

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 :

**NETTARI Abdelghani**

**ZIGHMI Athmane**

**Thème:**

## **Etude et réalisation d'un chargeur de batterie au Lithium-ion**

Soutenu Le : 13/06/2022

Devant le jury :

M<sup>f</sup> TAIBI Djamel

MAA

Président

UKM Ouargla

M<sup>f</sup> KOURAS Sid Ali

MCB

Encadreur/rapporteur

UKM Ouargla

M<sup>f</sup> REZOUG Med Redha

MAA

Examineur

UKM Ouargla

**Année universitaire 2021/2022**

# *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.

NETTARI  
Abdelghani

ZIGHMI  
Athmane

# Remerciements

Nous tenons à remercier avant tout notre ALLAH, le très miséricordieux, qui grâce à lui. Nous souhaiterions remercier tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire :Mr **KOURAS Sid Ali** qui a ménagé effort pour nous orienter et nous conseiller tout au long de la réalisation de ce travail par sa disponibilité et son immense savoir-faire.

Nous remercions également notre frère **IBRAHIM** et **NETTARI Adel** pour les soutenir continu... Qui nous a donné beaucoup des informations Ainsi qu'à Tous Ceux qui ont contribué de près ou de loin à la Réalisation de Ce modeste travail.

**Sommaire**

	<b>Introduction générale</b>	
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	Constitution et Principe de fonctionnement d'une batterie	15
I.10.1.	Terminologies relatives aux Batteries :	16
I.10.2.	C-Rate (régime de chargement et de décharge)	16
I.10.3.	Capacité de stockage de la Batterie	17
I.10.4.	Résistance Interne	18
I.10.5.	État de charge charge (SOC)	19
I.11.	Fonctionnement d'une batterie Lithium-Ion	19
I.11.1.	Processus de charge	20
I.12	Package «séries, parallèles et mixte»	21
I.12.1	Package «séries» Addition des tensions	23

I.12.2 Package «parallèle»	23
I.12.3 Package «en série et en parallèle (combinée sou mixte)»	24
I.13 Conclusion	24

## **Chapitre II**

### **Réalisation d'un dispositif expérimental**

II.1 Introduction	26
II.2 Arduino	26
II.2.1. Définition	26
II.2.2. Applications	26
II.2.3. Bonnes raisons de choisir Arduino	27
II.2.4 Outils Arduino	27
II.2.5. Types de cartes	28
II.2.6. Différentes cartes	28
II.3 Pourquoi Arduino UNO	28
II.4 Partie programme	29
II.4.1. l'environnement de la programmation	30
II.4.2. Structure générale du programme (IDE Arduino)	30
II.4.3 Injection du programme	30
II.4.4 Description du programme	31
II.4.5 Les étapes de téléchargement du programme	32
II.5 Chargeur électrique	33
II.6 Contrôle de fin de charge	33
II.7 Technique de Charge	34
II.7.1 Charge à courant constant (CC) à plusieurs étages	34
II.7.2 Charge par impulsions	34
II.7.3 Charge à courant constant et tension constante	35
II.8 Critères de choix de la technique utilisée	36
II.9 Réalisation pratique	37
II.9.1 Bloc d'alimentation	37
II.9.2 Bloc de régulation	38
II.9.2.1 Régulateur de courant	38
II.9.2.2 Régulateur de tension	38
II.9.3 Bloc de mesure	39
II.9.3.1 Diviseur de tension	39
II.9.3.2 Résistance shunt	40
II.9.4 Bloc d'affichage	40
II.9.5 Bloc de puissance	41
II.10 Présentation globale de la réalisation pratique	42
II.11 Conclusion	44

## **Chapitre III**

### **Description et analyse du programme**

III.1 Introduction	46
III.2 Langage de programmation	46
III.3 Présentation de l'organigramme	46
III.4 Présentation du programme	47
III.5 Réalisation virtuelle	50
III.5.1 Modèle de la batterie utilisée	50
III.5.2 Schéma global de la simulation	51
III.6 Résultats de la simulation	52
III.7 Conclusion	54

### **Conclusion générale**

1 Généralités	56
2 Problèmes rencontrés	56
3 Perspectives du projet	56

Annexe	<b>Annexes</b>	58
Références	<b>Bibliographie</b>	44

**Figure I.1** Schéma d'une représentation chimique

**Figure I.2** Gamme des cellules cylindriques

**Figure I.3** Cellules «POUCH»

**Figure I.4** Cellules prismatiques

**Figure I.4 :** cellule voltaïque d'une batterie.

**Figure I.5 :** Cellule voltaïque composée de deux demi-cellules reliées par un électrolyte

**Figure I.6 :** Représentation schématique d'une batterie en charge (a) et en décharge (b).

**Figure I.7 :** Cycle de vie d'une batterie Li-ion à différents taux de déchargement

**Figure I.8 :** L'effet de la température sur la résistance effective totale

**Figure I.9:** Batterie déchargée (état initial)

**Figure I.10 :** batterie en charge

**Figure I.11 :** Étapes de charge d'une batterie Li-ion

**Figure I.12** Package «séries, parallèles et mixte»

**Figure II.1.** Carte Arduino "UNO".

**Figure II.2.** Interface IDE Arduino

**Figure II. 3.** Paramétrage de la carte

**Figure II. 4.** Les étapes de téléchargement du code

**Figure II.5** Profil typique de charge d'une cellule Lithium Ion

**Figure II.6** Organigramme de l'algorithme courant constant (CC) et tension constante (CV)

**Figure II.7** Schéma synoptique du dispositif

**Figure II.8** Schéma du régulateur de courant ; (a) boîtier du régulateur, (b) présentation sous ISIS Proteus

**Figure II.9** Schéma du régulateur de tension

**Figure II.10** Présentation d'affichage ; (a) Écran LCD alphanumérique 16×2, (b) Liaison commande affichage.

**Figure II.11** Partie de puissance

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

**Figure II.13** Photo présentant la phase pré charge

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

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

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

*Figure III.4* Echantillon de la boucle principale « mode CC »

*Figure III.5* Modèle de batterie Lithium Ion sous ISIS Proteus

*Figure III.6* Schéma global du dispositif réalisé sous ISIS Proteus

*Figure III.7:* La courbe du Tension

*Figure III.8 :* La courbe du Curant

## Liste des Tableau

*Tableau I.1* Technologies des batteries Lithium

*Tableau II.1* Eléments électriques utilisés



---

**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 des problèmes d'interruption des sources d'énergie il faut que les systèmes de stockage d'énergie doivent être plus efficaces et plus sûrs. Les accumulateurs sont au centre de ce contexte car elles 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 (12Volts) 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 leurs 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].

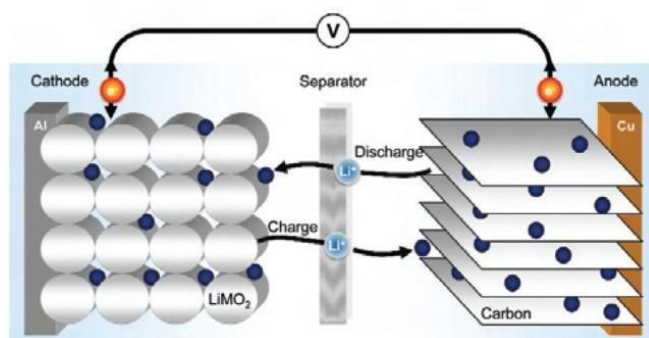
Aujourd'hui, la meilleure technologie des batteries en la matière repose sur le Lithium Ion. Ce type de batterie a été inventé dans les années 1970 pour répondre à la crise pétrolière. Depuis, elle s'est perfectionnée et imposée dans tous les tous les secteurs, mais son utilisation massive

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** Schéma d'une présentation chimique

Les indices sur la figure sont :

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

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

LiMO<sub>2</sub> : Lithium-rich layered oxide materials.

Des qualités rendent cette batterie un 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 « quelque % 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  $C / 2$  à  $1^\circ \text{C}$  ( $C$  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 suivant 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 Cugnot 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.

### **I.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 ½ 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, 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.

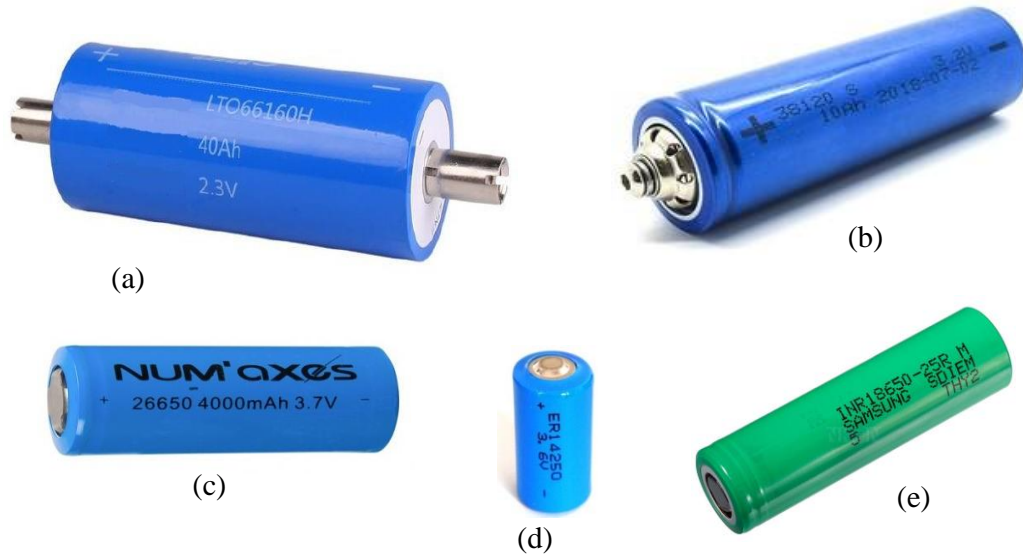
## **I.6 Formes de cellules Lithium Ion**

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. 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 surchauffé généralement et devient résistant et se comporte comme une protection contre les courts-circuits

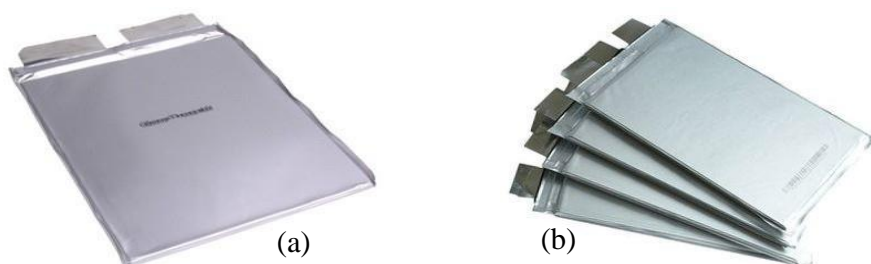
[6]. Une fois le court-circuit supprimé, le PTC se refroidit et revient à l'état initial « conducteur ». La figure ci-dessous présente quelques cellules cylindriques au lithium.



**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 18650-25R M Li-ion 2500mAh 3.7V

### I.6.2 Cellules «POUCH»

Cette gamme des cellules au lithium appelées «poche», 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

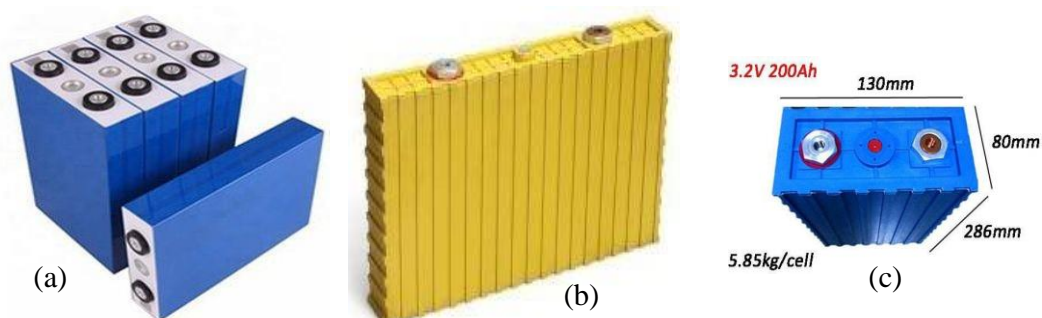
L'aspect positif de cette technologie est la haute densité d'énergie qui peut être obtenue et le faible coût de son enveloppe. Sur le marché, il existe des cellules «POUCH» allant de quelques 100 mAh à 40 Ah ou plus, mais les fabricants offrant des capacités supérieures sont très rares. L'inconvénient 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 LiFePO<sub>4</sub> 3.2V 60Ah de lithium pour UPS/EV/inverseur; (b) 3-2V-400Ah-Thundersky-Lifeypo4-Lithium-Ion «Stockage d'énergie solaire » ; (c) ; 3.2V LiFePO<sub>4</sub> 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:

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

Où :

$C_p$  : est la capacité selon Peuket, 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.

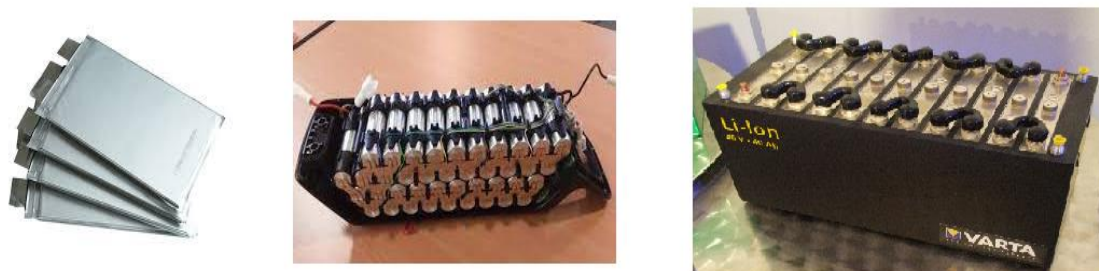
- Le (PTC) en anglais « **Positive Thermal Coefficient** » : actuellement, la plupart des cellules cylindriques commercialisées en ont. Ce PTC à la forme d'anneau est constitué d'un polymère irradié (polyéthylène) laminé avec un métal. Dans le cas de surcharge, ce polymère chauffe, change de phase, résiste 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.

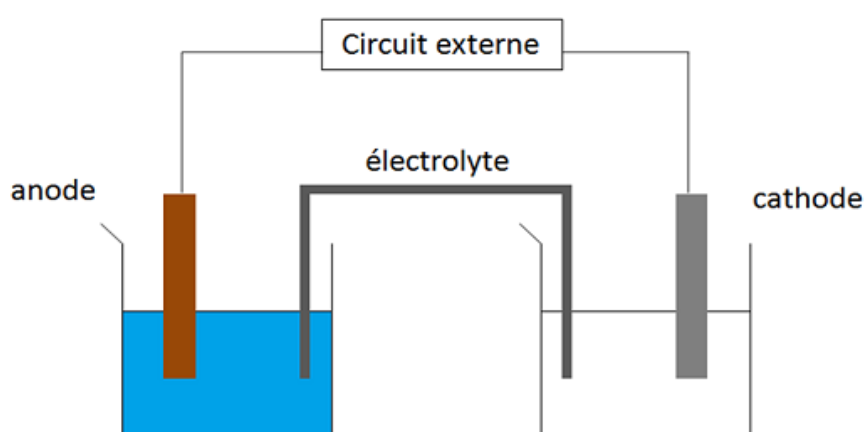
### I.10 Constitution et Principe de fonctionnement d'une batterie

Une batterie est un dispositif qui convertit l'énergie chimique directement en énergie électrique [17] elle se compose d'une ou plusieurs cellules voltaïque [19].



*Figure I.4 : cellule voltaïque d'une batterie.*

Chaque cellule voltaïque se compose de deux demi-cellules connectées en série par un électrolyte conducteur contenant des anions (ions négatifs) et des cations (ions positifs). Une demi-cellule contient l'électrolyte et une électrode utilisée pour la migration des anions, c'est l'anode ou l'électrode négative. L'autre demi-cellule comprend l'électrolyte et l'électrode utilisée pour la migration des cations, c'est la cathode ou l'électrode positive. Le principe d'une cellule voltaïque est représenté à travers la figure II.5



*Figure I.5 : Cellule voltaïque composée de deux demi-cellules reliées par un électrolyte.*

Les réactions chimiques à l'origine du fonctionnement d'une batterie mettent en jeu deux couples d'oxyda-réducteurs notés  $OX^-/Red^-$  et  $OX^+/Red^+$ , correspondant respectivement aux électrodes négatives et positives. Les potentiels d'équilibre résultant de chacun des coups

les 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 II.6.b). En partant de l'électrode négative, le manque d'électrons crée une réaction d'oxydation. De même, en arrivant sur l'électrode positive, les électrons vont produire une réduction à l'interface électrochimique [19]. La figure suivante montre le principe de fonctionnement des batteries pendant la charge et la décharge.

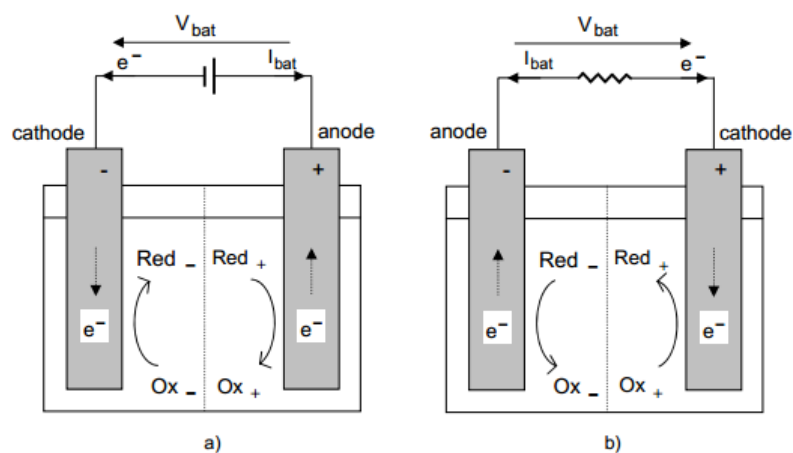
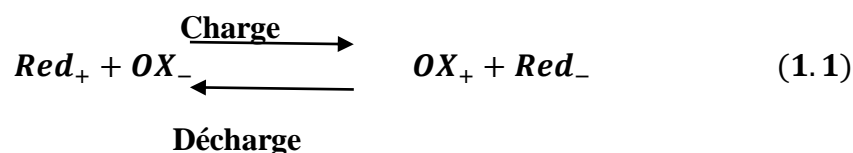


Figure I.6 : Représentation schématique d'une batterie en charge (a) et en décharge (b).

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.10.1. Terminologies relatives aux Batteries :

Dans cette section quelques terminologies communes aux batteries et employées dans un BMS (Battery Management System) sont brièvement décrites.

### I.10.2. C-Rate (régime de chargement et de décharge)

Le chargement et le déchargement d'une batterie est mesurée en C-Rate. Les batterie sortables sont évaluées à 1C [17, 19, 20]. Cela signifie que la batterie à 1Ah devra fournir 1A pendant une heure si elle se décharge à un régime 1C. Théoriquement, si la même batterie

se déchargerait à 0.5C, elle devra fournir 500 mA pendant deux heures. 1C est souvent désigné comme une décharge à une heure et 0.5C serait une décharge à deux heures [21]. Bien que les batteries rechargeables offrent dans l'ensemble de bonnes capacités de chargement, le nombre de cycles (directement lié à la durée de vie de la batterie) est plus élevé si le courant de décharge est maintenu modéré. La figure I.6 montre les pertes de capacité permanentes en utilisant des taux de décharge de 1C, 1.3C et 2C. Le test a été effectué sur une batterie lithium-ion [22].

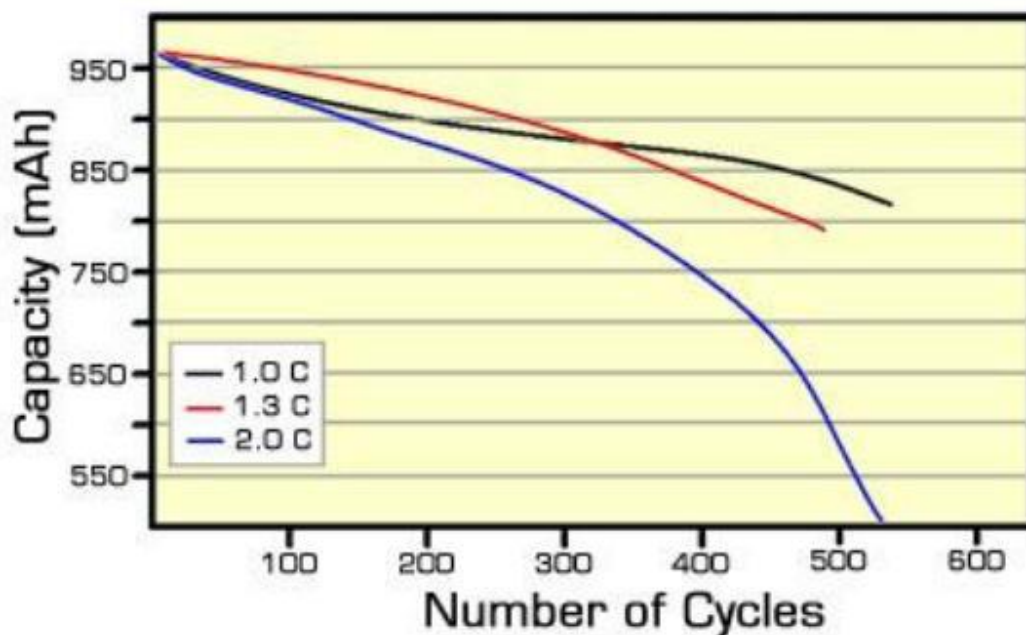


Figure I.7 : Cycle de vie d'une batterie Li-ion à différents taux de déchargement

### I.10.3. 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 [17, 23, 24]. 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 [19].

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 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.

La capacité disponible de la batterie est aussi fonction de son régime de dé charge .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.10.4. Résistance Interne :**

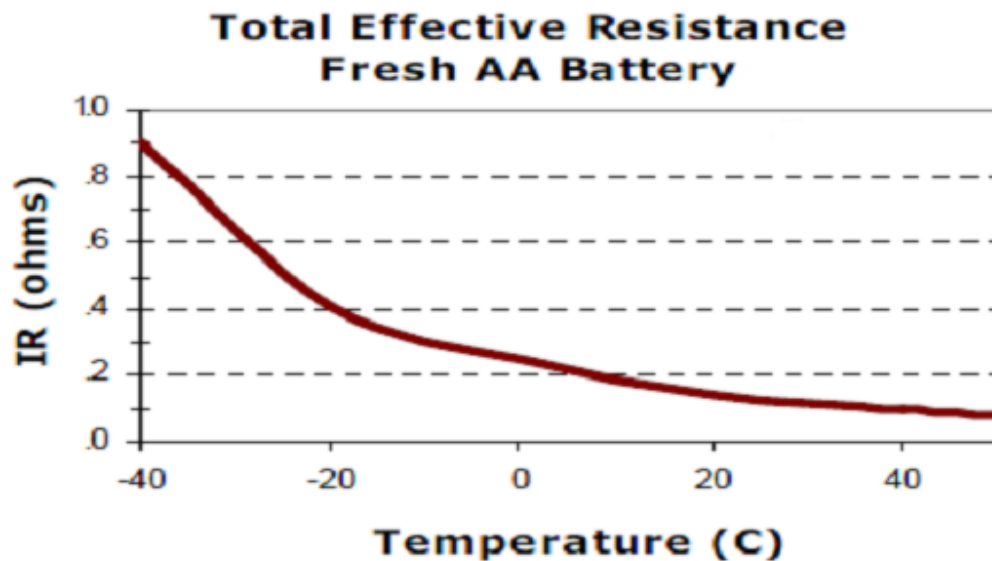
La résistance interne d'une batterie est définie comme l'opposition à la circulation du courant dans une batterie. Il y a deux composantes essentielles pour cette résistance : La résistance électronique et la résistance ionique. Cette dernière est l'opposition au passage du courant dans la batterie due à des facteurs électrochimique 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 [23, 24,25].

Alors La résistance interne de la batterie est reliée à l'ensemble des éléments qui constituent la batterie. Elle elle comprend [26] :

- 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 [27].



*Figure I.8 : L'effet de la température sur la résistance effective totale.*

#### I.10.5. État de charge charge (SOC) :

Le SOC (état de charge) est le pourcentage de la charge actuelle par rapport à la charge maximale prévue dans une batterie [23]. 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).

L'indication du SOC n'est pas aussi simple que cela pourrait paraître et elle implique des mesures et une modélisation de la batterie [20]. L'état de charge 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.11. Fonctionnement d'une batterie Lithium-Ion

La batterie lithium-ion est basée sur l'échange réversible de l'ion lithium entre L'électrode positive et l'électrode négative. La tension nominale d'un élément Li-ion est de 3,6 V ou 3,7 V (selon la technologie).

Lorsqu'une industrie fabrique une batterie Li-ion, elle assemble d'abord une batterie déchargée comme le montre la figure suivante [28] :

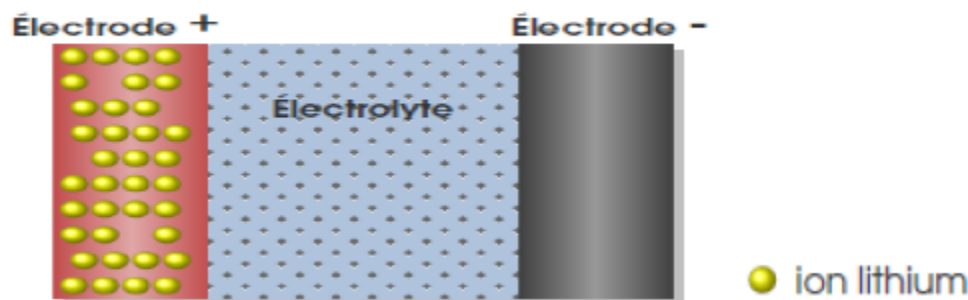


Figure I.9: Batterie déchargée (état initial)

### I.11.1. Processus de charge :

L'accumulateur est chargé par un courant constant, ce qui va causer le déplacement des électrons de l'anode (borne positive dans ce cas) vers la cathode (borne négative) [29]. 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.

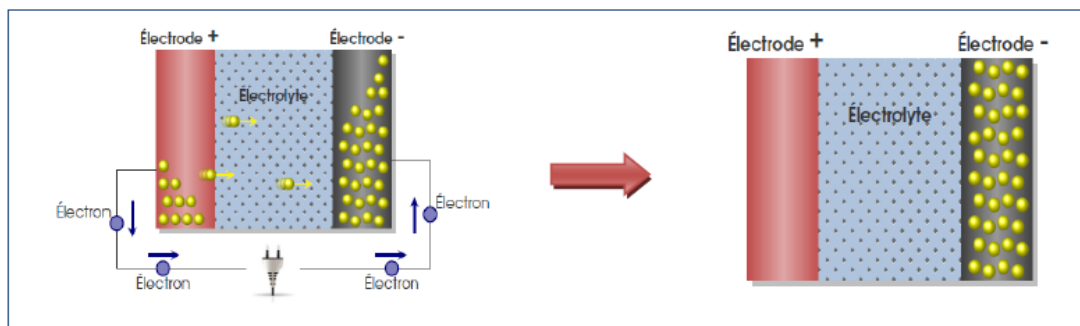
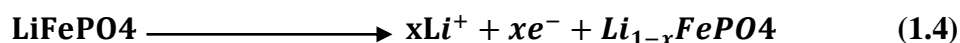


Figure I.10 : batterie en charge

Prenant l'exemple d'une technologie lithium basée sur l'oxyde d'Olivine lithiné ( $\text{LiFePO}_4$ ) pour l'électrode positive et sur le graphite ( $\text{LiC}_6$ ) pour l'électrode négative [30] :

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

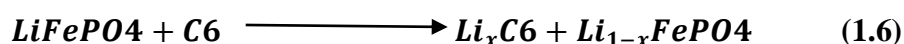
Suivante :



- 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  $\text{Li}^+$  sont extraits du  $\text{LiFePO}_4$  et des ions  $\text{Fe}^{2+}$  sont oxydés en  $\text{Fe}^{3+}$ . Les ions lithium sont alors transportés à l'anode par l'électrolyte où ils sont réduits pour reprendre un aspect métallique (Lithium métal), tandis que les électrons sont insérés dans le graphite.

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

- En début de charge et durant toute la première phase de la charge, le courant est limité (phase CC) et la tension augmente petit à petit jusqu'à atteindre la tension régulée.
- A partir de là on atteint la deuxième phase dite de remplissage (phase VC) la tension reste parfaitement stable et le courant diminue pour se rapprocher de 100 % de charge.

La charge est terminée lorsque le courant passe en dessous du seuil de décharge (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 [20].

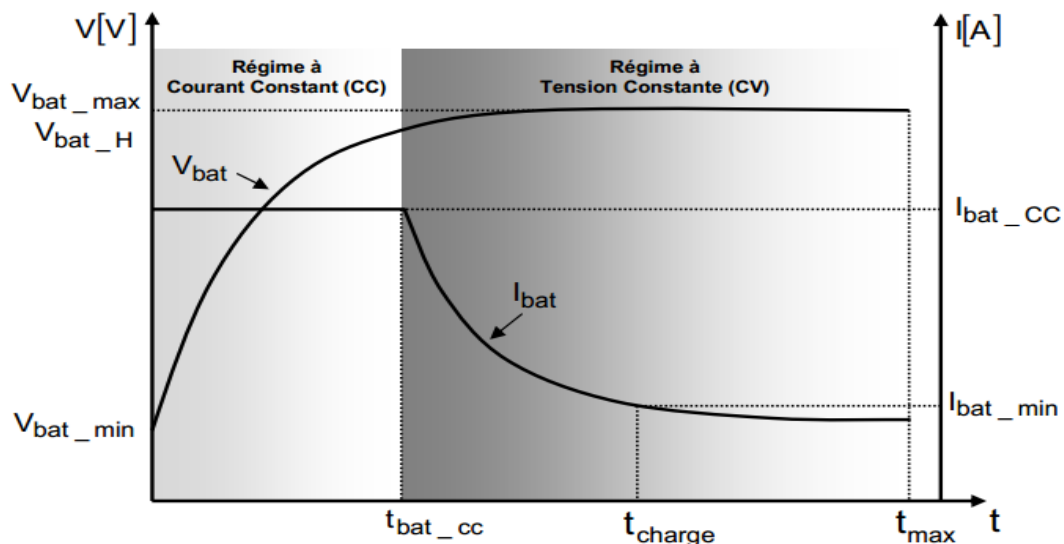


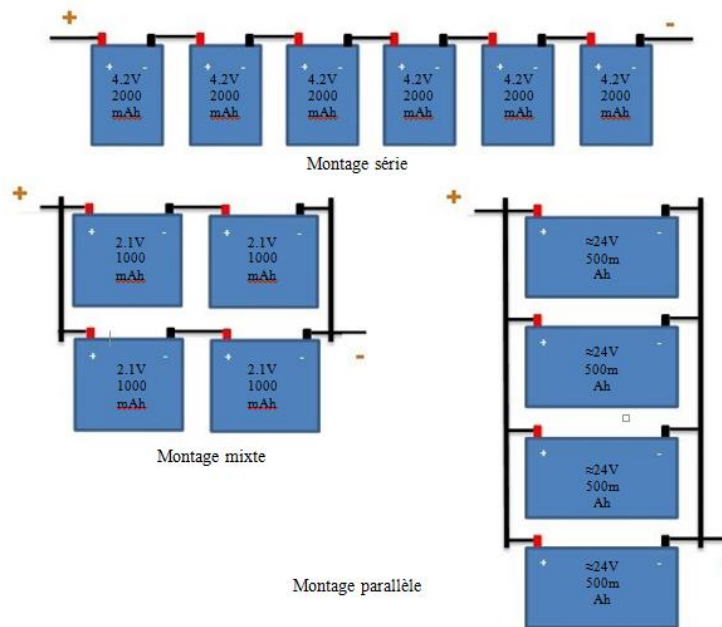
Figure I.11 : Étapes de charge d'une batterie Li-ion [3].

### I.12 Package «séries, parallèles et mixte»

Le package optimal de batteries étant plus simple, il consiste en une rangée de cellules uniquement en série ou en parallèle ou mixte. Cette conception réduit l'entretien des batteries



et l'impact des défauts aléatoires de fabrication car les cellules ne sont jamais parfaitement identiques.



**Figure I.12** Package «séries, parallèles et mixte»

Supposons que nous avons besoin d'une capacité de 2000mAh en 24Volts. Nous pouvons l'obtenir avec une seule rangée de 6 cellules de 4.2Volts de 2000mAh en série ou deux rangées parallèles composées de 2 piles 2.1Volts 1000mAh ou 4 rangées parallèles de batteries 24V 500mAh. Le diagramme ci-dessus montre ces trois variantes. [27]

L'erreur fréquente consiste à utiliser des petites batteries et à les installer en parallèle vu que cette approche paraît moins coûteuse. Le problème est que quand le courant se répartit, il n'est jamais exactement égal entre les différentes rangées de batteries.

Généralement une batterie un peu plus résistive ou une corrosion des bornes feront qu'une rangée entière de batteries va recevoir moins de charge. Cette rangée va se dégrader avant les autres parce qu'un remplacement partiel aggrave les déséquilibres, comme solution pratique on peut remplacer la rangée entière des batteries.

Afin de réduire ou d'éviter la mise en parallèle des batteries, on utilise la plus haute tension possible. A titre d'exemple, les mêmes batteries qui forment deux rangées parallèles à 24Volts peuvent être reliées en une seule rangée en série pour former une source de 48Volts,

d'où la quantité d'énergie stockée reste la même, mais la configuration obtenue est plus simple et le courant est réduit de moitié (diminution des pertes liées aux résistances électriques d'un facteur 4

: $P=RI^2$ ).

Comme précaution si nous devons installer plusieurs rangées parallèles de batteries il est évident d'éviter d'empiler les cosses à œillet sur les bornes (négatives et positives) pour établir les connexions.

### I.12.1 Package «séries» Addition des tensions

Le package série ou autrement dit l'additionnement des tensions présente le montage en série (couplage en série), les tensions de chaque une des batteries s'additionnent pour pouvoir réaliser un réseau de bord avec raccordement positif-négatif.

Comme précaution, il faut prendre en de nombreuses considérations les points suivants:

- Les deux batteries ou cellules doivent être de même type.
- Les deux batteries ou cellules doivent avoir environ le même âge.
- Les deux batteries ou cellules doivent avoir le même état de charge.
- Les câbles d'interconnexion doivent être de dimension suffisante et aussi courts que possible.

Le non-respect des points cités, les résistances internes propres à chaque batterie ou cellule dans un montage en série conduiront la répartition en conséquence de la tension d'où une mise à contribution asymétrique pendant la phase de charge et de décharge.

Si l'asymétrie est inévitable (à cause de températures divergentes dans les batteries ou des besoins partiels de la tension), il est obligé d'utiliser l'égaliseur de charge (chargeur Imax B6 comme titre d'exemple). Ce dernier règle la tension de charge des batteries ou cellules à niveau égal.

### I.12.2 Package «parallèle»

L'addition des capacités et des courants de démarrage à froid autrement dit montage parallèle implique que les capacités et les courants de démarrage à froid de chacune des batteries s'additionnent

Comme précaution, il faut prendre en considération les mêmes points cités précédemment pour le montage série, sinon les résistances internes propres à chaque batterie entraîneront la répartition en conséquence du courant et donc une mise à contribution asymétrique pendant la phase de charge et de décharge.

Des courants compensateurs très élevés peuvent circuler entre les cellules en montage parallèle.

### **I.12.3 Package «en série et en parallèle (combinée sou mixte)»**

Le branchement mixte ou en série et en parallèle c'est le branchement qui s'impose lorsqu'on a besoin d'une certaine puissance à une tension voulue, les règles du montage en série et celles du montage en parallèle s'appliquent dans le cas du montage mixte.

Il est nécessaire d'avoir des produits de même tension et de même intensité/capacité. Un ensemble monté en série s'appelle un «string », il est possible d'ajouter des cellules de même tension dans les strings pour augmenter la tension ou bien d'ajouter un ou plusieurs strings si nous avons besoin de plus d'intensité pour plus de puissance.

Comme précaution, les batteries mises en série ou en parallèle doivent être de la même marque, même type et avoir la même capacité et état de charge et de ne pas combiner d'anciennes cellules avec des nouvelles.

## **I.13 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 Arduino

### II.2.1. Définition :

#### Qu'est ce que c'est ?

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation. Sans tout connaître ni tout comprendre de l'électronique, cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe avec l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne [31].

Pont tendu entre le monde réel et le monde numérique, Arduino permet d'étendre les capacités de relations humain/machine ou environnement/machine. Arduino est un projet en source ouverte : la communauté importante d'utilisateurs et de concepteurs permet à chacun de trouver les réponses à ses questions.

### II.2.2. Applications

Le système Arduino nous permet de réaliser un grand nombre de choses, qui ont une application dans tous les domaines, nous pouvons donner quelques exemples :

- ✓ Contrôler les appareils domestiques
- ✓ Faire un jeu de lumières
- ✓ Communiquer avec l'ordinateur
- ✓ Télécommander un appareil mobile (modélisme) etc.
- ✓ Fabriquer votre propre robot.

Avec Arduino, nous allons faire des systèmes électroniques tels qu'une bougie électronique, une calculatrice simplifiée, un synthétiseur, etc. Tous ces systèmes seront conçus avec pour base une carte Arduino et un panel assez large de composants électroniques.

### **II.2.3. Bonnes raisons de choisir Arduino**

Il existe pourtant dans le commerce, une multitude de plateformes qui permettent de faire la même chose.

Notamment les microcontrôleurs « PIC » du fabricant Micro chip. Nous allons voir pourquoi choisir l'Arduino.

#### **a. Le prix**

En vue des performances qu'elles offrent, les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses, ce qui est un critère majeur pour le débutant.

#### **b. La liberté**

C'est un bien grand mot, mais elle définit de façon assez concise l'esprit de l'Arduino. Elle constitue en elle-même deux choses :

Le logiciel : gratuit et open source, développé en Java, dont la simplicité d'utilisation relève du savoir cliquer sur la souris.

Le matériel : cartes électroniques dont les schémas sont en libre circulation sur internet.

Cette liberté a une condition : le nom « Arduino » ne doit être employé que pour les cartes « officielles ». En somme, vous ne pouvez pas fabriquer votre propre carte sur le modèle Arduino et lui assigner le nom « Arduino ».

Les cartes non officielles, on peut les trouver et les acheter sur Internet et sont pour la quasi-totalité compatibles avec les cartes officielles Arduino.

#### **c. La compatibilité**

Le logiciel, tout comme la carte, est compatible sous les plateformes les plus courantes (Windows, Linux et Mac), contrairement aux autres outils.

#### **d. La communauté**

La communauté Arduino est impressionnante et le nombre de ressources à son sujet est en constante évolution sur internet. De plus, on trouve les références du langage Arduino origins qu'une page complète de tutoriels sur le site [arduino.cc](http://arduino.cc) (en anglais) et [arduino.cc](http://arduino.cc) (en français).

### **II.2.4 Outils Arduino**

A présent, rapprochons-nous de « l'utilisation » du système Arduino et voyons

comment il se présente. Il est composé de deux choses principales, qui sont : **le matériel** et **le logiciel**. Ces deux outils réunis, il nous sera possible de faire n'importe quelle réalisation.

**Le matériel** ; Il s'agit d'une carte électronique basée autour d'un microcontrôleur ATmega du fabricant Atmel, dont le prix est relativement bas pour l'étendue possible des applications.

**Le logiciel** ; Le logiciel va nous permettre de programmer la carte Arduino. Il nous offre une multitude de fonctionnalités.

### II.2.5. Types de cartes

Il y a trois types de cartes :

- Les dites « officielles » qui sont fabriquées en Italie par le fabricant officiel : Smart Project.
- Les dites « compatibles » qui ne sont pas fabriquées par Smart Project, mais qui sont totalement compatibles avec les Arduino officielles.
- Les « autres » fabriquées par diverses entreprises et commercialisées sous un nom différent (Freeduino, Seeduino, Femtoduino, ...).

### II.2.6. Différentes cartes

Des cartes Arduino il en existe beaucoup : La carte Uno et Duemilanove

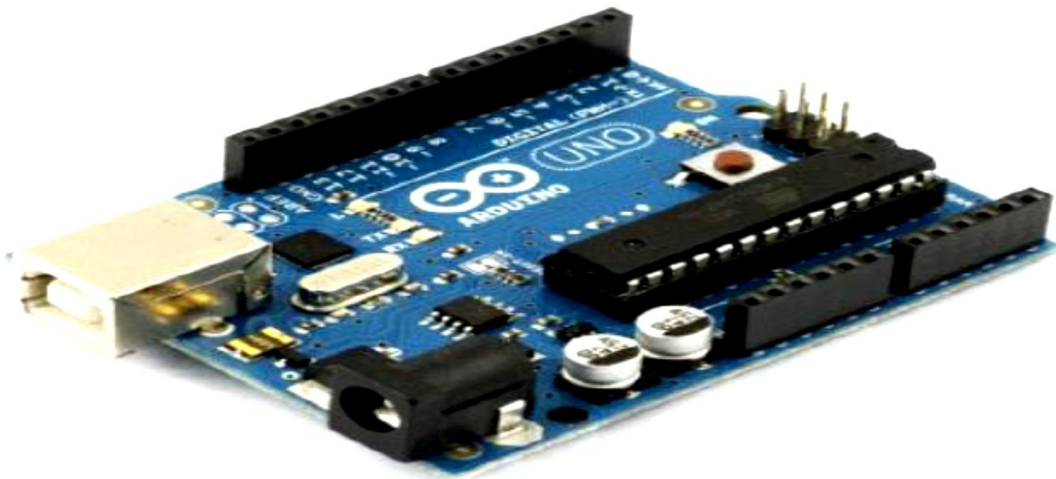


Figure II.1. Carte Arduino "UNO".

## II.3 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 2800 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 Amel 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.[32]

#### II.4 Partie programme

Une telle carte d'acquisition qui se base sur sa construction sur un microcontrôleur doit être dotée d'une interface de programmation comme est le cas de notre carte.

L'environnement de programmation open-source pour Arduino peut être téléchargé



gratuitement (pour Mac OS X, Windows, et Linux).

### II.4.1. l'environnement de la programmation

Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information ce programme appelé IDE Arduino. [33]

### II.4.2. Structure générale du programme (IDE Arduino)

Comme n'importe quel langage de programmation, une interface souple et simple est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation en C.

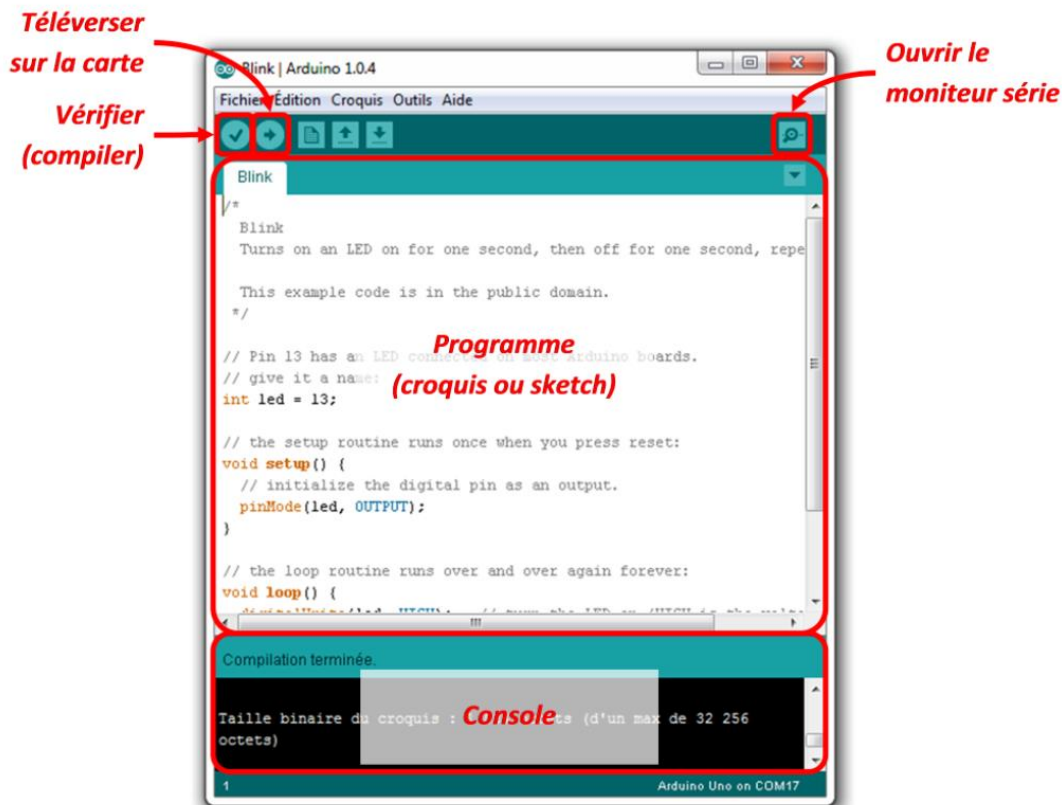


Figure II.2.Interface IDE Arduino

### II.4.3 Injection du programme

Avant d'envoyer un programme dans la carte, il est nécessaire de sélectionner le type de carte (Arduino UNO) et le numéro de port USB (COM 3) comme à titre d'exemple cette figure suivante.

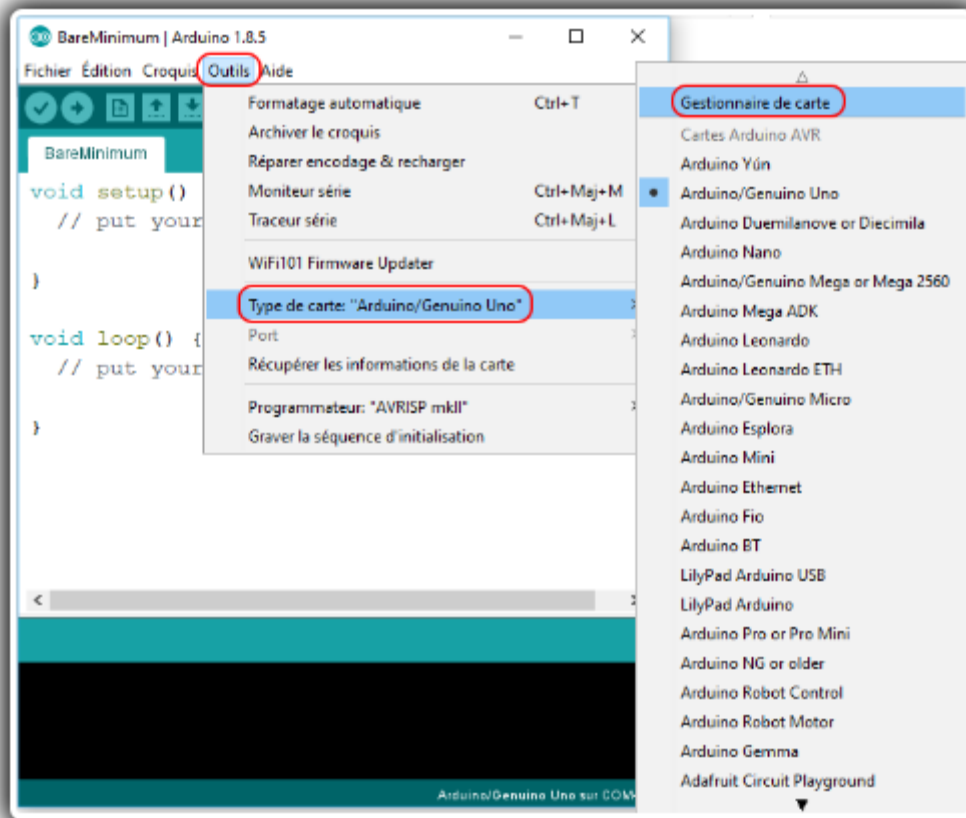


Figure II. 3. Paramétrage de la carte

#### II.4.4 Description du programme

Un programme Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle (ligne par ligne). La carte lit puis effectue les instructions les unes après les autres dans l'ordre défini par les lignes de codes.

##### *Commentaires*

**Les commentaires** sont, en programmation informatique, des portions du code source ignorées par le compilateur ou l'interpréteur, car ils ne sont pas censés influencer l'exécution du programme.

1 /\* programme de command DC moteur avec Smartphone via Bluetooth

2 \*et fait également clignoter la diode de test de la carte

**Définition des variables** Pour notre montage, on va utiliser une sortie numérique de la carte qui est par exemple la 3<sup>ème</sup> sortie numérique ; cette variable doit être définie et nommée ici moteur pin 3 ; la syntaxe est pour désigner un nombre entier est **Int**.

4 Int moteur 1 = 3; // mettre le moteur au pin 3

**Configuration des entres et des sorties void setup** les broches numériques de l'arduino

peuvent aussi bien être configurées en entrées numériques ou en sorties numériques; ici on va configurer moteur pin en sortie ; pin mode

(nom, état ) est une des quatre fonctions relatives aux entrées – sorties numériques.

```
5 void setup () {
```

```
6 // mettre le moteur 1 comme sortie:
```

```
7 pinMode (motor 1, OUTPUT); // lorsque le pin 3 est activé le moteur tourne
```

```
8 }-Programmation des interactions voidloop :
```

Dans cette boucle, on définit les opérations à effectuer dans l'ordre **digital write**(nom, état) est une autre des quatre fonctions relatives aux entrées – sorties numériques.

- **delay** (temps en milliseconde) est la commande d'attente entre deux instructions.
- chaque ligne d'instruction est terminée par un point virgule.
- ne pas oublier les accolades qu'encadre la boucle.

```
9 voidloop () {
```

```
10 digital write (moteur 1, HIGH);
```

```
11 delay (3000)
```

```
12 digital Write (moteur 1, LOW);
```

```
13 delay (1000)
```

```
14 }
```

#### II.4.5 Les étapes de téléchargement du programme

Une simple manipulation enchaînée doit être suivie afin d'injecter un code vers la carte Arduino via le port USB.

1. On conçoit ou on ouvre un programme existant avec le logiciel IDE Arduino.
2. On vérifie ce programme avec le logiciel Arduino (compilation).
3. Si des erreurs sont signalées, on modifie le programme.
4. On charge le programme sur la carte.
5. On câble le montage électronique.
6. L'exécution du programme est automatique après quelques secondes.
7. On alimente la carte soit par le port USB, soit par une source d'alimentation autonome (pile 9 volts par exemple).
8. On vérifie que notre montage fonctionne.

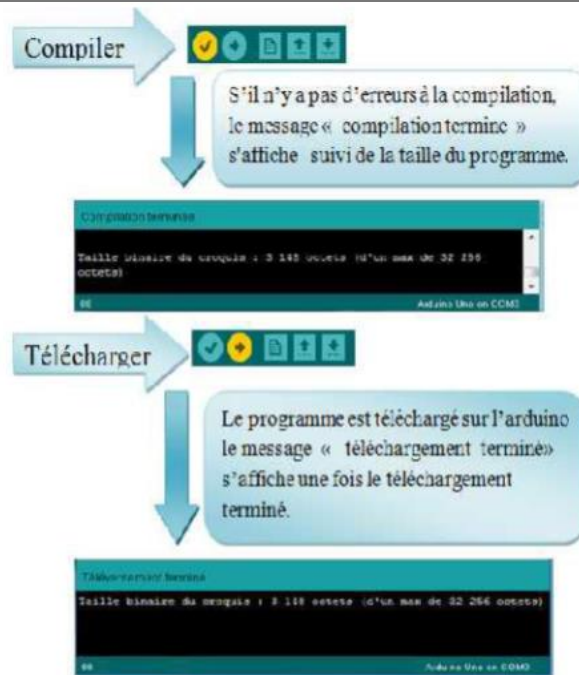


Figure II. 4. Les étapes de téléchargement du code

## II.5 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.6 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 pré-réglé.
- **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.7 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.7.1 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.7.2 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.7.3 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.

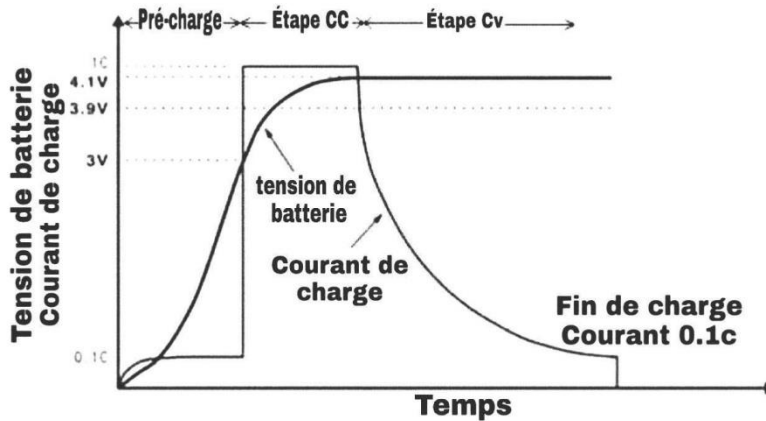
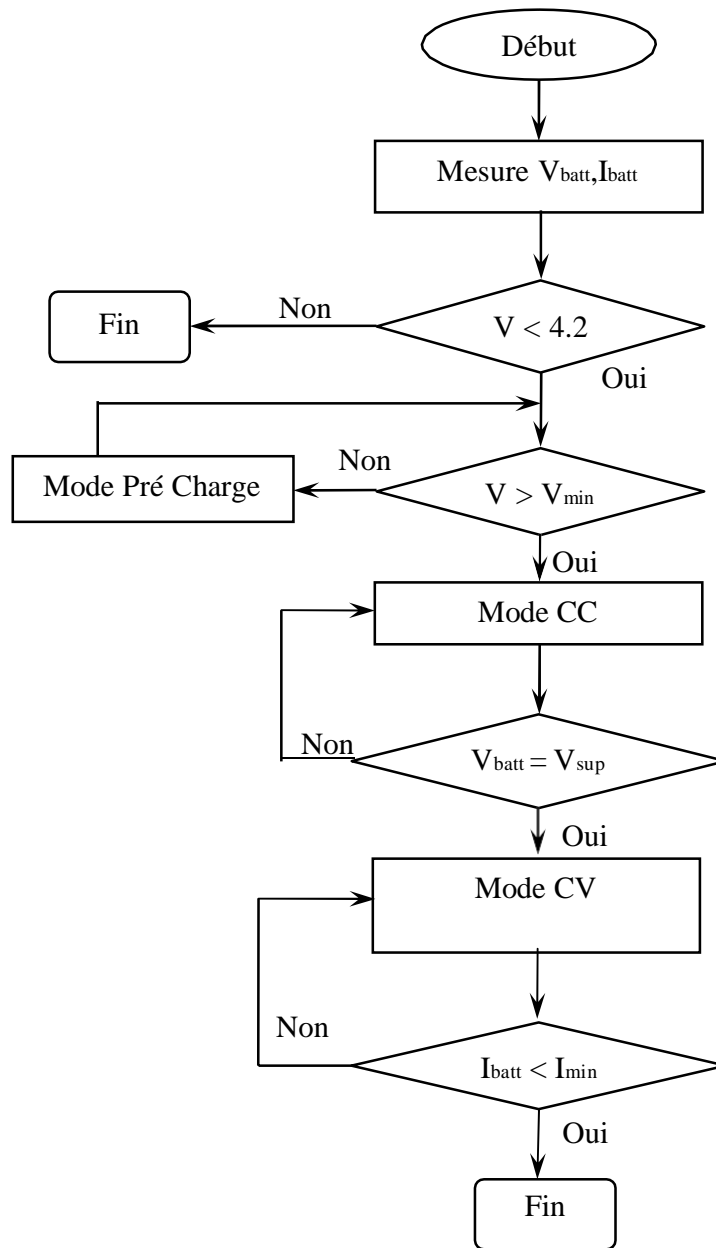


Figure II.5 Profil typique de charge d'une cellule Lithium Ion

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.6 Organigramme de l'algorithme courant constant (CC) et tension constante (CV)**

### II.8 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.9 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 12 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.

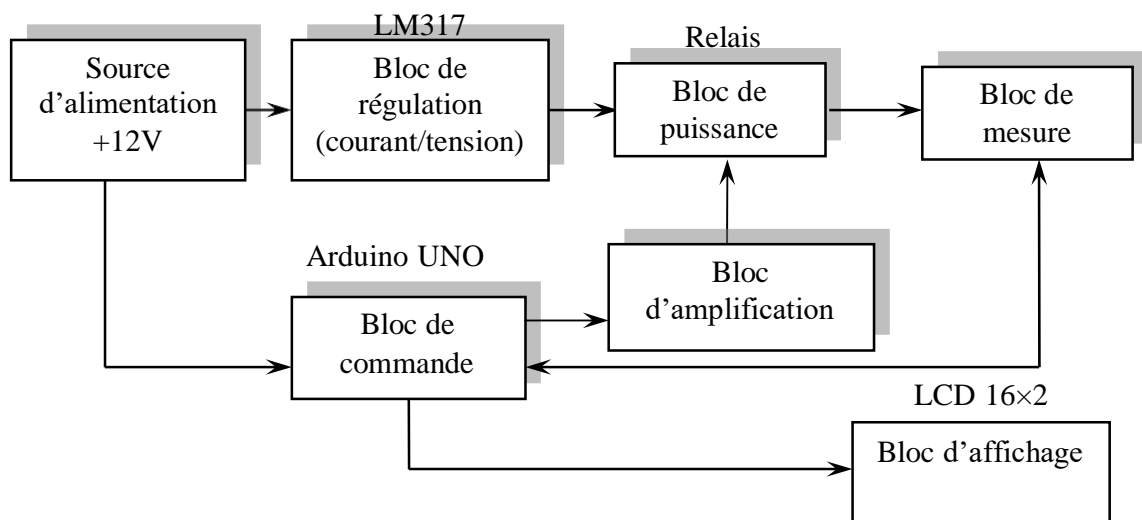


Figure II.7 Schéma synoptique du dispositif

### II.9.1 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.9.2 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.9.2.1 Régulateur de courant

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

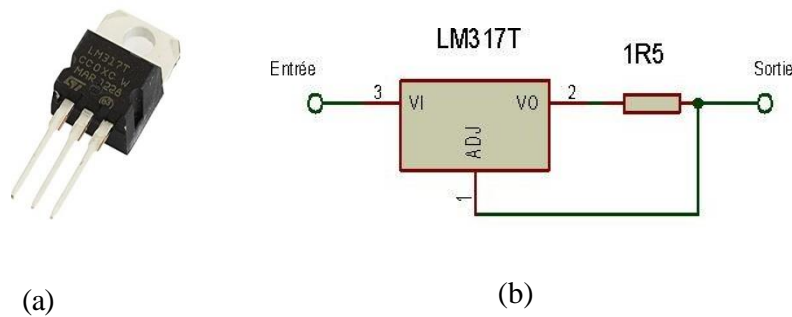


Figure II.8 Schéma du régulateur de courant ; (a) boîtier du régulateur, (b) présentation sous ISIS Proteus

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.9.2.2 Régulateur de tension

En ce qui concerne le mode CV du chargeur réalisé, on doit à nouveau régler la tension à 12.4 Volts, le LM317 peut le faire à l'aide de seulement deux résistances. Le circuit pour le même est illustré ci-dessous.

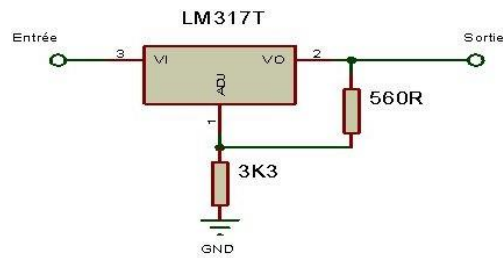


Figure II.9 Schéma du régulateur de tension

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

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

Puisque on a deux cellules de Lithium Ion en série, la tension de sortie ( $V_{\text{out}}$ ) doit être de 12.4 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 12.4 Volts.

### II.9.3 Bloc de mesure

La carte Arduino Méga contient six entrées analogiques dont on a besoin que de deux broches analogiques, qui sont respectivement «  $V_{\text{batt}}$ ,  $I_{\text{batt}}$  » (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.9.3.1 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 «  $V_{\text{batterie}} = 12.4$  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.9.3.2 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 «  $A_1$  », en conservant la loi précédente.

$$V = R \cdot I$$

II.4

### II.9.4 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 ( $V_{SS}$ ,  $V_{DD}$ , RS, R/W, Ve, 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.

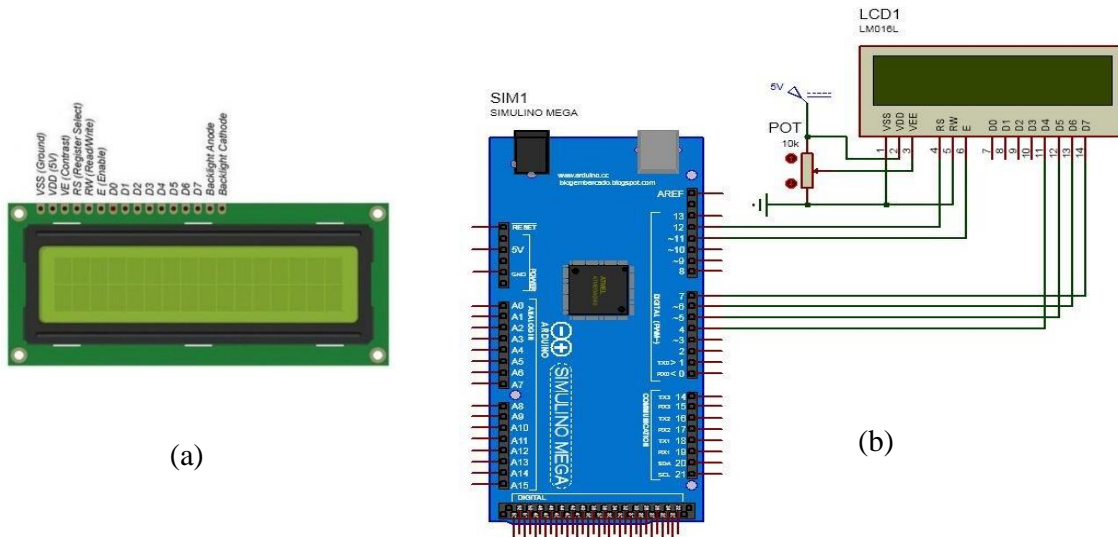


Figure II.10 *Présentation d'affichage ; (a) Écran LCD alphanumérique 16x2, (b) Liaison commande affichage.*

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

- Broche RS LCD à la broche digitale  $D_{12}$  ;
- Broche E LCD à la broche digitale  $D_{11}$  ;
- Broche  $D_4$  LCD à la broche digitale  $D_4$  ;
- Broche  $D_5$  LCD à la broche digitale  $D_5$  ;
- Broche  $D_6$  LCD à la broche digitale  $D_6$  ;
- Broche  $D_7$  LCD à la broche digitale  $D_7$  ;
- 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  $V_e$  de LCD respectivement afin de contrôler la contraste de LCD . Egalement on relie les broches d'alimentation (+ 5V et GND).

### II.9.5 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 «  $D_8$  ». 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 «  $D_9$  », 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.

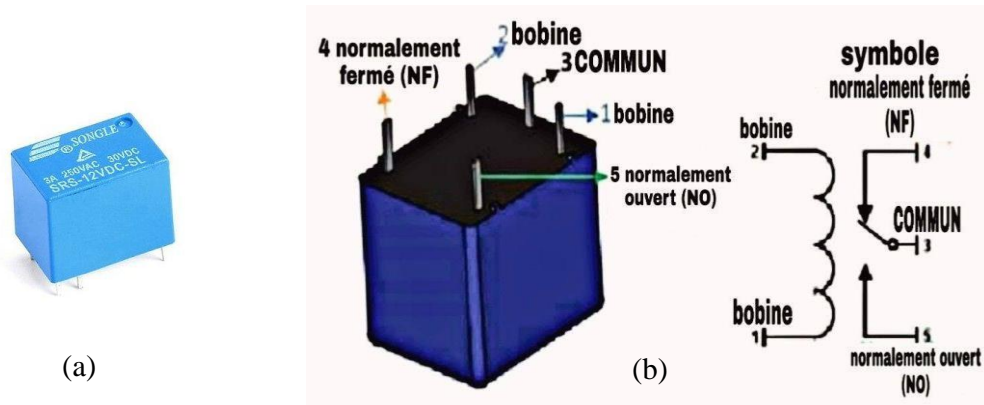


Figure II.11 *Partie de puissance ; (a) Boîtier du relais, (b) Structure de relais 12 Volts*

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 ».

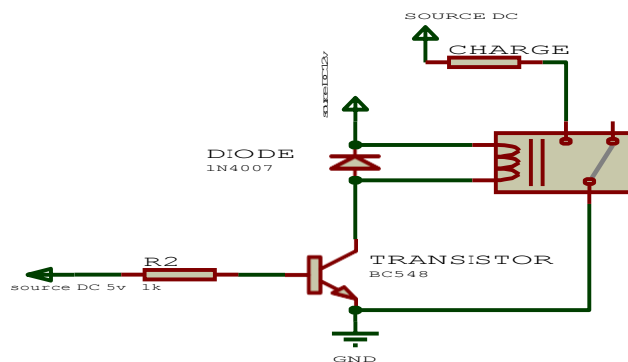


Figure II.12 *Schéma de conception électrique du relais 12 Volts*

## II.10 Présentation globale 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	UNO	/	1
Afficheur	LCD 16×2	/	1
Régulateur de tension	LM317T	1.2-37 V/1.5A	1
Relais électromécaniques	SPDT	12 V	1
Cellule rechargeable	Lithium Ion 18650	3.7 V	3
Adaptateur	AC/DC	12V-5A	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	/	1
Transistor	NPN BC547	/	1
Résistance variable	Potentiomètre	10kΩ	1
Condensateur	C1	10μF	1
Capteur de tension	C11A063	/	1
Capteur de courant	ACS712	/	1

**Tableau II.1** *Eléments électriques utilisés*

Les figures (II.13) présentent quelques photos réelles pour des différentes phases du dispositif réalisé.

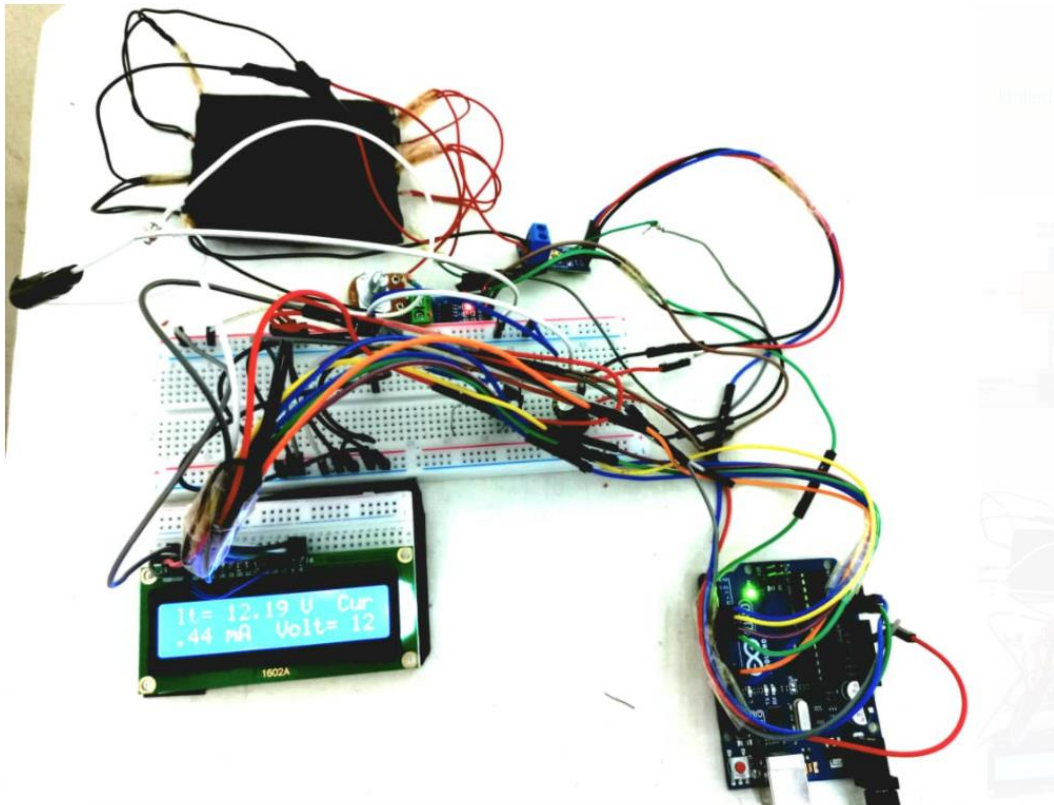


Figure II.13 Photo présentant la phase pré charge

## II.11 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].

# Chapitre III

## Réalisation et Résultat



### 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 implémenté sur Arduino.

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

Pour aider les circuits programmables on va utiliser un organigramme de programmation. 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.

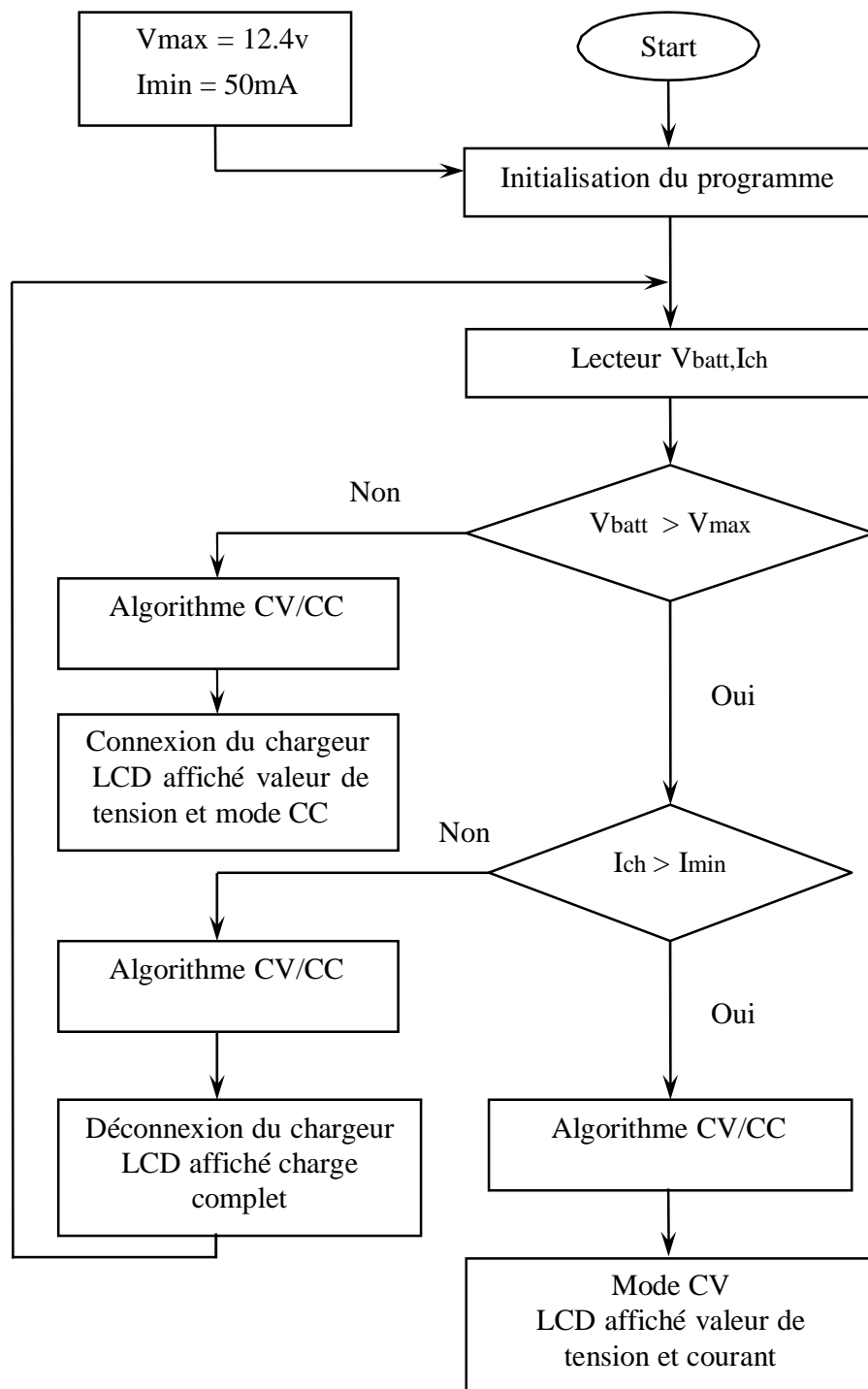


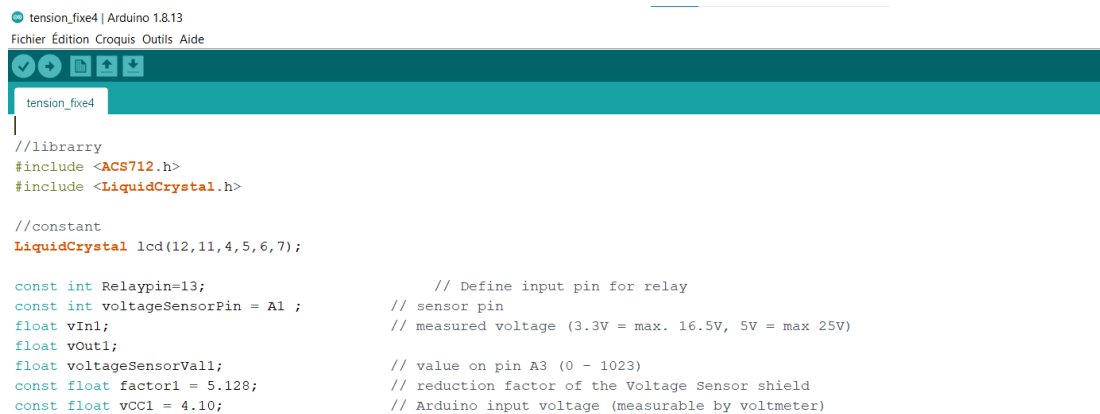
Figure III.1 Organigramme du chargeur de batterie au Lithium Ion.

### 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 constants.
- 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 imprime 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.



```
tension_fixe4 | Arduino 1.8.13
Fichier Édition Croquis Outils Aide

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

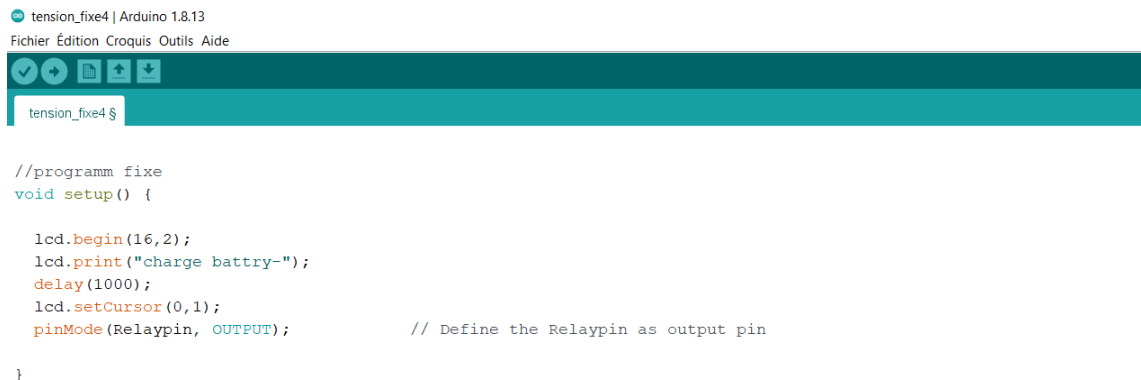
//constant
LiquidCrystal lcd(12,11,4,5,6,7);

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.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.



```

tension_fixe4 | Arduino 1.8.13
Fichier Édition Croquis Outils Aide

tension_fixe4 §

//programm fixe
void setup() {

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

}

```

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

Figure IV.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.

```

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.4 Echantillon de la boucle principale « mode CC »

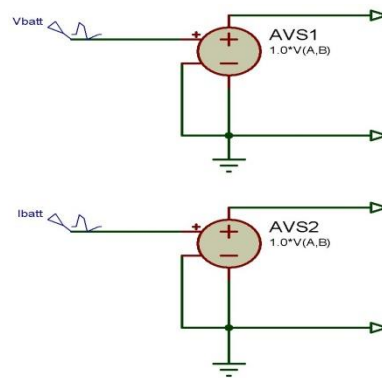
### III.5 Réalisation virtuelle

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 La center 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.5* 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.

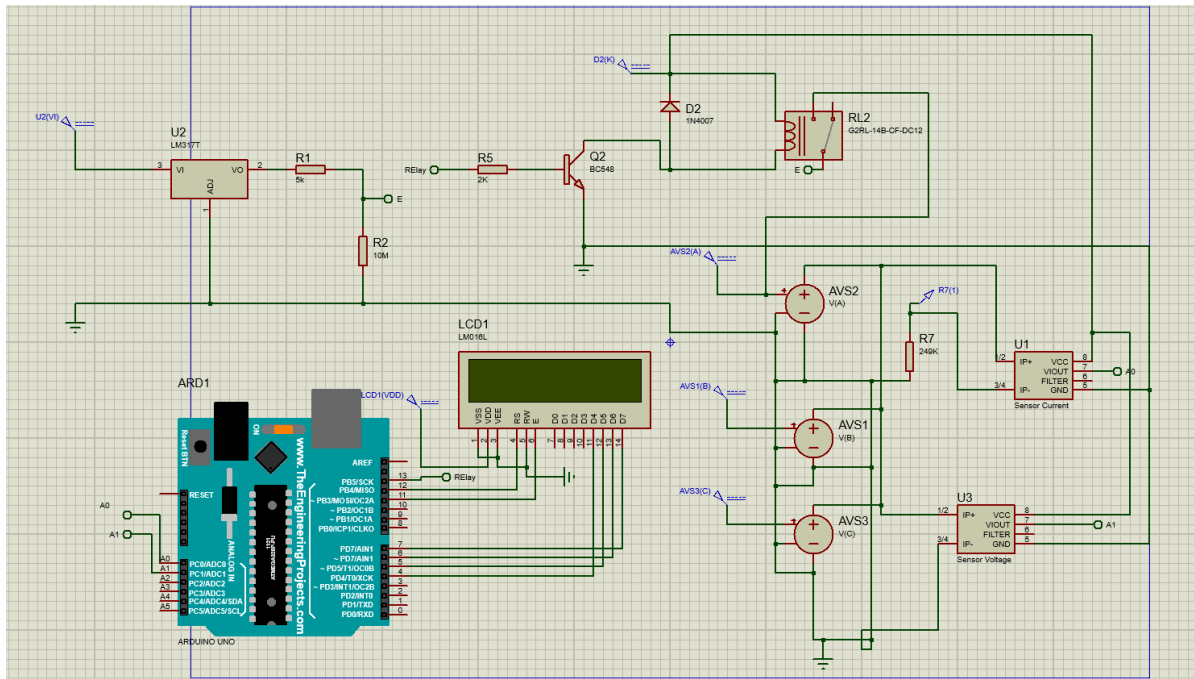
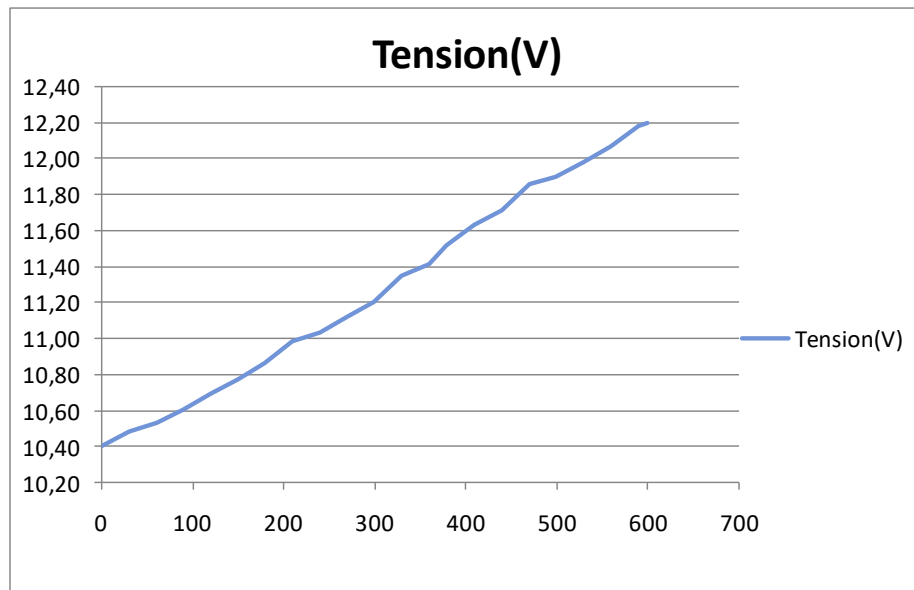


Figure III.6 Schéma global du dispositif réalisé sous ISIS Proteus

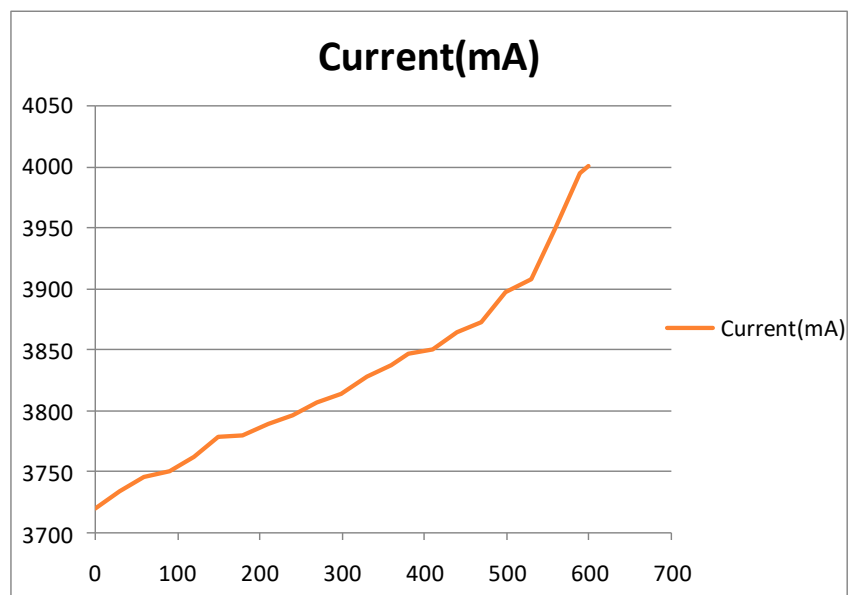
### III.6 Résultats de la simulation (Tension et Curant)

Les valeurs des tensions pour les figures (III.7) 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.7 III.8).



**Figure III.7: La courbe du Tension**

Dans ce graphe nous remarquons une augmentation progressive de l'intensité du tension jusqu'à un niveau de 12.08 V la ou la batterie arrive a 90% de charge cela peut s'expliquer par la courbe de charge en mode cc.



**Figure III.8 : La courbe du Curant**



Dans ce graphe nous remarquons une augmentation progressive de l'intensité du courant jusqu'à un niveau de 3.9A ou la progression de Vien plus exponentielle et accroit rapidement jusqu'à un niveau de 4 emperla ou la batterie arrive a 90% de charge cela peut s'expliquer par la courbe de charge de SOC déterminer en amont.

### 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.

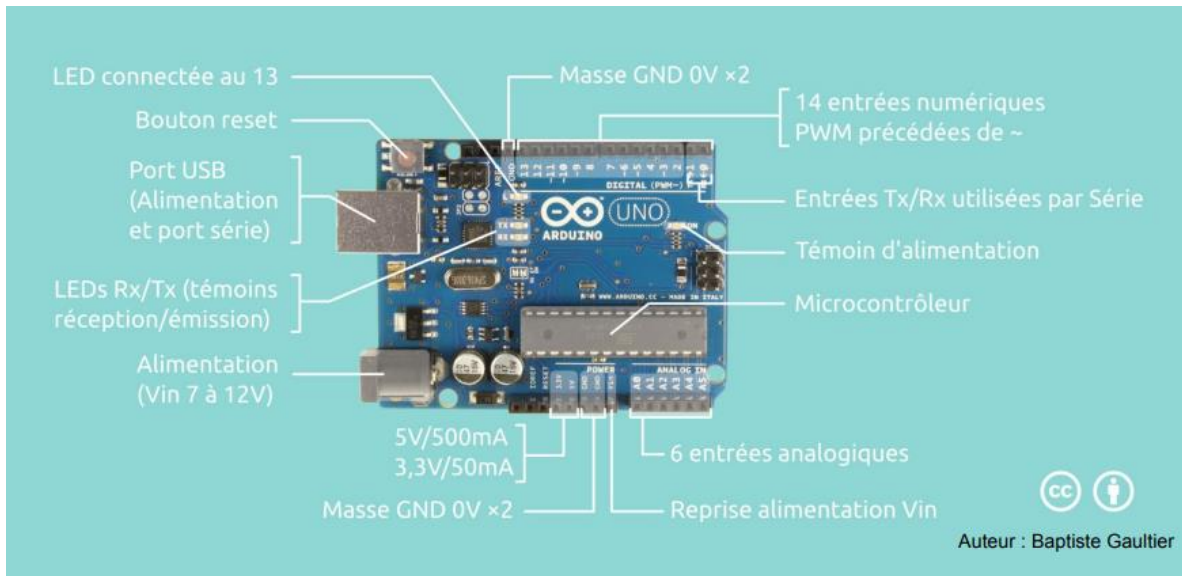
## **3 Perspectives du projet**

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

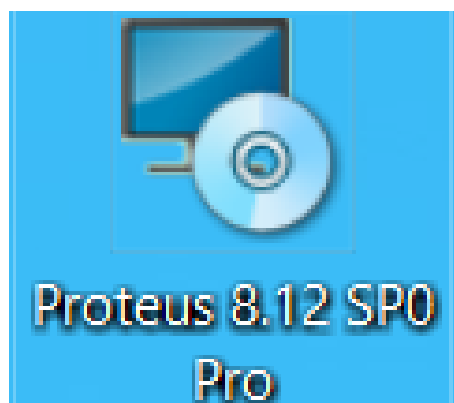
### Présentation de la carte Arduino uno



## Les Logiciels Utilisés



IDE pour programmer l'Arduino



Pour la simulation virtuelle de la carte

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



### Description :

La batterie 3S composé de 3 cellules 18650 de capacité 3500mAh en série avec un BMS intégré afin de protéger vos circuits vous permettra d'alimenter vos projets.

### Caractéristiques techniques :

- Type : Batterie Li-Ion
- Configuration : 3S1P
- Nombre de cellules : 3
- Tension : 9.6V à 12.6V
- Tension nominal : 11.1 V
- Courant max : 10A ( Capacité du BMS)
- Capacité : 3500mAh
- Poids : 170g
- Dimensions : 70 x 60 x 20mm
- BMS de protection intégré
- Connecteur de décharge : Prise XT60 femelle
- Connecteur de charge : Prise JST XH 4 fils.

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

- [17] J.O. Besenhard, "Hand Book of Battery Materials", Wiley-VCH, Nov 2008.
- [18] I. Buchmann, "Batteries in a Portable World", Battery University, (2001).
- [19] I. Buchmann, "Discharge Methods", Battery University, Retrieved 14 August 2008
- [20] H.J. Bergveld et al., "Battery Management Systems, Design by Modeling", Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [21] Soo Seok Choi and Hong S. Lim, "Factors that affect cycle-life and possible degradation mechanisms of a Li-ion cell based on LiCoO<sub>2</sub>", Journal of Power Sources, Volume 111, Issue 1, pp. 130-136, September 2002.
- [22] <http://www.batteryuniversity.com/images/parttwo-31-1.jpg>
- [23]. Valer Pop et al., "Battery Management Systems: Accurate State-of-Charge Indication for Battery Powered Applications", Springer, Volume 9, 2008.
- [24] A. Jossen, "Fundamentals of Battery Dynamics", Journal of Power Sources, Volume 154, pp. 530-538, 2006.
- [25]. F. Huet, "A review of impedance measurements for determination of the state-of-charge or state-of-health of secondary batteries", Journal of Power Sources, Volume 70, pp. 59-69, 1998.
- [26] MEMOIRE PRESENTE A L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE, DEKKICHE Abdelillah.
- [27] Mr. Zied Jaloussi, Rapport de Projet de fin d'études : Étude et évaluation des performances des systèmes de gestion de batteries Lithium- Ion, École supérieure de télécommunication, Tunes.
- [28] Germain VALLVERDU, Principe de fonctionnement des batteries au lithium, Université de Pau et des pays de l'Adour.
- [29] Linden.D.&Reddy, Thomas B. Handbook of Batteries. 3<sup>e</sup> Edition. McGraw-Hill, 1200p.
- [30] Thèse Diagnostic de batteries Lithium ion dans des applications embarquées.
- [31] <https://wiki.md129.net/.../fetch.php...Arduino-pour-bien-commencer-en-électronique>
- [32] X.HINAULT. [www.mon-club-elec.fr](http://www.mon-club-elec.fr)
- [33] Jean- Noël, « livret Arduino en français », centre de ressources art sensitif .

## 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, Surchage, 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 بطاريات الليثيوم بوليمر هي البطاريات المحمولة الأكثر استخدامًا اليوم. ومع ذلك ، يجب التعامل معها بحذر ، ولا تقبل الأحمال الزائدة بأدنى قدر من الإهمال يمكن أن يتسبب في انفجار يؤدي إلى خطر نشوب حريق. الغرض من مشروعنا هو دراسة وتصميم وإنتاج شاحن لمجموعة من خليتين قابلتين لإعادة الشحن في سلسلة من نوع Lithium Ion 18650 تحت جهد 3.7 فولت كجهد اسمي. وفقًا لخوارزمية الشحن (تيار مستمر / جهد ثابت) والتي تضمن الشحن الآمن بناءً على برمجة متحكم مثل ATMEL من Arduino.

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