

M0015/05B

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Département d'électronique

Mémoire de Magister

**En Electronique
Option : Electricité Solaire**

Présenté par

M^{lle} BOURIB SAMIRA
Ingénieur d'Etat en Electronique (USTHB)

Thème

**Conception et réalisation d'un système de contrôle à base de
PIC16F876 pour accumulateurs au Plomb**

M R . Aksas	Professeur	ENP	Président
M M . Haddadi	Professeur	ENP	Rapporteur
M M . S. Ait Cheikh	Chargé de Cours	ENP	Rapporteur
M C. Larbes	Maître de Conférences	ENP	Examineur
M Z . Terra	Chargé de Cours	ENP	Examineur
M A . Malek	Maître de Recherches	CDER	Examineur

Juin 2005

REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Département d'électronique

Mémoire de Magister

**En Electronique
Option : Electricité Solaire**

Présenté par

M^{lle} BOURIB SAMIRA
Ingénieur d'Etat en Electronique (USTHB)

Thème

**Conception et réalisation d'un système de contrôle à base de
PIC16F876 pour accumulateurs au Plomb**

M R . Aksas	Professeur	ENP	Président
M M . Haddadi	Professeur	ENP	Rapporteur
M M . S. Ait Cheikh	Chargé de Cours	ENP	Rapporteur
M C. Larbes	Maître de Conférences	ENP	Examineur
M Z . Terra	Chargé de Cours	ENP	Examineur
M A . Malek	Maître de Recherches	CDER	Examineur

Jun 2005

Ecole Nationale Polytechnique 10, Avenue Hassen Badi, El-Harrach, ALGER

Sommaire

Introduction général	1
----------------------------	---

Chapitre I

****Générateur Photovoltaïque****

Introduction.....	3
1. Cellule solaire.....	3
1.1. Les différentes technologies.....	4
A. Le silicium cristallin.....	4
B. Le silicium amorphe.....	5
C. Autres types de photopiles.....	7
1.2. Circuit équivalent et modèle mathématique	8
2. Les modules photovoltaïques.....	11
2.1. Module au silicium monocristallin.....	13
2.2. Caractéristique Courant- Tension de module cristallin	13
A. Influence de l'éclairement	14
B. Influence de la température	15
2.3. Module amorphe	16
2.4. Caractéristique Courant Tension d'un module à couche mince	17
2.5. Performances d'un module photovoltaïque.....	19
2.6. Le modèle mathématique du panneau solaire.....	20
2.7. La poursuite du point de puissance maximum.....	21
Conclusion.....	23

Chapitre II

****Etude sur les Accumulateurs Electrochimiques****

Introduction.....	24
1. Modélisation mathématique de la batterie.....	26
2. Différents types d'accumulateurs	28
2.1. Les accumulateurs au plomb.....	29
2.1.1. Constitution	29
2.2. Principe de fonctionnement.....	30
2.2.1. Processus de la charge.....	30

2.2.2. Processus de la décharge.....	31
2.3. Principales Caractéristiques.....	31
3.1. Tension.....	31
2.3.2. Capacité.....	32
2.3.3. Rendement en quantité	33
2.3.4. Rendement en énergie.....	34
2.3.5. Résistance interne.....	34
2.3.6. Autodécharge	35
2.3.7. Durée de vie.....	35
2.4. Différents types d'accumulateurs au plomb.....	35
2.4.1. Batterie de démarrage	35
2.4.2. Batterie de traction	36
2.4.3. Batterie stationnaire.....	36
2.5. Accumulateurs cadmium nickel.....	36
Conclusion.....	37

Chapitre III

****Description de la Conception et la Réalisation de Régulateur Intelligent****

Introduction.....	39
1. Protection contre les surcharges.....	39
1.1. Apparition de la régulation	39
1.2. Disparition de la régulation.....	39
2. Protection de la batterie contre les décharges profondes	40
2.1. Apparition de la sécurité.....	40
2.2. Disparition de la sécurité	41
3. Visualisation de l'état de charge de la batterie	41
4. Contrôle de la température de la batterie.....	41
5. Seuil de charge et de la décharge	41
6. Principe de fonctionnement.....	42
6.1. Contrôle de la charge et de la décharge.....	42
6.1.1. Circuit de détection de la tension de la batterie	43
6.1.2. Détecteur du courant de la batterie	44
6.1.3. Etude du courant de la batterie	45

6.2. Détecteur du température de la batterie.....	46
6.2.1. Critères de choix du capteur	46
6.2.2. Capteur de température LM335	47
6.2.3. Etude du conditionnement	48
6.2.4. Tensions en sortie du LM335.....	48
6.2.5. Problèmes à résoudre.....	59
A• Affichage de la température en degrés Celsius.....	50
B• Accès au 1/10 de °C.....	50
C• Elimination des parasites	50
6.2.6. Aspect pratique.....	51
A• Mettre en œuvre le capteur	51
B• Mesurer la température en kelvin.....	51
C• Mesure de la température en degré Celsius.....	51
7. Alimentation et tension d'entrée.....	52
8. Schémas électriques	52
9. La gestion d'une liaison RS232.....	54
10. La gestion d'un afficheur LCD 2*16.....	55
Conclusion	55

Chapitre IV

Simulation et Evaluation de Résultats

Schéma électrique fonctionnel.....	57
1. Mise en forme de la tension de batterie	57
2. Mise en forme du courant de la batterie.....	58
3. Algorithme et les fonctions programmées	61
3.1. Organigramme du programme principale.....	62
3.2. Sous Programme d'interruption du timer.....	63
3.3. Programme de transmission.....	64
3.3.1. Caractéristiques	65
3.3.2. La gestion de l'UART des 16F876.....	67
Conclusion.....	68
Conclusion général.....	69
Annexe A.....	71

Annexe B.....	75
Annexe C.....	85
Annexe D.....	91
Bibliographie	94

☆☆ Remerciements ☆☆

*E*n premier, j' exprime ma profonde gratitude à mon encadreur ,
M^r HADDADI pour ses conseils judicieux, son suivi attentif et sa
confiance qui nous a été très précieuse. De plus, je tiens à le remercier pour m'
avoir assuré l'encadrement et la documentation nécessaire pour l'élaboration
de cette thèse.

Je remercie également M^r AIT.CHEIKH, M^r C. LARBES et M^r TERRA pour
leur aide, et leur entière disponibilité. Je remercie M^r R. AKSAS de m' avoir
fait l'honneur de présider le jury de cette thèse, ainsi que tous les membres de jury.

Je remercie l'ensemble des enseignants et les membres du personnel du
Département électronique pour leur aide et leur disponibilité tout au long de ma
période passée à l'ENP.

Je tiens également à remercier mes enseignants M^r A. MALEK et M^r CHITOUR
ainsi que tous les autres enseignants du Laboratoire de l'Electricité Solaire.

Je n'oublie pas de remercier mes amis et mes collègues, qui m'ont bien
accompagnée durant cette période.

Enfin, nous remercions toute personne ayant contribué de près ou de loin à
l'élaboration de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents qui m'ont toujours soutenue.

- *A mes chers frères et sœurs et leurs familles .*
- *A mes chers copines Widad , Amel , Naima*
- *A tous mes amis et collègues de PolyTEC , ENSI,
Algérie Télécom , Kenza Télécom*
- *A tous qui me sont chers.*

ان نظامنا للمراقبة و التعديل يستعمل المراقبة الدقيقة في تسيير نظام الطاقة الشمسية. ان البرمجة المنجزة تسمح بمراقبة قادرة على التكيف الالي مع مختلف الحالات سامحة بتغيير خصائص تشغيلها من أجل ثبيلات خاصة. وهي تخزن المعلومات بشكل يسمح بمعرفة تطورات حالة النظام خلال فترة زمنية محددة. تصميم هذا المرافب المناسب للأنظمة ذات الأستطاعة الصغيرة و المتوسطة بحيث لا يحتاج لأي جهاز اضافي.

الكلمات المفتاحية

الطاقة الشمسية، نظام التحكم في أجهزة التخزين الطاقة، المعالج 16F 876

Résumé

Notre système de régulation et de contrôle que nous avons introduit l'utilisation du microcontrôleur PIC16F876 dans la gestion d'un système photovoltaïque. La programmation élaborée permet un contrôle capable de s'adapter automatiquement aux différentes situations, permettant la modifications de ses paramètres de fonctionnement pour des installations spéciales. Il mémorise également les données qui permettent de connaître l'évolution de l'installation pendant une durée déterminée.

La conception de ce régulateur correspond aux systèmes de petites et de moyennes puissances. Il s'agit d'un système fiable, flexible qui consomme peu d'énergie. Le contrôle par microcontrôleur, la commutation des lignes de puissance avec relais de l'état solides et l'utilisation des détecteurs analogiques assurent un niveau de fiabilité et des prestations très élevées.

Le microcontrôleur possède un algorithme de contrôle intelligent, il apprend les caractéristiques de l'installation et s'adapte à celle-ci, optimisant de cette manière la gestion de la régulation.

Mots clés : PIC16F876, Régulateur de charge, systèmes photovoltaïque

Abstract

The system of control and regulator of this project introduces the use of microcontroller PIC16F876 in the management of a photovoltaic system. The elaborated program provides a control enabling it to automatically to the different situations. This permits a modification of its parameters for special installation, and memorises data making known what the installation evolution was for certain period of time. These Regulators introduce a new concept in the management of photovoltaic system: the microcontroller. Programming automatically adapts to the various situations which may occur of operation parameters.

This regulator is designed and control to medium and low power systems which do not require any additional instrumentation. The control through microcontroller, the commutation of power lines with solid state Relays and a use of detectors to make analogic display, permit a high reliability and performance.

The microcontroller features an intelligent algorithm control with which it goes learning the installation characteristics and adapting to it optimising this way the regulation management.

Key words: PIC16F876, Regulator of charge, photovoltaic system

Chapitre I

Générateur Photovoltaïque

Introduction Générale

Dans les régions reculées, sans réseau de distribution d'électricité, les systèmes photovoltaïques apportent une solution à leur isolement. Un système photovoltaïque devra comporter un moyen de stockage d'énergie pour couvrir les périodes sans ensoleillement.

Il existe différents moyens de stockage (accumulateurs électrochimiques, stockage hydraulique,..), mais actuellement le moyen le plus facile et le moins coûteux à mettre en œuvre demeure le stockage électrochimique dans des batteries d'accumulateurs [1], [2].

Les batteries d'accumulateurs nécessitent une surveillance stricte car elles sont très sensibles aux décharges profondes et aux surcharges ; dans ce cas, il est important de mettre en place dans tout système utilisant ce mode de stockage un dispositif automatique de surveillance de l'état de la charge de la batterie. Un tel dispositif s'appelle régulateur de charge.

Notre travail consiste en l'étude et la réalisation d'un régulateur Intelligent de charge et de décharge destiné à une petite centrale photovoltaïque.

Pour cela, nous avons divisé notre mémoire en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous décrivons d'une façon générale les constituants d'un générateur photovoltaïque.
- Dans le second chapitre, nous décrivons les différents types d'accumulateur chimiques de stockage.
- Dans le troisième chapitre, nous étudions et concevons les différents circuits électroniques constituant le régulateur de charge.
- Le quatrième chapitre est consacré à la simulation et évaluation des résultats. Les résultats de la simulation effectués pour la vérification du fonctionnement du régulateur y sont aussi présentés.

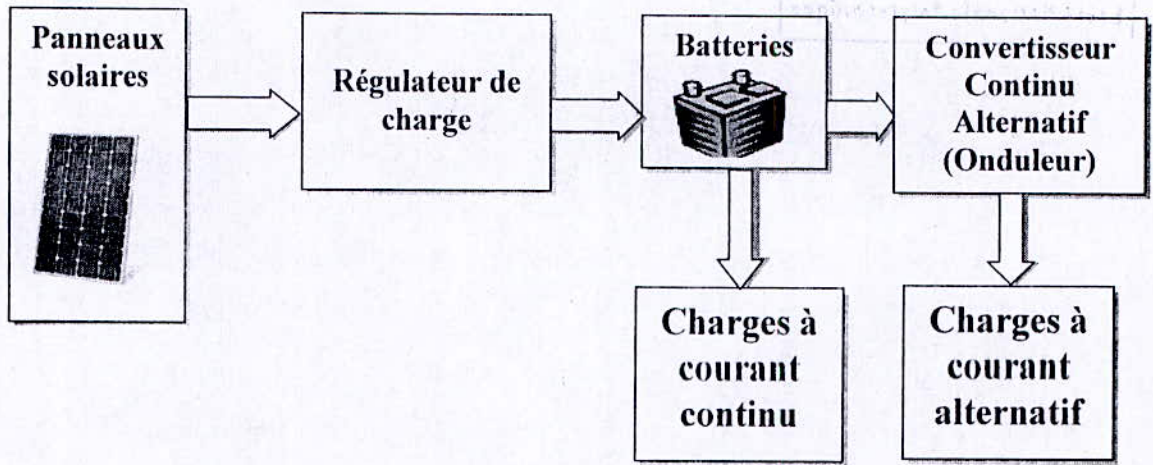


Figure 1 : Schéma synoptique d'un système photovoltaïque

Chapitre I

Générateur Photovoltaïque

Introduction

L'électricité solaire est une importante source d'énergie renouvelable qui pourrait être une alternative aux autres sources classiques afin de satisfaire les larges besoins d'énergie dans le futur. Cette énergie trouve tout son avantage dans des applications de petite et moyenne consommation dans des régions isolées et loin des lignes de distribution électrique.

Une caractéristique importante des panneaux solaires est que la puissance maximale disponible est fournie seulement en un seul point de fonctionnement donné, localisé par une tension et un courant connu, appelé en anglais Maximum Power Point (MPP). Le problème est que la position de ce point n'est pas fixe mais se déplace en fonction de l'ensoleillement et de la température des cellules solaires ainsi que de la charge utilisée. A cause du coût relativement onéreux de ce genre d'énergie on doit extraire le maximum de puissance des panneaux solaires [3]. Le but de ce chapitre est de montrer la manière de simuler le générateur photovoltaïque dans son ensemble.

1. Cellule solaire

Une cellule solaire est un élément semi-conducteur qui convertit l'énergie solaire en une énergie électrique. Elle consiste en une base de silicium dopée de type P couverte d'une mince couche de type N, au-dessus de laquelle on dispose une grille métallique qui constitue avec la base arrière les électrodes de sortie de la cellule.

Lorsque la cellule est éclairée par une radiation lumineuse d'énergie $h\nu$ supérieure ou égale à l'énergie de la bande interdite E_g du semi-conducteur, un couple d'électron trou est créé, c'est l'effet photovoltaïque. Ces charges sont refoulées par le champ électrique interne de la jonction PN vers ses extrémités, ce qui va créer une différence de potentiel appelée tension photovoltaïque. Si une charge est appliquée aux bornes de la cellule, cette tension génère un courant I_{ph} appelé courant photovoltaïque.

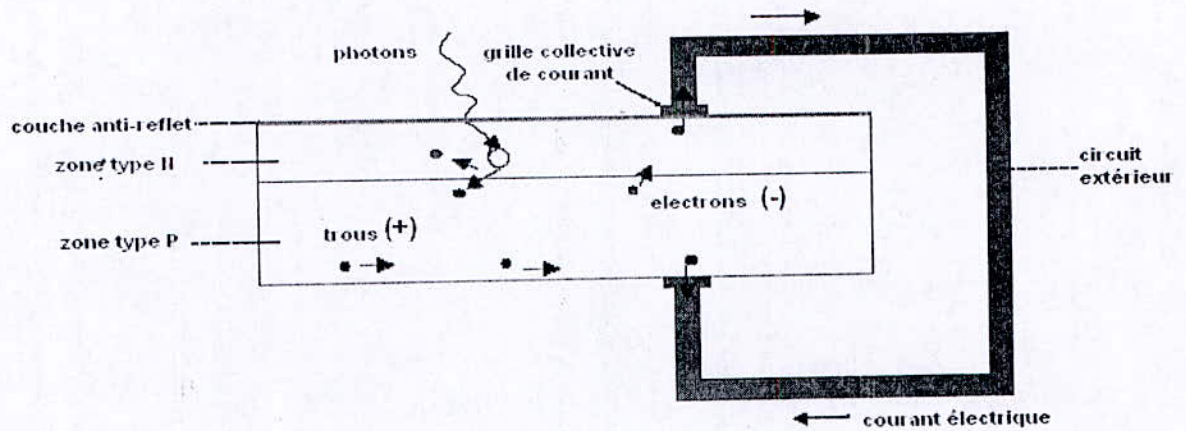


Figure 1.1 : la cellule photovoltaïque [4]

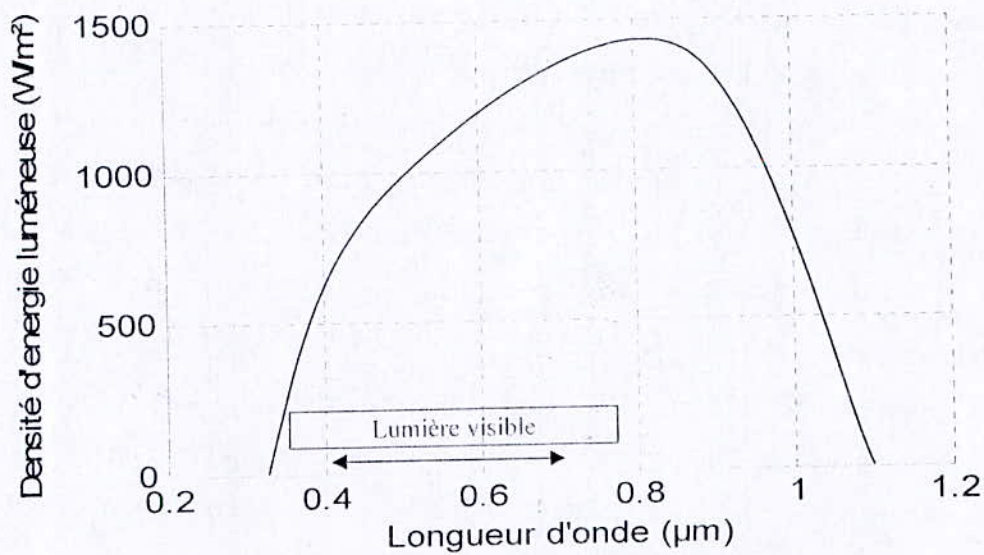


Figure 1.2 : Réponse spectrale d'une cellule solaire en silicium

1.1. Les différentes technologies

Il existe un grand nombre de technologies mettant en œuvre l'effet photovoltaïque. Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont [4]:

- le silicium cristallin
- le silicium amorphe

A. Le silicium cristallin

Il existe deux types de cellule

- **les cellules de type monocristallines :**

C'est la cellule qui s'approche le plus du modèle théorique. Cette cellule est effectivement composée d'un seul cristal divisé en deux couches. Les matériaux de base pour de telles cellules sont d'énormes cristaux de silicium spécialement produits à cet effet. Ces cristaux sont ensuite sciés en plaques ultrafines, dopées et connectées. Le rendement théorique maximal pour des cellules au silicium est de 28%. Dans la pratique, les cellules monocristallines permettent d'obtenir un rendement, de l'ordre de 15 à 22%. Cette diminution est due au fait qu'une part du rayonnement solaire, celui situé dans le rouge et l'infrarouge, ne contient pas assez d'énergie pour provoquer un effet photovoltaïque. Ces cellules présentent néanmoins deux inconvénients: d'une part leur prix élevé, d'autre part une durée d'amortissement de l'investissement en énergie élevée. Cette durée d'amortissement est le temps durant lequel une cellule solaire doit produire de l'énergie pour "rembourser" l'énergie qui a été nécessaire à sa production.

- **les cellules de type multi cristallines :**

Les cellules poly-cristallines ressemblent aux cellules monocristallines, mais sont composées d'un agglomérat de cristaux. Elles proviennent également du sciage de blocs de cristaux, mais ces blocs sont coulés et sont, dès lors, hétérogènes. Le rendement des cellules poly-cristallines, de l'ordre de 10 à 15%, est plus bas que celui du monocristallin. Cela est amplement compensé par un coût moindre. La production de telles cellules nécessite moins d'énergie.

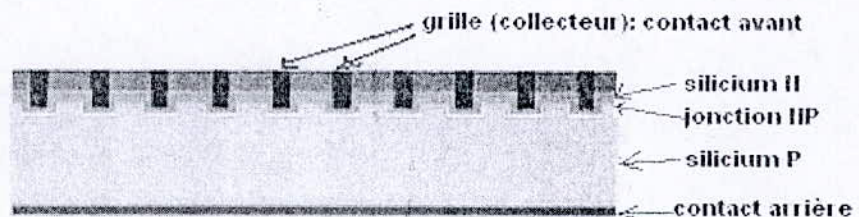


Figure 1.3 : la cellule poly-cristallines [4]

B. Le silicium amorphe

Depuis 1975, des recherches intensives ont été entreprises pour utiliser du silicium à l'état amorphe, dont les liaisons pendantes sont saturées par hydrogénation [5]. Ce matériau

présente trois avantages majeurs: un fort coefficient d'absorption ce qui autorise de très faibles épaisseurs de l'ordre du micron, une faible consommation énergétique durant le cycle de production avec un temps de retour énergétique inférieur à un an, et une aptitude à être déposé en grandes surfaces de l'ordre du mètre carré (m^2). Par contre, ses deux points faibles sont le rendement de conversion et la dégradation sous lumière (instabilité dite de Staebler-Wronski [5]), qui sont de plus en plus surmontés par des artifices technologiques en particulier par une superposition de deux structures p-i-n en "tandems" ou de trois couches actives très minces. On a réduit ainsi la dégradation sous lumière de 30 % à 10 %.

La structure la plus simple d'une cellule en silicium amorphe (figure 1.4) se compose d'une zone dopée bore, intrinsèque et dopée phosphore (p-i-n). Chaque élément peut être directement connecté en série sans besoin de liaisons externes. Bien que les rendements en laboratoire ont atteint les 20 %, les rendements industriels stagnent depuis des années à 10 %. Des études très prometteuses ont été reprises dans le domaine des matériaux nano, microcristallins et même presque amorphes (micro morphé) avec des rendements de conversion supérieurs à 10 % (figure 1.4).

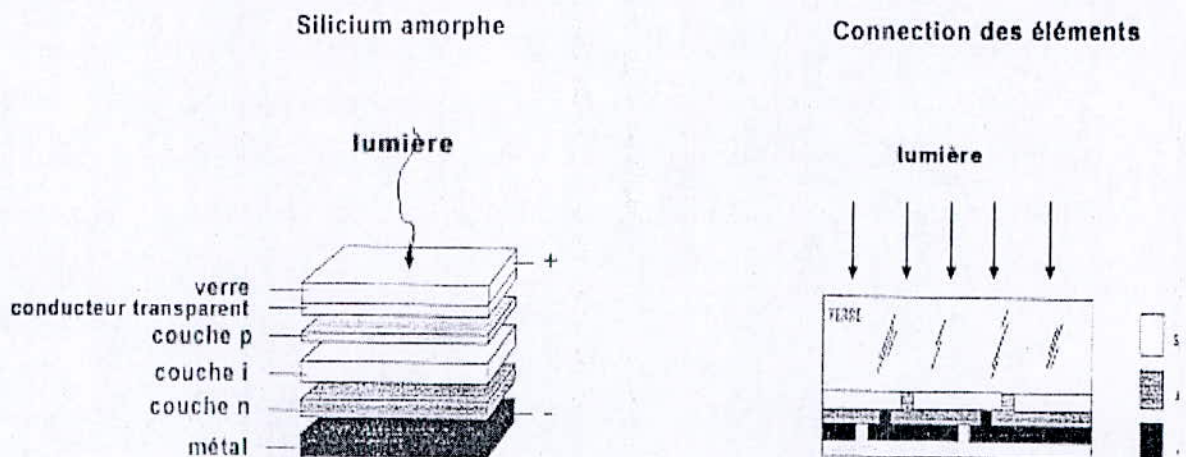


Figure 1.4 : Cellule à base de silicium amorphe à structure p-i-n [6]

Le silicium amorphe a une structure atomique désordonnée, (vitreuse). Il possède un coefficient d'absorption de la lumière environ 1000 fois supérieur au silicium cristallin. Une fine couche de $0,3 \mu m$ est donc suffisante pour absorber l'essentiel du spectre visible [4].

Le silicium est produit directement sur une plaque de verre à partir du gaz silane SiH_4 (qui apporte la matière). En fait, les plaques de verre sont placées dans une enceinte chauffée où l'on fait le vide, puis du silane est injecté et décomposé par une décharge radiofréquence ; le silicium libéré se dépose alors sur les plaques. La présence d'hydrogène est également nécessaire pour la qualité du matériau (il limite le nombre de défauts en saturant les liaisons pendantes de silicium, présentes à cause de la structure désordonnée).

Toujours à partir de plasma de silane (gaz contenant du silicium), une méthode permet de déposer de façon contrôlée des atomes de silicium non plus sur du verre, mais sur des feuilles de plastique. Les couches de silicium qui en résultent sont ultrafines (0,5 micromètre). L'atout décisif de cette technique est qu'elle nécessite très peu d'énergie. La dépense énergétique nécessaire pour fabriquer ce type de cellule équivaut à six mois de fonctionnement. En tenant compte d'une durée de vie moyenne de cette cellule, plus de dix ans, le bilan énergétique est donc très avantageux. Avec ce type de matériau peu coûteux par rapport aux autres formes de silicium, on a de faibles rendements : 5 à 6 %. De plus des problèmes de stabilité apparaissent rapidement quand on l'expose au soleil et aux intempéries (quelques centaines d'heures). Cependant de meilleurs résultats sont obtenus en empilant des couches insérées entre deux feuilles de verre.

C. Autres types de photopiles

La technologie en couches minces de silicium cristallin, consiste à déposer une couche mince de silicium poly-cristallin de 10-40 μm d'épaisseur sur divers substrats de silicium métallurgique peu purifié, quartz, céramique ou métal. Ces couches minces devraient permettre d'obtenir des rendements de conversion du même ordre qu'une cellule sur matériau massif [7]. La cellule de type « Grätzel » utilise un sensibilisateur à base de Ruthénium² qui joue le même rôle que la chlorophylle dans les plantes. Cette cellule a l'avantage, par rapport aux dispositifs photovoltaïques « classiques » en silicium, d'être translucide, ce qui permet son utilisation comme fenêtre. Elle a un rendement comparable aux meilleures cellules à base de silicium amorphe.

Les rendements des photopiles au silicium ne sont pas très bons et ils se dégradent au fil du temps. Comme leur coût n'est pas négligeable, de nombreux chercheurs se sont tournés vers d'autres matériaux que le silicium. Le tellure de cadmium (CdTe), l'arséniure de

gallium (GaAs) ainsi que le diséléniure de cuivre et d'indium (CIS) donnent de grands espoirs aux chercheurs.

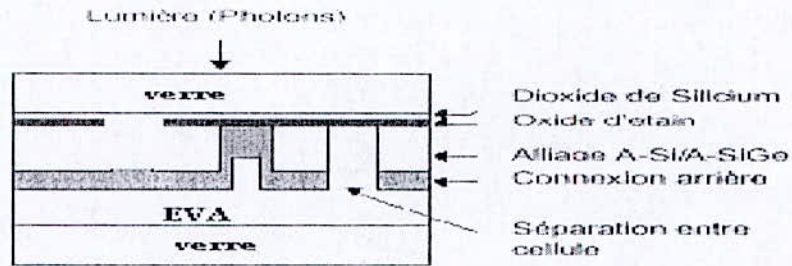


Figure 1.5 : Structure en coupe d'un module couche mince

Tous ces matériaux ont permis d'obtenir des photopiles ayant des rendements supérieurs à 16 % en laboratoire.

1.2.Circuit équivalent et modèle mathématique

Pour la modélisation de la cellule solaire on a choisi le modèle fréquemment utilisé afin de décrire ses caractéristiques électriques. Ce modèle prend en compte les différentes résistances internes (Figure 1.6). [8],[9].

R_p représente la résistance shunt qui modélise les fuites par l'effet de bord autour de la cellule solaire ; R_s représente les contacts ohmiques entre le métal et le semi-conducteur ainsi que la résistance intrinsèque de silicium ; I_{ph} est le courant photovoltaïque engendré par les radiations lumineuses et D , la diode, représente la jonction PN de la cellule.

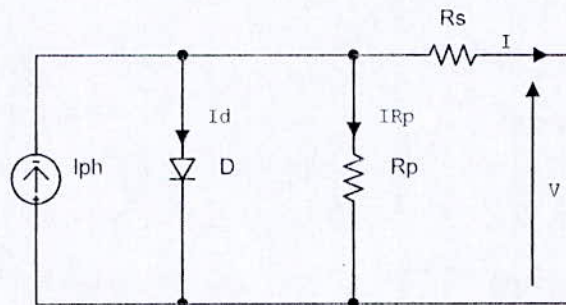


Figure 1.6 : Circuit équivalent d'une cellule solaire[2]

A partir du modèle précédent on a :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \left(\frac{e(V + IR_s)}{\alpha K T} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (1.1)$$

α : Facteur d'idéalité.

T : la température de la cellule (K).

e : la charge élémentaire d'électron ($1.6021 \cdot 10^{-19}$ C).

K : la constante de Boltzmann ($1.3854 \cdot 10^{-23}$ JK⁻¹).

Une cellule solaire est caractérisée par les paramètres fondamentaux suivants.

A. Courant de court-circuit I_{sc} , c'est le courant maximal généré par la cellule ;

$$R_s \ll R_p \text{ ce qui donne } I_{sc} \approx I_{ph}.$$

B. Tension à circuit ouvert V_o . Elle reflète la tension de seuil de la jonction PN. En négligeant le courant qui passe dans la résistance parallèle R_p , V_{oc} est exprimée comme suit :

$$V_{oc} = \frac{\alpha K T}{e} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} \right) = V_t \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} \right) \quad (1.2)$$

Où $V_t = \frac{\alpha K T}{e}$ est la tension thermique et I_0 le courant de saturation de la diode D .

C. Point de puissance maximale, c'est le point de fonctionnement (V_{mp} , I_{mp}) où la cellule solaire génère sa puissance maximale $P_{max} = V_{mp} \cdot I_{mp}$.

D. Facteur de remplissage FF (*Fill Factor* en anglais) ; il correspond au rapport de puissance maximale sur le produit de V_{oc} et I_{sc} , $FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$. Il reflète la qualité de la cellule par rapport à une cellule idéale ($FF = 1$).

E. Le rendement η de la cellule ; c'est le rapport de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique, qui est égal au rapport de la puissance maximale de sortie sur la puissance des radiations lumineuses.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{P_{in}} \quad (1.3)$$

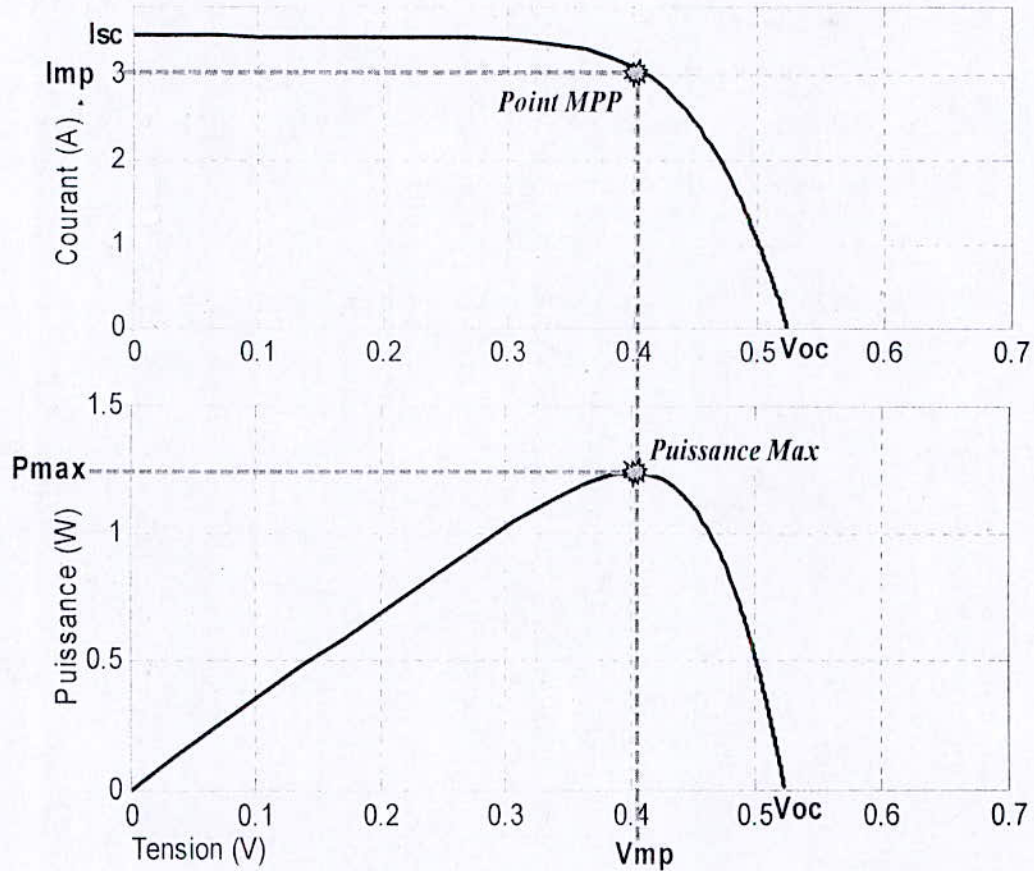


Figure 1.7 : Caractéristiques $I = f(V)$ et $P = f(V)$ d'une cellule solaire pour un ensoleillement et une température donnés

2. Les modules photovoltaïques

Le module est un assemblage de cellules élémentaires connectées les unes aux autres pour former des chaînes. Le nombre de cellules connectées en parallèle et en série définit les caractéristiques du module PV.

Les chaînes de cellules sont encapsulées dans un plastique E.V.A. (Ethylène Vinyle Acétate) pour les protéger des agressions extérieures (rayons U.V., humidité) et les isoler électriquement (Figure 1.8). L'ensemble est protégé sur la surface avant par un verre trempé à haute transmission et ayant une bonne résistance mécanique, et sur la face arrière par une feuille de Tedlar ou de polyéthylène. Les différents composants sont soudés à haute température en un laminé protégé de la majorité des agressions extérieures. Le module est

placé dans un cadre métallique rigide qui va lui donner une grande rigidité mécanique. Ce cadre est généralement pourvu de moyens de fixation (trous oblongs, barre profilée...).

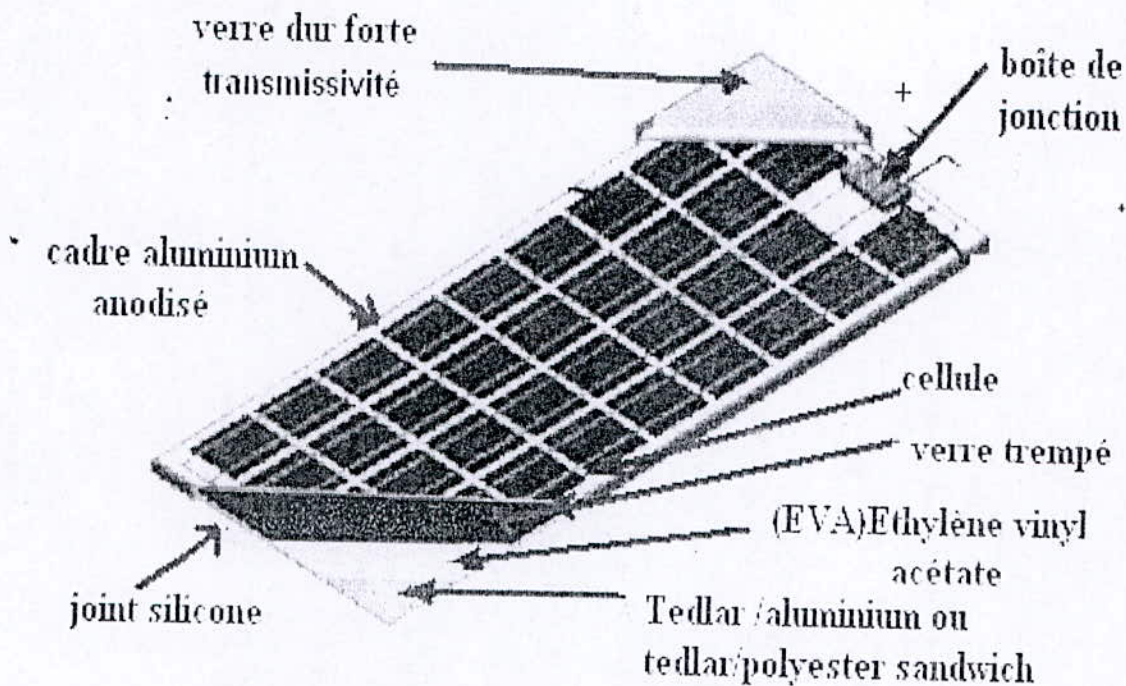


Figure 1.8 : Constitution d'un module photovoltaïque [25]

Pour remédier aux problèmes de "Hot Spot" ou encore *point chaud*, surchauffe due à l'occultation d'une ou plusieurs cellules (ombrage ou défaillance), ces dernières deviennent des consommatrices de puissance et non des génératrices ce qui cause des pertes d'énergie. Une diode, appelée diode by-pass, est placée dans la boîte de connexion. Elle est fixée à l'arrière du panneau, (figure 1.9) par le fabricant toutes les 18, 20, 36,... n cellules (n dépendant du type de module).

Un module fonctionnant à une température ambiante élevée, par exemple dans un pays chaud, nécessiterait des diodes by-pass sur des séries courtes, 6 plutôt que 12 par exemple) [21]. Ces diodes éviteront que le courant passe à travers les cellules défaillantes lorsque leur tension tombe au-dessous de la tension de seuil de la diode.

Une diode série, diode de blocage, pour n modules (tous les 1, 2, 3, 4, ..., n modules) en parallèle, sera montée pour éviter le retour de courant des autres modules lorsqu'un ou plusieurs modules se retrouvent à l'ombre ou sont défaillants (figure 1.9).

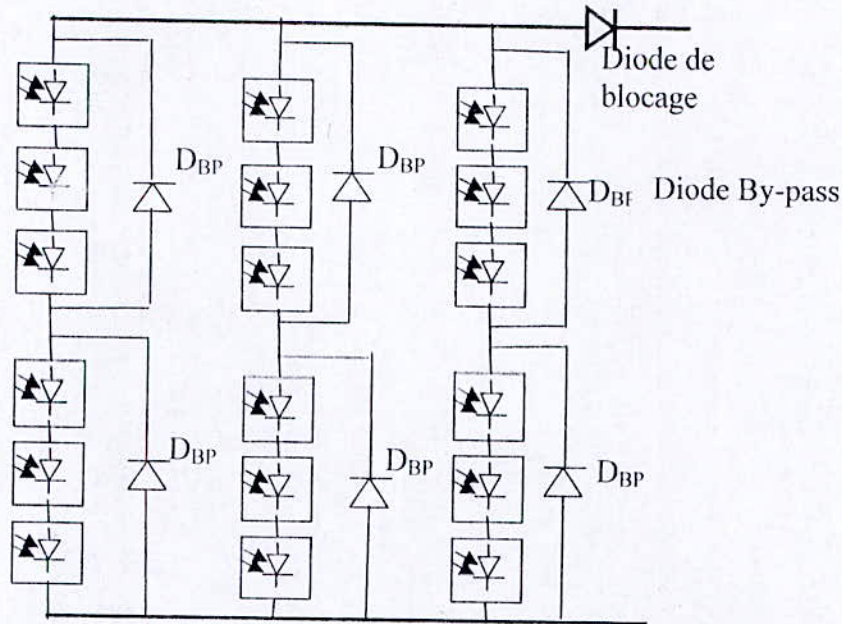


Figure 1.9 : Panneau solaire constitué de N_p branches parallèles avec N_s cellule séries

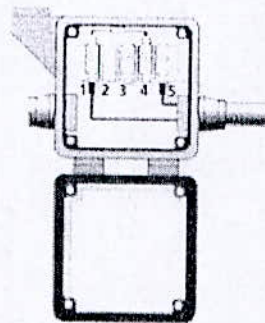


Figure 1.10: Boîte de connexion placée à l'arrière d'un module PV

Les modules photovoltaïques dépourvus de cadre et encapsulés dans une résine sont appelés « laminate ». Il subit enfin des tests mécaniques, optiques et électriques, avant d'être mis sur le marché.

2.1. Module Cristallin

Un module de puissance 50 Watt est composé par la mise en série de 36 cellules cristallines. Ces cellules sont protégées par une enveloppe supérieure et inférieure.

Il existe différents types d'encapsulation (figure 1.8):

- verre / verre (ou bi-verre)
- verre / matériau composite (tedlar / milar)

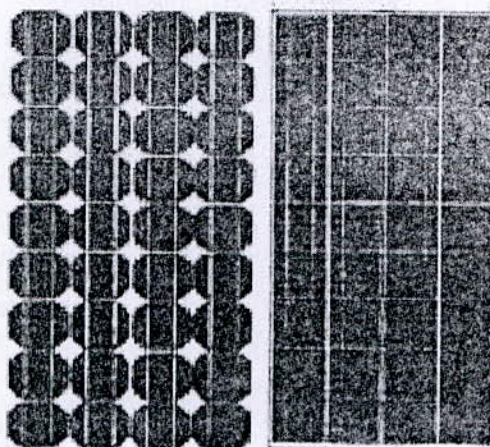


Figure 1.11 : module monocristallin et poly cristallin

L'ensemble cellule et encapsulant forme un laminate. Le rajout d'un cadre métallique (aluminium) procure au laminate sa rigidité et permet sa fixation.

2.2. Caractéristique Courant -Tension de module cristallin

Cette caractéristique donne la performance des modules typiques, mesurée sur leurs bornes de sortie, et ne prend pas en compte les effets d'équipements additionnels tels que les diodes. Les données se basent sur des mesures réalisées conformément à la norme ASTM E1036. (voir annexes) corrigées en fonction des conditions SRC (Conditions Reporting Standard, ou bien Conditions d'Essai Standard, STC). Ces conditions sont: un éclairement lumineux de 1kW/m^2 suivant la répartition spectrale de AM 1.5 (ASTM E892 spectre global du flux lumineux).

A. Influence de l'éclairement

Le courant de court-circuit varie linéairement avec le flux solaire. Cette approximation est valable lorsque le flux est supérieur à 200 W/m^2 et que dans cette gamme apparaissent des non linéarités [11].

$$I_{sc} = \left(\frac{I_{scm}}{E_{clm}} \right) \times E_{cl} \quad (1.4)$$

Où : I_{scm} est le courant de court-circuit mesuré avec un éclairement.

En traçant les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$ pour différents ensoleillements à température constante (figure 1.12), et pour différentes températures à ensoleillement constant (figure 1.13), on constate que les caractéristiques du panneau solaire dépendent fortement de l'ensoleillement et de la température.

Pour des ensoleillements variables et température constante le courant I_{SC} est très influencé par le changement de l'ensoleillement alors que la tension V_{OC} reste sensiblement constante.

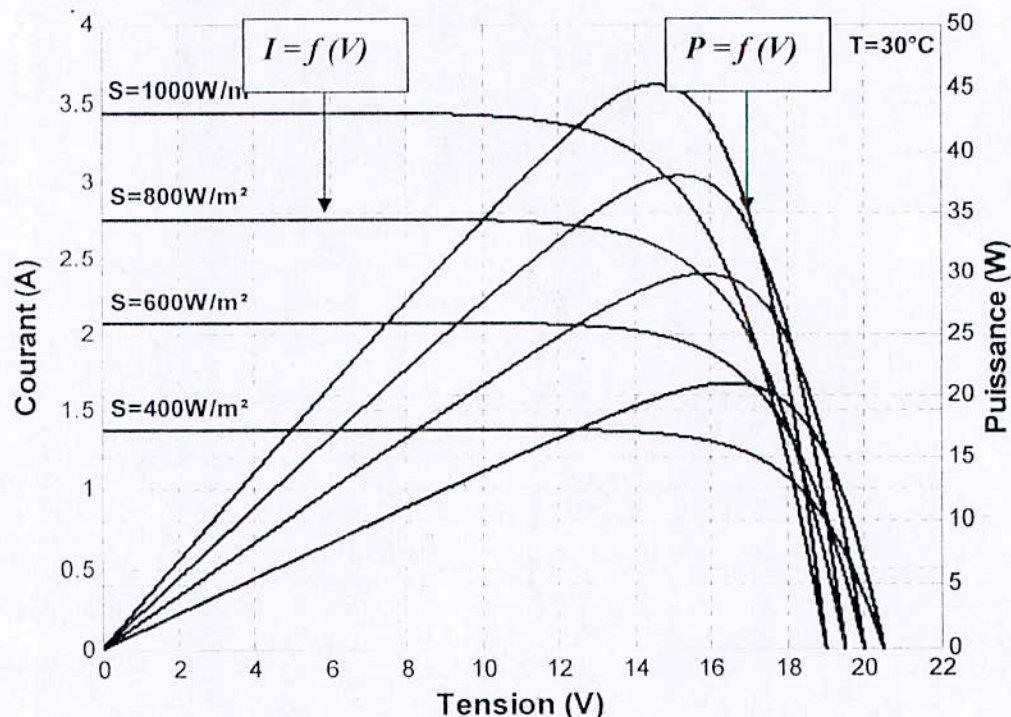


Figure 1.12 : Caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$ d'un panneau solaire constitué de 36 cellules en série pour différents ensoleillements S à une température $T = 30^\circ\text{C}$

B. Influence de la température

La température de la cellule est un paramètre important d'autant plus que la tension à circuit ouvert du panneau en dépend. La tension V_{OC} est influencée par les changements de température alors que le courant I_{SC} reste confiné dans un intervalle étroit. En conséquence, le point de travail de l'ensemble panneau-batterie est lié à cette dernière variable [11]. À partir des caractéristiques $I=f(V)$ on obtient les caractéristiques en puissance du panneau solaire $P=f(V)$ pour différentes valeurs d'ensoleillement S et de températures T (Figure 1.12), (figure 1.13).

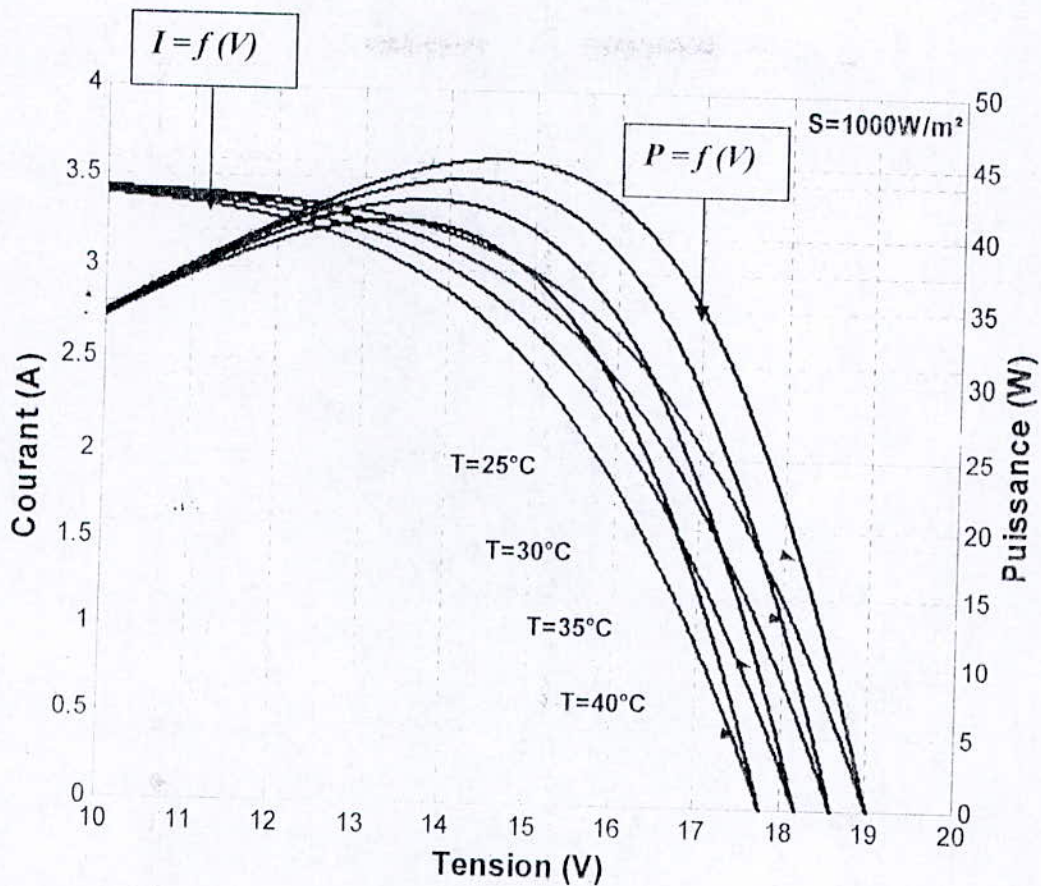


Figure 1.13 : Caractéristique $I = f(V)$ et $P = f(V)$ d'un panneau solaire constitué de 36 cellules en série pour différentes températures T avec $S = 1000 \text{ W/m}^2$

La figure 1.13 montre que la puissance de sortie ne dépend pas seulement de l'ensoleillement mais aussi de la température de la cellule. Cela est expliqué par l'augmentation du courant de saturation de la diode D , qui conduit à un grand taux de recombinaisons dans le semi-conducteur [1].

Les figures (1.12), (1.13) montrent aussi que la puissance de sortie ne dépend pas seulement de l'ensoleillement et de la température mais aussi de la tension de fonctionnement V du panneau. La puissance de sortie est maximale pour une certaine tension V . C'est le point de fonctionnement du panneau pour qu'il travaille avec un rendement maximal.

2.3. Module amorphe

Pour la fabrication de cellules solaires amorphes ou Si-a, le silicium est vaporisé sur un matériau support (par exemple : verre, métal, céramique ou plastique).

Grâce aux techniques de production modernes, les branchements série sont directement exécutés durant la vaporisation [19].

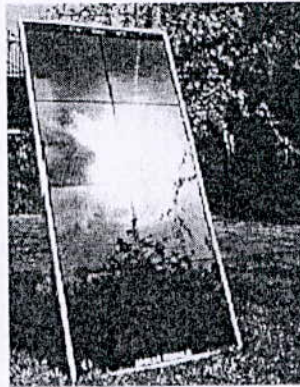


Figure 1.14 : module amorphe

Pour de grandes installations, les modules solaires amorphes sont utilisés pour des raisons esthétiques. Toutefois comme le rendement du silicium amorphe est inférieur de moitié de celui du silicium cristallin et qu'il nécessiterait donc plus de surface pour la même puissance installée, peu d'installations importantes ont été réalisées à ce jour avec ce type de modules. La figure 1.15 montre la version flexible des modules qui est prévue pour être collés sur des surfaces courbes.

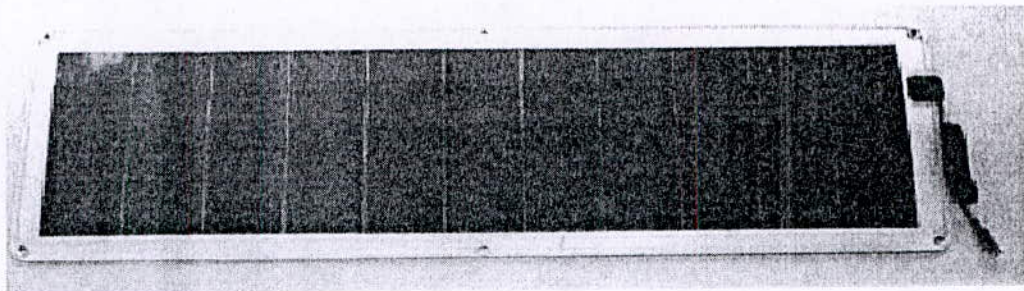


Figure 1.15 : Le USF-32 est le plus grand des modules solaires

2.4. Caractéristique Courant Tension d'un module à couche mince

Si l'on compare les caractéristique I-V des modules à couche mince cristallin : La caractéristique Courant Tension d'un module couche mince est plus infléchié [5]. L'influence de la température sur les performances est moindre que pour la technologie Cristalline (figure 1.16). Par ailleurs, l'une des principales caractéristiques des modules couche mince est

l'évolution de la puissance dans le temps. En effet, en début de vie, il apparaît une augmentation sensible de la puissance délivré : environ 15 à 20% de plus que la puissance nominale.

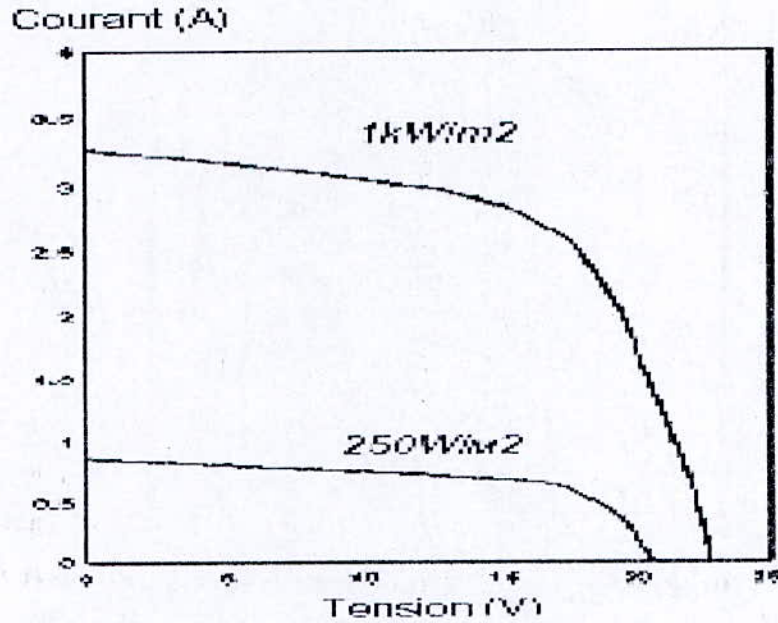


Figure 1.16: Caractéristique $I=f(V)$ à température constante et à flux variable [12]
 Module couche mince MST-43LV

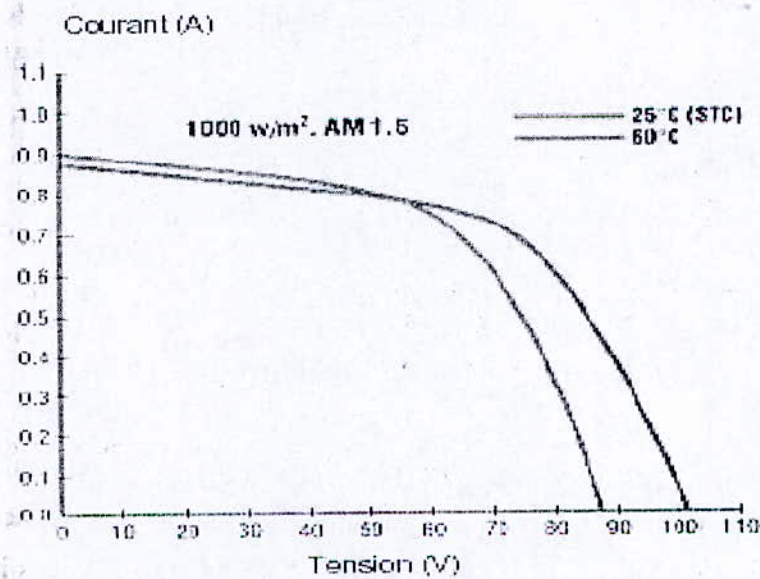


Figure 1.17 : Caractéristique $I=f(V)$ en fonction de la température à flux constant
 Module couche mince MST56-MV [12]

Par la suite, après une période transitoire (correspondant au recuit de la matière active) la puissance se stabilise autour de la puissance nominale mais avec des fluctuations en fonctions des saisons. (Figure 1.18)

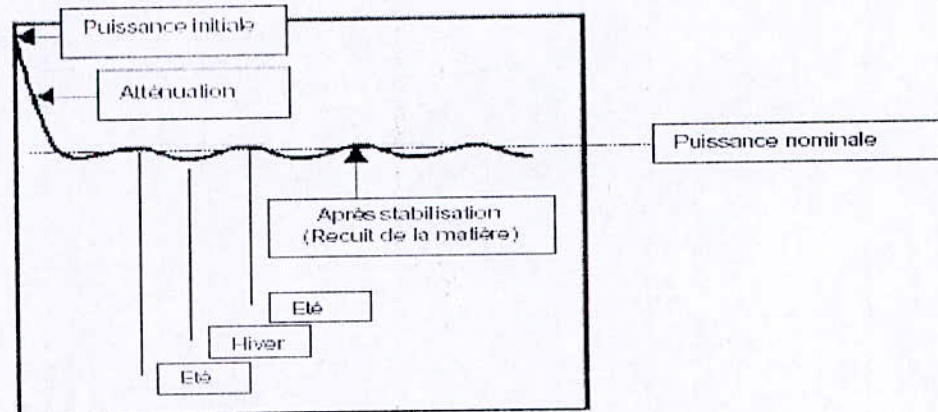


Figure 1.18: Courbe d'évolution de la puissance dans le temps des modules à Couche mince [12]

2.5. Performances d'un module photovoltaïque

Le rendement des modules en fonctions des différentes technologies de fabrication fait apparaître des écarts importants comme la montre le tableau suivant:

Technologie	Rendement typique	Rendement maximum obtenu (laboratoire)
Monocristallin	12-15%	24%
Poly-cristallin	11-14%	18.6%
Couche mince : Amorphe	6-7%	12.7%

Tableau 1.1 : Rendements des différentes technologies de modules

La puissance crête (exprimée en W_c) annoncée par les fabricants n'est qu'un point de comparaison. Elle est basée sur un rayonnement solaire de 1000 W/m^2 . La puissance utile maximale est en pratique un peu plus faible, et chute en cas de mauvaises conditions. En outre, comme l'orientation du module est généralement fixe, il n'est que quelques heures par

jour orienté de manière optimale vers le soleil. Pour un capteur fixe pour la latitude d'un site dans l'hémisphère nord rappelons que la latitude est la distance angulaire d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur (de 0° à 90° dans l'hémisphère nord), l'orientation optimale est plein sud-sud est avec une inclinaison de l'ordre de 30° par rapport à l'horizontale. Le module photovoltaïque capte non seulement le rayonnement direct du soleil mais aussi le rayonnement diffus en provenance du reste du ciel. Il importe que le capteur soit bien dégagé des arbres et constructions environnantes. C'est pourquoi, il est généralement placé en hauteur.

2.6. Le modèle mathématique du panneau solaire

Pour éviter toute confusion entre les paramètres mathématiques de la cellule et du panneau solaire la notation suivante est utilisée : l'exposant 'P' réfère aux paramètres du panneau et l'astérisque 'C' est utilisé pour la cellule. La tension globale du panneau est notée par V^P et le courant global est I^P . Le modèle mathématique du panneau est obtenu en remplaçant chaque cellule par son circuit équivalent, privé de la résistance parallèle R_p car son influence sur les caractéristiques de la cellule est très faible [11],[1].

Le courant I^P , en fonction des paramètres caractéristiques du panneau est donné par :

$$I^P = I_{sc}^P \left[1 - \exp\left(\frac{V^P - V_{oc}^P + R_s^P I^P}{N_s V_t^C}\right) \right] \quad (1.5)$$

Avec :

- $I_{sc}^P = N_p I_{sc}^C$ le courant de court-circuit du panneau
- $V_{oc}^P = N_s V_{oc}^C$ la tension en circuit ouvert du panneau
- $R_s^P = R_s^C N_s$ la résistance série équivalente
- $V_t^C = \frac{aKT^C}{e}$ la tension thermique de la cellule

Les caractéristiques du panneau fournies par le constructeur sont de deux types :

1-Pour un ensoleillement et une température standards ($S_a = 1000 \text{W/m}^2$, $T_a = 25^\circ\text{C}$) celui ci donne la puissance maximale $P_{\max,0}^P$, le courant de court circuit $I_{sc,0}^P$, et la tension en circuit ouvert $V_{oc,0}^P$.

2-Pour un ensoleillement et une température nominale ($S_{ref} = 800 \text{W/m}^2$, $T_{ref} = 20^\circ\text{C}$)

- La température de la cellule T_{ref}^C , le nombre de branches parallèles N_p et le nombre de cellules séries N_s .

A partir de ces données on peut calculer les caractéristiques de la cellule pour des conditions standards : $P_{\max,0}^C, V_{OC,0}^C, I_{sc,0}^C, R_S^C$. Les paramètres opérationnels suivants de la cellule sont alors calculés:

- Le courant de court circuit, à partir de la relation linéaire avec l'ensoleillement S_a :
- $$I_{sc}^C = C_1 S_a \quad (1.6)$$

- La température, liée à la température ambiante et l'ensoleillement
- $$T^C = T_a + C_2 S_a \quad (1.7)$$

$$\text{Avec : } C_2 = \frac{T_{ref}^C - T_{a,ref}}{S_{a,ref}}$$

Lorsque T_{ref}^C est inconnue on peut faire une approximation $C_2 = 0.03^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$.

- La tension en circuit ouvert, donnée par la relation :

$$V_{oc}^C = V_{oc,0}^C + C_3 (T^C - T_a^C) \quad (1.8)$$

$$\text{Avec } C_3 = -2.3\text{mV}/^\circ\text{C}.$$

Ainsi on obtient la formule générale du courant d'un panneau solaire constitué de N_p branches, chacun ayant N_s cellules en série :

$$I^P = N_p I_{sc}^C [1 - \exp((V^P - N_s V_{oc}^C + I^P R_S^C N_s / N_p) / (N_s V_t^C))] \quad (1.9)$$

2.7. La poursuite du point de puissance maximale

Le générateur photovoltaïque transforme directement l'énergie solaire en énergie électrique. Cette énergie varie en fonction de l'éclairement et de la température. La fonction du courant fournie par le générateur en fonction de sa tension, la caractéristique I-V, du générateur passe par un point appelée Point de Puissance Maximale ou MPP (Maximum Power Point) qui est le point optimum où la puissance du générateur est maximale (I_m et V_m). Il est donc nécessaire de placer entre le générateur photovoltaïque et la charge, un convertisseur continu-continu afin d'adapter l'impédance de la charge au champ photovoltaïque [13], dont le contrôle du rapport cyclique permet de se maintenir au point de puissance maximale, quelque soit les variations du flux et de la température. (Figure 1.24) [14],[15]. Les performances de ce convertisseur dépendent essentiellement de sa topologie et de la loi de commande.

Pour un transfert de puissance optimale, la puissance fournie à la charge est maximale quand l'impédance interne du générateur est bien adaptée à la charge. Aussi pour en extraire le maximum de puissance électrique, il suffit de réajuster constamment le rapport cyclique qui est donné par l'équation suivante :

$$d = \frac{t_{on}}{T} \quad (1.10)$$

Avec

t_{on} : durée de l'impulsion

et T : période du signal

La littérature nous offre de nombreuses techniques et méthode de recherche et d'ajustement du

• MPP [15], [17] dont les plus importantes sont mentionnées ci-dessous :

- La méthode de la conductance incrémentale
- La méthode la cellule pilote.

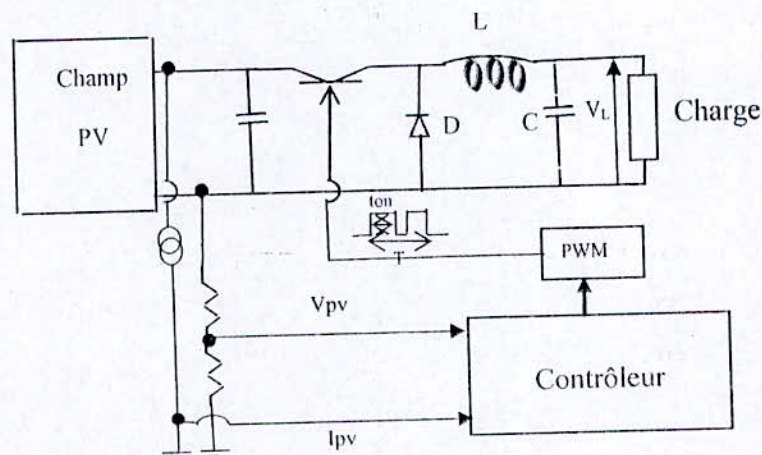


Figure 1.19 : Schéma bloc d'un convertisseur MPPT

Conclusion

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages.

- D'abord, une haute fiabilité elle ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite, le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissance allant du Milliwatt au Mégawatt.
- Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.
- Enfin, la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu.

Le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients.

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.
- Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis.

Chapitre II

Etude sur les Accumulateurs Electrochimiques

Chapitre II

Etude sur les accumulateurs électrochimiques

Introduction

A cause de la non disponibilité permanente de l'énergie solaire, pour diverses raisons : conditions météorologiques, horaire de la journée, saisons etc..., l'utilisation des batteries pour le stockage d'énergie est nécessaire pour garantir une énergie constante quelles que soient les conditions atmosphériques ou l'horaire du moment.

La batterie est un ensemble de cellules électrochimiques capables de stocker de l'énergie électrique sous forme chimique (pendant la charge), puis de la restituer par la suite (pendant la décharge) grâce à la réversibilité des réactions mises en jeu. Ces réactions consistent en des oxydations et des réductions (oxydoréductions en abrégé, soit perte ou gain d'un ou plusieurs électrons) au niveau des électrodes. Le courant circule sous forme d'ions dans l'électrolyte et sous forme d'électrons dans le circuit raccordé à la batterie (Figure 2.1).

Une des caractéristiques la plus importante d'une batterie est sa capacité qui représente la quantité de courant qui peut être extraite d'une électrode via les "masses actives", c'est-à-dire l'électrolyte et les matériaux actifs des électrodes, durant une décharge sous des conditions prédéfinies. Cette capacité s'exprime en ampères heures, Ah (1 Ah = 3600 coulombs).

Les batteries appartiennent à la famille des générateurs électrochimiques. Elles fournissent de l'électricité à partir de deux réactions électrochimiques réalisées sur deux électrodes baignant dans un électrolyte. D'une façon générale, sur l'une des électrodes, appelée cathode, un oxydant est réduit grâce à un apport d'électrons de l'électrode tandis que simultanément sur l'autre électrode, l'anode, un réducteur est oxydé en y libérant des électrons. La valeur de chaque potentiel d'électrode est donnée par la loi de Nernst ;

$$E_{eq} = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{[Ox]^a}{[Red]^b} \right) \quad (2.1)$$

Avec :

$[Ox_1]$ et $[Red_1]$ sont les concentrations des espèces oxydées et réduites.

e : la charge de l'électron.

R : la constante des gaz parfaits

E_0^1 : le potentiel standard de l'équilibre à la température normale.

Cette formule traduit en fait l'égalité du potentiel chimique $\left\{ RT \ln \left(\frac{[Ox^1]^a}{[Red^1]^b} \right) \right\}$ et de l'énergie électrique $\{nFE\}$.

Les accumulateurs, désignés également sous le nom de générateurs secondaires déchargent leur énergie électrique et peuvent, contrairement aux piles appelées aussi générateurs primaires, revenir à leur état initial. La recharge d'une batterie s'effectue en lui fournissant de l'énergie, provoquant ainsi les réactions inverses. La batterie la plus répandue est la batterie au plomb, utilisée notamment dans toutes les voitures. Elle utilise les propriétés électrochimiques du couple oxydoréduction « peroxyde de plomb-plomb », en solution sulfurique : $PbO_2/H_2SO_4/Pb$.

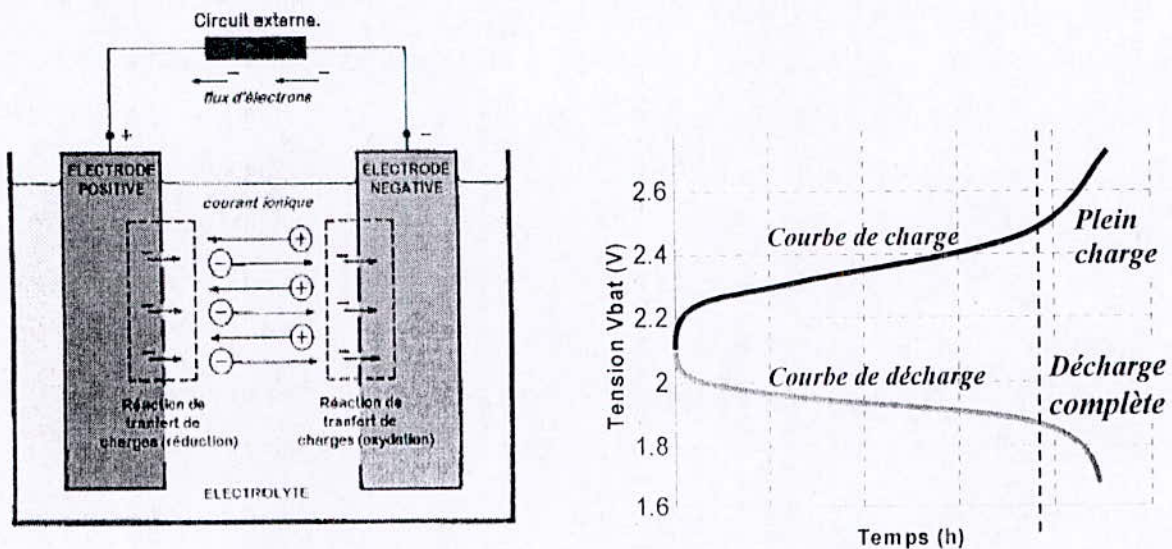


Figure 2.1 : Cellules électrochimiques de base et allure des courbes de charge et de décharge d'une cellule au plomb.

I.1. Modélisation mathématique de la batterie

Cette modélisation est basée sur le fait que la batterie est considérée comme un générateur de tension E variable en série avec une résistance R_0 (Figure 2.2).

La tension aux bornes de la batterie V_{bat} est donnée par :

$$V_{bat} = E + I_{bat} R_0 \tag{2.2}$$

Avec :

E : tension du générateur interne, variable en fonction de l'état de charge de la batterie.

I_{bat} : Courant de batterie, positif pendant la charge et négatif pendant la décharge.

R_0 : Résistance ohmique interne de la batterie.

$$R_0 = \frac{\Delta V_{bat}}{\Delta I_{bat}} \quad (2.3)$$

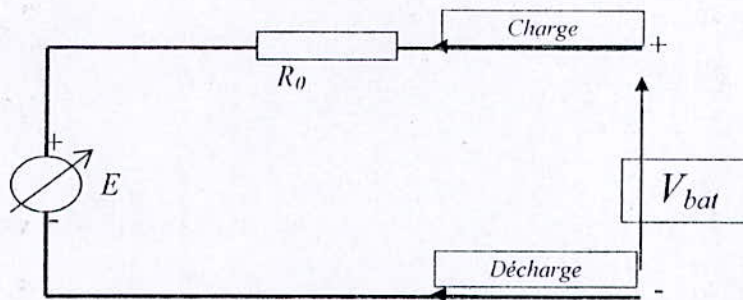


Figure 2.2 : Schéma électrique équivalent d'une batterie

Où ΔV_{bat} et ΔI_{bat} représentent une faible variation de la tension et du courant de la batterie dans la zone linéaire de charge ou de décharge dans la zone où la tension E est pratiquement constante.

La tension interne E est en fonction de l'état de charge de la batterie [26] :

$$E = E_0 + AX - \frac{BX}{C_1 - X} + \frac{B(C_2 - X)}{X} \quad (2.4)$$

Avec :

E_0 : La tension en circuit ouvert lorsque la batterie est complètement chargée.

A : Représente la variation linéaire de la tension de la batterie pendant la charge ou la décharge.

B , C_1 , C_2 : Ces paramètres reflètent la chute ou l'augmentation brutale de la tension pendant une décharge complète ou pendant une surcharge respectivement.

Le terme $\frac{BX}{C_1 - X}$ reflète le comportement de la batterie pendant la décharge complète alors que le terme $\frac{B(C_2 - X)}{X}$ reflète son comportement pendant une surcharge.

X : La capacité normalisée extraite/ajoutée pour un courant de décharge/charge donné, est égale :

$$X = \frac{Q_{out}}{Q_{max}(I)} Q_{max} \quad (2.5)$$

Avec :

$Q_{max}(I)$: La capacité maximale pendant la charge/décharge en fonction du courant de charge ou de décharge respectivement, Exemple pour une batterie avec $Q_{max} = 45Ah$ et un courant de décharge de 1A, cette capacité chute de moitié, soit 22.5Ah pour un courant de décharge de 2A.

Q_{max} : La capacité maximale de la batterie en Ah.

Q_{out} : La somme des charges de la batterie extraites ou ajoutées pendant la décharge ou la charge. Elle est égale à :

$$Q_{out} = \int I_{bat} dt$$

On définit aussi l'état de charge *SOC* (*State of Charge*) de la batterie comme étant [18] :

$$SOC = \frac{Q_{max} - Q_{out}}{Q_{max}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{max}} \tag{2.6}$$

Elle varie entre *un* (charge complète) et *zéro* (décharge complète).

La figure 2.3 montre les courbes de charge et de décharge de la simulation pour une batterie au plomb de capacité égale à 125Ah à la tension de fonctionnement égale à 12V.

Les constantes *A*, *B*, *C* tirées de la référence [19] sont égales à :

$$A = 0.0066 ; B = 134.1550 ; C = 0.3190$$

Dans notre cas où le temps de simulation est relativement court par rapport au cycle de charge et de décharge de la batterie, l'expression de la tension *E* est limitée au deuxième terme qui reflète parfaitement la zone linéaire de charge ou de décharge de la batterie.

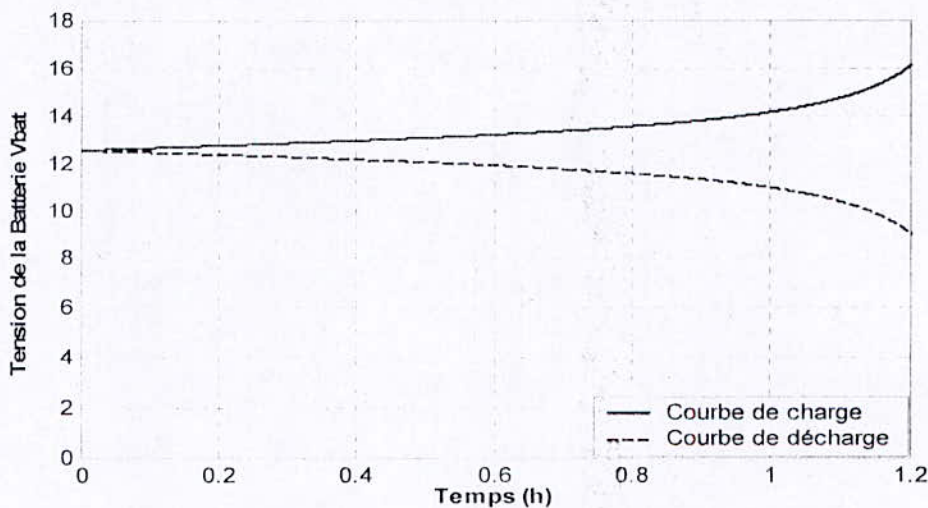


Figure 2.3 : Courbe de charge et de décharge de la batterie simulées dans le circuit global pour un courant de charge ou de décharge de 125AH

2. Différents types d'accumulateurs

De nombreux types d'accumulateurs électrochimiques existent (Pb, CdNi, NiZn...). Toutefois un des plus anciens et des plus couramment utilisés dans l'automobile est l'accumulateur au plomb. Celui-ci a subi des perfectionnements constants pour améliorer ses performances en vue de l'utilisation la mieux adaptée au photovoltaïque.

Les batteries stationnaires sont utilisées, par exemple, pour l'alimentation des centraux téléphoniques, des ordinateurs, des équipements de secours, des centrales électriques, des hôpitaux, des salles publiques.

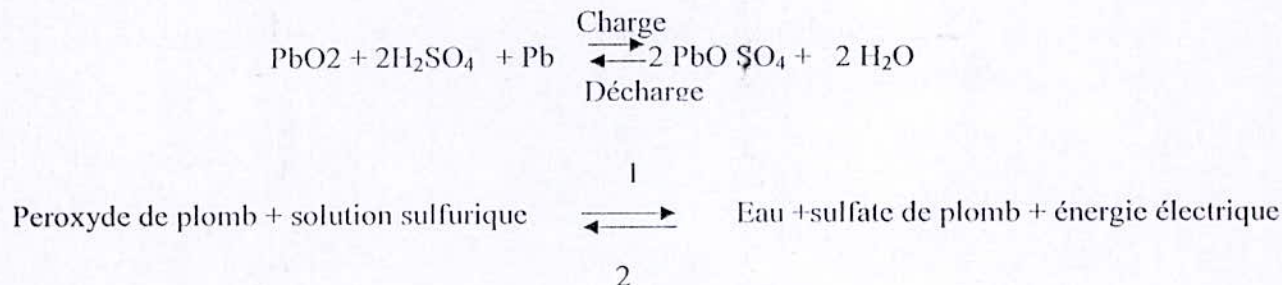
Ce sont des éléments de 6 à 10 000 Ah dont la durée de vie peut dépasser dix ans. Le plus souvent, ces batteries sont maintenues en charge (dite de floating) grâce à un très faible courant d'entretien destiné à compenser les pertes à circuit ouvert.

Les batteries de sous-marins classiques assurent la propulsion en plongée, mais même les sous-marins nucléaires possèdent une batterie de secours. Construites suivant des spécifications techniques particulièrement sévères, certaines pèsent jusqu'à 200 tonnes et fournissent jusqu'à 8 000 kWh.

2.1. Les accumulateurs au plomb

2.1.1. Constitution

Lorsqu'on plonge une plaque positive (PbO₂) et une plaque négative (Pb spongieux) dans une solution d'acide sulfurique dilué, on voit apparaître immédiatement une force électromotrice entre les deux pôles de l'élément ainsi constitué. Les transformations chimiques, au cours de la décharge et de la recharge, peuvent se résumer ainsi :



Ces transformations sont réversibles; c'est pourquoi la batterie peut être déchargée et rechargée un grand nombre de fois. Le sens 1 correspond à la recharge et le sens 2 à la décharge. Avec 207 g de plomb, 239 g de PbO₂, on obtient 56,3 Ah. Sous une tension moyenne de 2 V, on dispose de : 53,6 × 2 = 107,2 W h pour 642 g, soit environ 168 Wh/kg.

En pratique, on est très loin de ce chiffre théorique, et les meilleurs accumulateurs au plomb ne dépassent pas un rendement de 40 à 45 Wh/kg (pour une décharge complète en cinq heures). Les données thermodynamiques concernant l'accumulateur au plomb permettent de calculer la tension théorique et le coefficient de température de la batterie.

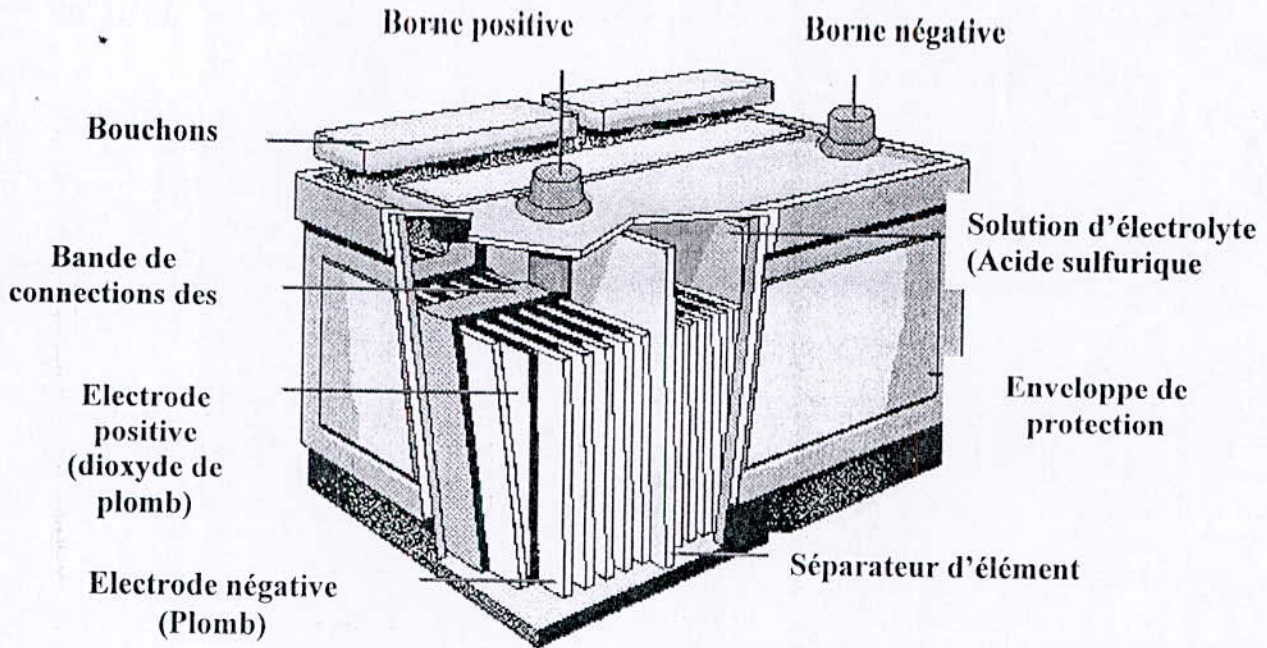


Figure 2.4 : Constitution interne des accumulateurs aux Plomb

- L'électrode positive est une plaque rectangulaire en plomb renforcée par des nervures entre lesquelles sont disposées des lamelles ou des tubes constitués par des oxydes de plomb.
- L'électrode négative est une plaque de plomb à surface gaufrée dont les alvéoles sont garnies de plomb spongieux.
- L'électrolyte est une solution d'acide sulfurique dont la densité varie en fonction de l'état de charge de la batterie.
- Organisation : L'énergie qu'on peut emmagasiner dans un accumulateur étant proportionnelle à la surface des électrodes, on a intérêt à augmenter leurs dimensions. Pour éviter un trop grand encombrement, on constitue deux faisceaux de plaques parallèles positives et négatives intercalées. L'ensemble des plaques est immergé dans l'électrolyte contenu dans un bac en matière isolante (verre ou matière plastique).

2.2. Principe de fonctionnement

2.2.1. Processus de la charge

Pendant la charge, l'accumulateur se comporte comme un récepteur. Si on trace graphiquement la différence de potentiel à ses bornes en fonction du temps, on constate qu'après un court régime transitoire, la courbe se stabilise aux environs de 2,2 V à 25°C.

En fin de charge (point M), on note un accroissement rapide de la tension. Les plaques, complètement polarisées, ne retiennent plus l'oxygène et l'hydrogène dégagés. La fin de charge est atteinte à 2,6 V en charge cyclique. En charge flottante (régulation de charge) on se limite entre 2,25 V et 2,35 V par élément.

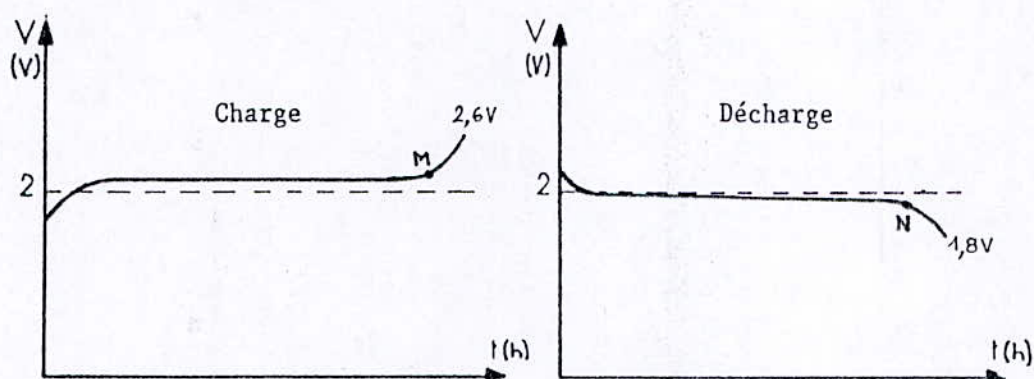


Figure 2.5 : Comparaisons des valeurs expérimentales pendant la charge et la décharge en fonction du temps (heures) à une température $T^{\circ}=25^{\circ}\text{C}$

2.2.2. Processus de la décharge

Pendant la décharge, la force électromotrice varie, en fonction du temps comme l'indique la figure 2.4. Pendant une assez longue durée d'utilisation, elle reste remarquablement constante à la valeur de 2V environ. À partir du point N, elle diminue brusquement jusqu'à 1,8 V. Il faut alors recharger l'accumulateur, sous peine de voir apparaître la sulfatation des plaques. En pratique, on ne descend pas en général en dessous de 20 % de la capacité batterie. Sinon, la sulfatation entraîne une perte de capacité et une augmentation de la résistance interne d'où une baisse de tension.

2.3. Principales caractéristiques

2.3.1. Tension

La tension aux bornes d'un élément d'accumulateur au plomb est voisine de 2V à la température de 25°C. Sa valeur varie entre 1,7 V et 2,4 V suivant l'état de charge en

conditions normales de fonctionnement. La tension de la batterie varie fortement avec la température, et la correction de celle-ci par rapport à la température de 25°C est donnée par la relation empirique suivante :

$$V = V_{25^{\circ}} - 0.005 \times (T - 25^{\circ}) \quad (2.7)$$

Avec $V_{25^{\circ}}$ la tension de la batterie à 25°C et V la tension de la batterie à la température T .

La variation de l'état de charge d'un élément de batterie au plomb en fonction de la température de circuit - ouvert est donnée par la figure 2.6.

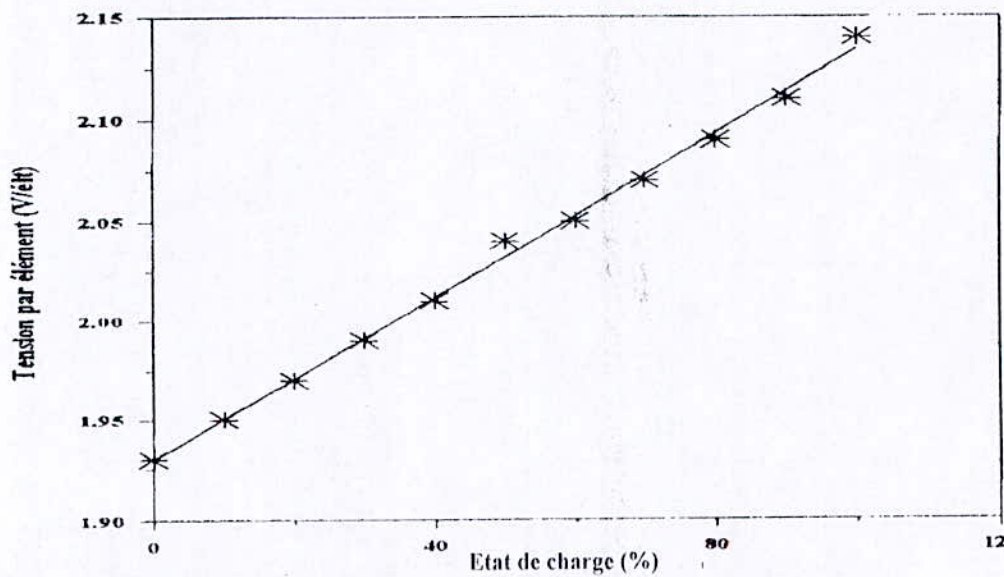


Figure 2.6 : Etat de charge d'un élément de batterie au plomb en fonction de la tension de circuit ouvert à une température $T=25^{\circ}\text{C}$ [19]

2.3.2. Capacité

La capacité est le nombre d'ampères-heures que peut débiter une batterie pour un courant et une tension de fin de décharge bien définis. Cette capacité dépend essentiellement du volume de matière active contenue dans la batterie. Plus un élément de batterie est important plus sa capacité est élevée. Les principaux facteurs influençant la capacité sont : la géométrie de la plaque, le contact entre la matière active et le support, l'épaisseur de la grille, la quantité des matières actives, le régime de décharge, la porosité de la plaque et la température.

En effet aux faibles températures, les éléments de batterie perdent une part importante de leurs capacités par suite de l'augmentation de la viscosité de l'électrolyte et de la

résistivité de l'électrolyte. Si la valeur de la température T des éléments est différente de la température de référence 25°C , la capacité mesurée C doit être corrigée à l'aide de l'équation suivante afin d'obtenir la capacité réelle :

$$C_{25^{\circ}} = \frac{C}{1 + 0.003 \times (T + 25^{\circ})} \quad (2.8)$$

La capacité disponible pour une décharge à un courant élevé est inférieure à celle qui peut être obtenue pour un faible courant (figure 2.6). La diminution de la capacité pour les taux élevés de décharge est liée à la sulfatation de la surface des plaques, au gradient de concentration très élevé, la très grande résistance à la diffusion, à la fermeture rapide des pores et à la très forte perte de charge courant fois la résistance interne [25].

La capacité nominale (C_n) d'une batterie est donnée, généralement, pour un régime de décharge en 10 h ($C/10$). Pour un régime de décharge plus élevé ($I > C/10$), la capacité diminue. Pour un régime de décharge plus faible ($I < C/10$) la capacité augmente. Le courant de décharge est évalué en fractions de la capacité exprimée en Ah.

Exemple: Un accumulateur de 100 Ah à $C/10$ peut fournir un courant de 10 A pendant 10 h. Sa capacité sera réduite à 80 Ah pour un régime de décharge à $I = C/5 = 20\text{A}$ tandis que la capacité pourra être augmentée à 140 Ah pour un régime de décharge à $I = C/100 = 1\text{ A}$. La capacité d'un élément varie dans le même sens que sa température.

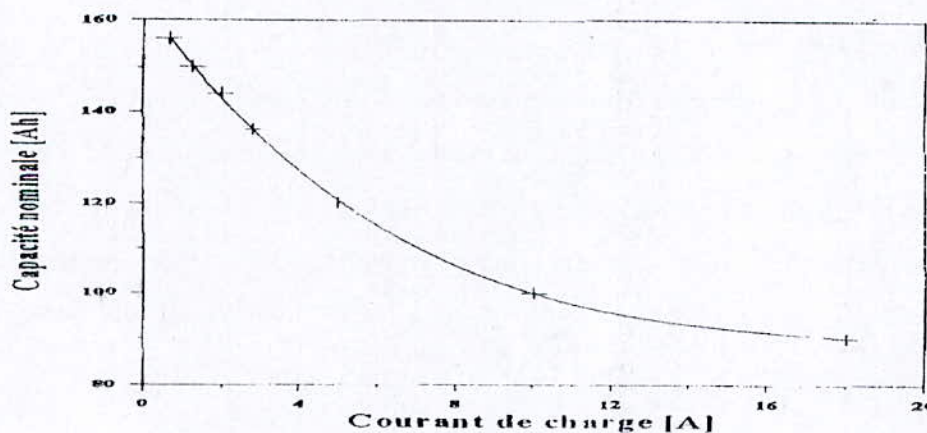


Figure 2.7 : Capacité nominale d'une batterie au plomb en fonction du régime de charge à une température $T = 25^{\circ}$

2.3.3. Rendement en quantité

C'est un autre terme de l'énergie électrique, qui correspond à la fourniture d'une certaine intensité de courant pendant un certain temps. Elle est couramment appelée capacité.

La quantité de courant pouvant être restituée par une batterie est limitée par la quantité de matière active disponible. La quantité de courant est mesurée en intégrant le courant entre les états de pleine charge et de décharge maximale.

Dans les tests de contrôle, on pratique généralement des décharges à intensité de courant constante. Dans ce cas la quantité de courant (capacité) est : $Q = It$ où I est le courant en ampères ou milliampères et t le temps en heures pour une capacité C en ampères-heures (Ah) ou en milliampères-heures (mAh). Le coulomb n'est pas une unité utilisée par les fabricants d'accumulateurs. L'ampère-heure vaut 3600 coulombs. Le rendement en ampères-heures (ou faradique) est le rapport entre la quantité d'électricité débitée à la décharge Q_d et la quantité d'électricité fournie lors de la charge Q_c . $\eta_q = Q_d / Q_c$. Ce rendement est de l'ordre de 90 %.

2.3.4. Rendement en énergie

Le rendement en énergie est le rapport entre le nombre de wattheures restitués et le nombre de wattheures fournis. Il est toujours inférieur au rendement faradique puisque, la tension en décharge est inférieure à la tension en charge par suite des différentes polarisations intervenant dans l'accumulateur au plomb, il varie pratiquement entre 0,45 et 0,60 suivant l'état de charge. Pour un même rendement en quantité, le rendement au énergie augmente avec la concentration, et diminue lorsque croît la densité de courant.

2.3.5. Résistance interne

La résistance interne d'un accumulateur est toujours très faible (de l'ordre de quelques centièmes d'ohm) et donc négligeable en général, dans les applications numériques. Cette faible résistance présente d'ailleurs un inconvénient : quand les deux bornes sont accidentellement ; réunies par un conducteur lui-même peu résistant, la résistance totale du circuit reste très faible ; l'intensité du courant débité est considérable, l'accumulateur, mis ainsi en court-circuit, est rapidement hors d'usage.

2.3.6. Autodécharge

Le taux d'autodécharge d'un accumulateur représente la perte moyenne relative de capacité par mois et pour une température donnée. L'autodécharge est une caractéristique interne découlant de la technologie utilisée et est généralement donnée pour une température de 20 °C. Elle est de l'ordre de 10 % par mois, pour les plaques aux plomb- antimoniaux. Cet alliage a pour but d'augmenter la tenue mécanique. Elle est de l'ordre de quelque % par mois pour le plomb doux (à faible teneur d'antimoine) , ou le plomb-calcium, mais les éléments

sont plus fragiles. L'autodécharge varie très rapidement avec la température. Elle double de valeur tous les 10 °C.

2.3.7. Durée de vie

La durée de vie des accumulateurs est directement liée à leurs conditions d'utilisation. Pour une utilisation en stockage tampon, la durée de vie dépend essentiellement du nombre et de l'amplitude des cycles charge décharge

En limitant la profondeur de décharge journalière ($< 15 \% C_n$) et la profondeur de décharge saisonnière ($< 60 \% C_n$), on estime la durée de vie des accumulateurs à 6 ou 7 ans, lorsqu'ils sont protégés contre la surcharge.

2.4. Différents types d'accumulateurs au plomb

Il existe trois types de batterie plomb acide, mais tous présentent des caractéristiques communes [Jac81].

2.4.1. Batterie de démarrage

Elle est utilisée pour le démarrage, l'allumage et l'éclairage des automobiles. Elle a l'aptitude de fournir un très fort courant en quelques secondes. Une simple batterie d'automobile, qui est capable de donner 5A pendant 20 heures a une capacité de 100AH.

Les batteries d'automobiles peuvent donner jusqu'à 300 cycles et plus en 2 ans environ. Elles présentent cinq inconvénients principaux. Elles exigent un entretien périodiquement pour ajouter de l'électrolyte, elles perdent progressivement par autodécharge une partie de leur capacité, elles présentent un rendement de conversion faible que pour les autres types de batterie, elles se prêtent mal à une association en parallèle et elles subissent des dommages importants après seulement trois à cinq décharges profondes.

2.4.2. Batterie de traction

Elle est utilisée pour la traction électrique de chariot de manutention, locomotives de mines, et les véhicules électriques. Elle est donc employée, en général pour les véhicules lents, transportant des charges relativement importantes. Sa capacité est donnée en cinq heures pour une tension d'arrêt de 1,7V par élément.

2.4.3. Batterie stationnaire

Le marché offre une gamme variée d'accumulateurs stationnaires, de différents types de concentration et dans différentes versions. Il est donc extrêmement difficile, pour l'utilisateur de déterminer la batterie appropriée à chaque cas d'utilisation. La batterie stationnaire est source de courant de secours, qui doit pouvoir être utilisée en cas de besoin et

donc être disponible à tout moment. L'utilisateur doit avoir la certitude qu'elle fonctionnera à l'instant même ou la source de courant principale fera défaut [27],[26].

2.5. Accumulateurs cadmium-nickel.

2.5.1. Description

Les accumulateurs cadmium - nickel sont réalisés à partir de 2 électrodes (hydroxyde de Nickel et Cadmium) immergés dans une solution de potasse d'où le nom d'accumulateur alcalin.

2.5.2. Caractéristiques

La tension nominale est de 1,2 V mais elle varie entre 1,15 V et 1,45 V par élément suivant l'état de charge [13].

Les éléments sont, par leur construction, plus robustes et moins lourds que ceux au plomb.

- Ils acceptent plus facilement la surcharge ou la décharge profonde.
- Pour les petites capacités, ils se présentent sous forme cylindrique (comme les piles) en version étanche.
- Ils peuvent fonctionner sur une grande plage de température.
- Ils nécessitent un entretien réduit ce qui leur confère une grande durée de vie.

Par contre :

- Le rendement de l'accumulateur est faible (rendement faradique = 70 %)
- L'autodécharge est plus élevée que celle des accumulateurs au plomb (> 15 %)
- Les écarts de tension entre charge et décharge sont plus importants
- Leur coût est élevé.

Conclusion

Les batteries au plomb représentent 90 % de la production mondiale vu leur adaptation à tout type d'application et leur coût comparativement aux batteries Nickel-cadium. Les travaux de recherches visent à mettre au point des batteries pour le stockage de l'électricité photovoltaïque solaire ayant les caractéristiques suivantes : Durée de vie 10 à 15 ans, rendement énergétique 80 % , taux d'autodécharge 2 à 3 % par mois ,période sans entretien 12 à 15 mois ,et prix de revient minimum. Il est indispensable de savoir , qu'en aucun cas , on ne doit comparer entre elles les capacités nominales des différents types d'accumulateurs pour choisir la batterie adéquate . Malgré la concurrence de nombreux autres

générateurs électrochimiques (par exemple, accumulateurs alcalins, piles à combustible), l'accumulateur au plomb, grâce à sa robustesse, sa simplicité et son prix faible, rajeuni par l'emploi des matières plastiques, perfectionné sans cesse dans sa technologie, reste compétitif, que ce soit dans le domaine du démarrage des moteurs à combustion, de la traction électrique ou de la batterie stationnaire.

Couple	PbO ₂ /Pb	NiO/OH/Cd	NiO/OH/MH	LiCOO ₂ /LiC ₆
Electrolyte	H ₂ SO ₄ /eau	KOH/eau	KOH/eau	LiPF ₆ /alkylcarbonate
Tension nominale (V)	2.0	1.20	1.20	3.6 ou 3.7

Tableau 2.1: Tension nominale des principaux couples des accumulateurs

D'autre part, le nombre de wattheures par kilogramme (en régime rapide) emmagasiné dans une batterie a doublé en vingt ans. Enfin, nouvelle amélioration : l'accumulateur étanche, petite boîte fermée, sans bouchons, peut se loger n'importe où et fonctionner pendant plusieurs années sans exiger ni eau ni entretien. Le tableau suivant donne les tensions nominales des principaux couples utilisés dans les accumulateurs.

Couple	PbO ₂ /Pb	NiO/OH/Cd	NiO/OH/MH	LiCOO ₂ /LiC ₆
Rendement faradique pratique (mAh/g _{accumulateur})	7 à 20	30 à 50	45 à 60	25 à 40
Tension (V)	2.0	1.20	1.20	3.6
Energie pratique (Wh/kg _{accumulateur})	15 à 40	40 à 60	60 à 90	90 à 140

Tableau 2.2 : Rendements faradiques et énergies pratiques de différents accumulateurs

Le couple le plus usité dans les batteries standards est le couple « peroxyde de plomb-plomb », qui peut donner une tension de 12 V en associant six accumulateurs. A chaque type d'accumulateur est associé un rendement faradique, qui exprime le rendement en quantité de

courant (un faraday vaut 96 500 C ou 26.8 Ah). Le tableau ci-dessous donne les rendements de quelques accumulateurs.

Les accumulateurs plomb-acide sont actuellement les seuls acceptables du point de vue investissements et coût d'exploitation. On voit qu'il est important de surveiller l'état de charge ou décharge d'une batterie au plomb pour la conserver en bon état car son fonctionnement prolongé dans un sens ou dans l'autre aboutirait à sa destruction définitive.

Chapitre III

***Description de la Conception et de la Réalisation**
du Régulateur à base de PIC 16F876*

Chapitre III

Description de la Conception et de la Réalisation du Régulateur

Introduction

Le régulateur de charge est un dispositif, qui se place entre la batterie et les panneaux solaires, pour éviter que la batterie ne soit endommagée par un courant trop important de charge ou inversement qu'elle ne se décharge trop rapidement. A pleine charge, le régulateur réduit le courant, afin d'éviter des dégâts, mais aussi afin de mieux atteindre l'état de charge complète. Un courant trop élevé peut même provoquer une déformation des électrodes à l'intérieur, ce qui pourrait créer un court-circuit. Ces appareils sont dotés d'indicateurs de charge ou de limiteur de décharge pour déconnecter la batterie dès que le niveau de tension descend en-dessous d'un seuil déterminé, le plus souvent aux alentours de 11.5 V. A ce moment le courant est réenclenché à partir d'une tension déterminée (par exemple 12.5 V).

Les chargeurs sont généralement développés autour d'un composant spécialisé ou d'un microcontrôleur (figure 3.1). En général leur fonctionnement est du type charge rapide, détection VBAT et, ou charge permanente. En fonction du courant nominal de charge de la batterie (courant qui serait appliqué pour une charge rapide d'une heure), le régulateur contrôle ainsi la température de la batterie.

1. Protection contre les surcharges

1.1. Apparition de la régulation

La protection de la batterie d'accumulateur contre les surcharges se fait en déconnectant le générateur photovoltaïque. Ceci se produit lorsque la tension de la batterie atteint la valeur 14.5V (2,35V/élément). Le relais s'ouvre alors et le courant de charge de la batterie s'annule (le générateur photovoltaïque est complètement déconnecté de la batterie). Cela permet à la batterie d'accumulateurs d'approcher une charge idéale et d'éviter ainsi une brusque annulation du courant.

1.2. Disparition de la régulation

Lorsque la tension de la batterie diminue et que le générateur photovoltaïque est déconnecté, celui-ci ne sera reconnecté qu'après un certain retard, afin d'éviter le phénomène de basculements répétitifs du relais. Nous constatons que pour le contrôle parfait de la régulation; il faut tenir compte des informations suivantes :

- la tension qui contrôle la charge dépend de l'état de l'accumulateur et de la température.
- Une charge faite avec précaution et très rapidement permettra d'utiliser au maximum la capacité de la batterie et d'augmenter sa durée de vie de façon significative.

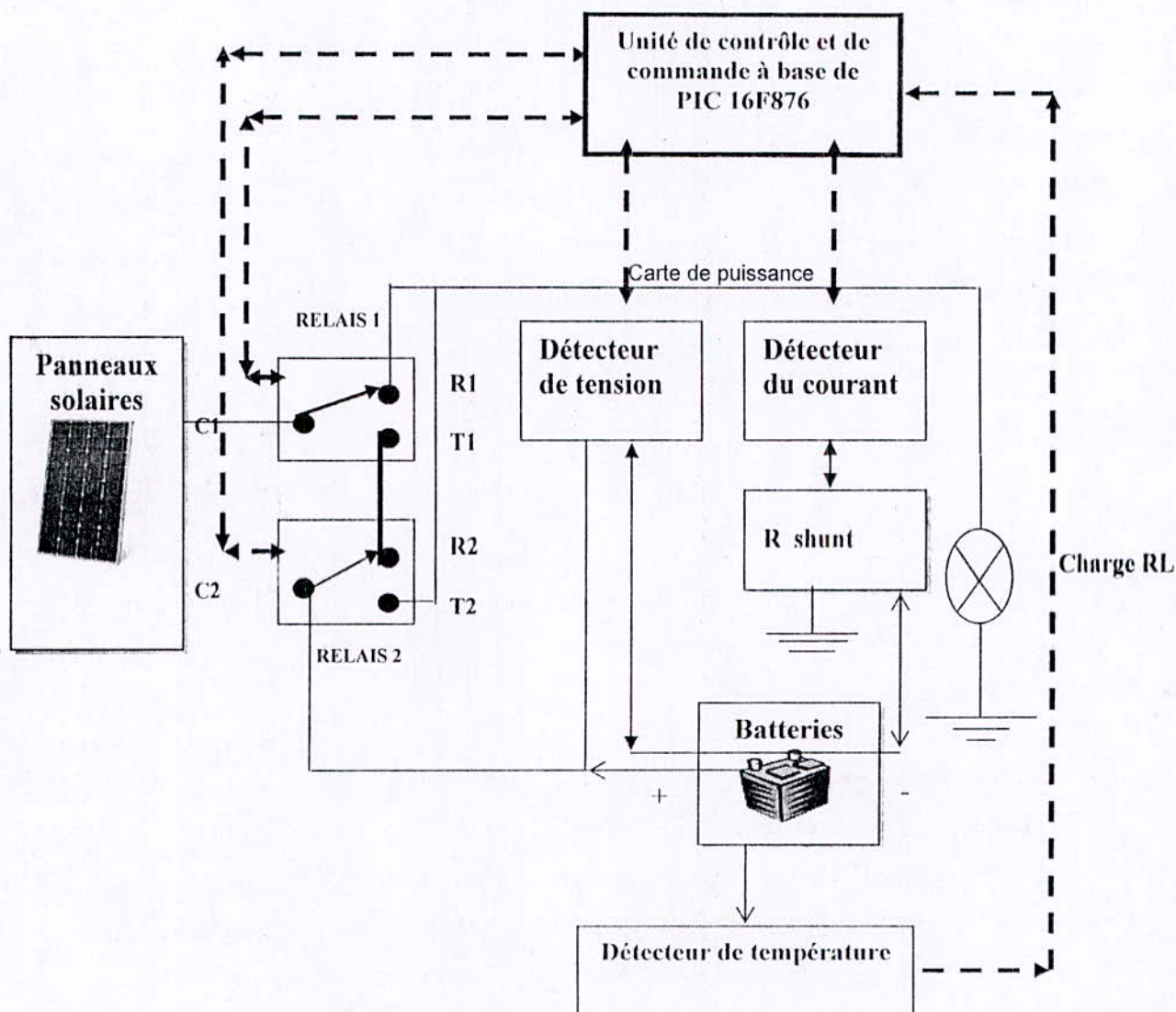


Figure 3.1 : Schéma synoptique du régulateur de charge proposé

2. Protection de la batterie contre les décharges profondes

2.1. Apparition de la sécurité

Lorsque la tension de batterie baisse, jusqu'à la valeur minimale de 10V (1,7V/élément), et afin d'éviter une décharge profonde toutes les charges sont déconnectées de la batterie.

2.2. Disparition de la sécurité

Les charges sont reconnectées à nouveau lorsque la tension de la batterie remonte au-delà de la valeur de 11.5V (1,9V/élément).

Nous constatons que pour la protection parfaite de la batterie, il faut :

- Déconnecter les charges selon l'état de la batterie.
- Prévenir avant la déconnection.
- Protéger contre les courants trop forts, les surtensions. L'efficacité d'une batterie sera plus grande si elle est à l'abri de températures trop hautes ou trop basses.
- Déconseiller de décharger une batterie à plus de 50% de sa capacité. On peut aller jusqu'à 80%, mais si cette pratique se répète trop souvent, la batterie aura une durée de vie plus courte.

3. Visualisation de l'état de charge de la batterie

La visualisation permet à l'utilisateur de voir l'état de fonctionnement instantané de la batterie. Pour cela on utilise trois diodes luminescentes (LED) jaune pour vérifier si le relais 1 est connecté à la batterie.

Deux (LED) rouge ou verte sont utilisées également pour nous informer sur la charge utilisée si celle-ci est connectée ou déconnectée.

4. Contrôle de la température de la batterie

Ce régulateur permet de débrancher tout le générateur photovoltaïque lorsque la température limite de la batterie est atteinte. La régulation permettra d'apporter des actions telle que le refroidissement par ventilation, le changement des seuils de régulation ou bien des interventions par un opérateur pour un ajout d'eau distillée. Cette température limite est réglable (30°C, 40°C, 50°C, 60°C) en fonction du type de batterie et du lieu d'installation.

5. Seuil de charge et de la décharge

Les valeurs les plus importantes pour les seuils de charge et de décharge sont données par le constructeur. La valeur de la tension de fin de charge d'un élément d'accumulateur au plomb est voisine de 2.35V à 25°C. En général, on règle le seuil de coupure du courant au maximum et on l'ajustera en fonction de la température (0,6 mV/°C). La valeur de tension de fin de décharge est de 1.8V par élément. Pour éviter tout dépôt d'oxydes non soluble à la

recharge, il est impératif de ne pas descendre en dessous de cette valeur. Celle ci correspond à une masse volumique de 1180 kg/m^3 . Cette valeur peut être contradictoire avec un bon fonctionnement de l'appareillage associé à l'installation. Dans ce cas, le seuil de fin de charge sera défini par le seuil de non fonctionnement de l'appareillage associé. Il est important qu'en fin de charge la valeur de l'électrolyte atteigne la valeur spécifiée par le constructeur.

6. Principe de fonctionnement

La première vérification du régulateur est de mesurer la tension de la batterie qui doit être comprise entre 12.5 V et 14.0 V. Une batterie ne doit plus être utilisée lorsque la tension inférieure à 11.0 V.

6.1. Contrôle de la charge et de la décharge

Le circuit de contrôle de la charge est composé de deux parties :

- La première se compose essentiellement d'un circuit de détection qui surveille en permanence la tension batterie.
- La deuxième se compose d'un détecteur de courant qui nous permet de connaître l'intensité et la capacité de charge de la batterie.

6.1.1. Circuit de détection de la tension de la batterie

Son principe consiste à comparer la valeur de la tension de la batterie à une tension de consigne. Comme le régulateur proposé est destiné pour des batteries avec une tension nominale de 12 V (valeur constructeur), les valeurs de tensions admissibles seront comprises entre 11 V (batterie à plat) et 14,5 V (pleine charge). Pour la commodité des calculs, on prendra l'intervalle de 10 V à 15 V. Ainsi, au lieu de convertir de 0 à 14,5 ou 15 V, on s'astreindra à convertir uniquement les valeurs nominales. Ceci donnera des erreurs de conversion trois fois moindres. Pour ce faire, on retranche une tension fixe de 10 V, qui doit être stable, à la tension de batterie. Ainsi pour une valeur tension mesurer 13 V, on aura en sortie 3 V. La figure 3.2 indique le schéma de mesure de la tension de batterie.

Ce schéma comporte trois blocs :

- le premier, la tension de référence, doit fournir une tension fixe de 10V (Figure 3.2).

La tension de sortie est donnée par :

$$V_R = V_Z \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (3.1)$$

avec $V_Z = 7.5 \text{ V}$, $R_2 = 1 \text{ k}$, $R_3_{\text{max}} = 1 \text{ k}$.

La tension de 10 V s'obtient par ajustement du potentiomètre P_3 .

- le deuxième bloc, l'additionneur, définit par

$$V_{Add} = V^{-Bat} + 10 \tag{3.2}$$

avec $R = 10\text{ k}$.

- le troisième bloc, l'amplificateur différentiel, définit par

$$V_S = \frac{R_5}{R_4} (V^{+Bat} - V^{-Bat} - 10) \tag{3.3}$$

avec $R_5 = R_4 = 10\text{ k}\Omega$.

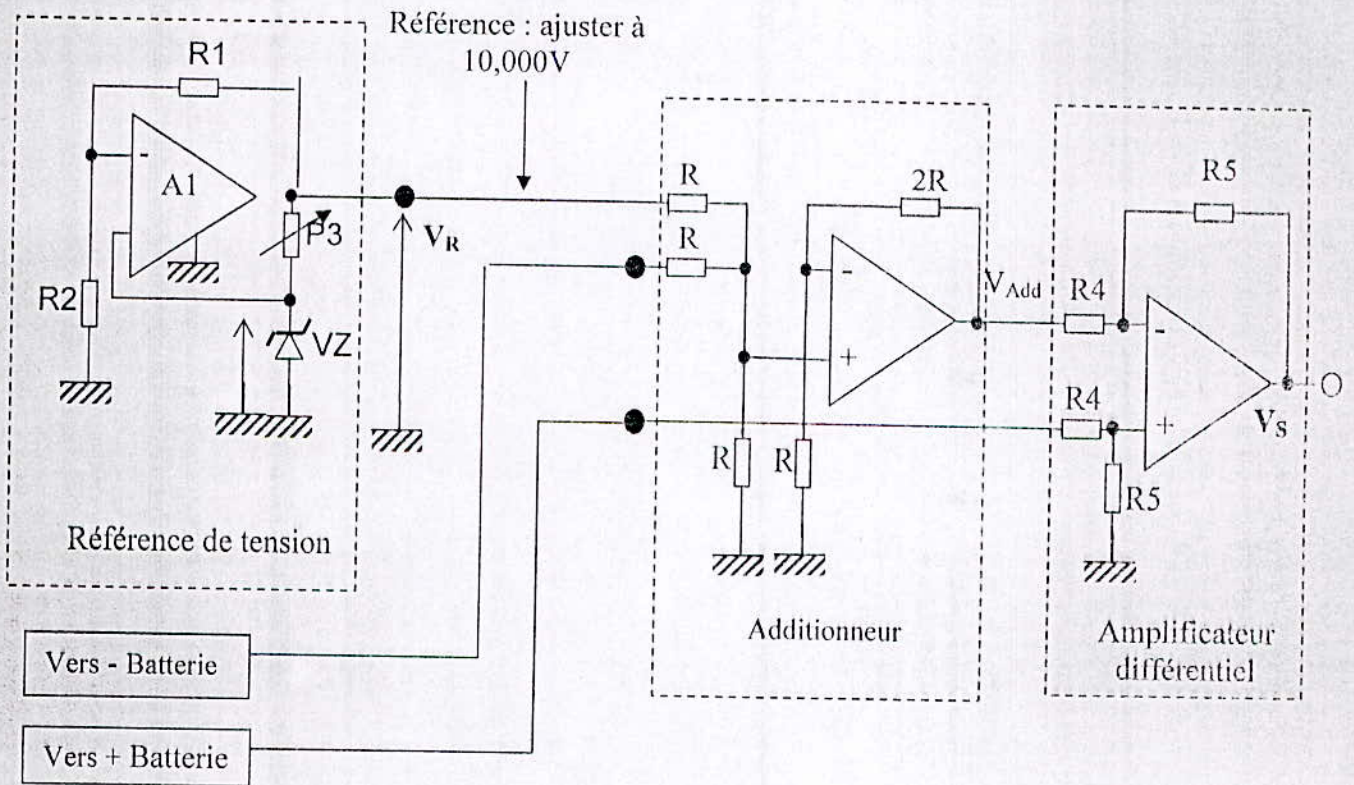


Figure 3.2 : Circuit de détection et de mesure de la tension de batterie

6.1.2. Détecteur du courant de la batterie

Le courant de charge ou de décharge de la batterie, doit avoir une intensité de valeur absolue inférieure à 10 A. la valeur de ce courant doit être mesurée, sous forme de tension comprise entre 0 et 5 V, par une résistance shunt mise en série avec la batterie. Pour éviter de dissiper une énergie élevée en pure perte, on prendra un shunt de valeur $10\text{ m}\Omega$.

De ce fait, la tension aux bornes du shunt sera faible, soit 100 mV pour un courant de 10 A, et 1 mV pour un courant de 100 mA, aussi il est nécessaire d'ajouter un étage amplificateur entre le shunt et le convertisseur analogique numérique qui correspond à une entrée du PIC16F876. La figure 3.3 montre le schéma de l'amplificateur.

Le gain vaut $(1 + \frac{R_3}{R_2})$. Pour avoir 5V à 10A, il faut un gain de 50, cela est possible lorsque $R_3 = 47 \text{ K}\Omega$ (valeur standard), R_2 est une résistance variable entre $0.3\text{K}\Omega$ et $1\text{K}\Omega$.

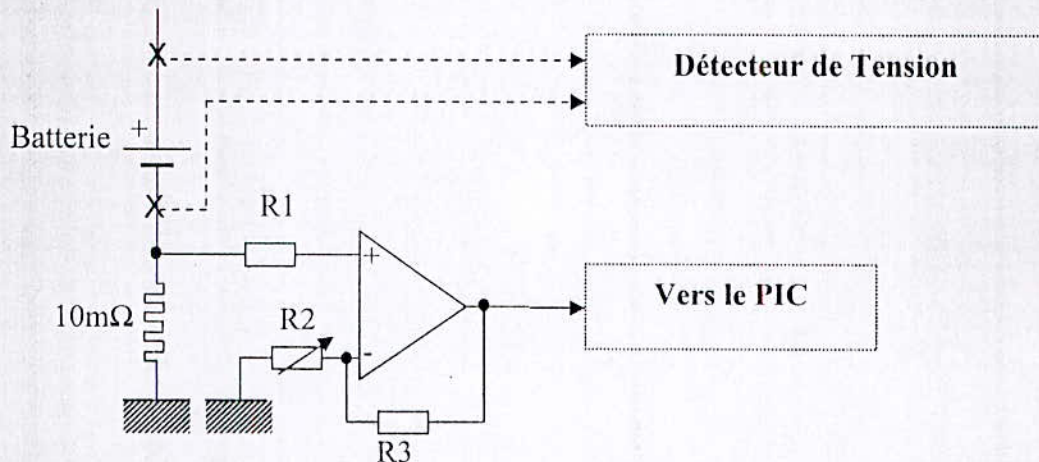


Figure 3.3 : Circuit amplificateur du courant de la batterie aux bornes d'un shunt

Si le courant de la batterie vaut 100 mA par exemple, la tension de sortie serait de 50 mV seulement. Or avec un convertisseur de 10 bits, on a une résolution de 5mV (5/1024). L'erreur de conversion est alors de 10mV (1/2 LSB). Le résultat est qu'en faible régime, la sensibilité est mauvaise. Pour remédier à ce problème, il faut insérer un second étage d'amplification destiné à fournir des tensions mesurables même à très faible régime.

Le gain du second étage a pour valeur $(1 + \frac{R_6}{R_5})$ ou $(1 + \frac{R_7}{R_5})$ et $(1 + \frac{R_7 \times R_6}{R(R_7 + R_6)})$,

avec $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 1 \text{ k}\Omega$. Grâce aux deux interrupteurs, CD4016B, (Annexe B), on peut connecter les résistances R_6 , R_7 à $100 \text{ k}\Omega$, $50 \text{ k}\Omega$, $33.33 \text{ k}\Omega$ pour obtenir un gain variable (figure 3.4).

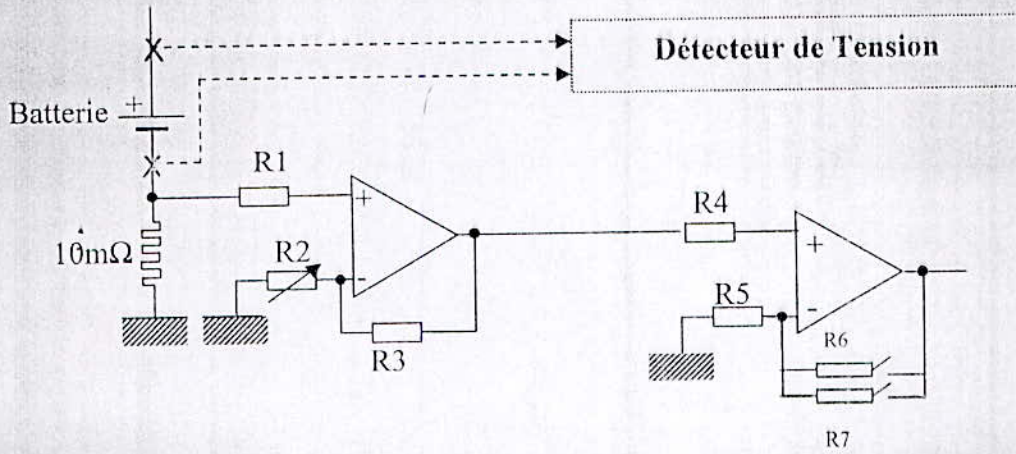


Figure 3.4 : Schéma des deux amplificateurs en cascade

6.1.3. Etude du courant de la batterie

Contrairement à la tension, le courant de batterie change de signe selon que celle-ci se charge ou se décharge. La tension prélevée aux bornes de la résistance shunt s'inverse aussi. Comme le convertisseur du PIC est utilisé avec une gamme de tensions à l'entrée variant de 0V à 5V, il est nécessaire d'inverser le cas échéant la tension associée au courant. Pour ce faire, on place un montage inverseur après l'amplificateur. C'est un circuit donnant la valeur absolue de la tension à sa sortie. La figure 3.5 indique le schéma de ce circuit.

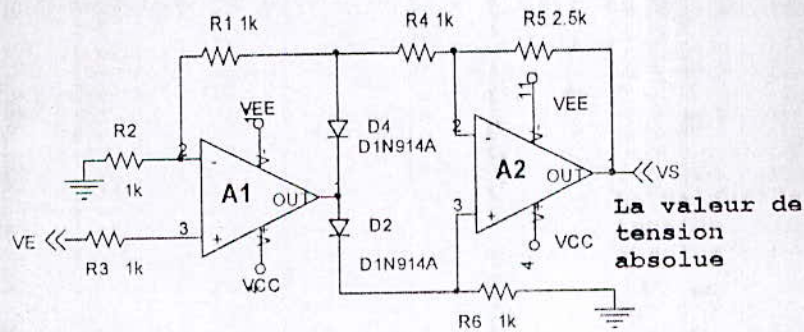


Figure 3.5 : Circuit amplificateur redresseur

Où $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_6 = 1\text{ K}\Omega$, $R_5 = 2.5\text{ K}\Omega$. Les deux amplificateurs sont alimentés de façon symétrique (V_{CC} et V_{EE} tels que $V_{EE} = -V_{CC}$). Lorsque la tension V_E est positive, la sortie de l'amplificateur A_1 est positive et la diode D_4 est bloquée. Cette sortie est appliquée à l'entrée positive A_2 et V_s sera positive. Si V_E est négative, la sortie de A_1 sera appliquée à l'entrée négative de A_2 et V_s restera positive.

6.2. Détecteur de température de la batterie

6.2.1. Critères de choix du capteur (Aspect théorique)

Dans notre cas le choix du capteur de température se base sur certains critères dont dépendent les performances du système et qui sont :

A. Etendue de la mesure

Il s'agit d'analyser le montage électronique qui, à partir d'un capteur, permet de repérer la température (en °C ou en K) sur le cadran d'un voltmètre ou à l'aide d'un ordinateur.

B. Résolution

Elle correspond à la plus petite variation de la valeur mesurée que le capteur est susceptible de déceler.

C. Caractéristique d'entrée sortie d'un capteur

Elle donne l'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée. Elle est donnée par une courbe en régime permanent.

D. Sensibilité

Elle détermine la plus variation de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée en un point donné.

E. Finesse

C'est la qualité d'un capteur à ne pas modifier par sa présence la grandeur à mesurer. Cela permet d'évaluer l'influence du capteur sur la mesure.

F. Linéarité

Zone dans laquelle la sensibilité du capteur est indépendante de la valeur mesurée.

G. Caractéristiques statistiques d'un capteur

Elles représentent la fidélité, la justesse et la précision d'un capteur.

H. Rapidité

C'est la qualité d'un capteur à suivre les variations de la valeur mesurée.

6.2.2. Capteur de température LM335

Avant de choisir le capteur nous nous sommes d'abord intéressés sur les variations de température du site étudié, Alger. Comme la température ambiante à Alger est comprise entre **-10°C et + 70°C**, nous avons opté pour le capteur de température LM335. Sa gamme de température comprise entre **- 40 °C et 100°C** le rend adéquat pour notre application. Le LM335 est un capteur de température qui délivre une tension proportionnelle à la température absolue. Pour cela, il doit être traversé par un courant dont l'intensité est comprise entre **400 µA et 5 mA**. On a alors

présent), nous avons limité le fonctionnement de capteur à $[-10^{\circ}\text{C}$ à $70^{\circ}\text{C}]$. Nous avons choisi ces températures en prenant en considérations, le fait que la température des modules photovoltaïques peut atteindre jusqu'à 20°C de plus que la température ambiante et l'erreur commise par le capteur dans cet intervalle reste inférieure à 0.5°C (figure 3.7). Le capteur de température LM335 présente à sa sortie une tension de **2.73 Volts** pour une température de 0°C .

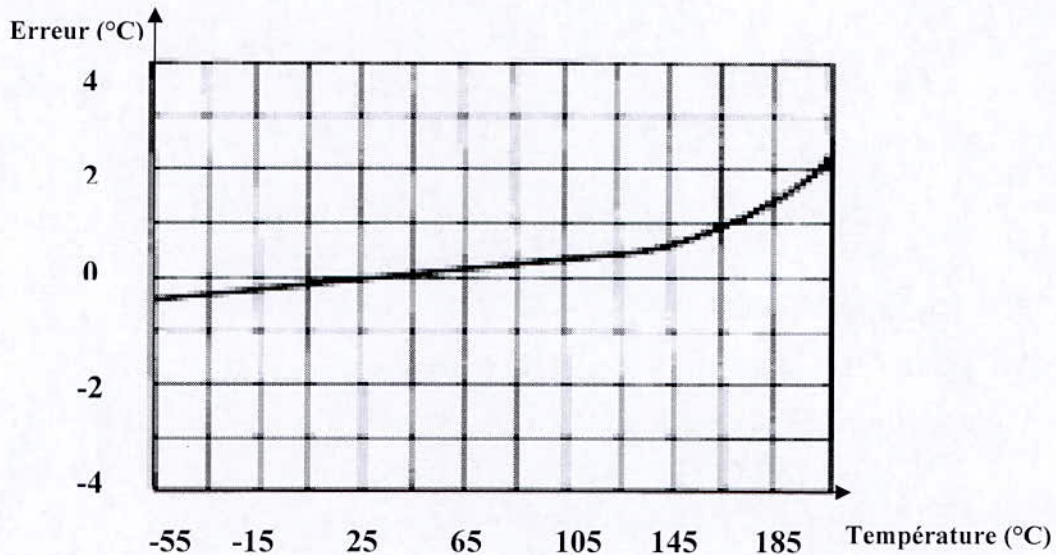


Figure 3.7 : Erreur de température commise par le LM335

La figure 3.8 montre que la courbe de variation de la tension en sortie du capteur en fonction de la température est linéaire. Nous pouvons la tracer dans la gamme de température qui nous convient.

A partir de cette droite nous pouvons tirer les principales informations pour l'adaptation de notre signal à savoir :

- ❖ La tension qui correspond à -10°C est **2.63V**.
- ❖ La tension qui correspond à 70°C est **3.43V**.

Il est nécessaire d'adapter la plage de variation de la tension du capteur qui est $[2.63\text{V} ; 3.43\text{V}]$ à la plage d'utilisation du CAN $[0 ; 5\text{V}]$. C'est le rôle du conditionneur.

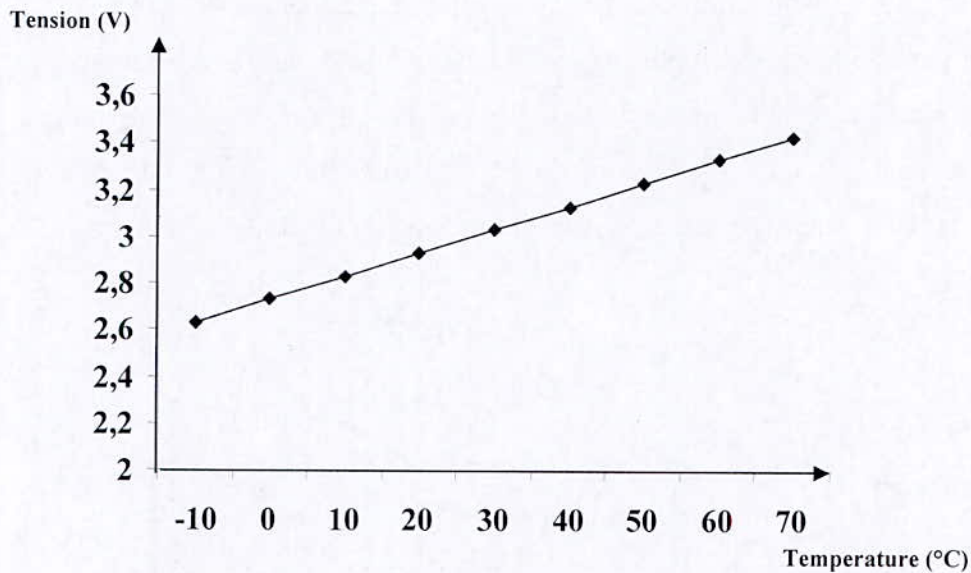


Figure 3.8 : Variation de la tension en sortie du capteur en fonction de la température

6.2.5. Problèmes à résoudre

A• Affichage de la température en degrés Celsius

La tension délivrée par le capteur est :

$$U_1 = a \times T = a \times (\theta + 273)$$

Avec T et θ respectivement les températures en K et °C. On peut donc écrire, compte tenu de la valeur de a :

$$U_s = U_1 - 2,73 = a \theta \quad (3.6)$$

La tension U est proportionnelle à la température en °C. Pour obtenir une tension proportionnelle à la température en degrés Celsius, on retranchera 2,73 V à la tension délivrée par le capteur.

B. Accès au 1/10 de °C

Avec un LM 335, une variation de température de 1 K ou 1 °C se traduit à la sortie du capteur par une variation de tension de 10 mV. Une variation de 0,1 °C se traduit par une variation de tension à la sortie de 1 mV. Ainsi, si l'on souhaite déceler une variation de cette température il faut amplifier la tension de sortie du capteur. En fait, on amplifiera cinq fois la différence de tension: $U_{\text{capteur}} - 2,730$ V.

C. Elimination des parasites

L'acquisition d'une grandeur analogique issue d'un capteur de température, cas du conditionneur étudié, nécessite un traitement faisant appel à certaines structures électroniques élémentaires décrites par la figure 3.9. L'étude de ces structures permet la mise en évidence des fonctions électroniques utilisées dans l'acquisition et le traitement d'une grandeur

analogique. Ce conditionnement du signal est effectué par le circuit de la figure 3.9, qu'on pourra subdiviser en cinq parties.

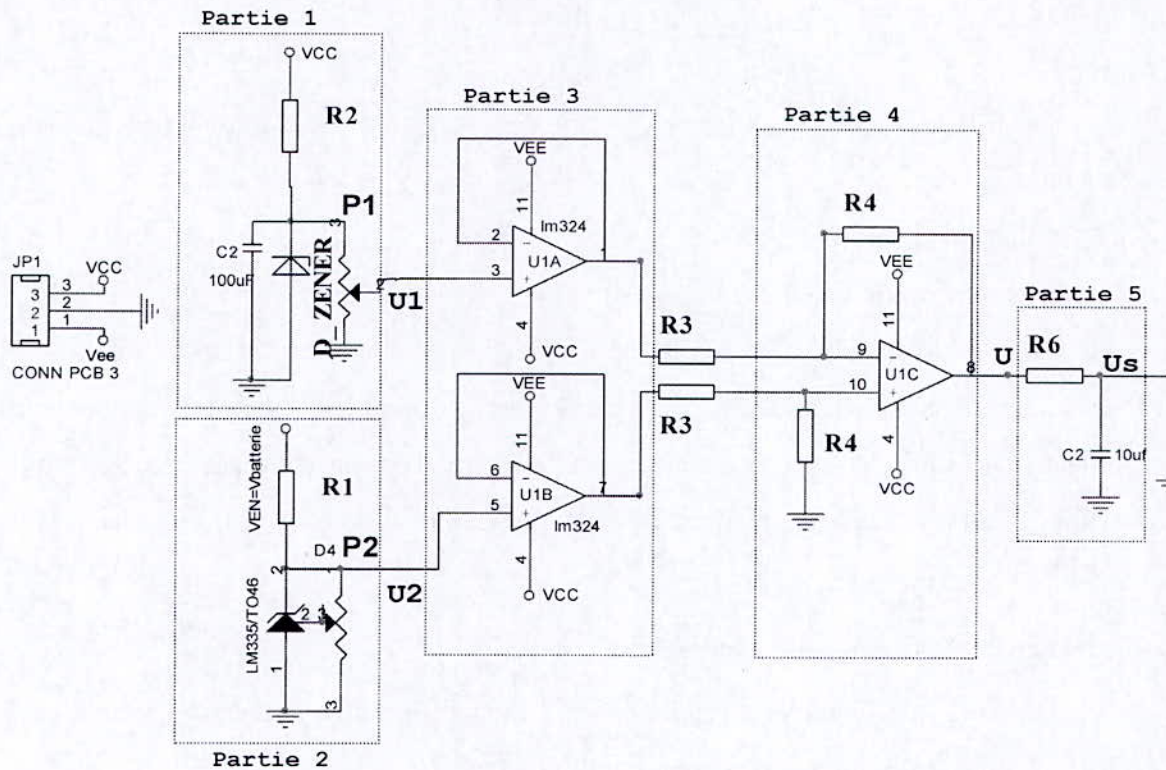


Figure 3.9 : Circuit électrique du conditionneur du signal

•Partie 1

On produit une tension U_1 de 2,730 V à l'aide du potentiomètre P_1 , connecté aux bornes d'une diode Zéner et filtrée par un condensateur C_1 .

•Partie 2

Le réglage du potentiomètre P_2 permet d'ajuster le LM335 sur sa caractéristique, illustrée par la figure 3.8 et dont l'expression est :

$$U_2 = a \times T \tag{3.7}$$

•Partie 3

Deux amplificateurs opérationnels, montés en suiveur, transmettent les tensions U_1 et U_2 à l'étape suivant.

•Partie 4

Le troisième amplificateur opérationnel est connecté en amplificateur de différence.

$$U = \frac{R_4}{R_3} \times (U_2 - U_1) \quad (3.8)$$

$$U_s = G \times \Delta V = G \times (V_{\text{capteur}} - V_{\text{ref}}) \quad (3.9)$$

•Partie 5

Un filtre passe-bas (fréquence de coupure 15 Hz) atténue fortement les parasites dûs au secteur.

6.2.6. Aspect pratique

A. Mise en œuvre du capteur

Après avoir connecté l'alimentation symétrique il est indispensable d'ajuster le LM 335 sur sa caractéristique. Pour cela, on agit sur le potentiomètre P₂ de telle sorte que la tension U₂ (sortie S₂) soit égale à la valeur de la température du capteur en Kelvin divisée par 100. Exemple : si la température du capteur est 20,0 °C soit 293,0 K alors la tension sera U₂ = 2,930 V.

B. Mesure de la température en Kelvin

Dès lors que le réglage précédent est effectué, la température du capteur, exprimée en Kelvin, correspondra à la tension U₂ multipliée par 100.

C. Mesure de la température en degré Celsius

La température en degré C° est donnée par la mesure de la tension U₂ - U₁. Au préalable, il est nécessaire de régler la tension U₁ = V_{ref} (sortie S₁) à la valeur constante de 2,730 V : pour cela on agit sur le potentiomètre P₁.

La température du capteur, exprimée en degré Celsius, est égale à la tension U₂ - U₁ multipliée par 100. Ainsi, pour afficher une température en degré Celsius et compte tenu de l'amplification de la tension différence, U, par 5 du module, on écrira la fonction de transfert suivante:

$$\theta = 0,05 \times U + V \text{ offset} \quad (3.10)$$

Pour mesurer la tension U = V_s nous avons deux possibilités:

- approximation de U en négligeant l'offset
- avec l'offset : il est nécessaire d'effectuer un étalonnage en un point pour déterminer la valeur de l'offset et le communiquer à la fonction de transfert.

7. Alimentation et tension d'entrée

La carte nécessite une alimentation de +12V régulée pour le fonctionnement des amplificateurs opérationnels de détecteur de tension, l'alimentation bipolaire (symétrique) de

+6V et -6 V est appliquée pour alimenter les amplificateurs opérationnels LM324 (V_{CC} et V_{EE}) de détecteur du courant et une tension $V_{dd} = 5V$ pour alimenter le PIC16F876.

Les tensions aux bornes du résistance shunt et aux bornes de la batterie, sont reliées à la carte à travers trois broches du connecteur d'alimentation.

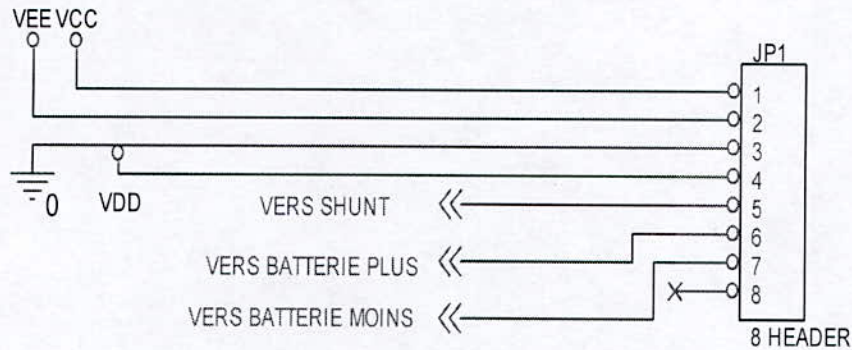


Figure 3.10 : Brochage du connecteur d'alimentation

8. Schémas électriques

A. Partie analogique

La figure 3.11 indique le circuit de mesure du courant et de la tension de la batterie.

Les relais (REL1 et REL2) contrôlent respectivement les courant de charge et de décharge.

Les bobines des relais demandent 40 mA sous 5V pour s'activer.

Elles sont commandées par le microcontrôleur à travers Q5 et Q6 qui sont des transistors BC548A. Les résistances de rappel à la masse R16 et R15 permettent de garder les relais éteints pendant les transitions de power up et power down. Les trois connecteurs en entrées (détecteur de courant, détecteur de tension, détecteur de température,..), se connectent aux entrées du port A de PIC 16F876 (Annexe C).

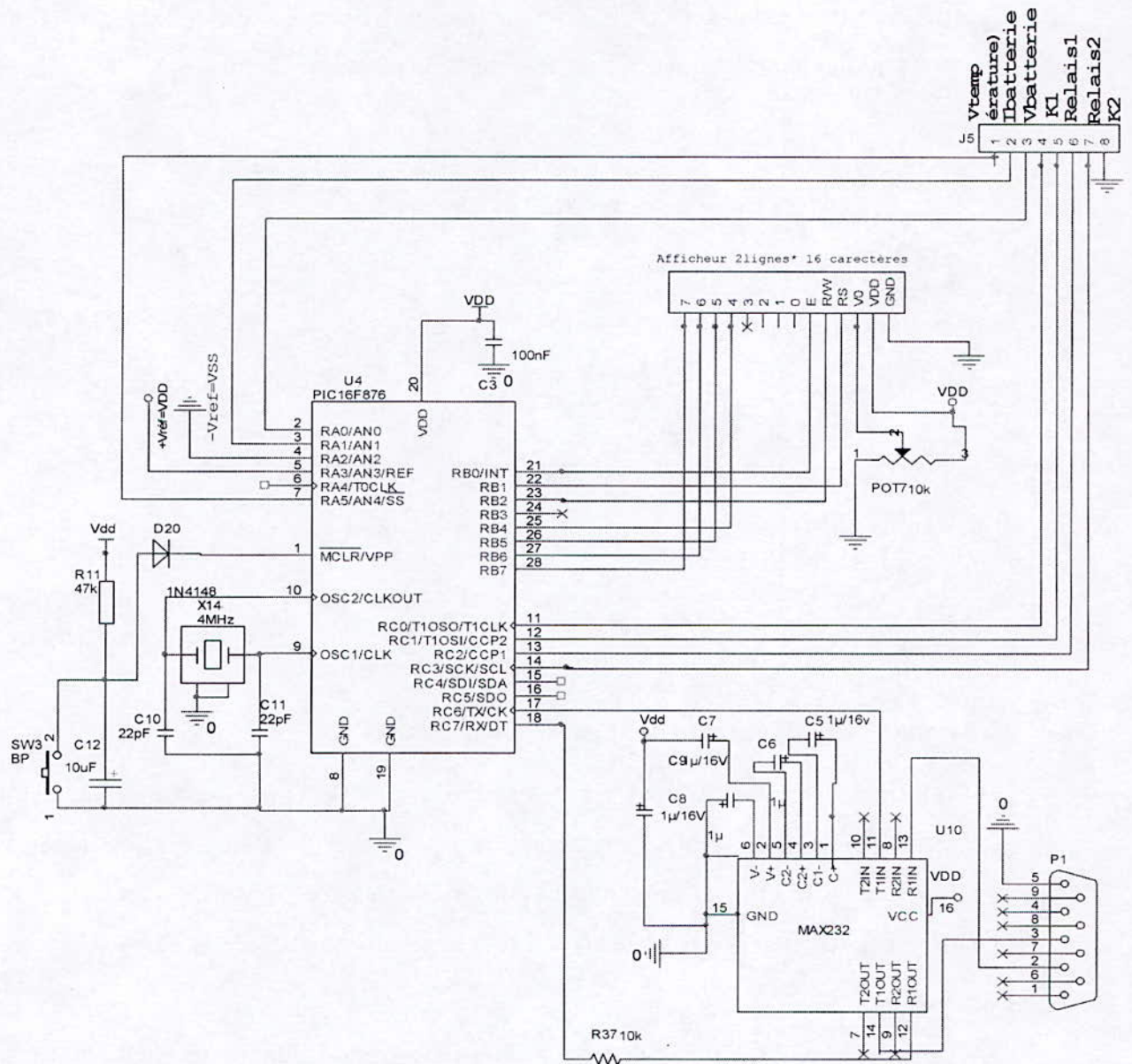


Figure 3.12 : La carte logique ; circuit de contrôle et de commande à base du Pic 16F876

9. Gestion d'une liaison RS232

Dans cette partie, nous allons voir comment connecter le PIC16F876 avec une liaison RS232C (Annexe B). Le circuit intégré Max232 permet de transformer des signaux TTL (0 à 5V) en signaux compatibles avec la liaison série. Ce circuit fonctionne comme un convertisseur à pompe de charge. A partir du +5 V, il fournit du +12 V et du -12 V, et ce grâce aux quatre condensateurs reliés à ses pins. Le cinquième condensateur est destiné à filtrer le +5 V perturbé par les pointes de courant du convertisseur (lors des commutations). Les lignes T_X et R_X sont reliées au microcontrôleur pour établir la transmission.

Nous utiliserons une liaison simplifiée : uniquement les signaux Rx et Tx , sans protocole , afin de simplifier le programme. Le schéma fonctionnel est le suivant :

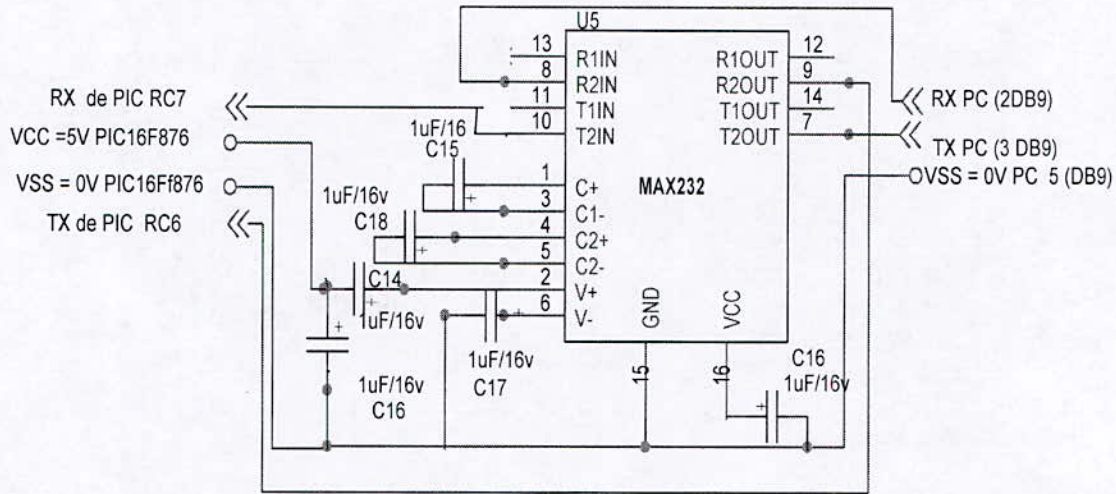


Figure 3.13 : Circuit de liaison RS232

10. Gestion de l'afficheur LCD 2lignes *16carractères

La connexion du PIC16F876 avec un afficheur LCD (2 lignes de 16 caractères) se fait à travers le port B. Le programme contrôle la direction du Port B afin d'accéder aux fonctions de l'afficheur. La direction du port B est changée fin de lire l'indicateur BUSY (annexe B) de telle façon que les boucles d'attentes ne soient pas nécessaire.

Conclusion

Après la réalisation de la carte de puissance, ses différentes parties ont été testées indépendamment. Le réglage des potentiomètres et l'ajustement des gains ont permis de calibrer le régulateur. Les essais opérés sur la carte, grâce à un générateur de tension en guise de batterie, se sont avérés concluants.

Chapitre IV

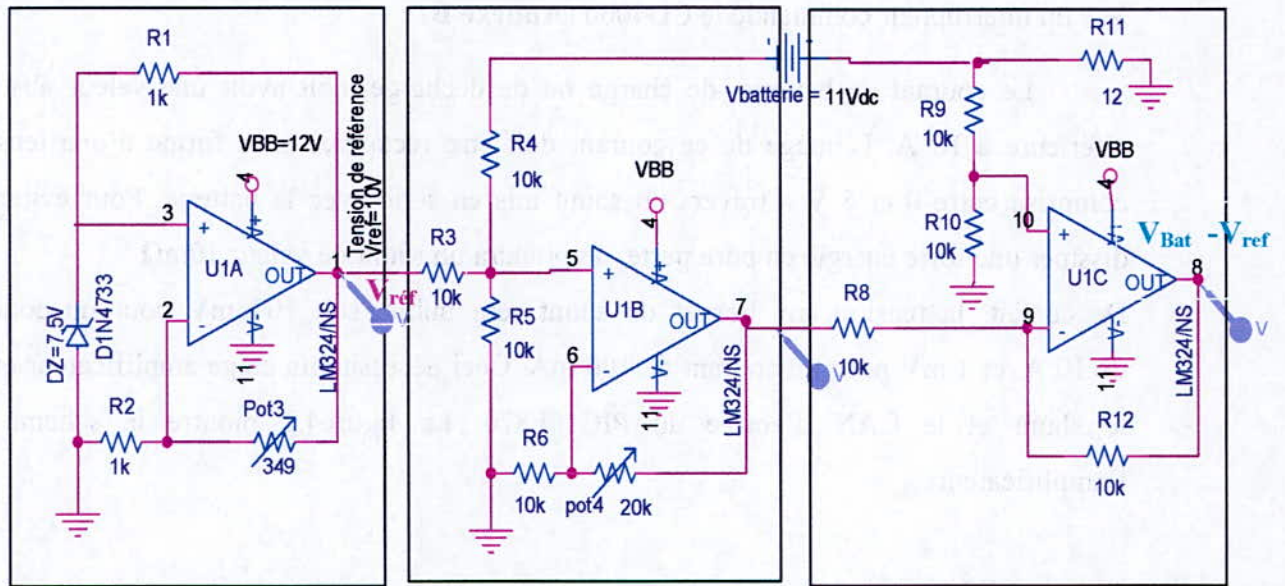
Simulation et Evaluation des Résultats

IV. Schéma électrique fonctionnel

Le régulateur est constitué du microcontrôleur (16F876), des amplificateurs de mise en forme, de l'afficheur (LCD) et du pilote RS232 [22].

IV.1. Mise en forme de la tension de batterie

Comme la tension de la batterie ne peut être convertie directement, une mise en forme est nécessaire. La figure 4.1 suivante montre le schéma du circuit associé.



Bloc tension de référence

Bloc additionneur

Bloc amplificateur différentiel

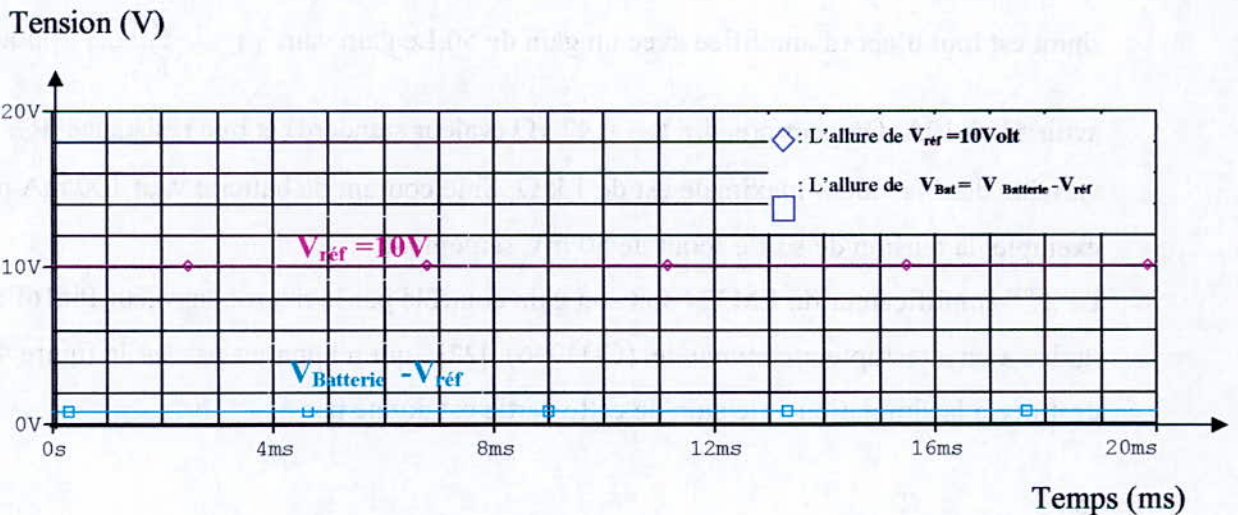


Figure 4.1 : Mesure de la tension de la batterie

Le premier bloc fournit une tension de référence stable de 10V. Elle est ajustable par le potentiomètre trois. Cette tension est additionnée à la tension de la borne négative, puis soustraite de la tension de la borne positive. Le potentiomètre quatre permet d'ajuster le circuit soustracteur. Les amplificateurs sont alimentés entre la masse et la borne ($V_{bb}=12V$) de la batterie.

IV.2. Mise en forme du courant de la batterie

- un amplificateur opérationnel le LM 324 (**Annexe B**)
- un interrupteur commandé le CD4066 (**Annexe B**)

Le courant de batterie, de charge ou de décharge, doit avoir une valeur absolue inférieure à 10 A. L'image de ce courant doit être récupérée sous forme d'une tension comprise entre 0 et 5 V à travers un shunt mis en série avec la batterie. Pour éviter de dissiper une forte énergie en pure perte, on prendra un shunt de valeur $10m\Omega$.

De ce fait, la tension aux bornes du shunt sera faible, soit 100 mV pour un courant de 10 A, et 1 mV pour un courant de 100 mA. Ceci nécessite un étage amplificateur entre le shunt et le CAN d'entrée du PIC16F876. La figure4.2 montre le schéma de l'amplificateur.

Bloc amplificateur

Il est constitué de deux étages amplificateurs à base de LM324. La tension aux bornes du shunt est tout d'abord amplifiée avec un gain de 50. Le gain vaut $(1 + \frac{R_{33}}{R_{37}})$; pour

avoir 5V à 10A. On peut prendre $R_{33} = 47 k\Omega$ (valeur standard) et une résistance R_{37} variable dont la valeur maximale est de $1 k\Omega$. Si le courant de batterie vaut 100 mA par exemple, la tension de sortie serait de 50 mV seulement.

Le 2^{ème} amplificateur du LM324 soit son gain contrôlé par le microcontrôleur Pic16F876, grâce à un interrupteur commandé (CD4066) [22], qui n'apparaît pas sur la figure 4.2 destinée à la simulation, le gain de cette partie est donné par :

$$\frac{S_1}{S} = (1 + \frac{R}{R_9})$$

Avec S : tension de sortie de ce bloc ; S_1 : tension de sortie de 1^{er} étage

R_9 : résistance dont la valeur est de $1k\Omega$;

R : une résistance qui peut prendre des valeurs différentes pour obtenir plusieurs gains, soit 100kΩ ou 50kΩ. Le CD4016B est un circuit intégré composé de quatre interrupteurs indépendants (Annexe B). Mais dans notre cas où on n'utilise que deux parmi les quatre, K1 et K2. Le gain (S/S_1) est donné en fonction des positions des interrupteurs K1 et K2.

1^{er} cas :

K1 et K2 fermés :

Dans ce cas $R_8//R_7 = 33.33k\Omega$. On trouve comme valeur de gain (S_1/S)=40

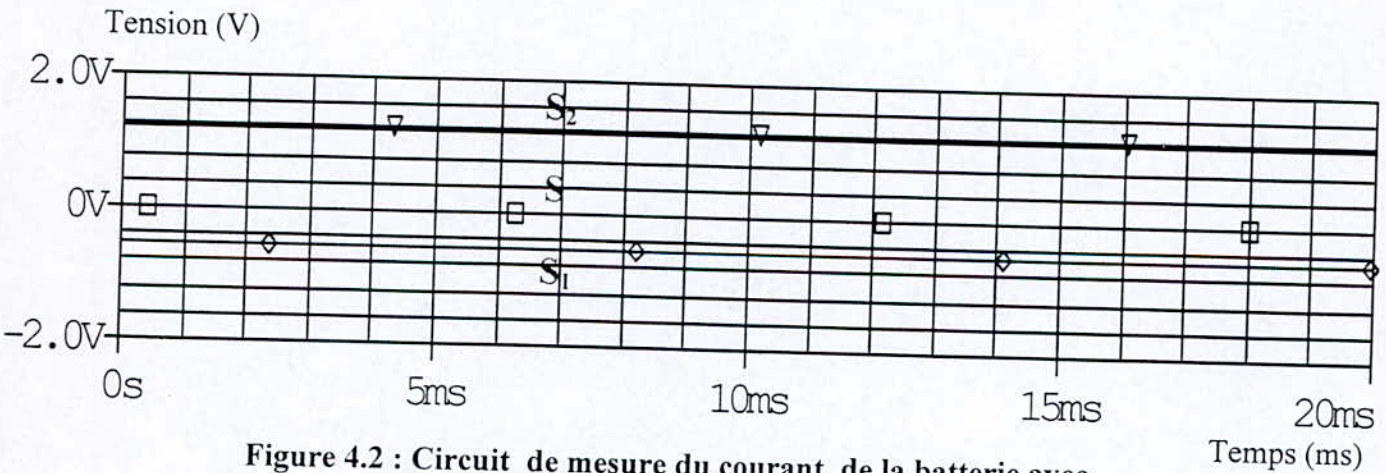
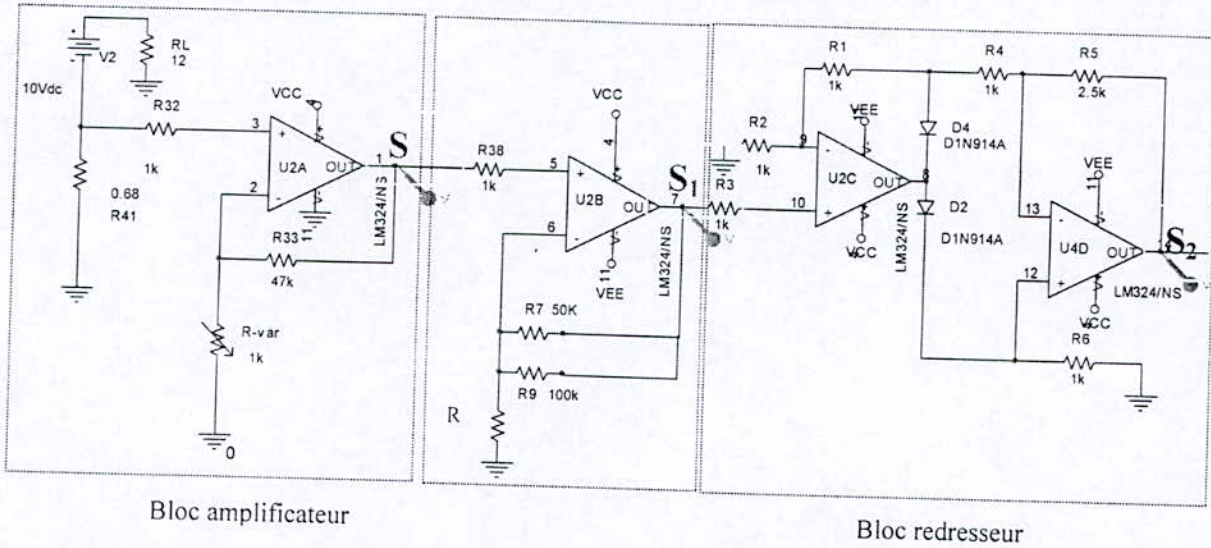


Figure 4.2 : Circuit de mesure du courant de la batterie avec $V_{\text{batterie}} = 10V$

- ◇ : L'allure de Tension S_1 (Volt)
- : L'allure de Tension S (Volt)
- ▽ : L'allure de Tension S_2 (Volt)

2^{ème} cas

K1 fermé et K2 ouvert :

Dans ce cas $R7 = 50k\Omega$. On trouve comme valeur de gain $(S1/S)=50$.

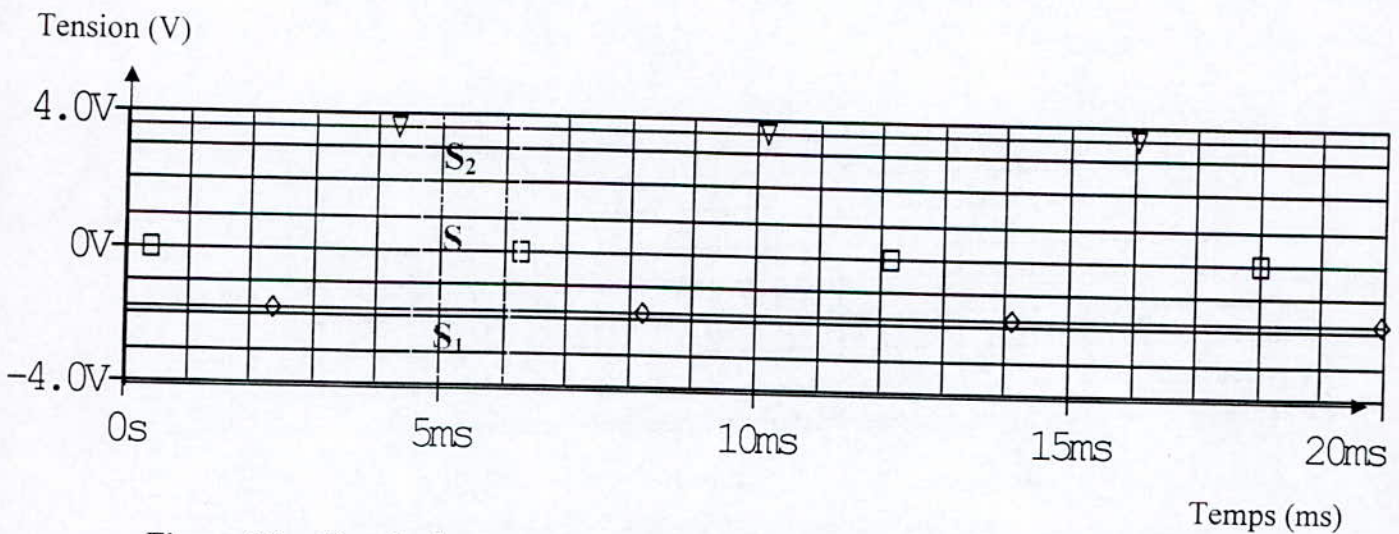
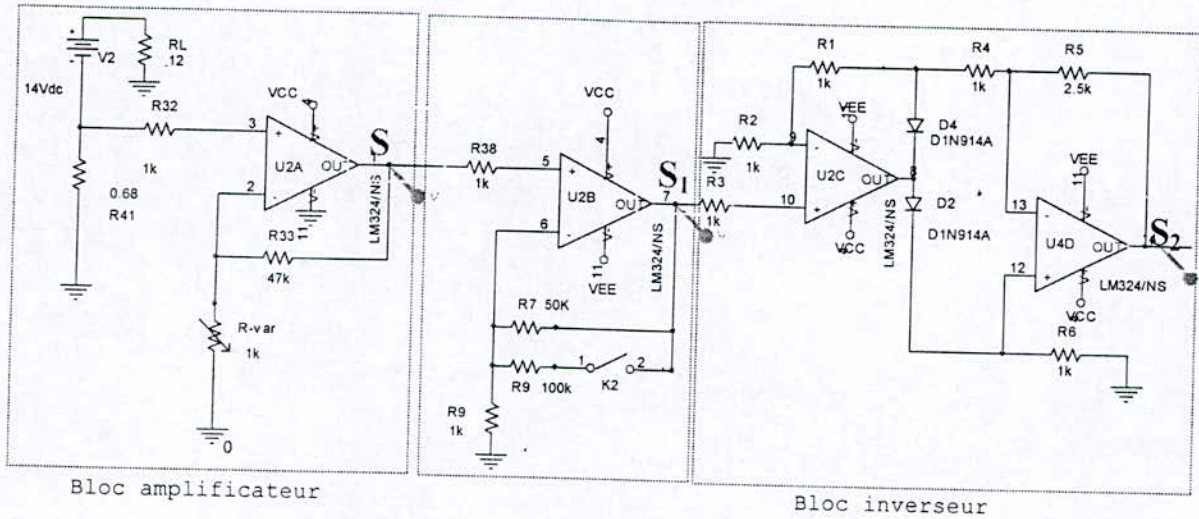


Figure 4.3 : Circuit de mesure du courant de la batterie en état de décharge
Gain =50

- ◇ : L'allure de Tension S_1 (Volt)
- : L'allure de Tension S (Volt)
- ▽ : L'allure de Tension S_2 (Volt)

3^{ème} cas

K1 fermé et K2 ouvert :

Dans ce cas $R7 = 50k\Omega$. On trouve comme valeur de gain $(S1/S) = 50$

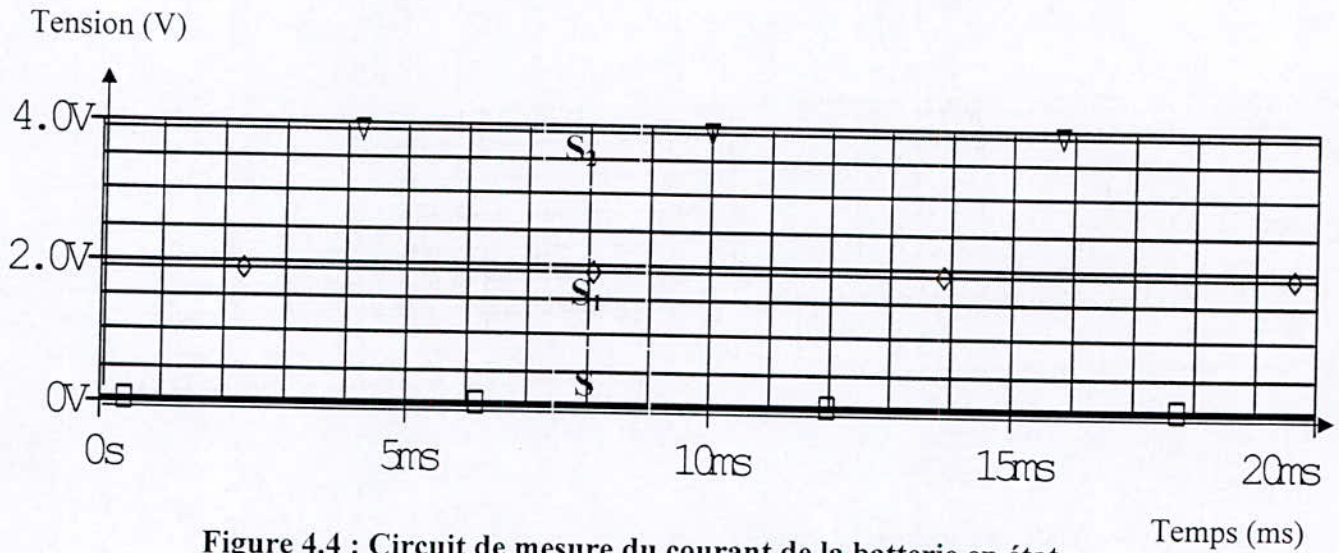
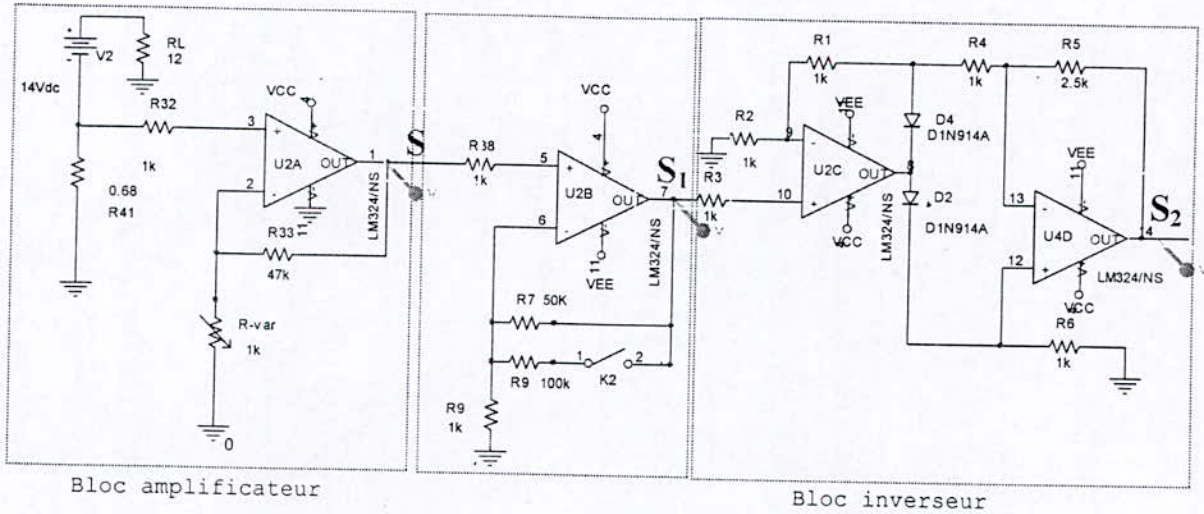


Figure 4.4 : Circuit de mesure du courant de la batterie en état de charge ; gain=50

- ◇ : L'allure de Tension S_1 (Volt)
- : L'allure de Tension S (Volt)
- ▽ : L'allure de Tension S_2 (Volt)

IV.3. Algorithme et fonctions programmés

IV.3.1. Organigramme du programme principal

Nous avons conçu un algorithme qui indique l'état de charge de la batterie de façon assez précise. Le programme est basé sur la capacité et à la durée de vie de la batterie. L'état de la batterie est la base de référence pour toutes les fonctions de régulation et de commande.

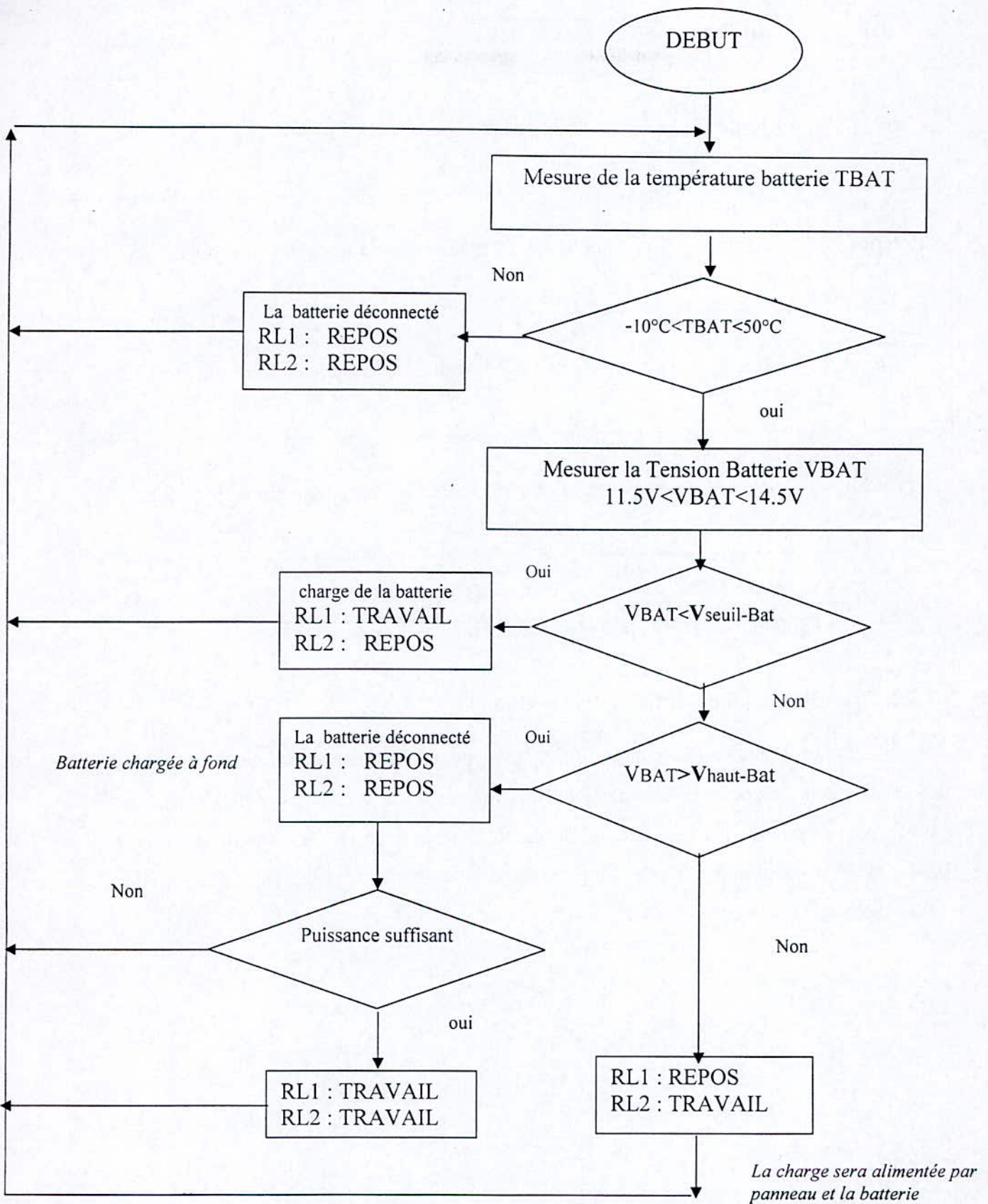


Figure 4.5 : Organigramme de programme de fonctionnement

Relais 1	Relais2	Etats de la batterie, charge RL, générateur photovoltaïque
Repos	Repos	Le panneau solaire alimente la charge ; la batterie est déconnectée
Repos	Travail	Le panneau solaire et la batterie alimentent la charge
Travail	Repos	Le panneau charge la batterie ; la charge RL est déconnectée
Travail	Travail	Le panneau charge la batterie ; la batterie alimente la charge RL

Tableau 4.1 : Table de fonction du circuit de puissance

IV.3.2. Sous Programme d'interruption du timer

Le timer 1 est utilisé comme horloge. A chaque débordement, une lecture de la tension et du courant de la batterie débité sont effectués. Puis on compare les valeurs de tension lues avec les seuils afin de contrôler la fin de charge et de décharge de la batterie. La figure 4.6 explique à l'aide d'un organigramme le fonctionnement de la routine d'interruption.

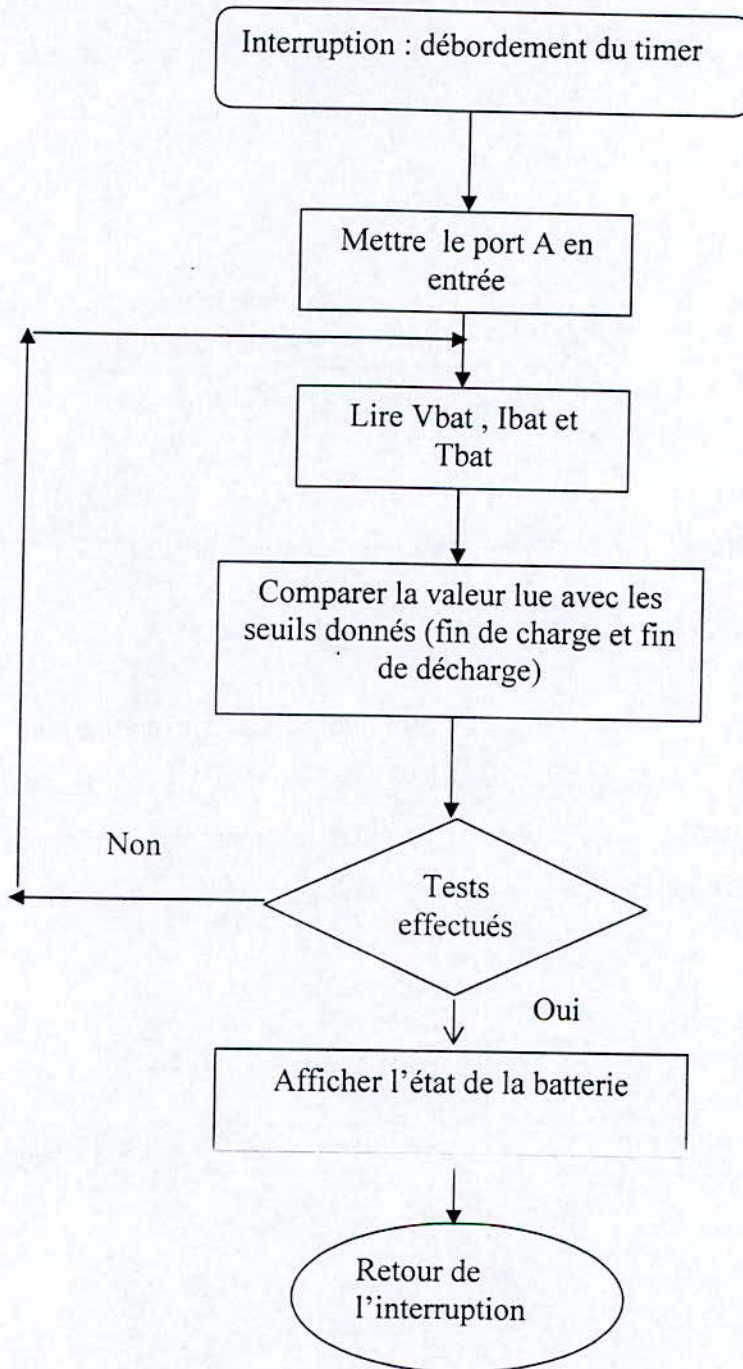


Figure 4.6 : Organigramme de l'interruption timer

IV.3.3. Programme de transmission

Pour communiquer avec l'extérieur, le PIC utilise une liaison RS232. Les liaisons séries permettent la communication entre deux systèmes numériques en limitant le nombre de bits de transmission. La liaison série aux normes RS 232 est utilisée dans tous les domaines de l'informatique (exemple : port de communication com1 et com2 des PC,

permettant, la communication avec des périphériques tels que modem et souris). Elle est du type asynchrone, c'est à dire qu'elle ne transmet pas de signal horloge. Le chargeur ne traite pas la réception. Il ne fait qu'envoyer les données des mesures effectuées. La figure 4.7 montre le schéma fonctionnel de la liaison série.

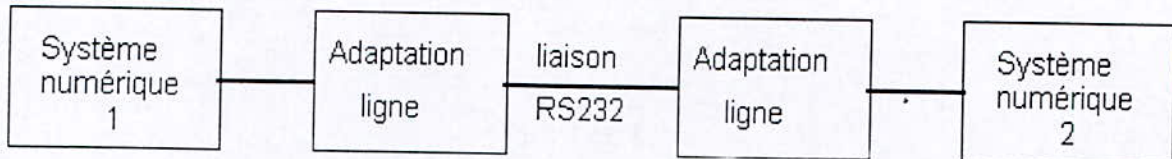


Figure 4.7 : Schéma fonctionnel de la liaison RS232.

IV.3.3.1. Caractéristiques

La transmission série nécessite un minimum de 2 fils comportant les trames de données en émission (Tx) et en réception (Rx). L'adaptation des données se fait à l'aide d'un circuit adaptateur de ligne (exemple : MAX232), qui transforme les niveaux logiques issus du système numérique en niveaux logiques compatibles avec les normes RS232 et vice versa.

Avant adaptation	Après adaptation
Les niveaux logiques sont les suivants :	Les niveaux logiques sont les suivants :
niveau 0 = 0 V	niveau 0 = +12 V
niveau 1 = 5 V	niveau 1 = -12 V

Afin que les éléments de communication soient bien adaptés, il est nécessaire d'établir un protocole de transmission. Ce protocole devra être le même pour les deux éléments afin que la transmission fonctionne correctement. Les Paramètres mis en jeu sont :

- 1- **Longueur des mots** : 7 bits (ex : caractère ascii) ou 8 bits
- 2- **La vitesse de transmission** : les différentes vitesses de transmission retenues sont réglables à partir de 110 bauds (bits par seconde) de la façon suivante : 110 bds, 150 bds, 300 bds, 600 bds, 1200 bds, 2400 bds, 4800 bds, 9600 bds.

3- Parité : le mot transmis peut être suivi ou non d'un bit de parité qui sert à détecter les erreurs éventuelles de transmission. Il existe deux types de parité :

- **parité paire** : le bit ajouté à la donnée est positionné de telle façon que le nombre des états 1 soit paire sur l'ensemble donné + bit de parité.

Exemple : soit la donnée 11001011 contenant 5 état 1, le bit de parité paire est positionné à 1, ramenant ainsi le nombre de 1 à 6.

- **parité impaire** : le bit ajouté à la donnée est positionné de telle façon que le nombre des états 1 soit impaire sur l'ensemble donné + bit de parité.

Exemple : soit la donnée 11001001 contenant 5 état 1, le bit de parité paire est positionné à 0, laissant ainsi un nombre de 1 impair.

Bit de start : La ligne au repos est à l'état logique 1 pour indiquer qu'un mot va être transmis. La ligne passe à l'état bas avant de commencer le transfert. Ce bit permet de synchroniser l'horloge du récepteur.

Bit de stop : Après la transmission, la ligne est positionnée au repos pendant 1, 2 ou 1,5 périodes d'horloge selon le nombre de bits de stop.

Format des trames : Le bit de START apparaît en premier dans la trame puis les données (poids faible en premier), la parité éventuelle et le (les) bit(s) de stop.

Exemple : Soit à transmettre en parité paire, avec 2 bits de stop, le caractère B dont le codage ACCII est $1000010_{(2)}$ aura l'allure suivante :

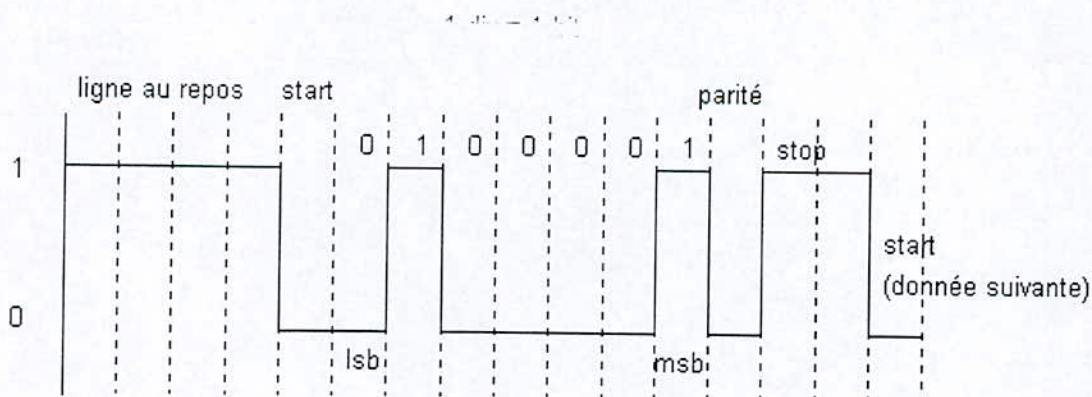


Figure 4.8 : Format d'une allure en transmission RS232

Chaque fois que le bouton de transmission est actionné, une demande de transmission est détectée au niveau du programme principal. La vitesse de transmission peut être spécifiée dans le code source en assignant une valeur au paramètre VITESSE.

IV.3.3.2. Gestion de l'UART de PIC 16F876

Trois instructions seulement sont utilisées pour gérer le port série sur des 16F87x :

- UARTini : initialisation du port série.
- UARTsen : envoi d'un caractère (contenu dans W) sur le port série.
- UARTrec : lecture d'un caractère du port série (caractère reçu dans UARToct).

Il conviendra de configurer correctement les différents registres liés à cette fonction : la troisième colonne correspond à un paramétrage de 4800 Bauds , pas de parité , 8 bits de données , 1 bit de stop. La figure suivante montre l'organigramme de la transmission.

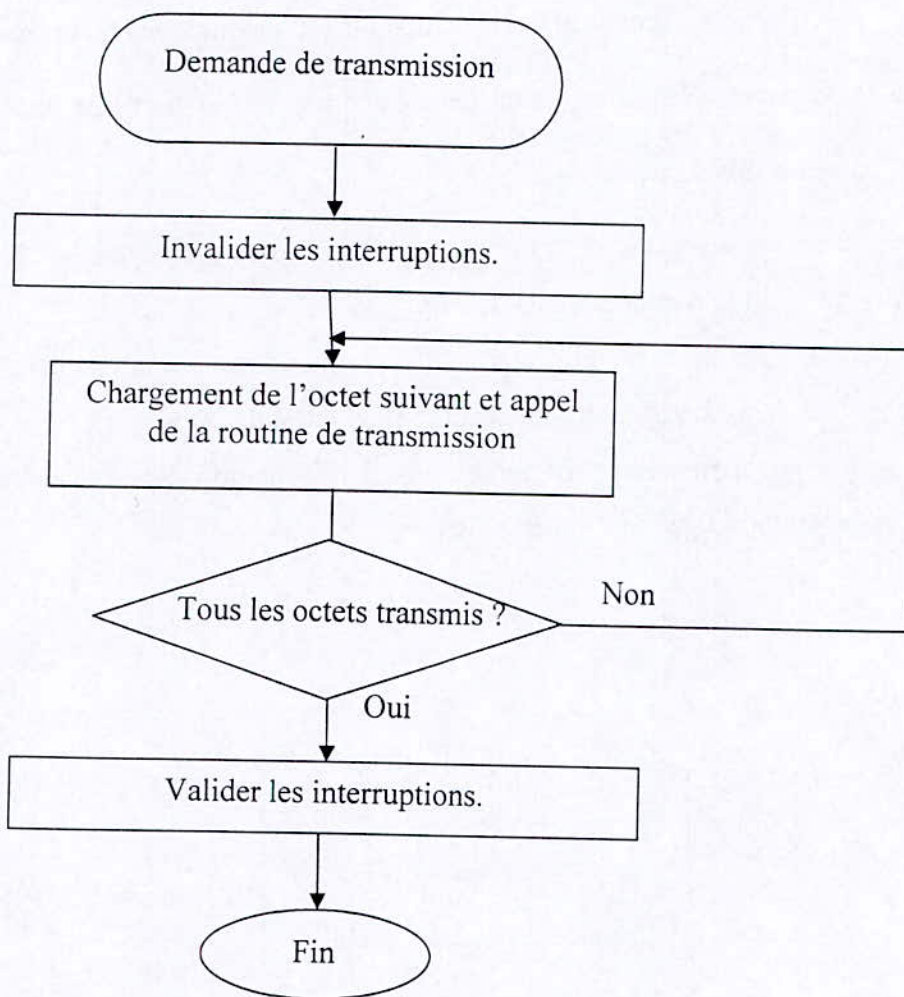


Figure 4.9 : Organigramme de la routine transmission

Conclusion

Pour couronner ce travail, nous avons conçu et réalisé les différentes cartes du régulateur proposé en respectant scrupuleusement les contraintes composées par le cahier de charge. Nous avons également procédé à un certain nombre de mesures de tension, de courants et de la température de la batterie.

De plus, nous avons proposé un algorithme qui a été implémenté au niveau du microcontrôleur PIC16F876 (Annexe C). Cet algorithme permet de contrôler l'état de charge et de décharge de la batterie.

Conclusion Générale

Le projet qui nous a été proposé consiste en l'étude, la conception puis la réalisation d'un régulateur de charge intelligent destiné à une centrale photovoltaïque.

Nous avons choisi le régulateur le plus apte à répondre aux exigences de la batterie d'accumulateurs. C'est un régulateur à base d'un microcontrôleur PIC16F876.

Le champ photovoltaïque est divisé selon le nombre des modules et la puissance du générateur photovoltaïque, pour permettre au régulateur d'avoir en fin de charge un faible courant permettant à la batterie de se maintenir. Le régulateur a été testé au niveau du laboratoire, et les tests ont été concluants. Durant cette période nous n'avons enregistré aucun signe de défaillance, cependant cette période est insuffisante pour tirer des conclusions définitives concernant la fiabilité de notre système. L'utilisation de l'afficheur LCD 2 ligne * 16 caractères nous a permis de tirer certains résultats expérimentaux qui nous ont aidé à confronter la simulation et la pratique.

La conception de ce régulateur correspond aux systèmes de petites et de moyenne puissance pour lesquels aucun instrument additionnel n'est nécessaire.

Le contrôle par microprocesseur, la commutation des lignes de puissance avec les relais et l'utilisation des détecteurs analogiques assurent un niveau minimum de fiabilité. Il serait intéressant comme perspective de miniaturiser plus cet appareil (avec l'usage de composants CMS) et sur tout de pouvoir remplacer les relais électromécaniques par des relais solides qui seraient des transistors MOS. Il serait aussi sans doute intéressant d'adapter l'appareil de façon à ce qu'il soit universel, c'est à dire valable pour tout type de batteries (12V, 14V, 48V) et toute capacité.

☆☆ *Annexes* ☆☆

ESSAIS EXPERIMENTAUX

1. Mode opératoire

1.1. Branchement du générateur

La mesure de la tension du générateur a été prise sur deux modules. La mesure des courants débités par l'ensemble des branches est obtenue grâce à un shunt ($10\text{m}\Omega$) branché à l'entrée du régulateur .

1.2. Branchement des batteries

La batterie d'accumulateurs est subdivisée selon le nombre des batteries et le besoin de stockage, les courants d'entrées et de sorties sont mesurés à l'aide d'un shunt.

1.3. Branchement de régulateur

Les paramètres à mesurer sont le courant (I_{bat}), la tension (V_{bat}) et la température (T_{bat}) de la batterie.

1.4. Paramètres météorologiques

Température ambiante : TA

Eclairement solaire sur le plan des modules Photovoltaïques. Cette mesure utilise un Pyranomètre.

1.5. Essai sur le capteur de température

La méthode donnant les résultats avec une bonne précision, est celle qui consiste à utiliser de l'eau comme milieu ambiant.

A cet effet nous avons rempli un bac d'une quantité d'eau portée à la température de 60°C .

Nous avons fixé un thermomètre et nous avons fait plonger le tout dans le liquide et nous l'avons laisser refroidir. Nous avons effectué l'essai de variation de la résistance en fonction de la température.

1.6. Circuit imprimé et réalisation

A. Circuits imprimés

Le schéma électrique étant décrit dans un logiciel de dessin, on peut en extraire une *NetList*, qui est un fichier contenant toutes les informations concernant les liaisons électriques entre composants et leurs caractéristiques physiques (Printed Circuit Board ou PCB footprint). Cette *NetList* servira, à générer le circuit imprimé. Les composants doivent être alors positionnés de façon cohérente, avant de lancer le routage automatique. Le circuit imprimé présente deux faces, 'top' et 'bottom'. Les figures suivantes montrent les deux faces du circuit imprimé.

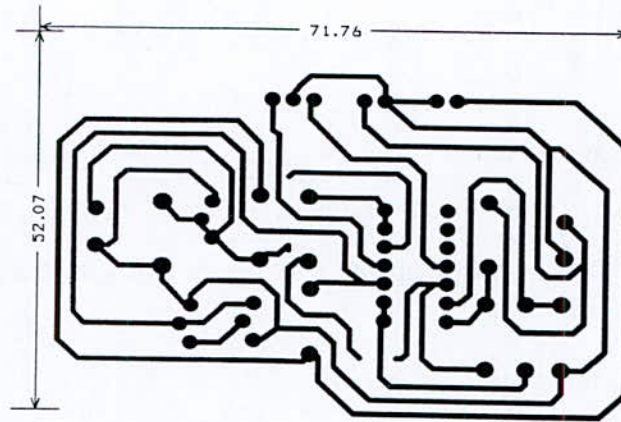


Figure 1: Face 'top' du circuit imprimé de détecteur de température

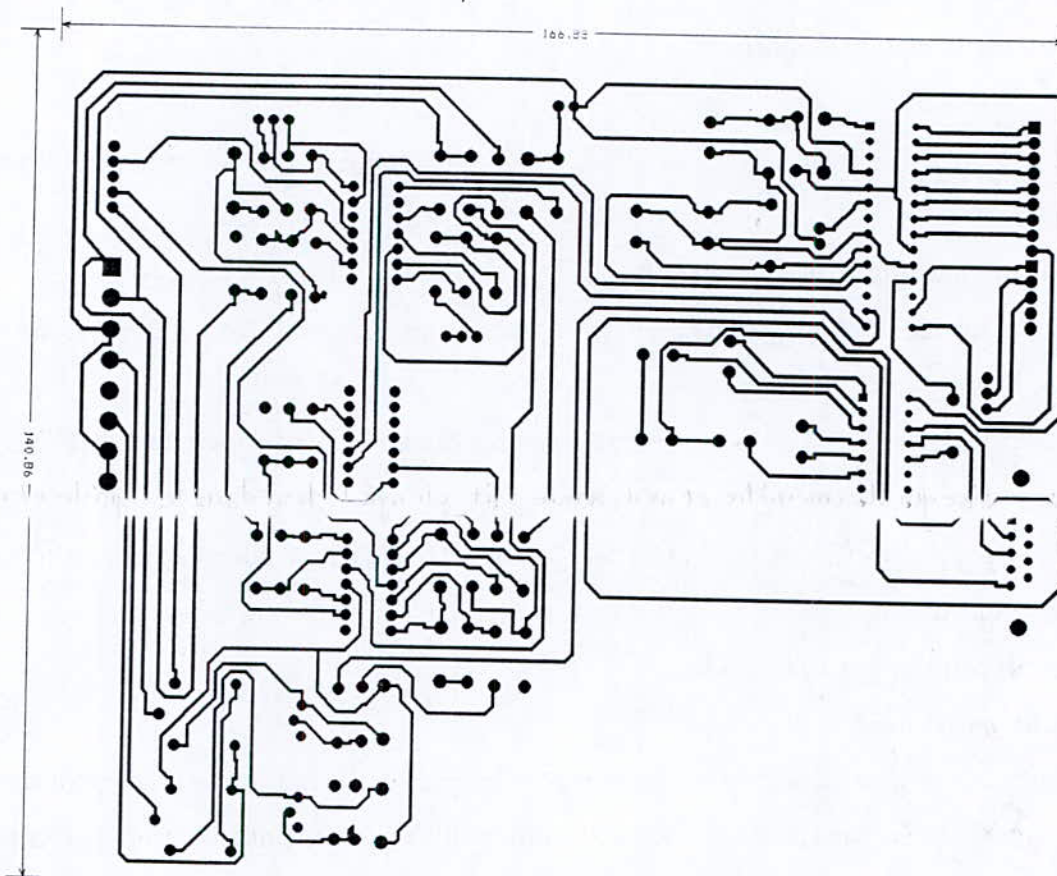


Figure 2: Face 'bottom' du circuit imprimé de la carte de puissance et de commande de régulateur

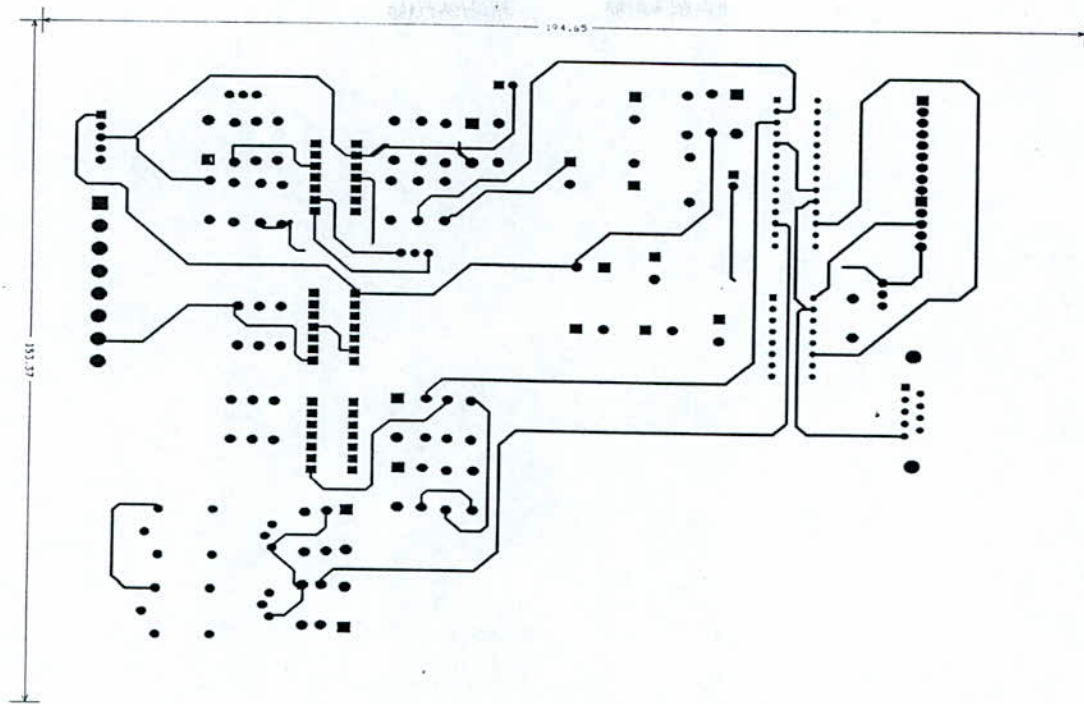


Figure 3 : Face 'top' du circuit imprimé de la carte de puissance et de commande de régulateur

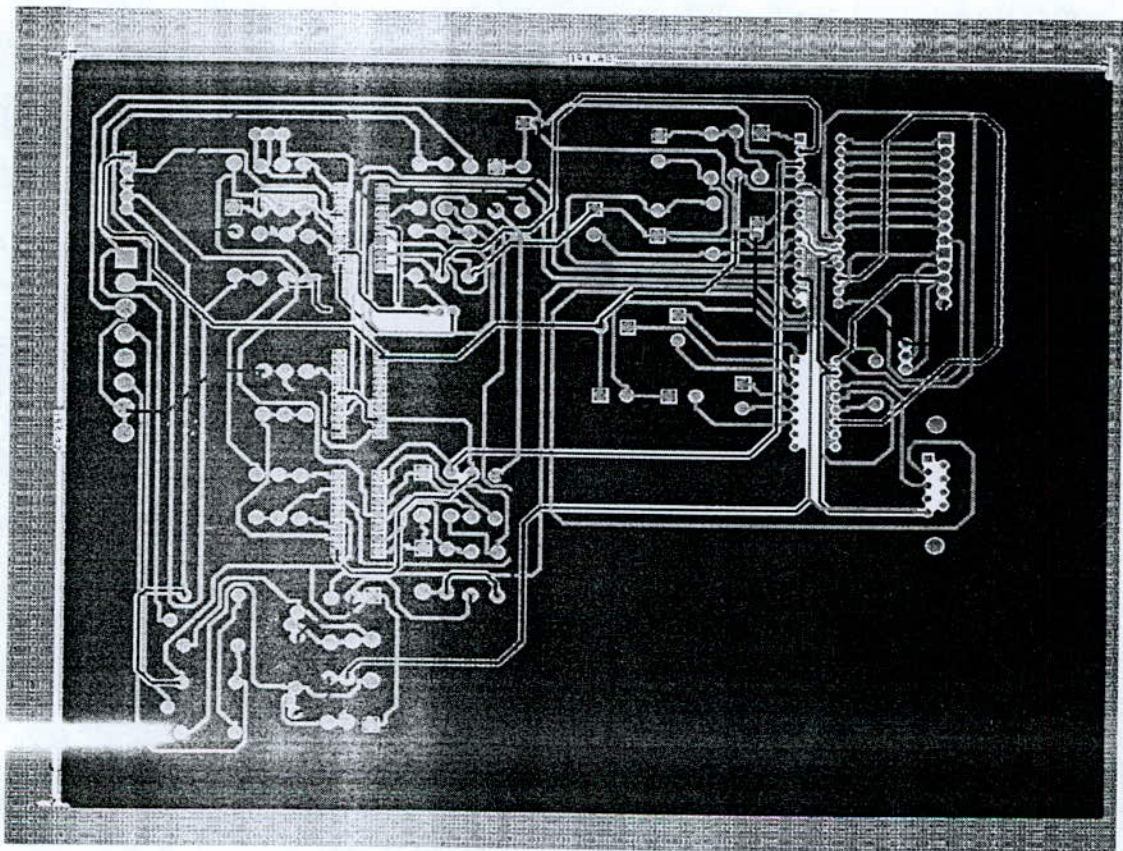


Figure 4 : Face 'top' et 'bottom' du circuit imprimé

1. LE LM324 : quadruple amplificateur opérationnel

1.1. Caractéristique :

- Gain de tension très large : 100dB
- Intensité du courant de polarisation des entrées 20nA
- Ordre d'alimentation est grande

Simple approvisionnement : +3V à +30V

Approvisionnement dual : $\pm 1.5V$ à $\pm 15V$

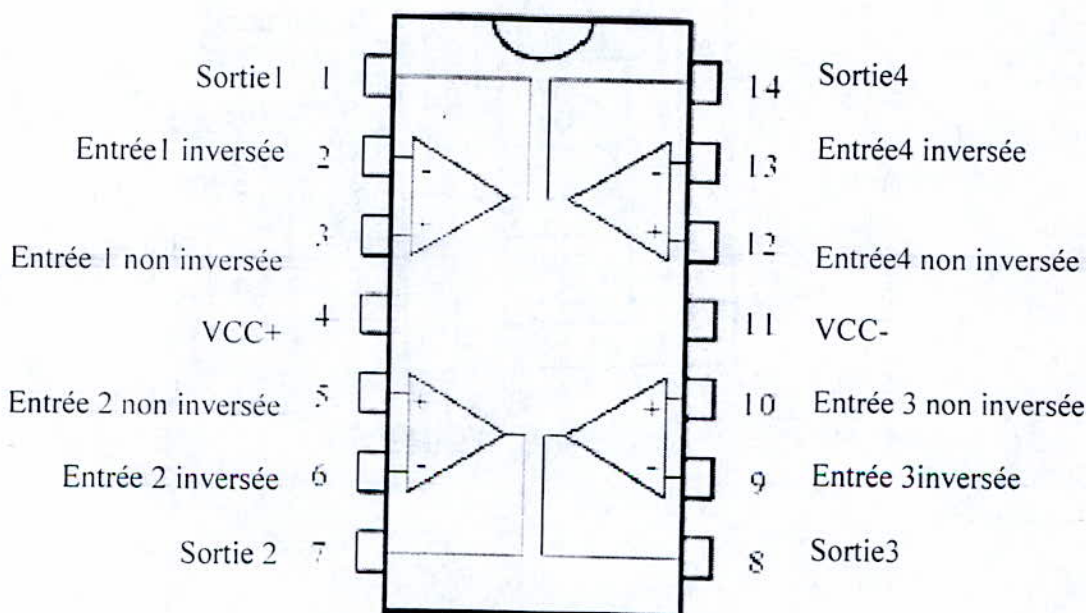


Figure 1 : Description des pins

2. CD 4066B quadruple commutateur bilatéral

Pour la transmission ou le multiplexage des signaux numériques ou analogiques

2.1. Caractéristiques :

- V_{DD} tension d'alimentation de -0.5 à +22 V
- Tension d'entrée V_I de -0.5 à $V_{DD} + 0.5$
- Courant d'entrée $I_I \pm 10mA$
- température de fonctionnement de -55 à +125 °C
- la température de stockage de -65 à +150 °C

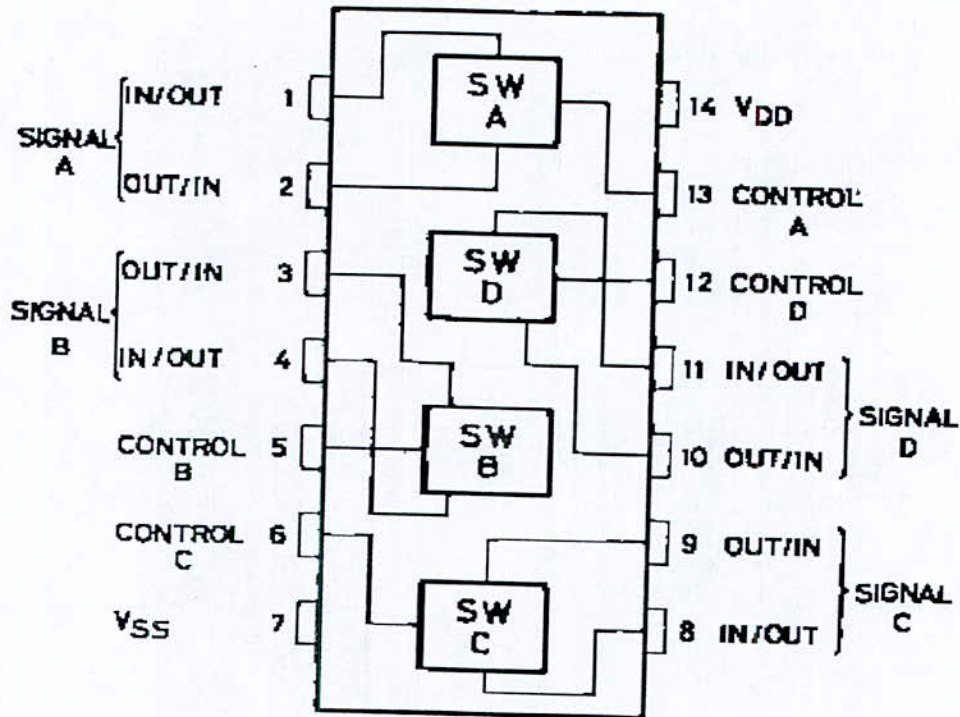


Figure 2 : Schéma d'un CD4016BF

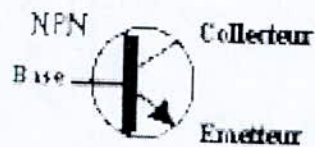
3. Les transistors

3.1. Description du produit

C'est un composant permettant d'amplifier le signal qu'il reçoit. Il comporte 3 pattes repérées respectivement : EMETTEUR, BASE, RECEPTEUR.



Le composant



Le symbole



Le symbole

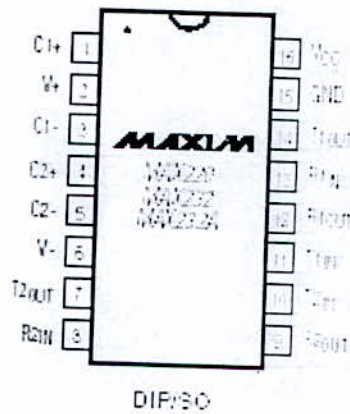
4. MAX 232 : ligne émettrice/ réceptrice :

4.1. Caractéristiques

Tension d'alimentation V_{CC} : entre -0.3 et 6V

- Tensions d'entrées :
 $T_{IN} : -0.3 \text{ à } V_{CC} - 0.3V$
 $R_{IN} : \pm 30V$
 $T_{OUT} : \pm 15V$
- Tensions de sorties :
 $T_{OUT} : \pm 15V$
 $R_{OUT} : \pm -0.3 \text{ à } (V_{CC} + 0.3)$

Type		Maximum rating		Characteristics at 25°C					
NPN	PNP	Ptot (mW)	VCE0 (V)	h21E min	h21E max	VCE(SAT) max (V)	/IC / IB (mA)	fT min (MHz)	FB 1KHz max (dB)
BC548		500	30	110	800	0,6	100/5	300§	10



DEVICE	C1	C2	C3	C4	C5
MAX220	47	47	10	0	47
MAX232	10	10	10	0	10
MAX232A	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

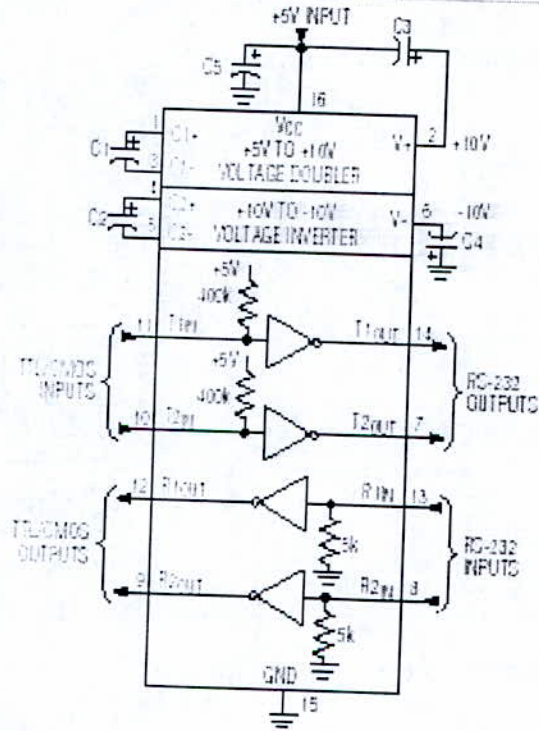
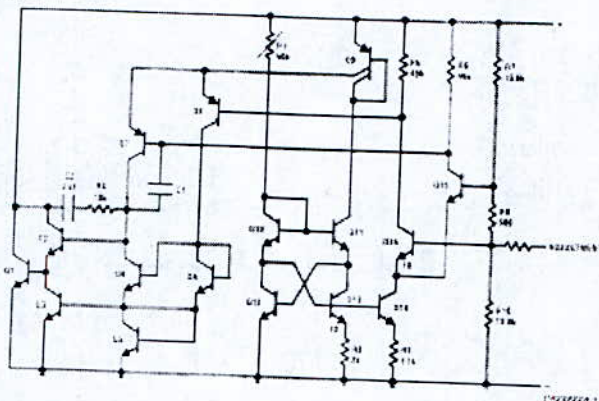


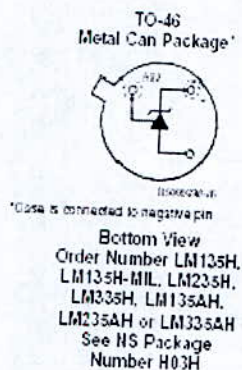
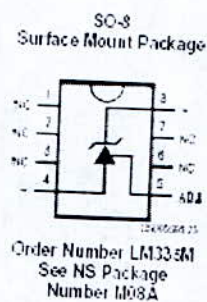
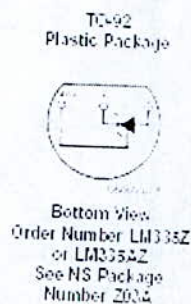
Figure 6 : Configuration des pins du MAX232.

5. Le capteur de température LM335A

5.1. Schéma diagramme



5.2. Configuration des Pins



6. Les Afficheurs à Cristaux Liquides

6.1. Introduction

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (LCD = Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA), sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité.



Ils sont très utilisés dans les montages à microcontrôleur, et permettent une grande convivialité. Ils peuvent aussi être utilisés lors de la phase de développement d'un programme, car on peut facilement y afficher les valeurs de différentes variables.

6.2. Principe des cristaux liquide

L'afficheur est constitué de deux lames de verre, distantes de 20 μm environ, sur lesquelles sont dessinées les mantisses formant les caractères. L'espace entre elles est rempli de cristal liquide normalement réfléchissant (pour les modèles réfléchitifs). L'application entre les deux faces d'une tension alternative basse fréquence de quelques volts (3 à 5 V) le rend absorbant. Les caractères apparaissent sombres sur fond clair. N'émettant pas de lumière, un afficheur à cristaux liquides réfléchitif ne peut être utilisé qu'avec un bon éclairage ambiant. Sa lisibilité augmente avec l'éclairage. Les modèles transmissifs fonctionnent différemment: normalement opaque au repos, le cristal liquide devient transparent lorsqu'il est excité; pour rendre un tel afficheur lisible, il est nécessaire de l'éclairer par l'arrière, comme c'est le cas pour les modèles rétro éclairés.

6.3. Brochage

Un circuit intégré spécialisé est chargé de la gestion du module. Il remplit une double fonction : d'une part il commande l'affichage et de l'autre se charge de la communication avec l'extérieur. Les connexions à réaliser sont simples puisque l'afficheur LCD dispose de peu de broches. Il faut évidemment, l'alimenter, le connecter à un bus de donnée (4 ou 8 bits), et connecter les broches E, R/W et RS.

PIC 16F876 & Programme En PICC

I. Datasheet du PIC 16F876

I.1. Caractéristiques générales de la famille PIC 16F8XX

Le 16F876 et le 16F877 (et d'autres) font partie de la sous-famille des 16F8XX. Cette branche fait partie intégrante de la grande famille des PICs Mid-Range, au même titre que le 16F84 dont je parle dans le précédent ouvrage. On peut considérer que le 16F84 constitue le circuit d'entrée de gamme de cette famille, alors que le 16F876 représente la couche supérieure. De nouveaux circuits ne devraient probablement pas tarder à améliorer encore les performances.

Les PIC 16FXXX sont des microcontrôleurs 8 bits (largeur du bus de données) conçus en technologie CMOS (faible consommation électrique).

Tous les PIC 16FXX utilisent une architecture **RISC** (Reduce Instruction Set Computer -> Processeur à jeu d'instructions réduit). La séparation des bus instructions et données de l'architecture HARVARD souvent opposée à l'architecture VON NEUMAN, permet d'avoir des instructions codées en un seul mot de 14 bits, tout en manipulant des données d'une largeur classique de 8 bits. Chaque instruction est exécutée en un seul cycle, à l'exception des instructions de branchement qui en nécessitent 2.

Les différences fondamentales entre ces PICs sont donc les quantités de mémoires disponibles, le nombre d'entrées*sorties, le nombre de convertisseurs de type « analogique*digital » (dire « analogique*numérique », et le nombre et le type des ports intégrés.

I.2 Le PIC 16F876

I.2.1. Présentation générale

La mémoire programme composée de 1024 mots de 14 bits.

- ❖ Les 3 68 octets de RAM
- ❖ 256 octets de EEPROM pour des données de configuration ou d'exploitation (consignes...)
- ❖ Mémoire Flache 8 Ko
- ❖ la présence de 3 timer et d'un chien de garde.
- ❖ la présence d'un port A (7 lignes) et d'un port B (8 lignes) et d'un port C (8 lignes), 22 de I/O : ports Entrés / Sorties

- ❖ 5 CAN*10 bits intégrés par mis les 7 lignes de port A
- ❖ Un Port Série USART*MSSP

I.2.2. Schéma fonctionnel

FIGURE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 BLOCK DIAGRAM

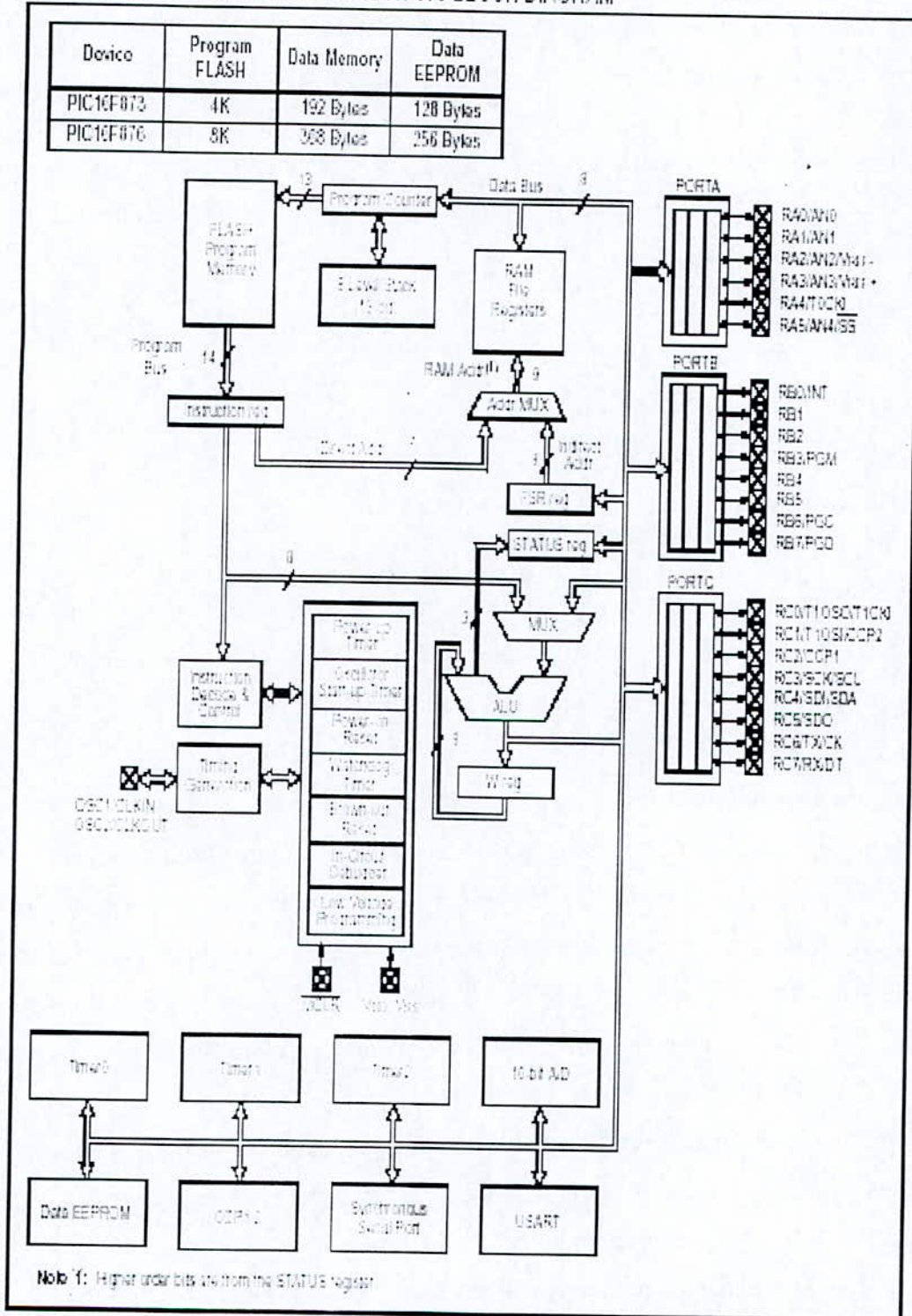


Figure.1.

I.2. 3. Organisation mémoire

Comme mentionné précédemment, on distingue 3 zones distinctes :

- ❖ la zone donnée
- ❖ la zone programme
- ❖ Flash mémoire EEPROM

Possédant chacune leur propre bus.

I.2.4. Organisation de la RAM

Nous voyons donc que la mémoire RAM disponible du 16F876 est de 368 octets. Elle est répartie de la manière suivante :

- 1) 80 octets en banque 0, adresses 0x20 à 0x6F
- 2) 80 octets en banque 1, adresses 0xA0 à 0XEF
- 3) 96 octets en banque 2, adresses 0x110 à 0x16F
- 4) 96 octets en banque 3, adresses 0x190 à 0x1EF
- 5) 16 octets communs aux 4 banques, soit 0x70 à 0x7F = 0xF0 à 0xFF = 0x170 à 0x17F = 0x1F0 à 0x1FF

si vous accédez au registre (adresse mémoire RAM) 0x70 ou au registre 0XF0, et bien vous accédez en réalité au même emplacement. Ceci à l'avantage de permettre d'utiliser ces emplacements sans devoir connaître l'état de RP0,RP1, et IRP.

2.3. Structure Interne du 16F876

Regarder la structure interne du 16F876, schématisée figure .1. du datasheet.

Nous constatons en premier lieu, les largeurs de bus internes sont les mêmes que pour le 16F84, c'est à dire que nous devons faire face aux mêmes contraintes pour les accès aux différentes banques et registres .Ensuite , nous constatons la présence de plus de ports, ce qui augmente d'autant le nombre d'entrées*sorties disponibles .Viennent ensuite les timers, au nombre de 3 au lieu d'un seul pour le 16F84. A côté de ces timers on remarquera la présence d'un convertisseur analogique de 10 bits. Au vu de ce schéma-bloc et des indications précédentes, on peut donc dire, pour dégrossir le sujet de manière approximative, qu'un 16F876, c'est un 16F84 doté en supplément :

- 1) De plus de mémoire RAM (répartie sur 4 banques), Flash, et EEPROM Figure .2.
- 2) De plus de ports d'entrée*sortie
- 3) De plus de timers
- 4) De nouvelles fonctionnalités, comme les gestions de ports « série »

5) D'un convertisseur A*D (analogique*numérique) à plusieurs canaux d'une résolution de 10 bits.

2.4. L'horloge

Ce circuit fonctionne avec un oscillateur à quartz de 4MHz, soit un temps machine de 1µs.

2.5. Les entrées analogiques

On utilise le convertisseur analogique-digital intégré pour faire la mesure de 4 entrées Analogiques :

- mesure de tension accu à charger*décharger
- mesure du courant de charge*décharge
- mesure de température

2.5. Les entrées-sorties utilisées

On utilise

- 1 sortie PWM pour réaliser la consigne de courant de charge*décharge
- les 2 broches TX et RX pour communiquer éventuellement avec un PC
- 2 broches en sorties pour définir le calibre de mesure de tension de l'accu
- 1 sortie pour la commande du buzzer
- 1 sortie pour la commande de décharge
- 1 sortie pour la commande de charge
- 7 broches pour la commande d'un afficheur LCD

3. Dimensionnement et calcul de tension de la batterie

La tension de batterie est donnée par :

$V_B = V_B^* + 10$; V_B^* est la tension de batterie à l'entrée du convertisseur (de 0 à 5V).

Selon la formule de conversion ;

$$V_B^* = \frac{5}{1024} \times T_{cbat}$$

; T_{cbat} est la sortie du convertisseur.

Ainsi, la tension de batterie est :

$$V_B = \frac{5}{1024} \times T_{cbat} + 10$$

Le courant de charge est calculé à partir de la tension aux bornes du shunt de 0.01Ω.

$$I_{shunt} = \frac{V_{shunt}}{0.01 \Omega}$$

******Programme principal******

```
#include <16f876.H>
#device PIC16F876
#include <c:\program files\picc\drivers\ltc1298.c>
#include <c:\program files\picc\drivers\lcd.c> ** pour LCD chemin complet
```

*****programme principal*****

```
main()
{
    long int
    value,VBAT,TBAT,VseuilBat,VhauteBat,VTEMPBAT,VSHUNT,ISHUNT;
    ** remarque : 5V <=> 1024 (10 bits)
    VseuilBat = 204;    ** <=> 1 volt
    VhauteBat = 820;   ** <=> 4 volt
    adc_init(); ** intialisation du convertisseur
    ** initialisation des sorties
    setup_ccp1 (0);
    setup_ccp2 (0);
    output_bit( PIN_C1,0 );
    output_bit( PIN_C2,0 );

    do {
        delay_ms(5000); ** affichage chaque 5 secondes

        VTEMPBAT = read_analog(4);           ** lecture TBAT
        TBAT = ((VTEMPBAT * 5) * 1024) * 0.05; ** degré
        printf(lcd_putc,"TBAT = %ld Degrée célcusse ",TBAT);

        VBAT = read_analog(0); ** Lecture VBAT
        printf(lcd_putc,"VBAT = %ld",VBAT);

        VSHUNT = read_analog(1); ** Lecture VBAT
        ISHUNT = ((VSHUNT * 5)*1024)* (0.68);
        printf(lcd_putc,"ISHUNT = %ld",ISHUNT);

        ** PIN_C1 <=> Relais1 => Entre Batterie et Paneaux
        ** PIN_C2 <=> Relais2 => Entre Batterie et la charge
        ** display_data( value );

    if (VBAT < VseuilBat)
```

```
{
    output_bit( PIN_C1,1 );
    output_bit( PIN_C2,0 );
}

else
{
    if ( VBAT > VhauteBat )
    {
        output_bit( PIN_C1,0 );
        output_bit( PIN_C2,0 );
    }
    else
    {
        output_bit( PIN_C1,0 );
        output_bit( PIN_C2,1 );
    }
}

if( (TBAT < 50 ) & ( TBAT > 1))
{
    output_bit( PIN_C1,0 );
    output_bit( PIN_C2,0 );
}

} while (TRUE);
}
}
```

1. Détecteur de tension

Les Composants	Les valeurs
R17	1K
R18	POT 1 10K
R19	1K
D8	DZ 7.6V
R21	10K Ω
R22	10K Ω
R23	10K Ω
R24	10K Ω
R25	10K Ω
R26	10K Ω
R27	10K Ω
R28	10K Ω
R29	10K Ω
LM324/NS	Annexe B

2. Détecteur de courant

Les composants	Les valeurs
R13	1K Ω
R14	0.68K Ω
R12	1K Ω
R11	47K Ω
R10	1K Ω
R7	100K Ω
R8	50K Ω
R9	1K Ω
R1	1K Ω
R2	1K Ω
R3	1K Ω
R4	1K Ω
R5	1K Ω
R6	1K Ω
R15 ;R16	1K Ω
R31 ;R30	4.7K Ω
Q5;Q6	BC548A
D6;D5	1N4148
CD4066	Annexe B
LM324/SN	Annexe B

3. Détecteur de Température

Les composants	Les valeurs
R1	4.7K Ω
R2	1K Ω
R3	2K Ω 1%
R4	10K Ω 1%
R5	1K Ω
LM324/SN	Annexe B
DZ	5.6
C2	10 μ F
C1	100 μ F
P2	10K Ω
P1	10K Ω
Relais1;2	RP1-SPDT

4. Circuit de contrôle et de commande

Les composants	Les valeurs
Pic16F876	Voir Annexe C
Quartz	4MHZ
D20	1N4148
Max 232	Annexe B
R11	47K
C12	10 μ F
C10;C11	22PF
C14;C15;C16;C17;	1 μ F
Connecteur série	DB09
SW3	BP

Bibliographie

- [1] A.Labouret , P.Cumunel , J.Paul Braun et B.Faraggi , *Cellules solaires, les bases de l'énergie photovoltaïque*, Dunod ,Paris 2001
- [2] A. Mermoud , *PVSYST a user friendly software for pv systems simulation*,13th european photovoltaic solair energy ,1991
- [3] M.A.S. Masoum, M. Sarvi , *Simulation and construction of a new fuzzy-based maximum power point tracker for photovoltaic applications. AUPEC 02-10-2002* ,
- [4] " Recherche photovoltaïque " .Yves Mafraing. Système Solaire n° 136, mars-avril 2000.
- [5] " Crystec Technology Trading GmbH. Matériel pour l'industrie du semi-conducteur". Koyo Thermo Systems.
- [6] " Procédés propres et rapides de fabrication des photopiles " par Jean-Claude Muler. Groupe photovoltaïque du laboratoire PHASE - CNRS. 31 novembre 1996.
- [7] M. Ishengoma, E. Norum, *Design and implementation of digitally controlled stand-alone photovoltaic power supply*. Nordic Workshop on power and Industrial Electronics (norpie 2002), Stockholm, Sweden. 12-14 aug. 2002.
- [8] A. Hoque and K.A. Wahid, *New mathematical model of a photovoltaic generator (pvg)*. Journal of Electrical Engineering vol. ee 28, no. 1, june 2000
- [9] A .Hansen, , P. Sørensen., L. Hansen, H. Bindner, , *Models for stand-alone pv system 2000*, Riso National laboratory, Roskilde, Denmark, isbn 87-550-2774-1
- [10] T. Robbins, J.Hawkins, *Battery model for over-current protection simulation of dc distribution systems*.
- [11] M.A.S. Masoum, M. Sarvi . *Simulation and construction of a new fuzzy-based maximum power point tracker for photovoltaic applications*. ilee papers, 13-jul-2002
- [12] Partein, L.D. *Solar Cells and Their Applications*, Wiley, 1995.
- [13] A.Adane and T.Tacfticht" An optimum regulator device for stand-alone photovoltaic systems". World renewable Energy Congress, 2. 231, Reading, U.K
- [14] Z.Salameh and D.Taylor "Step-up maximum power point tracker for photovoltaic arrays". *Solar Energy*, 44(1), 57-61 (1990)
- [15] D.B.Snyman and J.H.R.Enslin "An experimental evaluation of MPPT converter topology for PV installations. *Renewable Energy*, 3, (8), 841-848 (1993)
- [16] L.Van de Merwe."Maximum Power Point Tracking Implementation Strategies" *Renewable Energy*, Vol.2, n°6, pp.214-217, 1998

- [17] H.Sugimob "A New Scheme for Maximum Photovoltaic Power Point Tracking Control" IEEE pp.691-696, 1999.
- [18] M.Firas Sharaif, C.Alonso, A.Martinez, *A simple and robust maximum power point control (mppc) for ground photovoltaic generators*, LAAS report 00621, April 2000
- [19] F. Delfosse, *Determination de l'état de charge des batteries d'un véhicule électrique*. PFE, Université de Liège, Année académique 1997-1998
- [22] C. TAVERNIER, *Applications Industrielles des PIC, Paris, DUNOD, 2001*.
- [23] BIGONOFF, La Programmation des PIC, site Web : www.abcelectronique.com/bigonoff.
- [24] G. CAILLON, *Accumulateurs portables, Techniques de l'ingénieur Traité Electronique*, Volume E2 140.
- [25] Bechtel national, *Handbook for battery energy storage photovoltaic power systems*. Inc. San Francisco, California. 116p, 1979.
- [26] N.Achaibou. Thèse de magistère, *Introduction à l'étude du système de stockage dans un système photovoltaïque*, Université, Blida, 2001.
- [27] M.A.Dasoyan, I.A.Aguf. *current theory of acid batteries*, Teckno copy limited, England, 1979
- [28] M.Jaquier, *Accumulateur, Techniques de l'ingenieur* 1981.

Sitographie

WWW.Pvsyst.com

WWW.Photowatt.com

WWW.Firstsolar.com

WWW.Afme.com

WWW.Devloper.com

WWW.Solarix.com