

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées  
Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Préparé par :

**BOUKHIRA Mohammed Lamine**

**MAROUF Youcef**

Thème:

**Étude et Réalisation d'un Circuit de Recharge  
de la Batterie au Lithium Suivant les Deux  
Étapes « Mode Courant Constant et Voltage  
Constant »**

Le :.././....

Soumis au jury composé de

M <sup>f</sup> Kouras Sid Ali	MAA	Président	UKM Ouargla
M <sup>f</sup> REZOUG Mohamed Redha	MCB	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
M <sup>f</sup> Bouhafis Ali	MAA	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2019/2020

# *Dédicace*

*Tant de fois avais-je pensé à vous offrir quelque chose en signe de reconnaissance pour tout ce que*

*vous avez consenti rien que*

*pour me voir réussir, cette fois c'est l'occasion :*

*A ma mère et mon père chéris que*

*je dédie ce travail.*

*Mes frères, mes sœurs et toute ma famille.*

*Tous mes amis et tous qui m'ont aidé de près ou de*

*loin.*

*BOUKHIRA Mohammed Lamine*

*MAROUF Youcef*

# Remerciements

❖ Je remercie en premier lieu « DIEU » tout puissant pour m'avoir donné la volonté d'accomplir ce modeste travail.

❖ De façon spéciale, je tiens à remercier mon rapporteur chargé du suivi de mon travail,

*Monsieur Rezoug Mohamed Redha*

Pour ses encouragements à effectuer cette étude, ses conseils précieux, son sérieux et sa disponibilité

❖ Je remercie monsieur Kouras Sid Ali à l'Université Kasdi Merbah Ouargla, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.

❖ J'adresse, aussi mes remerciements à monsieur Bouhafs Ali de l'Université Kasdi Merbah Ouargla d'avoir accepté d'examiner mon mémoire.

## Sommaire

### Introduction générale

1 Généralités	01
2 Position du problème	01
3 Objectif du projet	02
4 Présentation du mémoire	02

### Chapitre I Batterie Lithium Ion

I.1 Introduction	03
I.2 Histoire sur les batteries	03
I.3 Q'est qu'une batterie Lithium Ion ?	04
I.3.1 Avantages	05
I.3.2 Inconvénients	05
I.4 Caractéristiques positives	05
I.4.1 Charge et décharge	06
I.4.2 Durée de vie des batteries Lithium Ion	06
I.4.3 Cycles de la batterie	07
I.4.4 Décharge profonde « totale interdite »	07
I.4.5 L'effet mémoire	08
I.5 Notion de base et des précautions	08
I.5.1 Re-calibrage la batterie	08
I.5.2 Immersion dans un liquide	08
I.5.3 Utilisation à haute température	08
I.5.4 Chargeur et conditions de charge	09
I.5.5 Inversion de polarité	09
I.6 Formes de cellules Lithium Ion	09
I.6.1 Cellules cylindriques	09
I.6.2 Cellules «POUCH»	10
I.6.3 Cellules prismatiques	11
I.7 Normalisation	12
I.8 Propriétés fondamentales	12
I.8.1 Loi de Peukert	12
I.8.2 Capacité de Peukert « Taux C »	13
I.8.3 État de charge	13
I.9 Sécurité de la batterie au Lithium Ion	14
I.10 Conclusion	15

### Chapitre II Réalisation d'un dispositif expérimental

II.1 Introduction	16
II.2 Chargeur électrique	16
II.3 Contrôle de fin de charge	16
II.4 Technique de Charge	17
II.4.1 Charge à courant constant (CC) à plusieurs étages	17
II.4.2 Charge par impulsions	17
II.4.3 Charge à courant constant et tension constante	18

II.5 Critères de choix de la technique utilisée	19
II.6 Réalisation pratique	20
II.6.1 Bloc d'alimentation	20
II.6.2 Bloc de régulation	21
II.6.2.1 Régulateur de courant	21
II.6.2.2 Régulateur de tension	21
II.6.3 Bloc de mesure	22
II.6.3.1 Diviseur de tension	22
II.6.3.2 Résistance shunt	23
II.6.4 Bloc d'affichage	23
II.6.5 Bloc de puissance	24
II.7 Présentation des éléments électriques de la réalisation pratique	25
II.8 Conclusion	28
<b>Chapitre III</b>	
<b>Description et analyse du programme</b>	
III.1 Introduction	29
III.2 Langage de programmation	29
III.3 Présentation de l'organigramme	29
III.4 Présentation du programme	30
III.5 Réalisation virtuelle	34
III.5.1 Modèle de la batterie utilisée	34
III.5.2 Schéma global de la simulation	35
III.6 Résultats de la simulation	36
III.7 Conclusion	39
<b>Conclusion générale</b>	
1 Généralités	40
2 Problèmes rencontrés	40
3 Perspectives du projet	40
<b>Annexes</b>	
Annexe A	41
Annexe B	42
Annexe C	43
<b>Bibliographie</b>	
Références	44

## Liste des abréviations

Ni-Cd	: Nickel-Cadmium
Ni-Zn	: Nickel-Zinc
Ni-Fe	: Nickel-Fer
Ni-H <sub>2</sub>	: Nickel-Hydrogène
LiMO <sub>2</sub>	: Lithium-rich layered oxide materials
Cu	: Cuivre
Al	: Aluminium
Li	: Lithium
NiMH	: nickel-hydrure métallique
BMS	: Battery Management System
PTC	: Positive Thermal Coefficient
CEI	: Commission Electrochimique Internationale
SoC	: State of Charge
CID	: Current Interrupt Device
CC	: Constant Current
CV	: Constant Voltage
CC/CV	: Constant Current / Constant Voltage
LCD	: Liquid Crystal Display
GND	: Ground
SPDT	: Single Pole Double Throw
NPN	: Negative-Positive-Negative
CAO	: Conception Assistée par Ordinateur

# Introduction Générale

## 1 Généralités

Le développement de systèmes de stockage d'énergie est l'un des principaux enjeux de ce nouveau domaine énergétique. Compte tenu du marché croissant des voitures électriques et de la nature de leurs sources d'énergie il faut que les systèmes de stockage doivent être plus efficaces et plus sûrs. Les accumulateurs sont au centre de ce contexte car ils représentent souvent un facteur limitant de fonctionnement d'autonomie, d'énergie et de coût de stockage.

La technologie des batteries rechargeables actuelles, telles que les batteries au Plomb-Acide et les batteries au Nickel-Hydrure métallique sont passées inaperçues en raison de leur poids et de leur taille élevée par rapport aux batteries Lithium-Ion.

L'histoire du succès des batteries Lithium Ion a commencé dans l'année 1991, lorsque Sony a développé pour la première fois des électrodes à division de carbone négative. Cela a conduit à son introduction réussie dans le secteur de l'électronique grand public, comme les téléphones portables, les ordinateurs portables, les outillages électriques, les appareils de musique, etc.

Dans la plupart de ces applications, les batteries doivent être dotées d'un système de gestion de batterie (BMS). La surveillance du niveau de charge des batteries est un paramètre important dans un système de gestion, car les algorithmes de charge ont un fort impact sur les performances et le cycle de vie de ces dernières. À ce titre, plusieurs algorithmes de charge ont été développés et mis en œuvre.

Généralement, les algorithmes de recharge varient entre eux par quelques critères tel que le temps de charge, l'efficacité de charge et l'impact négatif sur les cycles de vie de la batterie, ainsi que sur la complexité de la mise en œuvre du chargeur approprié, de ses capteurs requis, son coût et sa popularité. Ces algorithmes démarrent d'un algorithme de recharge presque simple, tel qu'une tension constante et courant constant (CV / CC) et à aboutir au plus complexe sur le plan créatif, comme un algorithme de charge à plusieurs étages avec une colonie de fourmis qui n'est pas nécessairement le plus efficace.

## 2 Position du problème

Les batteries au Lithium Ion sont considérées comme l'une des batteries les plus utilisées dans les appareils électroniques en raison de leurs bonnes caractéristiques, en particulier dans le processus de recharge, cependant elles connaissent un défaut de stabilité dans leur nature



chimique dans les conditions difficiles et c'est pourquoi, il faut faire preuve de prudence lors de leur rechargement et de leur utilisation.

Il existe une large gamme de chargeurs prêts à l'emploi pour ces batteries, mais les moins chers exigent un très lent temps de recharge par contre les rapides sont très chers, Nous avons donc décidé de concevoir un circuit chargeur pour charger la batterie au Lithium Ion (7.4Volts) en deux étapes (CV / CC) en utilisant des éléments simples contrôlés par une carte Arduino.

### **3 Objectifs du projet**

Dans ce projet trois objectifs ont été visés :

- Le premier consiste à rassembler des informations suffisantes sur une grande classe de batteries Lithium Ion: leurs types et caractéristiques chimiques, leurs risques ainsi que leur système de sécurité sans oublier leurs principes de fonctionnement et leurs techniques de recharge.
- Le second est de réaliser un dispositif électronique capable de charger et recharger des batteries en expliquant les différents blocs de sa construction.
- Le troisième est la perception et la programmation dans l'environnement IDE de l'Arduino et la reconnaissance des accessoires afin de valider la conception pratique de la carte de charge sur le plan virtuel et pratique.

### **4 Présentation du mémoire**

Pour l'implémentation de ce projet, nous avons réparti le travail en trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à la présentation des bases sur les batteries Lithium Ion, un bref historique de ces dernières, en plus de certains de leurs concepts et caractéristiques. Après cela, nous donnons une présentation détaillée sur quelques cellules, les composants de base des batteries Lithium Ion comment elles sont liées entre elles et le principe de leur fonctionnement. Dans le second chapitre, nous présenterons la technique sélectionnée pour contrôler le processus de rechargement ainsi que l'explication de différents blocs constituant la réalisation pratique. Pour l'algorithme qui gère ce chargeur, le chapitre trois résume la programmation de la carte Arduino et montre la réalisation virtuelle sous un CAO afin de valider l'expérimental. Enfin, nous achèverons ce travail par une conclusion générale qui montre l'intérêt de cette étude avec un aperçu sur les problèmes rencontrés.

# **Chapitre I**

## **Batterie Lithium Ion**

## I.1 Introduction

Les accumulateurs électriques autrement dits les batteries rechargeables, sont des systèmes destinés au stockage de l'énergie électrique sous une forme différente. Ils reposent sur une technique de conversion d'énergie réversible.

Les accumulateurs font partie des principaux mécanismes d'alimentation de l'appareil autonome. Ils sont caractérisés par l'effet du stockage d'énergie électrique fournie par la réaction chimique afin de la réutiliser sous forme de courant.

Dans ce chapitre, nous allons présenter une synthèse générale sur les batteries rechargeables, leurs principes de fonction, leurs compositions et ses différentes gammes ainsi que quelques notions fondamentales essentielles.

## I.2 Histoire sur les batteries

Le comte Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta, né à Côme le 18 février 1745 et mort dans cette même ville le 5 mars 1827, est un physicien et chimiste lombard [1].

En 1801, le physicien et le brillant chimiste lombard (Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta) à l'occasion de la présentation de sa découverte à Paris en présence du roi Napoléon Bonaparte, dans l'enceinte de l'Académie des Sciences<sup>7</sup> pour l'invention de la première pile électrique « LA PILE VOLTA ».

Quelques années après cette invention de Volta, la pile Daniell révolutionna une autre fois le monde de l'électricité elle présenta à l'origine de nos piles modernes.

En 1859 le chimiste français Gaston Planté lance le premier accumulateur ou batterie à base de plomb avec une cyclabilité de 200 à 300 cycle.

Dans les années 1900, le marché a connu l'apparition de nouvelles gammes des batteries par l'utilisation de la Nickel-Cadmium (Ni-Cd) et leur dérivés comme les batteries Nickel-Zinc (Ni-Zn), Nickel-Fer (Ni-Fe) et Nickel-Hydrogène (Ni-H<sub>2</sub>). En comparaison avec les batteries au Plomb, cette génération de batteries présente une bien meilleure cyclabilité et une énergie spécifique supérieure où elles marqueront leurs commercialisations en 1940 [2].

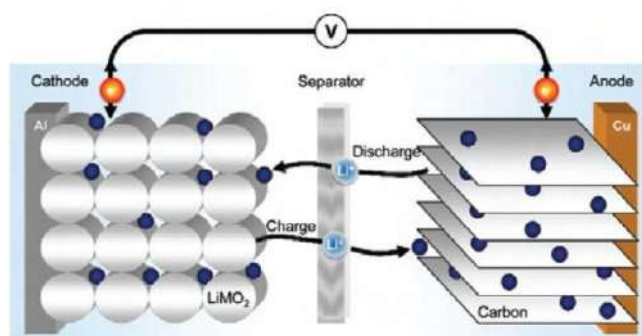
Aujourd'hui, la meilleure technologie des batteries en la matière repose sur le Lithium Ion. Ce type de batterie a été inventé dans les années 1970 pour répondre à la crise pétrolière. Depuis, elle s'est perfectionnée et imposée dans tous les tous les secteurs, mais son utilisation massive

pose aujourd'hui de nouveaux défis. Par rapport aux anciennes technologies, le fonctionnement du Lithium Ion a beaucoup changé. Plusieurs raisons font des batteries Lithium Ion (LIBs) une technologie plus avantageuse, une capacité plus importante, une décharge moins rapide et la disparition de l'effet mémoire.

### I.3 Q'est qu'une batterie Lithium Ion ?

Ce type de batterie libère de l'électricité par échange réversible des ions Lithium entre deux électrodes : Anode négative en graphite et Cathode positive en oxyde métallique. Cet échange se fait au sein d'un électrolyte liquide où vont circuler les ions entre Anode et Cathode et est composé d'un sel conducteur.

Comme il est montré sur la figure I.1, la batterie possède un film séparateur en polyéthylène ou en polypropylène va séparer les substances chimiques de l'anode et de la cathode et ne laisse passer que les ions de lithium mobiles. Afin de changer les caractéristiques de la batterie, il est possible de modifier chacun de ses composants et matériaux [3].



**Figure I.1** Présentation d'un échange interne de lithium Ion

Les indices sur la figure sont :

Cu : Copper,  $_{29}\text{Cu}$  ;

Al : Aluminium,  $_{13}\text{Al}$  ;

$\text{LiMO}_2$  : Lithium-rich layered oxide materials.

Ces qualités rendent cette gamme de batteries en une source incontournable pour tous les appareils indispensables à notre quotidien (Appareils photo, Ordinateurs portables Smart Phones, Voitures électriques, etc.).

### I.3.1 Avantages

Parmi les plus importants avantages qui caractérisent les batteries Lithium Ion ont de très fortes densités énergétiques c'est-à-dire l'énergie par unité de volume ainsi que leur importante énergie massique qui présente l'énergie par unité de masse. En outre, ce type des batteries n'est pas affecté par l'effet mémoire et leurs autodécharges sont réduites « quelques pourcentages par an ». Cette gamme des batteries ne nécessite pas de maintenance.

Grâce aux propriétés physiques du lithium ainsi que les caractéristiques citées, elles font de ces batteries Lithium Ion l'une des meilleures solutions actuelles pour alimenter en électricité les appareils mobiles et surtout celles utilisées dans le domaine des systèmes embarqués

### I.3.2 Inconvénients

Ces accumulateurs présentent certains risques en cas de défaut, de surchauffe ou de formation d'une structure cristalline de Lithium entre ces électrodes. Pour cela, différents systèmes électromécaniques équipent cette gamme des batteries pour éviter ces événements.

### I.4 Caractéristiques positives

La batterie Lithium Ion est composée de lithium l'élément le plus petit et le plus léger de tous les métaux. Sur le tableau I.1, on présente quelques dérivés de cet élément.

Nom chimique	Matériel	Abréviation	Applications
Lithium cobalt oxyde	$\text{LiCoO}_2$	LCO	Téléphones portables, ordinateurs portables, caméras
Lithium manganèse oxyde	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	LMO	Outils électroportatifs, EVs, médicales, amateurs
Lithium iron. phosphate	$\text{LiFePO}_4$	LFP	Outils électroportatifs, EVs, médicales, Amateurs
Lithium nickel manganèse cobalt oxyde	$\text{LiNiMnCoO}_2$	NMC	Outils électroportatifs, EVs, Médicales, Amateurs
Lithium nickel cobalt aluminium oxyde	$\text{LiNiCoAlO}_2$	NCA	EVs, Stockage en réseau
Lithium titanate	$\text{LiTi}_5\text{O}_{12}$	LTO	EVs, Stockage en réseau

*Tableau I.1 Technologie des batteries Lithium*

D'après le tableau de Mendeleïev, le lithium est l'élément chimique de numéro atomique 3, de symbole **Li** son emplacement dans le tableau périodique des éléments est le premier groupe « Lithium,  ${}_3\text{Li}$  ». Il dispose des propriétés électrochimiques excellentes par rapport à son poids ; c'est un élément solide métallique et alcalin. La batterie ne possède pas le lithium sous sa forme métallique mais sous la forme ionique pour des raisons de sécurité (instable).

#### **I.4.1 Charge et décharge**

Le processus de chargement s'effectue généralement en deux étapes :

- La première étape se réalise avec un courant limité équivalent à  $C / 2$  à  $1 C$  («  $C$  » est la capacité de la batterie). Cette étape permet une charge rapide d'environ 80% ;
- La deuxième étape s'effectue avec une tension constante et des valeurs des courants décroissantes afin de se rapprocher de 100% de charge environ deux heures ou plus.

La recharge se termine lorsque le courant de recharge chute en dessous d'une valeur appelée « courant de fin de charge ».

Généralement, la tension de fin de charge des batteries Lithium Ion peut être de l'ordre de 4,2 Volts ; elle est mentionnée par les fabricants suivants une spécification. Pour la tolérance de ces accumulateurs, elle est couramment admise à la valeur de  $\pm 0,05$  Volts par élément.

Les batteries Lithium Ion sont très sensibles à la surcharge, elles demandent toujours une protection lorsqu'elles sont connectées en série (batterie d'un ordinateur portable, alimentation d'une perceuse etc.). Les chargeurs doivent être de bonne qualité pour respecter cette tolérance.

**NB** : Il est important de respecter la fiche technique fournie par le constructeur qui indique les conditions de charge de la batterie (Tolérance, Courant de charge, Courant de fin de charge, etc.).

#### **I.4.2 Durée de vie des batteries Lithium Ion**

L'estimation précise de la durée de vie des batteries Lithium Ion présente des défis économiques importants. Cette estimation est très compliquée puisque elle dépend non seulement de la durée d'utilisation, mais surtout des conditions d'utilisation.

Pour parvenir à identifier la durée de vie d'une batterie Lithium Ion, plusieurs recherches [4] travaillant dessus où des résultats ont été donnés dans cette littérature par l'équipe du

Professeur Cugnet après une reconstitution de la vie d'une batterie en laboratoire par simulation des cycles de charges et de décharges. La batterie est considérée « inutilisable » lorsqu'elle a perdu plus de 20% de sa capacité. Les intensités élevées réduisent la durée de vie de la batterie, tandis que celles de faibles niveaux peuvent entraîner une surchauffe du chargeur.

### II.4.3 Cycles de la batterie

Le cycle d'une batterie présente le facteur le plus utilisé pour la choisir parce qu'il permet de calculer le retour sur l'investissement associé à l'utilisation des équipements électriques. Lors du processus des charges et des décharges, les ions lithium sont introduits et séparés des substances actives [4]. Ces derniers se dilatent lors de l'insertion d'ions et se rétractent lors du phénomène inverse ; cela entraînera progressivement une détérioration de la batterie.

Les batteries Lithium Ion ont le nombre maximum de révolutions avant que leur autonomie ne commence à diminuer. Un cycle illustre une décharge totale suivie par une recharge complète de la batterie. L'avantage du Lithium Ion est sa flexibilité, si on décharge la batterie à 50% puis la recharger à 100%, cela équivaudra à  $\frac{1}{2}$  cycles, sachant que les batteries Lithium Ion actuelles ont une durée de vie comprise entre 500 et 1000 cycles de charge.

Étant donné qu'un cycle est décompté uniquement lorsqu'une décharge / recharge totale est effectuée, la batterie Lithium Ion ne sera pas affectée par des petits coups de recharge.

### I.4.4 Décharge profonde « totale interdite »

En fait, il est préférable de recharger la batterie avant qu'elle ne descende en dessous du seuil de sa capacité « de 5% ». Dans le cas des batteries Lithium Ion, cela se passe à environ 2,5 Volts selon les fabricants et dans le cas des batteries Lithium Polymère la valeur 3,30 Volts implique une décharge profonde si la tension est inférieure à cette valeur, on a une décharge complète. Lorsque la batterie atteint plusieurs fois le niveau de décharge profonde, un processus d'inversion se produit à l'intérieur de la batterie où il se peut qu'un de ces éléments constructeurs « Cellule élémentaire » soit endommagé et arrêter la recharge.

Les causes de décharge totale peuvent être associées à un chargeur défectueux ou à de vieilles batteries.

**NB :** Il existe un risque d'incendie lors du chargement de batteries fortement déchargées.

### **I.4.5 L'effet mémoire**

L'effet mémoire est un phénomène physico-chimique qui affecte les performances des batteries rechargeables si elles ne sont pas totalement déchargées avant d'être rechargées. Il concerne principalement les technologies Ni-Cd (nickel-cadmium) et NiMH (nickel-hydrure métallique) [5].

L'effet mémoire réduit la quantité d'énergie que les batteries rechargeables peuvent récupérer en raison de la diminution de la capacité nominale des batteries rechargeables.

Quand les batteries rechargeables ne peuvent plus charger comme il l'était à l'origine, cela donne l'impression qu'elles sont capables de stocker moins d'énergie, mais réellement, c'est la restitution qui pose un problème simplement ; l'énergie n'est plus accessible de la même manière en raison de l'effet mémoire.

### **I.5 Notion de base et des précautions**

La batterie Lithium Ion contient des produits inflammables tels que des solvants organiques. Si elle est mal gérée, cela peut provoquer un incendie, de la fumée ou une explosion et endommager gravement les performances de la batterie.

#### **I.5.1 Re-calibrage de la batterie**

Comme plan minime de maintenance, il faut penser à re-calibrer une batterie qui subit des recharges brièvement. Avec un calibrage du système interne de gestion de la batterie « BMS », il suffit de la décharger complètement (sans dépasser les 5 % de décharge) puis de la recharger complètement.

#### **I.5.2 Immersion dans un liquide**

Les batteries lithium Ion ou ces cellules élémentaires contiennent un circuit de protection, ce qui les rend exposées à prendre feu, émettre de la fumée, exploser ou provoquer une forte génération de chaleur par le courant généré.

#### **I.5.3 Utilisation à haute température**

D'après leurs constructions, le séparateur en Polyoléfine de la cellule élémentaire d'une batterie Lithium Ion peut être endommagé par la chaleur et cela peut provoquer une forte génération de chaleur par un court-circuit interne.



### **I.5.4 Chargeur et conditions de charge**

Une batterie chargée dans des conditions inacceptables telles que, son utilisation hors des plages de températures autorisées ou un dépassement de tension ou de courant avec des chargeurs non autorisés peut provoquer une forte génération de chaleur ou plus.

### **I.5.5 Inversion de polarité**

Les batteries sont des éléments polarisés. Si on place la batterie de manière à ce que les bornes et l'étiquette soit en face de nous, à droite il y aura un « signe » plus et à gauche un signe « moins ». Une erreur peut survenir très rapidement si on ne fait pas attention et on connecte la batterie en polarités inverses ceci entraîne un court-circuit pour certains chargeurs.

Si on connecte une batterie à polarité inverse, les éléments présentant une protection automatique de polarité doivent être débranchés. La protection sera automatiquement réinitialisée une fois la polarité corrigée.

La majorité des chargeurs possède un fusible remplaçable employé pour raison de protection de polarité, ce dernier doit être remplacé si la batterie a été connectée à une polarité inverse.

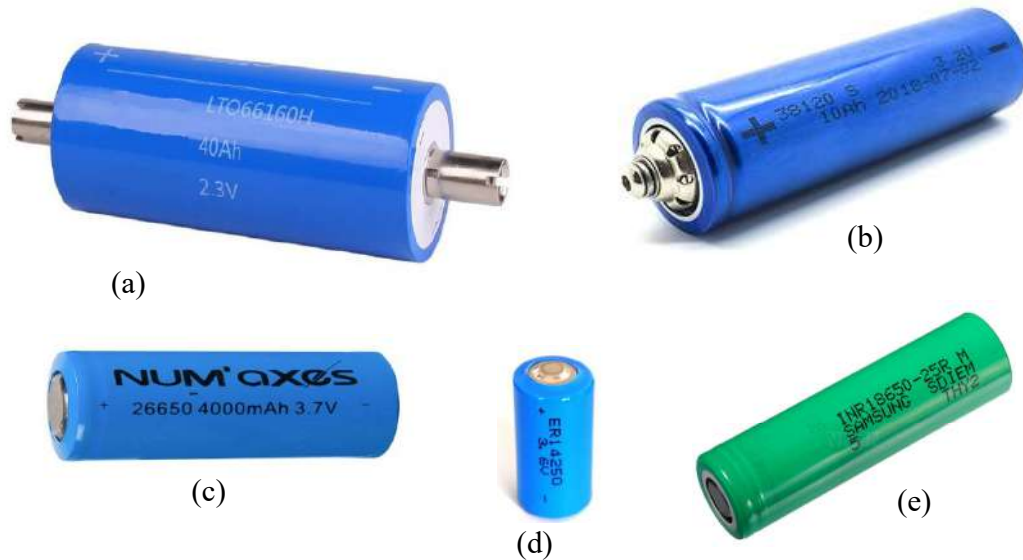
## **I.6 Formes de cellules Lithium Ion**

Afin de renforcer la capacité ou la tension d'une batterie Lithium Ion, les cellules constructrices sont additionnées en série ou en parallèle. Actuellement, les formats de cellules au Lithium Ion les plus populaires sont : les cellules cylindriques, les cellules «POUCH» (en forme de poches) et les cellules prismatiques.

### **I.6.1 Cellules cylindriques**

Les cellules cylindriques au lithium Ion présentent une enveloppe résistante et offrent la possibilité de changer des formules tout en préservant les contenants «matières, éléments chimiques etc.». Ces dernières sont des modèles d'emballage les plus utilisés. Leurs avantages sont la facilité de fabrication, une bonne stabilité mécanique et un mécanisme de décompression. Le cylindre tubulaire peut supporter une pression interne élevée sans déformations. La présence d'un PTC dans un commutateur présente un autre avantage lorsqu'il est soumis à un courant excessif, le polymère conducteur surchauffe généralement et devient résistant et se comporte comme une protection contre les courts-circuits [6]. Une fois le court-circuit supprimé, le PTC se

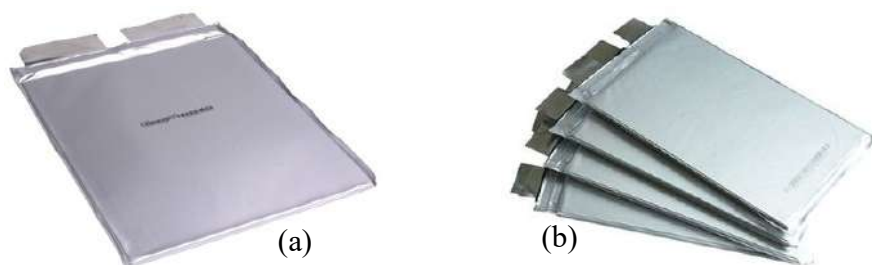
refroidit et revient à l'état initial « conducteur ». La figure ci-dessous présente quelques cellules cylindriques au lithium.



**Figure I.2** Gamme des cellules cylindriques : (a) LTO 66160 2.4 v 30Ah cellule au Lithium titanate 2.3 ; (b) Lifepo4 au lithium 38120 10Ah ; (c) GTF 26650 batterie 3.7 v 12 Ah ; (d) Lithium ER14250 3.6V 1200mAh ; (e) INR 18650-25M Li-ion 2500mAh 3.7V

### I.6.2 Cellules «POUCH»

Cette gamme des cellules au lithium appelées «poches», ressemblent à de petites pochettes et représentent une solution simple, flexible et légère où sa dimension varie considérablement en fonction du choix de conception du fabricant ; elles sont généralement des cellules au lithium polymère.



**Figure I.3** Cellules «POUCH» : (a) LTO 2.4V 26AH Lithium Titanate ; (b) Lithium Ion 3,7 V 32Ah Lithium Ion pour EV, E-Bike

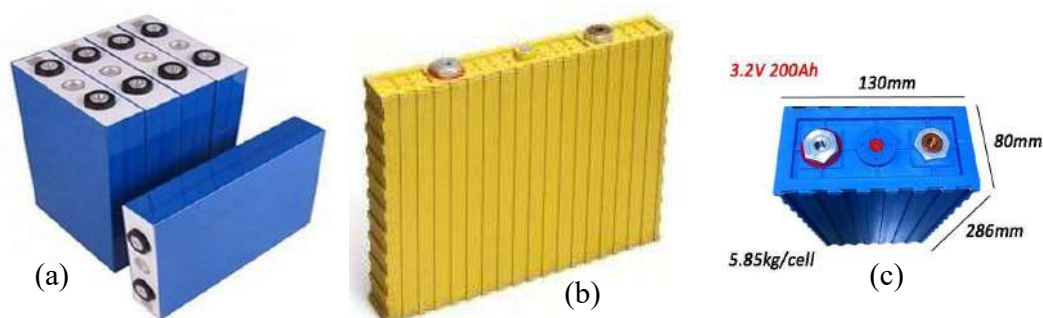
L'aspect positif de cette technologie est la haute densité d'énergie qui peut être obtenue et le faible coût de son enveloppe. Sur le marché, il existe des cellules «POUCH» allant de quelques 100 mAh à 40 Ah ou plus, mais les fabricants offrant des capacités supérieures sont très rares. L'inconvénient de cette gamme est la fragilité de son enveloppe et elle peut subir un gonflement de l'ordre de 8 à 10% après 500 cycles.

Les cellules «POUCH» sont particulièrement utilisées dans les applications à haute puissance (haute tension et faible puissance) ou dans les applications nécessitant une petite surface, par exemple (les motos ou les véhicules électriques).

### I.6.3 Cellules prismatiques

Les cellules Lithium Ion prismatiques se trouvent sous des enveloppes solides et très résistantes qui sont généralement en plastique ou en aluminium. Les bornes de ces batteries sont souvent de forme à vis ou à souder.

Comme avantage elles sont caractérisées par une grande capacité pour chaque cellule ; une seule cellule pouvant atteindre 300 Ah, est un point fort pour créer des batteries à fortes capacités pour le secteur industriel, évitant ainsi les cellules montées en dérivation et augmentant la sécurité de toutes les batteries.



**Figure I.4** Cellules prismatiques: (a) Cellules de batteries prismatiques ultra minces LiFePO4 3.2V 60Ah de lithium pour UPS/EV/inverseur; (b) 3-2V-400Ah-Thundersky-Lifeypo4-Lithium-Ion «Stockage d'énergie solaire » ; (c) ; 3.2V LiFePO4 batterie 200Ah pour stockage d'énergie solaire et véhicules électriques

La forme et la nature de la borne de cette gamme batteries «à vis» simplifient l'assemblage et facilitent leurs remplacements. Comme point faible, les cellules au lithium

prismatiques possèdent une densité énergétique légèrement inférieure à cause du type du contenant.

L'utilisation de ces batteries au lithium est fortement connue dans le secteur industriel et automobile.

### **I.7 Normalisation**

Dans notre travail, l'objectif vise à réaliser un chargeur pour les batteries Lithium Ion et précisément la catégorie des cellules cylindriques pour cela une synthèse de standard doit être faite afin d'englober toutes les informations qui contournent cette catégorie. Pour la plupart des cellules rechargeables, des normes ont été élaborées par la commission électrochimique internationale (CEI) sous le N°600086 [7, 8].

Pour le cas des cellules cylindriques et comme titre d'exemple chaque cellule possède un nom qui commence par des lettres qui signifient un code donné par le constructeur afin de préciser le nom du fabricant dont ces dernières sont suivies par cinq chiffres où les deux premiers nombres déterminent le diamètre en millimètres et les deux qui suivent, expriment la longueur de la cellule en millimètres où le cinquième chiffre présente le type de l'enveloppe « 0 pour la catégorie cylindrique ».

Afin d'éclaircir cette nomination, la cellule « US18650 » présente une signification parmi plusieurs, pour le constructeur SONY de par les lettres **US**. Le chiffre 18 exprime un diamètre de la cellule qu'est de 18 millimètres avec une longueur de 65 millimètres et une nature cylindrique par le chiffre zéro.

### **I.8 Propriétés fondamentales**

La batterie fournit l'énergie qu'elle stocke avec une certaine efficacité. Le choix de la capacité et du type de batterie sont des considérations importantes lors de la conception d'un système en particulier s'il s'agit d'un système autonome.

#### **I.8.1 Loi de Peukert**

En 1897, le scientifique allemand W. Bukert exprime la capacité d'une batterie en fonction de son niveau de décharge par la **loi Peukert**, Lorsque ce taux augmente, la capacité de la batterie diminue bien que sa capacité réelle à tendance à rester constante. La loi de Peukert calcule l'énergie totale fournie par une batterie idéale et est représentée par l'équation suivante:

$$C_p = I^k \times t \quad (1)$$

Où :

$C_p$  : est la capacité selon Pouket, exprimée en ampères heure,

$I$  : est le courant de décharge, exprimé en ampères ;

$k$  : présente la constante de Peukert, nombre sans dimension ;

$T$  : est le temps de décharge en heure.

### **I.8.2 Capacité de Peukert « Taux C »**

D'après Peukert, la capacité de la batterie est mesurée pour un taux de décharge de 1 Ampère. La capacité nominale d'une batterie est la quantité d'énergie qu'elle peut fournir. Elle est exprimée en ampère-heure (Ah). Cette grandeur  $C_n$  d'une batterie est donnée pour un temps de décharge en h : C5 pour 5 h, C10 pour 10 h ou C100 pour 100 h. Plus la décharge est rapide, plus la capacité de la batterie est faible « loi de Peukert » [9].

Pour la capacité utile d'une batterie c'est l'énergie que peut être fournie sans se détériorer. Cette capacité dépend du taux de décharge acceptable pour chaque technologie. Pour le cas d'une batterie lithium, le taux de décharge peut atteindre 90 %. « La capacité utile d'une batterie de 100 Ah est de 90 Ah ».

### **I.8.3 État de charge**

L'état de charge de la cellule, SoC « en anglais State of Charge » il présente le grandeur qui indique la quantité de charge qui peut être utilisée à un instant donné par rapport à la capacité de la batterie « le niveau de charge d'une batterie ». Cette indication est donnée en pourcentage.

Le moyen le plus simple pour observer l'état de charge de la batterie lors de son utilisation est de surveiller le courant en l'intégrant durant l'utilisation de la batterie. Cette intégration donne directement la quantité de charges électriques injectées ou prélevées de la batterie permettant de déterminer avec précision le SoC de la batterie.

Il existe plusieurs manières pour surveiller l'état de charge (SoC) ou la profondeur de décharge d'une batterie. Certaines méthodes nécessitent un équipement quelquefois complexe [10].

## I.9 Sécurité de la batterie au Lithium Ion

Au niveau de l'unité élémentaire d'une batterie Lithium Ion, la cellule dispose de plusieurs systèmes de protections internes ; on peut citer.

- Le (PTC) en anglais « **Positive Thermal Coefficient** » : actuellement, la plupart des cellules cylindriques commercialisées en ont. Ce PTC à la forme d'anneau est constitué d'un polymère irradié (polyéthylène) laminé avec un métal. Dans le cas de surcharge, ce polymère chauffe, change de phase, résiste et limite ainsi le passage du courant [11].
- Le (CID) en anglais « **Current Interrupt Device** » [12]: certaines cellules intègrent ce dispositif qui interrompt le courant si la pression du gaz dans la cellule dépasse les limites spécifiées.
- Système d'arrêt dit « **SHUTDOWN** » ou « coupe circuit », disposé aux cellules possédant des séparateurs tri-couches où, ce système empêche les courants élevés.
- L'évent, système de soupape qui présente l'organe mécanique, s'ouvre lorsque la pression augmente brusquement quand celle-ci dépasse une pression critique afin d'éviter l'explosion de la cellule.
- Fusible thermique remarqué dans les cellules de grande capacité coupe le courant lorsque la température dans les cellules dépasse le seuil.

Sur l'ensemble d'une batterie Lithium il se trouve que le pack exige un autre dispositif de sécurité et de contrôle, il s'agit de (BMS) en anglais « **Battery Management System** » [13]. Ce système de contrôle surveille et garde la batterie dans un état de fonctionnement optimal. Il gère quelques fonctions, parmi lesquelles on cite :

- Protection générale du pack ;
- L'acquisition et la communication de mesures ;
- L'équilibrage de niveau de tension entre les cellules ;
- Optimisation de l'énergie ;
- Détermination de l'état de charge SoC.

### **I.10 Conclusion**

Dans le premier chapitre, on a essayé d'entourer notre sujet avec une recherche bibliographique générale afin de projeter la lumière sur les accumulateurs tel que les cellules au Lithium Ion. On espère que cette étude sera comme support théorique pour d'autres sujets.

Dans le chapitre qui suit, on entamera la réalisation du dispositif de chargement de cette gamme d'accumulateurs où on éclairera la technique de chargement sélectionnée et les différents blocs conceptives.

# Chapitre II

**Réalisation du dispositif**

**expérimental**



## II.1 Introduction

Lors de la charge et de la décharge des batteries au Lithium Ion, des précautions particulières doivent être prises dues à la sensibilité de ces cellules. Ces dernières peuvent être gravement endommagées et perdront une partie si elles ont subi une série de cycle de décharge ou soumises à une surcharge. Pour cela, les chargeurs doivent être en mesure d'assurer une charge sûre afin d'aboutir à une telle garantie. Des différentes techniques sont disponibles afin de déterminer quand la charge peut démarrer et quelles sont les tensions et courants que doivent être autorisés ainsi et à quel moment la charge doit être achevée.

Durant ce chapitre, nous exprimerons certaines techniques de charge, les plus populaires afin de trouver celles qui fonctionnent le mieux et nous terminerons ce chapitre par une présentation des différents blocs qui constituent notre dispositif.

## II.2 Chargeur électrique

Un chargeur est un étage d'adaptation entre la source et la charge, il présente l'appareil ou le dispositif permettant de recharger un ou plusieurs accumulateurs, soit sur sa forme d'un pack ou sur la forme éléments unitaire « cellule », en injectant un courant électrique inverse au sens d'utilisation (décharge).

## II.3 Contrôle de fin de charge

Le contrôle de fin de charge est un paramètre essentiel pour un chargeur. Il permet également de déterminer si la batterie ou l'accumulateur a terminé son cycle de charge en fonction de leur type. Les chargeurs modernes combinent entre différentes méthodes de contrôle afin de s'assurer que la batterie ne sera pas détériorée. Le contrôleur de charge peut être effectué par un de ses modes :

- **Contrôle temporel** : Il s'agit d'arrêter la charge après un temps prédéfini. Ce temps de charge est programmé manuellement, soit en le calculant avec précision, soit en choisissant la capacité de la batterie sur la minuterie qui correspond au temps de charge préréglé.
- **Contrôle par seuil de tension** : Lorsque l'accumulateur atteint ou dépasse un certain seuil déterminé par l'utilisateur, le chargement est considéré terminé.

- **Contrôle par seuil de courant** : Lorsque la consommation de courant descend en dessous d'une certaine limite, la charge s'arrête.
- **Contrôle par variation négative de la tension** : Bien que le courant soit injecté dans la batterie, la tension commence à diminuer ; ce qui implique que la charge est terminée.
- **Chargeur à microcontrôleur** : selon un programme dans un microcontrôleur l'organisation de la charge est effectuée selon une adaptation du courant ainsi que le temps de charge en fonction de la capacité et de la tension de la batterie, la détection de l'inverse de la polarité, le suivi de la température de la batterie ainsi que la détection de la fin de charge d'une manière combinée.

## II.4 Technique de Charge

Aujourd'hui une diversité de chargeurs est utilisée. On trouve ceux qui reposent sur des techniques de charge qui sont programmés dans un microcontrôleur assurant une bonne recharge, on cite parmi les plus importants ; charge à courant constant (CC) à plusieurs étages, charge par impulsions et charge à courant et tension constants. Cette dernière technique sera implémentée par un code hexadécimal dans une carte Arduino afin de réaliser le chargeur à réaliser.

### II.4.1 Charge à courant constant (CC) à plusieurs étages

Cette méthode est utilisée pour réduire le temps de charge et augmenter le nombre de cycles de vie aux cellules. Elle comprend plusieurs étapes en divisant le temps de charge en plusieurs intervalles. À chaque une d'elles, la batterie est chargée avec un courant constant faible et différent pendant un certain moment. Durant la charge, la tension de la batterie augmente jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur prédéfinie, temps auquel le chargeur passe à l'étape suivante. La valeur du courant de charge à chaque étape est réglée sur une valeur prédéfinie [14].

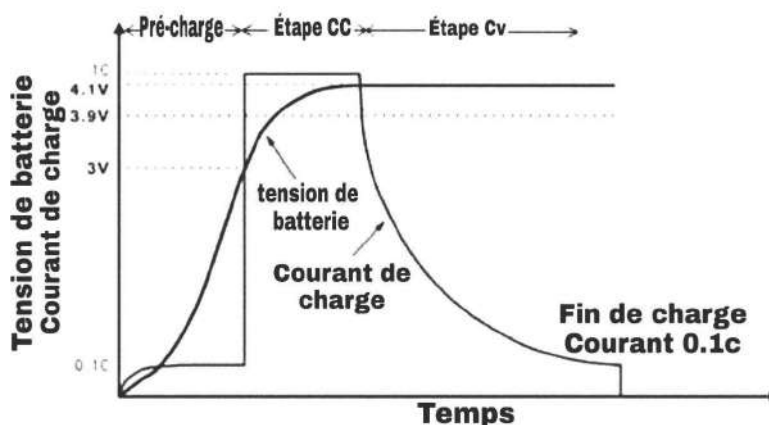
### II.4.2 Charge par impulsions

La charge par impulsions utilise un courant pulsé pour «isoler» la batterie après la fin de la phase CC. En fonction de la résistance interne et du courant de charge, la batterie se charge entre 40% et 70% de SoC pendant la phase CC. La tension de la batterie est à son niveau maximum après cette phase. Le chargeur commence à cet instant à émettre des impulsions d'une seconde avec la même taille que le courant de charge initial jusqu'à l'impulsion suivante au moment où la tension chute en dessous de la tension maximale. Ce temps de veille augmente progressivement si

la batterie s'approche de 100% du SoC et elle se charge quand le cycle de service devient inférieur à 5% à 10% [15].

### II.4.3 Charge à courant constant et tension constante

Pendant le processus de charge de la batterie cette méthode combine entre la technique de charge à tension constante et celle à courant constant. La figure II.1 montre le profil de charge.



*Figure II.1 Profil typique de charge d'une cellule Lithium Ion [16]*

Selon la figure II.1 le processus de charge CC / CV se compose de trois étapes. D'après l'organigramme du processus de charge, la batterie est chargée au moyen d'un mode de pré-charge avec un petit courant équivalent à « 0.1C » « de la capacité nominale de la batterie » jusqu'à ce que la tension de la batterie atteigne une tension de coupure ( $V_{\min}$ ), où 0,1C représente le courant de charge ; ensuite, dès que la tension de la batterie dépasse la tension de coupure ( $V_{\min}$ ), le mode CC commence à charger la batterie. Le courant de charge est choisi selon les spécifications des batteries Lithium Ion ; enfin, lorsque la tension de la batterie est chargée à la tension prédéfinie  $V_{\text{sup}}$  (par exemple 4.2 Volts pour les cellules 18650), le processus de charge passe en mode CV, la batterie est chargée à une tension constante de 4.2 Volts et le courant de charge est diminué en conséquence [14].

La figure si dessous présente l'organigramme de la technique de charge CC / CV.

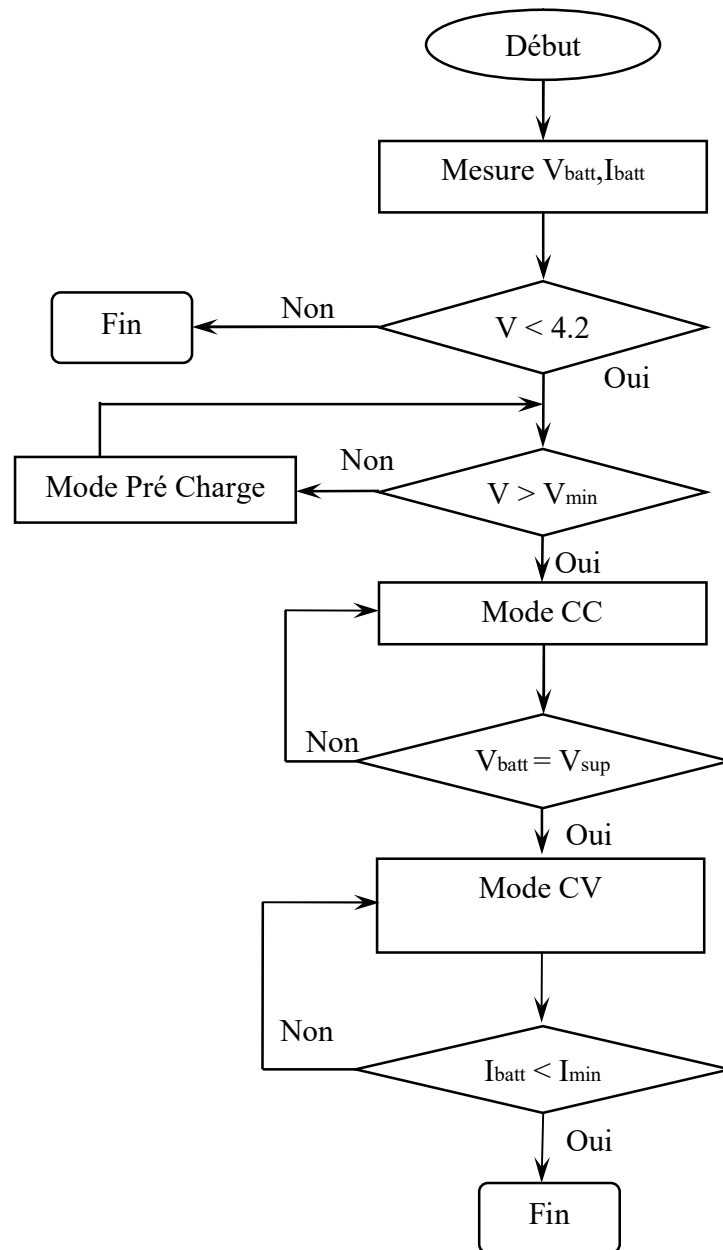


Figure II.1 Organigramme de l'algorithme courant constant (CC) et tension constante (CV)

## II.5 Critères de choix de la technique utilisée

Le choix de la technique de charge dépend du temps de rechargement et de l'état de la batterie. On a favorisé de travailler avec la technique de charge CV / CC.

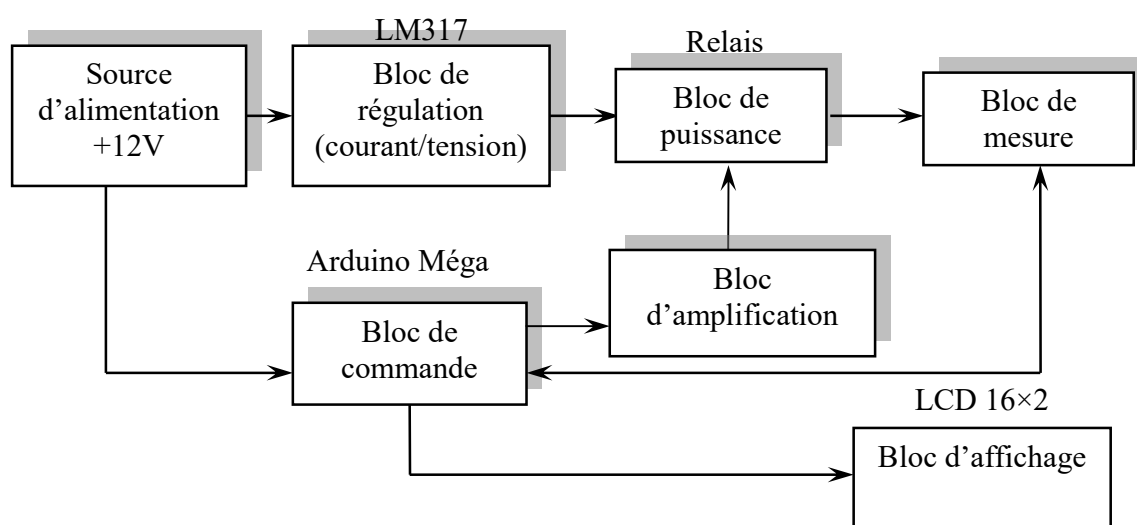
Malgré qu'elle présente un inconvénient d'une durée de charge lente ; elle permet une charge sûre et complète des batteries Lithium Ion avec simplicité et facilité de mise en œuvre.

## II.6 Réalisation pratique

sur la figure II.3 on présente le schéma synoptique général d'un chargeur de cellule Lithium Ion pour un mini pack composé de deux cellules de Lithium Ion 18650 montées en série pour une tension globale de 7.4 Volts « nominale ».

Selon un algorithme implémenté dans le microcontrôleur de la carte Arduino Méga [Annexe A] 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 afin d'assurer une telle tension avec un courant de 2 ampères. Tous les événements seront affichés sur un LCD de type 2×16.

L'emploi de la carte Arduino Méga 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. La disponibilité de la carte Arduino Méga nous a poussés à son utilisation.



*Figure II.3 Schéma synoptique du dispositif*

### II.6.1 Bloc d'alimentation

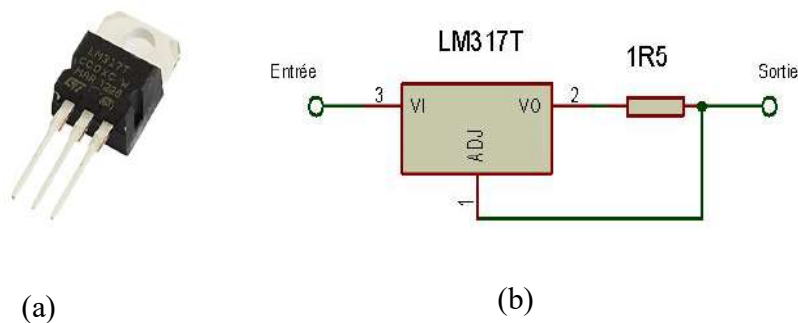
Le chargeur est alimenté par une source externe de 12 Volts avec une intensité de courant variable jusqu'à deux ampères, et la carte Arduino sera alimentée sur la broche Vin.

## II.6.2 Bloc de régulation

Pour charger, on a employé deux modes CV / CC, et pour cela on a utilisé deux circuits intégrés de type régulateur de tension variable LM317 un pour la régulation du courant et l'autre pour la régulation de la tension.

### II.6.2.1 Régulateur de courant

Pour notre chargeur, on doit réguler le courant à 800 mA afin d'effectuer la réalisation électrique indiquée sur la figure suivante.



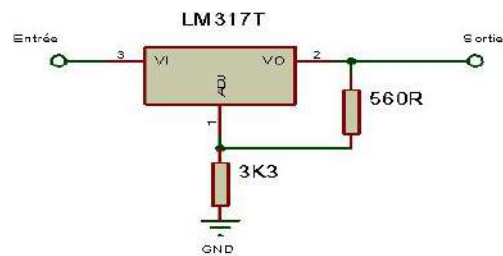
**Figure II.4** Régulateur de courant ; (a) boîtier du régulateur, (b) présentation sous ISIS Proteus

On utilise un régulateur de tension LM317 pouvant supporter un courant de 1.5 ampères au maximum et selon la figure II.4 on peut écrire la relation II.1, en choisissant une résistance de 1.5  $\Omega$  d'une puissance de 1 Watt.

$$I_{ch} = \frac{1.25}{R_s} \quad \text{II.1}$$

### II.6.2.2 Régulateur de tension

En ce qui concerne le mode CV du chargeur réalisé, on doit à nouveau réguler la tension à 8.6 Volts, le LM317 peut le faire à l'aide de seulement deux résistances. Le circuit pour le même est illustré ci-dessous.



**Figure II.5** Schéma du régulateur de tension

Pour calculer la tension de sortie pour le régulateur LM317 on suit l'équation II.2.

$$V_s = 1.25 \times \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{II.2}$$

Puisque on a deux cellules de Lithium Ion en série, la tension de sortie ( $V_{\text{out}}$ ) doit être de 8,6 Volts et la valeur de  $R_1$  doit être inférieure à 1000  $\Omega$ , on a choisi une valeur de 560  $\Omega$ . Si on calcule la valeur de  $R_2$ , on obtient 3.3  $\Omega$ . On peut également utiliser toutes les valeurs de combinaisons de résistances à condition que la tension de sortie soit de 8.6 Volts.

### II.6.3 Bloc de mesure

La carte Arduino Méga contient six entrées analogiques dont on a besoin que de deux broches analogiques, qui sont respectivement «  $V_{\text{batt}}$ ,  $I_{\text{batt}}$  » (l'une pour la tension de la batterie et l'autre pour le courant de charge) utilisant deux modules diviseur de tension et Résistance shunt.

#### II.6.3.1 Diviseur de tension

La tension maximale des entrées analogiques de la carte Arduino est de l'ordre de 5 Volts, et on a une tension supérieure aux bornes de la batterie « 8.6 Volts en mode CV », donc on doit avoir une équivalence entre ces deux tensions. Cela se fait exactement au moyen d'un circuit diviseur de tension. Ce circuit est connecté à la borne analogique  $A_0$ .

$$\frac{V_{\text{arduino}}}{V_{\text{batterie}}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{II.3}$$

Pour rendre la tension de sortie vouté la moitié de la tension d'entrée d'origine «  $V_{\text{batterie}} = 8.6$  Volts,  $V_{\text{Arduino}} = 4.3$  Volts », on a réduit la tension de sortie de la moitié de la tension d'entrée d'origine, cette tension de sortie est ensuite envoyée à la broche analogique Arduino. On peut en ensuite récupérer la valeur d'origine lors de la programmation de l'Arduino cela s'effectue facilement à l'aide de deux résistances de même valeur en tenant compte de la puissance ( $P$ ) de la

résistance pour éviter une surchauffe des résistances, la valeur des deux résistances utilisées est  $R_1 = R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ .

### II.6.3.2 Résistance shunt

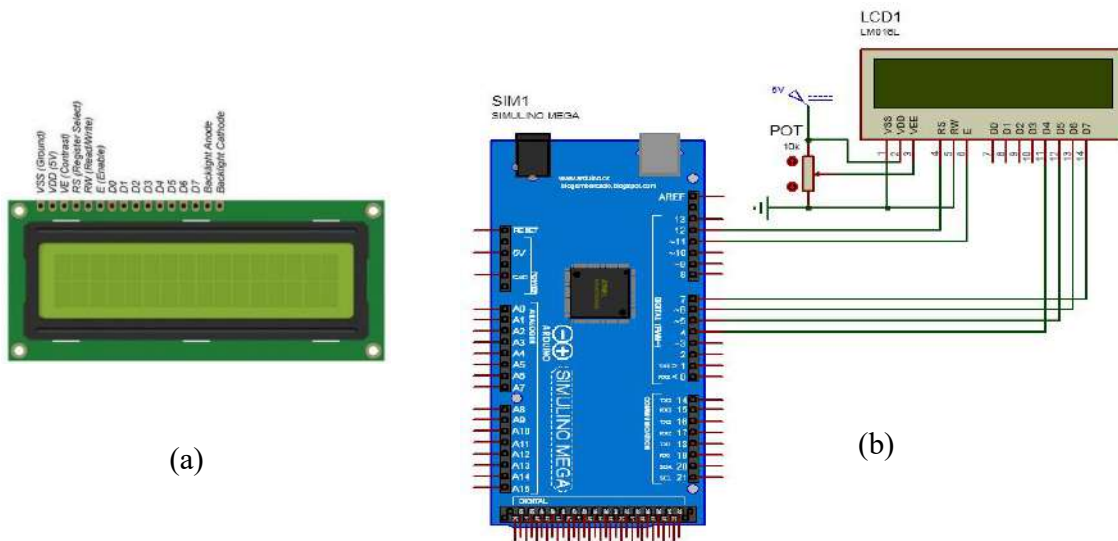
Pour mesurer le courant de charge, on utilise la loi d'ohm. Le courant complet circulant dans la batterie est amené à traverser la résistance de shunt. Ensuite, par la loi d'ohm, on sait que la chute de tension à travers cette résistance est proportionnelle au courant qui la traverse. En outre, on choisit la valeur de la résistance shunt  $2.2 \Omega$ , et on mesure la tension qui lui est appliquée en utilisant l'autre broche analogique Arduino « A<sub>1</sub> », en conservant la loi précédente.

$$V = R \times I$$

II.4

### II.6.4 Bloc d'affichage

Afin d'afficher les diverses quantités mesurées ainsi que d'autres informations utiles, on a utilisé un afficheur LCD Alphanumérique de type  $16 \times 2$  avec 16 broches où les PINs (V<sub>SS</sub>, V<sub>DD</sub>, RS, R/W, V<sub>e</sub>, E, D<sub>4</sub>, D<sub>5</sub>, D<sub>6</sub>, D<sub>7</sub>, A et K) sont connectées aux bornes de la carte Arduino Méga comme le montre la figure II.5.



**Figure II.6** Présentation d'affichage ; (a) Écran LCD alphanumérique  $16 \times 2$ , (b) Liaison commande affichage.

Le processus de communication entre l'Arduino et l'écran LCD est respectivement comme suit.



- Broche RS LCD à la broche digitale D<sub>12</sub> ;
- Broche E LCD à la broche digitale D<sub>11</sub> ;
- Broche D<sub>4</sub> LCD à la broche digitale D<sub>4</sub> ;
- Broche D<sub>5</sub> LCD à la broche digitale D<sub>5</sub> ;
- Broche D<sub>6</sub> LCD à la broche digitale D<sub>6</sub> ;
- Broche D<sub>7</sub> LCD à la broche digitale D<sub>7</sub> ;
- Les deux broches « A et K » sont pour l'allumage du néon bleu de l'écran.

De plus, on connecte trois bornes de la résistance variable 10 k Ohm + 5V, GND et la broche V<sub>e</sub> de LCD respectivement afin de contrôler la contraste de LCD . Egalement on relie les broches d'alimentation (+ 5V et GND).

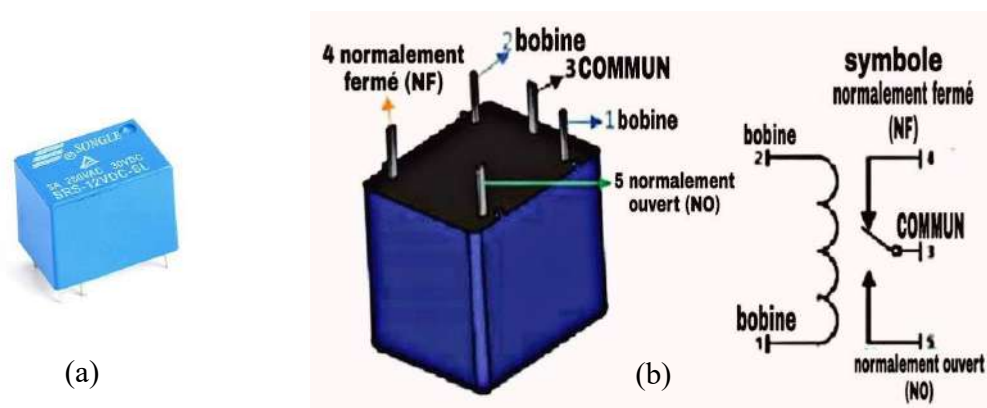
### II.6.5 Bloc de puissance

Selon l'algorithme (CV / CC) utilisé pour piloter ce chargeur, le processus de commutation de charge se déroule en deux étapes.

- Etape de changement de phase du mode CC au mode CV.
- Etape de déconnexion de la batterie du chargeur.

Le premier relais est utilisé pour basculer entre les modes CC et CV du chargeur, et ce relais est alimenté par la broche Arduino « D<sub>8</sub> ». Le relais est en mode CC lorsqu'il est allumé et il passe du mode CC au mode CV. De même, le deuxième relais est utilisé pour connecter ou déconnecter le chargeur de la batterie; Ce relais est alimenté par une broche Arduino « D<sub>9</sub> », le relais déconnecte la batterie du chargeur et lorsqu'il est allumé, il connecte le chargeur à la batterie.

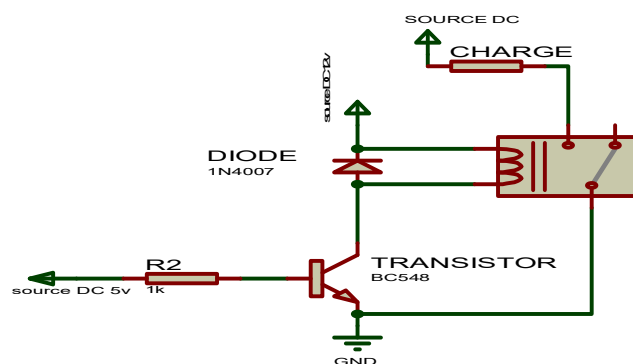
On a choisi un relais électromécanique de 12 Volts de type SPDT comme indiqué ci-dessous.



**Figure II.7** Partie de puissance ; (a) Boîtier du relais, (b) Structure de relais 12 Volts

Afin de commander les deux relais via les PINs « D<sub>8</sub>, D<sub>9</sub> » de la carte Arduino, il nous faut une amplification des signaux de commande qui sont de niveau 5 Volts, la nature des relais utilisés exige un seuil de 12 Volts, les éléments utilisés nous aide à réaliser cet étage d'amplification et qui sont:

- Une résistance 1 k $\Omega$  « pour limiter le courant traversant la base du transistor » ;
- Un transistor BC548 de type NPN « pour amplification » ;
- Une diode 1N4007 « pour protéger le circuit du courant inverse ».



**Figure II.8** Schéma de conception électrique du relais 12 Volts

## II.7 Présentation des éléments électriques de la réalisation pratique

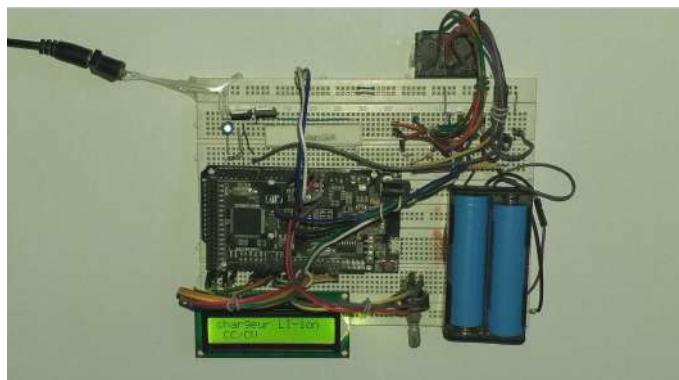
La conception et la fabrication d'un chargeur de batterie Lithium Ion de A à Z imposent du matériel spécifique, une connaissance globale de différentes techniques employées, et surtout beaucoup de temps et de patience. Pour cela, il faut établir un cahier des charges, définir ses besoins et où à aboutir (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.

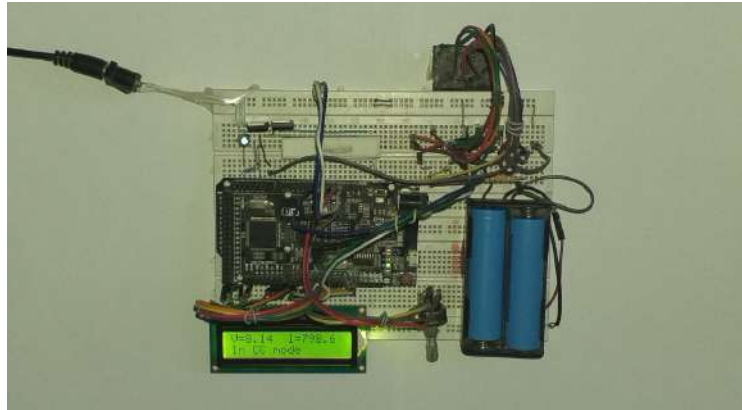
Eléments	Types	Valeurs	Quantités
Arduino	Méga 2560	/	1
Afficheur	LCD 16×2	/	1
Régulateur de tension	LM317T	1.2-37 V/1.5A	2
Relais électromécaniques	SPDT	12 V	2
Cellule rechargeable	Lithium Ion 18650	3.7 V	2
Adaptateur	AC/DC	12V-2A	1
Plaque d'essai	17×5.5cm	/	2
Résistance	R <sub>1</sub>	1.5Ω / 10W	1
	R <sub>2</sub>	2.2Ω / 1W	1
	R <sub>3</sub>	1k Ω	1
	R <sub>4</sub>	1k Ω	1
	R <sub>5</sub>	1M Ω	1
	R <sub>6</sub>	1M Ω	1
	R <sub>7</sub>	560 Ω	1
	R <sub>8</sub>	3.3 kΩ	1
Diode	1N4007	/	2
Transistor	NPN BC547	/	2
Résistance variable	Potentiomètre	10kΩ	1
Condensateur	C1	10μF	1

**Tableau II.1** Eléments électriques utilisés

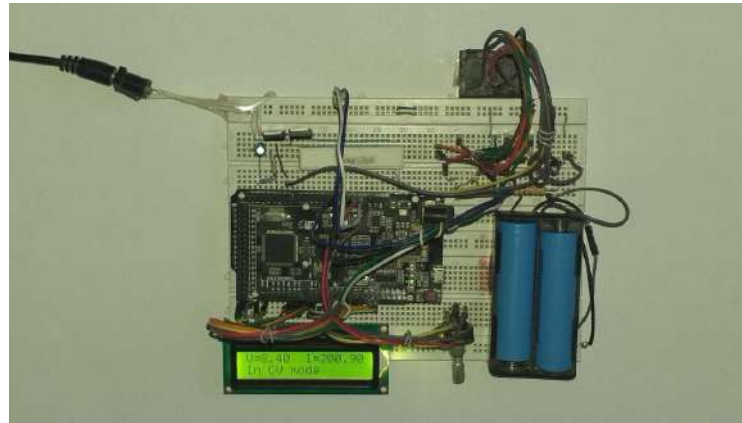
Les figures (II.9, II.10, II.11 et II.12) présentent quelques photos réelles pour des différentes phases du dispositif réalisé.



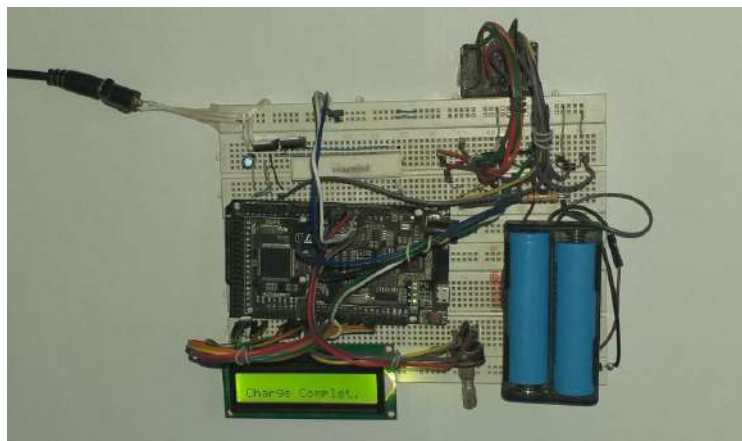
**Figure II.9** Photo présentant la phase pré charge



*Figure II.10* Photo présentant la phase CC



*Figure II.11* Photo présentant la phase CV



*Figure II.12* Photo présentant la phase de chargement

## II.8 Conclusion

L'actuel chapitre est concentré à l'étude de la partie pratique et la technique utilisée comme éléments essentiels pour la création d'un système de chargeur des cellules Lithium Ion. Pour cela on a présenté certaines techniques visant à gérer et à contrôler le fonctionnement de ces chargeurs. Ces techniques se basent essentiellement sur des algorithmes utilisant des critères pour la technique de recharge de batterie (CV / CC). Pour finir, on a présenté une étude technique, ainsi que le dimensionnement des composants électroniques utilisés dans les différentes parties, constituant notre prototype de chargeur pour des batteries lithium ion.

Le chapitre suivant sera consacré à la programmation de la carte Arduino et la présentation de l'algorithme de pilotage du chargeur par la technique « CV / CC » ainsi que l'explication des différentes étapes de la programmation. On terminera par une présentation des différents résultats des tests effectués sous l'environnement ISIS Proteus [Annexe B].

# Chapitre III

## **Description et analyse du programme**

### III.1 Introduction

Lors de ce dernier chapitre, on présentera un organigramme explicatif pour les différentes étapes du programme visant à organiser et à contrôler le processus d'un chargeur de batterie Lithium Ion. Ensuite, on passera à une présentation et à une explication du programme implémentées sur Arduino.

Enfin, on essaiera de présenter une simulation du projet pour atteindre les résultats voulus afin de confirmer la phase pratique.

### III.2 Langage de programmation

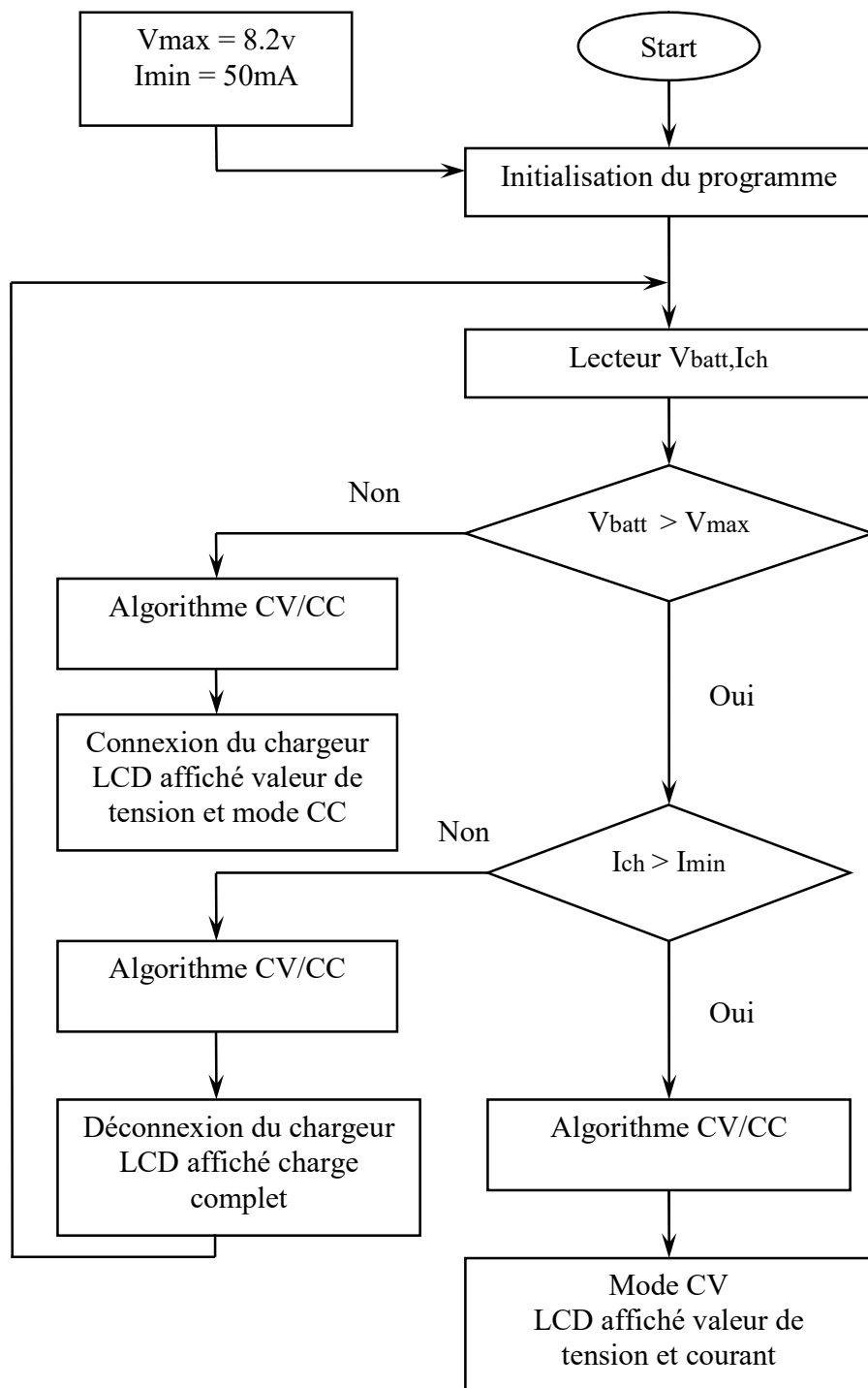
Afin de développer le programme contrôlant la charge de la batterie Lithium Ion par la technique (CV / CC), on utilise l'environnement de développement Arduino IDE qui est basé sur le langage C++, par la richesse des codes source accessibles et la disponibilité des bibliothèques qui facilitent l'utilisation des périphériques connectés à la carte arduino. Le programme est injecté dans le microcontrôleur de la carte Arduino après l'avoir converti par le compilateur du IDE en code HEX.

### III.3 Présentation de l'organigramme

Afin de faciliter la tâche de la programmation d'une telle carte « Arduino » on va passer tout d'abord par la réalisation d'un organigramme. Il est très essentiel pour élaborer un programme qui va permettre d'éviter plus facilement les erreurs, d'organiser le travail notamment s'il exécute un programme plus complexe.

L'organigramme ou logigramme se compose des formes qui ont une signification liée au texte. Ces éléments suivent un ordre exact.

Toute action est symbolisée par un rectangle et tout choix est symbolisé par un losange.



*Figure III.1 Organigramme du chargeur de batterie au Lithium Ion.*

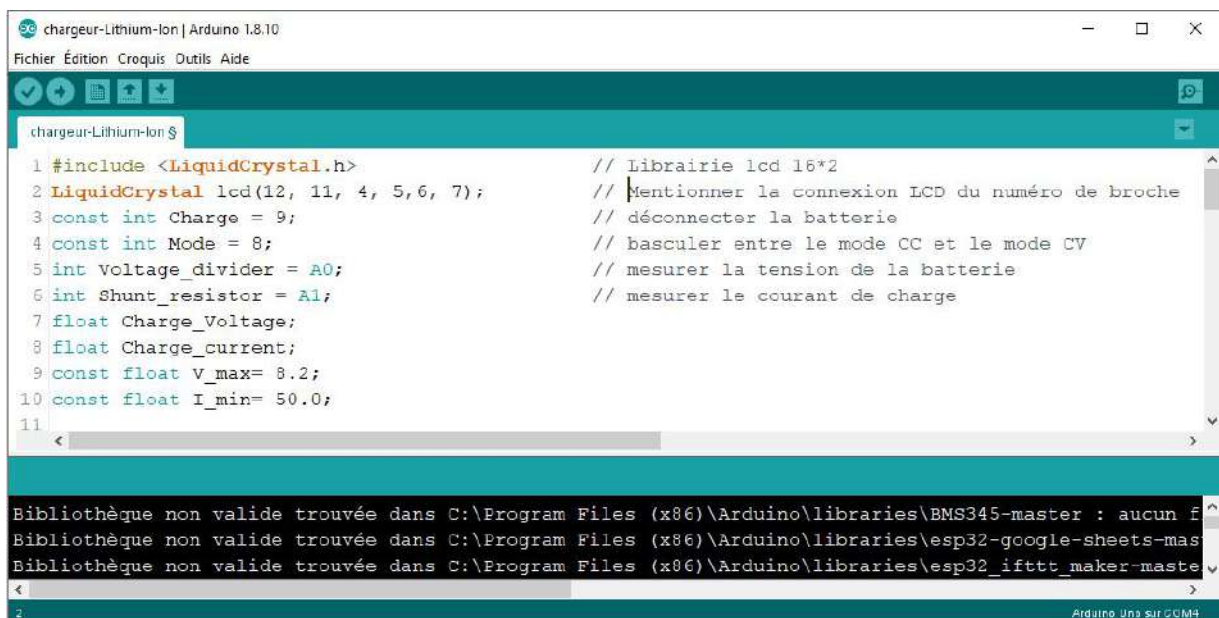
### III.4 Présentation du programme

On a présenté le programme source par des imprimés 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 constantes.
- Partie, initialisation et configuration des entrées / sorties : la fonction setup ( ).
- Partie principale qui s'exécute en boucle : la fonction loop ( ).

La figure III.2 présente un imprimé écran de l'IDE Arduino la première zone de déclaration. On commence le programme par un appel de la Bibliothèque « LiquidCrystal » en identifiant les broches de connexion de l'écran LCD avec la fonction LiquidCrystal (12, 11, 4, 5, 6, 7) et on fixe les deux broches digitales D<sub>8</sub> et D<sub>9</sub> par une déclaration définitive comme sorties afin de contrôler les deux relais.



```
chargeur-Lithium-Ion | Arduino 1.8.10
Fichier Édition Croquis Outils Aide

chargeur-Lithium-Ion $
1 #include <LiquidCrystal.h> // Librairie lcd 16*2
2 LiquidCrystal lcd(12, 11, 4, 5, 6, 7); // Mentionner la connexion LCD du numéro de broche
3 const int Charge = 9; // déconnecter la batterie
4 const int Mode = 8; // basculer entre le mode CC et le mode CV
5 int Voltage_divider = A0; // mesurer la tension de la batterie
6 int Shunt_resistor = A1; // mesurer le courant de charge
7 float Charge_Voltage;
8 float Charge_current;
9 const float V_max= 8.2;
10 const float I_min= 50.0;
11

Bibliothèque non valide trouvée dans C:\Program Files (x86)\Arduino\libraries\BMS345-master : aucun f
Bibliothèque non valide trouvée dans C:\Program Files (x86)\Arduino\libraries\esp32-google-sheets-mas
Bibliothèque non valide trouvée dans C:\Program Files (x86)\Arduino\libraries\esp32_ifttt_maker-maste
2 Arduino Uno sur COM4
```

*Figure III.2 Déclaration des bibliothèques, des variables ainsi que les constantes*

Pour les entrées analogiques A<sub>0</sub> et A<sub>1</sub> on les déclare respectivement comme des variables pour les deux grandeurs mesurées « tension, courant ».

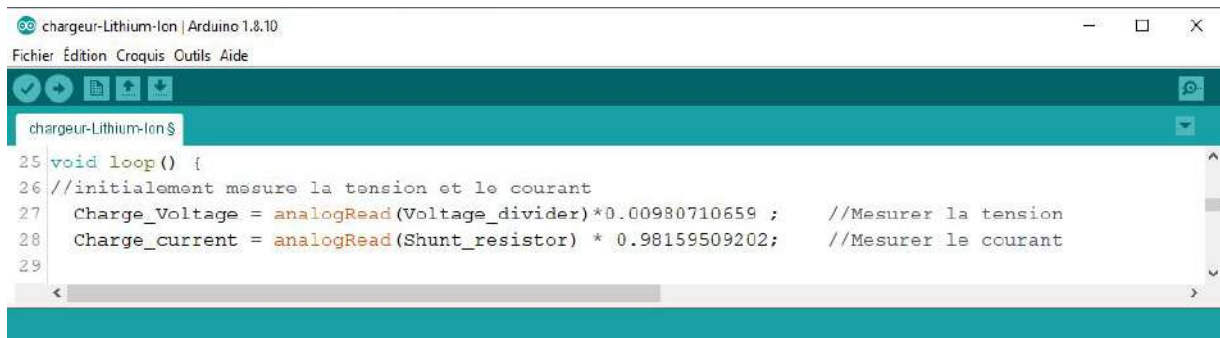
La figure III.3 présente la fonction de l'initialisation « setup », on initialise la fonction LCD et on affiche un message d'introduction sur l'écran. On définit également les broches des relais comme des broches de sortie. Ensuite, on excite le relais de charge et on connecte la batterie au chargeur qui reste en mode CC.



```
chargeur-Lithium-Ion | Arduino 1.8.10
Fichier Édition Croquis Outils Aide
chargeur-Lithium-Ion$
13 void setup() {
14   lcd.begin(16,2); // initialiser le lcd 16 * 2
15   lcd.print("chargeur LI-ion "); //Message d'introduction ligne 1
16   lcd.setCursor(0, 1);
17   lcd.print(" CC/CV "); //Message d'introduction ligne 2
18   pinMode (Charge, OUTPUT);
19   pinMode (Mode, OUTPUT);
20   digitalWrite (Charge,HIGH); //connexion de la batterie
21   digitalWrite (Mode,LOW); //initialement mode CC
22   delay(500);
23   lcd.clear();
24 }
```

**Figure III.3** Initialisation et configuration des entrées / sorties : la fonction setup

La Figure III.4 montre le commencement de la boucle principale « loop » où on voit la déclaration de deux fonctions qui présentent les deux grandeurs à mesurer « la tension de la batterie et du courant de charge ». Pour convertir les valeurs analogiques en valeurs numériques sur une résolution de 10 bits, on multiplie nos grandeurs respectivement par la valeur 0,0095 et la valeur 1,78.



```
chargeur-Lithium-Ion | Arduino 1.8.10
Fichier Édition Croquis Outils Aide
chargeur-Lithium-Ion$
25 void loop() {
26 //initialement mesure la tension et le courant
27 Charge_Voltage = analogRead(Voltage_divider)*0.00980710659; //Mesurer la tension
28 Charge_current = analogRead(Shunt_resistor) * 0.98159509202; //Mesurer le courant
29 }
```

**Figure III.4** Echantillon de la boucle principale

La figure III.5 présente 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.



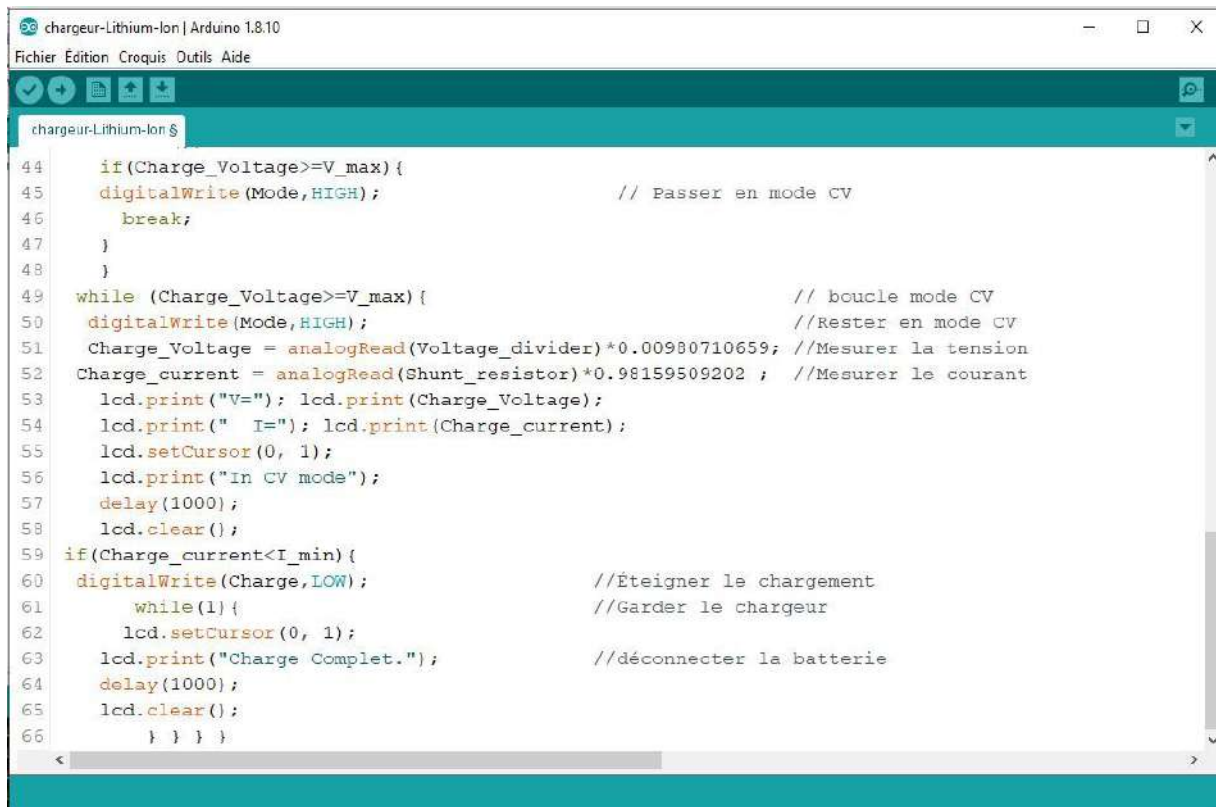
```
chargeur-Lithium-Ion | Arduino 1.8.10
Fichier Édition Croquis Outils Aide

chargeur-Lithium-Ion$
31
32 while (Charge_Voltage < V_max) { //boucle mode CC
33   digitalWrite (Mode, LOW); //Restez en mode CC
34   Charge_voltage = analogRead (Voltage_divider) * 0.00980710659 ; //Mesurer la tension
35   Charge_current = analogRead (Shunt_resistor) * 0.98159509202; // mesurer le courant
36   lcd.print ("v=");
37   lcd.print (Charge_Voltage);
38   lcd.print (" I=");
39   lcd.print (Charge_current);
40   lcd.setCursor (0, 1);
41   lcd.print ("In CC mode");
42   delay (1000);
43   lcd.clear ();
```

**Figure III.5** Echantillon de la boucle principale « mode CC »

La figure III.6 présente la dernière partie de la boucle de répétition si la tension dépasse  $V_{\max}$ , le chargeur passe en mode CV en réglant la broche de mode sur l'état haut. Le courant de charge peut varier en fonction des besoins de la batterie puisqu'une tension de 8,6 Volts est appliquée à la batterie. Dans ce mode, l'écran LCD affiche la valeur de la tension de la batterie et le courant de charge.

Ce courant de charge rentre dans une boucle de surveillance et lorsqu'il atteint une valeur en dessous de  $I_{\min}$ , on peut terminer le processus de charge en déconnectant la batterie du chargeur. Pour ce faire, on désactive simplement le relais de charge [17].



```
chargeur-Lithium-Ion | Arduino 1.8.10
Fichier Edition Croquis Outils Aide

chargeur-Lithium-Ion $
44   if (Charge_Voltage >= V_max) {
45     digitalWrite (Mode, HIGH);           // Passer en mode CV
46     break;
47   }
48 }
49 while (Charge_Voltage >= V_max) {        // boucle mode CV
50   digitalWrite (Mode, HIGH);           // Rester en mode CV
51   Charge_Voltage = analogRead (Voltage_divider) * 0.00980710659; // Mesurer la tension
52   Charge_current = analogRead (Shunt_resistor) * 0.98159509202; // Mesurer le courant
53   lcd.print ("V="); lcd.print (Charge_Voltage);
54   lcd.print (" I="); lcd.print (Charge_current);
55   lcd.setCursor (0, 1);
56   lcd.print ("In CV mode");
57   delay (1000);
58   lcd.clear ();
59   if (Charge_current < I_min) {
60     digitalWrite (Charge, LOW);        // Éteindre le chargement
61     while (1) {                         // Garder le chargeur
62       lcd.setCursor (0, 1);
63       lcd.print ("Charge Complet.");    // déconnecter la batterie
64       delay (1000);
65       lcd.clear ();
66     } } }
```

*Figure III.6* Echantillon du programme « mode CV »

## II.5 Réalisation virtuelle

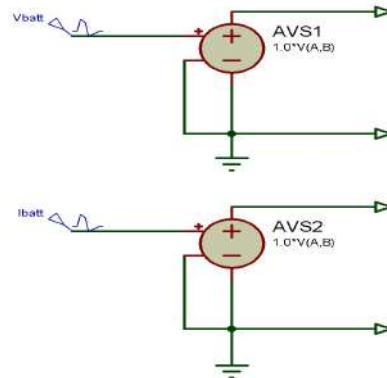
L'environnement CAO connu sous le nom de ISIS Proteus présente une plate forme de réalisation virtuelle ; il permet de faire des testes sans craindre de gaspiller des composants électriques et de créer des défauts réels afin d'éviter d'endommager nos cartes. Ce CAO électronique perfectionné conçu par Labcenter Electroniques permet ainsi de dessiner des schémas électroniques, de les simuler et de réaliser les circuits imprimés.

La figure si dessous présente la réalisation virtuelle globale sous l'environnement ISIS Proteus avec l'utilisation de la carte Arduino Uno au lieu d'une carte Arduino Méga utilisée en pratique. Cette utilisation est argumentée ultérieurement.

### III.5.1 Modèle de la batterie utilisée

Le logiciel «ISIS Proteus» ne contient pas de librairie ou de paquets «en anglais packages» pour batteries rechargeables tel que Lithium Ion on a donc modélisé à partir du composant «AVCVS» la source de tension contrôlée par tension arbitraire afin de simuler la

courbe de charge de cette batterie. La figure III.7 présente le modèle de la batterie rechargeable Lithium Ion 7.4Volts.



*Figure III.7* Modèle de batterie Lithium Ion sous ISIS Proteus

### III.5.2 Schéma global de la simulation

Sur la figure qui suit, on distingue les différents composants et connexions du chargeur réalisé avec la présence des cellules au Lithium Ion simulé où on remarque que la carte utilisée comme cerveau est l'Arduino Uno au lieu de l'Arduino méga. Il existe plusieurs broches qui ne sont pas utilisées ; ce qui prouve qu'il y a une grande possibilité d'ajouter autres capteurs pour améliorer le dispositif ainsi que le programme à l'avenir.

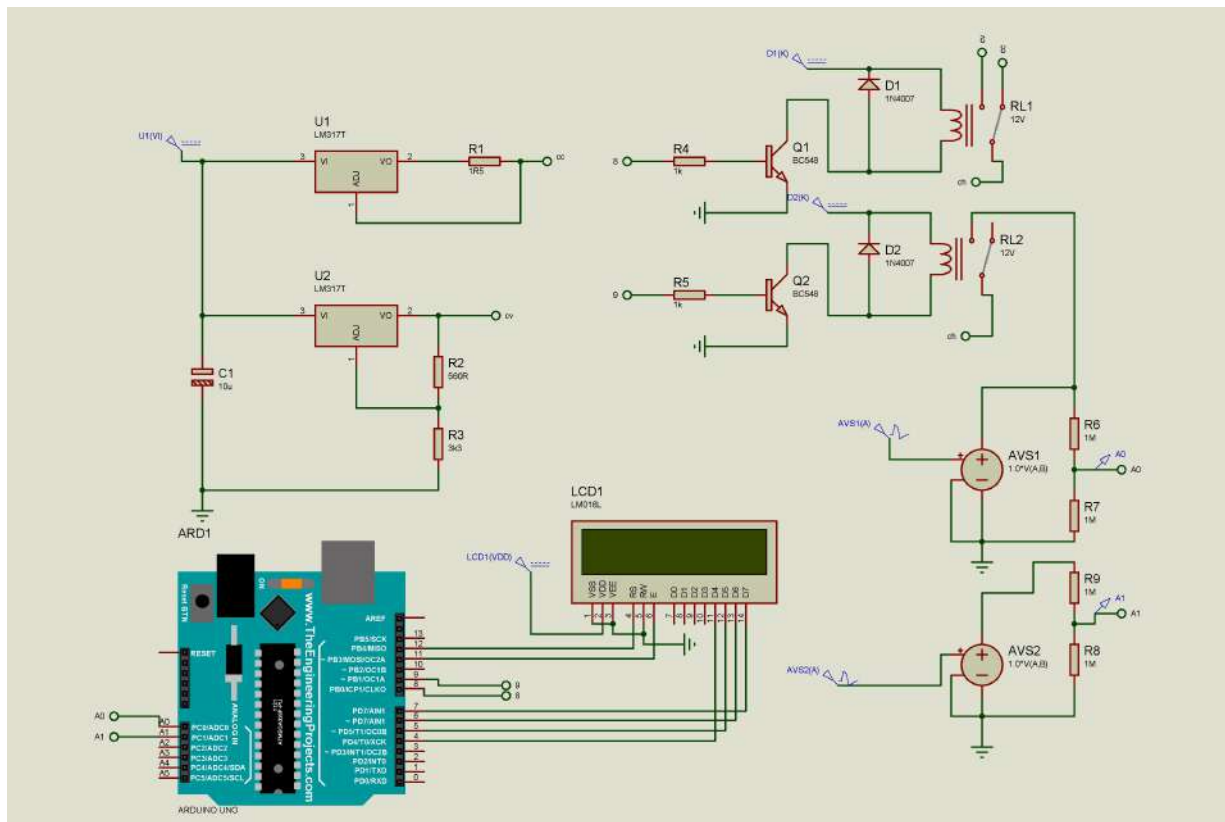


Figure III.8 Schéma global du dispositif réalisé sous ISIS Proteus

### III.6 Résultats de la simulation

Après la réalisation de ce dispositif virtuellement, on a effectué un test de simulation avec le logiciel mentionné précédemment. Les figures III.9 III.10 et III.11 présentent des imprimes écran de tous les modes cités précédemment et qui ont lieu pendant le processus de charge de la batterie Lithium Ion et affichés sur l'écran LCD.

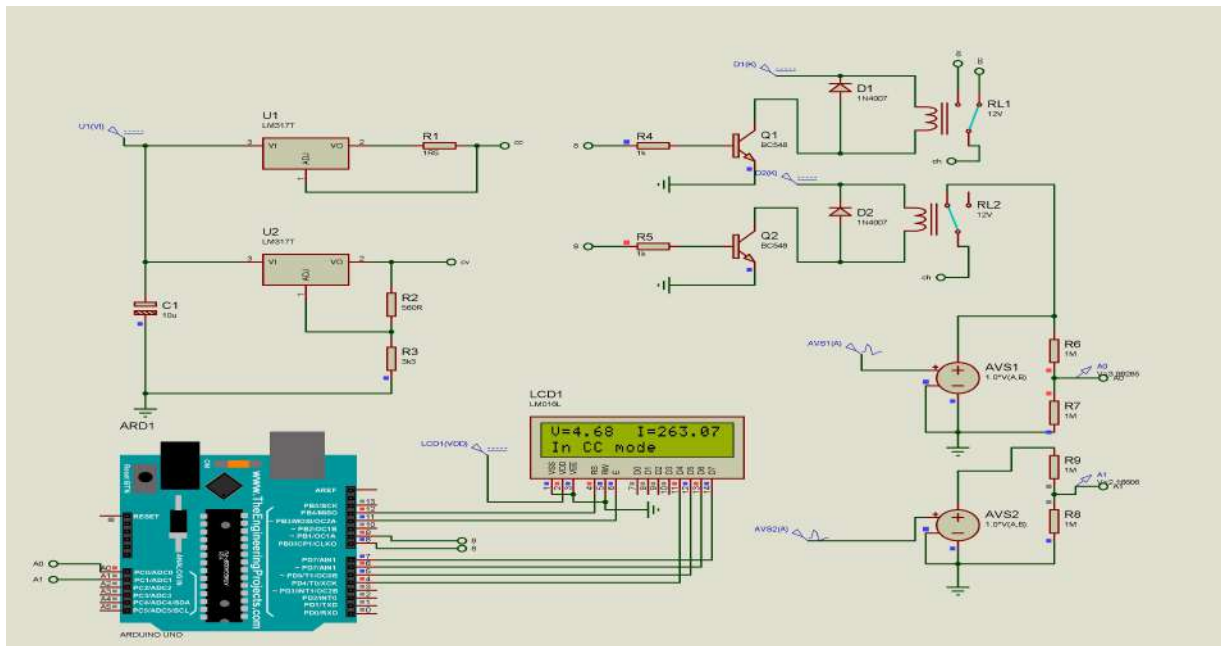


Figure III.9 Imprimé écran de la simulation du programme du chargeur sous ISIS Proteus pour le mode CC

On remarque sur la figure III.9 et III.10 que la position des commutateurs mécaniques des relais électromécanique change afin de passer d'un mode à un autre « CV et CC »

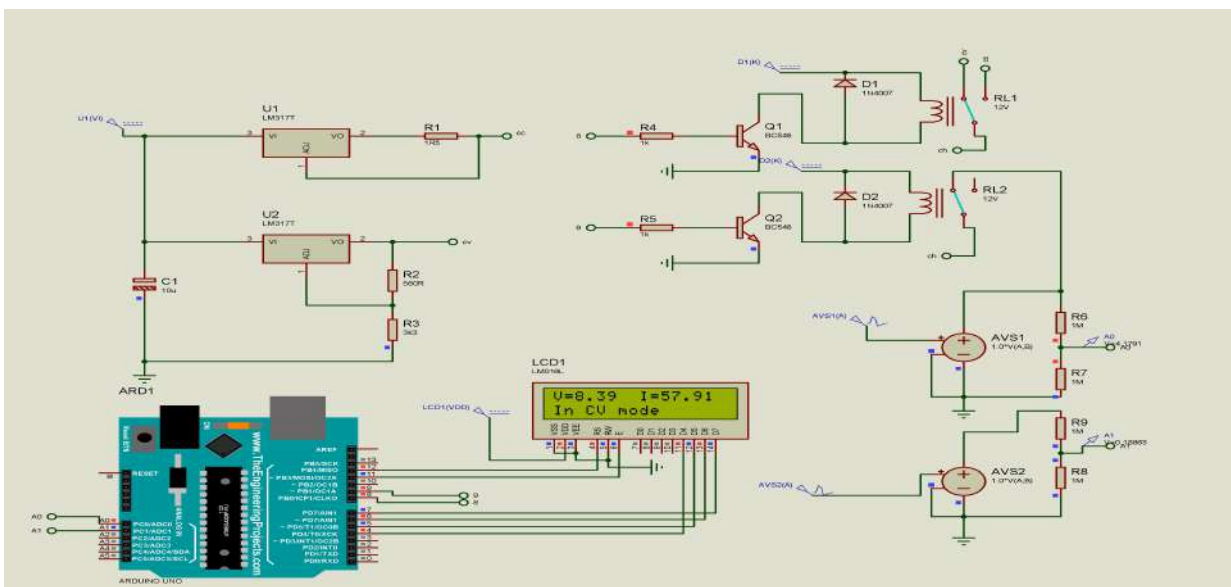


Figure III.10 Imprimé écran de la simulation du programme du chargeur sous ISIS Proteus pour le mode CV

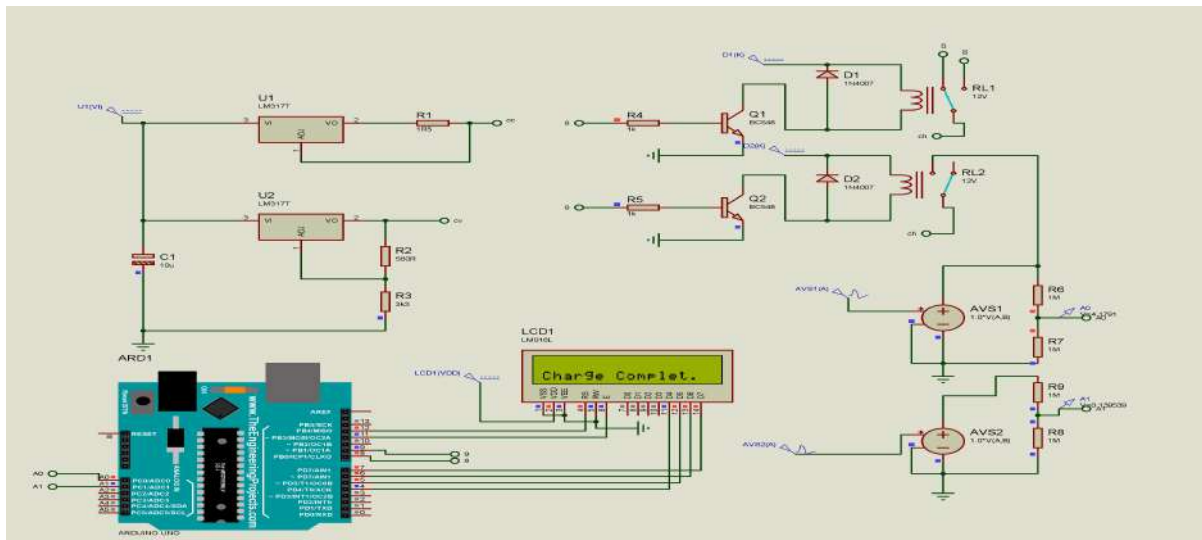


Figure III.11 Imprimé écran de la simulation du programme du chargeur sous ISIS Proteus en fin de charge

Les valeurs des tensions pour les figures (III.9 et III.10) sont en unité de Volt par contre les valeurs de l'intensité de courant des mêmes figures sont en unité de Milliampère. Lors de la simulation, on obtient les caractéristiques électriques de la charge représentée par le courant de charge et de la tension de la batterie en fonction de temps, que l'on voit dans la figure III.13.

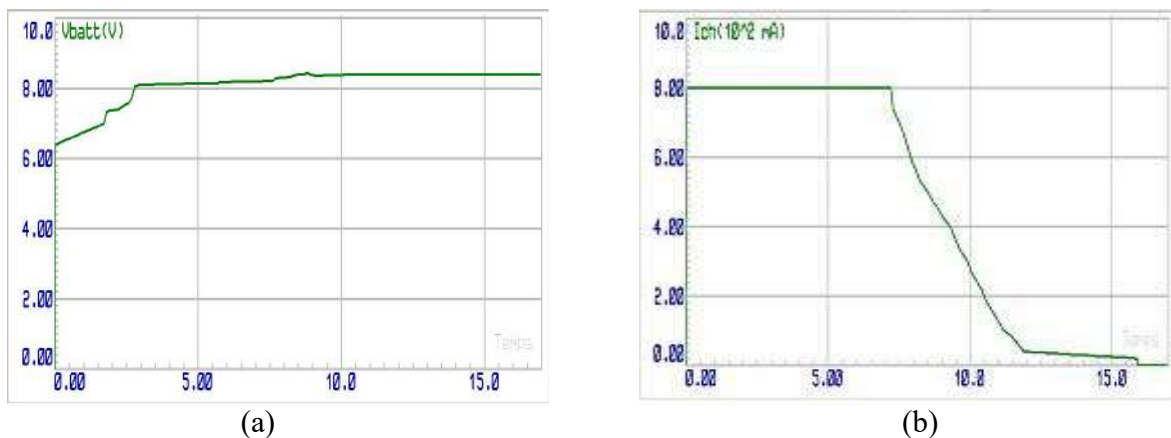


Figure III.12 Caractéristiques électriques de charge (Vbatt, Ich)

Sous l'environnement ISIS, la figure III.12 confirme les seuils de tension atteints pratiquement pour les deux cellules montées en série.

Dans l'environnement IDE de l'Arduino pour une carte Arduino Méga, le croquis utilise 4734 octets (1%) de l'espace de stockage du programme. Le maximum est de 253952 octets.



Les variables globales utilisent 137 octets (1%) de la mémoire dynamique, ce qui laisse 8055 octets pour les variables locales. Le maximum est de 8192 octets pour ce type de microcontrôleur « ATmega2560 ».

Pour une carte Arduino Uno, le croquis utilise 4480 octets (13%) de l'espace de stockage du programme. Le maximum est de 32256 octets pour la gamme des microcontrôleurs ATmega328P.

Les variables globales utilisent 137 octets (6%) de la mémoire dynamique, ce qui laisse 1911 octets pour les variables locales. Le maximum est de 2048 octets.

Pour une carte Arduino de type mini, le croquis utilise 4480 octets (14%) de l'espace de stockage du programme. Le maximum est de 30720 octets pour un microcontrôleur ATmega328.

Les variables globales utilisent 137 octets (6%) de la mémoire dynamique, ce qui laisse 1911 octets pour les variables locales. Le maximum est de 2048 octets.

D'après les valeurs et les pourcentages cités pour les trois types de cartes populaires dans le domaine des programmations des cartes Arduino, ces dernières cartes montrent une souplesse au niveau de la mémoire dynamique surtout la carte Arduino Méga qui a marqué une utilisation minimale de l'ordre de 1%.

En ce qui concerne l'utilisation de l'espace de stockage, les différentes cartes comparées sont au delà du niveau de la saturation du stockage avec une supériorité remarquée par la carte Arduino Méga.

Donc le programme réalisé pour charger une batterie au Lithium Ion de type 18650 [Annexe C], peut être implantable dans les trois cartes Arduino «Méga, Uno, Mini ».

### **III. 7 Conclusion**

Dans ce chapitre, on a passé en revue le développement de l'organigramme du chargeur des batteries Lithium Ion pour deux cellules en série afin de simplifier la programmation de ce dernier dans l'environnement IDE de l'Arduino et donner quelques explications pour les différentes étapes. Afin de confirmer les résultats pratiques du chapitre II ; la deuxième partie de ce chapitre a traité cette justification par une simulation sous l'environnement ISIS Proteus où on a présenté quelques figures et que l'utilisation de la carte Arduino Méga dans tel programme n'est pas une obligation.

# Conclusion Générale

## **1 Généralités**

Au terme de ce mémoire de fin d'étude, dont on a traité une technique de rechargement des batteries Lithium Ion où on a constaté que le dispositif réalisé commence son cycle de charge avec la programmation qui exige un démarrage avec le mode courant constant assurant à charger les deux cellules 18650 à l'intensité de courant maximum. Cette étape permet de charger la batterie rapidement afin d'augmenter sa charge et atteindre un niveau prédéfini quand la tension de cette pack de deux cellules montées en série a augmenté pour arriver à un certain niveau, le chargeur entre en mode tension constante en conséquence, la tension d'alimentation diminue jusqu'à ce que le courant soit au dessous du niveau de fin de charge. Ensuite la charge en mode CV se poursuit et le pack atteint sa pleine capacité à la fin de cette étape. Afin d'introduire à nouveau la batterie dans un autre cycle de recharge il se fait que le dispositif détecte une charge supérieure au courant de court-circuit.

## **2 Problèmes rencontrés**

Toute réalisation a ses aspects positifs et négatifs dont on est confronté à essayer de trouver leurs solutions et de les résoudre. Cependant, dépourvu du matériel adéquat vu le manque du transport vu la communication entre étudiants de part de la pandémie Covid-19 qui a affecté le monde entier et l'expérimentation à distance pour assurer la continuité pédagogique entre étudiants et enseignants dont on est arrivé difficilement à attraper le temps perdu afin de finaliser notre travail.

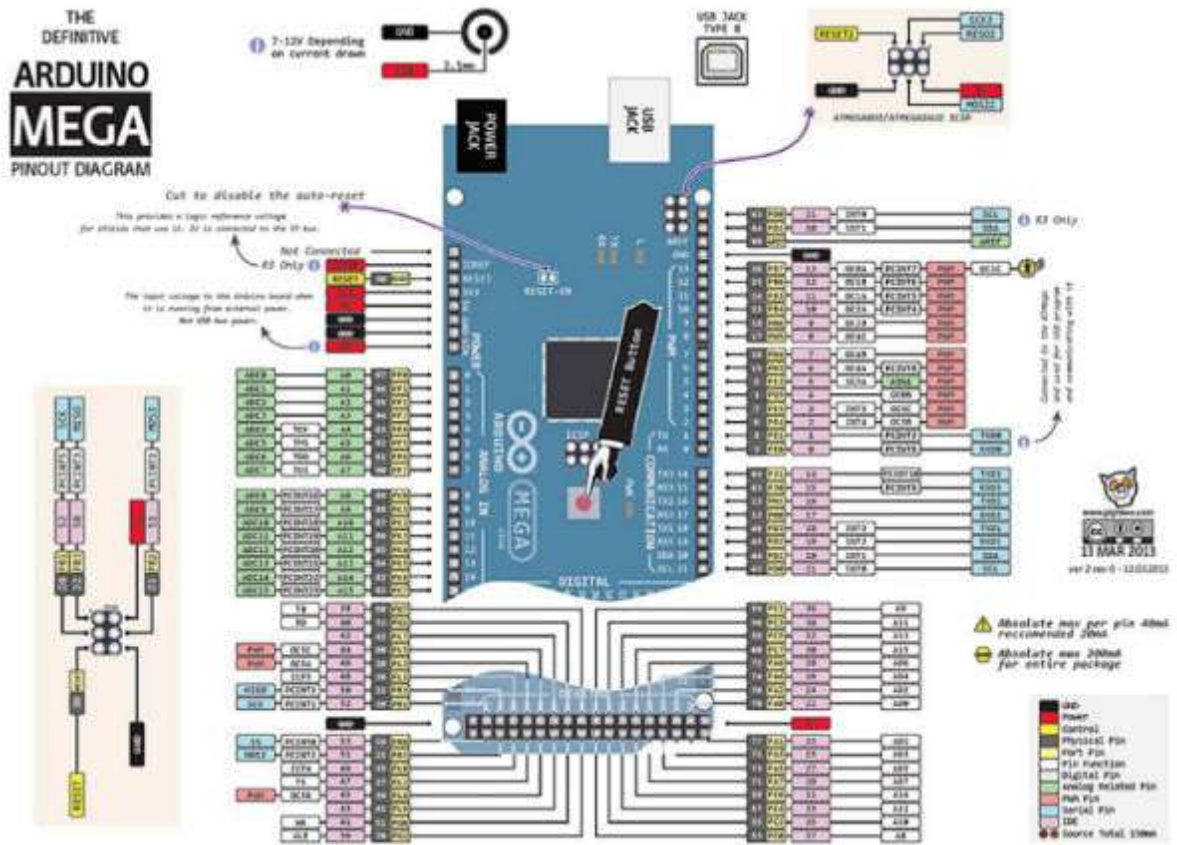
## **3 Perspectives du projet**

Les propositions soumises pour développer l'efficacité du projet:

- Optimiser le temps de charge avec la technique (CV / CC) la plus avancée incluant des méthodes intelligentes tels que ; les réseaux neurones, la logique floue et l'optimisation d'essaim de particules (PSO).
- Réaliser un dispositif pour recharger le plus grand nombre possible de cellules au Lithium Ion 18650 et le comparer avec un chargeur « professionnel » afin de tirer le gain d'amélioration.
- Réalisation d'un BMS pour un pack supérieur à deux cellules avec un montage série et parallèle.

# Annexes

Présentation de la carte Arduino Méga 2560



## Les Logiciels Utilisés



IDE pour programmer l'Arduino



Pour la simulation virtuelle de la carte

### Caractéristiques de base d'une cellule Lithium Ion 18650



Product Details	Company Details
<b>Product Specification</b>	
Min. Capacity	2200mAh
End Voltage(Cut off)	3.0V
Max. Discharge Current	-20 ~ 5 Degree C 1250mA 5 ~ 45 Degree C 5000mA 45 ~ 60 Degree C 3750mA
Weight	Max. 47g
Operating Temperature	Charge: 0 ~ 45 Degree C Discharge: -20 ~ 60 Degree C
Typical Capacity	2150mAh
Nominal Voltage	3.6V
Constant current	430mA
Constant voltage	4.2V
End current(Cut off)	50mA
Max. Charge Current	2150mA

# Références



## Références

- [1] Pancaldi, Giuliano (2003). *Volta, Science and Culture in the Age of Enlightenment*. Princeton Univ. Press. ISBN 978-0-691-12226-7.
- [2] M. Joulié, Mécanismes de dissolution de matériaux actifs d'électrodes de type LiNi<sub>1/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>O<sub>2</sub> d'accumulateurs Li-ion en vue de leur recyclage, Ecole Nationale Supérieure de Chimie Montpellier, 2015.
- [3] Sara ABADA. "Compréhension et modélisation de l'emballage thermique de batteries Li-ion neuves et vieilles". Thèse De Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie.2016.
- [4] Elie RIVIERE. "Détermination in-situ de l'état de santé de batteries lithium-ion pour un véhicule électrique". Thèse De Doctorat De La Communauté Université Grenoble Alpes.2016.
- [5] Eduardo REDONDO-IGLESIAS. "Étude du vieillissement des batteries lithium-ion dans les applications (véhicule électrique) : Combinaison des effets de vieillissement calendaire et de cyclage". Thèse De Doctorat De L'université De Lyon.2017.
- [6] Jin, X., Li, J., Zhang, C., & Wu, P. (2016). Researches on Modeling and Experiment of Li-ion Battery PTC Self-heating in Electric Vehicles. *Energy Procedia*, 104, 62–67. doi:10.1016/j.egypro.2016.12.012.
- [7] ISO 12405-4: Electrically propelled road vehicles --Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems -- Part 4: Performance testing, (2018).
- [8] IEC 62660-1: Rechargeable Cells Standards Publication Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles. Part 1: Performance testing, (2010).
- [9] Zhang, Q., Cui, N., Shang, Y., Duan, B., & Zhang, C. (2018). An improved Peukert battery model of nonlinear capacity considering temperature effect. *IFAC-PapersOnLine*, 51(31), 665–669. doi:10.1016/j.ifacol.2018.10.154.
- [10] Rezoug, M. R., Chenni, R., & Taibi, D. (2019). A New Approach for Optimizing Management of a Real Time Solar Charger Using the Firebase Platform Under Android. *Journal of Low Power Electronics and Applications*, 9(3), 23. doi:10.3390/jlpea9030023.
- [11] Hoshino, N., Tamura, S., & Akutagawa, T. (2019). Negative-to-positive thermal conductivity temperature coefficient transition induced by dynamic fluctuations of the alkyl chains in the layered complex (C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CuCl<sub>4</sub>. *Chemistry - A European Journal*. doi:10.1002/chem.201904553.
- [12] Augeard, A., Singo, T., Desprez, P., Perisse, F., Menecier, S., & Abbaoui, M. (2014). Arc analysis to the CID of li-ion battery cells in high-current applications. 2014 IEEE 60th Holm Conference on Electrical Contacts (Holm). doi:10.1109/holm.2014.7031038.
- [13] Dai, H., Zhang, X., Wei, X., Sun, Z., Wang, J., & Hu, F. (2013). Cell-BMS validation with a hardware-in-the-loop simulation of lithium-ion battery cells for electric vehicles. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 52, 174–184. doi:10.1016/j.ijepes.2013.03.037.
- [14] R.C. van Dongen. "Li-Ion Charger for Implantable Devices Selection of optimal charge algorithm and implementation". Master of Science in BioMedical Engineering, Biomedical Instrumentation at Delft University of Technology. 2012.
- [15] Weixiang Shen, Thanh Tu Vo, & Kapoor, A. (2012). Charging algorithms of lithium-ion batteries: An overview. 2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA). doi:10.1109/iciea.2012.6360973.
- [16] Site <https://electronics.stackexchange.com/questions/220444/why-some-phones-need-a-5v-charger-although-the-battery-needs-3-7v-only>.

## Références

- [17] Site d'inspiration <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/two-step-lithium-battery-charger-circuit-with-cc-cv-mode>

## 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).

## Abstract

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 الليثيوم بوليمر هي البطاريات المحمولة الأكثر استخدامًا هذه الأيام. ومع ذلك ، يجب التعامل معها بحذر ، حيث أنها لا تقبل الأحمال الزائدة ، فإن ادنى قدر من الإهمال يمكن أن يتسبب في انفجارها و يؤدي إلى خطر نشوب حريق. الهدف من مشروعنا هو دراسة وتصميم وإنتاج شاحن لمجموعة من خليتي ليثيوم أيون 18650 القابلة لإعادة الشحن والموضوعة على التسلسل في بجهد يقدر ب3.7 فولت كجهد اسمي. وفقًا لخوارزمية الشحن (تيار ثابت/ جهد ثابت) والتي تضمن الشحن الآمن بناءً على برمجية وحدة التحكم الدقيقة مثل ATMEL في Arduino.

**الكلمات المفتاحية :** بطاريات ليثيوم أيون ، التحميل الزائد ، شاحن ، 18650 خلية ، أردوينو ، خوارزمية الشحن ( CC / CV).