

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE**



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electronique

Spécialité : Electronique des systèmes embarqués

THÈME

**Réalisation d'un banc de caractérisation
d'une batterie solaire**

*Préparé par : GREM Kamal
GUESSAS Rania*

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Grade	Université	Qualité
BENATIA Abderrahmane	MCB	Tiaret	Président
BELARBI Mustapha	MCA	Tiaret	Encadreur
SEBAA Morsli	Professeur	Tiaret	Examinateur
NASRI Djilali	MCA	Tiaret	Examinateur

Promotion : 2020/2021

Remerciement

En préparation de ce mémoire, nous remercions

Allah qui nous a aidés pour faire ce modeste travail

Notre encadreur Monsieur BELARBI Mustapha pour son intérêt, sa sympathie, son soutien permanent, son suivie régulier, sa patience et ses conseils judicieux.

Notre président de jury monsieur ADDA.A, membres de jury Monsieur NASRI.D et monsieur SBAA.M pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Enfin, nous tenons à remercier tous les professeurs du département de génie électrique. Et toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous

Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail aux êtres les plus chers à nos yeux qui ont toujours été derrière nous depuis le début de nos études, c'est grâce à leurs encouragements et à leurs prières que nous sommes là aujourd'hui.

À nos très chers parents,

À nos chers frères,

À nos chères sœurs,

À nos chers cousins et cousines,

À nos amis,

Table des matières

Remerciement	I
Dédicaces	II
Liste des Abréviations	VIII
INTRODUCTION GÉNÉRALE	
Vue générale sur le stockage de l'énergie solaire	
I.1- Energie Photovoltaïque :	3
I.2- Générateur photovoltaïque :	4
I.3- principe des moyens de stockage d'énergie :	4
I.3.1- Dispositif de stockage d'énergie par supercondensateur (Scap) :.....	4
I.3.2- Dispositif de stockage d'énergie par bobine supraconductrice (SMES) :.....	5
I.3.3- Dispositif de stockage électrolyseur-hydrogène-pile à combustible :.....	5
I.3.4- Stockage sous forme d'air comprimé :.....	6
I.3.5-Stockage sous forme d'énergie gravitaire :.....	6
I.4- Dispositif de stockage accumulateurs électrochimiques :	7
I.4.1- Accumulateurs électrochimiques :.....	7
I.4.2- Principe de fonctionnement d'une batterie.....	8
I.4.5- Types de batteries.....	9
I.4.5.1- Batterie primaire.....	9
I.4.5.2- Batterie secondaire.....	10
I.5- Batterie plomb-Acide	10
I.6- Batterie Nickel-Cadmium (Ni-Cd)	10
I.7- Batterie Nickel-Métal Hydrure (Ni-MH)	11
I.8- Batterie Lithium.....	11
I.9- Microcontrôleur Pic16f877A.....	12
I.10- Relais.....	13
Conclusion :	14
Modélisation d'une Batterie Acide au Plomb	
II.1- Batterie Acide au Plomb	16
II.1.1- Les batteries ouvertes.....	16
II.1.2- Les batteries fermées (VRLA).....	17
II.2 Paramètres de batterie.....	18
II.2.1Tension.....	18
II.2.2 Température :	19
II.2.3 Capacité :.....	19
II.2.4Autodécharge :.....	20

II.2.5 Résistance interne :	20
II.2.6 Etat de charge (SOC) :	21
II.2.7 Décharge trop profonde (DOD) :	22
II.2.8 Etat de santé (SOH)	22
II.3 Cyclage :	23
II.4 Système de management de batterie BMS	23
II.5 charge et décharge :	24
II.6 Modèle de Copetti :	25
II.6.1 Copetti 1993.....	25
II.6.1.1 Equation de tension de décharge.....	26
II.6.1.2 Équation de tension de charge.....	26
II.6.1.3 Équation de surcharge.....	27
II.6.1.5 Utilité du modèle pour les concepteurs de systèmes PV.....	31
II.7 Copetti 1994.....	34
II.7.1- Tests et résultats.....	34
II.7.2- Modèle.....	35
II.7.3 Tension de charge et de décharge.....	37
II.7.4 Équation de la capacité de la batterie.....	38
II.7.5 Équation de résistance interne.....	39
II.7.6 Phénomène de surcharge.....	39
II.7.8 Modèle normalisé.....	42
Conclusion :	44
Etude pratique et réalisation	
Introduction :	46
III.1- Les logiciels utilisés pour la simulation.....	46
III.1.1- Le logiciel « Proteus ».....	46
III.1.1.1 ISIS.....	46
III.1.1.2 ARES.....	46
III.1.2- Le logiciel « MPLAB X IDE »	47
III.1.3- Le logiciel « LabVIEW »	48
III.2- MODULE (UART)	49
III.3- Commande avec microcontrôleur.....	49
III.4- Communication LabVIEW-Proteus.....	51
III.5 Composition d'un système DAQ.....	53
III.5.1 Capteurs.....	54
III.5.1.1 Capteur de tension.....	54
III.5.1.2 Capteur de courant.....	55

III.5.1.3 Capteur de température.....	55
III.5.2 Circuit de conditionnement.....	56
III.5.3 Mise en forme (échantillonnage, quantification, transmission).....	58
III.6 Partie de commande.....	59
III.7 Schéma globale :	60
III.8- Pickit3.....	62
III.9- RS232.....	62
III.10- Circuit sur plaque D'essai.....	63
III.11- Description du programme	63
III.12- Charge (décharge) classique	67
III.13-Paramètres de la batterie durant la charge	67
III.13.1-Tension de charge.....	68
III.13.2-Courant de charge.....	68
III.13.3-Température de charge.....	69
III.13.4-Etat de charge SOC.....	69
III.13.5-Profondeur de décharge DOD.....	70
III.14 Paramètres de batterie au cours de décharge.....	70
III.14.1-Tension de décharge.....	70
III.14.2-Courant de décharge.....	71
III.14.3-Température.....	72
III.14.4-Etat de charge SOC.....	72
III.14.6-Profondeur de charge DOD.....	73
Conclusion :.....	76
CONCLUSION GENERALE	
Bibliographie.....	81

Liste des figures

Chapitre I: Vue générale sur le stockage de l'énergie solaire

Figure I- 1:notion de cellule, de Module, de Panneau photovoltaïque.....	4
Figure I- 2:Utilisation des supercondensateurs pour stocker l'énergie	5
Figure I- 3: stockage d'énergie magnétique par bobine supraconductrice.....	5
Figure I- 4:Production et utilisation d'hydrogène produit à partir d'énergie renouvelable	6
Figure I- 5:Stockage hydraulique gravitaire.....	7
Figure I- 6:Couts des différentes technologies d'accumulateurs électrochimiques.....	8
Figure I- 7:Eléments de batterie	9
Figure I- 8:brochage du PIC16F877A.....	13
Figure I- 9:principe de fonctionnement du relai	14

Chapitre II: Modélisation d'une batterie acide au plomb

Figure II- 1:architecture interne d'une batterie acide au plomb.....	18
Figure II- 2:Evolution de la conductivité de l'électrolyte en fonction de la concentration d'acide sulfurique au sein de l'électrolyte et de la température.....	21
Figure II- 3:Etat de charge (SOC).....	22
Figure II- 4 : profondeur de décharge (DOD).....	22
Figure II- 5:Cycle d'une batterie	23
Figure II- 6:Architecture générale d'un BMS.....	24
Figure II- 7:yearly mean value of $1 - \eta_B$ and over charge upper thresholds for different system configuration.....	32
Figure II- 8:regulation thresholds for overcharge	33
Figure II- 9:Monthly mean values of $1 - \eta_B$ (a) and deficit (b) verus the over charge upper thresholds.....	33
Figure II- 10: yearly water consumption for different overcharge upper thresholds	34
Figure II- 11:tensions vs temps (a), et (b) décharge aux différents courants et 25°C pour batterie de Tudor..	36
Figure II- 12:Effets de température a I(C50) courant pour batterie de Tudor	37
Figure II- 13:Tension de charge finale vs température à divers courants pour batterie de VARTA.....	37
Figure II- 14: résistance interne en fonction de DOD.....	38
Figure II- 15:Résistance interne globale pour courant I(C10) à 25 °C pour batterie de VARTA durant le processus de charge et décharge.....	38
Figure II- 16:: Model modifié pour courbes de décharge.....	41

Chapitre III: Etude et réalisation pratique

Figure III- 1:Aperçus sur le logiciel Proteus (ISIS & ARRES).....	47
Figure III- 2:le logiciel de programmation MPLAB X.....	47
Figure III- 3: Face avant de logiciel LabVIEW.....	48
Figure III- 4: Block diagramme du logiciel LabVIEW.....	48
Figure III- 5:communication série entre deux machines.....	49
Figure III- 6:circuit communication entre deux microcontrôleurs.....	49
Figure III- 7:code injecté dans le pic master.....	50
Figure III- 8:code injecté dans le pic slave	50
Figure III- 9: code C de communication virtuel	51
Figure III- 10: Emulateur des ports séries virtuels.....	52
Figure III- 11: Block diagramme de transmission	52
Figure III- 12:Simulation de communication LabVIEW- Proteus.....	53
Figure III- 13: Schéma synoptique de mesure, acquisition, affichage et stockage de données DAQ.....	53
Figure III- 14: mesure de tension de la batterie.....	54

<i>Figure III- 15:le circuit ACS712</i>	55
<i>Figure III- 16:Capteur de température LM35.....</i>	55
<i>Figure III- 17: chaine de mesure de température.....</i>	56
<i>Figure III- 18: variation de la tension en fonction du courant.</i>	57
<i>Figure III- 18: chaine de mesure de courant.....</i>	57
<i>Figure III- 20:circuit de commutation.....</i>	59
<i>Figure III- 21:schéma globale de carte d'acquisition des données.....</i>	60
<i>Figure III- 22:interface d'acquisition de données sur LabVIEW.....</i>	61
<i>Figure III- 23: affichage des données acquises sur LabVIEW</i>	61
<i>Figure III- 24:programmateur PicKit3</i>	62
<i>Figure III- 25 : câble rs232 (femelle femelle).....</i>	63
<i>Figure III- 26 : circuit d'acquisition sur plaque d'essai.....</i>	63
<i>Figure III- 27 : l'organigramme de déroulement du programme.....</i>	64
<i>Figure III- 28:interface LabVIEW pour stocker les résultats sur une base de données.....</i>	65
<i>Figure III- 29: Affichage de base de données sur LabVIEW.....</i>	66
<i>Figure III- 30: Données sur la base de données.....</i>	66
<i>Figure III- 31: courbe de charge d'une batterie acide au plomb (tension/courant)</i>	67
<i>Figure III- 32: courbe de tension de charge ave différents courants.....</i>	68
<i>Figure III- 33 : Courbe de courant de charge des différents coefficients</i>	68
<i>Figure III- 34 : graph de température pendant la charge</i>	69
<i>Figure III- 35 : courbe de l'état de charge de la batterie.....</i>	69
<i>Figure III- 36 : courbe de profondeur de charge de la batterie DOD.....</i>	70
<i>Figure III- 37 : courbe de tension de décharge.....</i>	71
<i>Figure III- 38 : courbe de courant de décharge</i>	71
<i>Figure III- 39 : courbe de température de décharge</i>	72
<i>Figure III- 40 : courbe de l'état de charge de la batterie.....</i>	72
<i>Figure III- 41 : courbe de profondeur de décharge de la batterie.....</i>	73
<i>Figure III- 42 : quantité de courant (charge/décharge)</i>	73
<i>Figure III- 43 : batterie endommagée</i>	74
<i>Figure III- 44 : schéma de mesure 6 cellule sous Proteus.....</i>	75
<i>Figure III- 45 : batterie VRLA avec capteurs de température (LM35).....</i>	75
<i>Figure III- 46 : Température des 6 cellules de batterie.....</i>	76

Liste des Tableaux

Tableau II- 1 : comparison between values measured and calculated by the normalized model

Tableau II- 2: simulation results using the battery reference model

Tableau II- 3: Simulation results using Macomber's model of the battery

Tableau II- 4: Simuation results using the new normalized model proposed

Tableau II- 5: paramètres de model pour batterie de Tudor

Tableau II- 6: Comparaison entre valeurs mesurées et calculées par le model

Tableau II- 7 : comparaison entre valeurs mesurées et calculées par le model normalisé

Liste des Abréviations

CAES : Compressed Air Energy Storage

GPV : générateur photovoltaïque

SMES : Superconducting Magnetic Energy Storage

STEP : stations de transfert d'énergie par pompage

Scap : Dispositif de stockage d'énergie par supercondensateur

PIC: Programmable Interface Controller

PV: Photovoltaïque

FLA: flooded lead acid

VRLA: valve regulated lead acid

DOD: Depth of Discharge

RMSE: root mean square error

MBE: mean biais error

DAQ: data acquisition

ADC: analog to digital converter

VSPE : Virtual Serial Ports Emulators

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le stockage de l'énergie électrique représente un défi majeur ; actuellement beaucoup de recherches sont faites pour l'améliorer on parle des batteries, de la quantité d'électricité stockée dedans, durée de vie et l'état de charge et de décharge, en tenant compte de cout et des risques

L'objectif de ce mémoire est d'extraire les informations d'une batterie acide au plomb afin de connaitre son état, ensuite par le modèle mathématique proposé (model de Copetti) on peut prédire le fonctionnement de cette batterie.

Dans le premier chapitre nous vous propose, une vue générale sur l'énergie photovoltaïque, principe de stockage de cette énergie (parlant de batterie électrochimique), et les différents types d'accumulateurs qu'on peut utiliser pour stocker.

Dans le deuxième chapitre nous étudierons la batterie plomb-acide les types existant leur composition leur principe de fonctionnement ces caractéristiques et leur problèmes majeur.

Le but de troisième chapitre est de faire une analyse de la batterie par des expériences de plusieurs cycles de charge et de décharge en utilisant le logiciel LabVIEW et une carte d'acquisition pour l'extraction des paramètres et la modélisation de cette batterie

Chapitre I :

Vue générale sur le stockage de l'énergie solaire

Chapitre I : Vue générale sur le stockage de l'énergie solaire

Introduction

L'augmentation du coût des énergies classiques d'une part, et la limitation de leurs ressources d'autre part, font que l'énergie photovoltaïque devient de plus en plus une solution parmi les options énergétiques prometteuses avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre. Actuellement, on assiste à un regain d'intérêt pour les installations utilisant l'énergie solaire, surtout pour les applications sur des sites isolés.

I.1- Energie Photovoltaïque :

Le terme « photovoltaïque » souvent abrégé par le sigle PV, a été formé à partir des mots « photo » un mot grec signifiant lumière et « Volta » le nom du physicien italien Alessandro Volta.

L'énergie photovoltaïque est obtenue directement à partir du rayonnement du soleil. Les modules photovoltaïques composés des cellules photovoltaïques à base de silicium ont la capacité de transformer les photons en électrons. La conversion photovoltaïque se produit dans des matériaux semi-conducteurs l'énergie sous forme de courant continu.

Du point de vue énergétique, le rayonnement électromagnétique solaire est constitué de photons de longueur d'onde λ transportant une énergie donnée par la relation :

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad (I - 1)$$

Avec :

E (J) énergie,

h (J.s) constante de Planck ($= 6,62 \cdot 10^{-34}$),

c (m.s $^{-1}$) vitesse de la lumière ($= 3 \cdot 10^8$),

λ (m) longueur d'onde (souvent exprimée en micromètre),

ν (Hz) fréquence

Chapitre I : Vue générale sur le stockage de l'énergie solaire

I.2- Générateur photovoltaïque :

Un générateur photovoltaïque est un ensemble de cellules solaires connectées électriquement en série et/ou en parallèle pour générer le courant et la tension désirés. Selon l'application un GPV peut évoluer d'une simple chaîne, module, panneau jusqu'à atteindre le niveau d'un champ photovoltaïque (Figure 1). Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. Il est possible que le courant d'une cellule puisse dépasser les 3A. Toutefois la tension reste faible, il devient évident le recours à la connexion en série pour avoir une tension exploitable.

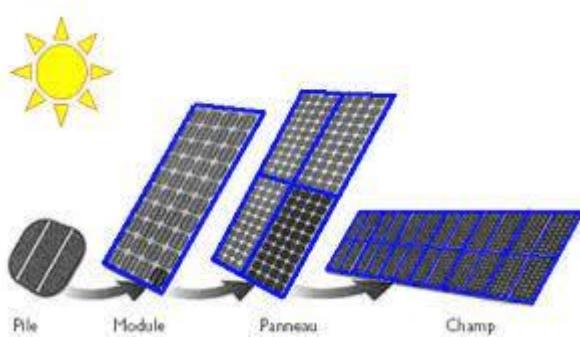


Figure I- 1:*notion de cellule, de Module, de Panneau photovoltaïque*

I.3- principe des moyens de stockage d'énergie :

La majorité des applications nécessitent de stocker de l'énergie afin de la restituer sous forme électrique. Une des meilleures façons de le faire est de convertir de l'énergie chimique en énergie électrique puisque toutes deux partagent le même vecteur qu'est l'électron. Les dispositifs électrochimiques capables d'effectuer une telle conversion, et qui sont connus sous les noms de piles à combustibles, supercondensateurs et batteries, seront décrits par la suite.

I.3.1- Dispositif de stockage d'énergie par supercondensateur (Scap) :

Le principe de base des supercondensateurs repose sur les propriétés capacitives de l'interface entre un conducteur électronique solide et un conducteur ionique. Le stockage d'énergie s'effectue par distribution des ions d'électrolyte au voisinage de la surface de chaque électrode, sous l'influence électrostatique de la tension appliquée

Chapitre I : Vue générale sur le stockage de l'énergie solaire

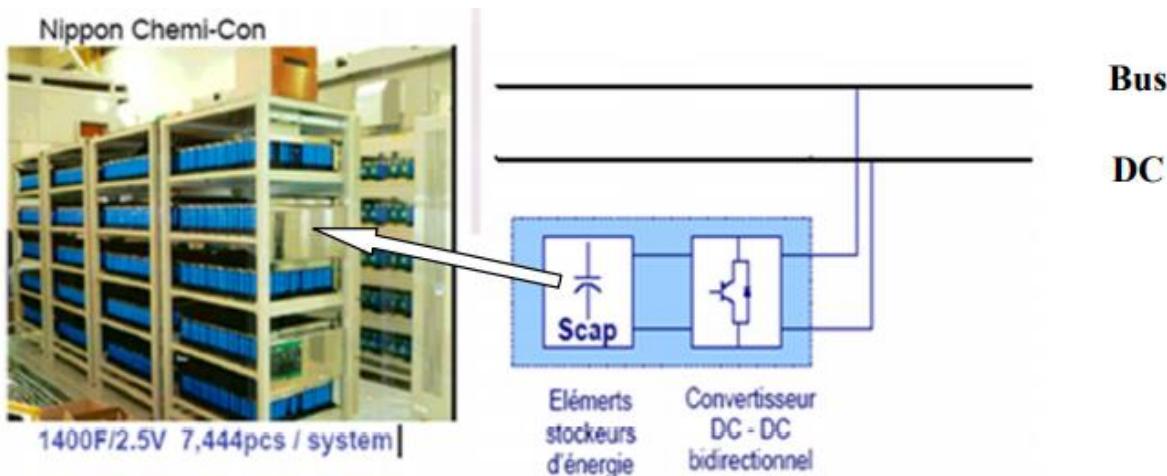


Figure I- 2:*Utilisation des supercondensateurs pour stocker l'énergie*

I.3.2- Dispositif de stockage d'énergie par bobine supraconductrice (SMES) :

Contrairement à des enroulements conducteurs classiques, la bobine supraconductrice présente une résistance nulle au-dessous de la température critique du matériau. Si elle est refermée sur elle-même, le courant qui la parcourt se maintient. L'énergie de la bobine n'est donc pas dissipée en chaleur par effet Joule et reste stockée sous forme de champ magnétique. Les principaux éléments de ce dispositif sont représentés sur la figure 02.

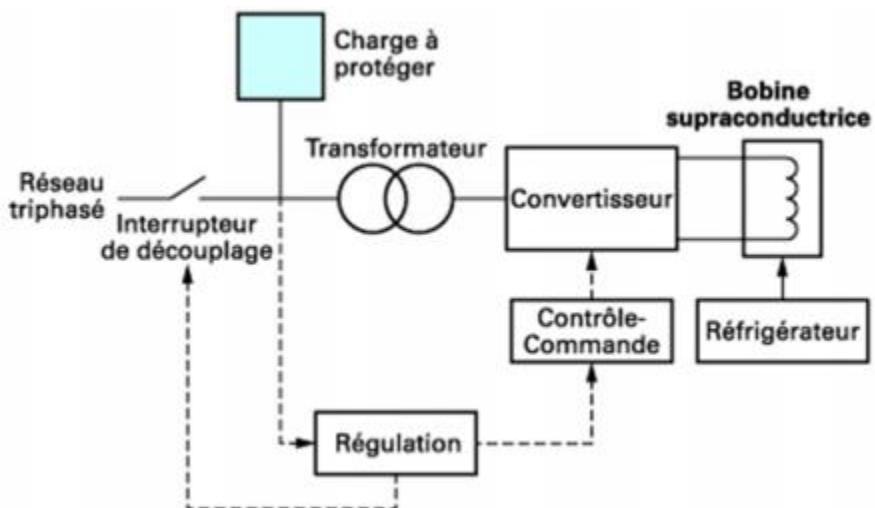


Figure I- 3: *stockage d'énergie magnétique par bobine supraconductrice*

I.3.3- Dispositif de stockage électrolyseur-hydrogène-pile à combustible :

Pour l'application des piles à combustible en tant qu'une partie d'un système de stockage pour les énergies renouvelables, deux solutions coexistent. La première solution est l'utilisation d'une pile à combustible qui peut à la fois fonctionner comme un électrolyseur et une pile à combustible. La deuxième solution pour le stockage de l'électricité à travers les médiateurs

Chapitre I : Vue générale sur le stockage de l'énergie solaire

d'hydrogène, et le plus mature, est l'association d'une unité de production de combustible, par exemple sous la forme d'un électrolyseur, avec un dispositif de stockage de gaz et, enfin, une pile à combustible qui convertit le gaz stocké en énergie électrique.

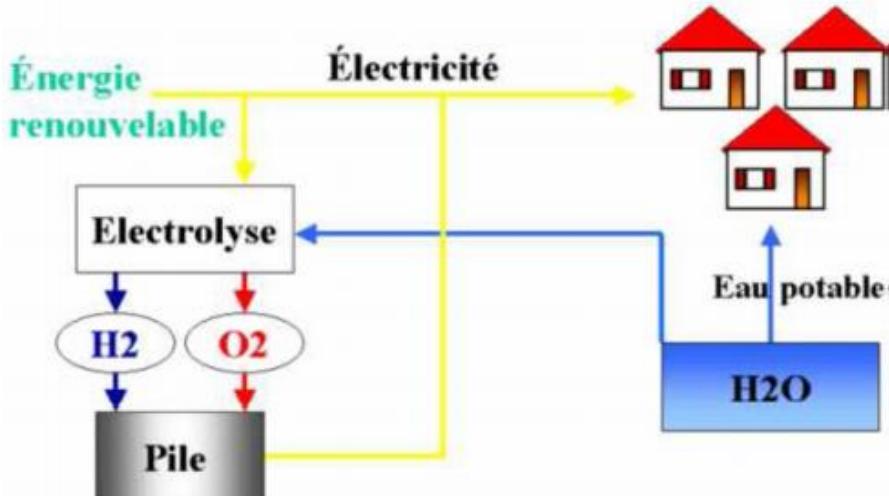


Figure I- 4:Production et utilisation d'hydrogène produit à partir d'énergie renouvelable

I.3.4- Stockage sous forme d'air comprimé :

Le stockage d'air comprimé (CAES) représente une technologie déjà relativement mature avec plusieurs réalisations de grande puissance.

On sait qu'une turbine à gaz classique utilise près des deux tiers de la puissance disponible sur l'arbre pour la compression de l'air de combustion. Il apparaît donc possible, en séparant les processus dans le temps, de comprimer l'air lors du stockage puis de produire, pendant les heures de déstockage, une puissance trois fois plus importante pour la même consommation de combustible

I.3.5-Stockage sous forme d'énergie gravitaire :

Ce type de barrages collecte les eaux d'un bassin versant et accumule ainsi de l'énergie qui ne sera transformée en électricité qu'en fonction des besoins instantanés du réseau.

Si l'on veut stocker de l'énergie électrique, il faut utiliser des stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) qui permettent de pomper et turbiner cycliquement la même eau entre un bassin supérieur et un bassin inférieur

Ce principe est utilisé pour les grandes énergies (quelques 10 GW.h, et 100 MW), il suffit de construire un réservoir à une hauteur h par rapport au système de pompage/"turbanage" :

$$W = mgh \quad (I - 2)$$

Chapitre I : Vue générale sur le stockage de l'énergie solaire

Son coût est très faible.

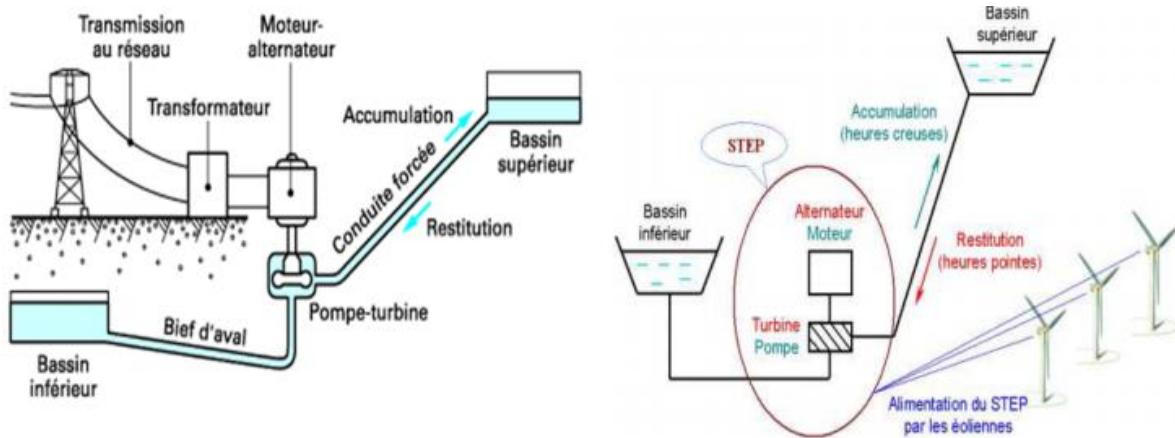


Figure I- 5: Stockage hydraulique gravitaire

I.4- Dispositif de stockage accumulateurs électrochimiques :

Deux électrodes, l'une positive et l'autre négative, sont séparées par un électrolyte. On dit qu'elles forment un couple électrochimique, parce qu'aux deux interfaces interviennent des réactions électrochimiques d'oxydoréduction.

I.4.1- Accumulateurs électrochimiques :

Le choix de la technologie d'accumulateur va dépendre du cout d'investissement (en €/kWh et en €/kW) et de la durée de vie des batteries dans les conditions de fonctionnement correspondant à l'application choisie. Les couts de chaque technologie sont présentés sur la (**Figure I - 1**).

Chapitre I : Vue générale sur le stockage de l'énergie solaire

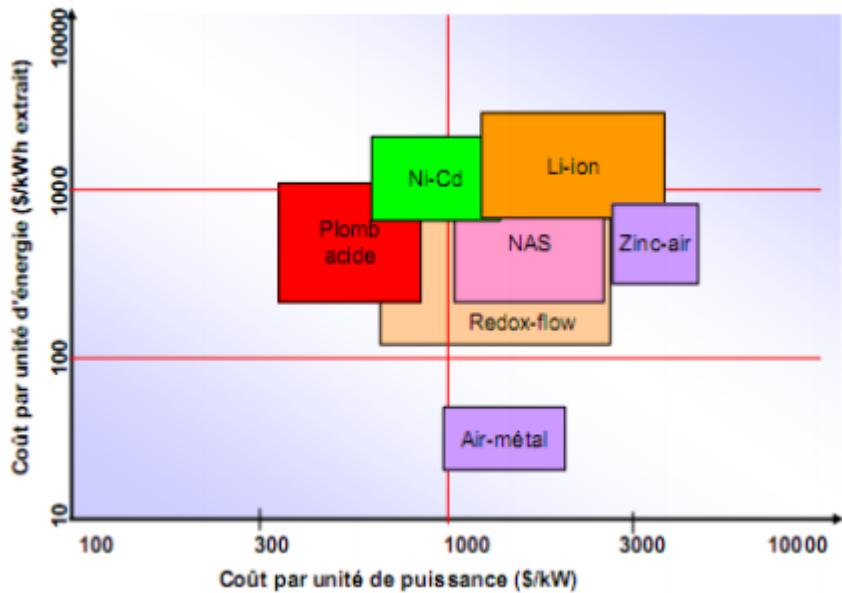


Figure I- 6:Couts des différentes technologies d'accumulateurs électrochimiques

Les batteries de technologie Plomb acide sont actuellement les plus utilisées pour les applications photovoltaïques. Elles sont principalement avantagées par leurs faibles couts pour des rendements satisfaisants. Leur inconvénient majeur est leur durée de vie qui est la plus courte des technologies comparées. La technologie Nickel-Cadmium (Ni-Cd) présente un 55 Chapitre : II Stockage de l'énergie Solaire cout plus élevé que les batteries au Plomb, pour une durée de vie supérieure mais un rendement plus faible. Des efforts sont nécessaires pour faire du Ni-Cd une technologie concurrentielle pour l'application photovoltaïque. La technologie Lithium-ion (Li-ion) s'annonce comme la concurrente la plus prometteuse. Sa durée de vie et son rendement sont parmi les meilleurs des accumulateurs électrochimiques. Le cout est encore important par rapport a la technologie Plomb mais une baisse significative dans les prochaines années est attendue de sorte que le Li-ion devienne la technologie la plus intéressante pour les applications PV.

I.4.2- Principe de fonctionnement d'une batterie

Une batterie d'accumulateurs appelé plus communément batterie, est un assemblage d'accumulateurs électrochimiques.

Un accumulateur électrochimique est un "générateur réversible", il peut stocker l'énergie électrique sous forme chimique puis la restituer à tout moment sur demande grâce à la réversibilité de la transformation.

Chapitre I : Vue générale sur le stockage de l'énergie solaire

Cette réaction est activée au sein d'une cellule élémentaire entre deux électrodes baignant dans un électrolyte, lorsqu'une charge est branchée à ses bornes.

L'accumulateur est basé sur un système électrochimique réversible et donc rechargeable, contrairement à une pile.

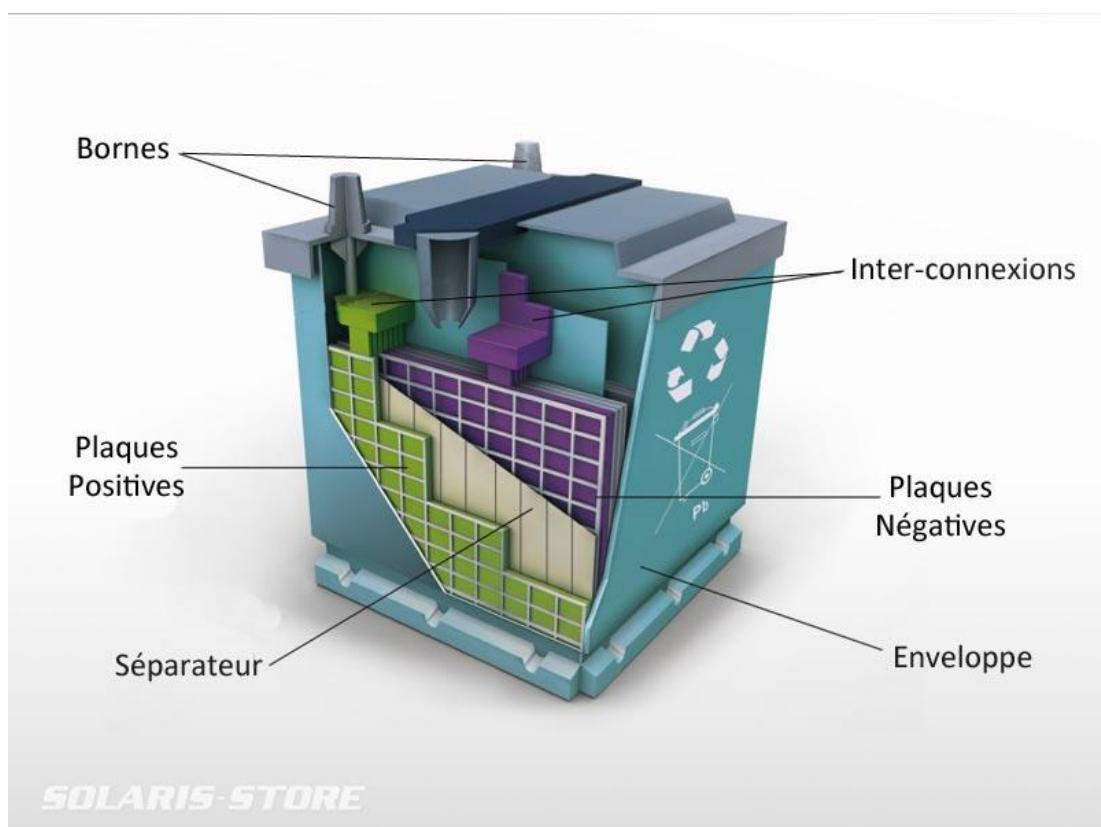


Figure I- 7:Eléments de batterie

Cette capacité nominale (C_n) est généralement donnée pour un régime de décharge en 10h (C_{10}). Pour une batterie de démarrage on parlera plutôt d'un régime de décharge en 5h ($C/5$) et pour une batterie à décharge lente (solaire) le régime de décharge sera donné à courant constant sur 100h (C_{100}).

I.4.5- Types de batteries

Il existe deux types de batterie :

I.4.5.1- Batterie primaire

Est une batterie qui est désignée pour être utilisée une seule fois avant d'être jetée, qui ne peut pas être rechargée avec de l'électricité et qui ne peut pas être réutilisée comme une batterie secondaire (batterie rechargeable). En général, la réaction électrochimique qui se produit dans

Chapitre I : Vue générale sur le stockage de l'énergie solaire

la batterie n'est pas réversible, rendant la batterie non rechargeable. Tandis que la batterie primaire est utilisée, les réactions chimiques dans la batterie épuisent les produits chimiques qui génèrent l'électricité ; une fois qu'ils sont totalement épuisés, la batterie arrête de produire de l'électricité et est inutile.

I.4.5.2- Batterie secondaire

La réaction peut être inversée en introduisant un courant électrique dans la batterie avec un chargeur de batterie pour la recharger, générant les réactions chimiques de nouveau. Il existe plusieurs batteries comme suite :

- Batteries Nickel-Cadmium (NiCd),
- Batteries Nickel-Métal-Hydrure (NiMH),
- Batteries Lithium-Ion (Li-Ion),
- Batteries Acide-au-Plomb.

I.5- Batterie plomb-Acide

Pour ce type de batteries, la cellule n'est pas fermée. Elle perd donc de l'électrolyte (composé typiquement de 65% d'eau et 35% d'acide sulfurique).

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de Plomb avec une pâte d'oxyde de plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte.

I.6- Batterie Nickel-Cadmium (Ni-Cd)

Le couple Nickel-Cadmium a été exploité pour la 1ère fois en 1890 par Waldemar Junger, mise en service comme batterie au début du 20ème siècle. Elle se base sur une électrode positive en NiOOH, l'électrolyte une solution alcaline (KOH à 22%) et l'électrode négative est en Cadmium (Cd). Durant la charge, l'électrolyse du H₂O est en compétition avec les réactions primaires. Pour une cellule ventilée (ventedcell) les gaz sont dégagés ; pour une cellule électriquement par une séparation. L'électrolyte utilisé est le même que pour le Ni-Cd.

Chapitre I : Vue générale sur le stockage de l'énergie solaire

I.7- Batterie Nickel-Métal Hydrure (Ni-MH)

Afin de surmonter les limitations en capacité des batteries Ni-Cd, des recherches sur un nouveau couple Ni-MH ont commencé en 1967. L'accumulateur est composé d'une électrode positive à base d'hydroxyde de nickel (NiOOH). Dans l'électrode négative, Le Cadmium est remplacé par un composé intermétallique hydratable, nommé par convention (MH). Ces deux électrodes sont isolées électriquement par une séparation. L'électrolyte utilisé est le même que pour le Ni-Cd.

Cependant, l'instabilité et l'incertitude sur le nombre de cycle du Ni-MH rencontrée à ses débuts, a conduit les scientifiques à développer une batterie pressurisée nickel-hydrogène (Ni-H₂) à la place. Aujourd'hui, NiH₂ est principalement une technologie spécifique à l'espace utilisée depuis 1975 pour les satellites géostationnaires. Sa densité d'énergie massique $C_{th} \approx 55$ Wh/kg et salon gévité sont supérieures à celles de la batterie Ni-Cd, mais son utilisation reste complexe et coûteuse du fait du stockage de l'hydrogène⁶. Bien que la technologie du Ni-MH est devenue maîtrisable d'où par son utilisation dans diverses applications portables, cette dernière s'est vue, peu à peu, supplanter par la batterie lithium-ion.

I.8- Batterie Lithium

Accumulateur Lithium-Ion : Cathode (borne +) : Oxyde de Cobalt + Lithium Anode (borne -) : Graphite + Lithium électrolyte : sel de Lithium en solution dans un solvant organique

- Accumulateur Lithium-Phosphate : Cathode (borne +) : Phosphate de fer en général ou Magnésium Anode (borne -) : Carbone électrolyte : sel de Lithium en solution dans un solvant organique
- Accumulateur Lithium-Polymère : Cathode (borne +) : Oxyde de manganèse + Lithium Anode (borne -) : Graphite + Lithium électrolyte : Polymère + solvants + antioxydants ...
- Accumulateur Lithium-Métal Polymère : Cathode (borne +) : Oxyde de vanadium, Polymère, Carbone Anode (borne -) : Lithium métal électrolyte : Polymère + sels de Lithium Tension de base de cellule : 3,6 V.

Utilisation : équipements portables, proto et petite série de véhicules...

Chapitre I : Vue générale sur le stockage de l'énergie solaire

Avantages majeurs : aucun effet mémoire, faible autodécharge, pas de maintenance, batterie pouvant prendre des formes fines et variées (Lithium-Polymère), faible poids, plus de cycles de vie.

Inconvénients majeurs : l'électrolyte liquide présente des dangers si une fuite se produit et que celui-ci entre en contact avec de l'air ou de l'eau avec risque de brûlures ou d'explosions (Lithium-Ion), charge soumise à des règles strictes sous peine de risque d'inflammation (Lithium-Polymère), fonctionnement optimal à température élevée (Lithium-Métal-Polymère).

I.9- Microcontrôleur Pic16f877A

Un microcontrôleur est un circuit intégré qui rassemble les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoires « mémoire morte pour le programme, mémoire vive pour les données », unités périphériques et interfaces d'entrées-sorties. Les microcontrôleurs sont fréquemment utilisés dans les systèmes embarqués, comme les contrôleurs des moteurs automobiles, les télécommandes, les appareils de bureau, l'électroménager, les jouets, la téléphonie mobile, etc.

La dénomination de PIC est sous copyright MICROCHIP, donc les autres fabricants ont été dans l'impossibilité d'utiliser ce terme pour leurs propres microcontrôleurs

Actuellement les modèles Microchip, sont classés en 3 grandes familles, comportant chacune plusieurs références. Ces familles sont :

La famille Base-Line, qui utilise des mots d'instructions de 12 bits.

La famille Mid-Range, qui utilise des mots de 14 bits (et dont font partie la 16FXXX).

La famille High-End, qui utilise des mots de 16 bits. (18FXXXX)

Chapitre I : Vue générale sur le stockage de l'énergie solaire

40-Pin PDIP

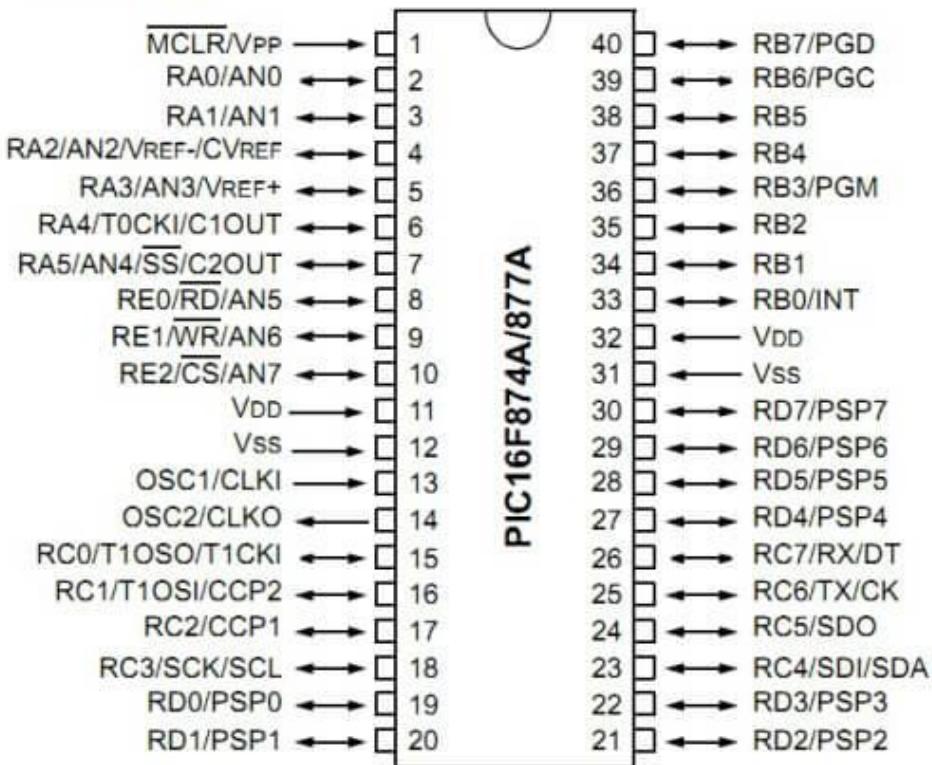


Figure I- 8:brochage du PIC16F877A

I.10- Relais

Ce type de composant possède une bobine fixe, si elle est parcourue par un courant électrique, provoque le déplacement de pièces mobiles qui sont mécaniquement reliées à des contacts électriques (Figure I- 1)

Entre la bobine et les contacts d'utilisation, un isolant qui est l'air. Un relais peut être commandé par un circuit électronique quelconque, du moment que ce dernier est capable de fournir le courant nécessaire (la bobine doit créer un champ magnétique suffisant pour déplacer les parties mobiles). Parfois, on a besoin d'ajouter un composant de commande supplémentaire pour faire l'adaptation entre le faible courant disponible en sortie d'un circuit électronique et le relais. Bien souvent un transistor est suffisant. [15]

Chapitre I : Vue générale sur le stockage de l'énergie solaire

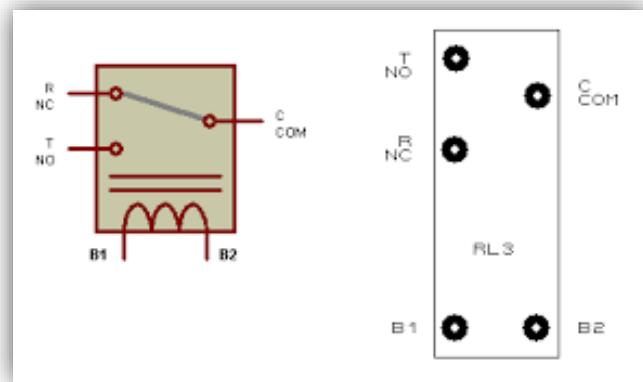


Figure I- 9: principe de fonctionnement du relai

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la manière de stockage d'énergie parlant des batteries, on a présenté les différents types des accumulateurs mentionnant leurs avantages et inconvénients majeurs.

Chapitre II :

Modélisation d'une batterie acide au plomb

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

Modélisation d'une Batterie Acide au Plomb

La modélisation consiste à traduire les phénomènes qui se produisent dans des systèmes physiques par une représentation souvent mathématique. La modélisation des sources électrochimiques est intéressante pour plusieurs raisons. En effet, un modèle complet de la batterie permet de prédire son comportement dans certaines conditions de fonctionnement, d'adapter le type de batterie à l'application pour une utilisation optimale de l'énergie, de comprendre les dégradations dues à des conditions particulières de fonctionnement, d'interpréter l'influence de certains paramètres ou profils de charge ou décharge sur les performances de la batterie. D'une manière générale la modélisation permet de réduire l'effort expérimental et de gagner en temps, En énergie et en investissement.

Pour modéliser une batterie, selon les phénomènes à étudier, des modèles de fonctionnement ou des modèles de compréhension peuvent être privilégiées.

II.1- Batterie Acide au Plomb

Ce type de batteries connaît essentiellement deux versions :

II.1.1- Les batteries ouvertes

Les batteries au plomb ouvertes sont des batteries à plusieurs éléments constitués chacun d'un ensemble de couples de plaques de plomb pour le pôle négatif et de plaques d'oxyde de plomb pour le pôle positif baignant dans une solution d'eau et d'acide sulfurique.

Lors des cycles de charge de ces batteries au plomb, les fortes températures engendrées évaporent en partie l'électrolyte mettant la batterie en danger (c'est la raison pour laquelle il est conseillé toujours de surveiller la température des batteries. Les bons chargeurs disposent maintenant bien souvent d'une sonde de température permettant d'adapter l'intensité de la charge). Il est donc indispensable de contrôler et de remettre à niveau l'électrolyte périodiquement. De plus, la présence de liquide à l'intérieur interdit la position couchée pour ces batteries (elles ne sont pas étanches) [9].

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

- On les reconnaît facilement grâce aux petits bouchons vissés au-dessus de chaque élément. Ces bouchons comportent un très petit orifice permettant à l'hydrogène de s'échapper. Afin que les plaques soient toujours recouvertes par l'électrolyte, les batteries à électrolyte liquide doivent rester en position à peu près horizontale. Ces batteries nécessitent un entretien régulier consistant à refaire le niveau de l'électrolyte, à l'aide d'eau distillée ou déminéralisée, qui doit recouvrir les plaques de quelques millimètres. A faire tous les mois, selon la fréquence d'utilisation et la température ambiante. Ces batteries sont dites ouvertes, ou encore "flooded". Ce sont nécessairement des batteries à électrolyte liquide. [2]

- Avantages :**

- Prix
 - Supportent bien les surchauffes, inertie thermique élevée
 - Possibilité de rattraper les surchauffes par ajout de liquide
 - Possibilité d'évaluer l'état de la batterie en mesurant la densité de l'électrolyte
 - Fiabilité

- Inconvénients :**

- Entretien régulier nécessaire par appoint d'eau.
 - Position horizontale, sans secousses.
 - Transport délicat, à cause de l'acide.
 - Nécessitent un emplacement ventilé (Dégagement d'hydrogène).
 - Craignent le gel ; prévoir emplacement chauffé ou hivernage.

II.1.2- Les batteries fermées (VRLA)

Par opposition aux précédentes, la génération suivante ne permet plus aux gaz de s'échapper, ni de faire l'entretien par ajout d'eau. Ces batteries sont parfois dites "étanches" bien que le terme soit imprécis. Fermées, scellées, "sealed", sans entretien ou encore VRLA. Toutes ces dénominations ne permettent pas de clairement définir leur technologie, car la nature de l'électrolyte peut encore varier selon plusieurs technologies, présentées plus bas. Une valve, ou soupape de sécurité permet d'évacuer tout excès de pression.[2]

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

- Avantages :

- Moindres poids et encombrement à capacité énergétique égale,
- Sans entretien,
- Ne craignent pas les secousses et les positions penchées
- Moins sensibles au froid intense,
- Sans risque d'explosion due au dégagement d'hydrogène,
- Sans risque de fuite d'acide (mais prévoir tube d'évacuation après soupape)

- Inconvénients :

- Prix plus élevé,
- Exigent une régulation fine de la charge, avec correction de t° ,
- Craignent les surchauffes, causant un assèchement irréversible

II.2 Paramètres de batterie

II.2.1 Tension

Les batteries de 12V (ou de 6V) sont composées de cellules montées en série pour atteindre la tension voulue.



Figure II- 1:*architecture interne d'une batterie acide au plomb*

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

II.2.2 Température :

Un facteur important qui déterminera la durée de vie d'une batterie, est sa température de fonctionnement. Si vous regardez la fiche technique d'une batterie, il vous est possible de trouver un tableau tel que ci-dessous :

Température	AGM	GEL	GEL
moyenne	(Deep cycle)	(Deep cycle)	(Long life)
20°C /68°F	7-10	12	20
30°C/86°F	4	6	10
40°C/104°F	2	3	5

Tableau II-1 durée de vie de batterie en fonction de différentes températures

Dans ce tableau, vous trouverez la durée de vie en fonction de différentes températures. Ainsi si les batteries ont chaud tout le temps, leur durée de vie sera raccourcie. La température est un facteur que vous ne devez pas ignorer ! Ce facteur a une influence très importante sur la durée de vie des batteries : A 30°C, la durée de vie sera diminuée de 50%. A 40°C, la durée de vie sera diminuée encore de 50%. Ainsi, vous aurez une durée de vie d'un quart de ce qu'elle serait à 20°C !!! La règle est que la durée de vie diminue de 50% par tranche de 10°C au-dessus de 20°C.

Une batterie peut devenir « chaude » pour les raisons suivantes :

- Une décharge rapide
- Une recharge rapide
- Un environnement chaud

Une température de batterie élevée agira sur le vieillissement accéléré de celle-ci. La réaction chimique s'accélère avec la température. La durée de vie sera plus courte. La température joue aussi un rôle dans la manière de recharger une batterie. [3]

II.2.3 Capacité :

La capacité d'une batterie est la quantité d'énergie emmagasinée (en charge) et restituée (en décharge). Elle s'exprime en ampère-heure (Ah). Les capacités peuvent varier d'un fabricant à un autre, mais les légères variantes en-dessus ou en dessous n'ont pas d'incidences, il faut s'approcher au maximum de la capacité d'origine. La capacité des batteries s'affine en indiquant sur combien de temps l'intensité (en Ampère) est restituée.[8]

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

II.2.4 Autodécharge :

La perte récupérable d'une cellule utile au stockage due à une action chimique interne, elle est généralement exprimée en pourcentage de la capacité nominale perdue par mois à une certaine température, car le mécanisme d'autodécharge de la batterie est un processus redox local causé par la décomposition de l'électrolyte autre important les sources d'autodécharge sont les micro-courts et les molécules navettes [6]

II.2.5 Résistance interne :

La résistance interne correspond à la somme de la résistance électrique des matières solides (électrodes, connexions) et de la résistance électrolytique.

La résistance interne d'une batterie dépend :

- De sa capacité (plus le nombre et la surface des plaques augmentent, plus la surface d'échange augmente => plus la résistance interne diminue),
- De l'état de charge (lors de la décharge, du sulfate de plomb se forme sur les plaques => la résistance interne augmente),
- De la température (la baisse de la température augmente la viscosité de l'électrolyte => la résistance interne augmente),
- De la densité d'électrolyte (voir ci-dessous).

Typiquement, la résistance interne des batteries est comprise entre 5 mΩ et 50 mΩ (0,005 et 0,050 ohm). Les fabricants de batterie cherchent cependant à obtenir une résistance interne la plus faible possible.

La concentration d'acide sulfurique au sein de l'électrolyte joue un rôle important sur la résistance interne. Le graphe ci-dessous indique la résistivité de l'électrolyte en fonction de la concentration d'acide sulfurique :

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

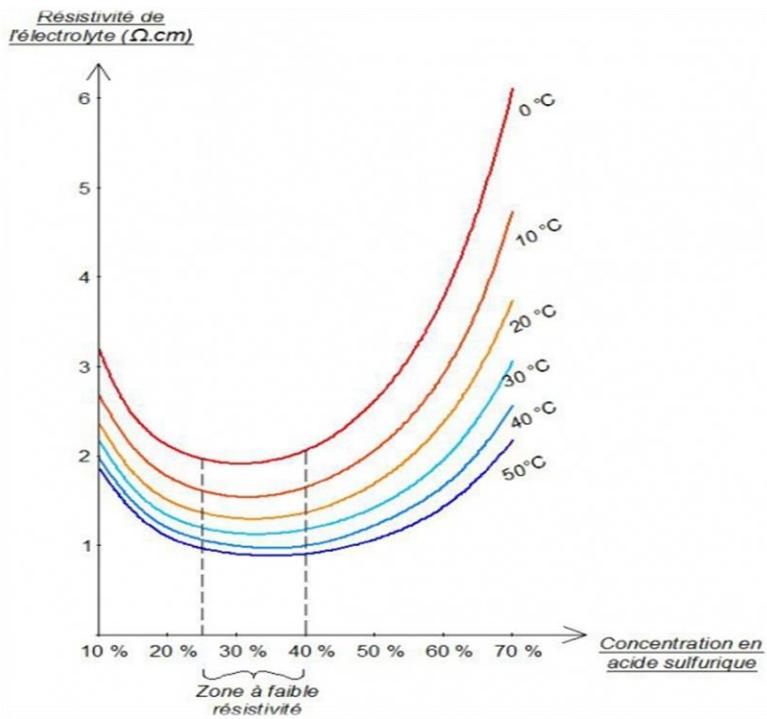


Figure II- 2: Evolution de la conductivité de l'électrolyte en fonction de la concentration d'acide sulfurique au sein de l'électrolyte et de la température

Aux regards des courbes ci-dessus, nous constatons que :

- Plus la température augmente, plus la résistance interne de la batterie diminue.
- Pour une concentration d'acide sulfurique comprise entre 25% et 40 %, la résistance interne de l'électrolyte est minimale. Ainsi, les fabricants de batteries remplissent les batteries avec un électrolyte dont la concentration en acide sulfurique est sensiblement dans cette plage. [5]

II.2.6 Etat de charge (SOC) :

Une autre manière pour situer où en est une batterie est d'indiquer l'état de charge ou "state of charge", SOC en anglais. Ce terme est universellement utilisé. Le SOC est une indication sur le niveau de charge d'une batterie. L'indication est donnée en pourcentage. C'est ce qu'affiche, par exemple, un moniteur de batterie. Il est important de comprendre que l'Etat de charge de la batterie est l'opposé de la profondeur de décharge. Donc, faites bien attention de ne pas confondre la DoD et le SOC. Une DoD de 35% correspond à un SOC de 65.[3]

L'état de charge est défini par l'équation suivante :

$$SOC = 1 - \frac{Q}{C} \quad (II - 1)$$

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

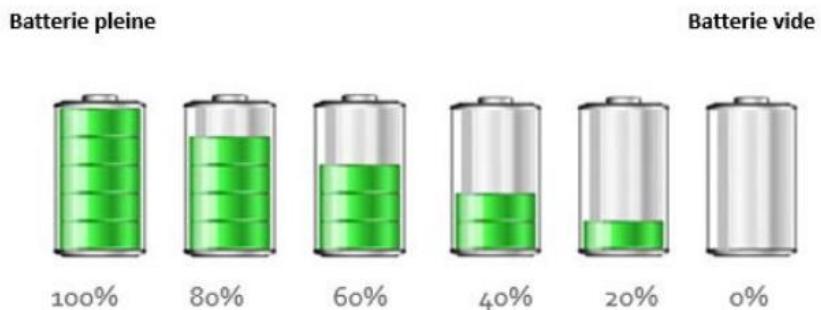


Figure II- 3:*Etat de charge (SOC)*

II.2.7 Décharge trop profonde (DOD) :

La Profondeur de décharge est et indique le stade de décharge de la batterie.

- Si la batterie est pleine, elle est à 0% de décharge.
- Si la batterie est un peu déchargée, cela pourrait être, par exemple, 20% de profondeur de décharge.
- Si la batterie est beaucoup déchargée, cela pourrait être, par exemple, 90% de profondeur de décharge. Si la batterie est vide, c'est 100% de profondeur de décharge. Ce si revient très souvent ![3]

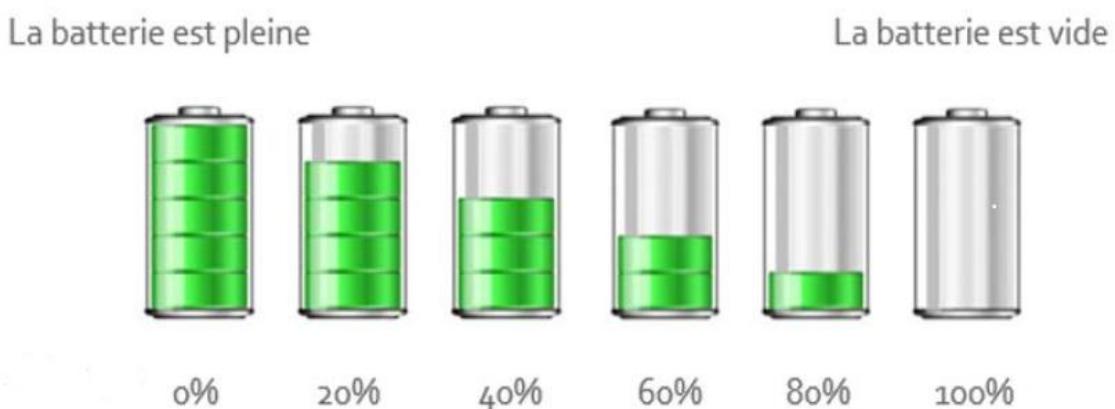


Figure II- 4 : *profondeur de décharge (DOD)*

II.2.8 Etat de santé (SOH)

Est une indication du point qui a été atteint dans le cycle de vie de la batterie et est une mesure de son état par rapport à une batterie neuve, d'autre façon on peut le définir comme une mesure qui reflète l'état général d'une batterie et sa capacité à des performances spécifiées par rapport à une batterie neuve.[4]

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

II.3 Cyclage :

Vous pouvez aisément constater que dans ce système, qu'un cycle apparaît chaque 24 heures. Le cycle démarre quand la batterie est pleine. La batterie est déchargée puis la batterie est rechargée. Ce cycle se termine quand la batterie est à nouveau pleine. [3]



Figure II- 5:*Cycle d'une batterie*

II.4 Système de management de batterie BMS

Certaines applications alimentées par batterie (plusieurs cellules) sont dotées d'un système de management (Battery management system) qui a pour but d'optimiser ses performances en limitant les risques de dégradation de la batterie. Le système BMS est une interface entre la batterie et les autres modules en temps réel pour contrôler la batterie au cours de charge (décharge). On peut résumer les tâches de ce système comme suit :[1]

- Collection des informations des capteurs installés sur les cellules de la batterie (tensions, courant, température, état de thermostat...etc.).
- Contrôle de la charge batterie pour assurer une phase de charge la plus courte possible à des conditions séines, sur la base d'algorithmes intégrés dans le BMS[7]
- La protection de la batterie des risques en évitant la surcharge ou la sur décharge
- Le Contrôle thermique de la batterie a pour but de maintenir les batteries dans une plage d'opération sécurisée.

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

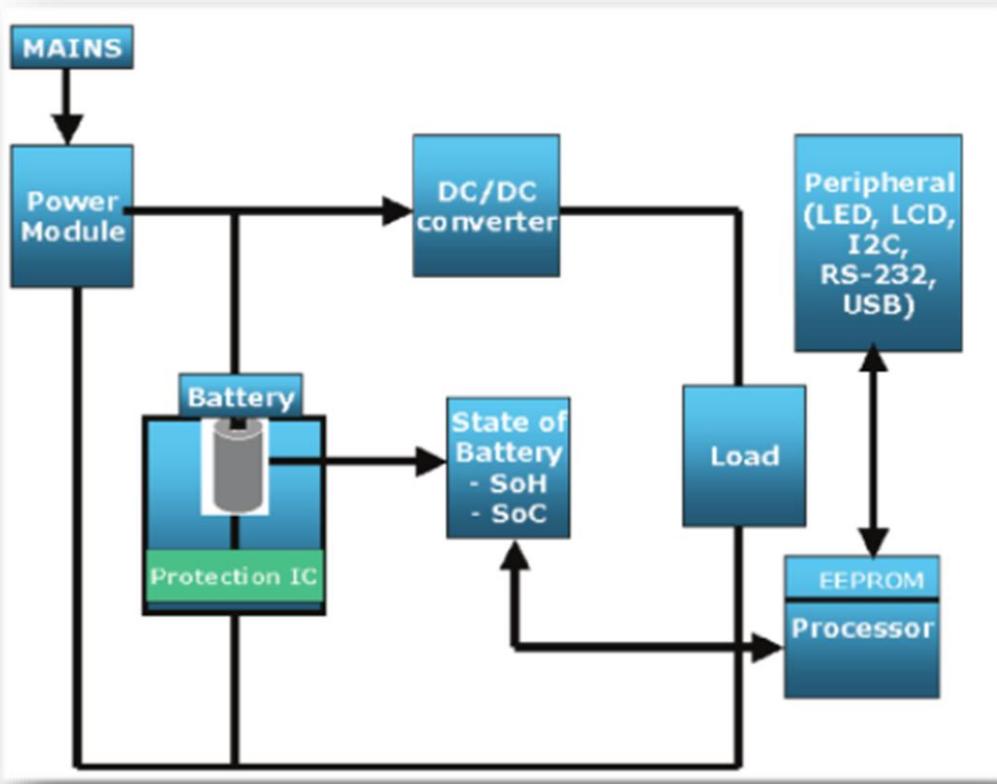


Figure II- 6: Architecture générale d'un BMS

II.5 charge et décharge :

Lors de la décharge, la batterie fournit de l'énergie, l'acide pénétrant dans les plaques qui se transforment en sulfate de plomb, le taux d'acide et le niveau d'électrolyte diminuent.

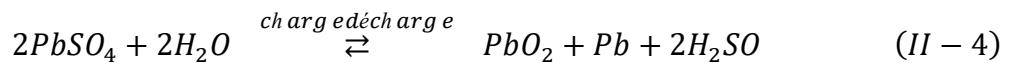
Réaction de la plaque positive (anode) :



Réaction de la plaque négative (Cathode) :



Il en résulte la réaction globale suivante :



Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

L'identification des paramètres mentionnés au-dessus, est faite pour avoir le meilleur fonctionnement de batterie, de point de vue charge, décharge et durée de vie ainsi que les autres paramètres pour cela plusieurs modèles mathématiques sont créés afin d'améliorer l'utilisation de la batterie tel que model de Copetti.

II.6 Modèle de Copetti :

II.6.1 Copetti 1993

Nous avons réalisé une série d'expériences avec plusieurs batteries au plomb (Fulmen EF2050, $C_{10}=50$ Ah ; Varta Vb624, $C_{10}=100A.h$; et ATSA Tudor, $C_{10}=180Ah$) indiquées pour l'application solaire photovoltaïque afin de vérifier les variations de tension et le comportement de la résistance interne pendant le processus de charge et de décharge pour différents courants et températures. Courants de $I(C_5)-I(C_{100})$, où $I(C_n)$ est le courant de charge ou de décharge exprimé en fonction de n heures de capacité, par ex : $I(C_{100})=C_{100}/100$, et des températures de 5 à 45 °C ont été prises en compte.

La description complète des tests, des procédures et de leurs résultats correspondants peut être trouvée dans les articles précédents L'étude expérimentale nous permet de trouver des relations entre tension, courant, état de charge et température. Les équations représentent l'ensemble des données expérimentales concernant les deux procédés avec une bonne précision, mais les valeurs des coefficients sont différentes pour chaque batterie testée

Afin de généraliser les équations par rapport à la capacité de la batterie et il a été constaté que cette variation était conforme à l'équation $R_A C_A = R_B C_B$ (où R s la résistance interne, C est la capacité et les indices A et B représentent différentes capacités de batterie). Nous considérons que cette hypothèse peut être appliquée à différents types de batterie au plomb. L'autodécharge a été supposée négligeable car dans un système PV la batterie est en fonctionnement continu et cela diminue ses effets

Les équations ont été réécrites en fonction de 10h de capacité nominale (C_{10}), ce qui est standard sur la fiche technique du constructeur. Donc, pour ce cas, les capacités C_A et C_B correspondent à C_{10} pour différentes batteries (tailles et/ou types). Dans la section suivante, nous présentons les équations appliquées à une batterie monocellulaire (2V)

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

II.6.1.1 Équation de tension de décharge

$$V_d = [0.085 - 0.12(1 - SOC)] - \frac{I}{C_{10}} \left(\frac{4}{1 + I^{1.3}} + \frac{4}{1 + SOC^{1.5}} + 0.02 \right) (1 - 0.007) \quad (II - 5)$$

Le premier terme représente la variation de tension avec l'état de charge (SOC) (concentration en électrolyte) et le second, la variation due à la variation de résistance interne.

Des tests spécifiques ont été effectués qui ont permis d'obtenir une relation entre la résistance interne et la température, l'état de charge et le courant pendant la charge et la décharge. En raison des taux de courant utilisés, le comportement de la batterie a été considéré comme une séquence d'états stables, sans tenir compte des effets transitoires. Dans l'équation (II-5), la résistance interne est représentée par la somme des résistances série qui correspondent à différents phénomènes la variation de température est $\Delta T = T - T_{ref}$ où la température de référence (T_{ref}) est de 25°C

Le SOC indique combien de charge électrique est stockée dans la cellule à un moment donné, défini comme :

$$SOC = 1 - \frac{Q}{C} \quad (II - 6)$$

Où le rapport entre la charge délivrée au moment de l'intérêt ($Q=It$) et la capacité de la batterie © représente la profondeur de décharge (DOD) ou la fraction de décharge c'est-à-dire DOD = 1-SOC. L'efficacité d'une batterie pendant la décharge est supposée être de 100 % ; cependant, la quantité totale de charge utile disponible pendant la décharge est limitée par le taux de courant et la température donnés par l'équation de capacité. L'équation de capacité, normalisée par rapport au courant de décharge correspondant à la capacité nominale C_{10} (I_{10}) est :

$$\frac{c}{C_{10}} = \frac{1.67}{1 + 0.67(I/I_{10})^{0.9}} (1 + 0.005\Delta T) \quad (II - 7)$$

Lorsque le courant de décharge tend vers zéro, la capacité maximale pouvant être retirée est d'environ 67% supérieure à la capacité C10 à 25°C

II.6.1.2 Équation de tension de charge

Pour le processus de charge jusqu'à la surcharge, les valeurs des paramètres diffèrent également de celles utilisées pour la décharge.

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

$$V_c = [2 + 0.16SOC] + \frac{1}{C_{10}} \left(\left(\frac{6}{1 + I^{0.86}} \right) \frac{0.48}{(1 - SOC)^{1.2}} + +0.036 \right) (I - 0.025\Delta T) \quad (II - 8)$$

Le SOC peut être calculé facilement à tout moment pendant la période de décharge ; néanmoins, pendant la (re)charge, c'est beaucoup plus difficile. Généralement, la région efficace est celle où SOC est inférieur à 0,7 et V_c est inférieur à 2,3V par cellule. L'efficacité chute à zéro à pleine charge. Une fonction qui représente la variation de l'efficacité de charge (η_c) avec l'état de charge et le taux de courant est

$$\eta_c = 1 - \exp \left[\frac{a}{I/I_{10} + b} (SOC - 1) \right] \quad (II - 9)$$

Où a et b sont des constantes de recharge qui dépendent de la construction spécifique de la batterie. Nous avons trouvé a=20,73 et b=0,55 en ajustant cette équation aux données réelles des trois batteries mesurées, dont les principales caractéristiques de construction sont à la fois leurs plaques positives tubulaires et leurs alliages à faible teneur en antimoine.

II.6 1.3 Équation de surcharge

Les tests comprenaient la charge là où le gazage s'est produit et les résultats ont démontré que la tension de charge finale (V_{ec}) augmente avec l'intensité du courant et avec la diminution de la température. Le même argument peut être utilisé pour écrire une fonction pour la tension de gazage (V_g) avec différentes valeurs de paramètre. Ces dépendances peuvent être décrites par les équations suivantes

$$V_{ec} = [2,45 + 2,011 \ln \left(1 + \frac{I}{C_{10}} \right)] (1 - 0,002\Delta T)$$

$$V_g = [2,24 + 1,97 \ln \left(1 + \frac{I}{C_{10}} \right)] (1 - 0,002\Delta T)$$

Le phénomène de surcharge (dégagement de gaz) peut être représenté par une fonction exponentielle telle que

$$V_c = V_g + (V_{ec} - V_g) \left[1 - \exp \left(\frac{Ah_{restored} - 0.95C}{I_\tau} \right) \right] \quad (II - 9)$$

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

Où $Ah_{restored}$ représente les ampères-heures stockés dans la batterie par rapport à la capacité de la batterie C pour le courant de charge I pendant cette heure. Nous avons supposé que 95 % de la capacité était déjà rétablie au début de la surcharge.

La constante de temps du phénomène est inversement proportionnelle à l'intensité du courant de charge et, à titre indicatif, peut s'écrire

$$\tau = \frac{17.3}{1 + 852 \left(\frac{I}{c_{10}} \right)^{1.67}} \quad (II - 10)$$

Par conséquent, l'évolution de la tension pendant le processus de charge est représentée par l'équation (II-8), jusqu'au début du gazage ($V_c \leq V_g$) et par l'équation (II-12) pour la surcharge ($V_c > V_g$) jusqu'à ce qu'une tension finale constante (V_{ec}) soit parvenue.

	Charge ($V \text{ cell}^{-1}$)			Décharge ($V \text{ cell}^{-1}$)		
	5°C	25°C	45°C	5°C	25°C	45°C
MBE	-0.013	-0.0053	- 0.019	0.0096	-0.0034	0.014
RMSE	0.058	0.041	0.050	0.073	0.018	0.024

Tableau II- 8comparison between values measured and calculated by the normalized model

On peut observer que la valeur moyenne de RMSE pour les trois températures reste inférieure à 50 et 40 mV par cellule pour la charge et la décharge, respectivement. Nous pensons que ces valeurs sont raisonnables pour un modèle qui évite la caractérisation de chaque type individuel de batterie.

De plus, nous explorons l'utilité de ce modèle à des fins de conception PV. Pour cela, nous avons développé un programme de simulation de système PV, fonctionnant sur une base horaire, qui nous permet de calculer les valeurs moyennes mensuelles de LLP, η_B et Fau une fois la charge et les conditions climatologiques définies. Nous l'avons mis en œuvre pour un profil de charge domestique typique et pour la météorologie typique (TMY) de Madrid, nous avons analysé le comportement d'un système photovoltaïque spécifique, y compris uniquement les batteries testées mentionnées ci-dessus, et nous comparons les différents résultats obtenus en incorporant différents modèles de batteries. Dans le programme de simulation. Les résultats correspondant au modèle déjà mentionné, caractérisés pour chaque type de batterie, sont considérés comme les résultats du modèle de

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

référence, car ils sont capables de fournir une représentation précise de l'évolution du courant et de la tension de la batterie.

Les tableaux II-2,II-3 et II-4 résument les résultats pour un système PV 12 V_{DC} composé d'un champ PV de 282 W_p (six modules en parallèle, chacun composé de 30 cellules solaires associées en série), d'une batterie Tudor-STTH 180 Ah (C₁₀) et un régulateur de charge à coupure série commun, pour lequel les seuils de régulation sont de 15,2 V 67,5 Ah Outre les valeurs de LLP, η_B et F_{au}, nous avons également calculé les fractions de temps, sur toute la journée, où les interrupteurs restent éteints, désigné comme F_{oc} et F_{od} pour la surcharge et la décharge excessive, respectivement.

Month	LLP	η_B (%)	F _{au} (%)	F _{oc} (%)	F _{od} (%)
1	0.243	87.55	94.52	3.63	23.39
2	0.191	83.75	94.81	3.72	18.05
3	0	78.25	85.10	11.96	0
4	0	74.4	82.31	14.86	0
5	0	83.0	80.08	16.53	0
6	0	81.0	74.32	17.78	0
7	0	72.34	75.05	13.30	0
8	0	74.16	76.18	10.48	0
9	0	79.6	76.02	15.55	0
10	0	83.18	88.10	10.88	0
11	0.106	99.0	99.45	0	9.58
12	0.145	100	100.0	0	14.25

Tableau II- 9:simulation results using the battery reference model

Month	LLP	η_B (%)	F _{au} (%)	F _{oc} (%)	F _{od} (%)
1	0.203	80.37	99.35	0	23.39
2	0.129	74.93	99.10	0	18.05
3	0	39.67	98.50	0	0
4	0	31.90	98.03	0	0
5	0	33.80	98.31	0	0
6	0	26.13	96.80	0	0
7	0	24.63	95.42	0	0
8	0	25.25	94.86	0	0
9	0	27.32	95.90	0	0
10	0	41.92	98.15	0	0
11	0.050	93.40	99.85	0	4.58
12	0.151	100	100.0	0	14.27

Tableau II- 10:Simulation results using Macomber's model of the battery

Month	LLP	η_B (%)	F _{au} (%)	F _{oc} (%)	F _{od} (%)
1	0.269	92.16	91.74	8.06	25.0
2	0.188	93.34	89.64	13.09	18.30

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

3	0	92.59	77,61	19.89	0
4	0	90.83	73.72	24.44	0
5	0	91.0	76.74	24..19	0
6	0	83.50	72.79	21.53	0
7	0	73.53	74.64	16.67	0
8	0	63.0	84.86	4.17	0
9	0	69.56	83.00	10.14	0
10	0	92.12	83.11	16.40	0
11	0.146	100	99.37	2.64	4.03
12	0.154	100	100.0	0	14.52

Tableau II- 11:Simuation results using the new normalized model proposed

Comme le rendement de la batterie η_B ne peut pas être calculé à partir de la définition précédente,

nous avons utilisé un autre concept qui considère le courant de charge (I_C) et le rendement de charge

Comme le rendement de la batterie η_B ne peut pas être calculé à partir de la définition précédente,

nous avons utilisé un autre concept qui considère le courant de charge (I_c) et le rendement de charge

η_c équation (II-9)

Où le deuxième terme représente la fraction du courant de charge perdu dans le gazage.Trois modèles de batteries sont comparés : le modèle de référence, le modèle normalisé de Lacomber et le modèle normalisé proposé ici.

La prédition LLP dépend de la fiabilité souhaitable pour un profil de charge donné. Pour le cas présenté équation (II-9)

Où le deuxième terme représente la fraction du courant de charge perdu dans le gazage.

Trois modèles de batteries sont comparés : le modèle de référence, le modèle normalisé de macomber et le modèle normalisé proposé ici.

La prédition LLP dépend de la fiabilité souhaitable pour un profil de charge donné. Pour le cas présenté, où la consommation de charge dari est constante pour toute la période analysée, les résultats obtenus pour le LLP sont du même ordre pour les trois modèles et cela serait en accord avec la pratique largement répandue d'utiliser des modèles de batteries simples. Pour le dimensionnement des systèmes PV autonomes.

Cependant, pour les mois avec un rayonnement plus élevé (printemps et été), en considérant la même consommation de charge quotidienne, les valeurs η_B , F_{oc} et F_{au} sont principalement affectées par le modèle de charge et de surcharge. En ce sens, on peut observer une bonne performance générale du modèle normalisé, ce qui indique la situation réaliste d'une plus faible efficacité de la

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

batterie en raison d'un nombre important d'heures de surcharge, contrairement au modèle de Macomber, qui n'est pas en mesure de représenter le processus de charge.

II.6.1.5 Utilité du modèle pour les concepteurs de systèmes PV

Le succès et l'acceptation des systèmes PV par le consommateur sont généralement jugés par la fiabilité et les performances de ces systèmes, qui sont principalement affectées par leur taille et par la durée de vie de la batterie, qui dépend des conditions de fonctionnement. Le bon fonctionnement de la batterie est principalement imposé par la méthode et l'algorithme spécifiques des contrôleurs de charge, qui devraient empêcher l'opération de surcharge ou de décharge excessive.

Les problèmes de dimensionnement du système PV concernent généralement l'estimation des valeurs LLP. Ceci est principalement lié au caractère aléatoire du rayonnement solaire. En raison de la variabilité naturelle associée au climat, les différences observées dans les estimations LLP lors de l'utilisation de différents modèles de batteries (voir tableaux II-2 et II-3) ne peuvent pas être importantes et de simples modèles de transfert d'énergie suffiraient.

En revanche, le comportement de la batterie, et par conséquent sa durée de vie, est fortement lié à l'environnement de fonctionnement. Il y a, à l'heure actuelle, un manque d'informations dans la littérature ouverte à ce sujet, ce qui signifie que la spécification des régulateurs de charge est entièrement laissée à l'intuition du concepteur PV. Des travaux expérimentaux sont en cours pour éclairer ce problème. Nous croyons cela

$$C_a = \frac{\eta A G}{L} \quad (II - 11)$$

$$Cs = \frac{C}{L} \quad (II - 12)$$

Où A est la surface du générateur PV, η est l'efficacité du générateur PV, G est l'irradiation quotidienne moyenne sur le générateur PV, correspondant au pire mois. L est la consommation énergétique quotidienne moyenne et C est la capacité nominale de la batterie.

L'utilisation de telles définitions donne une forme généralisée aux résultats. Toutes les équations (II-5)-(II-11) régissant le comportement électrique du système PV peuvent être agencées en fonction de telles définitions.

La figure (II-7) montre la valeur moyenne annuelle de la perte d'efficacité de la batterie (1 — 9 g) par rapport au seuil supérieur de surcharge pour deux cas différents : $C_a=1$, $C_s= 2$ et $C_a=1$, $C_s=5$.

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

L'augmentation de la valeur seuil de tension garantit que la batterie atteint l'état de pleine charge, mais, d'autre part, cela signifie une augmentation des pertes par gazage et une diminution de l'efficacité de la batterie. Pour la même rang capacité (C_a) mais plus de capacité de stockage (C_s), il y a une augmentation à la fois de la surcharge et de la perte d'efficacité de la batterie car il faut beaucoup de temps pour atteindre le seuil de tension spécifique.

La figure II-8(a) montre les valeurs moyennes mensuelles de $1 - \eta_B$. Correspondant à $C_a = 1$ et $C_s = 2$. Comme on peut s'y attendre, juillet (le mois qui enregistre le niveau de rayonnement le plus important) présente les pertes d'efficacité les plus importantes ; pendant cette période, la batterie est en surcharge en permanence. La figure II-8(b) montre le déficit d'énergie concernant la même période. La batterie est toujours déchargée aux seuils inférieurs de la surcharge et elle n'est pas en mesure de fournir l'énergie pour la charge.

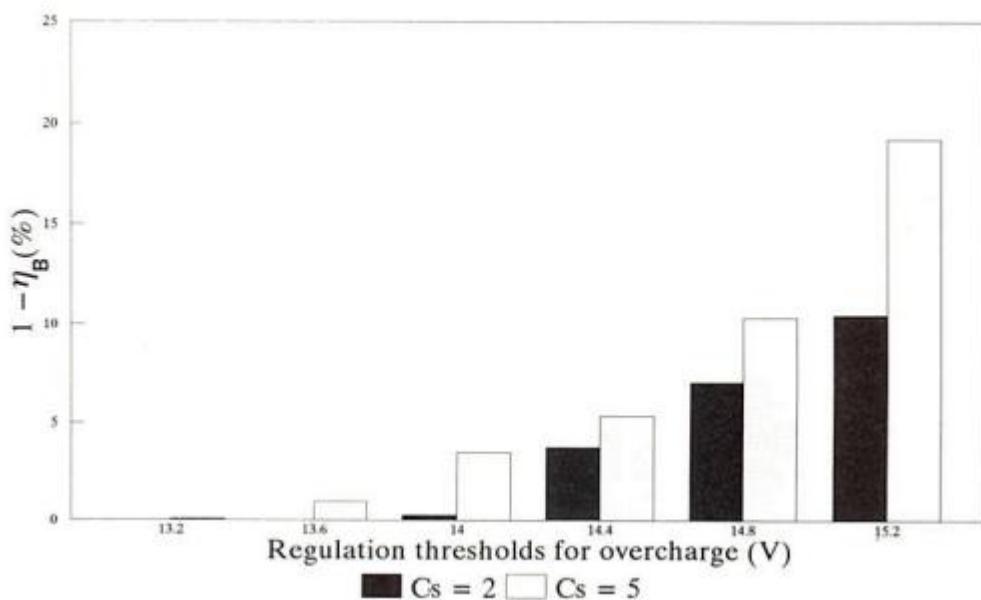


Figure II- 7: yearly mean value of $1 - \eta_B$ and over charge upper thresholds for different system configuration

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

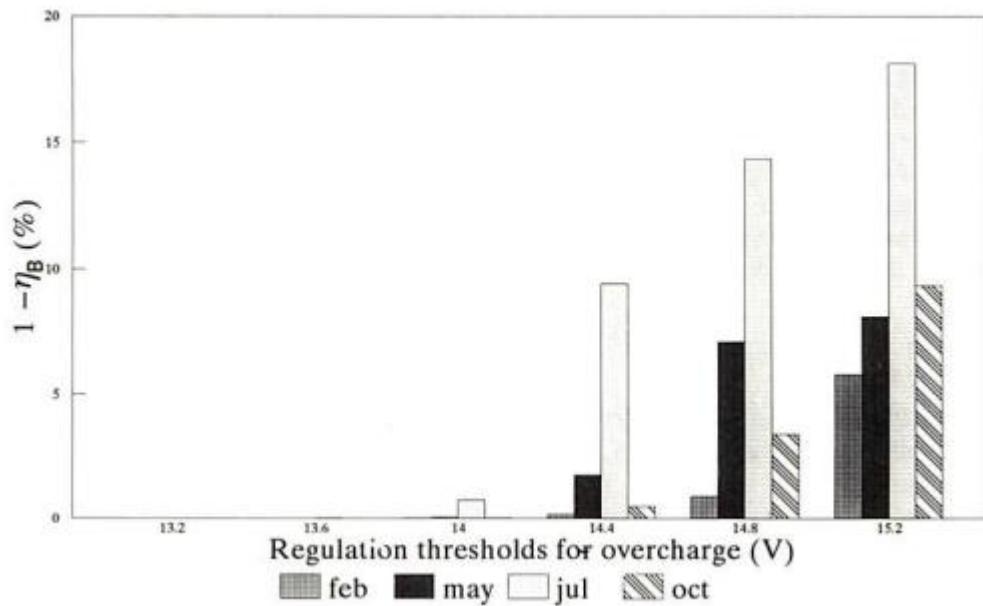


Figure II- 8:regulation thresholds for overcharge

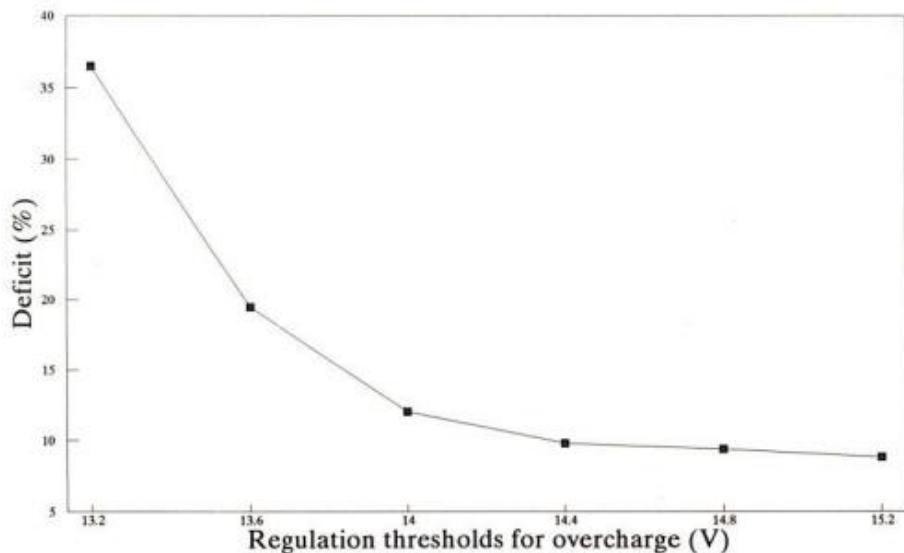


Figure II- 9:Monthly mean values of $1 - \eta_B$ (a) and deficit (b) verus the over charge upper thresholds

Les chiffres $1 - \eta_B$ peuvent être corrélés avec la perte d'eau en utilisant le principe de base dérivé de la loi de Faraday : $I A - h$ de surtension = 0,336 ml de perte d'eau. Pour les cas précédents, $C_a = 1$, $C_s = 2$ et $C_a = 1$, $C_s = 5$; sur la figure (II-10) nous présentons la consommation d'eau annuelle en fonction de la surcharge de régulation au seuil.

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

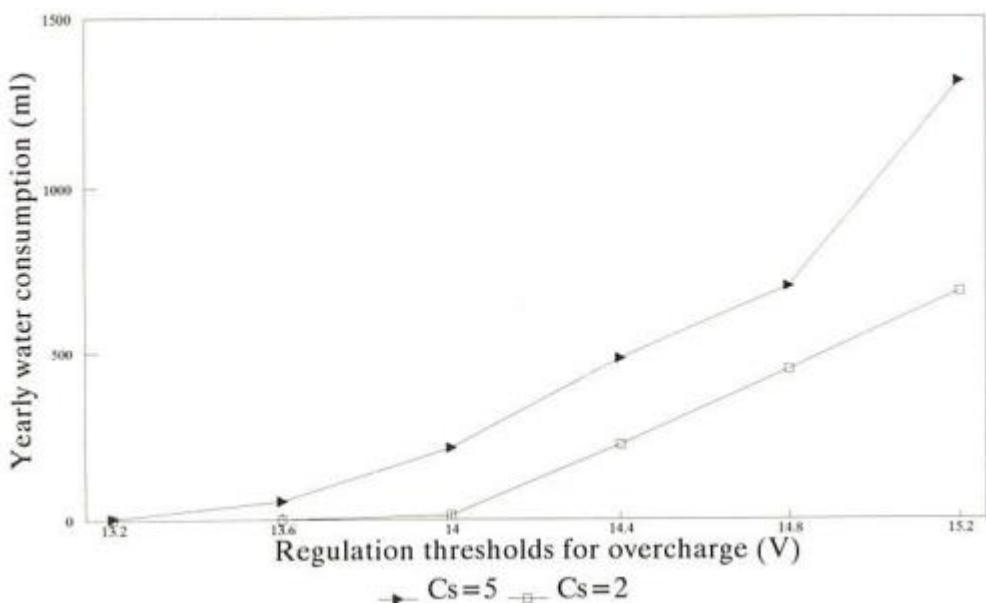


Figure II- 10: *yearly water consumption for different overcharge upper thresholds*

II.7 Copetti 1994

II.7.1- Tests et résultats

Les tests de charge et de la décharge ont été réalisés avec une installation d'un test automatique (Digatron BTS 500) qui permet le test de batterie courant contrôler. Des bains thermostatiques avec la circulation de l'eau sont utilisés pour le contrôle de la température. Des expériences ont été menés sur trois batteries au plomb désigné pour des applications photovoltaïque solaires : FulmenEF2050- $C_{10} = 50$ Ah, Varta Vb624- $C_{10} = 120$ Ah and ATSA Tudor STTH180-Ct = 180 Ah. Les faibles taux de courant dans l'intervalle de $I(C_5)$ jusqu'à $I(C_{100})$ et des températures de 5°C jusqu'à 45°C ont été considérés lors de chaque test. Les paramètres externes, i.e. le courant et la température ont été conservé constant. La tension, le courant et la température interne de la batterie ont été périodiquement enregistré, certains des résultats obtenus sont représentées dans les figures suivantes :

Figure II-11 montre la variation de tension lors de la charge et la décharge en tant que fonction de taux de courant pour la Tudor batterie à 25°C. A faible courants, la capacité augmente lors de décharge et lors de la charge elle garantit le rétablissement complet des matières actives, de plus la température influences directement la capacité et la charge finale de

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

la tension comme montré dans les figures II-12 et II-13 ; par conséquent pour les effets de régulation, la tension devrait être corrigé par tous les deux courant et température.

En plus, des tests spécifiques pour mesurer la résistance interne en divers états de charge lors de processus de charge et de décharge ont été réalisés pour les mêmes caractéristiques et conditions de courants et de températures ci-dessus. En raison des taux de courant utilisés, le comportement de la batterie a été considéré comme une séquence d'états stables, sans tenir compte des effets transitoires. L'étude expérimentale considère trois procédures de mesure « impulsion de courant », « périodes de repos » et par un « milli ohmmètre », à partir desquels nous concluons que la résistance globale mesurée par la méthode des "périodes de repos" est la meilleure valeur pour représenter les effets de la résistance interne sur l'évolution de la tension pendant la charge et la décharge. De plus, la dépendance de cette résistance à l'état de charge, la température, le courant et la capacité peuvent être résumés comme suit :

- (i) la valeur de la résistance pendant la recharge est supérieure à celle de la décharge précédente, principalement en raison des effets de surcharge (Figure II-14) ;
- (ii) la résistance augmente avec la diminution de la température ; cet effet peut être représenté par une fonction linéaire pour la plage de températures de 5 à 45 ° C.
- (iii) la dépendance de la résistance vis-à-vis du courant a été vérifiée des taux de courant lents comme d'habitude dans les applications PV (Figure II-15), et (iv) pour des capacités de batterie faibles, la résistance interne augmente.

II.7.2- Modèle

Un modèle simple est nécessaire à des fins de simulation, qui représente le comportement de la batterie dans les processus de charge (y compris la surcharge) et de décharge, au moyen des paramètres externes tension, courant, état de charge et température.

Plusieurs auteurs ont proposé des modèles pour représenter le fonctionnement de la batterie pendant les processus. La validité de tels modèles est généralement analysée en termes de

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

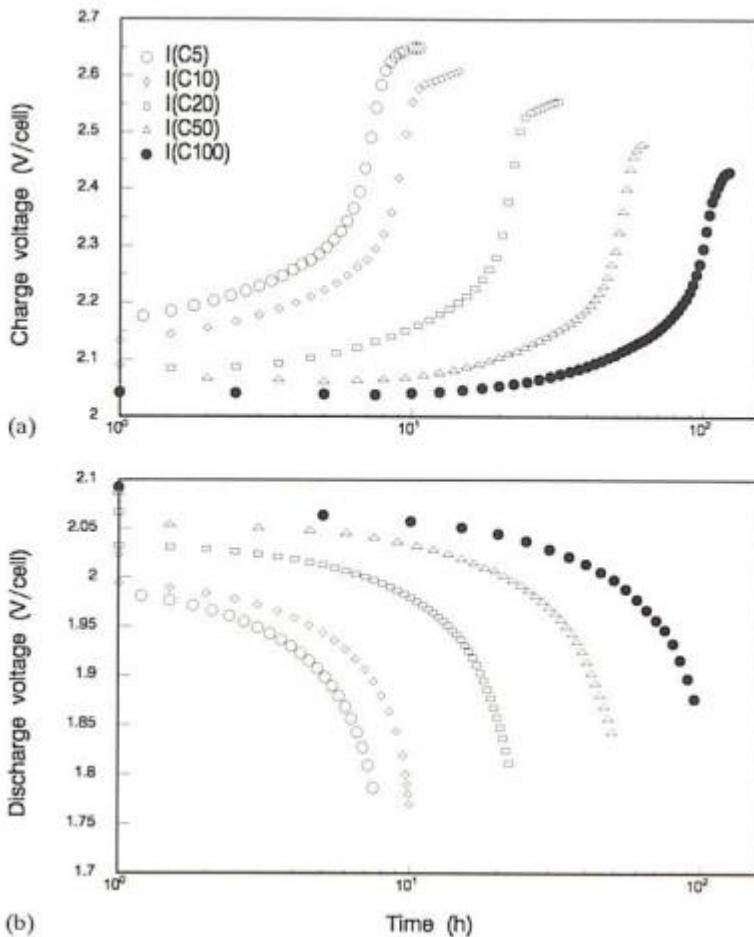


Figure II- 11:*tensions vs temps (a), et (b) décharge aux différents courants et 25°C pour batterie de Tudor*

Leur capacité à représenter l'évolution de la tension de la batterie pendant la charge et la décharge à courant constant et à température constante. Dans ce sens, nous avons analysé les modèles proposés par Shepherd [4], Facinelli [5], Menga et al. [6] et Mayor et Biscaglia [7], car ces modèles sont actuellement utilisés dans la simulation des systèmes de stockage PV. Leur concordance avec les données expérimentales obtenues à partir de ces tests a été vérifiée. Les valeurs de paramètres correctes utilisées dans chaque modèle ont été ajustées et les résultats obtenus nous permettent de conclure que ces modèles peuvent reproduire de manière adéquate le comportement des batteries lors de la décharge (l'erreur quadratique mean carré, RMSE [8], reste inférieure à 40 mV / cellule dans tous les modèles), mais ils ne représentent pas les processus de charge et de surcharge (RMSE de l'ordre de 100 mV / cellule pour tous les modèles) et la variation de température. En conséquence, nous proposons un modèle modifié, basé sur le modèle de Shepherd, dans lequel sont incluses des équations de résistance interne,

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

de capacité, de correction des effets de température dans différents paramètres et une expression de surcharge.

Les différentes équations qui forment le modèle modifié sont par conséquent présentées.

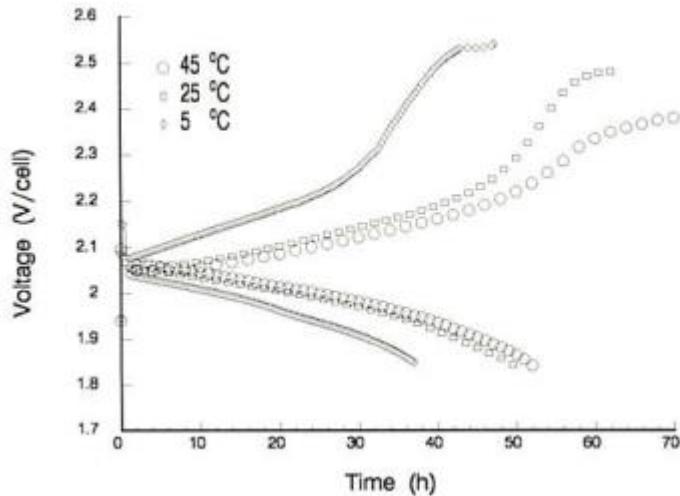


Figure II- 12:Effets de température à I(C50) courant pour batterie de Tudor

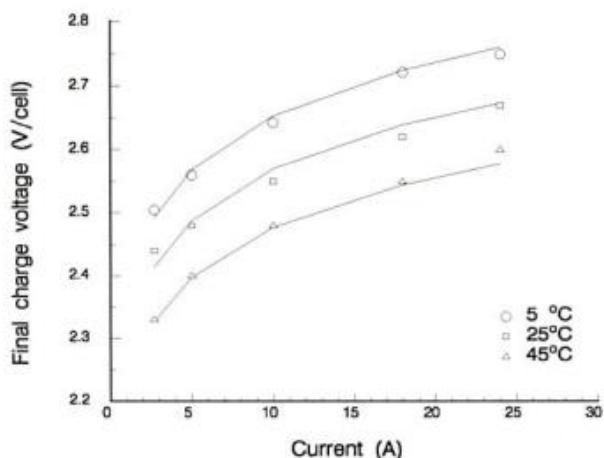


Figure II- 13:Tension de charge finale vs température à divers courants pour batterie de VARTA

II.7.3 Tension de charge et de décharge

Pour la décharge et pour la charge jusqu'à surcharge, les changements de tension peuvent être écrits comme suit :

$$IRV = \left(V_{OC} + k \frac{Q}{C} \right) \quad (II - 12)$$

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

Où le premier terme représente la variation de tension d'équilibre avec l'état de charge, K est un paramètre empirique, $Q(= It)$ est la charge délivrée ou fournie au moment de l'intérêt, C'est la capacité de batterie et R le résistance interne Les valeurs de C et R sont données dans les sections suivantes.

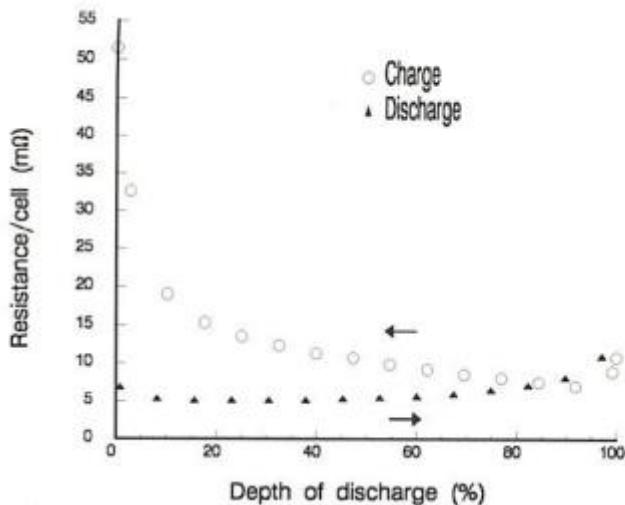


Figure II- 14: résistance interne en fonction de DOD

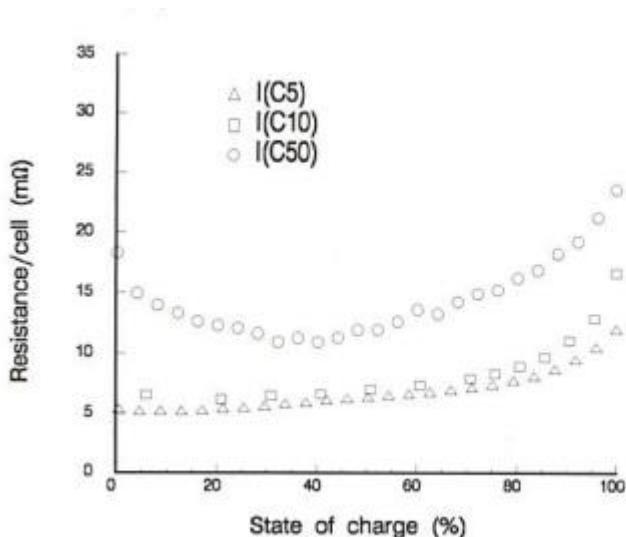


Figure II- 15:Résistance interne globale pour courant I(C10) à 25 °C pour batterie de VARTA durant le processus de charge et décharge

II.7.4 Équation de la capacité de la batterie

L'équation de la capacité de la batterie a été modifiée à partir de Baikei al. [9] pour inclure le fonctionnement à faible courant et les effets de température ; l'expression est réécrite comme :

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

$$C = \frac{C_T}{1 + aI^b} (1 + \alpha_c \Delta T + \beta_c \Delta T^2) \quad (II - 13)$$

Où C_T est une constante qui représente la capacité limite lorsque le courant de décharge tend vers zéro, a et b sont des paramètres empiriques et α et β sont les facteurs de correction de température. Le terme polynomial pour corriger les effets de température dans la capacité permet d'obtenir un ajustement serré.

II.7.5 Équation de résistance interne

Les tests spécifiques réalisés ont permis d'obtenir une relation entre la résistance interne et l'état de charge, le courant et la température lors des processus de charge et de décharge. Dans l'expression suivante, la résistance interne globale est représentée par une somme ou une série de résistances qui correspondent à différents phénomènes :

$$R = \left(\frac{P_1}{1 + I^{P_2}} + \frac{P_3}{(1 - (Q/C_T))} P_4 + P_5 \right) (1 - \alpha_\tau \Delta T) \quad (II - 14)$$

Où P_1 à P_5 et α_τ sont des paramètres à déterminer et C_T est la capacité maximale selon eqn(II-13). Cette équation est la même pour la charge et la décharge, mais les valeurs des paramètres diffèrent pour les deux processus.

II.7.6 Phénomène de surcharge

Les caractéristiques spécifiques des systèmes PV en ce qui concerne la variation d'intensité de charge avec le rayonnement solaire et la faible intensité de charge, imposent une conception d'un régulateur assez différente de celles utilisées, par exemple, avec des batteries de démarrage ou des batteries stationnaires. Afin d'étudier les relations sur le processus de surcharge, les tests comprenaient une charge là où le gaz se produisait et les résultats ont démontré que la tension de charge finale (V_{ec}) augmente avec l'intensité du courant et avec la température décroissante (Fig. II-13). Ces dépendances peuvent être représentées par une équation telle que proposée par Graña et al.[10] et modifié par nos soins pour inclure les effets à faible courant.

$$V_{ec} = [A + B \log(1 + I)](1 - \alpha \Delta T) \quad (II - 14)$$

Où A et B sont des paramètres à déterminer. Le même argument peut être utilisé pour écrire une fonction pour la tension de passage (V_g) avec des valeurs de paramètres différentes.

Le phénomène de surcharge (évolution passagère) peut être représenté par une fonction exponentielle, telle que :

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

$$V = V_g + (V_{ec} - V_g) \left(1 - \exp \left(-\frac{t - t_g}{\tau} \right) \right) \quad (II - 15)$$

Où t est le temps, I est le temps correspondant à V_g et τ est la constante de temps du phénomène est inversement proportionnelle à l'intensité du courant de charge et peut s'écrire comme l'équation suivante:

$$\tau = \frac{P_1}{1 + P_2 I^{p_3}} \quad (II - 16)$$

Par conséquent, le processus de charge globale est représenté par équation. (II-12), jusqu'au début du passage ($V \leq V_g$) et par équation (II-16) pour une surcharge ($V > V_g$) jusqu'à ce qu'une tension finale constante (V_{ec}) soit atteinte.

Les valeurs de paramètres correctes ont été ajustées pour le modèle à partir des courbes expérimentales de charge et de décharge pour chaque batterie testée en utilisant une méthode de régression non linéaire (algorithme de Marquardt [11]). Le tableau II-5 présente les paramètres de la batterie Tudor. Pour les autres batteries, les valeurs des paramètres sont différentes. La concordance de ce modèle avec les données réelles pour les trois batteries mesurées est indiquée dans le tableau II-6 au moyen de l'erreur quadratique moyenne, RMSE, et de l'erreur de biais moyenne, quantités statistiques MBE.

Les figures (II-16) et (II-7) montrent l'ajustement du modèle aux données de la batterie Tudor pour différents paramètres du modèle pour une batterie Tudor

(a)Capacity	$C_T=300.5$	$\alpha_C=0.008$	$\beta_C=-0.00014$	$\alpha=0.064$	$b=0.82$	
(b)Resistance	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	α_t
Charge	0.041	0.88	0.003	1.2	0.0003	0.02
Discharge	0.022	0.78	0.002	1.25	0.0002	0.007
(c) Voltage						
Discharge	$V_{oc}=2.09$	$K=-0.12$				
Charge	$V_{oc}=1.99$	$K=0.16$				
Overcharge	V_{ec}	$A=2.3$	$B=0.12$	$\alpha=0.0018$		
	V_g	$A=2.13$	$B=0.09$	$\alpha=0.0017$		
	T	$P_1=21.8$	$P_2=0.22$	$P_3=1.52$		

Tableau II- 12:paramètres de model pour batterie de Tudor

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

V/cell	Tudor		VARTA		Fulmen	
	Discharge	Charge	Discharge	Charge	Discharge	Charge
MBE	0	-0.011	0.003	-0.026	-0.006	0
RMSE	0.16	0.028	0.002	0.044	0.019	0.028

Tableau II- 13:Comparaison entre valeurs mesurées et calculées par le model

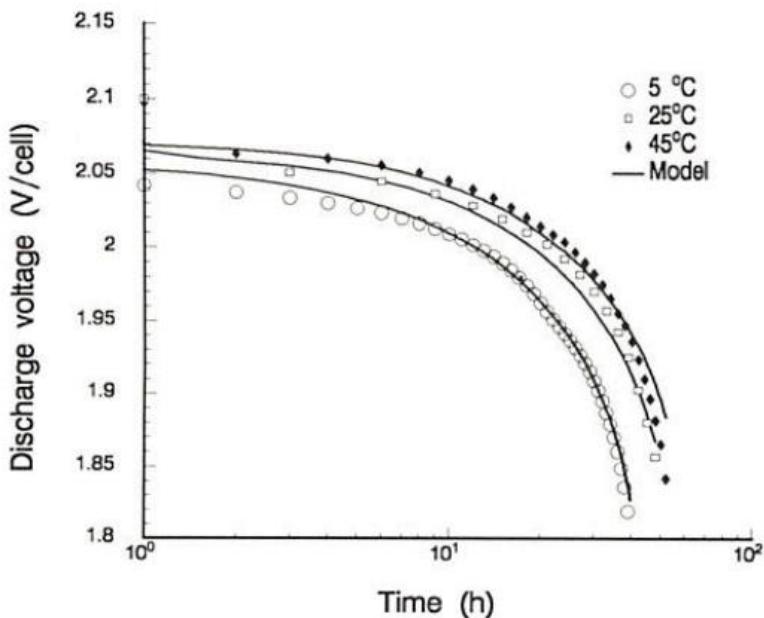


Figure II- 16: *Model modifié pour courbes de décharge*

Comme on peut le voir, le modèle représente l'ensemble des données expérimentales concernant les deux processus avec un bon degré de précision (RMSE reste à moins de 30 mV par cellule à la fois pour la charge et la décharge).

Cependant, afin de diminuer le grand nombre de paramètres à identifier, certaines hypothèses peuvent être faites telles que :

- (i) Dans le modèle de capacité, la constante C_T (capacité maximale) peut être estimée par la capacité nominale pour 10 ou 100 h de décharge donnée par les fabricants (environ 70% sur C_{10} , et 10% sur C_{100}) et pour corriger l'effet de température, une fonction linéaire est satisfaisante dans la plage de température de 5 à 45 °C et $\alpha_c = 0,005 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- (ii) Le paramètre P_5 dans l'équation (4) de résistance. Représente une résistance ohmique, par exemple, la résistance des bornes de la cellule, et peut être négligée en raison de sa faible valeur.

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

- (iii) Le facteur de température pour corriger la tension de charge finale et la tension de gaz, V_{cc} et V_g est d'environ $2 \text{ mV } ^\circ \text{C}^{-1}$ par cellule.
- (iv) Les deux courbes de charge et de décharge, par exemple $I(C_{10})$ et $I(C_{100})$ à deux températures différentes, qui se trouvent généralement dans la fiche technique du fabricant, sont suffisantes pour obtenir les valeurs des paramètres dans les équations ci-dessus.

II.7.8 Modèle normalisé

Les résultats montrent que pour chaque capacité de batterie, les valeurs des paramètres sont différentes et c'est un inconvénient majeur pour la simulation générale PV, car la conception particulière de la batterie et la caractérisation de la capacité nécessitent une procédure de test détaillée, souvent au-delà des fiches techniques standard du fabricant, donc susceptibles d'être à la fois coûteux et chronophage. Ensuite, malgré la précision inférieure, il est souhaitable d'avoir un modèle normalisé avec une capacité de batterie, ce qui permettrait de maintenir constante la valeur des paramètres et, par conséquent, serait valable pour toutes les tailles de batteries. En ce sens, nous proposons un modèle normalisé avec une capacité de batterie. Afin de généraliser les équations, la variation des valeurs des paramètres de résistance avec la capacité de la batterie a été vérifiée et il a été constaté que cette variation était conforme à l'équation $R_A C_A = R_B C_B$ (les indices A et B représentent des capacités de batterie différentes). Nous considérons que cette hypothèse peut être appliquée à différents fabricants de batteries et que d'autres facteurs, tels que le vieillissement des batteries, sont négligeables. Le même argument a été utilisé pour normaliser le modèle de surcharge. Les équations sont réécrites en fonction de la capacité nominale C_{10} et se présentent comme suit :

(i) Décharge

$$V_d = \left(2.085 - 0.12 \frac{Q}{C} \right) \frac{I}{C_{10}} \left(\frac{4}{1 + I^{1/3}} + \frac{0.27}{(1 - Q/c_T)^{1.5}} + 0.02 \right) (1 - 0.007\Delta T) \quad (II - 16)$$

$$C = \frac{C_T}{1 + 0.67 \left(\frac{I}{I_{10}} \right)^{0.9}} \quad (II - 17)$$

$$C_T = 1.67 C_{10} (1 + 0.005\Delta T) \quad (II - 18)$$

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

(ii) Charge jusqu'à $V \leq V_g$

$$V_C = \left(2 + 0.16 \frac{Q}{C} \right) + \frac{I}{C_{10}} \left(\frac{6}{1 + I^{0.6}} + \frac{0.48}{(1 - Q, C_T)^{1.2}} + 0.036 \right) \quad (II - 19)$$

(iii) Surcharge jusqu'à $V > V_g$ (équation (6))

$$V_{CC} = \left[2.45 + 2.011 \ln \left(1 + \frac{I}{C_{10}} \right) \right] (1 - 0.002\Delta T) \quad (II - 20)$$

$$V_g = \left[2.24 + 1.97 \ln \left(1 + \frac{I}{C_{10}} \right) \right] (1 - 0.002\Delta T) \quad (II - 21)$$

$$\tau = \frac{17.3}{1 + 852 \left(\frac{I}{C_{10}} \right)^{1.67}} \quad (II - 22)$$

Comme l'analyse précédente présentée dans le tableau II-6, nous vérifions comment ce modèle représente le comportement de la batterie au cours des processus pour l'ensemble complet de données (trois batteries, cinq taux de courant et trois températures). Le tableau II-7 montre les résultats obtenus par ce modèle normalisé.

On constate que la valeur moyenne du RMSE pour les trois batteries reste moins supérieure à 50 et 40 mV / élément pour la charge et la décharge, respectivement. Nous pensons que ces valeurs sont raisonnables pour un modèle, évitant la caractérisation pour chaque type individuel de batterie.

V/cell	Tudor		VARTA		Fulmen	
	Discharge	Charge	Discharge	Charge	Discharge	Charge
MBE	0.03	0	0.015	-0.023	-0.017	0.025
RMSE	0.038	0.033	0.029	0.064	0.024	0.038

Tableau II- 14 : comparaison entre valeurs mesurées et calculées par le model normalisé

Chapitre II : modélisation d'une batterie acide au plomb

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la batterie acide au plomb don fonctionnement d'une manière générale, ses différents types, les paramètres importantes qu'on peut extraire de cette batterie, pour qu'on peut appliquer le model mentionné (model de Copetti)

Chapitre III :

Etude pratique et réalisation

Introduction :

Dans ce chapitre on souhaite concevoir une interface graphique sous LabVIEW qui permet d'acquérir des données apparentes d'une batterie (tension, courant de charge, décharge, et température), ces données sont enregistrées sur une base de données.

III.1- Les logiciels utilisés pour la simulation

Pour réaliser notre carte on utilisé plusieurs logiciels tel que :

III.1.1- Le logiciel « Proteus »

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronic, il se compose de deux logiciels principaux ISIS et ARES.

III.1.1.1 ISIS

Le module ISIS de Proteus est principalement utilisé pour éditer un schéma structurel d'un circuit électronique (assemblage de composants électroniques dont on fixe les valeurs et les références) reliés par des connexions électrique (fils). Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler les différents types de montages ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisé dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits. La Figure III-1 montre la fenêtre du module de simulation Proteus ISIS. [10]

III.1.1.2 ARES

Le module ARES est un outil d'édition et de routage qui complète parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficiente lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement. La figure ci-dessous montre la fenêtre du module de simulation Proteus ARES. [10]

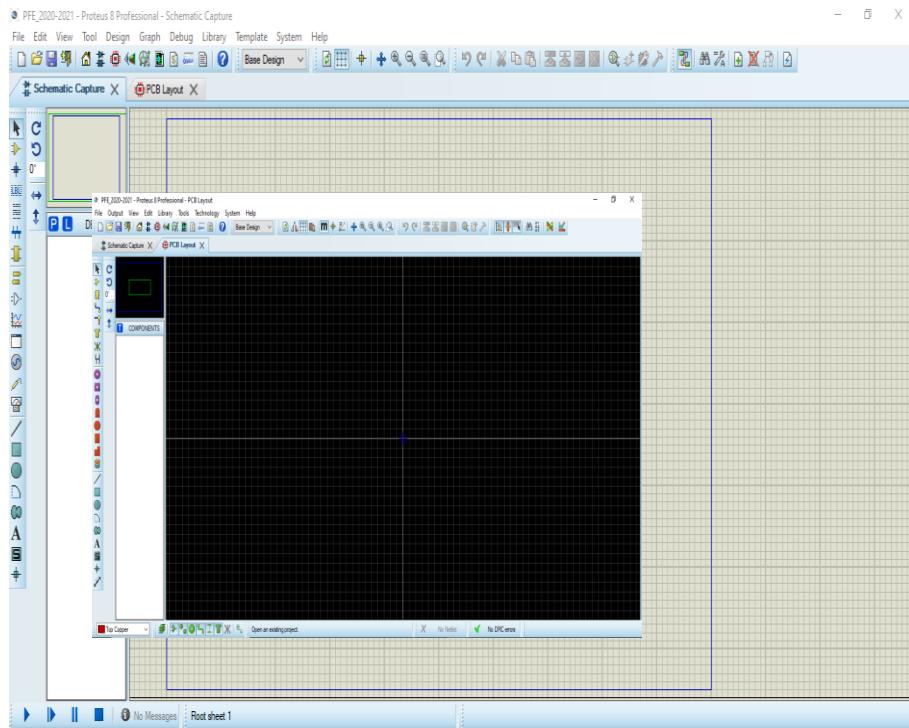


Figure III- 1:Aperçus sur le logiciel Proteus (ISIS & ARRES)

III.1.2- Le logiciel « MPLAB X IDE »

Est un outil de développement spécifique aux microcontrôleurs PIC, conçu et fourni par Microchip. Il permet d'écrire, mettre au point et optimiser les programmes, sous Windows. En effet, en plus d'un éditeur et d'un assembleur, il inclut un ensemble d'outils permettant non seulement de fabriquer le code objet d'une application, mais aussi de simuler le programme, c'est à dire le voir dérouler à l'écran. [11]

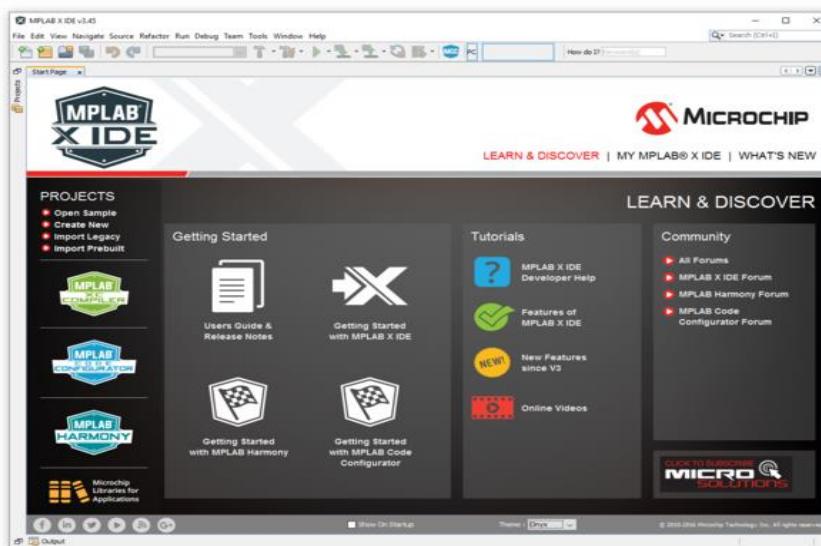


Figure III- 2:le logiciel de programmation MPLAB X

III.1.3- Le logiciel « LabVIEW »

Les programmes LabVIEW sont appelés instruments virtuels, ou Vis, car leur apparence et leur fonctionnement s'apparentent aux instruments réels, tels que les oscilloscopes et les multimètres. LabVIEW contient une grande gamme d'outils pour l'acquisition, l'analyse, l'affichage et l'enregistrement des données, ainsi que des outils pour vous aider à mettre au point votre programme.

Dans LabVIEW, vous construisez une interface utilisateur, ou face-avant, avec des commandes et des indicateurs. Les commandes sont des boutons rotatifs, des bouton-poussoir, des cadrons et autres mécanismes d'entrée. Les indicateurs sont des graphes, des LED et d'autres afficheurs de sortie. (Figure III.3), Après avoir construit l'interface utilisateur, vous ajoutez du code en utilisant des Vis et des structures pour contrôler les objets de la face-avant. Le diagramme contient ce code (figure III.4). [12]

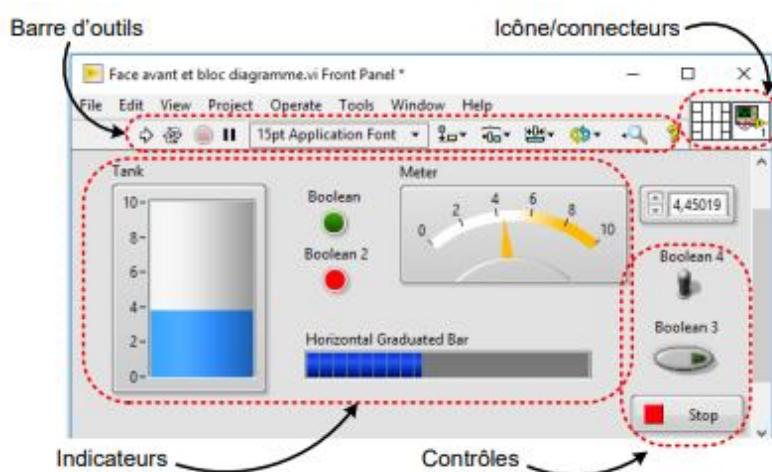


Figure III- 3: Face avant de logiciel LabVIEW

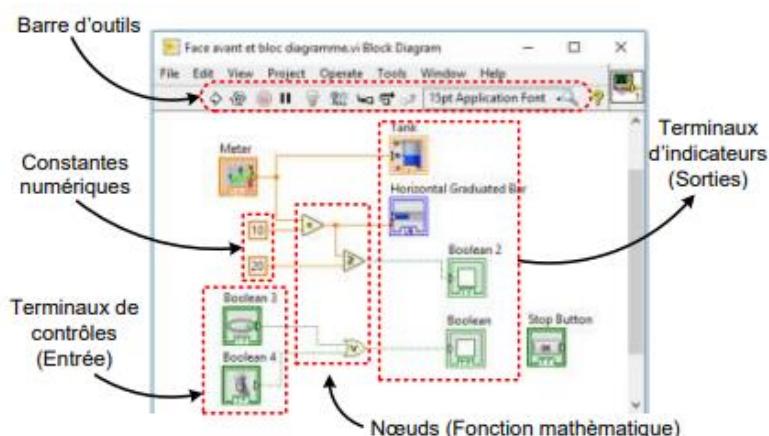


Figure III- 4: Block diagramme du logiciel LabVIEW

III.2- MODULE (UART)

C'est un protocole série, qui permet de transmettre des trames de bits les unes à la suite des autres. Pour que la communication fonctionne, les deux dispositifs désirant communiquer ensemble doivent se mettre d'accord sur un certain nombre de points : [13]

- Le nombre de bits par trame.
- La durée de chaque bit.
- La présence ou non d'un bit de parité.
- La durée du « bit » de stop.

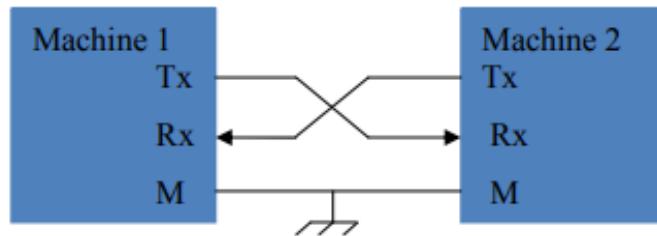


Figure III- 5:communication série entre deux machines

III.3- Commande avec microcontrôleur

On utilise deux microcontrôleurs de la famille PIC16F877A pour réaliser une communication série entre deux pics, le circuit permet de brancher une série des LEDs sur le PORTB du PIC slave et les commander à travers des interruptions branchées sur le PORTB du PIC master (Figure III – 6)

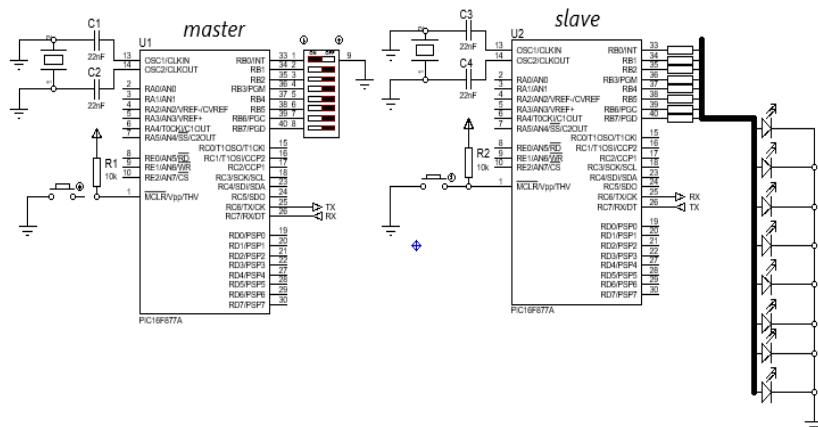


Figure III- 6:circuit communication entre deux microcontrôleurs

Injectant le programme suivant dans le pic master :

```
1 #include "config.c"
2 #include <xc.h>
3 #define _XTAL_FREQ 4000000
4 #define Baud_rate 9600
5 char value;
6 void Initialize_UART(void)
7 { ...6 lines ... }
13 void UART_send_char(char DATA)
14 { ...3 lines ... }
17 void main(void) {
18     TRISB=0xFF;           //mettre le portb comme entrée
19     OPTION_REG=0x00;      //activé les résistances internes
20     while(1)
21     {
22         value=PORTB;
23         UART_send_char(value);
24     }
25 }
```

Figure III- 7:code injecté dans le pic master

On injecte le programme suivant dans le pic slave :

```
1 #include "config.c"
2 #include <xc.h>
3 #define _XTAL_FREQ 4000000
4 #define Baud_rate 9600
5 char value;
6 void Initialize_UART(void)
7 { ...6 lines ... }
13 char UART_get_char()
14 { ...3 lines ... }
17
18 void main(void) {
19     TRISB = 0x00; //mettre le portb comme sortie
20     while (1) {
21         value = UART_get_char();
22         PORTB=value;
23     }
24 }
```

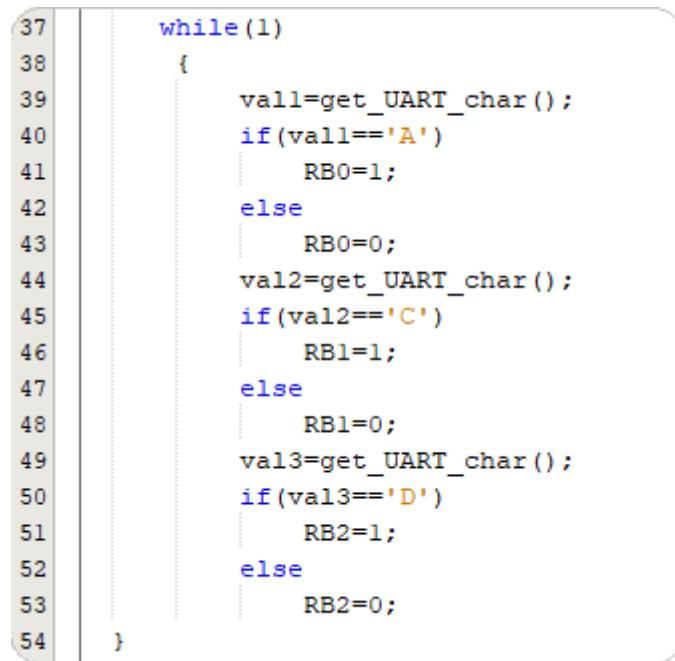
Figure III- 8:code injecté dans le pic slave

La communication entre pc et PIC se fait de la même manière, la seule différence est le type de liaison physique, pour cette dernière on utilise un câble rs232 (Figure III-25) et un adaptateur max232 par contre dans communication entre deux pics on utilise des fils connecteurs

III.4- Communication LabVIEW-Proteus

L'objectif d'utiliser la communication entre pc et pic est bien la mesure des différents paramètres de la batterie (tension, courant, température) puis les envoyer au pc pour afficher et stocker les résultats à travers le logiciel LabVIEW.

Avant de faire l'acquisition de données, il faut tout d'abord assurer la réussite de la communication entre LabVIEW et le logiciel Proteus, pour cela nous allons brancher trois LED : rouge, vert et jaune avec le microcontrôleur et commandé à partir du LABVIEW



```
37  while(1)
38  {
39      val1=get_UART_char();
40      if(val1=='A')
41          RB0=1;
42      else
43          RB0=0;
44      val2=get_UART_char();
45      if(val2=='C')
46          RB1=1;
47      else
48          RB1=0;
49      val3=get_UART_char();
50      if(val3=='D')
51          RB2=1;
52      else
53          RB2=0;
54 }
```

Figure III- 9: code C de communication virtuel

Après avoir écrire le programme en C qui permet de transmettre une chaîne de caractère (côté du PIC 16F877A), nous devons recevoir ces données par un logiciel de lecture du port série du PC ([généralement COM1 ou COM2](#)). Pour la simulation, cette communication est réalisée en utilisant un software qui permet de connecter virtuellement les ports COM1 et COM2 même si ces derniers n'existent pas au niveau du PC. Le software utilisé est le VSPE (Virtual Serial Ports Emulators).

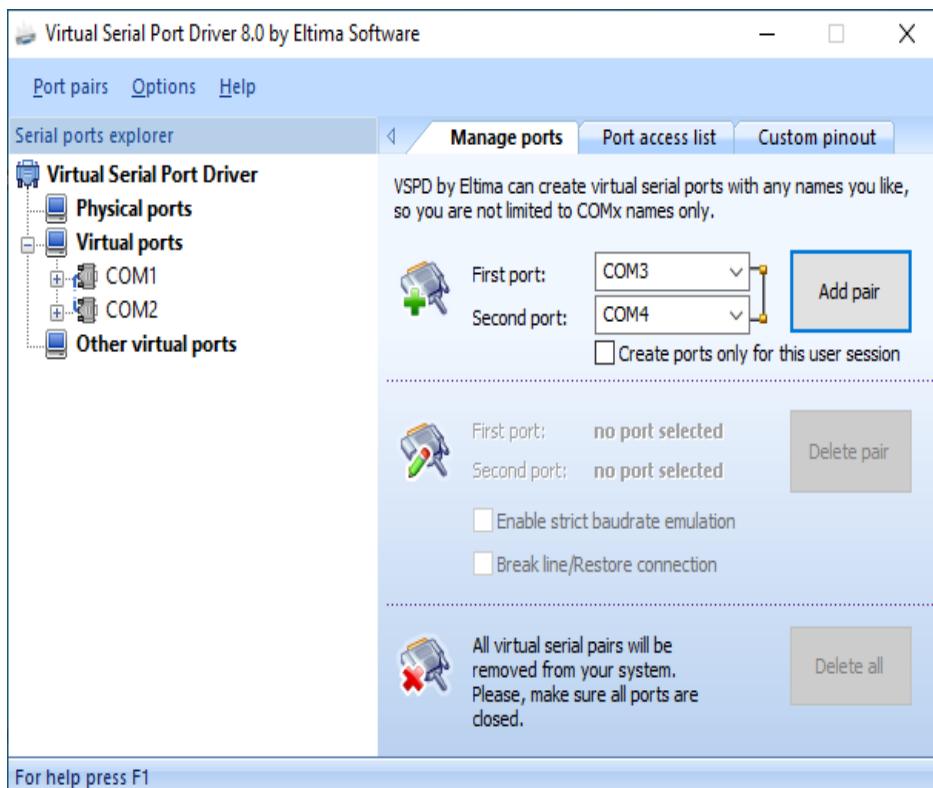


Figure III- 10: Emulateur des ports séries virtuels

Après la création du port série virtuel, il suffit de créer un programme LABVIEW puis Configuré Les paramètres du Protocol de communication (nombre de bit, vitesse de transmission) par l'utilisation du block VISA

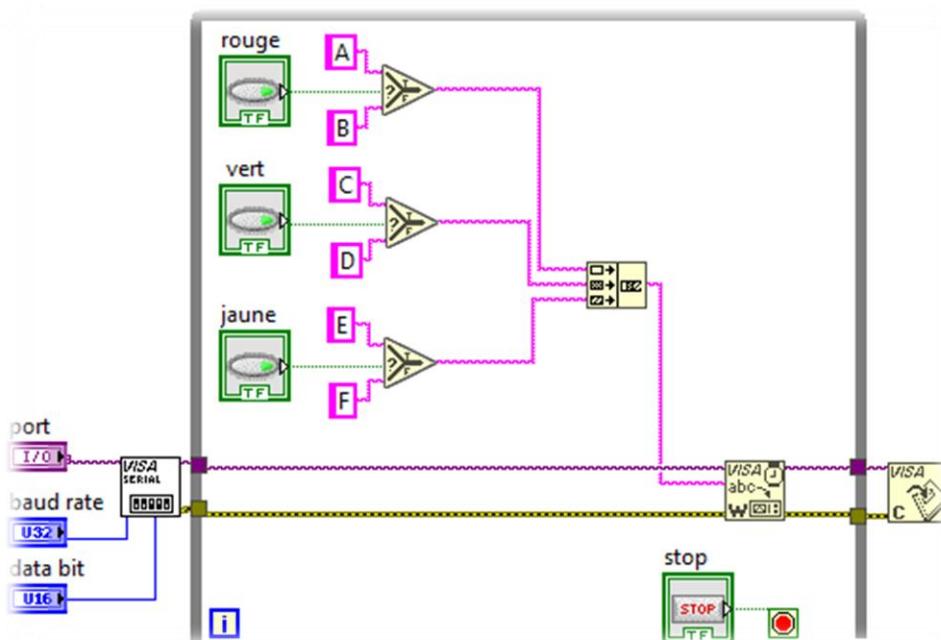


Figure III- 11: Block diagramme de transmission

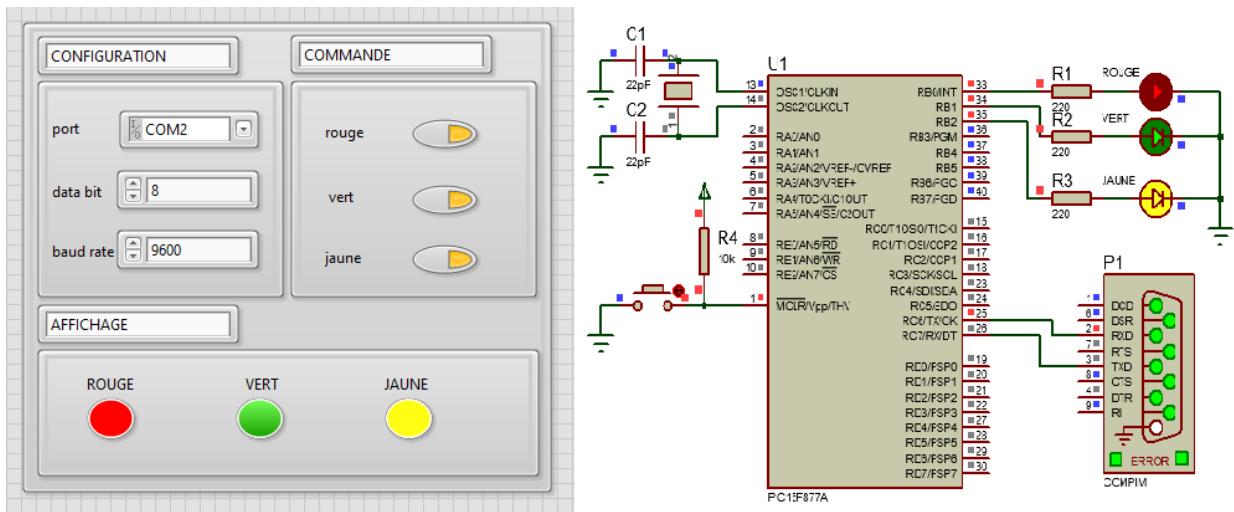


Figure III- 12:*Simulation de communication LabVIEW- Proteus*

III.5 Composition d'un système DAQ

Composition d'un système DAQ (batterie plomb-acide) :

Le système d'acquisition des données est un ensemble d'éléments matériel et logiciel destiné à recueillir des données physiques par l'intermédiaire de capteurs. Le système DAQ de notre projet est composé de plusieurs blocs, donné sur la (Figure III- 13).

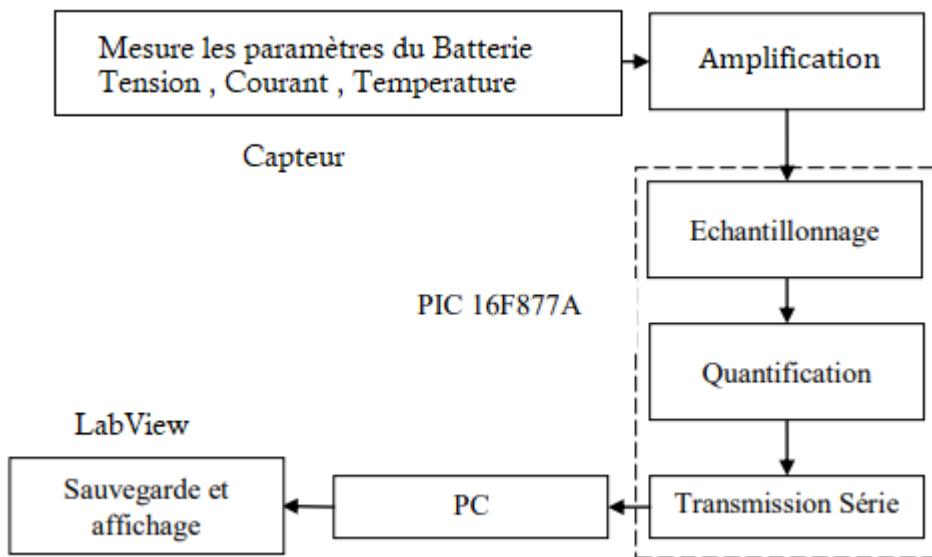


Figure III- 14: *Schéma synoptique de mesure, acquisition, affichage et stockage de données DAQ*

III.5.1 Capteurs

L'acquisition de données commence par le phénomène physique à mesurer. Ce phénomène physique peut être la température, humidité, vitesse, courant ...etc.

Un transducteur est un appareil qui convertit un phénomène physique en un signal électrique measurable. La capacité d'un système DAQ de mesurer différents phénomènes dépend des transducteurs utilisés pour convertir le phénomène physique en signaux mesurables par le matériel DAQ. Les transducteurs utilisés [18] :

- Capteur de tension
- Capteur de courant : acs712
- Capteur de température : lm35

III.5.1.1 Capteur de tension

Le PIC16F877 admet un maximum de tension de 5 V sur ses pattes d'entrée. Mais comme les plages de la source de tension et de la batterie dépassent largement les capacités du PIC16F877, on doit utiliser un diviseur de tension pour ramener les tensions mesurées en des tensions réduites qui ne détruisent pas le microcontrôleur et qui peuvent être lues et interprétées. La tension de la batterie varie entre 0 V et 14.4 V ; alors La plage doit être convertie en une plage de 0 V à 5 V pour que notre PIC16F877 puisse la lire.

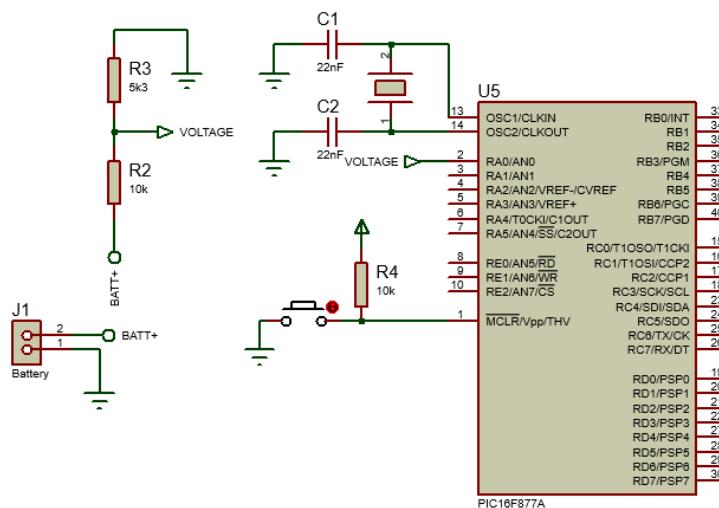


Figure III- 15: mesure de tension de la batterie.

III.5.1.2 Capteur de courant

Pour mesurer le courant qui traverse la batterie on a utilisé le capteur ACS712 (Figure III-15), Il utilise le champ magnétique généré par le courant (et donc l'effet hall) pour mesurer le courant qui le traverse. Le module propose en sortie une tension continue proportionnelle au courant à raison de 0.066V/A (66mV par ampère).

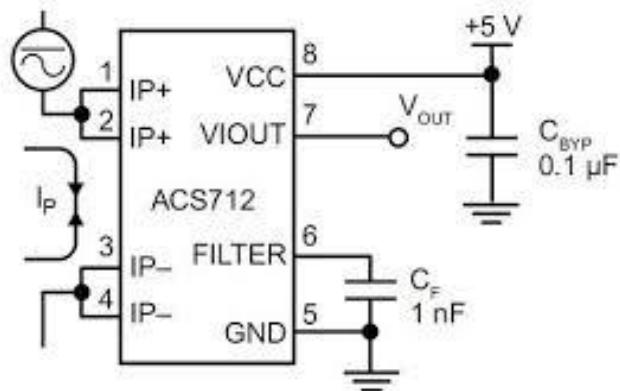


Figure III- 16:le circuit ACS712

III.5.1.3 Capteur de température

Ce type de mesure s'effectue à l'aide d'un capteur qui transforme la température en un signal électrique. Il existe plusieurs types de capteurs, pour notre utilisation on est fixé à mesurer la température par un circuit intégré spécialisé LM35, ce dernier délivre une tension proportionnelle à la température (10mV/°K).

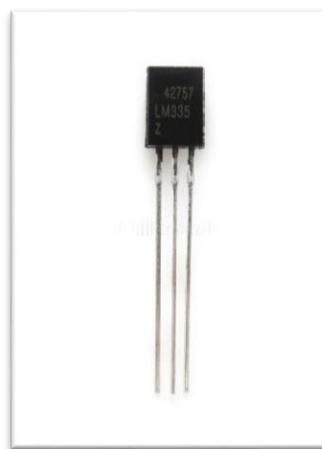


Figure III- 17:Capteur de température LM35

III.5.2 Circuit de conditionnement

Les signaux délivrés par les capteurs restent inexploitables pour plusieurs raisons (le bruit, faible puissance.), l'utilisation du circuit de conditionnement est obligatoire afin d'assurer la bonne d'acquisition de données, qui permet d'éliminer le bruit par un filtre analogique puis amplifié le signal.

Le signal reçu par le capteur de température varie entre [0-50mv]. La variation de température dans l'intervalle [0-50°C] va créer une différence de tension entre [0-50mv], mais comme la tension maximale du PIC16F877A est 5 V, donc la page d'acquisition ne sera pas exploitée qu'à 10 %, Pour remédier à ce problème, l'utilisation de l'amplificateur avec un gain G=10 s'impose.

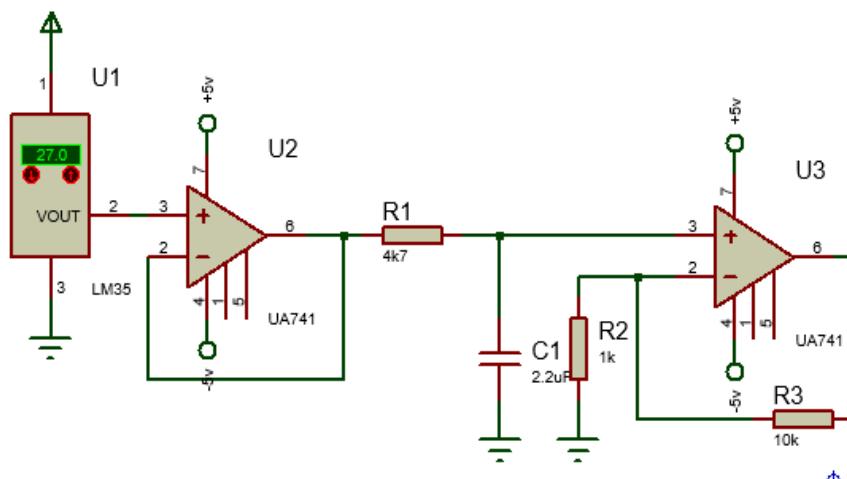


Figure III- 18: chaine de mesure de température.

Pour le capteur de courant, la variation de la tension en fonction du courant est représentée sur la (Figure III- 18), dans notre projet la batterie utilisé ne supporte pas plus de 2.7 A comme courant maximale de la charge, pour plus de protection on limite l'intervalle de mesure [-2 2A], ce qui signifie en tension [2 3V], on sais que le capteur donne une valeur 2.5V lorsque le courant est nulle, Pour cela on utilise un offset 2.5v puis amplifié le signal par l'utilisation du circuit intégré LM324 qui possède quatre amplificateur opérationnels U1 : A, U1 : B, U1 : C, U1 : D, chaque amplificateur doit amplifier avec un gain bien défini.

Notre cas nous avons travaillé avec des gain : 1,10,100,1000 pour OPAMP1 ,OPAMP2 ,OPAMP3 ,OPAMP4 respectivement , la lecture commence par l'amplificateur OPAMP4 , si il est saturé on passe à la deuxième amplificateur OPAMP3 , et ainsi de suite jusqu'à OPAMP1 (gain=1).

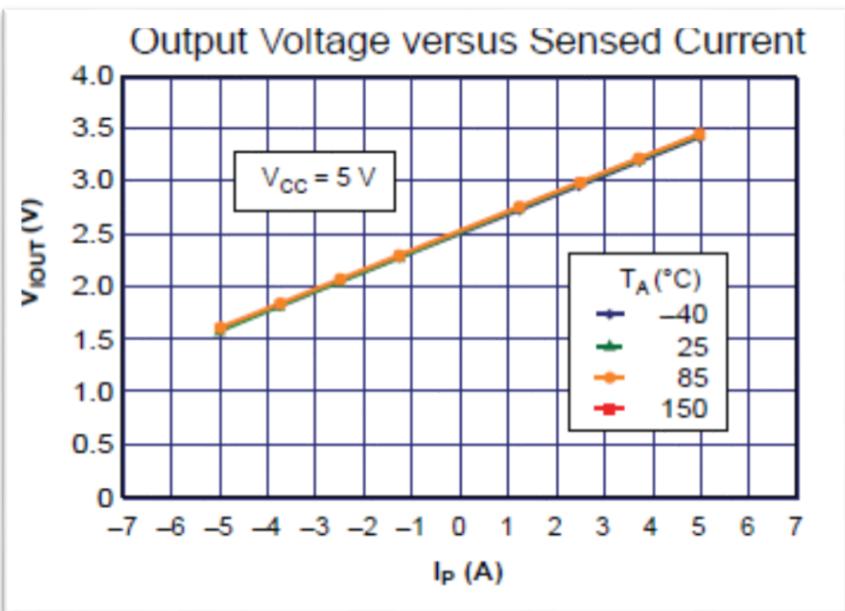


Figure III- 19: variation de la tension en fonction du courant.

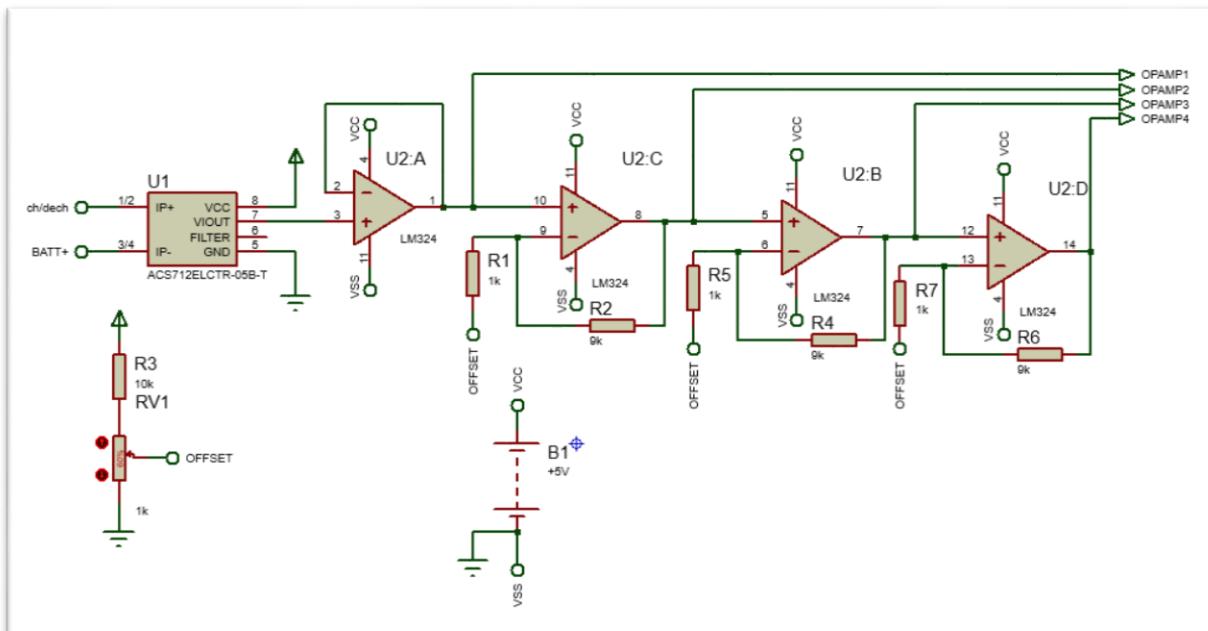


Figure III- 20: chaine de mesure de courant

III.5.3 Mise en forme (échantillonnage, quantification, transmission)

Après l'acquisition des données, il est un peu difficile de travailler avec des signaux de nature analogique (continue), la carte électronique est un outil pour faciliter le traitement des signaux (filtrage, stockage, transmission ...) grâce son circuit ADC, qui permet de convertir les signaux analogique en signaux numériques.

Le microcontrôleur PIC16F877A possède 8entrées ADC et converti les entrées analogiques en un nombre numérique de 8 bits ou 10 bits, d'où, le signal numérique résultant peut prendre 256 ou 1024 valeurs possibles respectivement, la conversion se fait avec les deux valeurs de références V_{DD} , V_{SS} par défaut.

Certain fois on a été obligé de travail avec tension maximale (ou minimale) différents par rapport la valeur V_{DD} ou V_{SS} , pour plus de précision,

le registre ADCON1 nous permettre de choisir les tensions de référence qui permettent de fixer la dynamique du convertisseur par le biais des bits de contrôle de la configuration des ports, PCFG3, PCFG2, PCFG1, et PCFG0 comme le montre le tableau suivant :

PCFG <3:0>	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0	VREF+	VREF-	C/R
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	V_{DD}	V_{SS}	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	V_{SS}	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	V_{DD}	V_{SS}	5/0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	AN3	V_{SS}	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	V_{DD}	V_{SS}	3/0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	AN3	V_{SS}	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	—	—	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	V_{DD}	V_{SS}	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	V_{SS}	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	V_{DD}	V_{SS}	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	AN3	AN2	1/2

TABLEAU III- 1 : Sélection des tensions de référence du convertisseur analogique-numérique

III.6 Partie de commande

Il arrive fréquemment qu'on sépare la partie puissance de celle de la commande. Dans notre carte la commande de charge/décharge la batterie, la commutation sert à brancher le panneau sur la batterie ou le mettre hors service.

Un microcontrôleur peut délivrer une tension et un courant suffisant pour commander directement une LED, mais pas pour piloter un moteur électrique ou une lampe. Il est donc obligatoire d'utiliser un pré actionneur qui joue le rôle d'interface de puissance entre la partie commande et la partie opérative. Le pré actionneur pourra être commandé en entrée par un courant ou une tension faible et commutera en sortie une puissance électrique adaptée à la charge cliente.

Divers composants ou associations de composants permettent de réaliser une interface de puissance. Comme les transistors pour commuter des tensions et des courants continus, des thyristors et triacs (pour l'alternatif), les relais (commute du continu ou de l'alternatif).

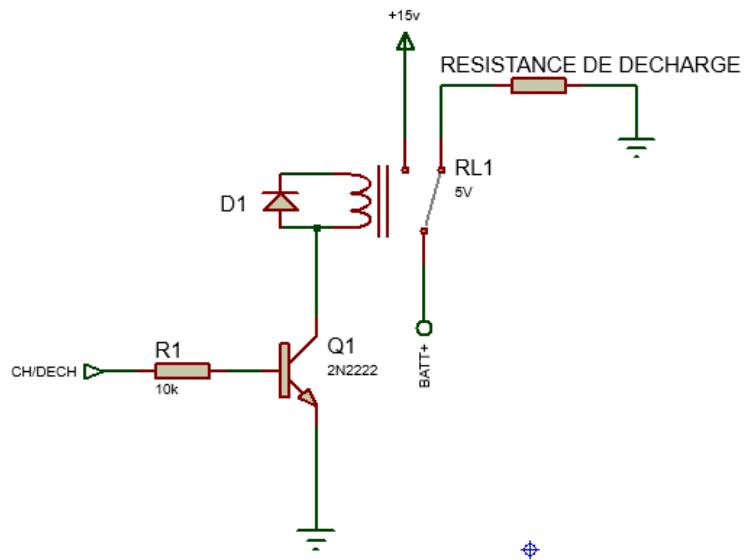


Figure III- 21:circuit de commutation

III.7 Schéma globale :

La Figure qui suit représente le circuit final de la carte électronique à réaliser :

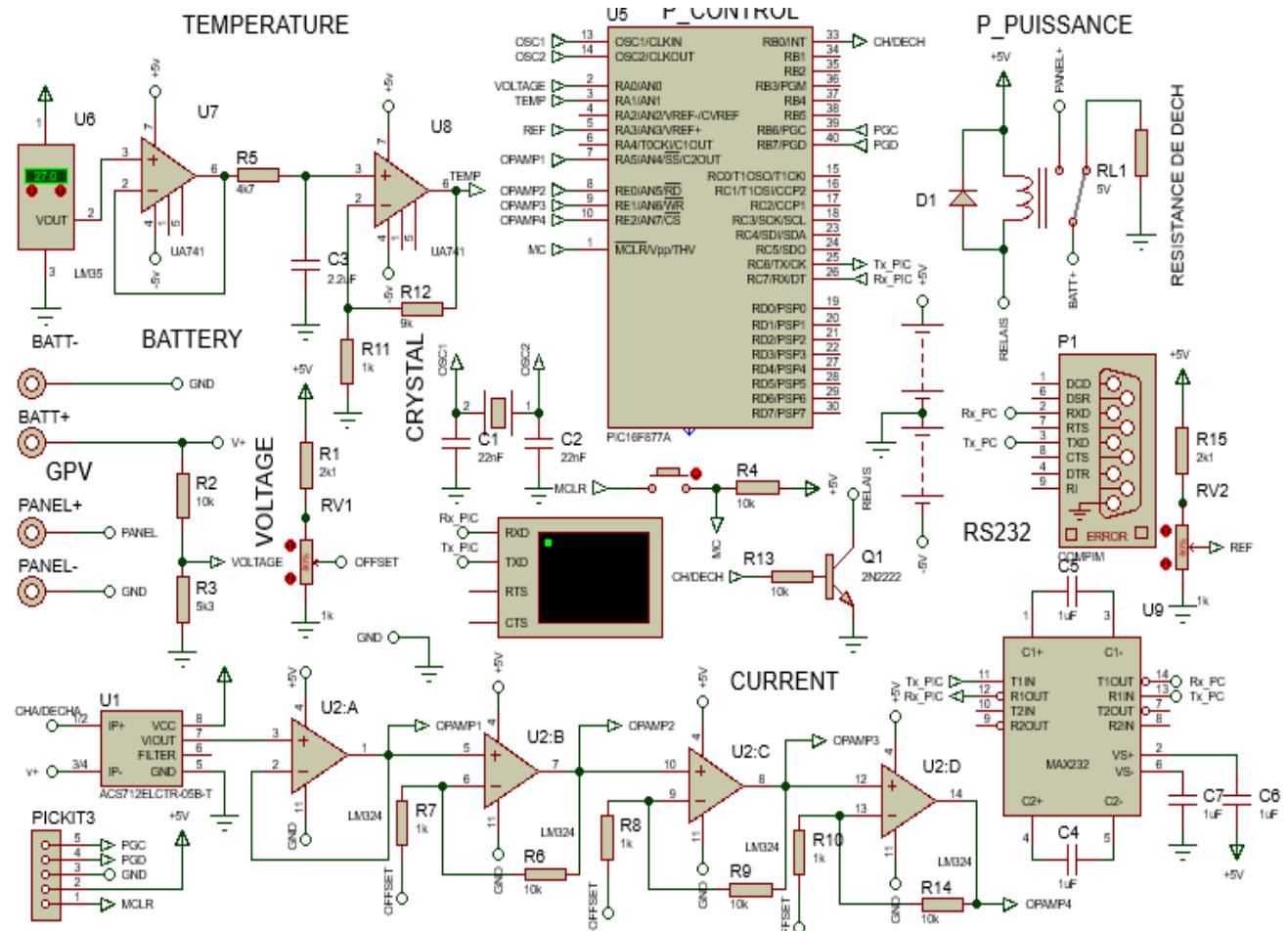


Figure III- 22:schéma globale de carte d'acquisition des données

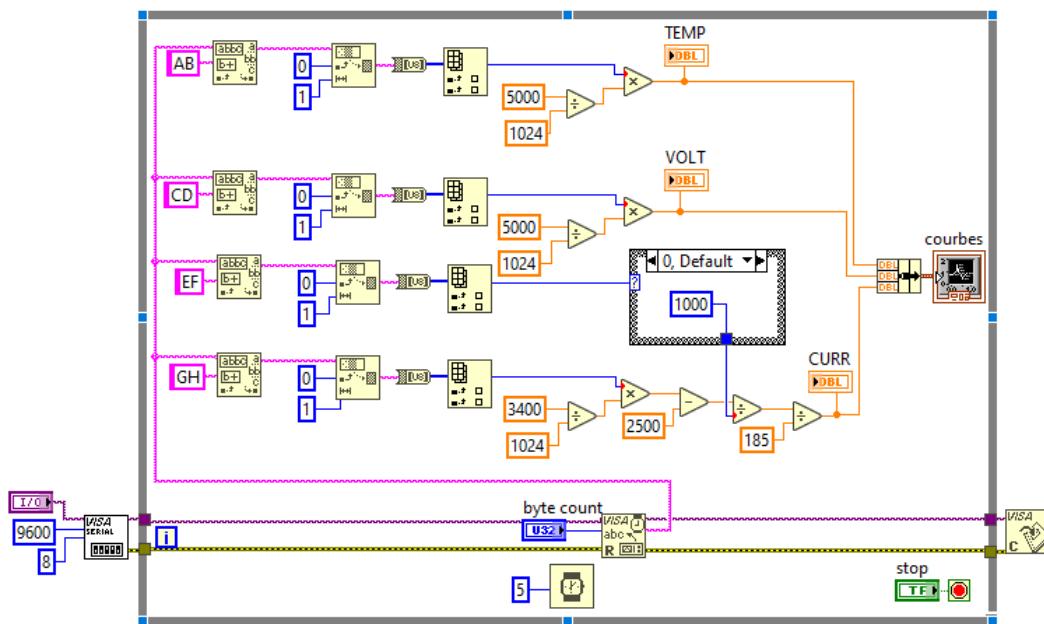


Figure III- 23:interface d'acquisition de données sur LabVIEW

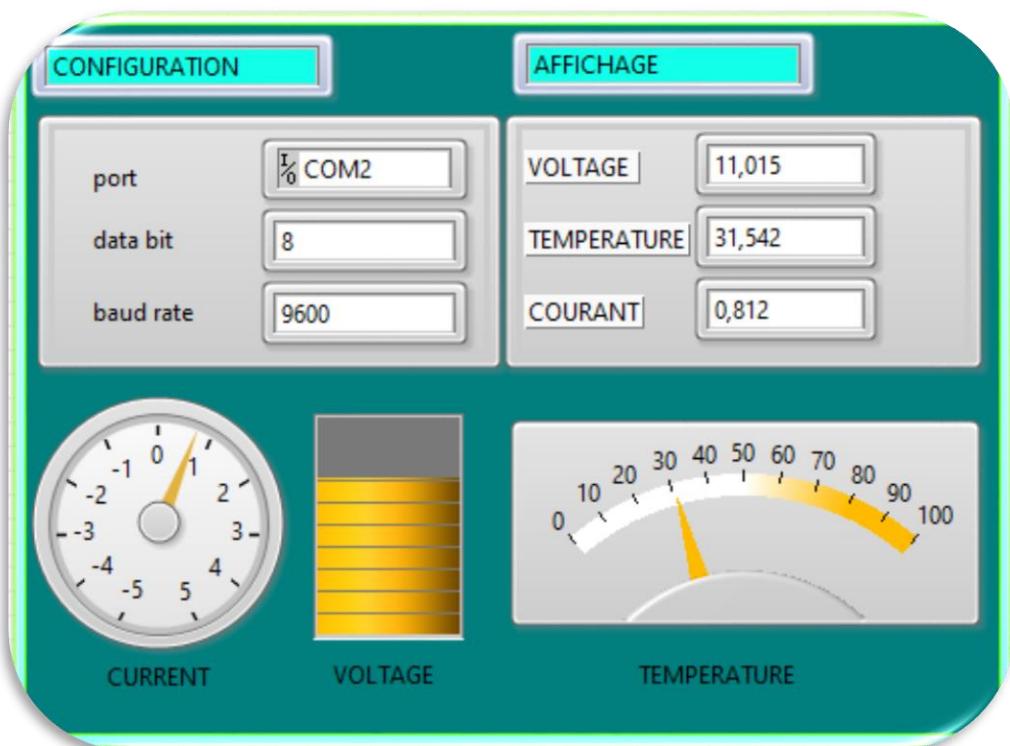


Figure III- 24: affichage des données acquises sur LabVIEW

Après la réussie de la simulation entre LabVIEW et Proteus, on passe à réalisé le circuit dans un plaque d'essai.

La communication entre LabVIEW et Proteus représente la communication virtuelle entre ordinateur et pic, il manque que l'injection du programme à travers l'utilisation du circuit programmeur (pickit3), puis relier l'ordinateur avec le pic à travers la liaison RS232.ensuite Injection du programme et la connexion par RS232.

III.8- Pickit3

C'est un circuit programmeur qui fait l'injection du programme dans un microcontrôleur (dil_40pins), connecté à un support de pic, pour raison de sécurité hardware (placer et enlever le pic), on a vu de le connecter directement avec le pic (pins de programmation) :

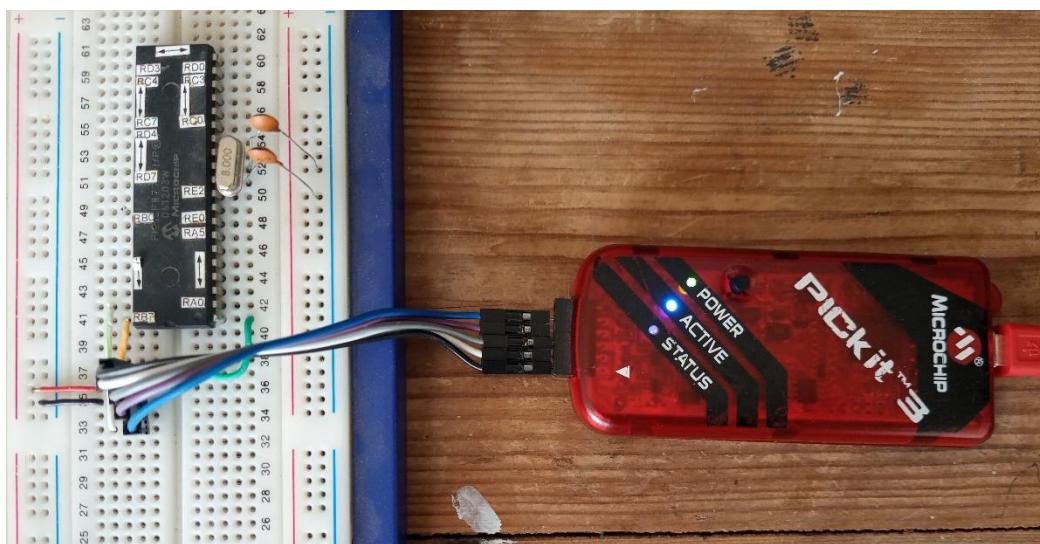


Figure III- 25:programmateur PicKit3

III.9- RS232

RS-232 (aussi appelé EIA RS-232C ou V.24) est une norme standardisant un bus de communication de type série sur trois fils minimum (électrique, mécanique et protocole). Disponible sur presque tous les PC jusqu'au milieu des années 2000, il a été communément appelé le « port série ». Sur les systèmes d'exploitation MS-DOS et Windows, les ports RS-232 sont désignés par les noms COM1, COM2... etc. Cela leur a valu le surnom de « ports COM », encore utilisé de nos jours. Cependant, il est de plus en plus remplacé par le port USB. Les liaisons RS-232 sont fréquemment utilisées dans l'industrie pour connecter différents appareils électroniques (automate, appareil de mesure, etc.).



Figure III- 26 : câble rs232 (femelle femelle)

III.10- Circuit sur plaque D'essai

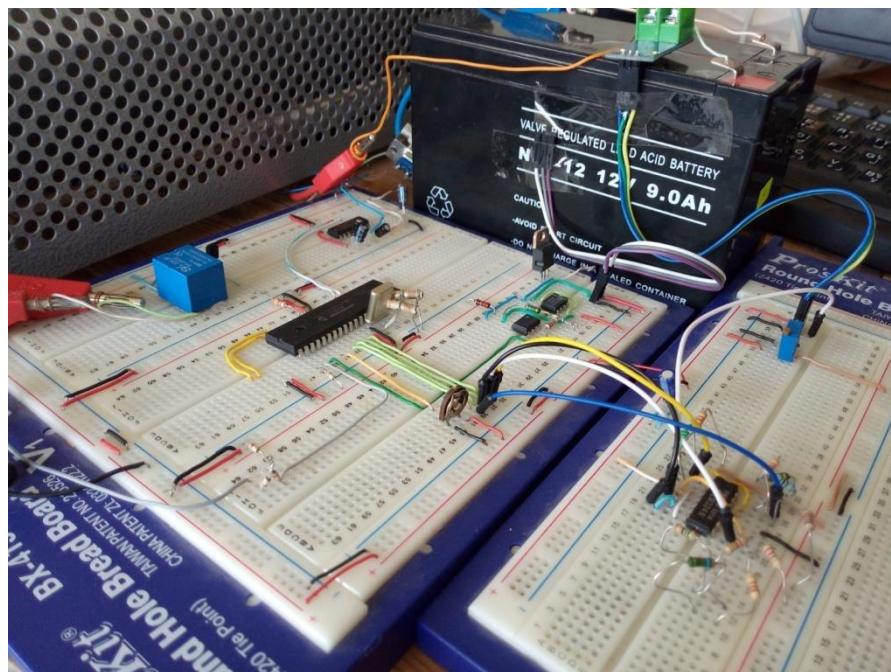


Figure III- 27 : circuit d'acquisition sur plaque d'essai

III.11- Description du programme

L'organigramme associé à l'algorithme de contrôle (schéma ci-dessous). Le programme injecté au microcontrôleur PIC16F877A gère les opérations de protection de la batterie contre l'excès de température et les phénomènes de surcharge et de décharge profonde. Dans les régions utiles de variation de la température ambiante et de l'intensité de courant de batterie, les trois seuils

T_{max} , I_{min} , V_{min} se présentent toujours dans un ordre croissant, ce qui justifie l'utilisation d'une mise en cascade des procédures de contrôle. Ce programme gère aussi l'affichage numérique des informations utiles du système (température ambiante, courant de batterie, tension de batterie, états des interrupteurs de charge et de décharge).

Avec :

$$T_{max}=38^{\circ}C$$

$$I_{min}=10mA$$

$$V_{min}=9.5V$$

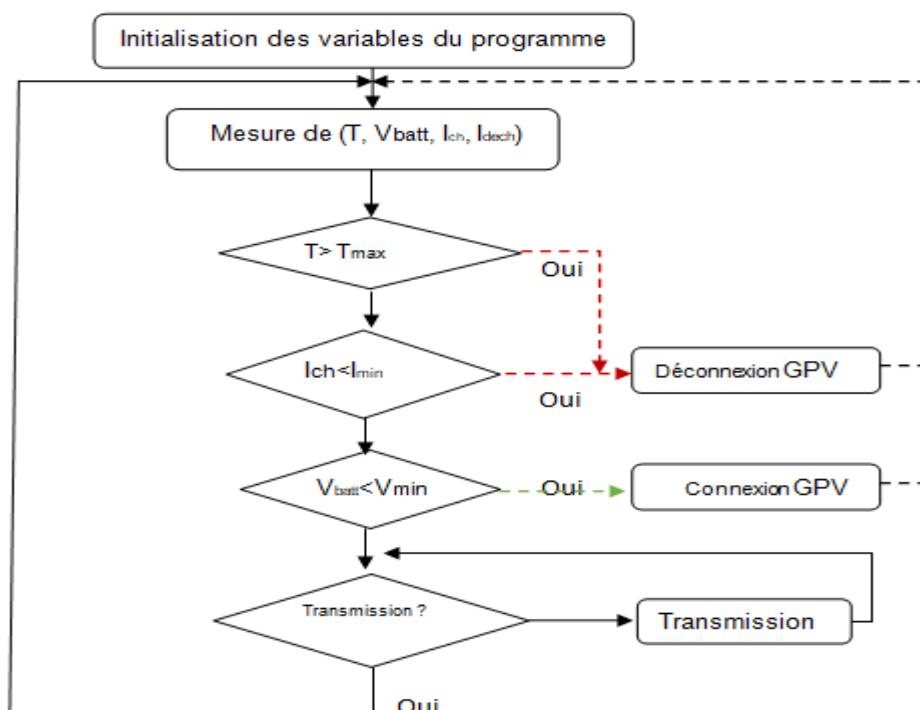


Figure III- 28 : l'organigramme de déroulement du programme.

III.11 Base de données :

Pour une analyse avancée des données, le logiciel LABVIEW reste insuffisante car les données sont très volumineuses, ce qui nous amène à utiliser la base de données SQL, qui fournit un stockage structuré de données et de les retrouver facilement.

La connexion entre LABVIEW et SQL se fait par le block OPENSQL, CLOSESQL qui permet de l'initiation de la communication, les blocks INSERT /SELECT sont utilisé pour envoyer/ recevoir des données (Figure III- 29)

Tout d'abord nous avons créé un tableau « mesure » dans la base de données, pour stocker les données de la mesure.

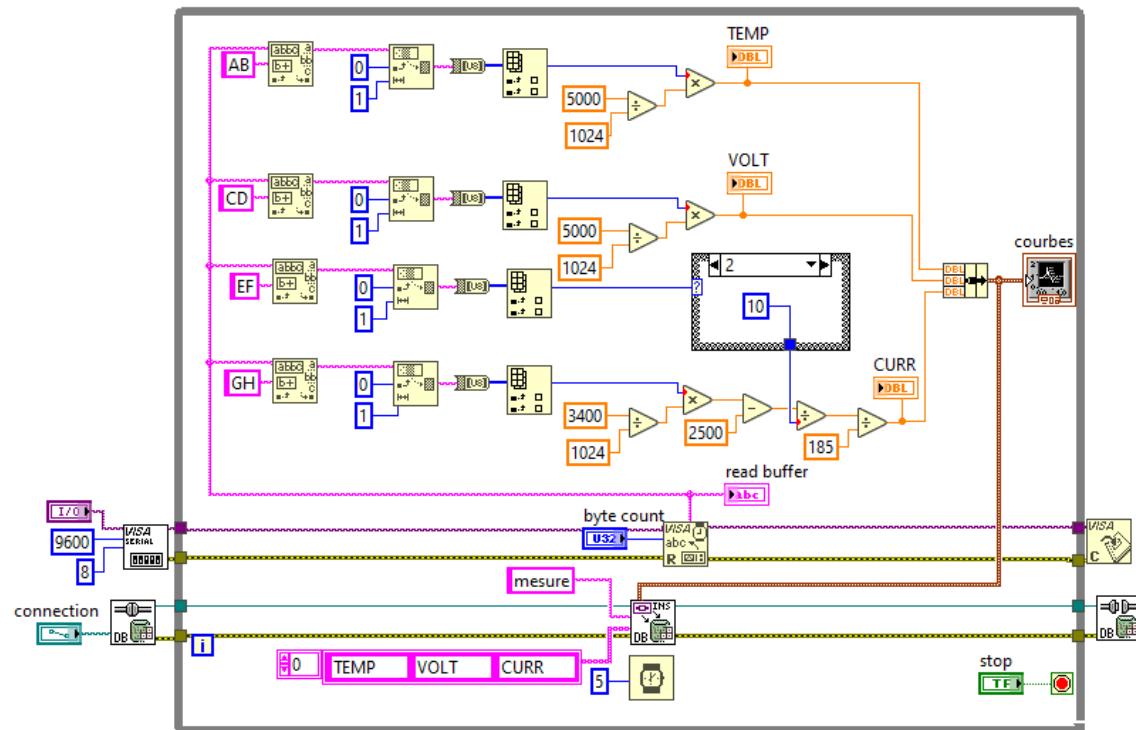


Figure III- 30:interface LabVIEW pour stocker les résultats sur une base de données

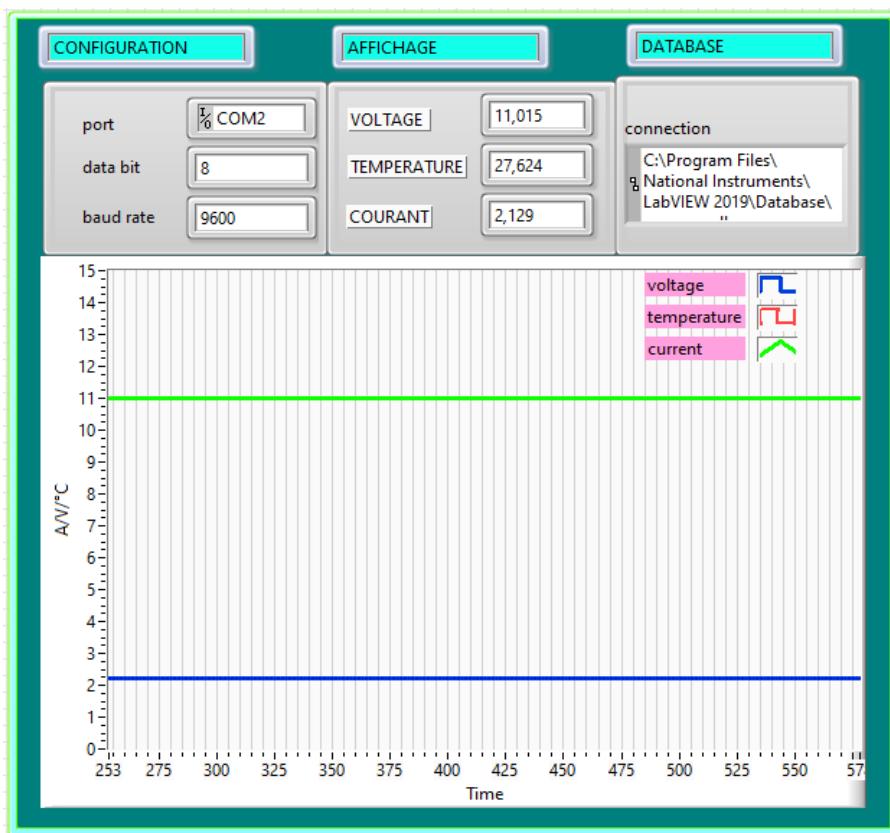


Figure III- 31: Affichage de base de données sur LabVIEW

Après le stockage de données il suffit d'exécuter la requête « **SELECT * FROM MESURE** »

id	courant	tension	temperature
1	1,823393275	12,5624822	26,34244621
2	1,823393275	12,5624822	26,34244621
3	1,823393275	12,5624822	26,34244621
4	1,823393275	12,5624822	26,34244621
5	1,823393275	12,5624822	26,34244621
6	1,823393275	12,5624822	26,34244621
7	1,823393275	12,5624822	26,34244621
8	1,823393275	12,5624822	26,34244621
9	1,823393275	12,5624822	26,34244621
10	1,823393275	12,5624822	26,34244621
11	1,823393275	12,5624822	26,34244621
12	1,823393275	12,5624822	26,34244621
13	1,823393275	12,5624822	26,34244621
14	1,823393275	12,5624822	26,34244621
15	1,823393275	12,5624822	26,34244621
16	1,823393275	12,5624822	26,34244621
17	1,823393275	12,5624822	26,34244621
18	1,823393275	12,5624822	22,78592375
19	1,823393275	12,5624822	24,06158358

Figure III- 32: Données sur la base de données

III.12- Charge (décharge) classique

Après injection de programme sur le pic et la confirmation de réception de data sur LabVIEW on passe alors à la manipulation de batterie, en premier lieu on va lancer une charge (décharge) classique -sans utiliser le microcontrôleur-, pendant une durée de plus de 4H. On obtient les résultats présentés dans la figure suivante:

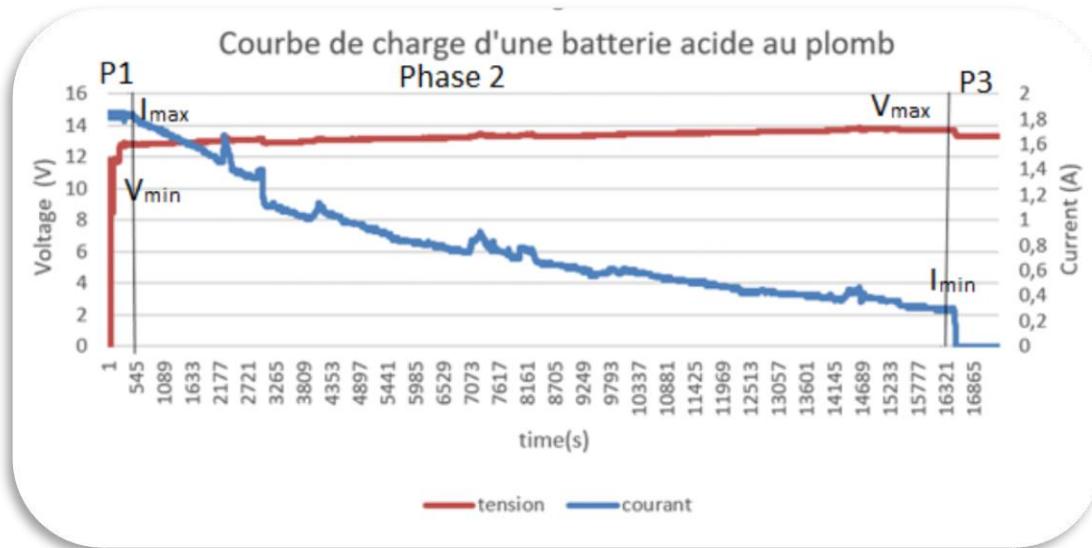


Figure III- 33: courbe de charge d'une batterie acide au plomb (tension/courant)

courbe de charge d'une batterie acide au plomb (tension/courant)

On observe, la courbe de charge de la batterie en trois phases :

- Phase 1 : Charge au début à un courant relativement élevé qui correspond au courant maximale fourni par le générateur PV. Le courant est limité à 1/5 de la capacité nominale. La tension augmente progressivement jusqu'à atteindre le seuil maximal régulé 14,4 Volts (2,4V par élément) à 25°C.
- Phase 2 : Charge forcée à tension constante, où la tension est régulée à 14,4 Volts, pour avoir une légère gazéification. La fin de cette phase est à la valeur du courant C/100.
- Phase 3: Charge d'entretien à tension constante, Une fois la batterie est chargée, on passe au mode de charge d'entretien(Floating) pour la maintenir à 100% de charge. La tension appliquée à la batterie sera autour de 13,6V (entre 2,25V et 2,28V par élément) à 25°C.

III.13-Paramètres de la batterie durant la charge

Durant la charge de la batterie Acide au Plomb on veut extraire plusieurs paramètres, pour cela une représentation graphique pour chaque élément nous permet de bien observer le développement, les

figures suivantes sont extraites des coefficients C₅, C₁₀et C₂₀ avec un courant continu 1.8A, 0.9A et 0.45A respectivement.

III.13.1-Tension de charge

Le graphe suivant est obtenu en lançant une charge (classique) durant 1H40min :

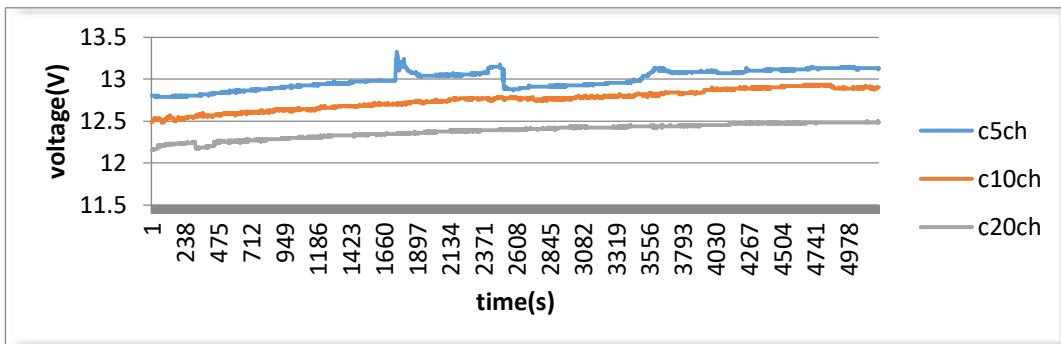


Figure III- 34: courbe de tension de charge ave différents courants

La charge est bonne avec le courant le plus faible (0 ,45A), plus le courant s'augmente la charge devienne plus lente avec plus de perturbations par rapport a celle avec le courant le plus faible.

III.13.2-Courant de charge

Au cours d'une charge de batterie le courant se diminue ou la tension augmente (proportion inverse). Ce phénomène est illustré dans la figure ci-dessus :

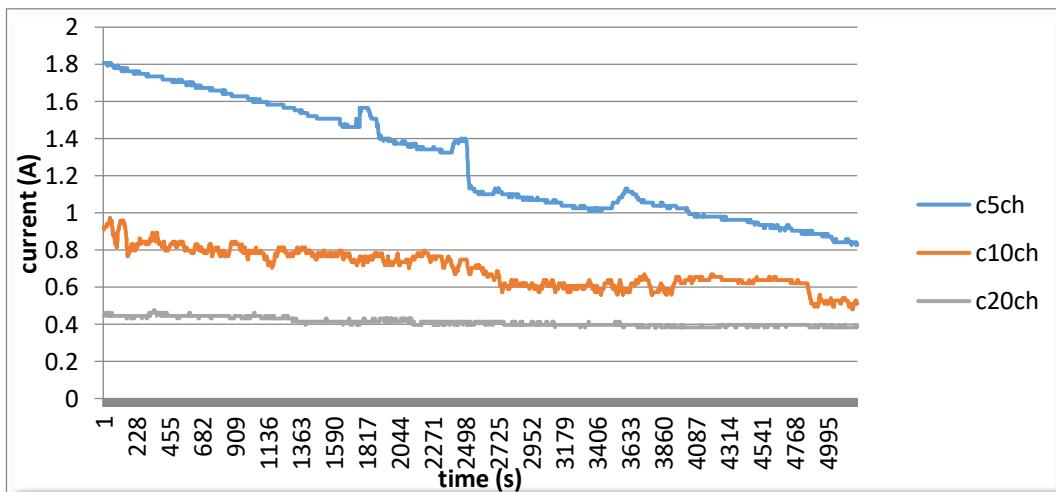


Figure III- 35 : Courbe de courant de charge des différents coefficients

Lorsque courant est faible (0.45A) il décroît d'une manière très faible on peut même le constater comme constant. Plus le courant augmente (0.9, 1.8A) plus il diminue plus rapidement.

III.13.3-Température de charge

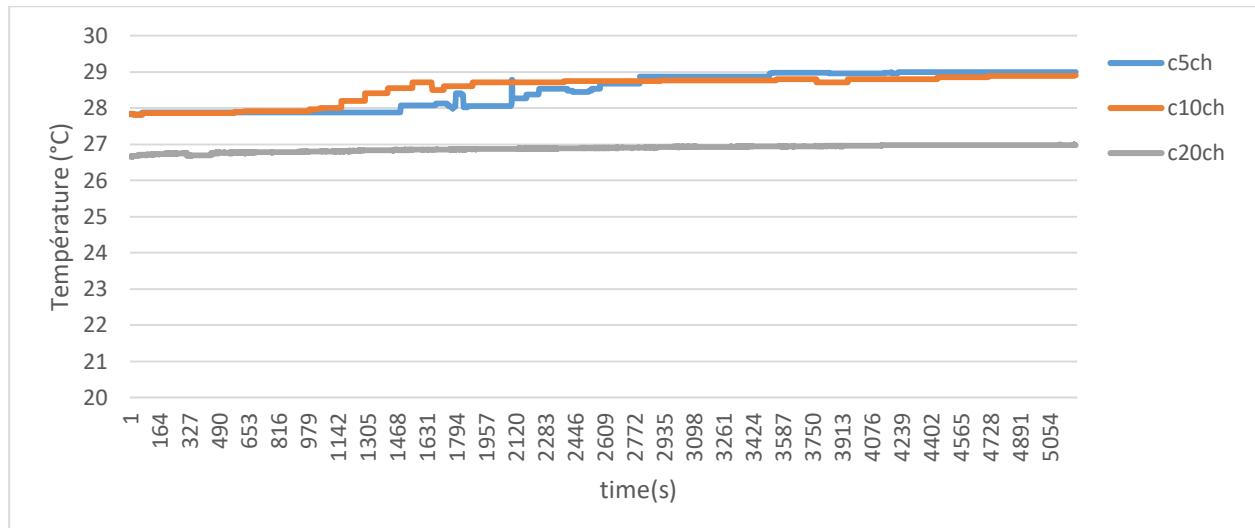


Figure III- 36 : graph de température pendant la charge

La température au cours de charge de la batterie légèrement a un faible courant, le courant augmente la température s'évolue plus rapidement

III.13.4-Etat de charge SOC

Les résultats obtenus en appliquent l'équation de SOC :

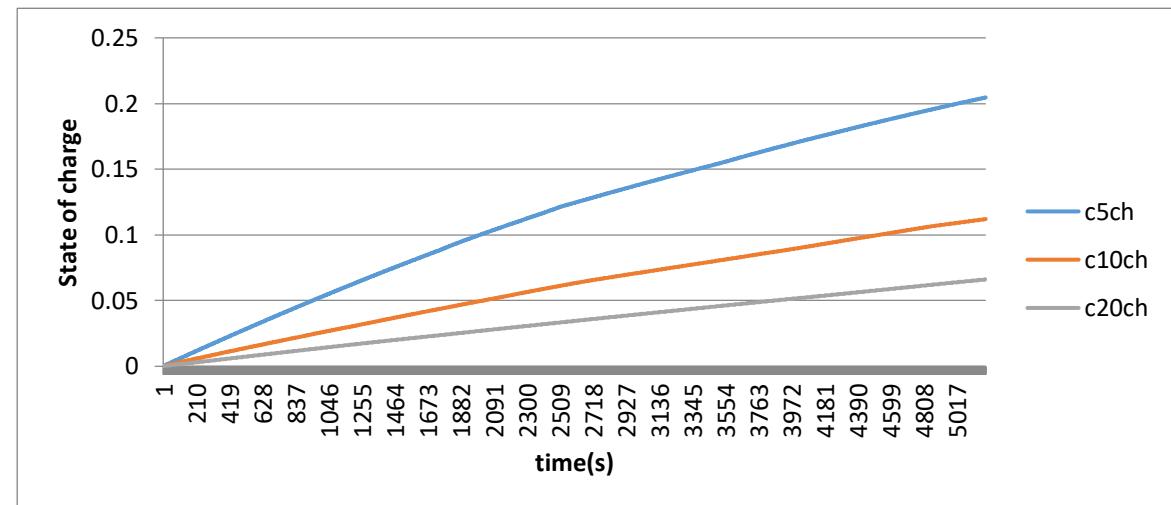


Figure III- 37 : courbe de l'état de charge de la batterie

L'état de charge de notre batterie est très bon pour les trois courants la courbe est presque droite ce qui veut dire le SOC est nulle au début (batterie déchargée) et maximale lorsqu'elle est complètement chargée.

III.13.5-Profondeur de décharge DOD

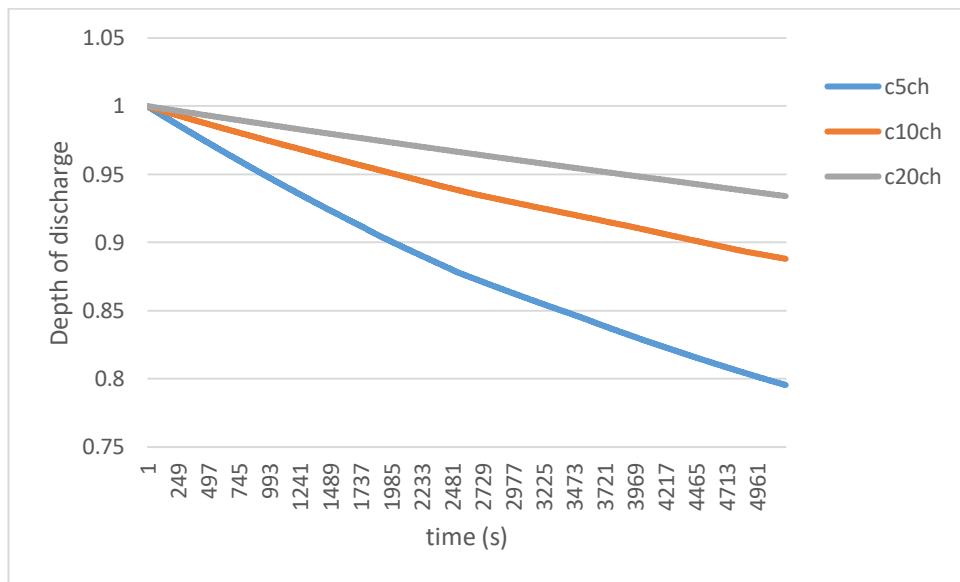


Figure III- 38 : courbe de profondeur de charge de la batterie DOD

La profondeur de charge est une droite décroissante qui passe par l'origine qui veut dire DOD maximale lorsque la batterie est déchargée et minimale si la batterie est complètement chargée

III.14 Paramètres de batterie au cours de décharge

De la même manière faite avec l'obtention des paramètres de la batterie durant la charge on va les extraire pour la décharge, les résultats sont illustrés aux figures suivantes.

III.14.1-Tension de décharge

Lançant maintenant une décharge (classique) durant 2H on obtient :

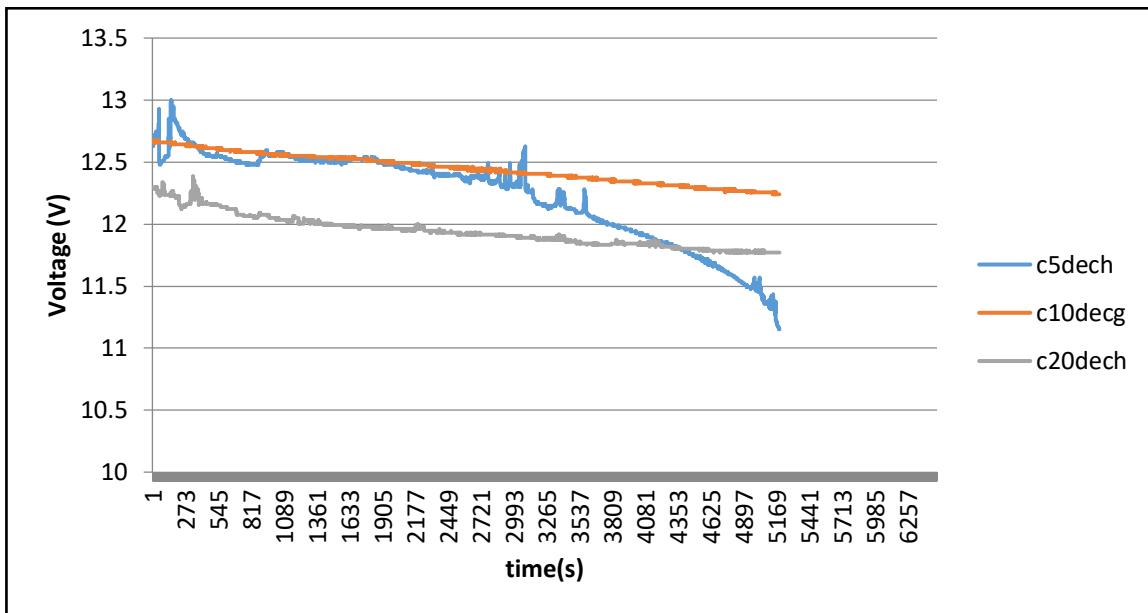


Figure III- 39 : courbe de tension de décharge

La décharge de notre batterie va correctement avec les deux faibles courants (0.45A et 0.9A), augmentant le courant à 1.8 la décharge devient plus rapide.

III.14.2-Courant de décharge

Le courant de décharge est une information très importante, la figure suivante montre les résultats obtenus lors de décharge de notre batterie durant 1H30min :

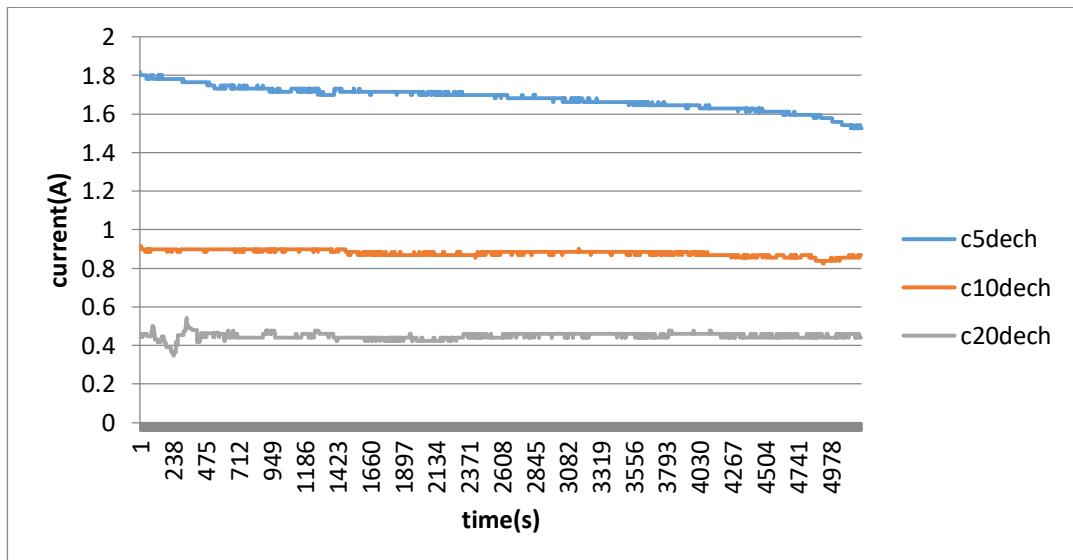


Figure III- 40 : courbe de courant de décharge

On remarque durant la décharge avec le courant (0.45A et 0.9) il reste constant toute la durée de décharge ce phénomène va disparaître avec le courant le plus élevé (1.8A).

III.14.3-Température

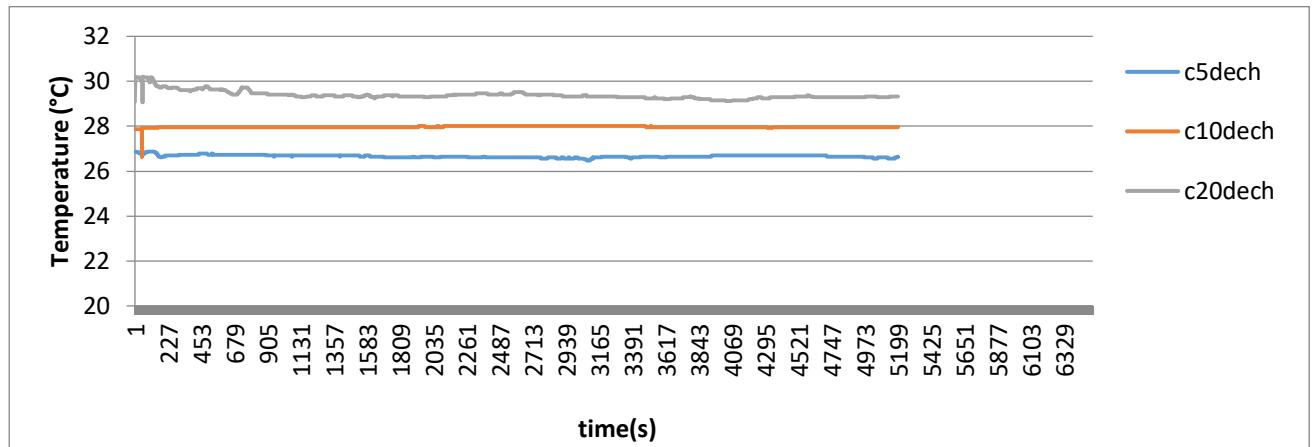


Figure III- 41 : courbe de température de décharge

Au cours de décharge de notre batterie la température a diminué d'une valeur très faible.

III.14.4-Etat de charge SOC

L'état de charge est pris après une charge pendant 1H :

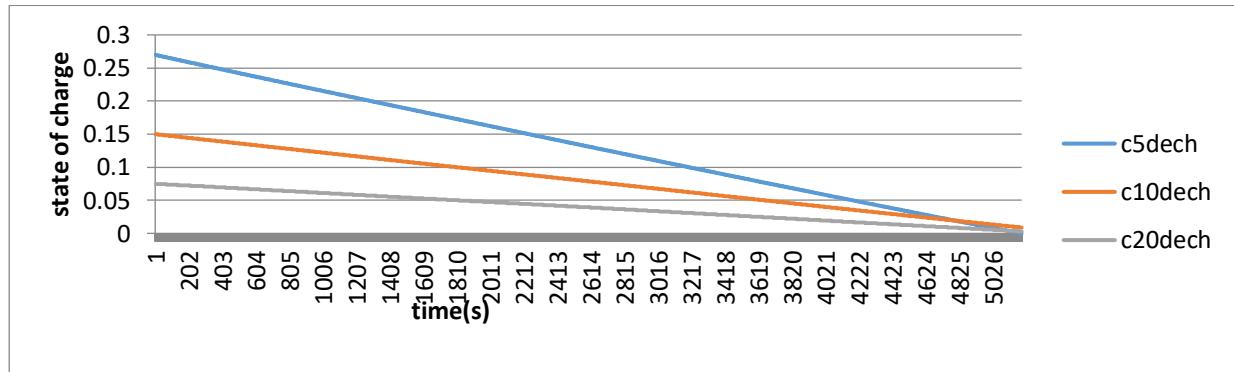


Figure III- 42 : courbe de l'état de charge de la batterie

D'après la courbe de SOC l'évolution de décharge est bonne, maximale au début (batterie chargée), et diminue lors de la décharge.

III.14.6-Profondeur de charge DOD

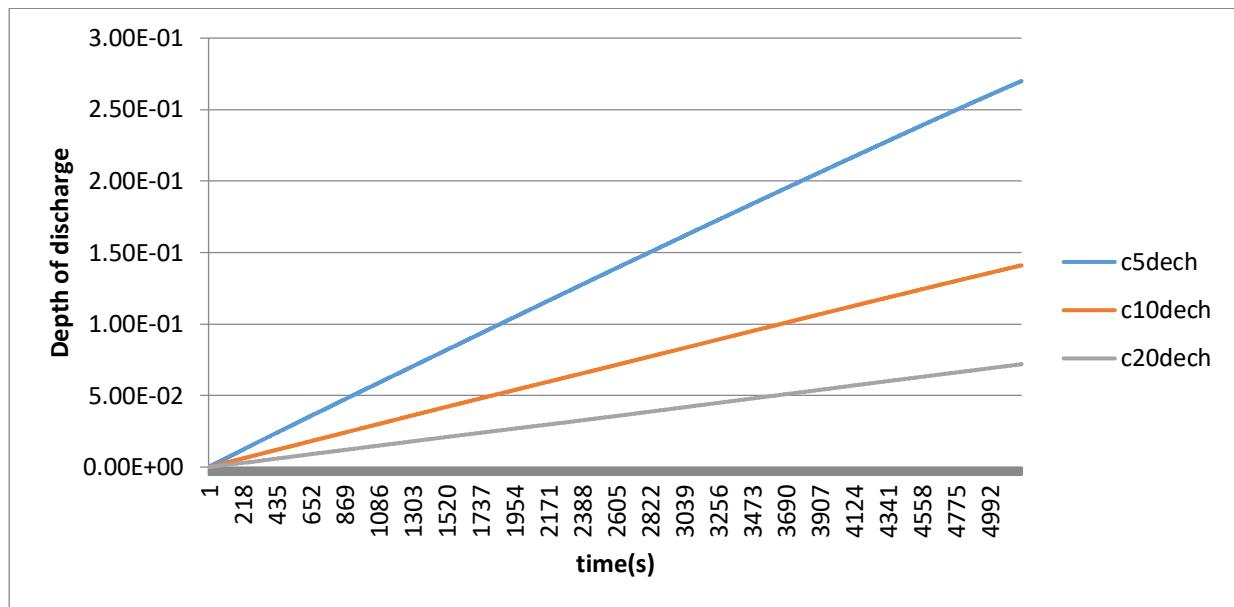


Figure III- 43 : courbe de profondeur de décharge de la batterie

La profondeur de charge est nulle au début quand la batterie est complètement chargée, et est maximale lorsque la batterie est déchargée pour un courant plus faible la profondeur va plus lentement, Le DOD s'évolue inversement à la charge.

III.15-Quantité de courant

Cette quantité est obtenu en comparant le courant de charge et le courant de décharge cette quantité va nous informe s'il y a une perte de courant lors des deux processus (charge /décharge)

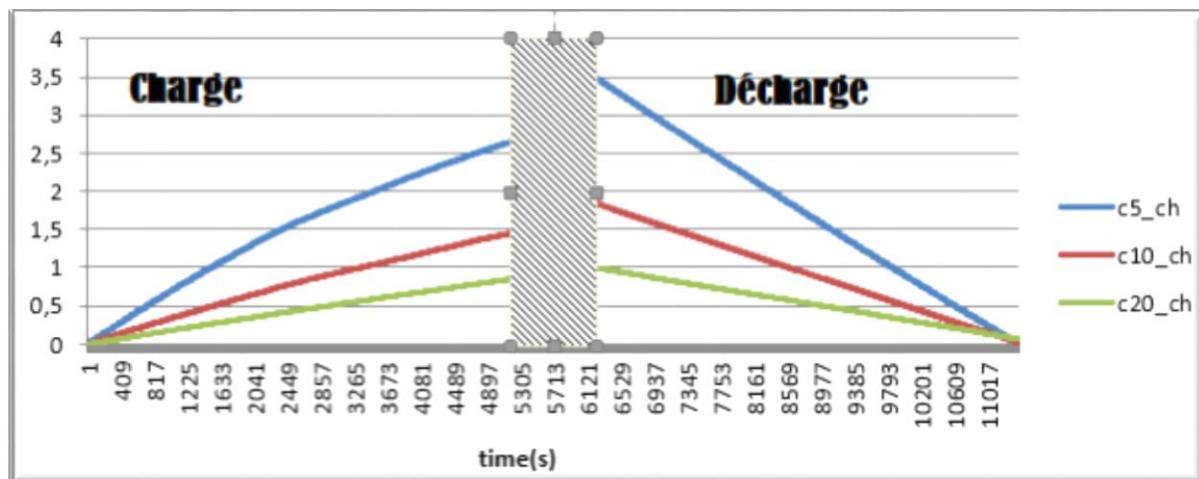


Figure III- 44 : quantité de courant (charge/décharge)

On remarque que la différence entre la quantité de courant au cours de charge et de décharge s'augmente en augmentant la capacité d'autre façon en augmentant le courant une perte de courant va s'augmenter en comparant entre la charge et la décharge.

Après plusieurs cycles de charge/décharge une augmentation importante du température a causé endommagée notre batterie bien que la mesure du température indiqué que la valeur est autour de 27°C, ce qui nous amène à conclure que la température mesuré n'appartient qu'à une seule cellule .



Figure III- 45 : batterie endommagée

Pour remédier ce problème on propose un simple développement qui permet de mesurer la température de chaque cellule

L'acquisition de température il nous faut exploiter 6 pins ADC et chaîne de mesure pour chaque cellule, pour optimiser l'utilisation des pins de microcontrôleur on va utiliser un circuit intégré 4067 à propos de multiplexeur de 16 voies (c'est le circuit disponible au niveau du laboratoire, de préférence utilisé le circuit 4051) et commandé avec les trois pins du microcontrôleur RD0, RD1, RD3 comme montre sur la figure suivant :

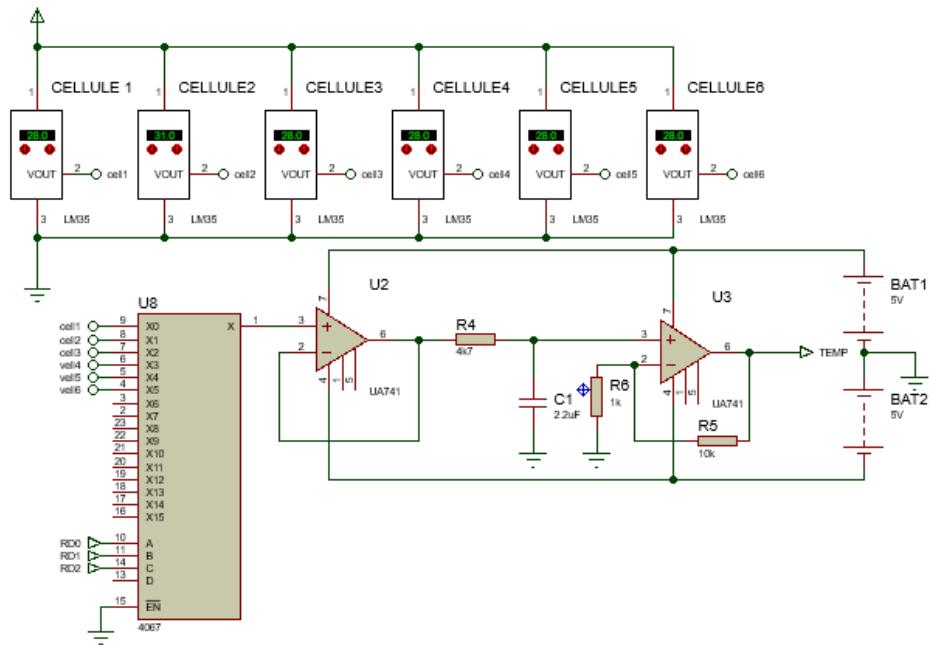


Figure III- 46 : schéma de mesure 6 cellule sous Proteus



Figure III- 47 : batterie VRLA avec capteurs de température (LM35)

On obtient les résultats présentés dans les figures suivantes :

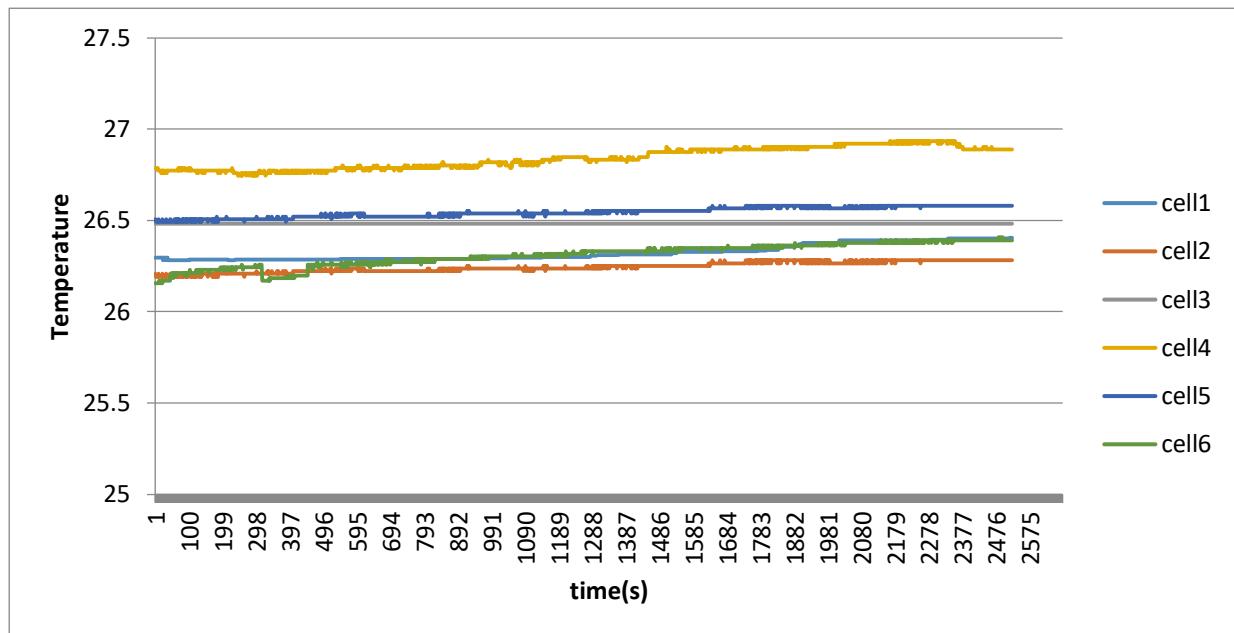


Figure III- 48 : Température des 6 cellules de batterie

Conclusion :

Dans ce chapitre on a réalisé une carte électronique qui assure le contrôle de la charge/décharge et d'extraire les paramètres identifiant les éléments d'une batterie acide-au plomb. On a pu alors obtenir les paramètres voulu (température, tension et courant), d'autres paramètres sont mis en place tel que SOC et DOD.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce mémoire est de concevoir un banc de caractérisation d'une batterie acide au plomb.

Dans le premier chapitre nous avons donné une vue générale sur le stockage de l'énergie photovoltaïque et les différents accumulateurs électrochimiques et types des batteries.

Le deuxième chapitre contient le principe de charge et de décharge de la batterie acide au plomb aussi les paramètres nécessaires pour contrôler une batterie acide au plomb suivie d'une présentation de model mathématique de batterie fait par Coppetti.

Le dernier chapitre est dédié pour la pratique tout en partant sur la conception de la carte électronique pour acquisition des paramètres extraits de batterie, l'affichage de ces derniers par le logiciel LabVIEW et stocker les dans une data base (SQL)

On est arrivés à réaliser un circuit qui fait l'acquisition de données de notre batterie solaire (tension, courant et température) et afficher les résultats en utilisant l'interface LabVIEW ensuite stocker les données reçus sous la base de données.

L'étape qui suit c'est l'application du model avec les paramètres extraits de la batterie ce qu'on n'a pas pu le faire à cause d'expiration de temps de travail qui a été très court.

Notre document est riche des informations pour les étudiants qui veulent continuer sur ce sujet.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1]Dr thèse-identification des paramètres internes d'une batterie pour des applications photovoltaïques-BOUTTE Aissa 01/07/2015
- [2][https://batterie-marine.com/blog/news/agm-gel-marine-batterie-liquide-scelle-ou-plomb-ouvert-comment-s-y-retrouver-\(visité le 27/05/2021\)](https://batterie-marine.com/blog/news/agm-gel-marine-batterie-liquide-scelle-ou-plomb-ouvert-comment-s-y-retrouver-(visité le 27/05/2021))
- [3]<https://www.victronenergy.fr/upload/documents/Optimiser-la-vie-des-batteries-plomb-Le%C3%A7on-V02-Bis.pdf>(visité le 05/06/2021)
- [4]Battery Management Systems: Accurate State-of-Charge Indication for Battery ...
De Valer Pop, Henk Jan Bergveld, Dmitry Danilov, Paul P. L. Regtien, Peter H. L. Notten
- [5]<https://la-batterie-du-cciste.blog4ever.com/notions-de-resistance-interne-pour-une-batterie>(visité le 11/05/2021)
- [6]A.J. Salkind, C. Fennie, P.Singh, T.Atwater, D.E. Reisner, Determination of state-of-charge and state-of-health of batteries by fuzzy logic methodology, J Power sources, 80, 293-300(1999)
- [7]. J. e. a. Cabezas, «Smart-1 Battery management electronic_BME,» ESASP, 2002
- [8]<https://www.planete-batterie.fr/content/14-batteries-au-plomb> (visité le 15/05/2021)
- [9] <https://www.bateaux.com/article/29655/batteries-plomb-ouvertes>(visité le 15/05/2021)
- [10] guide d'utilisateur de logiciel Proteus <https://www.labcenter.com/>(visité le 02/06/2021)
- [11]<https://www.microship.com/>(visité le 21/05/2021)
- [12] National Instruments, » Initiation à LabVIEW », Octobre 2005.
- [13]<https://sen.enst.fr/>
- [14]Site officiel de National Instruments, « Introduction à l'acquisition de données », Date de publication : mars 15, 2016 .
- [15]<https://www.sonelec-musique.com/>(visité le 15/05/2021)
- [16]Art11-2_12.pdf
- [17] (Data sheet PIC16F87X. version 30292D. MICROSHIP.
- [18]Saadi R et Salhi N., " Réalisation de carte à microcontrôleur pour le contrôle de bras manipulateur via un pc ", Mémoire de master en électronique, Université Mohamed KhiderBiskr , Promotion 2009-2010.

ملخص

أصبح تخزين الطاقة تحدياً لجميع المجالات. إذ تعتبر البطارية أهم قطب في الأنظمة الكهروضوئية، ولأنّ أكثر من عقد تعلم الأبحاث والدراسات على تحسين تكنولوجيا البطاريات بزيادة عمرها وتحملها للبيانات القاسية.

تعرض هذه الأطروحة نموذج للبطارية بهدف تحسين أدائها عن طريق متابعة زمنية لتطور مختلف معاملاتها كالتوتر، التيار والحرارة خلال الشحن والتفریغ، باستخدام الميكرو مراقب pic16F877A للتحكم، الاتصال التسلسلي باستعمال البروتوكول RS-232 ، عرض القياسات عن طريق واجهة LabVIEW، وقاعدة بيانات لتخزين المعلومات المتحصل عليها.

Résumé

Le stockage de l'énergie est devenu un défi pour cela nous avons réalisé un banc pour extraire les paramètres d'une batterie acide au plomb et la modélise ensuite, pour but d'améliorer ses performances.

On a pu extraire la tension, le courant et la température durant la charge et la décharge ces informations nous aides à trouver d'autres tel que SOC, DOD...etc. nous avons utilisé le pic16F877A pour le contrôle, la communication série par le protocole RS-232, l'affichage des mesures par l'interface LabVIEW et une base de données pour le stockage des données.

Mots-clés: PIC16F877A, RS-232, base de données, batterie, modélisation.

Resumé

Energy storage has become a challenge for that we made a bench to extract parameters from a lead acid battery and then model it, with the aim of improving its performances.

We were able to extract the voltage, the current and temperature during charging and discharging, those information helps us to find others such as the SOC and DOD...etc. We used the pic16F877A for the control, serial communication by RS-232 protocol, display of measurements by LabVIEW interface and a database for data storage.

Keywords : PIC16F877A, RS-232, database, battery, modelisation.