'un ce travail de A à Z imposent du matériel spécifique, une connaissance globale de différentes techniques employées, et surtout beaucoup de temps et de patience. Pour cela, il faut établir un cahier des charges, définir ses besoins et où à aboutir (type de cellules, puissance, modes et techniques de commande, caractéristique de chargeur), essayer d'autres modèles pour avoir une idée, tenter d'anticiper les évolutions futures, lister le matériel et suivre un plan, le tableau qui suit présente tous les éléments utilisés pour monter cette réalisation.

Tableau III.1 composants électronique utilisés

Eléments	Types	Valeurs	Quantités
Arduino	UNO	/	1
Afficheur	LCD 16x2	/	1
Régulateur de tension	LM317T	1.2-37 V/1.5A	1
Relais électromécaniques	SPDT	5 V	1
Cellule rechargeable	Lithium Ion 18650	3.7	3
Adaptateur	AC/DC	12V-	1
Plaque d'essai	17x5.5cm	/	2
Résistance	R ₁	1.5Ω	1
	R ₂	2.2Ω	1
	R ₃	1k Ω	1
	R ₄	1k Ω	1
	R ₅	1M	1
	R ₆	1M	1
	R ₇	560	1
	R ₈	3.3	1
Diode	1N4007	/	1
Transistor	NPN BC547	/	1
Résistance variable	Potentiomètre	10k	1
Condensateur	C1	10μF	1

III.6.2. Schéma Proteus :

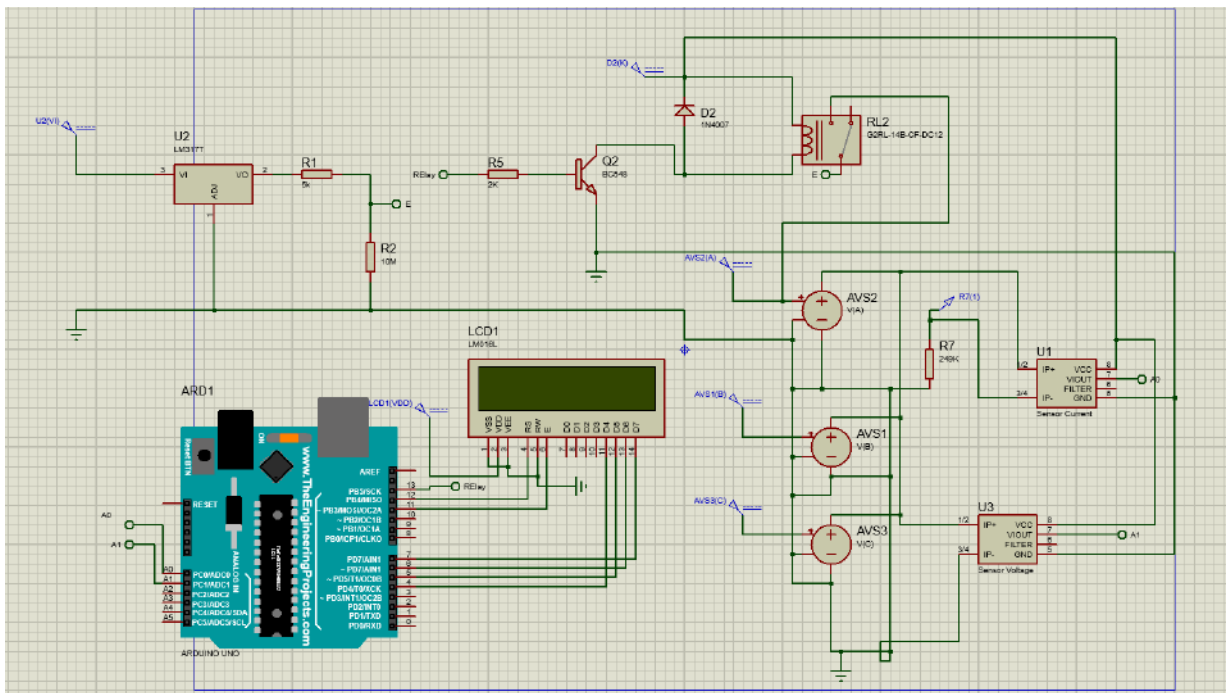


Figure III.4 Schéma global du dispositif réalisé sous ISIS Proteus

III.6.3. Simulation numérique :

Sur la figure IV.2 on présente le schéma synoptique général d'un chargeur de cellule Lithium Ion pour un mini pack composé de trois cellules de Lithium Ion 18650 montées en série pour une tension globale de 10.40 Volts « nominale ».

Selon un algorithme implémenté dans le microcontrôleur de la carte Arduino UNO qui présente le cerveau du dispositif, on a besoin de lire les tensions et les courants à tout moment et qui sont pris par la carte afin de générer des signaux de contrôle pour le mécanisme deux relais où ces derniers présentent le bloc de puissance qui sont alimentés avec 12 Volts, la tension d'alimentation est réglée à travers un régulateur de type LM317 a fin d'assurer une telle tension avec un courant de 4 ampères. Tous les événements seront affichés sur un LCD de type 2×16.

L'emploi de la carte Arduino MEGA n'est pas une obligation dans ce travail ; il peut être effectué facilement en utilisant autre type de carte comme Arduino Méga ou nano etc.

Ladisponibilité de la carte Arduino MEGA nous a poussés à son utilisation.[17]

III.7) Notre programme :

On a présenté le programme source par des imprimes écran des différentes boucles réalisées sous l'IDE Arduino, afin d'expliquer son déroulement comportant trois parties.

- Déclaration des bibliothèques, des variables ainsi que les constants.
- Partie, initialisation et configuration des entrées / sorties : la fonction setup .
- Partie principale qui s'exécute en boucle : la fonction loop.

La figure IV.3présente un imprime écran de l'IDE Arduino la première zone de déclaration. On commence le programme par un appel de la Librairie « Liquid Crystal » en identifiant les broches de connexion de l'écran LCD avec la fonction Liquid Crystal (12, 11, 4, 5, 6, 7) et on fixe les deux broches digitales D₈ et D₉ par une déclaration définitive comme sorties afin de contrôler les deux relais.[17]



```

tension_fixe4 | Arduino 1.8.13
Fichier Edition Croquis Outils Aide

tension_fixe4
|
//library
#include <ACS712.h>
#include <LiquidCrystal.h>

//constant
LiquidCrystal lcd(12,11,4,5,6,7);

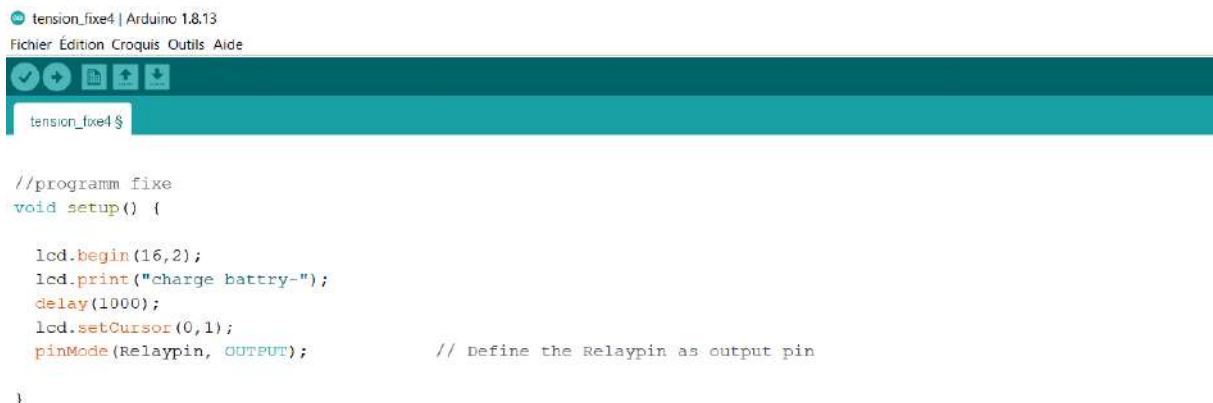
const int Relaypin=13; // Define input pin for relay
const int voltageSensorPin = A1 ; // sensor pin
float vIn1; // measured voltage (3.3V = max. 16.5V; 5V = max 25V)
float vOut1;
float voltageSensorVall; // value on pin A3 (0 - 1023)
const float factor1 = 5.128; // reduction factor of the Voltage Sensor shield
const float vCC1 = 4.10; // Arduino input voltage (measurable by voltmeter)

```

Figure III.5 Déclaration des librairies.

Pour les entré analogiques A_1 on le déclare respectivement comme de variable pour grandeur mesurée « tension».

La figure IV.4présente la fonction de l’initialisation « setup », on initialise la fonction LCD et on affiche un message d’introduction sur l’écran,on définit également les broches des relais comme des broches de sortie. Ensuite, on excite le relais de charge et on connecte la batterie au chargeur qui reste en mode CC.



```

tension_fixe4 | Arduino 1.8.13
Fichier Edition Croquis Outils Aide

tension_fixe4 $

//programm fixe
void setup() {

  lcd.begin(16,2);
  lcd.print("charge battry-");
  delay(1000);
  lcd.setCursor(0,1);
  pinMode(Relaypin, OUTPUT); // Define the Relaypin as output pin

}

```

Figure III.6la fonction setup

Figure IV.5présente une partie dans la boucle de répétition, si la tension de charge est inférieure à V_{max} , on entre en mode CC,à l’intérieur de la boucle de mode CC, on garde la broche aussi basse pour rester en mode CC, puis on continue à surveiller la tension et le courant.

Si la tension dépasse le seuil de la tension V_{max} , on coupe la boucle CC en utilisant une indication de pause « break », la valeur de la tension de charge est également affichée sur l'écran LCD à l'intérieur de la boucle CC.

```
void loop() {
    voltageSensorVal1 = analogRead(voltageSensorPin); // read the current sensor value (0 - 1023)
    vOut1 = (voltageSensorVal1 / 1024) * vCC1; // convert the value to the real voltage on the analog pin
    vIn1 = vOut1 * factor1; // convert the voltage on the source by multiplying with the factor
    lcd.print(" Volt= ");
    lcd.print( vIn1 );
    lcd.print(" V ");
    // delay(5000);
    int adc = analogRead(A0);
    float voltage = adc*5/1024.0;
    float cur = (voltage-2.4)/0.185;
    lcd.print(" Cur= ");
    lcd.print( cur );
    lcd.print(" mA ");
    delay(5000);
    if (vIn1<3.7){
        digitalWrite(Relaypin, HIGH); // Sends high signal
        delay(6000);
    }
    else {
        digitalWrite(Relaypin, LOW); // Sends high signal
    }
}
```

Figure III.7 Echantillon du programme «BMS»

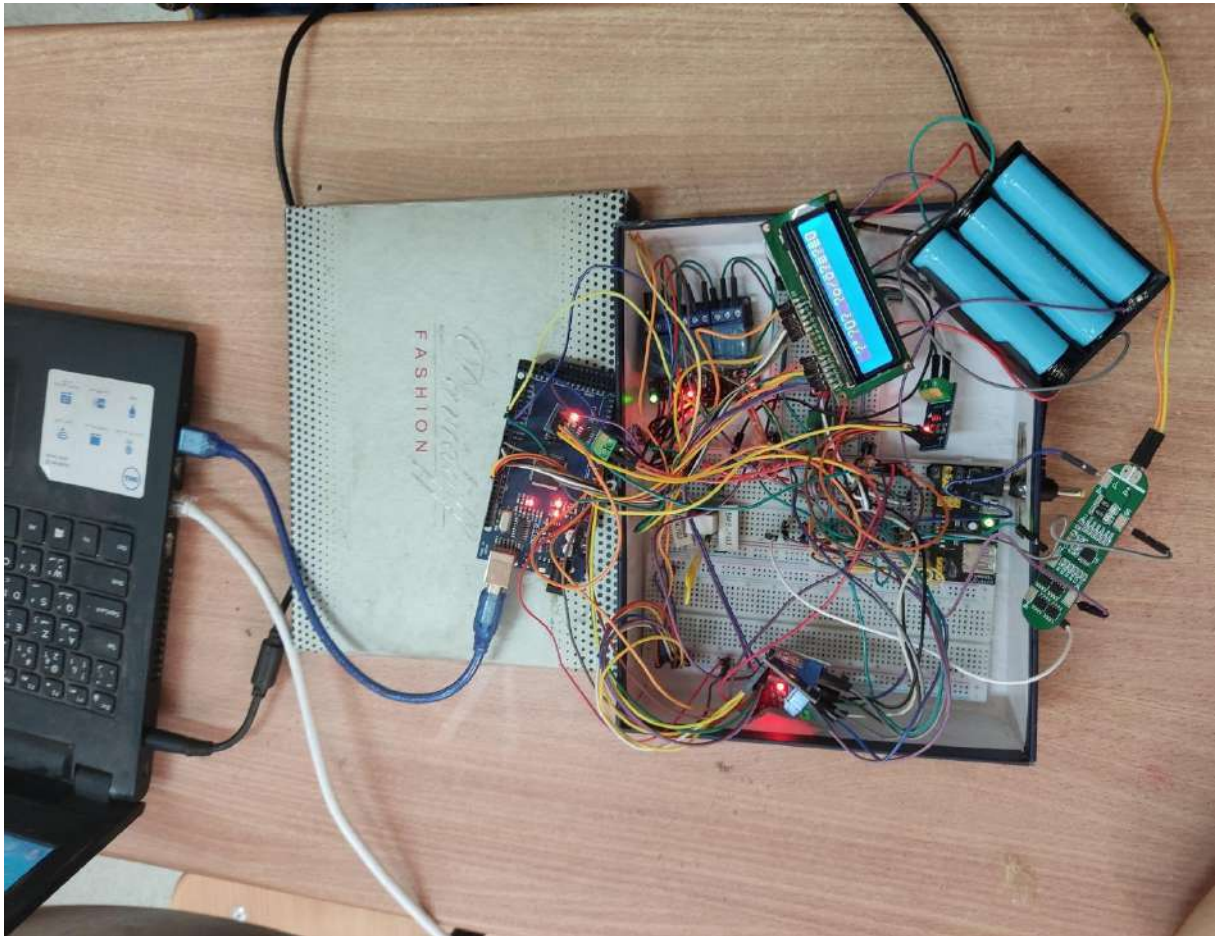


Figure III.8 Photo présentant la phase de charger

III.7.1 .Critères de sélection de la technologie utilisée :

Le choix de la technologie de charge dépend du temps de charge et de l'état de la batterie. Facilite l'utilisation de la technologie de charge (BMS), bien qu'il ait l'inconvénient d'un temps de charge lent, il permet un chargement sûr et complet de la batterie Li-Ion, simple et facile

III.7.2. Bloc d'alimentation :

Le chargeur est alimenté par une source externe de 12 Volts avec une intensité de courant variable jusqu'à quatre ampères, et la carte Arduino sera alimentée sur la broche Vin.

III.7.3. Résultats de charge (Tension et Curent) :

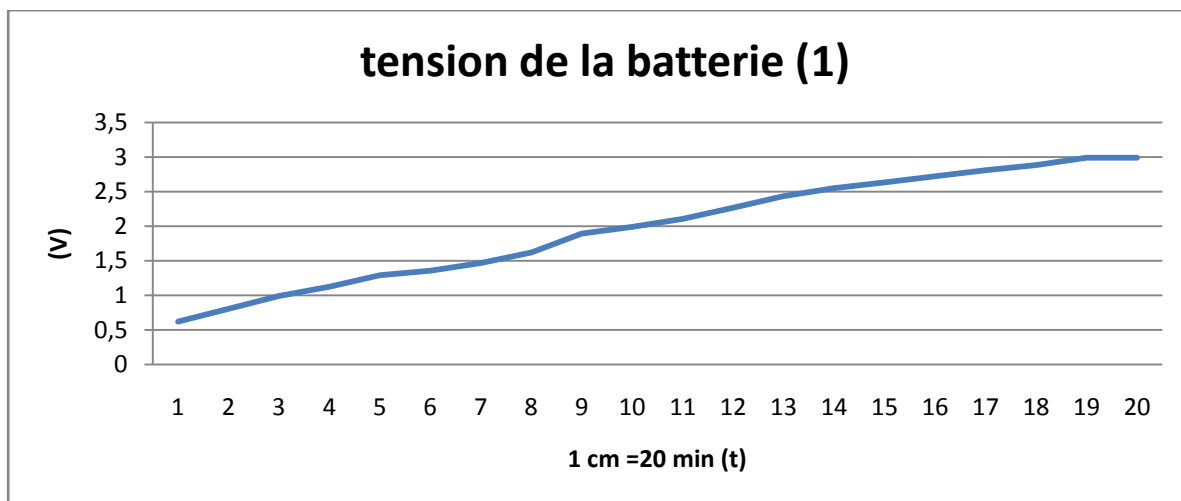


Figure III.9 Résultats de charge dans la batterie 1 (Tension)

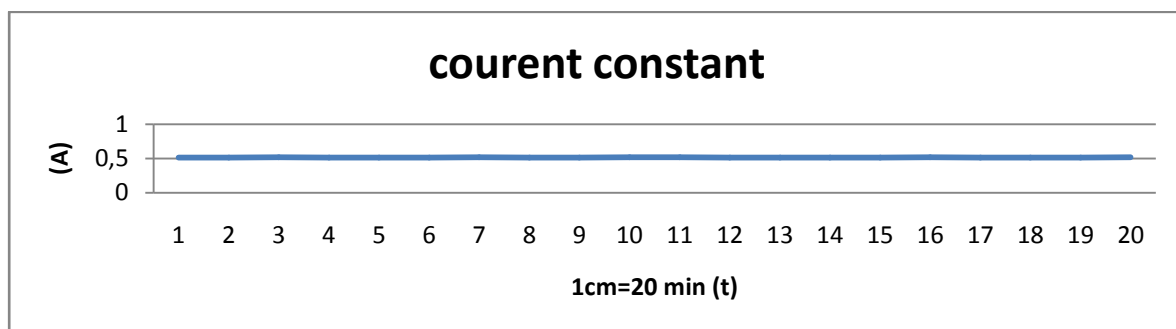


Figure III.10 Résultats de charge dans la batterie 1 (Curent)

Dans ce graphe nous remarquons une augmentation progressive de l'intensité du courant jusqu'à un niveau de 3V là où la batterie arrive une première cellule arrive à un niveau de tension moyen des trois cellules.

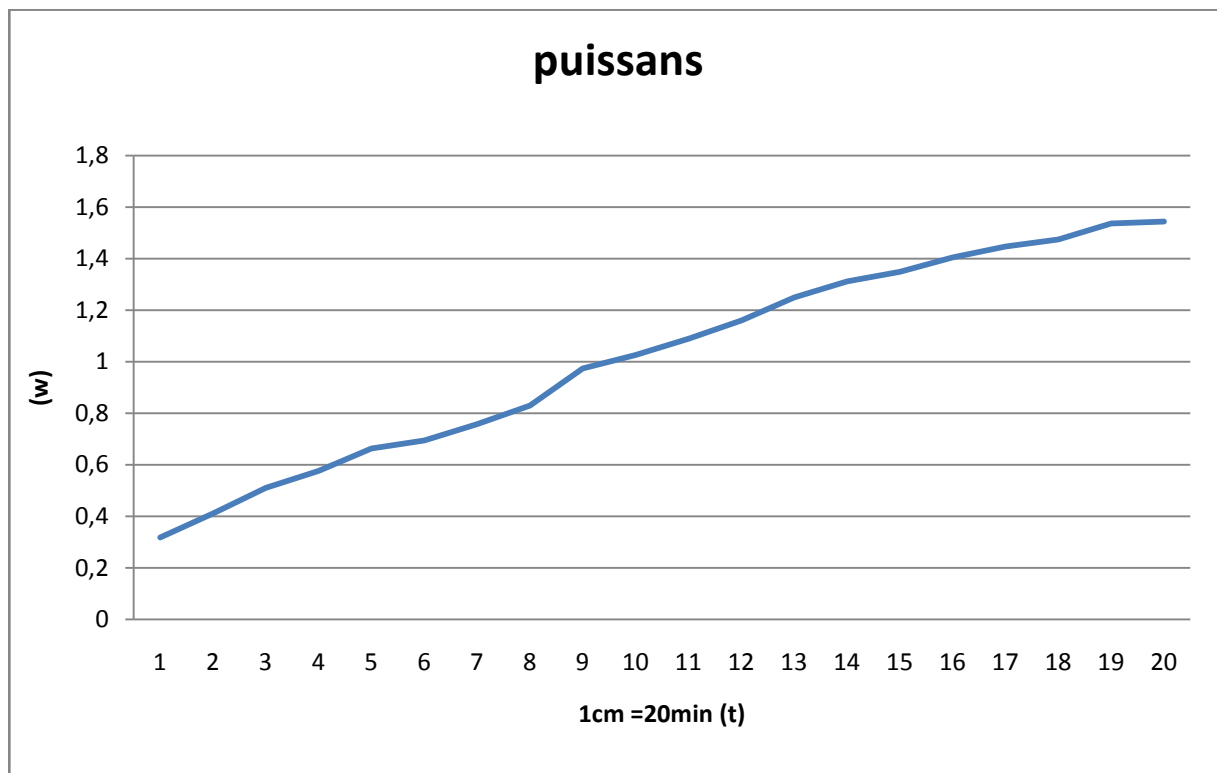


Figure III.11 Résultats de charge dans la batterie 1 (puissans)

Le graphe de puissance est calculé directement en multipliant le courant avec la tension de la cellule, une augmentation est presque linéaire car la tension ne dépasse pas un certain seuil, le chargement continuera plus tard quand les trois cellules seront sur une même tension.0

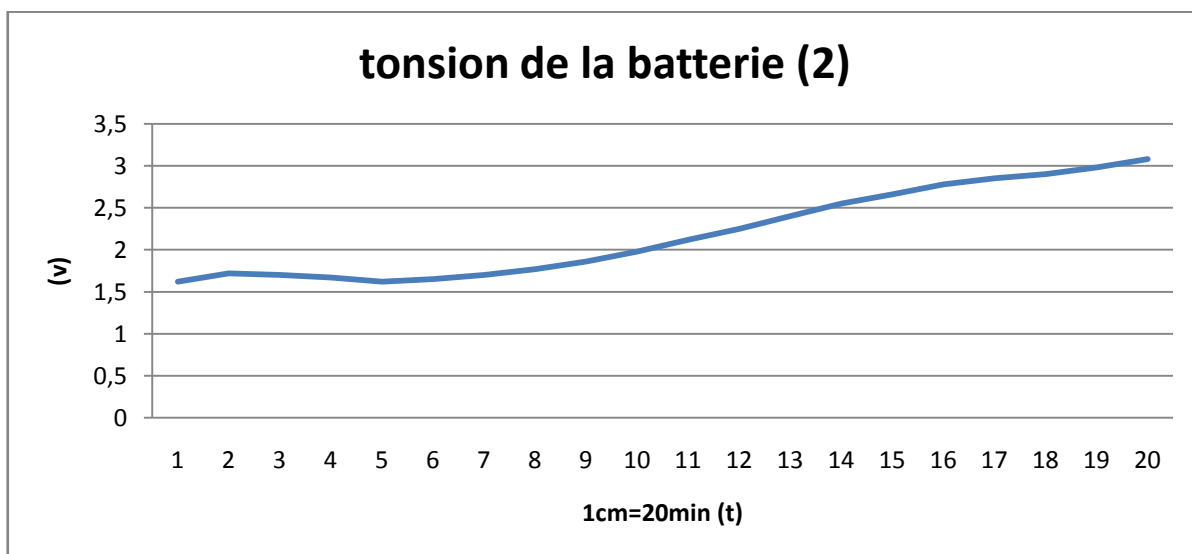


Figure III.12 Résultats de charge dans la batterie 2 (Tension)

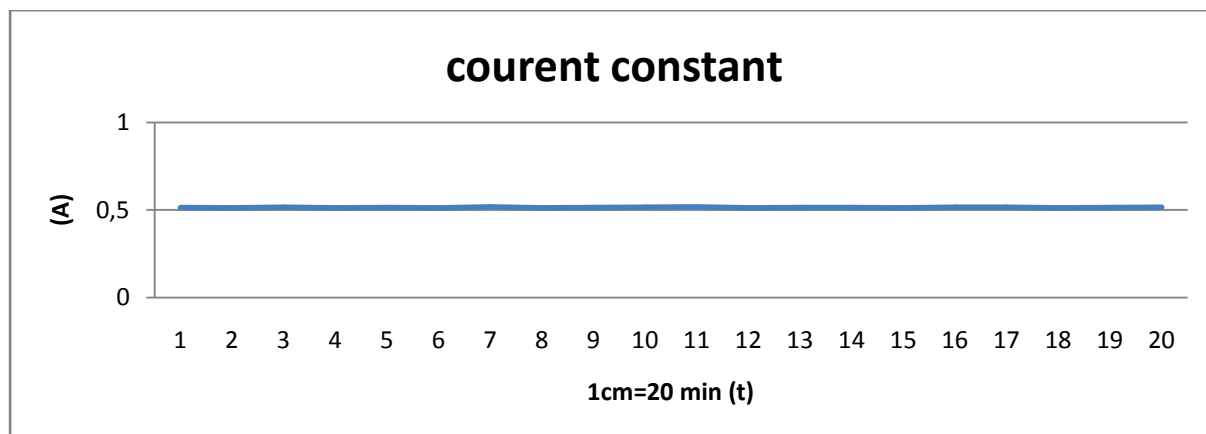


Figure III.13 Résultats de charge dans la batterie 2 (Curent)

Dans une deuxième cellule les graphes de tension et de courant sont plus étendus car le niveau ou le niveau de la cellule est plus faible que la première le chargement commence avec une petite fluctuation puis augmente progressivement j'jusqu'au niveau de la première.

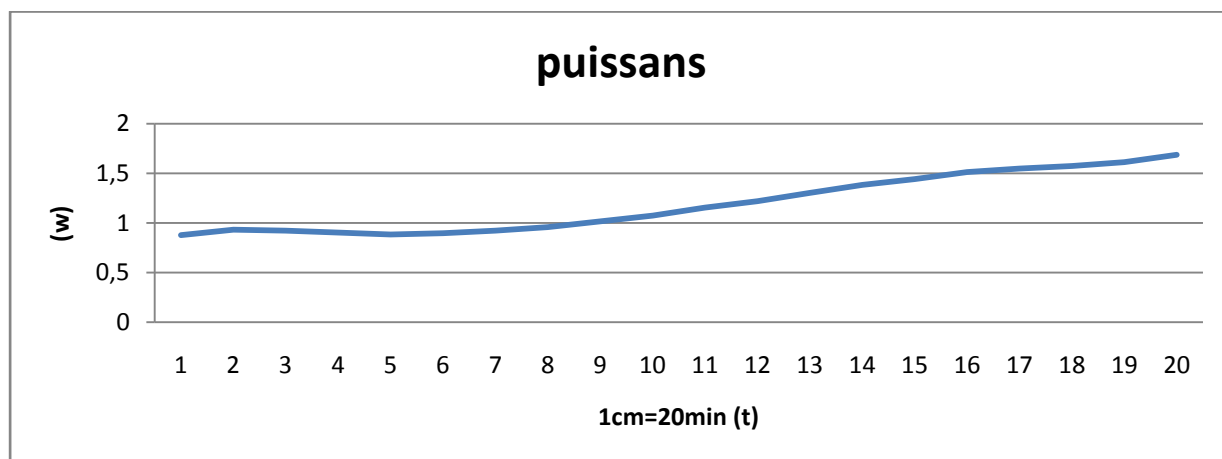


Figure III.14 Résultats de charge dans la batterie 2 (puissans)

Le graphe de puissance suit celui de la tension car le courant est très stable lors du chargement.

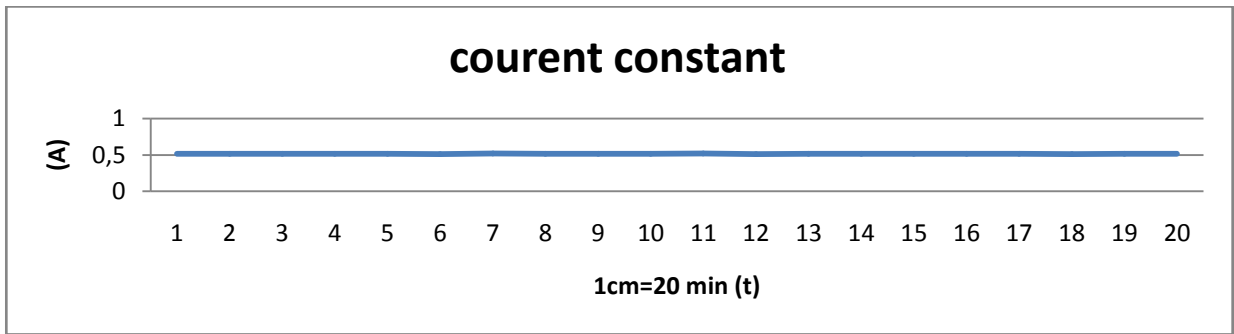
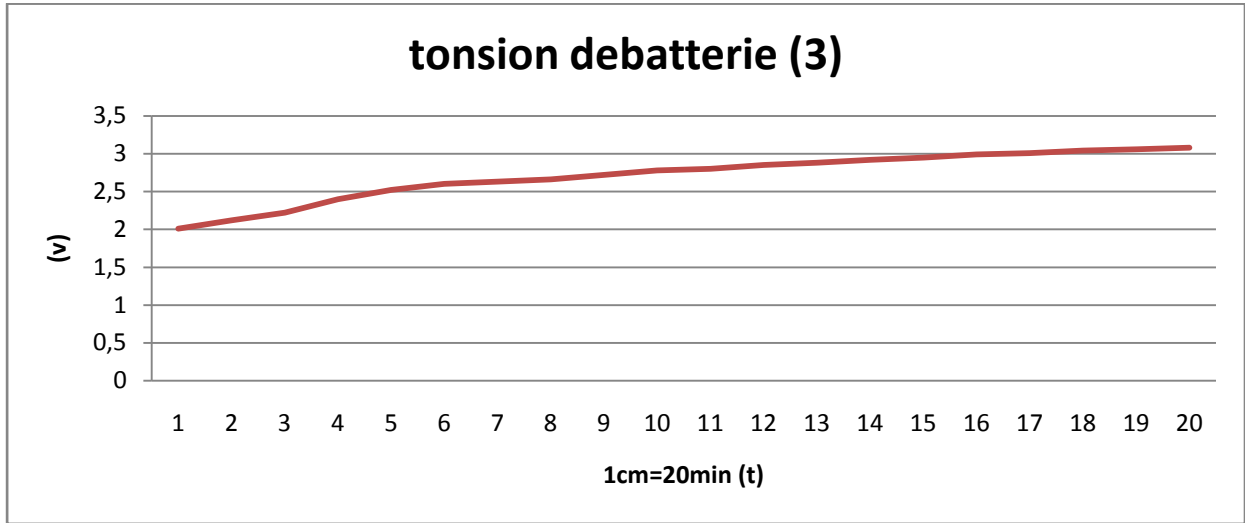


Figure III.15 Résultats de charge dans la batterie 3 (Tension et Curent)

Pour la troisième cellule nous remarquons que le niveau de celle-ci est plus important que les deux autres ce qui nous donne une augmentation relative de la tension.

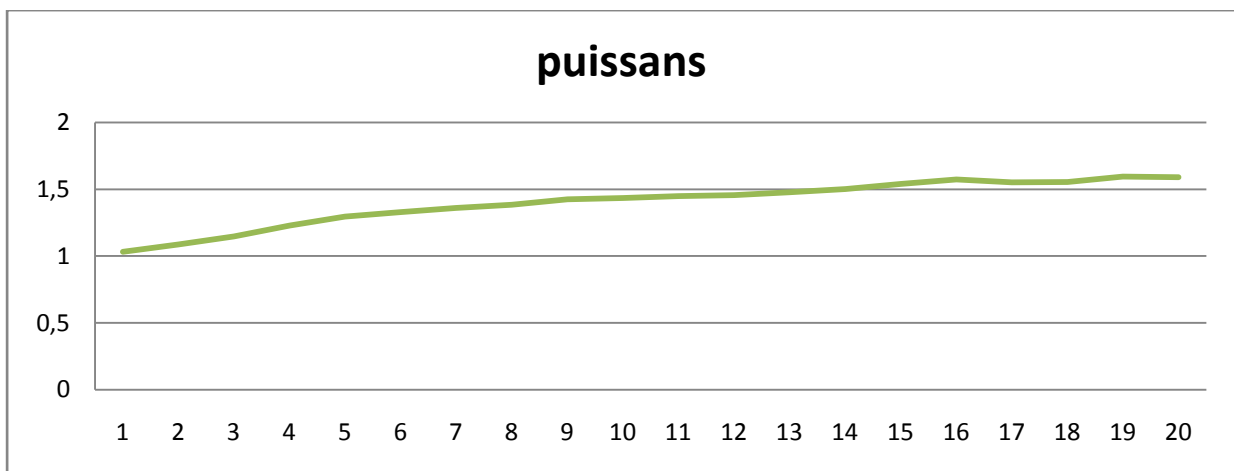


Figure III.16 Résultats de charge dans la batterie 3 (puissans)

La puissance a aussi une augmentation relative du fait que la tension de référence est plus proche.

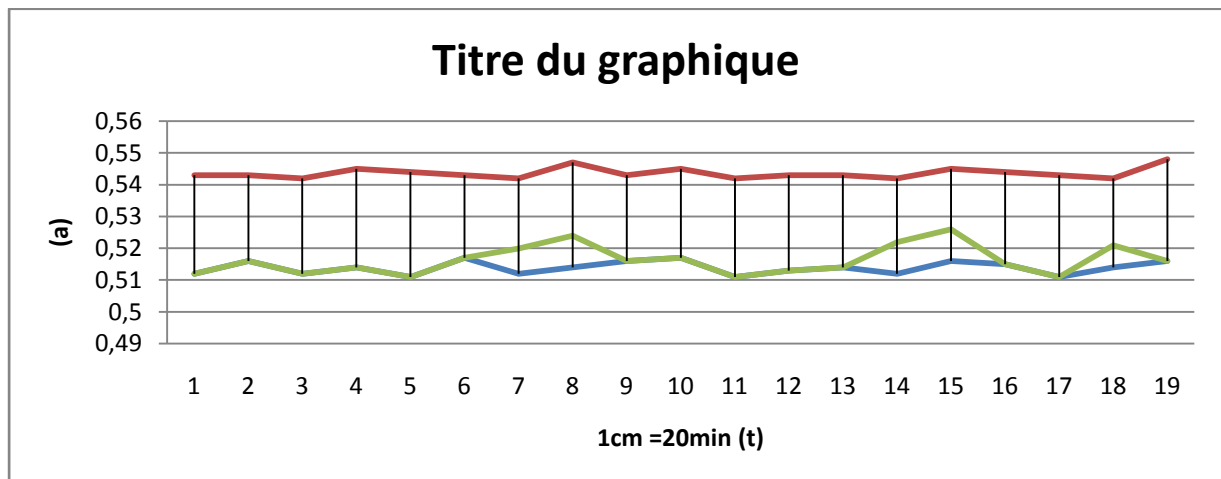
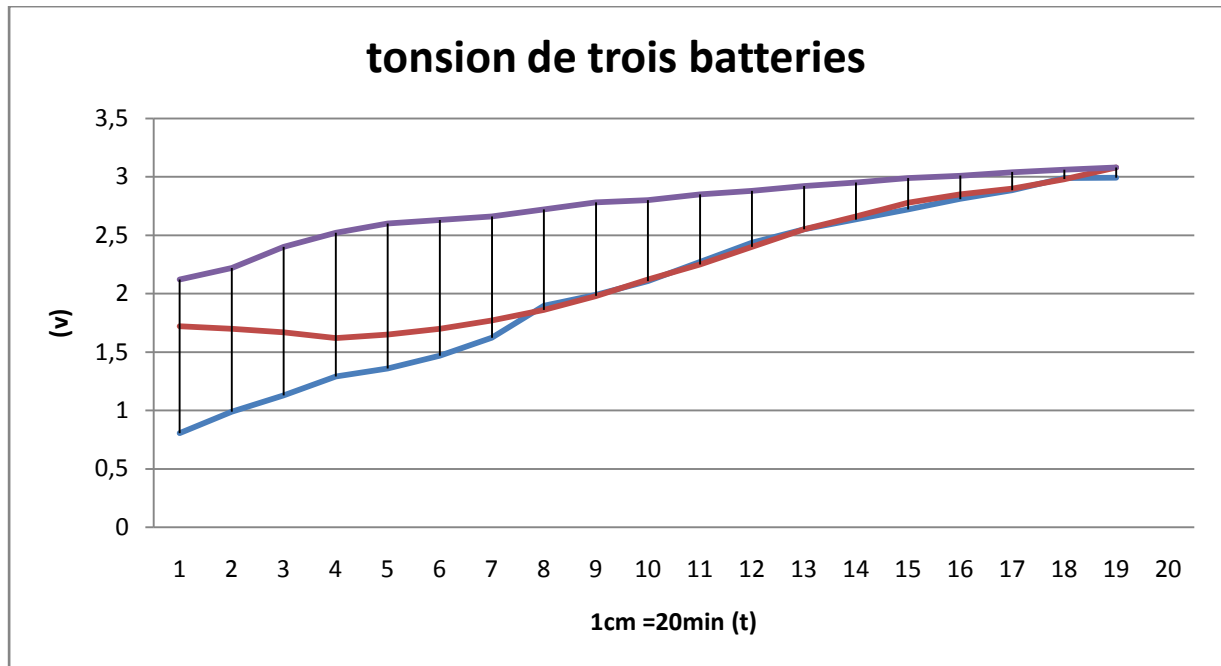


Figure III.17 Résultats de charge dans trois la batterie (Tension et Curent)

Ici nous avons voulu superposer les graphes des trois cellules afin de mieux observer le cycle de chargement. Nous avons pu ainsi remarquer que la tension au démarrage du chargement de la troisième cellule est plus élevée, le BMS a conclu que les deux autres doivent arriver au niveau de celle a la tension plus élevé, puis ensuite reprendre le chargement des trois cellules simultanément jusqu'au niveau max.

III.8) Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons commencé par exposer la méthodologie de notre travail, des organigrammes ont été présentés à cet égard, puis la simulation du circuit avec un logiciel et par la suite sa réalisation. Ce circuit contient trois cellules aux lithiums, intégré sur un pack.

Cette étude nous a permis d'adapter une carte ARDUINO sur un tel dispositif, et de charger les trois cellules quand elles n'ont pas la même charge au départ, des optimisations ont été remarqué lors du traçage des courbe, effectivement les cellules les moins chargées commence d'abord par se charger et lorsqu'elle arrive a un niveau de référence les trois cellules se chargent alors de manière simultanée.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Les batteries sont devenues des éléments essentiels de notre quotidien moderne. Que ce soit dans nos smart phones, nos voitures électriques, nos ordinateurs portables ou même nos montres connectées, les batteries nous permettent de rester connectés, de nous déplacer et d'utiliser de nombreux appareils électroniques. Elles sont devenues si omniprésentes dans notre société que nous ne pouvons plus imaginer notre vie sans elles.

Au fil des décennies, les batteries ont évolué et se sont améliorées pour répondre à nos besoins croissants en énergie portable. Des batteries au plomb-acide lourdes et encombrantes aux batteries au lithium-ion légères et puissantes, les avancées technologiques ont permis d'améliorer l'efficacité et la durée de vie des batteries.

Les batteries jouent un rôle crucial dans la transition vers une société plus durable et respectueuse de l'environnement. Avec l'essor des énergies renouvelables, comme l'énergie solaire et éolienne, les batteries deviennent des composants clés des systèmes de stockage d'énergie. Elles permettent de capturer et de stocker l'énergie produite pendant les périodes de surplus, puis de la restituer lorsque la demande est plus élevée, de plus, les batteries sont devenues un élément central de la mobilité électrique. Les moteurs électriques, les scooters électriques et même les vélos électriques dépendants des batteries pour alimenter leurs et leur permettre de se déplacer sans émission de gaz à effet de serre. Cela contribue à la réduction de la pollution atmosphérique et des émissions de dioxyde de carbone, en aidant à lutter contre le changement climatique.

Cependant, malgré les progrès réalisés, les batteries restent confrontées à des défis importants. Leur capacité de stockage énergétique, leur durée de vie et leur coût restent des aspects à améliorer. Les recherches et les développements se poursuivent pour créer des batteries plus performantes, plus durables et plus abordables, mais aussi des systèmes qui vont garantir la sécurité des usagers, prolonger la durée de vie et optimiser performances de ces batteries.

Dans ce mémoire, nous avons exploré plus en détail l'importance de ces systèmes de gestion des batteries, en examinant leurs différents types, mode de fonctionnement et leurs impacts sur la durée de vie, la carte ARDUINO, nous a fait économiser un temps précieux vu les caractéristiques qu'elle offre. Dans un premier lieu, une étude bibliographique a permis de se familiariser avec le sujet en question, ensuite un model a été proposer, puis la réalisation pratique et résultats. Comme perspectives, est le temps réel, et de s'aider d'une IA afin d'optimiser le dispositif.

Bibliographie

Bibliographies:

- [1] A. Chih-Chiang Hua, B. Zong-Wei Syue, “Charge and Discharge Characteristics of Lead-Acid Battery and LiFePO₄ Battery”, *International Power Electronics Conference (IPEC 2010)*, pp. 1478-1483.
- [2] A. Rudell, “Investigation on Storage Technologies for Intermittent Renewable Energies: Evaluation and recommended R&D strategy”, INVESTIRENETWORK, Storage technology Report, 2003.
- [3] Šúri M., Huld T.A., Dunlop E.D. Ossenbrink H.A., 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. *Solar Energy*, 81, 1295–1305, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.
- Energy, FP7-ENERGY-2011-2.
- [4] Emission dans l’air en France, « Substances relatives à l’accroissement de l’effet de serre », Centre Interprofessionnel Technique d’Etudes de la Pollution Atmosphérique, (CITEPA) Mai 2010.
- [5] Dossier de presse, « Les bâtiments basse consommation préfigurent l’habitat de demain », Norme RT2012, BBC-éffinergie <http://www.gouvernement.fr>.
- [6] Energies et matières renouvelables, Solaire thermique, <http://www2.ademe.fr>
- [7] Ministère de l’Ecologie, de l’Energie, du Développement Durable et de la Mer, « Le véhicule propre : une réussite collective à la suite du Grenelle Environnement », dossier de presse, Octobre 2010.
- [8] Brochure SAFT Industry, “Li-ion energy storage systems”, October 2008.
- [9] EDF et l’Alliance Renault-Nissan renforcent leur partenariat pour la mobilité électrique, <http://medias.edf.com>, Octobre 2010.
- [10] Hadjsaïd, N., Sabonnadière, J.-C., Angelier, J.-P., « Le réseau de distribution électrique : du patrimoine à l’innovation », La distribution d’énergie électrique en présence de production décentralisée, *Hermès Science/Lavoisier 2010*.
- [11] Fiches techniques du Parlement européen, « Le traitement des déchets » http://www.europarl.europa.eu/factsheets/4_9_4_fr.htm.
- [12] Norme ISO6469-1:2009 et ISO6469-2:2009 : Sécurité des véhicules routiers électriques.
- [13] Consommation, production et contenu CO₂ de l’électricité française, <http://www.rte-france.com>.
- [14] Terraeco, « Lithium : une guerre en puissance », Numéro 18, Octobre 2010.

- [15] Kiehne, H. A., Berndt, D., Fischer, W., Franke, H., König, W., Köthe, K. H., Preuss, P., Sassmannshausen, G., Stahl, U.-C., Wehrle, E., Will, G., and Willmes, H. (2000). *Batterien: Grundlagen und Theorieaktuellertechnischer Stand und Entwicklungstendenzen*, Expert Verlag, Renningen.
- [16] A.-Ch. Rufer, “La conversion d'énergie électrique pour le stockage”, Laboratoire d'électronique industrielle LEI EPFL CH 1015 Lausanne, 2000.
- [17] J.-C. Muller, “ Electricité photovoltaïque – Filières et marchés”, Technique de l'Ingénieur, Ref : BE8579, 2007.

Résumé :

Les batteries au Lithium Ion, ou bien au lithium polymère sont les batteries portatives les plus utilisées de nos jours. Cependant elles doivent être manipulées avec précautions, n'acceptent pas les surcharges à la moindre négligence peuvent provoquer l'explosion entraînant ainsi un risque d'incendie. Le but de notre projet est l'étude, la conception et la réalisation d'un chargeur pour un ensemble de deux cellules rechargeables en série de type Lithium Ion 18650 ,sous une tension de 3.7 Volts comme tension nominale. Selon l'algorithme de charge ,(Courant Constant / Tension Constante) qui assure un chargement sécurisé basé sur la programmation du microcontrôleur tel que ATMEL de l'Arduino.

Mots Clés : Batteries au Lithium Ion, Surcharge, Chargeur, Cellule 18650, Arduino, Algorithme de charge (CC / CV).

Summary:

Lithium-Ion batteries or lithium polymer batteries are the most used portable batteries these days. However, they must be handled with care, don't accept overloads; can cause an explosion at the slightest negligence thus creating a risk of fire. The goal of our project is the study, design and production of a charger for a set of two rechargeable cells in series of type Lithium-Ion 18650 under a voltage of 3.7 Volts as nominal voltage. According to the charging algorithm (Constant Current / Constant Voltage) which ensures secure loading based on programming the microcontroller such as ATMEL from the Arduino?

Keywords: Lithium-Ion batteries, Overload, Charger, Cell 18650, Arduino, Charging algorithm (CC / CV).

ملخص

بطاريات الليثيوم أيون ، أو بطاريات الليثيوم بوليمر هي أكثر البطاريات المحمولة تستخدم في الوقت الحاضر. ومع ذلك ، يجب التعامل معها بحذر ، لا تقلل الأحمال الزائدة عند أدنى إهمال في حدوث انفجار ينتج عنه خطر الحريق. الغرض من مشروعنا هو دراسة وتصميم وبناء شاحن لمجموعة من الخلايا القابلة لإعادة الشحن من نوع ليثيوم أيون 18650 القابلة لإعادة الشحن والموضوعة على التسلسل تحت جهد 3.7 فولت كجهد اسمي. حسب خوارزمية الشحن (تيار مستمر / جهد ثابت) الذي يضمن الشحن الآمن على أساس برمجة متحكم مثل

Arduino's ATMEL.

الكلمات الرئيسية: بطاريات ليثيوم أيون ، شحن زائد ، شاحن ، خلية 18650 ، أردوينو ، خوارزمية الشحن (CC / CV).