

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées  
Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : Eélectrotechnique Industrielle

Présenté par :

Benhamida Mohammed Tarek

Sahraoui Toufik

Thème :

**Estimation de l'état de charge d'une  
batterie Li-ion utilisé  
dans un véhicule électrique**

Soumis au jury composé de :

M<sup>r</sup> Djarah Djalal

MCA

Président

UKM Ouargla

M<sup>r</sup> Kouras Sid Ali

MCB

Encadreur/rapporteur

UKM Ouargla

M<sup>r</sup> Bouhafs Ali

MCA

Examineur

UKM Ouargla

Année universitaire 2021/2022

## Dédicace :

Pour chaque début il y a une fin, et ce qui beau dans toute fin c'est la réussite et  
l'atteinte du but

. C'est avec profonde gratitude et sincères mots que Je dédie ce modeste mémoire  
de master, fruit de très longues années d'études à :

Ma belle rose maman

Mon cher père

Mes frères, mes sœurs et toutes mes familles,

À toutes mes amies, A ceux qui m'ont apporté toujours soutien et bonheur dans la  
vie,

Enfin je voudrais me remercier

**Benhamida Mohammed Tarek**

**Sahraoui Toufik**

# *Remerciements*

En préambule à ce mémoire Nous remerciant **ALLAH** qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant Ces longues années d'étude.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous Ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la Réussite de cette formidable année universitaire.

Nous tenant à remercier sincèrement **Mr Kouras Sid-Ali**, En tant qu'Encadreur, qui a Toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements vont aussi à tous les enseignants du département de Génie électrique qui ont contribué à notre formation.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, Qui nous ont toujours soutenue et encouragée Au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous.

# Liste des figures

---

<b>Figure I.1</b> : Vue éclatée d'un accumulateur.....	4
<b>Figure I.2</b> : Principe de fonctionnement des accumulateurs.....	5
<b>Figure I.3</b> : L'emplacement des batteries par rapport la densité d'énergie massique et la densité d'énergie volumique.....	8
<b>Figure I.4</b> : Schéma de fonctionnement de l'insertion / désinsertion des ions lithium au cours de la charge ou de la décharge d'une batterie lithium-ion.....	9
<b>Figure I.5</b> : Structure schématique et fonctionnement de la cellule Lithium-air.....	12
<b>Figure I.6</b> : batterie li-ion cylindrique.....	13
<b>Figure I.7</b> : batterie li-ion bouton.....	14
<b>Figure I.8</b> : batterie li-ion prismatique.....	14
<b>Figure I.9</b> : batterie li-ion sacoché.....	15
<b>Figure I.10</b> : Pack de batterie Li-ion de 24kWh pour le véhicule électrique Nissan LEAF...15	
<b>Figure II.1</b> : Composition de la carte ARDUINO UNO.....	21
<b>Figure II.2</b> : Microcontrôleur ATMega328.....	21
<b>Figure II.3</b> : interface IDE ARDUINO.....	24
<b>Figure II.4</b> : Les étapes de téléchargement du code.....	25
<b>Figure II.5</b> : Courbe de la recharge en courant constant.....	26
<b>Figure II.6</b> : Courbe de la recharge à tension constante.....	27
<b>Figure II.7</b> : Courbe de la recharge en mode CCCV.....	27
<b>Figure III.1</b> : Modèle idéal.....	33
<b>Figure III.2</b> : Modèle de batterie.....	34
<b>Figure III.3</b> : Caractéristique de décharge de la batterie.....	35
<b>Figure III.4</b> : Modèle étudiant de la batterie sous Simulink.....	37
<b>Figure III.5</b> : Courbe de décharge de la batterie Lithium-Ion 3.6V 1Ah.....	38
<b>Figure III.6</b> : état de charge SOC.....	39

## Liste des figures

---

<b>Figure III.7</b> : Simplification du modèle ou amélioration de thevenin.....	39
<b>Figure III.8</b> : modèle de Thevenin sous simulink.....	41
<b>Figure III.9</b> : $V_b$ en fonction du SOC.....	42
<b>Figure III.10</b> : SOC en fonction du temps.....	42
<b>Figure III.11</b> : OCV en fonction du temps.....	42
<b>Figure III.12</b> : tension de la batterie en fonction du temps.....	43
<b>Figure III.13</b> : courant de décharge en fonction du temps.....	43
<b>Figure III.14</b> : Synoptique d'estimation et de gestionnaire d'une batterie lithium-ion.....	44
<b>Figure III.15</b> : organigramme de gestion du processus de charge et de décharge.....	45
<b>Figure III.16</b> : Schéma ISIS de gestion du processus de charge et de décharge.....	46
<b>Figure III.17</b> : Déclaration des librairies, des variables ainsi que les constantes.....	47
<b>Figure III.18</b> : Photo présentant la phase pré charge.....	47

# Liste des tableaux

---

<b>Tableau I.1 :</b> Caractéristiques des principales technologies d'accumulateurs.....	6
<b>Tableau I.2 :</b> Comparaison entre les performances actuelles des batteries Li-ion et celles ciblées pour une application véhicule électrique EV.....	11
<b>Tableau II.1 :</b> Comparatif de quelques cartes Arduino.....	19
<b>Tableau II.2:</b> Caractéristique de la carte Arduino uno.....	23
<b>Tableau III.1 :</b> les valeurs des paramètres.....	37
<b>Tableau III.2 :</b> Eléments électriques utilisés.....	45

# Abréviation

---

**Ni-cd** : nickel-cadmium

**Koh** : hydroxyde de potassium

**Ni-mh**: nickel hydrure métallique

**SOH**: état de sante

**SOC**: état de charge

**Li-ion**: lithium ion

**VE** : véhicule électrique

**Li/s** : lithium soufre

**SSE** : système de stockage d'énergie

**CC** : courant constant

**CV** : tension constante

**CC/CV** : courant constant / tension constante

**DC**: courant direct

**PWM**: Modulation de Largeur d'Impulsion

**IDE**: Environnement de développement intégré

**LCD**: affichage à cristaux liquides

# Sommaire :

---

Liste des figures

Liste des tableaux

Abréviation

Introduction générale

## Chapitre 1

### Batterie lithium-ion

I.1	Introduction .....	4
I.2	Les batteries.....	4
I.2.1	Principe de fonctionnement.....	4
I.2.2	Les différents types d’accumulateurs et leur découverte.....	5
I.2.3	Caractéristiques des batteries .....	6
I.3	Les batteries lithium-ion.....	7
I.3.1	Pourquoi le Lithium-ion ? .....	7
I.3.2	Principe de fonctionnement.....	8
I.3.3	Éléments technologiques .....	10
I.3.4	Les futures batteries lithium .....	11
I.4	Assemblage des batteries .....	13
I.4.1	Assemblage des batteries en forme cellule .....	13
I.4.2	Assemblage des batteries en forme pack .....	15
I.5	Conclusions .....	16

## Chapitre II

### Circuiterie et programmation

II.1	Introduction .....	18
II.2	Arduino .....	18
II.2.1	Définition .....	18
II.2.2	Les gammes de la carte Arduino .....	18
II.2.3	Applications .....	19
II.3	Arduino uno .....	19
II.3.1	Pour quoi arduino uno .....	19
II.3.2	Constitution de la carte Arduino UNO .....	21
II.3.3	Synthèse des caractéristiques de la carte Arduino UNO .....	23
II.4	Programmation d’arduino .....	23
II.4.1	Le logiciel de programmation .....	23
II.4.2	Les étapes de téléchargement du programme .....	24
II.5	Chargeur électrique .....	25
II.6	Contrôle de fin de charge .....	25

## Sommaire :

---

II.7	Technique de recharge .....	26
II.7.1	Courant constant (CC) .....	26
II.7.2	Voltage constant (CV) .....	27
II.7.3	Courant constant – tension constante (CCCV) .....	27
II.8	Critères de choix de la technique utilisée .....	28
II.9	Conclusion .....	28

### Chapitre III

#### Simulation et Réalisation Pratique

III.1	Introduction .....	30
III.2	Estimation de l'état de charge de la batterie (SOC) .....	30
III.2.1	Estimation basée sur l'intégration du courant .....	31
III.2.2	Estimation basée sur la tension à vide .....	31
III.3	Modèles de batteries .....	32
III.3.1	Modèle électrochimique .....	32
III.3.2	Modèle empirique .....	33
III.3.3	Modèle basé sur un circuit électrique .....	33
III.3.4	Modèle idéal .....	33
III.4	Modèle .....	33
III.4.1	Extraction des paramètres du modèle .....	35
III.4.2	Simulation .....	37
III.5	Estimation à partir du Modèle .....	39
III.5.1	Simulation .....	40
III.5.2	Schéma Simulink et résultats de simulation .....	41
III.5.3	Réalisation du circuit.....	43
III.5.4	Gestion du processus de charge et de décharge .....	45
III.6	Réalisation pratique .....	45
III.6.1	Présentation des éléments électriques de la réalisation pratique .....	45
III.6.2	La réalisation sous ISIS .....	46
III.6.3	Déclaration sur logiciel IDE .....	46
III.6.4	La réalisation réelle .....	47
III.7	Conclusion.....	48

#### Conclusion générale

#### References bibliographie

# **Introduction générale**

## Introduction générale

---

Dans les années à venir, Le secteur des transports doit faire face à plusieurs problématiques du point de vue économique, énergétique et environnemental. Le coût élevé du pétrole, les ressources qui s'épuisent, les conflits territoriaux, il est impératif de chercher de nouvelles méthodes de production d'électricité ou de transformation de cette énergie, de régulation, et de stockage afin de parer aux problèmes d'approvisionnements et de satisfaire la demande mondiale. En ce qui concerne notre pays, il est primordial de développer des technologies qui nous permettront de réduire notre dépendance au pétrole afin de profiter au maximum de l'exportation, pour des énergies renouvelables telles que l'électricité produite localement à partir de l'énergie solaire très valorisé dans notre pays. L'Algérie s'est engagée dans les prochaines années à développer massivement ce secteur et de réduire par la suite les émissions de gaz à effet de serre. Cette énergie électrique ainsi produite ne doit pas être perdue, car il est très difficile d'emmagasiné cette dernière. Les batteries électrochimiques sont la technologie que nous possédant pour le stockage de l'électricité.

Afin de maximiser l'énergie extraite et la durée de vie des batteries au lithium-ion, il est nécessaire de développer de meilleur système de gestion de batterie et ainsi améliorer les systèmes d'estimations de l'état de charge spécifiquement pour des batteries de haute capacité ayant un grand nombre de cellules. L'estimation de l'état de charge est une donnée importante, car en sachant la capacité actuelle de la batterie, il est possible d'estimer précisément le nombre de kilomètres pouvant être parcouru par le véhicule. Un algorithme plus précis permettra de parcourir plus de kilomètres et renforcera le sentiment de confiance de l'utilisateur et diminuera l'anxiété reliée au risque de tomber en panne avec le véhicule.

Les batteries pour véhicule sont constituées d'un nombre important de cellules qui doivent être surveillées par des systèmes de managements afin de les maintenir dans leur plage d'opération optimale. De manière générale, plus la batterie ne contient de cellules,

D'important aspect à considérer lors du choix d'un système d'état de charge, c'est les données numériques nécessaires à son exécution grâce à une panoplie de capteur incorporer dans l'intégralité du système.

# Introduction générale

---

Ce mémoire s'articulera autour de trois grands axes :

Dans le premier chapitre, nous nous sommes intéressé exclusivement aux batteries, allant du choix des matériaux, passant par les technologies et jusqu'à la taille des cellules et leur forme, ainsi que les caractéristiques des composants lors de l'évaluation de leurs performances.

Le deuxième chapitre était consacré principalement à la carte ARDUINO qui a été d'un aide précieux lors de l'élaboration de ce projet, les différents types de carte existant leurs propriétés et fonctionnalité et enfin les composant et autres capteurs associer nécessaire.

Le troisième chapitre présente l'essentielle de notre travail incluant le modèle mathématique dont on s'est basé pour l'élaboration de circuit estimatif niveau de charge, une simulation avec le logiciel ISIS Proteus, une interprétation des résultats de simulation, et la réalisation pratique avec le matériel utiliser et le code informatique associé.

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale et les perspectives éventuelles à la continuation de notre travail de recherche.

# **Chapitre I :**

# **Batterie lithium-ion**

## I.1 Introduction

L'accumulateur, ou batterie rechargeable, est le système Utilisé pour stocker l'énergie électrique sous différentes formes. Ils reposent sur une Technologie de conversion d'énergie réversible. La batterie est l'un des principaux mécanismes d'alimentation de l'appareil autonomie. Ils se caractérisent par l'effet de stockage d'énergie électrique apporté par la réaction chimique afin de les réutiliser sous forme d'électricité.

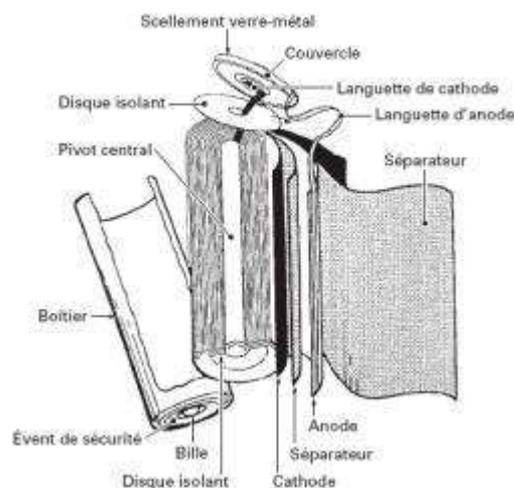
Dans ce chapitre, nous présenterons une synthèse générale des batteries Les piles rechargeables notamment les batteries lithium-ion destinées aux applications automobiles, leurs principes de fonctionnement, leur composition et leurs gammes respectives et Quelques bases importantes.

Nous nous intéressons également à présenter les grandeurs caractéristiques et l'état de charge de ces batteries.

## I.2 Les batteries

### I.2.1 Principe de fonctionnement

De manière générale, un accumulateur est composé d'une électrode positive (ou cathode en convention générateur), d'une électrode négative (ou anode en convention générateur), d'un séparateur et d'un électrolyte dans lequel sont immergés l'électrode positive, l'électrode négative et le séparateur. La Figure I.1 montre un exemple de vue éclatée d'un accumulateur



**Figure I.1 :** Vue éclatée d'un accumulateur

Le principe de fonctionnement de la batterie est basé sur l'utilisation de deux paires redox, Ox<sub>1</sub>/Red<sub>1</sub> et Ox<sub>2</sub>/Red<sub>2</sub>, qui se produisent respectivement à deux électrodes différentes. La Figure I.2 résume le principe de fonctionnement des accumulateurs sous la forme d'un schéma simplifié [1].

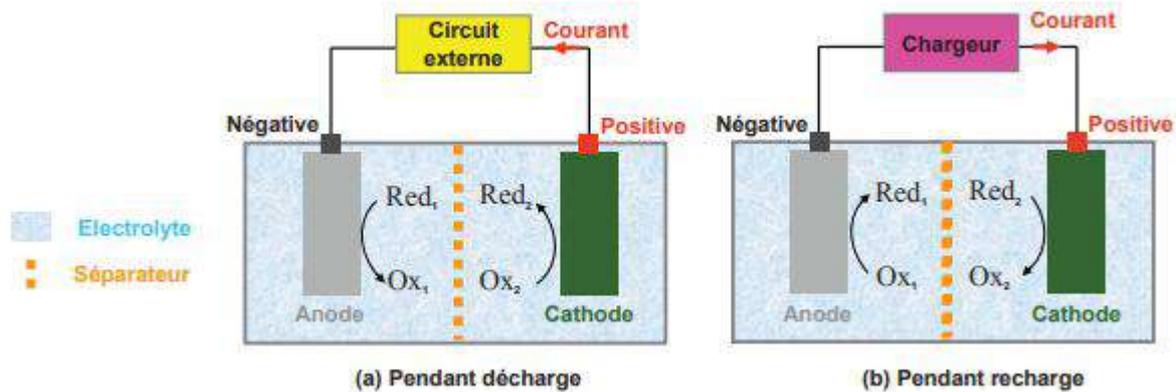


Figure I.2 : Principe de fonctionnement des accumulateurs

Il existe de nombreuses technologies d'accumulateur, nous en apprendrons plus sur elles et leur histoire dans le paragraphe suivant.

### I.2.2 Les différents types d'accumulateurs et leur découverte

L'histoire des premières batteries a commencé en 1800 quand l'Italien Alessandro Volta a découvert un flux d'électrons qui se produit après que deux métaux réagissent électrochimiquement avec une solution. C'est la cellule primaire non rechargeable couramment appelé pile.

En 1859, le physicien français Gaston Plante a inventé la première batterie rechargeable, également connue sous le nom de batterie secondaire, ce dernier a mis en évidence les réactions réversibles chimiques/électriques suite à l'inversion du sens de flux de courant. La technique, toujours utilisée aujourd'hui, consiste en deux électrodes de plomb trempées dans une solution d'acide sulfurique.

Quelques années plus tard, en 1899, le Suédois Waldemar Junger a inventé la première batterie rechargeable au nickel-cadmium (Ni-Cd) utilisant une électrode de nickel, une autre électrode de cadmium et une solution d'hydroxyde de potassium (KOH) comme électrolyte. Avec Ni-Cd on peut regretter le fort effet mémoire même avec un gain de densité important par rapport au plomb.

Viennent ensuite les batteries Ni-MH (Nickel Hydrure Métallique). Commercialisée en 1990, cette technologie a permis d'augmenter la densité d'énergie de 30 à 40% comparées aux anciennes technologies et de s'affranchir des problèmes liés à la toxicité du cadmium, maintenant majoritairement interdit. Cette technologie présente un certain nombre d'atouts comme sa densité d'énergie volumique (Wh/l) élevée, un fonctionnement possible à basse température, un faible coût et une bonne sûreté de fonctionnement. Elle équipe par exemple la Toyota Prius standard. Toutefois, par exemple dans le cas de l'électrification des véhicules et vue la croissance de l'électronique embarquée, elle n'est plus à même de répondre au besoin de densité d'énergie spécifique appelée aussi densité d'énergie massique (Wh/kg) très modérée. Pour cette raison, les constructeurs ont opté de plus en plus pour l'utilisation des batteries lithium-ion tel est le cas de la Toyota Prius rechargeable.

La première batterie rechargeable à base de lithium a été commercialisée en 1991 par le constructeur japonais Sony. Cette technologie a vite supplanté les autres technologies compte tenu de ses meilleures caractéristiques.

Le tableau I.1 récapitule les principales technologies d'accumulateurs avec quelques-unes de leurs spécificités [2].

	<b>Li-ion</b>	<b>Ni-MH</b>	<b>Ni-Cd</b>	<b>Pb-Acide</b>
<b>Tension nominale</b>	3.7	1.2	1.2	2
<b>Densité d'énergie volumique (Wh/l)</b>	200-600	140-435	60-150	50-80
<b>Densité d'énergie massique (Wh/Kg)</b>	75-250	30-110	50-75	30-50
<b>Densité de puissance (W/Kg)</b>	100-5000	250-2000	150-230	75-300
<b>Cycle de vie</b>	1000-10,000	200-1500	1000-2500	500-1200
<b>Coût (\$/kWh)</b>	600-2500		800-1500	200-400

**Tableau I.1 :** Caractéristiques des principales technologies d'accumulateurs.

### **I.2.3 Caractéristiques des batteries**

Avant d'entreprendre un exemple de dimensionnement de batteries, il est important de connaître les caractéristiques que nous cherchons à mettre en évidence dans ces modèles. Ces caractéristiques sont :

**Tension de la batterie :** la tension électrique entre les bornes d'un élément ou d'une batterie pendant la décharge.

**Tension en circuit ouvert :** la tension électrique aux bornes d'un élément ou d'une batterie quand le courant de décharge est nul.

**Décharge :** opération pendant laquelle un accumulateur fournit du courant à un circuit extérieur par la conversion de l'énergie chimique en énergie électrique.

**Courant de décharge :** le courant débité par la batterie lors de la décharge.

**Régime de charge :** courant électrique auquel on charge un accumulateur ou une batterie d'accumulateur.

**Cycle d'utilisation :** ensemble d'une décharge et d'une charge ultérieure destinée à rétablir l'accumulateur dans son état initial.

**Capacité de stockage :** quantité d'électricité (charge), généralement exprimée en ampères-heures (Ah), la quantité d'énergie qu'une batterie complètement chargée peut fournir dans des conditions spécifiées.

**Profondeur de décharge :** la quantité de charge, en pourcentage de la capacité initiale, qui peut être retirée d'une batterie sans réduire sa durée de vie.

**État de charge (SOC) :** la quantité de charge, en pourcentage de la capacité initiale, qui reste accumulée dans la batterie.

**État de santé (SOH) :** le facteur entre la capacité de charge actuelle de la batterie et sa capacité de charge initiale. Lorsque le ratio est inférieur à 80 %, la batterie est considérée comme ayant atteint sa fin de vie.

**Durée de vie :** durée totale de la vie active d'un élément ou d'une batterie en fonctionnement.

**Température :** Température de l'électrolyte causant la réaction chimique.

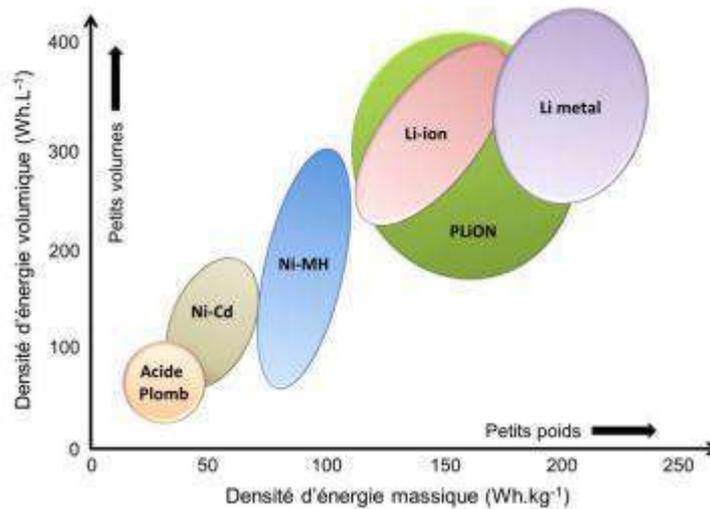
**Vie de tablette :** Période de temps entre la fin de la fabrication et la mise en service [3].

### I.3 Les batteries lithium-ion

#### I.3.1 Pourquoi le Lithium-ion ?

Les batteries lithium représentent une solution attractive pour les systèmes de stockage d'énergie en termes de performances, notamment d'énergie spécifique et de densité d'énergie. En effet, puisque ce type de batterie a la tension de fonctionnement la plus élevée (3,7V), c'est

aussi le métal le plus léger avec une masse molaire atomique de 6,94 g selon le classement périodique des éléments. Cela explique sa pénétration actuelle du marché dans divers secteurs (électronique portable, aviation, transport terrestre, électronique domestique, etc.). La figure I.3 montre l'emplacement avantageux des batteries lithium par rapport aux autres technologies relativement aux densités d'énergie massique et volumique.



**Figure I.3 :** L'emplacement des batteries par rapport la densité d'énergie massique et la densité d'énergie volumique

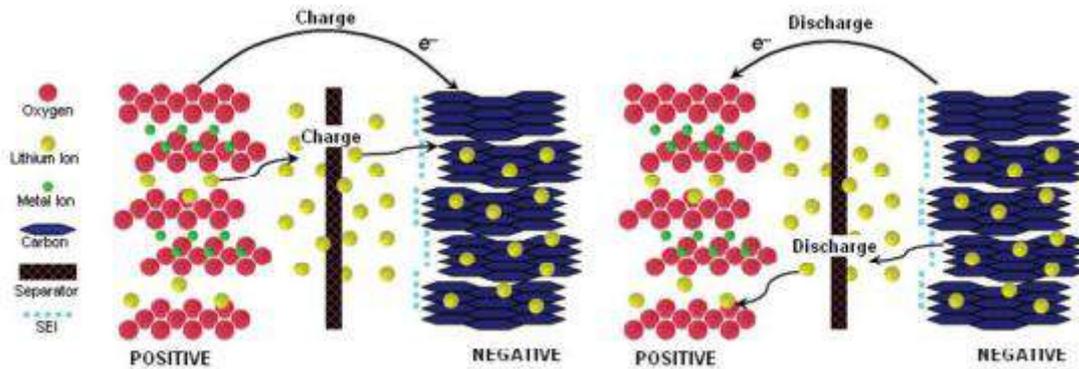
Il à noter que les batteries lithium actuelles sont de plus en plus sécurisantes en comparaison des premières batteries à électrodes en lithium métal. Ces dernières, à cause de la réaction violente du lithium métal en présence d'oxygène, induisent le problème de la formation de dendrites qui provoque une instabilité thermique conduisant parfois à l'enflamment et même à l'explosion de la batterie [2].

### I.3.2 Principe de fonctionnement

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

Lors de la décharge, le lithium contenu dans l'électrode négative, se dés insère de la structure cristalline du matériau, migre et diffuse, sous forme ionique, à travers l'électrolyte, et vient s'insérer dans le réseau cristallin du matériau de l'électrode positive. Le transfert d'un ion Li<sup>+</sup> dans le circuit interne de l'accumulateur est compensé exactement par le passage d'un

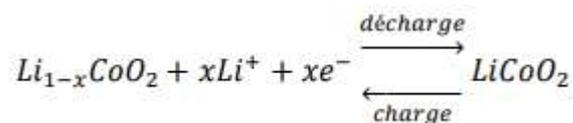
électron dans le circuit électrique externe, générant ainsi un courant électrique. Lors de la charge, le processus inverse est enclenché par l'apport d'un courant extérieur et les ions  $\text{Li}^+$  vont venir se réinsérer dans la structure hôte du matériau de l'électrode négative. Ces réactions sont résumées sur la Figure I.4 ci-dessous :



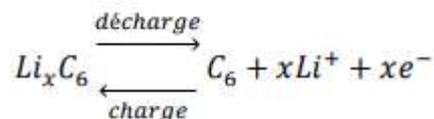
**Figure I.4 :** Schéma de fonctionnement de l'insertion / désinsertion des ions lithium au cours de la charge ou de la décharge d'une batterie lithium-ion.

Pour les technologies les plus largement utilisées aujourd'hui, l'électrode positive est constituée en général d'un oxyde et l'électrode négative de graphite. Si l'on prend l'exemple du  $\text{LiCoO}_2$  et du graphite, en tant que matériaux actifs, les réactions électrochimiques au sein de la batterie sont :

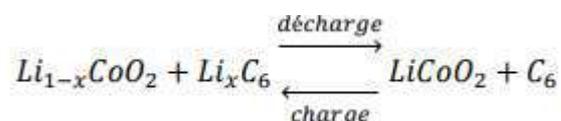
- À l'électrode positive :



- À l'électrode négative :



- L'équation bilan de fonctionnement de la batterie :



Il ne faut pas confondre un accumulateur lithium-ion et un accumulateur lithium : en effet, pour ce dernier, le lithium est présent sous forme métallique. Ce système a le défaut, au fil des charges et décharges, de produire des dendrites métalliques à la surface de l'électrode négative qui peuvent mener à des courts-circuits internes et des explosions. C'est pourquoi, après une suite d'incidents, ce type de batterie n'est guère plus utilisé au profit des systèmes lithium-ion. Ces dernières ont l'avantage d'utiliser le lithium sous forme uniquement ionique et ne peut donc pas créer de dendrites, ce qui réduit les risques de courts-circuits internes [4].

### **I.3.3 Éléments technologiques**

La batterie au lithium ion est généralement composée de :

#### **a) Électrode positive**

Dans le cas des générateurs secondaires, un "bon candidat" au titre de matériau d'électrode positive doit rester structurellement inchangé et ne pas se lier à son environnement. C'est pourquoi les matériaux les plus courants sont les oxydes de métaux de transition lithiés, plus particulièrement  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$  et  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ . Les deux premiers se caractérisent par une structure en couches, munie d'espaces interstitiels à deux dimensions, tandis que celle du  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  est de type spinel, munie d'espaces tridimensionnels. L'insertion du lithium s'y opère à un potentiel compris entre 3,5V et 4V par rapport au lithium.

#### **b) Électrode négative**

Réalisée en composés carbonés : graphite, carbones hydrogénés, carbones durs, oxydes mixtes de vanadium amorphes, oxydes mixtes à base d'étain ou d'oxydes mixtes à base de titane, elle sert comme matériau d'insertion et n'est pas modifiée lors de la réaction.

#### **c) Séparateur**

Comme les propriétés de séparateur de l'accumulateur au plomb, constitué d'un polymère membrane microporeuse.

#### **d) Électrolyte**

Dans le cas des accumulateurs lithium ion, l'électrolyte est constitué d'un mélange de solvants carbonés cycliques et/ou linéaires, tels que le propylène carbonate, dans lequel est dissous un sel de lithium, par exemple une solution de  $\text{LiPF}_6$  (lithium hexa fluoro phosphate) dans un mélange de solvants organiques. Il se trouve soit sous forme liquide ou solide (polymère sec, polymère gélifié ou composé organique vitreux). Sa nature fixe la tension maximale

d'utilisation de l'accumulateur. Pour un polymère sec, la tension maximale ne peut excéder 3.5V, alors qu'elle peut atteindre 4.8V pour un liquide ou un gel. De plus, le transport des ions ne modifiant pas l'électrolyte, la résistance interne est pratiquement indépendante de l'état de charge et ne varie notablement qu'avec la température [5].

### I.3.4 Les futures batteries lithium

Face à l'augmentation des exigences des applications telles que le véhicule électrique (VE), l'amélioration des performances des batteries Li-ion est devenue nécessaire. Le tableau 1.2 montre l'écart actuel entre les performances existantes et celles souhaitées pour une application VE.

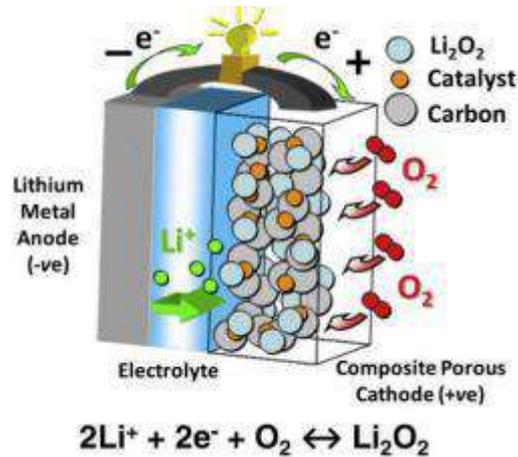
	Performances Li-ion	Cible VE
Densité d'énergie massique	100-250Wh/kg	500 Wh/kg
Densité d'énergie volumique	300-600 Wh/L	1000 Wh/L
Nombres de cycles	1000	1000
Durée de vie	5-8 ans	10-15 ans
Plage de température	-40/+60°C	-40/+85°C
Prix (Pack 40kWh)	1000-2000 US\$ kWh <sup>-1</sup>	125 US\$ kWh <sup>-1</sup>

**Tableau I.2 :** Comparaison entre les performances actuelles des batteries Li-ion et celles ciblées pour une application véhicule électrique.

Dans ce sens, des recherches académiques aussi bien qu'industrielles sont en cours pour trouver des nouveaux matériaux de cathodes comme dans le cas de l'accumulateur lithium/soufre (Li/S) qui devrait, selon les prévisions, étendre l'énergie spécifique de la batterie lithium-ion à 600 Wh/kg. En outre, de nouveaux matériaux capables d'insérer réversiblement les ions lithium et de remplacer l'anode en carbone par du silicium, du titane, de l'étain, de l'aluminium ou du germanium, sont en voie de développement. D'autre part, les recherches visent également à trouver des électrolytes stables et plus performants en termes de conductivité et de plage de potentiel d'utilisation comme

Les gels de polymère à base de liquide ionique. Des solutions alternatives pour les systèmes de stockage d'énergie se tournent également vers d'autres structures d'accumulateurs, comme les batteries air-métal. Cette technologie future, basée sur une anode en métal et une cathode à l'oxygène, profite de l'oxygène disponible dans l'air sans besoin d'être stocké à l'intérieur de la cellule, ce qui participe donc à l'amélioration de l'énergie spécifique. Parmi ces

batteries air-métal, les deux technologies les plus avancées sont les batteries lithium-air et zinc-air. La figure 1.5 illustre la structure et le fonctionnement d'une cellule lithium-air.



**Figure I.5 :** Structure schématique et fonctionnement de la cellule Lithium-air.

Ces technologies présentent une densité d'énergie massique très élevée comparée aux systèmes de stockage d'énergie conventionnels, notamment les lithium-air avec une énergie spécifique théorique de 12 kWh/kg (similaire à celle du gasoil) comparée à 2 kWh/kg pour les zinc-air selon les travaux publiés dans. Cependant, ces valeurs, très nettement supérieures à celles des batteries lithium-ion actuelles, devront être confirmées dans la pratique. Enfin, avant d'être commercialisée, la technologie lithium-air devra s'affranchir des dangers liés à la formation de produits de réaction entre l'air et les composés formant les électrodes, comme le dégagement de gaz inflammable suite à la réaction du lithium métal avec les molécules d'eau présentes dans l'air.

## I.4 Assemblage des batteries

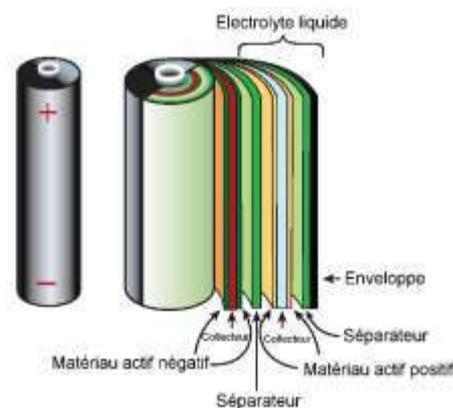
### I.4.1 Assemblage des batteries en forme cellule

S'excite quatre formes principales d'assemblages des batteries en cellule.

#### I.4.1.1 Cellule cylindrique

La cellule cylindrique est la plus fréquemment utilisée. On peut citer les formats grand public « AA » ou « AAA », ainsi qu'un format fréquemment rencontré (pour les batteries d'ordinateurs portables, certains véhicules électriques...) : le format « 18650 » qui tire son nom de son diamètre de 18 mm et sa hauteur de 65 mm.

Les formats cylindriques sont appréciés pour leur facilité de fabrication et leur très bonne résistance mécanique. S'il est principalement utilisé pour une petite quantité d'énergie embarquée (appareils portables), son faible prix (fabriqué en grande quantité) et sa sécurité intrinsèque obligent certains constructeurs automobiles (par exemple les voitures Tesla) à utiliser des milliers de cellules cylindriques pour former une grande capacité batterie. Le principal inconvénient des batteries cylindriques est que leur intégration mécanique implique de perdre l'espace vide entre chaque cylindre.



**Figure I.6 :** batterie li-ion cylindrique

### I.4.1.2 Cellule bouton

La cellule bouton est la plus compacte. Elle est utilisée pour minimiser la taille des packs batteries et favorise la mise en série des éléments, par empilement. Le format bouton est essentiellement utilisé pour des batteries non rechargeables, de petite capacité et principalement sur des appareils portables.

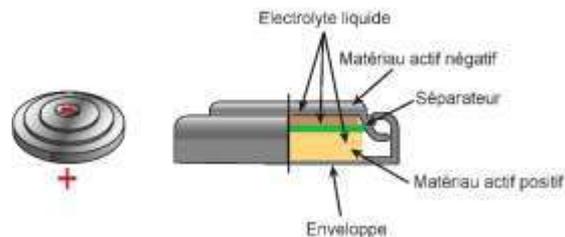


Figure I.7 : batterie li-ion bouton

### I.4.1.3 Cellule prismatique

Les cellules prismatiques ont été développées pour pallier la perte de volume des cellules cylindriques. Il est utilisé sous forme de composants de faible capacité (tels que les téléphones portables) et de composants de grande capacité (véhicules électriques). Contrairement aux piles cylindriques, il n'existe pas de format standardisé largement reconnu et utilisé. Sa résistance mécanique est inférieure à celle des batteries cylindriques. Avec le vieillissement, des phénomènes de gonflement sur les faces planes peuvent être observés, menant les fabricants à augmenter l'épaisseur de l'enveloppe et donc à diminuer la densité d'énergie.

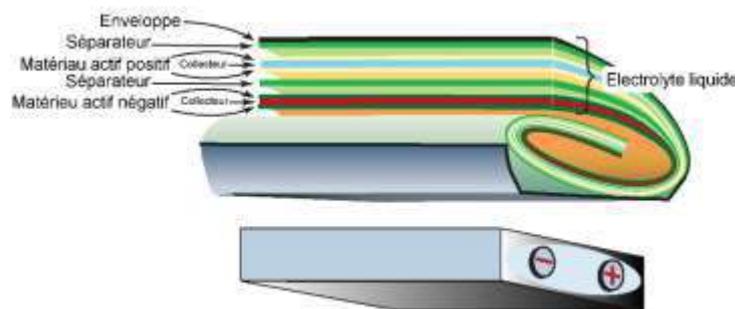
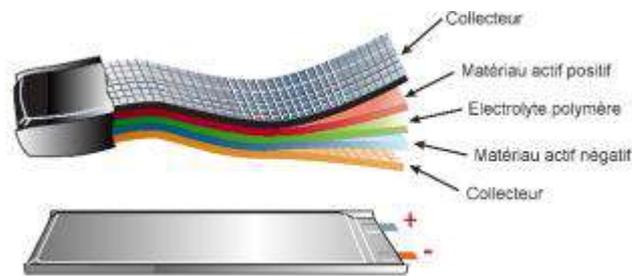


Figure I.8 : batterie li-ion prismatique

### I.4.1.4 Cellule sacoché

La cellule sacoché est dépourvue d'enveloppe métallique rigide. Celle-ci est remplacée par une enveloppe souple type « paquet de café » (« coffee bag cell ») qui permet un allègement important de la cellule. En contrepartie, cette dernière est plus fragile et sensible à la perforation. Il est donc de la responsabilité de l'utilisateur d'intégrer la cellule dans une protection mécanique, ce qui fait perdre une partie du bénéfice de l'allègement de l'enveloppe. Une autre

difficulté concerne le raccordement aux plots (bornes sous forme de lamelles souples) qu'il faut en général pincer [6].



**Figure I.9 :** batterie li-ion sacoché

#### I.4.2 Assemblage des batteries en forme pack

Dans les véhicules électriques et hydrogène, le système de stockage d'énergie consiste en un bloc-batterie qui est généralement à haute tension (des centaines de volts). Un bloc-batterie est formé de plusieurs modules, eux-mêmes constitués de plusieurs cellules unitaires connectées en série ou en parallèle, selon qu'une personne souhaite avoir respectivement plus d'électricité ou plus d'énergie. Ainsi, la batterie ou l'élément constitue la base de l'SSE et est le plus petit format que la batterie puisse prendre. La figure 1.10 montre la batterie lithium-ion utilisée dans le véhicule électrique Nissan LEAF. Ce pack se compose de 48 modules, chacun contenant quatre unités. Il a une capacité de 66,2 Ah et est conçu pour alimenter un moteur à courant alternatif synchrone de 80 kW via un onduleur.



**Figure I.10 :** Pack de batterie Li-ion de 24kWh pour le véhicule électrique Nissan LEAF.

Le montage en série des batteries permet d'obtenir plus d'énergie embarquée en augmentant la tension. A lui seul, la mise en parallèle permet d'avoir plus de capacité grâce à la somme des courants de chaque cellule. Par rapport au cumul des effets résistifs dans les composants série, le dernier composant permet de diviser l'impédance totale par le nombre de branches parallèles. Cependant, d'une part, la connexion en série des cellules peut entraîner des charges déséquilibrées en raison de la différence de température entre les cellules. En revanche, la mise en parallèle peut être très dangereuse en cas de court-circuit des cellules, et les modules risquent de prendre feu [2].

### **I.5 Conclusions**

A travers ce chapitre, nous avons présenté d'une manière générale les batteries et les différents types des batteries et leurs caractéristiques. On a concentré sur les batteries li-ion (leur origine, leur principe de fonctionnement, les différents packagings et typages existant...).

Dans ce chapitre, on a vu aussi pour quoi la technologie lithium-ion est actuellement la plus prometteuse parmi les accumulateurs existant sur le marché pour les applications automobiles.

# **Chapitre II :**

## **Circuiterie et programmation**

### II.1 Introduction

Pour réaliser notre projet « estimation d'état de charge d'une batterie » nous devons commencer par présenter la pièce maitresse de notre circuit qui est l'Arduino tout en expliquant son fonctionnement et ces différentes entrées et sorties (numérique et analogique). Ensuite nous allons décrire brièvement les différents composants dont nous avons besoin dans notre estimateur.

En plus de cela, nous mentionnerons les différentes techniques de charge qui peuvent être utilisées dans notre circuit.

### II.2 Arduino

#### II.2.1 Définition

Le projet Arduino a été rendu public en 2005. Après des nombreuses études par une équipe d'enseignants et d'étudiants de l'école de Design d'Interaction d'Ivrea [7].

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. La carte Arduino repose sur un circuit intégré (un mini-ordinateur appelé également microcontrôleur) associé à des entrées et sorties qui permettent à l'utilisateur de brancher différents types d'éléments externes. Arduino est utilisé dans de nombreuses applications telles que l'ingénierie électrique industrielle et embarquée, le modélisme, la domotique et dans des domaines différents comme la conduite robotique, le contrôle moteur et les effets d'éclairage, la communication avec les ordinateurs, le contrôle des appareils mobiles (modélisme).

Le projet a reçu un titre honorifique à l'Ars Electronica 2006, dans la catégorie Digital Communities.

#### II.2.2 Les gammes de la carte Arduino

A ce jour-là il y a plusieurs versions de module arduino a été produites commercialement, Nous mentionnerons quelques versions les plus populaires dans les projets académiques :

- **L'Arduino UNO :** cette version utilise un microcontrôleur Atmega328 et un ATmega8U2 comme un convertisseur.

- **L'Arduino Méga :** utilisant un ATmega1280 monté en surface pour des E/S et de la mémoire supplémentaires.
- **L'Arduino Mini :** une version miniature de l'Arduino utilisant un ATmega168 monté en surface.
- **L'Arduino Nano :** une version encore plus petite alimenter par USB utilisant un microcontrôleur ATmega168 (une nouvelle version de ATmega328).
- **L'Arduino Mega2560 :** utilise un ATmega2560, portant la mémoire totale à 256 ko. Elle incorpore également le nouvel ATmega8U2 (ATmega16U2 révision 3).
- **L'Arduino Leonardo :** avec une puce ATmega32U4 qui élimine le besoin de connexion USB et peut être utilisée comme clavier ou souris virtuel [8].

NOM	PROCESSEUR	VOLTAGE	VITESSE CPU	ENTREES/ SORTIES- ANALOG.	E-S DIGITALES/ PWM	EEPROM (kB)	SRAM (kB)	FLASH	UART
UNO	ATMEGA 328	5V/7-12V	16MHz	6/0	14/6	1	2	32	1
LEONARDO	ATmega32u4	5V/7-12V	16MHz	12/0	20/7	1	2.5	32	1
MEGA 2560	ATmega2560	5V/7-12V	16MHz	16/0	54/15	4	8	256	4
MICRO	ATmega32u4	5V/7-12V	16MHz	12/0	20/7	1	2.5	32	1
MINI	ATMEGA 328	5V/7-9V	16MHz	8/0	14/6	1	2	32	-
NANO	ATMEGA 328/ ATMEGA 168	5V/7-9V	16MHz	8/0	14/6	0.512	1/ 2	16/ 32	1

Tableau II.1 : Comparatif de quelques cartes Arduino [9].

### II.2.3 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 [10].

## II.3 Arduino uno

### II.3.1 Pour quoi arduino uno

Une des cartes les plus populaires « Arduino Uno ». C'est la carte la plus utilisée parce que :

- Arduino uno c'est la version la moins chère c'est la principale raison de préférer l'Arduino Uno au reste des cartes
- La carte peut être facilement connectée à l'autre système informatique via le port USB. Le port USB fixé dans la carte pour deux raisons. Il peut être utilisé pour fournir l'alimentation électrique à la carte et pour connecter la carte à un système informatique.
- La carte est capable d'être alimentée par un adaptateur CC ayant une tension de 12 V. La carte peut être chargée à partir de cette alimentation externe.
- Le microcontrôleur de cette carte peut être remplacée, retirée de la carte en cas de dommage ou de mauvais fonctionnement. Cette fonctionnalité de flexibilité n'est pas fournie dans les autres cartes Arduino.
- En raison de sa conception simple, il est facile à utiliser par les débutants
- La carte Arduino peu associer aux plusieurs accessoires qui simplifient les réalisations
- Les broches de la carte sont capables de fonctionner pour une alimentation constante de 5 v. Les broches numériques et analogiques sont utilisées pour régler la tension d'alimentation dans la carte [11].

## II.3.2 Constitution de la carte Arduino UNO

La carte Arduino Uno est basée sur un ATmega328 cadencé à 16 MHz. La carte est illustrée dans la figure si dessous.

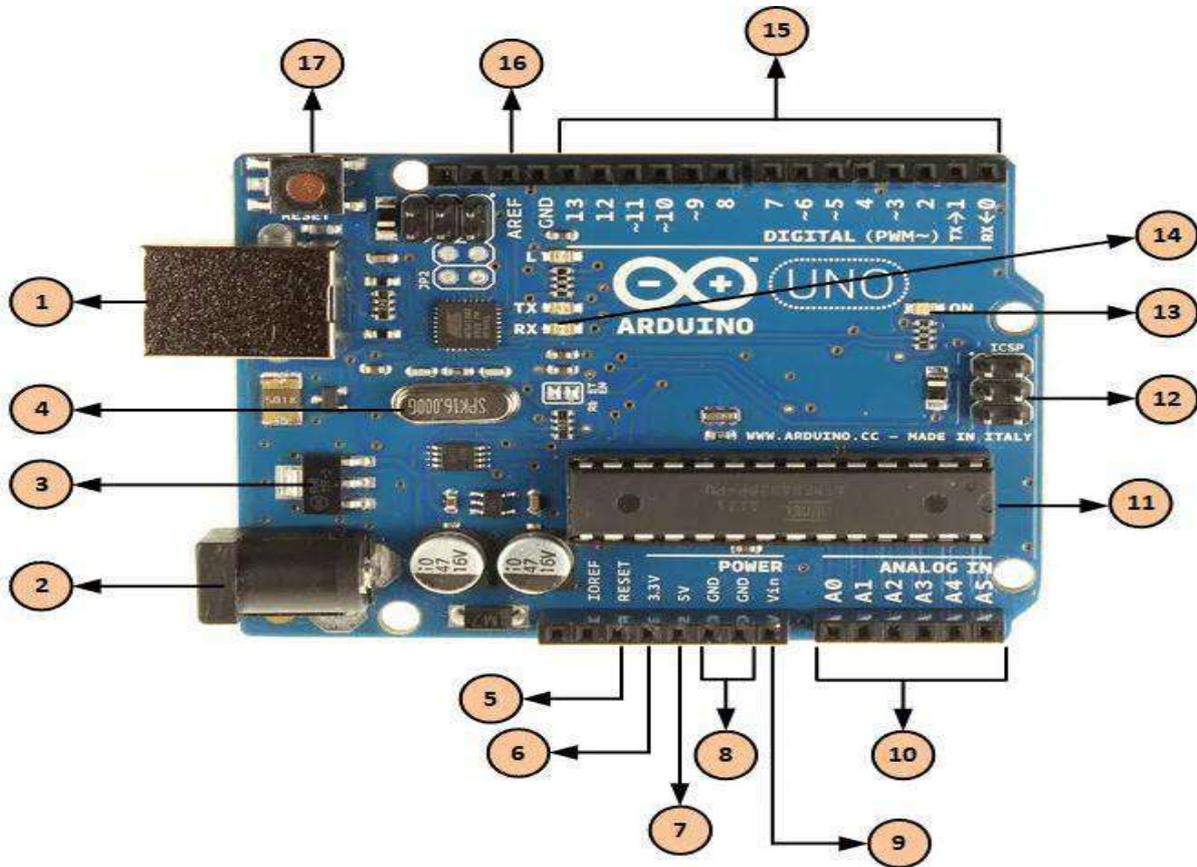
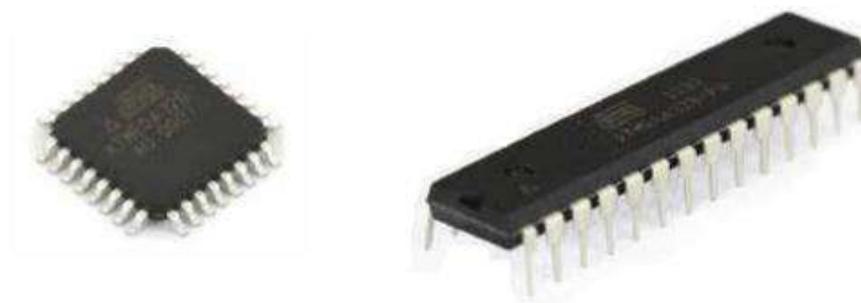


Figure II.1 : Composition de la carte ARDUINO UNO



Le composant CMS

Le composant classique

Figure II.2 : Microcontrôleur ATmega328

- 1- Port USB Type B mini sert à la fois à l'alimentation et au transport des données (via com virtuel)
- 2- Alimentation (si besoin) via connecteur Jack DC qui alimente l'arduino (vin 7 à 12V) (2.1 mm avec le + au centre) à courant continu (DC).
- 3- Régulateur de tension 5V contrôler la tension d'alimentation de l'Arduino pour la stabiliser à la bonne tension du microcontrôleur et de chaque élément de la carte.
- 4- Oscillateur à quartz : un élément électronique qui a la particularité de posséder un quartz à l'intérieur qui vibre sous l'effet piézoélectrique. Cet élément aide l'Arduino UNO à calculer les données de temps.
- 5- (5,17) pour redémarrer L'arduino :
  - En utilisant le bouton "Reset" (17) où
  - En connectant un bouton externe sur la broche (5)
- 6- (6,7,8,9,) Connexions portuaires :
  - 3.3V (6) – Broche d'alimentation de tension 3.3 Volts
  - 5V (7) – Broche d'alimentation de tension 5 Volts
  - Deux broches GND, fournissant la sortie zéro volt pour les appareils externes.
  - Vin (9) – broche qui permet d'alimenter l'Arduino depuis une source de tension extérieure
- 7- (10) 6 entrées analogiques numérotées (A0 à A5)
- 8- (11) Microcontrôleur principal un processeur ATmega328 : cette pièce est constituée par les mêmes éléments d'une carte mère d'un ordinateur (mémoire flash, RAM, EPROM)
- 9- (12) Connecteurs ICSP pour le téléchargement du système d'exploitation du microcontrôleur
- 10- LED verte témoin d'alimentation se voyant s'allumer lorsque vous branchez votre Arduino sur une source d'alimentation pour indiquer que votre carte est correctement alimentée.
- 11- (14) 2 LEDs TX et RX jaunes ou vertes, actives lors d'un téléchargement de programme
- 12- (15) 14 entrées/sorties numériques, 6 peuvent fournir une sortie PWM avec port série in/out RX TX (supprime une entrée-sortie numérique si utilisé)
- 13- (16) Broche AREF : cette broche est parfois utilisée pour définir une tension de référence externe (entre 0 et 5V) comme limite supérieure pour les broches d'entrée analogiques [12].

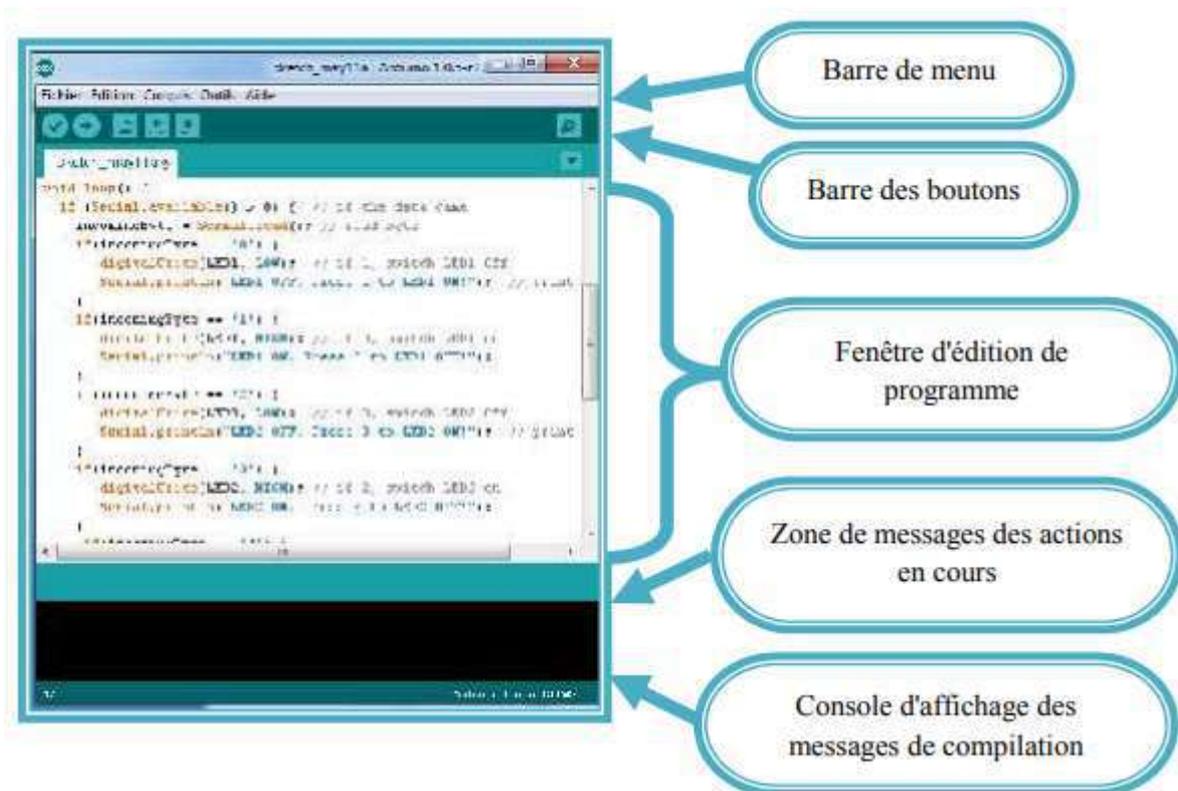
**II.3.3 Synthèse des caractéristiques de la carte Arduino UNO**

Caractéristiques générales	
CPU	ATMega328
Mémoire flash	32 ko
Mémoire SRAM	2 ko
Mémoire EEPROM	1 ko
Cadencement	16 MHz
Entrées / Sorties	
Alimentation	7 – 12 V ou USB
USB-B	Pour la programmation
E/S numériques	14 broches dont 6 PWM
E/S analogiques	6 broches
Autres E/S	Série, I2C, SPI
Intensité par sortie	40 mA

**Tableau II.2:** Caractéristique de la carte Arduino uno**II.4 Programmation d'arduino****II.4.1 Le logiciel de programmation**

L'Arduino IDE est une application Java, libre et multiplateformes, servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le firmware et le programme au travers de la liaison série (RS-232, Bluetooth ou USB selon le module). Il est également possible de se passer de l'interface Arduino, et de compiler les programmes via l'interface en ligne de commande.

Le langage de programmation utilisé est le C++, compilé avec avr-g++ 3, et lié à la bibliothèque de développement Arduino, permettant l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties. La mise en place de ce langage standard rend aisé le développement de programmes sur les plates-formes Arduino, à toute personne maîtrisant le C ou le C++ [13].

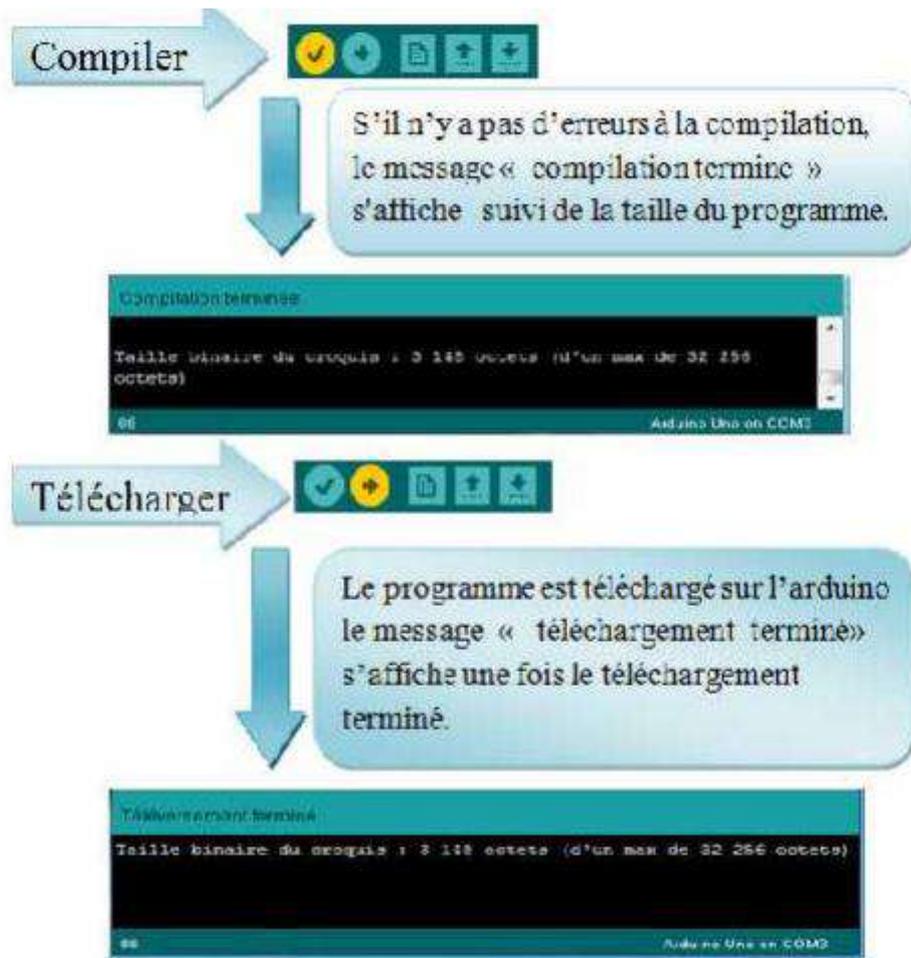


**Figure II.3 :** interface IDE ARDUINO

## II.4.2 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 [14].



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

### II.5 Chargeur électrique

Un chargeur est un appareil permettant de recharger un ou plusieurs accumulateurs électriques, 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 préréglé.

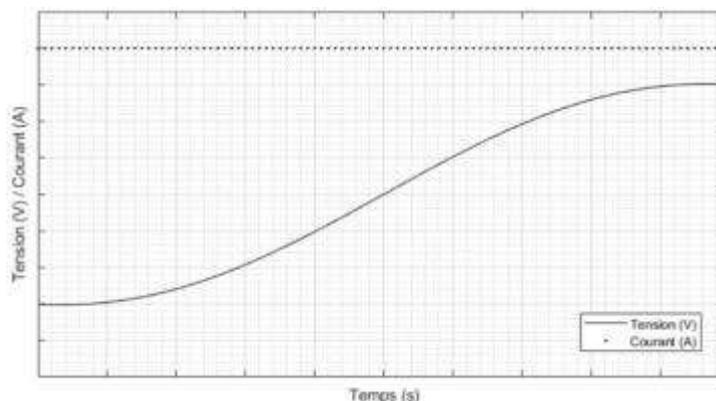
- **Contrôle par seuil de tension :** Lorsque l'accumulateur atteint ou dépasse un certain seuil déterminé par l'utilisateur, le chargement est considéré terminé.
- **Contrôle par seuil de courant :** Lorsque la consommation de courant descend en dessous d'une certaine limite, la charge s'arrête.
- **Contrôle par variation négative de la tension :** Bien que le courant soit injecté dans la batterie, la tension commence à diminuer ; ce qui implique que la charge est terminée.
- **Chargeur à microcontrôleur :** selon un programme dans un microcontrôleur l'organisation de la charge est effectuée selon une adaptation du courant ainsi que le temps de charge en fonction de la capacité et de la tension de la batterie, la détection de l'inverse de la polarité, le suivi de la température de la batterie ainsi que la détection de la fin de charge d'une manière combinée [15].

### II.7 Technique de recharge

L'objectif de la recharge des batteries est d'augmenter l'état de charge à son point maximal à chaque cycle tout en minimisant la dégradation de la capacité causée par des cycles de recharge. On distingue cinq techniques standards de recharge des batteries.

#### II.7.1 Courant constant (CC)

Le courant est constant tout au long de la recharge. Cette méthode est fiable, peu coûteuse et elle aide au balancement des cellules lors de la surcharge. Cependant, la surcharge causée en courant constant peut être dangereuse pour certains types des batteries. La Figure II.5 permet de bien visualiser cette technique.



**Figure II.5 :** Courbe de la recharge en courant constant

### II.7.2 Voltage constant (CV)

Le courant change en fonction de la différence de voltage entre le chargeur et la batterie. Ainsi, cette méthode est idéale pour maintenir une batterie chargée puisque le courant tend vers zéro. Cependant, lors de la recharge d'une batterie fortement déchargée, le courant peut être trop élevé. Cette méthode est fiable, peu coûteuse et sécuritaire, mais la durée de recharge est longue. La Figure II.6 permet de mieux comprendre cette technique.

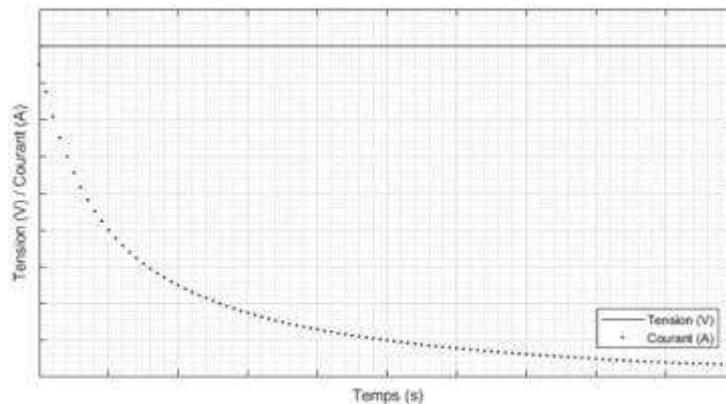


Figure II.6 : Courbe de la recharge à tension constante

### II.7.3 Courant constant – tension constante (CCCV)

Un courant constant (bulk) est appliqué jusqu'à l'atteinte d'une tension prédéfinie de maintien (float). Ensuite, cette tension constante est appliquée jusqu'à un courant prédéfini qui indique que la batterie est complètement chargée. Pour éviter l'usure prématurée de la batterie, cette tension est réduite à la tension de maintien lorsque la batterie est presque complètement rechargée. Cette technique peut causer des problèmes de balancement entre les cellules jusqu'au point d'inversion des pôles. Afin d'assurer la stabilité des cellules, il faut faire des cycles d'égalisation pendant lesquels la tension est légèrement augmentée pendant une période de 12 à 24 heures. Ceux-ci sont programmés pour se répéter à tous les 14 à 60 jours. La Figure II.7 permet de visualiser cette technique de recharge [16].

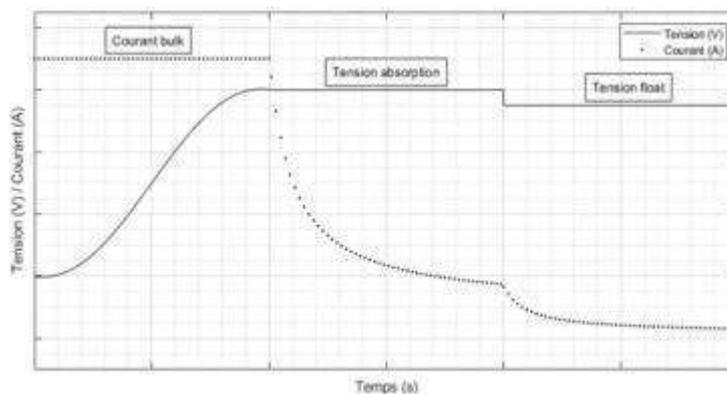


Figure II.7 : Courbe de la recharge en mode CCCV

### 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 [15].

### II.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons projeté une lumière sur une carte Arduino en donnant les raisons de son choix, puis nous avons référencé les différents types de cette dernière et présenter le bon type de carte pour notre travail, En suite nous expliquons deux parties importantes d'Arduino ; (partie matérielle et partie programmation).

Nous avons également présenté toutes les informations générales pour charger la batterie li-ion qui nous intéressons à estimer son état de charge.

# **Chapitre III :**

## **Simulation et Réalisation pratique**

### III.1 Introduction

L'énergie est de nos jours le centre de tous les conflits, des énergies renouvelables aux énergies fossiles en passant par le nucléaire, pratiquement tous convergent vers la production d'électricité, néanmoins cette dernière est difficilement stockable en grande quantité d'où le défi majeur des chercheurs dans le domaine, seuls les condensateurs et batteries en petite quantité, se classant en plusieurs types, leurs caractéristiques influent directement sur leurs performances.

Dans l'industrie nous retrouvons beaucoup ces accumulateurs, et il est clair que leurs performances vont faire la différence entre constructeurs de voiture électrique dans un avenir proche. Dans ces véhicules électriques il n'y a pas de jauge pour le niveau de réservoir comme dans les véhicules essence ou diesel, il est nécessaire de calculer l'autonomie des batteries au fur et à mesure de l'utilisation de celle-ci. Toutefois la difficulté pour la modélisation d'une batterie réside dans la nature des phénomènes électrochimiques et dynamiques qui se manifestent pendant son fonctionnement. Un système de gestion de l'énergie associé à la batterie est dans la plupart des systèmes faisant intervenir un système de stockage d'énergie afin d'avoir un fonctionnement optimum et garantir un minimum de sécurité en cas de réchauffement des cellules.

De nombreux paramètres sont cités dans la littérature, cependant le plus important d'entre eux reste le SoC (State of Charge) de la batterie, facteur caractéristique de l'état de charge de la batterie essentiel pour l'estimation de l'autonomie du dispositif.

### III.2 Estimation de l'état de charge de la batterie (SOC)

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

D'ailleurs, cette indication va nous aider à éviter une décharge profonde ou une charge excessive de la batterie. Ainsi, la durée de vie de la batterie sera plus grande. Le problème qui est souvent rapporté dans la littérature, c'est que l'état de charge ne peut pas être mesuré directement à l'aide de capteurs comme le cas d'une voiture ordinaire ou on peut mesurer le

## Chapitre III : Simulation et Réalisation pratique

niveau d'essence dans le réservoir à l'aide d'une jauge d'essence. Donc, pour palier à ce problème quelques méthodes ont été développées pour estimer l'état de charge.

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

### III.2.1 Estimation basée sur l'intégration du courant

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

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

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

Avec :

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

$SOC_0$  : état de charge à l'état initial.

$I_b$  : Le courant de décharge de la batterie.

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

$Q$  : est la charge nominale de la batterie.

### III.2.2 Estimation basée sur la tension à vide :

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

## Chapitre III : Simulation et Réalisation pratique

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

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

Avec :

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

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

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

Le modèle de batterie peut être :

- Un modèle électrochimique,
- Un modèle empirique,
- Un modèle basé sur un circuit électrique.

### III.3 Modèles de batteries

#### III.3.1 Modèle électrochimique

C'est un modèle mathématiques complexe représentés par des équations aux dérivées partielles qui prend en considération les phénomènes typiquement électrochimiques mis en jeu comme la diffusion, la polarisation et le transfert de masse au sein du couple électrochimique nécessitant des conditions initiales et aux limites aussi plusieurs paramètres chimiques qui sont difficiles à déterminer.

# Chapitre III : Simulation et Réalisation pratique

## III.3.2 Modèle empirique

C'est une méthode classique basée sur des tests expérimentaux. Les performances de la batterie d'accumulateurs sont enregistrées et tabulées. Ce type de modèle ne représente pas un modèle générique pour toutes les batteries car il ne tient pas compte de tous les paramètres, il faut faire des tests pour chaque type d'accumulateur.

## III.3.3 Modèle basé sur un circuit électrique

Ce type de modèle est bien connu et largement utilisé selon les applications et le type d'accumulateurs. Ce qui va suivre relate quelques modèles présentés dans la littérature. Ensuite, on s'intéressera à l'étude de deux différents types de modèles, dont on fera une simulation sous MATLAB/SIMULINK.

## III.3.4 Modèle idéal

Le modèle le plus simple et le plus commun, illustré dans la figure III.1, consiste en une source de tension idéale  $V_0$  (tension à vide) en série avec une résistance interne.  $V_t$  est la tension terminale aux bornes de la batterie.

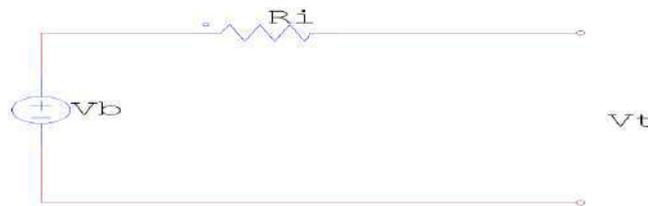


Figure III.1 : Modèle idéal

Dans ce simple modèle,  $R_i$  et  $V_b$  sont considérés. Ce modèle ne tient pas compte ni de la variation de la résistance interne de l'accumulateur en fonction de l'état de charge ni de la température. Ce modèle peut être appliqué si on peut négliger la dépendance des paramètres de l'état de charge et de la température

## III.4 Modèle

Le modèle que nous avons étudié dans notre mémoire est basé sur les travaux de Shepherd et all, le principe est de développer une équation qui décrit le comportement

## Chapitre III : Simulation et Réalisation pratique

électrochimique de la batterie en fonction de la tension aux bornes de la batterie, la tension en circuit ouvert, la résistance interne, le courant de décharge et l'état de charge.

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

- $E$  est la tension sans charge (V)
- $E_0$  est la tension constante de la batterie (V)
- $K$  est la tension de polarisation (V)
- $Q$  est la capacité de la batterie (Ah)
- $it$  est la charge actuelle de la batterie (Ah)
- $A$  est l'amplitude de la zone exponentielle (V)
- $B$  est l'inverse de la constante de temps de la zone exponentielle (Ah)<sup>-1</sup>.

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

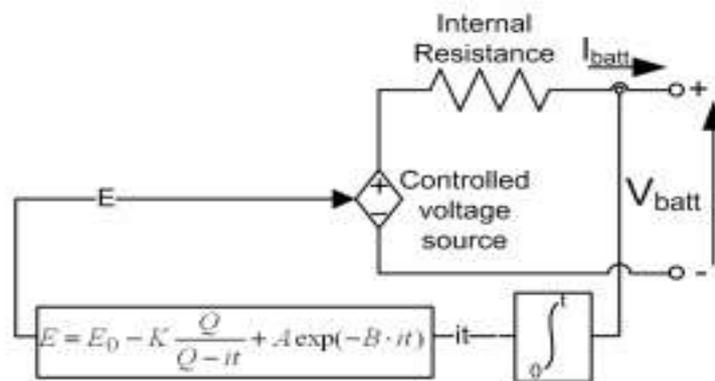


Figure III.2 : Modèle de batterie

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

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

Où est la tension de la batterie en (V),  $R$  est sa résistance interne en ( $\Omega$ ) et est son courant en (A). Ce modèle présente un terme dépendant uniquement de la charge actuelle de la batterie. Ce qui signifie qu'en cas de décharge complète de la batterie, sa tension sera près de zéro. Mais,

## Chapitre III : Simulation et Réalisation pratique

ce modèle donne des résultats précis et représente également le comportement réel de la batterie.

Ce modèle se base sur une série d'hypothèses :

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

### III.4.1 Extraction des paramètres du modèle

Les paramètres de l'équation qui décrit le modèle sont extraits à partir d'un certain nombre de points  $V_f$ ,  $V_{exp}$  et  $V_{nom}$  (Figure III.3) déduits de la courbe de décharge fournis par le constructeur.

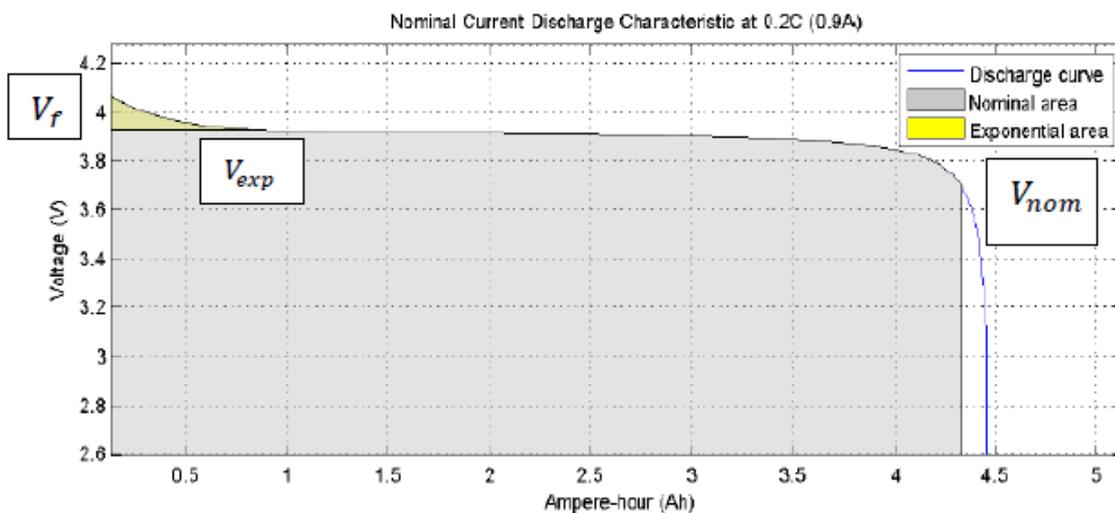


Figure III.3 : Caractéristique de décharge de la batterie

Pendant le processus de décharge on peut distinguer trois zones comme le montre la (figure III.3). Au début de la décharge la tension chute instantanément due à la résistance interne de la batterie qui est faible au début. Cette partie ne dure pas longtemps. Cette chute est suivie

d'une zone de tension nominale qui dure plus longtemps, appelée zone de polarisation ohmique, dans laquelle l'influence de la résistance interne reste quasiment constante. Enfin, la troisième représente la décharge totale de la batterie, lorsque la tension chute rapidement.

L'objectif est maintenant d'extraire les paramètres du modèle à partir de cette courbe de décharge et de certains éléments donnés dans la description technique de la batterie :

- **La résistance interne** : sa valeur est généralement précisée par les fabricants, il est possible de l'obtenir directement à partir des datasheets. Toutefois, si elle n'est pas donnée, il existe une relation permettant de l'obtenir, à savoir :

$$R = V_{nom} \frac{1-\eta}{0.2Q_{nom}} \quad (\text{III.5})$$

Où R est la résistance interne ( $\Omega$ ), est la tension à la fin de la zone nominale (V), est la capacité à la fin de la zone nominale (Ah) et  $\eta$  est l'efficacité de la batterie.

Pour la détermination des autres paramètres, trois points particuliers apparaissant sur (la figure III.3) sont utilisés. La tension de charge complète ( $V_f$ ) située à l'intersection de la caractéristique de décharge et l'axe de tension, la fin de la zone exponentielle (la tension  $V_{exp}$  et la capacité  $Q_{exp}$ ) et la fin de la zone nominale (la tension  $V_{nom}$  et la capacité  $Q_{nom}$ ).

En utilisant les deux premiers points, on arrive à déterminer la partie exponentielle dont la forme mathématique est la suivante  $A \cdot \exp(-B \cdot t)$  :

- A représente la chute de tension durant la partie exponentielle (V), donc :

$$A = V_f - V_{exp} \quad (\text{III.6})$$

- B est la capacité mesurée à la fin de la zone exponentielle (Ah)<sup>-1</sup>

$$B = \frac{3}{Q_{exp}} \quad (\text{III.7})$$

- La tension de polarisation K peut être déduite à partir de l'équation qui décrit le module, le premier et le dernier point de la figure III.3, alors

$$K = \frac{V_f \cdot 1 - V_{nom} + A(\exp(-B \cdot Q_{nom}) - 1) \cdot (Q - Q_{nom})}{Q_{nom}} \quad (\text{III.8})$$

# Chapitre III : Simulation et Réalisation pratique

La tension constante  $E_0$  est déduite ainsi :

$$E_0 = V_f + K + R \cdot I - A \tag{III.9}$$

Cette approche est très générale et elle peut être appliquée à n'importe quel type de batterie.

## III.4.2 Simulation

Dans notre simulation on a utilisé les paramètres suivants tirés d'un exemple concret

Paramètres	$E_0$	$R_i$	$K$	$A$	$B$
valeurs	3.7348	0.09	0.00876	0.468	3.5294

Tableau III.1 : les valeurs des paramètres

- Schéma Simulink :

Le schéma utilisé pour la simulation est présenté par la figure suivante

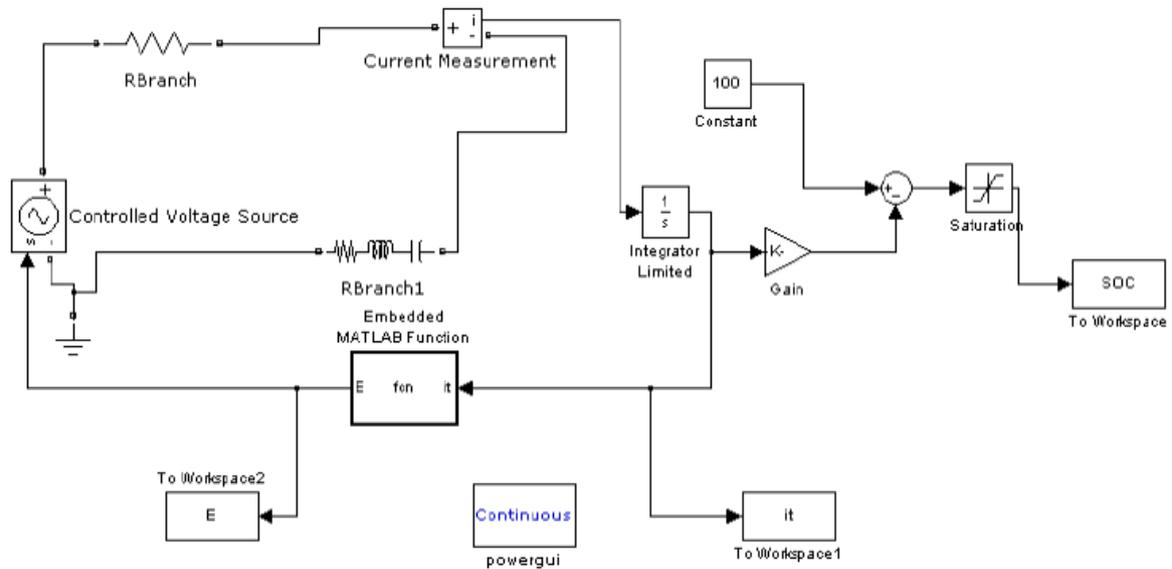
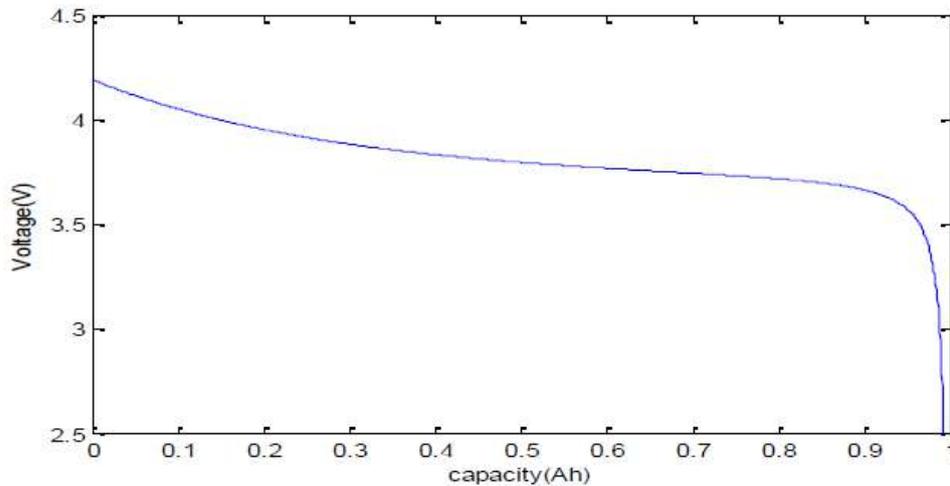


Figure III.4 : Modèle étudiant de la batterie sous Simulink

- Courbe de décharge :



**Figure III.5 :** Courbe de décharge de la batterie Lithium-Ion 3.6V 1Ah

Il apparait bien dans cette figure que à  $t=0$ , la tension de la batterie selon l'équation (3.3) est égale à  $E_0 + A=4.19$  V, une fois la batterie commence à se décharger, la tension chute au début brusquement et cela est dû à la résistance interne. Après cette chute, la tension reste stable (tension nominale) par ce que la résistance est quasiment constante pendant cette période. Une fois que la quantité de matériaux actifs est réduite à cause de la réaction chimique, c'est-à-dire quand,  $Q = \int_{t_0}^t Ib. dt$ , la tension chute brusquement, ce qui indique la fin de la réaction d'oxydoréduction et on a atteint pratiquement le maximum de capacité utilisée qui est de 1 Ah dans ce cas.

- L'état de charge de la batterie (SOC) :

Dans ce type de modèle SOC est obtenu en utilisant la méthode basée sur l'intégration du courant et on a supposé que l'état de charge initiale  $SOC_0=100\%$ .

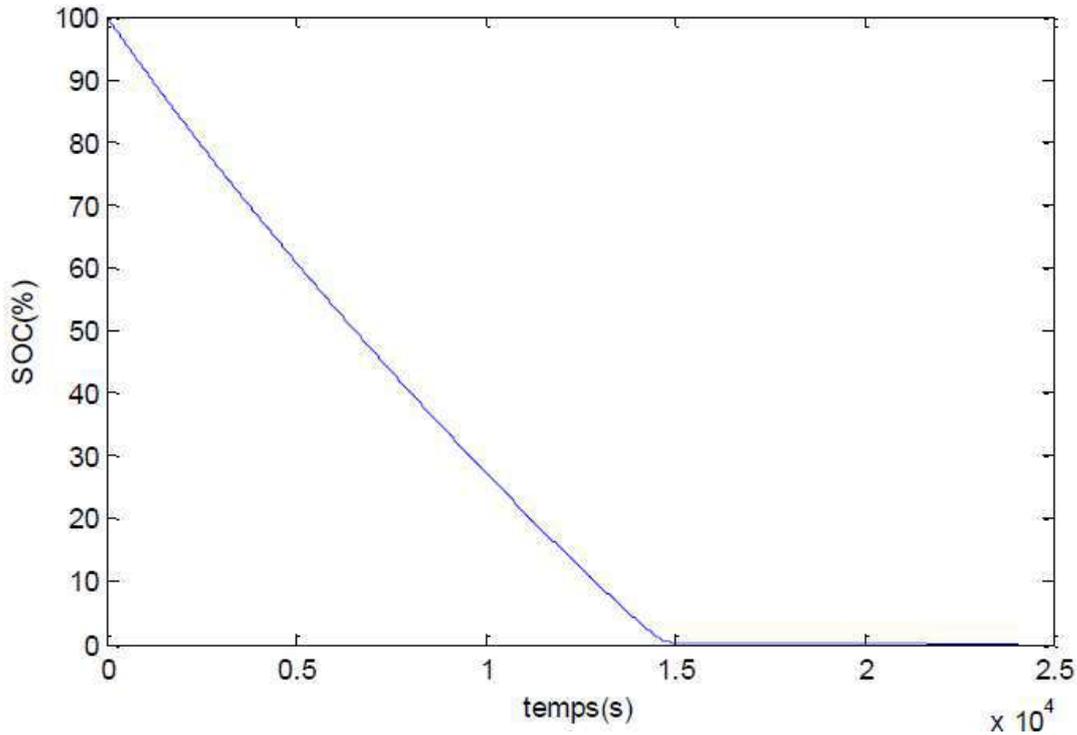


Figure III.6 : état de charge SOC

### III.5 Estimation à partir du Modèle

Pour avoir une estimation de l'état de charge nous utilisant notre modèle qui est également une amélioration du modèle simple grâce à l'insertion d'un dipôle RC ; appelé model de Thevenin. Il introduit une résistance appelée résistance de transfert  $R_p$ , qui représente l'effet de déplacement des ions entre les deux électrodes de la batterie, ainsi qu'une capacité  $C_p$  dite à double couche, qui représente le phénomène de contact entre l'électrode et l'électrolyte

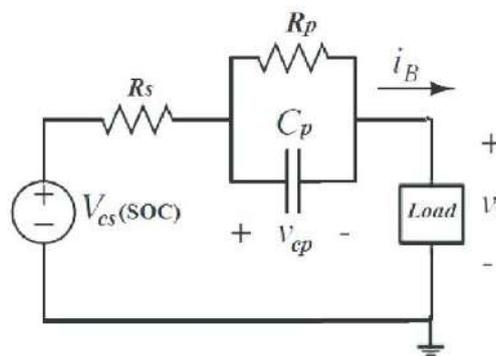


Figure III.7 : Simplification du modèle ou amélioration de thevenin

- $R_s$  la résistance interne ;
- $V_{cs}$  la tension à vide (SOC) ;
- $C_p$  la capacité de la double couche ;
- $R_p$  la résistance de transfert ;
- $V_t$  tension de sortie de la batterie ;
- $V_s$  est  $V_{cp}$  tension du condensateur ;

Ce dernier a comme avantage de prendre en considération la tension en circuit ouvert (OCV), en fonction de l'état de charge (SOC). Il permet de montrer la linéarité entre ces deux paramètres importants. L'inconvénient de ce modèle c'est que tous les éléments du circuit équivalent sont supposés constants et différents en charge et en décharge. Mais, en réalité ces paramètres varient aussi en fonction de l'état de charge et le taux de décharge.

Les équations suivantes sont utilisées pour modéliser ce modèle dans l'espace MATLAB/SIMULINK :

$$V_b = \frac{1}{C_b} + \int I \cdot dt \quad \text{avec} \quad \dot{V}_b = \frac{1}{C_b} \quad (\text{III.10})$$

$$I_2 = I - I_1 \Rightarrow I_2 = C_p \cdot \frac{dV_s}{dt} \Leftrightarrow \frac{dV_s}{dt} = \frac{I_2}{C_p} \Leftrightarrow \frac{dV_s}{dt} = \frac{I}{C_p} - \frac{I_1}{C_p} \quad (\text{III.11})$$

$$V_s = R_p I_1 \Rightarrow \frac{dV_s}{dt} = \frac{I}{C_p} - \frac{V_s}{C_p \cdot R_p} \Rightarrow V_t = V_{cs} - V_s - R_s I \quad (\text{III.12})$$

L'équation suivante représente la tension à vide ( $V_{cs}$ ) du modèle en fonction du SOC :

$$V_{cs} = A \cdot \text{SOC} + B \quad (\text{III.13})$$

C'est cette équation qu'on va utiliser pour estimer le SOC.

D'après cette équation on aura :

$$\text{SOC} = \frac{V_{cs}}{A} - \frac{B}{A} \Rightarrow \dot{\text{SOC}} = \frac{\dot{V}_{cs}}{A} = \frac{1}{C_b A} \quad (\text{III.14})$$

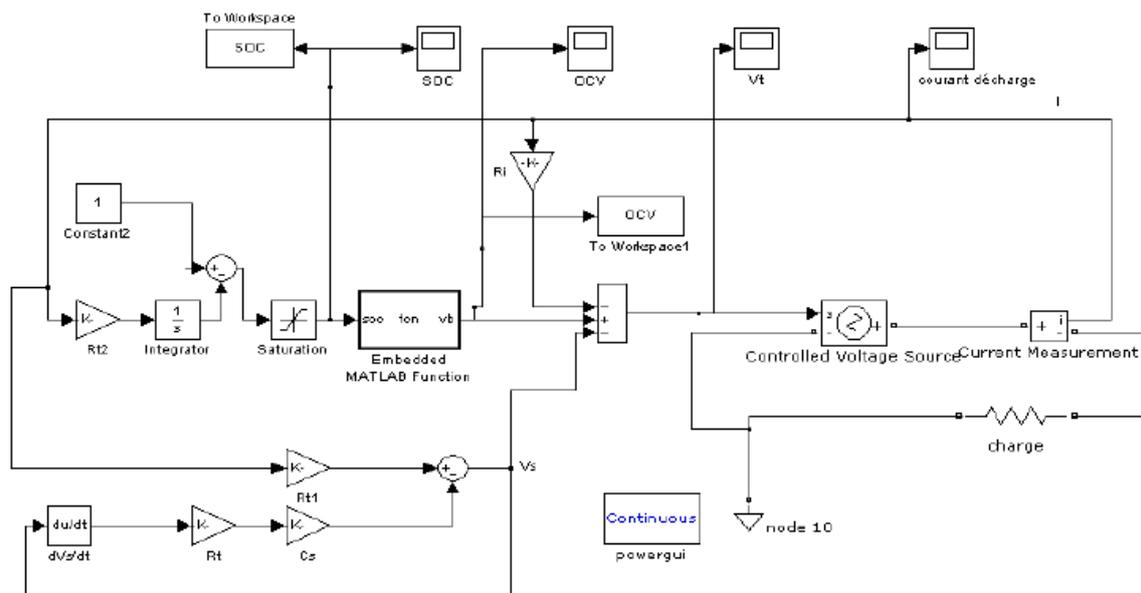
## III.5.1 Simulation

Dans notre simulation on a utilisé les Paramètre du modèle de Thevenin tiré des travaux de BELAZI-Nader 2012 [17].

- Cb oa la place de Vcs (11252 ,4 F) ;
- Cp la capacité de la double couche (27 ;31F) ;
- Rs la résistance interne (0,1174  $\Omega$ ) ;
- Rp la résistance de transfert (0,1645 $\Omega$ ) ;
- Coefficient A (5,38)
- Coefficient B (23,74)

## III.5.2 Schéma Simulink et résultats de simulation

Le schéma utilisé sur Simulink est représenté par la figure III..., les résultats de simulations sont nettement meilleurs à savoir : La tension à vide en fonction de l'état de charge (figure III.9), L'état de charge SOC pour deux charges différentes (20 et 50) (figure III.10), La tension en circuit ouvert (OCV figure III.11), La tension de la batterie (figure III.12) et le courant de décharge (figure III.13)



**Figure III.8 :** modèle de Thevenin sous simulink

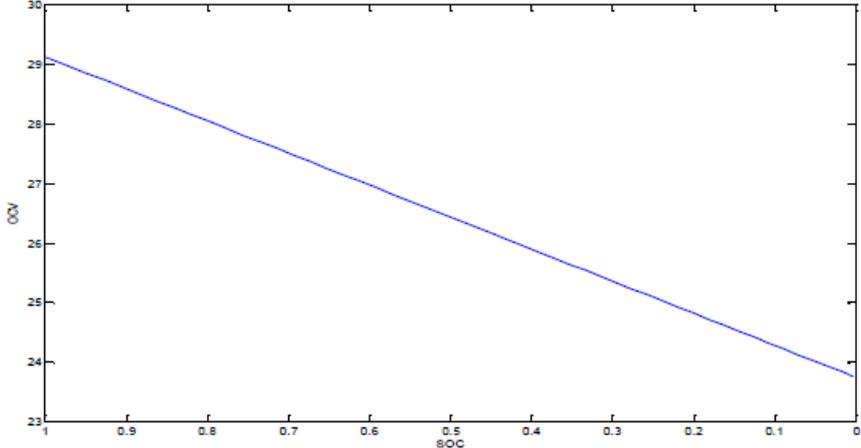


Figure III.9 :  $V_b$  en fonction du SOC

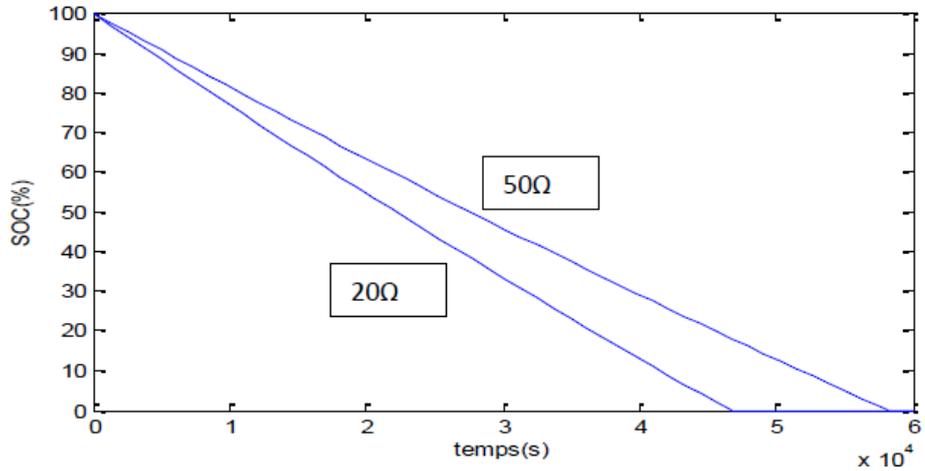


Figure III.10: SOC en fonction du temps

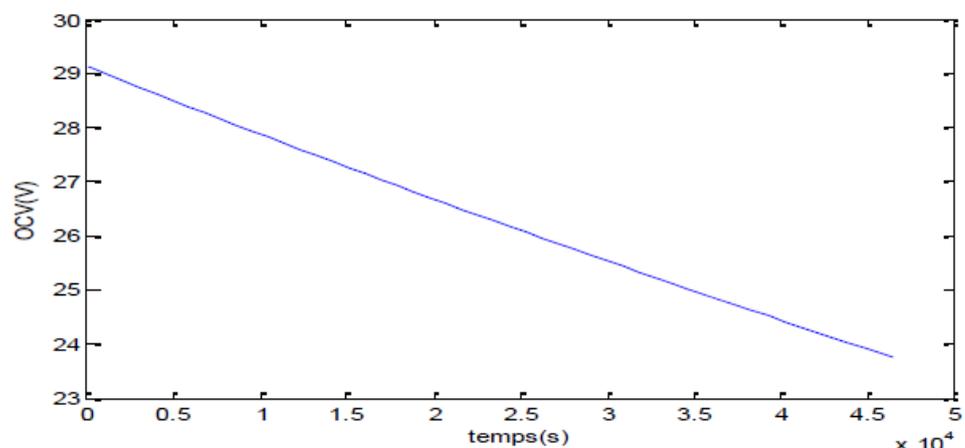


Figure III.11 : OCV en fonction du temps

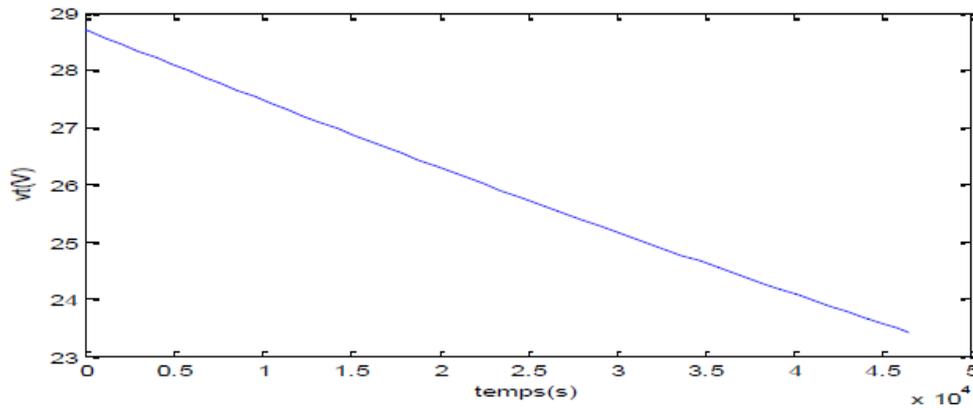


Figure III.12 : tension de la batterie en fonction du temps

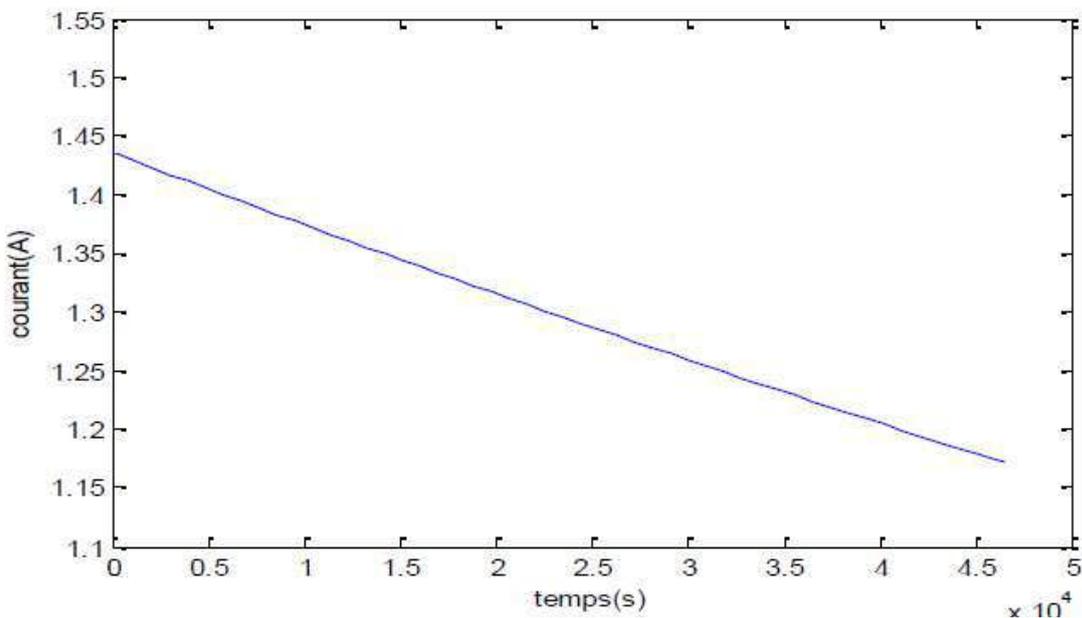


Figure III.13 : courant de décharge en fonction du temps

Le modèle utilisé se base à la fois sur une équation décrivant le comportement électrochimique de la batterie et un circuit électrique simulant son comportement électrique. En plus, il est dynamique dans le sens où on peut prévoir la caractéristique de décharge de la batterie Li-Ion à différent C-rate. Ils s'appuient sur les données des fabricants, à savoir les caractéristiques de décharge à courant constant et/ou à température constante.

### III.5.3 Réalisation du circuit

Afin de réaliser notre circuit nous allons se faire aider par une carte ARDUINO comme présenté dans le deuxième chapitre, est un système permettant l'estimation de l'état de charge

## Chapitre III : Simulation et Réalisation pratique

des batteries, et plus précisément, des batteries lithium-ion, permet une utilisation plus aisée de la batterie et d'avoir en temps réel différentes informations sur celle-ci.

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

Dans ce chapitre nous limitons notre étude sur deux aspects : la gestion de la charge et de la décharge et la gestion thermique. Un premier paramètre à surveiller est la tension. Ces batteries ne supportent pas les décharges profondes. Au contraire, une surcharge n'est pas très grave, mais cela induit une élévation de la température. La température est justement l'autre paramètre à surveiller afin de ne pas dépasser une température maximum pour éviter des explosions.

La figure suivante représente un schéma synoptique de gestion de la batterie incluant les divers critères de fonctionnement dépendant de la tension, du courant et de la température.

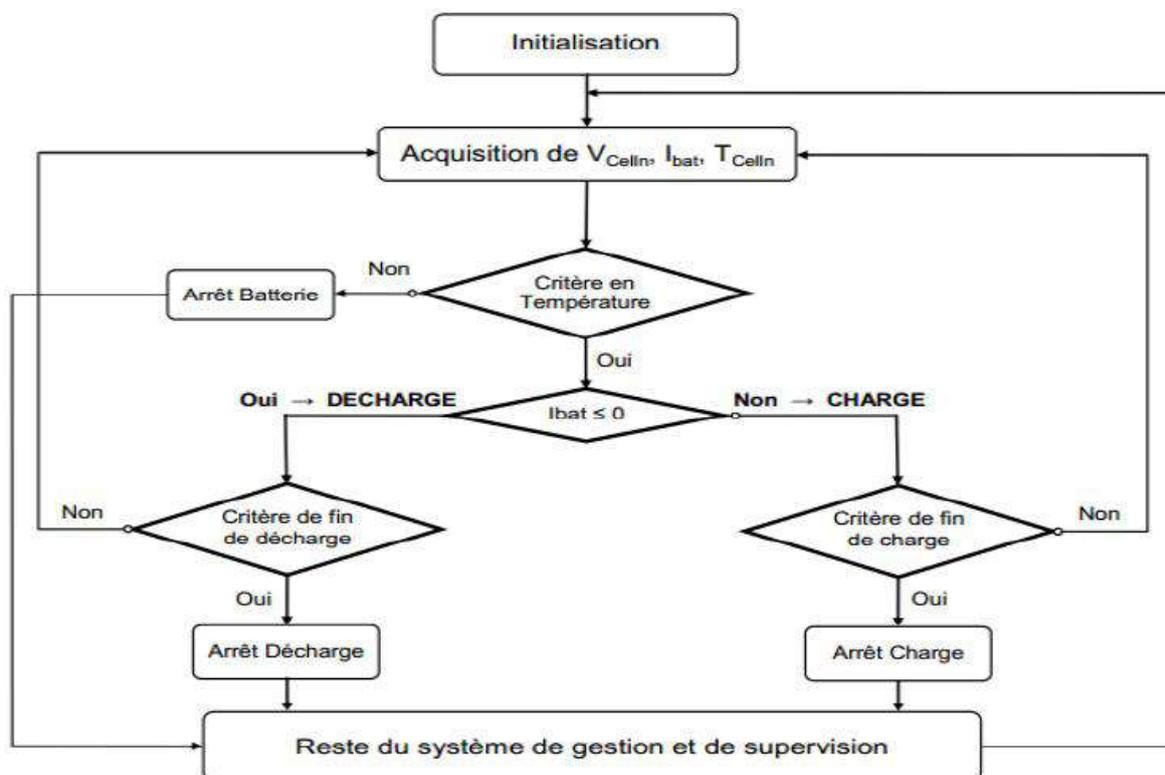
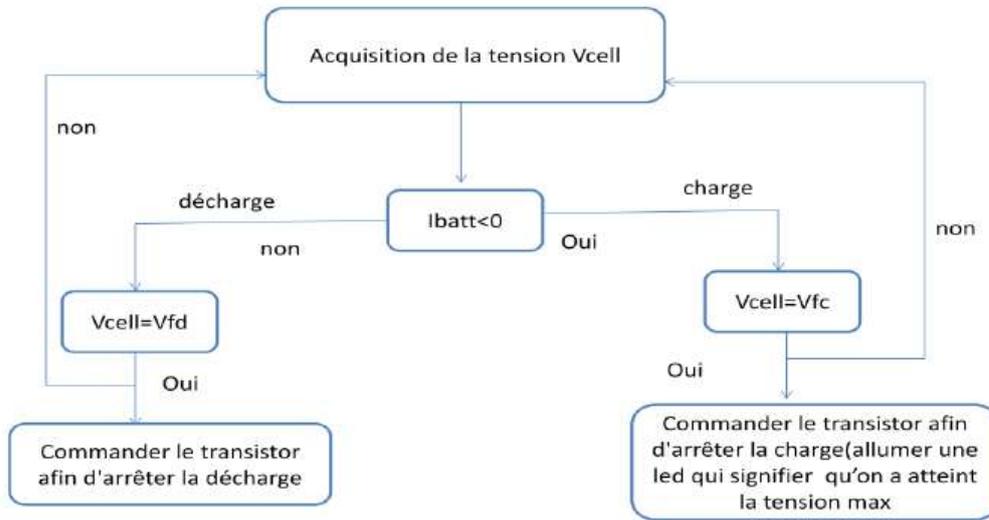


Figure III.14 : Synoptique d'estimation et de gestionnaire d'une batterie lithium-ion.

## III.5.4 Gestion du processus de charge et de décharge

Le but de cette fonction est d'arrêter la charge et la décharges quand la tension de la batterie atteint les valeurs limites dans les sens (4.1V en charge et 2.1V en décharge).



**Figure III.15 :** organigramme de gestion du processus de charge et de décharge

## III.6 Réalisation pratique

### III.6.1 Présentation des éléments électriques de la réalisation pratique

Les éléments nécessaires pour cette implémentation sont :

Eléments	Types	Valeurs	Quantités
Arduino	UNO	/	1
Afficheur	LCD 16x2	/	1
Régulateur de tension	LM317T	1.2-37 V/1.5A	1
Relais	SPDT	5 V	1
Cellule rechargeable	Lithium Ion NH22N	9V-175mAh	1
Adaptateur	AC/DC	12V-5A	1
Plaque d'essai	17x5.5cm	/	2
Résistance	R <sub>1</sub>	1.5Ω / 10W	1
	R <sub>2</sub>	2.2Ω / 1W	1
	R <sub>3</sub> ,R <sub>4</sub>	1k Ω	5
	R <sub>5</sub> ,R <sub>6</sub>	1M Ω	1
	R <sub>7</sub>	560 Ω	1
LED	/	/	9
Diode	1N4007	/	1
Transistor	NPN BC547	/	1
Résistance variable	Potentiomètre	10kΩ	1
Condensateur	C1	10μF	1

**Tableau III.2 :** Eléments électriques utilisés

# Chapitre III : Simulation et Réalisation pratique

## III.6.2 La réalisation sous ISIS

La conception et la fabrication d'un chargeur pour l'estimation de l'état de cette dernière 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.

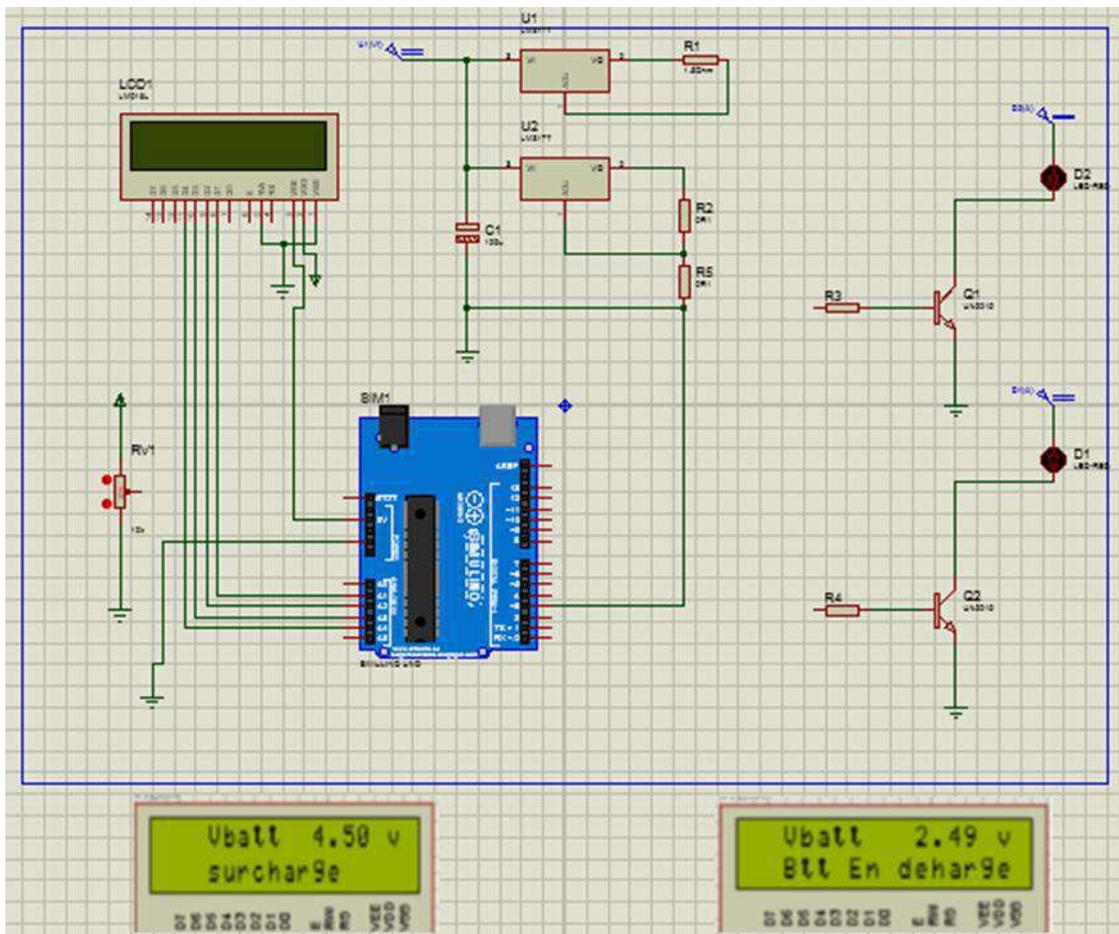


Figure III.16 : Schéma ISIS de gestion du processus de charge et de décharge

## III.6.3 Déclaration sur logiciel IDE

Les figures suivantes représentent l'essentiel du code réalisées sous l'IDE ARDUINO nécessaire afin d'expliquer son déroulement incluant les déclarations des bibliothèques, des variables ainsi que les constants. La partie, initialisation et configuration des entrées / sorties. Et enfin la partie principale qui s'exécute en boucle.

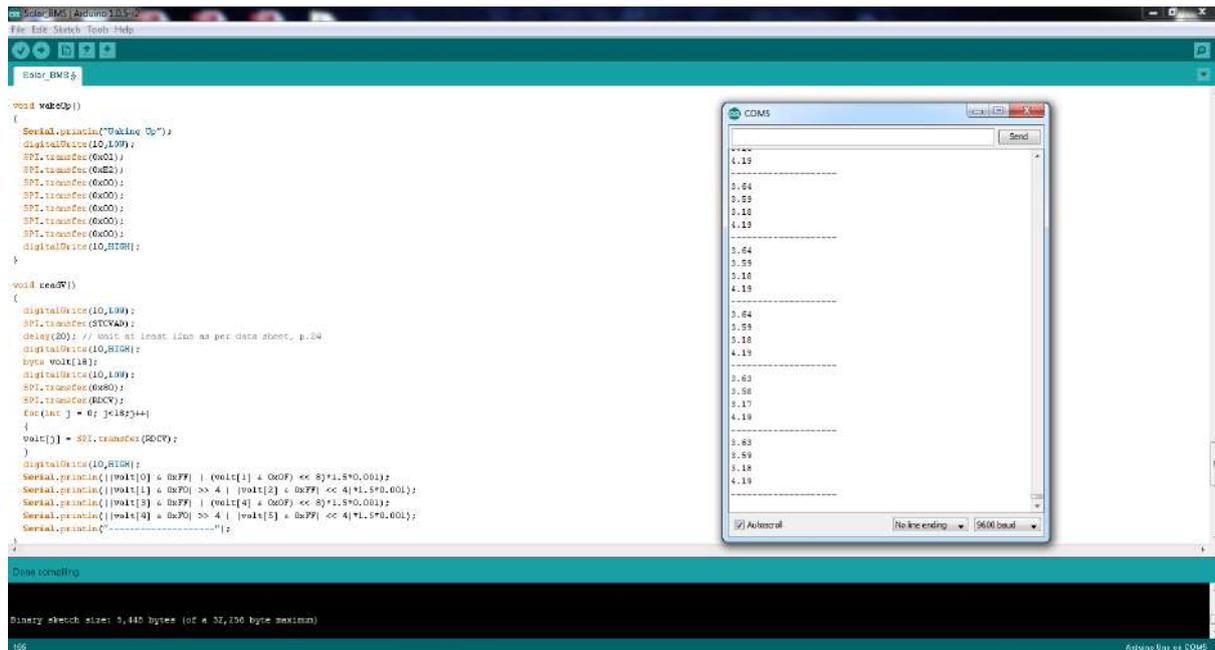


Figure III.17 : Déclaration des librairies, des variables ainsi que les constantes

### III.6.4 La réalisation réelle

Les figures présentent quelques photos réelles pour des différentes phases du dispositif réalisé.

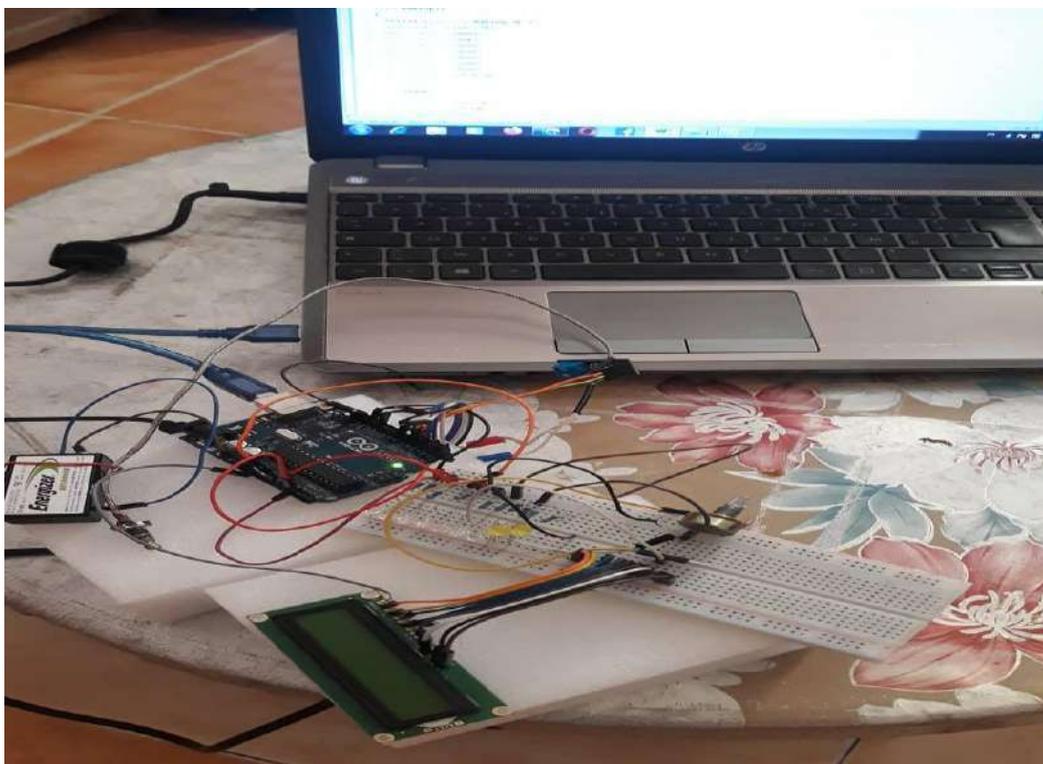


Figure III.18 : Photo présentant la phase pré charge

## **Chapitre III : Simulation et Réalisation pratique**

---

### **III.7 Conclusion**

Dans ce chapitre, on a traité deux parties du circuit estimatif du niveau de charge à savoir en premier temps la présentation d'un modèle assez simple qui met en évidence une seule équation pour décrire le chargement et le déchargement de différents types de batteries et en particulier les batteries Lithium-Ion. Le deuxième est la réalisation pratique avec une carte ARDUINO en présentant les codes nécessaires. Le développement de ces deux tâches simulation et réalisation est très important, l'intérêt au final est de garder une batterie lithium en bon état et pour éviter tout problème de détérioration dû à une température trop élevée ou une tension de charge/décharge trop élevée ou trop faible.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

De plus en plus présentes dans notre quotidien, en particulier dans nos appareils électroniques mobiles, les batteries intéressent aussi un large éventail de domaines industriels (automobile, réseaux de distribution d'électricité, aérospatial, etc.) et équipent nombre de dispositifs médicaux et robotiques. Depuis plusieurs années, on les considère comme l'un des moyens les plus performants et les plus flexibles pour stocker de l'énergie. Ces dispositifs électrochimiques accumulateurs d'électricité et rechargeables, dont le premier (la batterie au plomb-acide) a été mis au point en 1859 par le physicien français Gaston Planté, joueront sans doute un rôle clé dans la transition énergétique de nos sociétés vers un modèle de développement à faibles émissions de dioxyde de carbone.

L'utilisation d'une batterie pour alimenter un système électrique ou électronique, s'accompagne obligatoirement d'un système de prédiction de l'autonomie que puissent offrir cette batterie, comme une gauge de carburant pour les véhicules à fioul, Cette mesure s'appuie généralement sur un paramètre clé qui est le SOC, qui porte respectivement sur la charge débitée de la batterie. D'ailleurs, cette indication va nous permettre d'éviter une décharge profonde ou une charge excessive de la batterie. Donc, sa détermination est primordiale.

Dans ce travail on a traité l'estimation de l'état de charge d'une batterie, pour calculer ce paramètre important il est nécessaire de modéliser le comportement de la batterie, mesurer les différents paramètres tel que le courant la tension, la résistance interne et la température, et ainsi pouvoir calculer l'estimation de l'état de charge en se basant sur les mesures pris auparavant à vide, mais aussi sur les indications du constructeur, l'étude a le mérite de faire la lumière et de comprendre le comportement des batteries, des modèles de la batterie ont été présentés ainsi que les principales méthodes pour estimer l'état de charge de la batterie.

L'estimateur est basé sur deux considérations, dans un premier lieu on a considéré que la valeur de la tension à vide est la valeur de référence et on va calculer en fonction de la tension mesurée à charge, dans le deuxième cas, on a considéré que la tension donnée par le constructeur est celle de référence et l'observateur utilise une loi de THEVENIN pour trouver le COS exprimé en capacité, les résultats ont montré que l'estimation est parfaite

## Références bibliographie

---

- [1] An Li « Analyse expérimentale et modélisation d'éléments de batterie et de leurs assemblages – Application aux véhicules électriques et hybrides » L'UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1 en 2013.
- [2] Akram Edahech « MODELISATION DU VIEILLISSEMENT ET DETERMINATION DE L'ETAT DE SANTE DE BATTERIES LITHIUM-ION POUR APPLICATION VEHICULE ELECTRIQUE ET HYBRIDE » L'UNIVERSITÉ BORDEAUX 1 en 2013.
- [3] JACQUES MARCHILDON, « DÉTERMINATION DE L'ÉTAT DE CHARGE ET L'ÉTAT DE SANTÉ D'UNE BATTERIE PLOMB ACIDE PAR LA MÉTHODE DE DEUX IMPULSIONS » UNIVERSITÉ DU QUÉBEC 2004
- [4] Quentin Badey « Étude des mécanismes et modélisation du vieillissement des batteries lithium-ion dans le cadre d'un usage automobile » UNIVERSITÉ PARIS SUD 2012.
- [5] BERREKIBIA Mahfoud « Gestion d'énergie dans une véhicule électrique hybride » UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2019
- [6] Elie Riviere « Détermination in-situ de l'état de santé de batteries lithium-ion pour un véhicule électrique » Université Grenoble Alpes 2016.
- [7] <https://ardwinner.jimdofree.com/arduino/ipr%C3%A9sentation/#:~:text=L'Arduino%20est%20un%20projet,o%C3%B9%20l'on%20pourrait%20y>
- [8] S.V.D. Reyvanth, G. Shirish, «PID controller using Arduino ».
- [9] UTC.SORBONNE, B. PIQUEMAL, « COMPARATIF DES ARDUINOS ».
- [10] MOUSSAOUI Amira « Conception et réalisation d'un bras manipulateur commandé par l'Arduino Méga 2560 » Université M'hamed Bougara de Boumerdes 2017
- [11] <https://www.educba.com/what-is-arduino-uno/>
- [12] <https://bentek.fr/2-arduino-uno/>
- [13] Y. Abdssalam « Thermomètre à base d'arduino » Université HASSAN 1<sup>er</sup> SETTAT.
- [14] K. Abdelbasset G. Abdelmoumen « Etude et réalisation d'une carte de contrôle par Arduino via le système Androïde » UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2015

## Références bibliographie

---

[15] B.M. Lamine M. Youcef « Étude et Réalisation d'un Circuit de Recharge de la Batterie au Lithium Suivant les Deux Étapes « Mode Courant Constant et Voltage Constant » » UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2020

[16] S. Oukaour Y. Zerrougui A. Boulaoued « Etude et simulation d'un chargeur de batterie intelligent » Université A. Mira-BEJAIA

[17] Belazi Nader « ESTIMATION DE L'ÉTAT DE CHARGE (SOC) ET DE L'ÉTAT DE SANTÉ (SOH) D'UNE BATTERIE LITHIUM-ION UTILISÉE POUR LES VOITURES ÉLECTRIQUES » UNIVERSITÉ DU QUÉBEC 2012

## Résumé :

Les batteries Lithium ion sont les batteries les plus utilisées de nos jours, notamment dans le secteur des véhicules électriques, sur lequel le monde tend à s'appuyer davantage et à réduire l'utilisation de son homologue qui dépend des énergies fossiles. Dans ce projet, nous nous intéressons à l'estimation de l'état de charge d'une batterie Lithium ion à l'aide de deux méthodes. La première méthode est théorique en utilisant Matlab à l'aide des outils Simulink selon la théorie de Thévenin, tandis que la seconde méthode consiste à utiliser l'unité de contrôle Arduino en plus d'autres composants électroniques selon un circuit électrique spécifique.

**Mots Clés :** batterie au lithium ion, Matlab, Simulink, Thévenin, Arduino.

## مخلص:

بطاريات الليثيوم ايون هي البطاريات الاكثر استعمالا في هذه الايام خاصة في قطاع السيارات الكهربائية التي يتجه العالم للاعتماد عليها بصفة اكبر والتقليل من استخدام نضيرتها التي تعتمد على الطاقات الاحفورية. نهتم في مشروعنا هذا بتقدير حالة شحن بطارية الليثيوم ايون بطريقتين. الطريقة الاولى تكون نظرية باستخدام ماتلاب بمساعدة ادات سميولينك وفق نظرية ثيفنن اما الطريقة الثانية فتكون باستخدام وحدة التحكم اردوينو بالاضافة الى قطع الكترونية اخرى وفق دارة كهربائية معينة.

**الكلمات المفتاحية:** بطاريات الليثيوم ايون, ماتلاب, ثيفنن, سميولينك.

## Abstract :

Lithium-ion batteries are increasingly used batteries these days. especially in the electric car domain which are becoming the most reliable globally in comparison to those that work with fossil energy. In this project, we have regards for the estimation of state of charge of the Lithium-ion battery using two different ways. the first way, is hypothetically used by Matlab with the assist of Simulink device following the Thevenin hypothesis. however, the second way is by using the Arduino control unit with the assist of other electronic pieces according to a specific circuit.

**Keywords:** Lithium ion batteries, Matlab, Simulink, Thevenin, Arduino.