

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : RESEAUX ELECTRIQUES

Présenté par
Souhila AKHMOUM
Aghilas YAHMI

Thème

REALISATION D'UNE CARTE DE RECHERCHE DE POINT DE PUISSANCE MAXIMALE

Mémoire soutenu publiquement le 06/10/2015 devant le jury composé de :

M^r Mustapha ZAOUIA
M.C.A, UMMTO, Président

M^r Hakim DENOUN
M.C.A, UMMTO, Encadreur

M^r Nabil BENYAHIA
M.C.B, UMMTO, Co-Encadreur

M^r Rabah KHALDI
M.A.A, UMMTO, Examineur

M^r Hakim DJOUDI
M.A.A, UMMTO, Examineur

Remerciement

Merci à Dieu de nous avoir donné la force, la foi et le courage afin de mener ce travail jusqu'à terme.

Nous remercions notre encadreur M^r H. DENOUN pour ses conseils judicieux, son suivi attentif et sa confiance qui nous a été très précieuse. De plus, nous tenons à le remercier pour nous avoir assuré l'encadrement et la documentation nécessaire pour l'élaboration de ce mémoire.

Nous tenons également à remercier notre Co-promoteur M^r N. BENYAFSA pour son soutien et ses orientations pour l'accomplissement de ce présent travail.

Nous remercions ainsi tous les enseignants du département d'électrotechnique de l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, pour les efforts qu'ils fournissent pour promouvoir le niveau de formation des étudiants.

Nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenus notamment dans les moments difficiles.

Nous remercions les membres du jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.

Enfin, nous tenons à remercier fortement nos familles respectives, particulièrement nos parents, nos frères et sœurs pour leurs soutiens permanents.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- ✓ *Mes chers parents qui m'ont toujours soutenu, encouragé et aidé ;*
- ✓ *Mes frères et sœurs ;*
- ✓ *Mon neveu « RAYFEN » ;*
- ✓ *Mes cousins, cousines et toute la famille ;*
- ✓ *Tous mes amis sans exception ;*
- ✓ *À la mémoire de mes grands parents et ma cousine.*

A. SOUHLA

Je dédie ce modeste travail à :

- ✓ *Mes chers parents ;*
- ✓ *Mon frère, mes sœurs et leurs enfants Aysane et Maylisse ;*
- ✓ *Ma chère grand-mère ;*
- ✓ *Tous mes amis (es).*

Y. AGHILAS

Nomenclature

C : Condensateur [F]

D: Diode

F_r : Fréquence de rotation [Hz]

F_s : Fréquence de synchronisme

G : L'éclairement solaire

GPV : Générateur photovoltaïque

$I(k)$: Intensité en sortie du panneau à l'itération k

I_c : Courant qui traverse le condensateur

I_{ch} : Courant de charge

I_D : Courant de la diode

I_L : Courant dans l'inductance [A]

I_{ph} : Courant généré par les photons ou photo-généré

I_{PV} , V_{PV} : Courant et tension fournis par la cellule

I_{pv} : Courant de sortie du générateur photovoltaïque

I_{sc} : Le courant de court-circuit [A]

K : Interrupteur

L: Inductance [H]

MLI (PWM) : Modulation de la Largeur d'Impulsion

MPPT : Recherche de point de puissance maximale

P&O : Perturbation et Observation

$P(k)$: Puissance en sortie du panneau à l'itération k

PPM : Point de puissance maximale

P_{pv} : Puissance de sortie du générateur photovoltaïque

R : Résistance [Ω]

T : Période de découpage du signal de commande de l'interrupteur [s]

$V(k)$: Tension en sortie du panneau à l'itération k

V_b : Tension de la batterie

V_{ch} : Tension de PV [V]

V_{oc} : La tension de circuit ouvert [V]

V_{pv} : Tension de panneau

V_{pv} : Tension de sortie du générateur photovoltaïque

α : Le rapport cyclique

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	1
------------------------------------	---

Chapitre I: généralités sur le système de pompage photovoltaïque

I.1. Introduction.....	3
I.2. L'effet photovoltaïque.....	3
I.2.1. Principe de fonctionnement	3
I.3. Cas d'une cellule idéale	4
I.3.1. Groupement série	4
I.3.2. Groupement en parallèle	5
I.4. Différents types de cellules photovoltaïques	5
I.4.1. Cellules au silicium mono-cristallin	5
I.4.2. Cellules au silicium poly-cristallin	6
I.4.3. Cellules au silicium amorphe.....	6
I.5. les modules photovoltaïque.....	7
I.6. Influence de l'ensoleillement et de la température	8
I.7. Les différents types de panneaux solaire	11
I.7.1.le panneau solaire photovoltaïque	11
I.7.2.panneau solaire thermique et thermodynamique	11
I.8.avantages et inconvénients du système photovoltaïque.....	11
I.8.1.inconvénients	11
I.8.2.avantages.....	11
I.9. avenir du photovoltaïque.....	12
I.10. la commande MPPT (Maximum Power Point Tracker)	12
I.10.1Principe de la recherche du point de la puissance maximal.....	12
I.11.Les convertisseurs	13
I.11.1.les convertisseurs d'énergie.....	13
I.11.2.Le convertisseur continu-continu (DC-DC)	13
I.11.3.Le convertisseur continu-alternatif (DC-AC)	15

I.12. Machine asynchrone	15
I.12.1. Constitution.....	16
I.13. Principe de fonctionnement	17
I.14. Les différents systèmes photovoltaïques	17
I.14.1. le système autonome	17
I.14.1.a. système au fil du soleil sans stockage	17
I.14.1.b. système au fil du soleil avec stockage	18
I.14.2. Systèmes couplés au réseau	19
I.15. Les Batteries	20
I.15.1. Principe de fonctionnement d'une batterie	20
I.16. La pompe.....	21
I.16.1. Type de pompes	21
I.17. Conclusion	22

Chapitre II: Configuration et programmation du PIC 16F877A

II.1. Introduction.....	23
II.2. Qu'est ce qu'un microcontrôleur ou <i>PIC</i>	23
III.2.1. Principes caractéristiques du PIC 16F877A.....	23
II.2.2 : Architecture interne de <i>PIC 16F877A</i>	25
II.2.2.1 Explication de la structure	25
II.3. La conversion analogique numérique dans le pic 16F877A	26
II.3.1. Choix de l'horloge de conversion	27
II.4. Modulation de la largeur d'impulsion (MLI)	28
II.4.1. Description et fonctionnement du timer 2	28
II.4.2. Période de la PWM	29
II.4.3. Rapport cyclique	29
II.5. Commande MPPT	29
II.6. Les méthodes de poursuite de MPP	30
II.6.1. Méthodes a contre réaction de tension	30
II.6.2. Méthodes a contre réaction de courant	30
II.6.3. Méthodes a contre réaction de puissance.....	31

II.6.3.1. Méthode par incrémentation de conductance	31
II.6.3.2. Algorithme de perturbation et observation	32
II.7. Partie logicielle	34
II.7.1. Présentation de Proteus	34
II.7.2. Logiciel de programmation du microcontrôleur PIC	35
II.8. Les étapes de programmation avec le compilateur PIC C Compiler de CCS	36
II.8.1. Création d'un nouveau projet	37
II.8.2. Configuration des propriétés du PIC	37
II.8.3. Compilation du programme	38
II.9. Présentation du programmeur WinPic800	38
II.10. Partie programmation	40
II.11. Conclusion	41

Chapitre III: conception et réalisation d'une carte MPPT

III.1. Introduction	42
III.2. Description de l'installation	42
III.3. Description de la commande MPPT à réaliser	43
III.4. Les différentes cartes réalisées	45
III.4.1. Bloc d'alimentation	45
III.4.2. La carte MPPT.....	46
III.5. Affichage des données	49
III.6. Convertisseur Numérique analogique	49
III.7. Conclusion	50
Conclusion générale	51
Bibliographie	52
Annexes	54

Introduction générale

Introduction générale

Ces dernières décennies, notre planète a connu un accroissement du taux d'émission des gaz à effet de serre qui a été le résultat de l'avancement considérable de la technologie et de l'industrie. Ceci a eu comme conséquences néfastes, un bouleversement climatique et des catastrophes naturelles notables. Le recours au développement des énergies non polluantes est alors apparu comme l'ultime solution face à ce problème [21].

Les panneaux solaires ou photovoltaïques sont l'élément de base de tout système photovoltaïque. Ils sont constitués de cellules photosensibles reliées entre elles. Chaque cellule convertit les rayons provenant du soleil en électricité grâce à l'effet photovoltaïque. Les panneaux photovoltaïques ont une caractéristique électrique spécifique qui est donnée par le fabricant sous forme de courbes. Ces courbes représentent généralement l'évolution du courant et de la puissance par rapport à la tension du panneau. La caractéristique électrique du panneau est de nature non linéaire et possède un point particulier appelé « Point de Puissance Maximale » (en anglais "Maximum Power Point" MPP). Ce point est le point de fonctionnement optimal pour lequel le panneau opère à sa puissance maximale. L'énergie photovoltaïque dépend fortement des conditions climatiques et de la localisation du site, ce qui rend la position du MPP variable dans le temps et donc difficile à situer. Dans la plupart des systèmes de production d'énergie photovoltaïque, on trouve une technique ou un algorithme particulier nommé « Maximum Power Point Tracking » (MPPT) qui se traduit par, la poursuite du point de puissance maximale. Cette technique, comme son nom l'indique, traque le MPP dans le temps et permet de la sorte de tirer le maximum de puissance que le panneau est apte à fournir. Le MPPT vise à améliorer et à optimiser l'exploitation des systèmes photovoltaïques. Il permet de faire un gain qui peut atteindre 25% d'où son importance. Techniquement, le MPPT fait appel à une interface entre le panneau et la charge qui est généralement un dispositif de conversion de puissance [21].

L'énergie solaire n'étant pas disponible la nuit, il est nécessaire d'équiper les systèmes photovoltaïques autonomes par des batteries d'accumulateurs qui permettent de stocker l'énergie et de la restituer en temps voulu. Pour les systèmes raccordés au réseau de distribution électrique, le stockage de l'énergie est bien évidemment pas indispensable. La présence des batteries exige l'utilisation d'une unité dédiée à la gestion de l'énergie. En effet, ces dernières possèdent deux tensions critiques (tension de surcharge et tension de décharge profonde) qui doivent être respectées sous peine d'usure prématurée ou pire, leurs détériorations.

L'évolution continue de l'électronique de puissance, plus particulièrement les dispositifs de conversion de la puissance a permis de concevoir de nouveaux schémas plus sophistiqués et moins encombrants améliorant par la même occasion leur rendement. Cela a une influence directe sur le rendement et le coût global du système photovoltaïque dans son ensemble.

Introduction générale

L'objectif principal de notre travail est de trouver et appliquer un algorithme ou une loi de commande efficace et optimale permettant d'extraire le maximum de puissance disponible à partir du générateur photovoltaïque c'est pourquoi on réalise la carte MPPT. Les travaux présentés dans ce mémoire ont été réalisés au Laboratoire des Technologies Avancées LATAGE de la faculté de Génie Electrique et d'informatique de l'Université Mouloud Mammeri TiziOuzou. Le travail que nous avons réalisé s'articule autour de trois chapitres.

Le premier chapitre traite des notions sur l'énergie solaire et ses caractéristiques, l'énergie photovoltaïque ainsi que les différents types de systèmes photovoltaïques existants, Les avantages et les inconvénients du photovoltaïque sont cités, le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque et son groupement, le système de pompage photovoltaïque. Enfin sur l'influence de l'ensoleillement et la température sur le rendement du module photovoltaïque.

La configuration et à la programmation du pic, la présentation des différents logiciels de programmation (CCS compiler) et de simulation (PROTEUS) et l'étude détaillée de la commande MPPT feront l'objet du deuxième chapitre.

Dans le dernier chapitre, nous présentons le dispositif réalisé au sein de notre laboratoire, il s'agit de la carte d'alimentation et la carte MPPT, Nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités sur le système de pompage photovoltaïque

I.1.Introduction

Les cellules photovoltaïques transforment l'énergie solaire en électricité sans moyens mécaniques ou processus chimiques. Cette technologie évolue sans cesse, tout comme celles des autres composantes qui constituent les systèmes photovoltaïques. Elle est déjà une option privilégiée pour assurer l'approvisionnement en électricité dans de nombreuses situations. Ce chapitre présente une introduction aux systèmes photovoltaïques, il a pour but d'expliquer le principe du fonctionnement de ces systèmes et de donner un aperçu d'un modèle de panneau solaire et d'une technique de commande utilisée.

I.2.L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est un processus de transformation de l'énergie émise par le soleil, sous forme de photons, en énergie électrique à l'aide de composants semi-conducteur appelés cellules solaires [1,2].

L'effet photovoltaïque ne peut se produire que s'il existe une barrière de potentiel dans le semi-conducteur avant qu'il ne soit éclairé. Une telle barrière existe, par exemple, à l'interface entre deux volumes dopés différemment c'est à dire où l'on a introduit deux types différents d'impuretés à concentration différente, par exemple de type P-N. Si ce matériau est éclairé, les charges électriques, rendues mobiles par la lumière (l'effet photoélectrique), seront séparées par la barrière avec d'un côté les charges positives et de l'autre côté les charges négatives [3,2].

Parmi les matériaux semi-conducteurs les plus utilisés on trouve le silicium, le germanium, le sulfure de Gallium et l'arséniure de Gallium.

I.2.1.Principe du fonctionnement

Une cellule photovoltaïque est un dispositif semi-conducteur généralement à base silicium. Elle est réalisée à partir de deux couches, une dopée P et l'autre dopée N créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule [4]. La structure d'une cellule photovoltaïque est illustrée dans la figure ci-dessous.

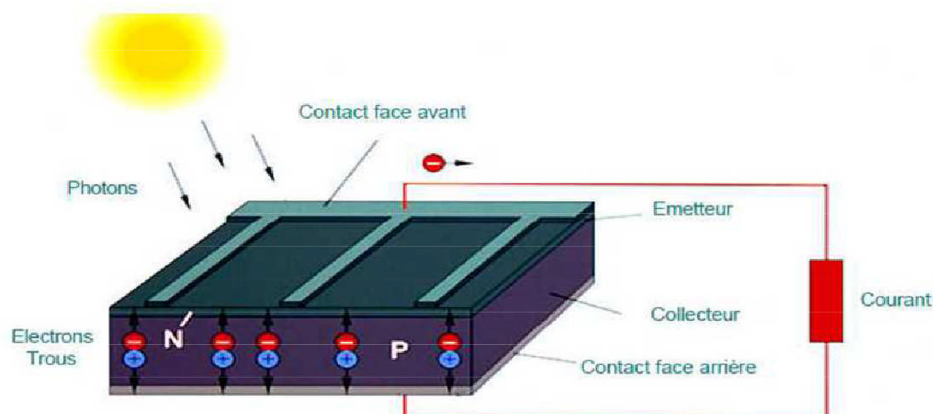


Fig. I.1 : Principe de Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [4]

I.3.Cas d'une cellule idéale

Dans le cas idéal, la cellule d'une jonction PN soumise à l'éclairement photovoltaïque connectée à une charge peut être schématisée par un générateur de courant I_{ph} en parallèle avec une diode délivrant un courant selon la figure qui représente le circuit équivalent d'une cellule solaire idéale

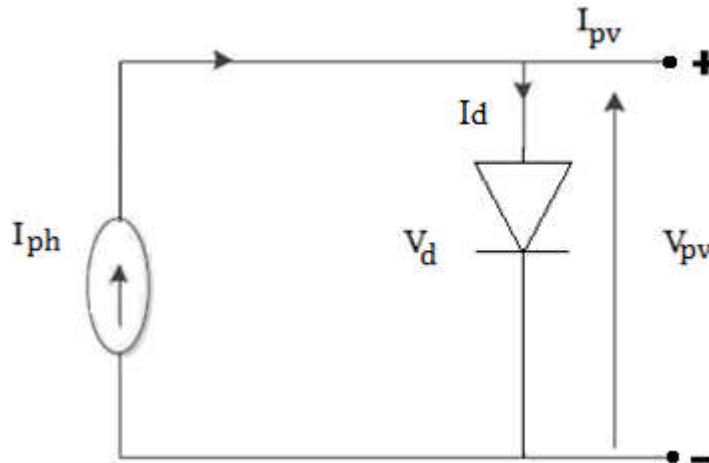


Fig. I.2 : Circuit équivalent d'une cellule solaire idéale

Groupements des cellules Photovoltaïques

On peut grouper les cellules en séries ou en parallèle.

I.3.1. Groupement série

Permet d'augmenter la tension de sortie. Pour un groupement de n cellules montées en série la tension de sortie U_s a pour expression générale :

$$U_s = n \cdot U_c$$

Avec U_c : tension fournie par une cellule pour ce groupement, le courant est commun à toutes les cellules.

Exemple : groupement de 3 cellules en série.

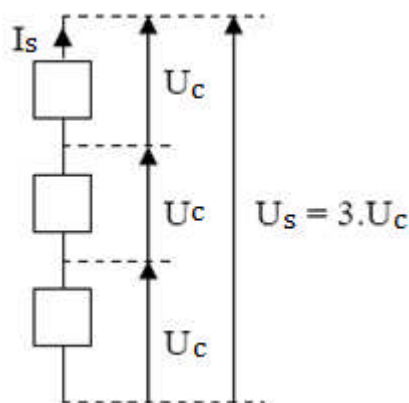


Fig. I.3 : Groupement de cellules en série

I.3.2. Groupement en parallèle

Permet d'augmenter le courant de sortie. Pour un groupement de n cellules montées en parallèle, le courant de sortie I_s a pour expression générale :

$$I_s = n \cdot I$$

Avec I : courant fourni par une cellule, pour ce groupement, la tension est commune à toutes les cellules.

Exemple : groupement de 3 cellules en parallèle

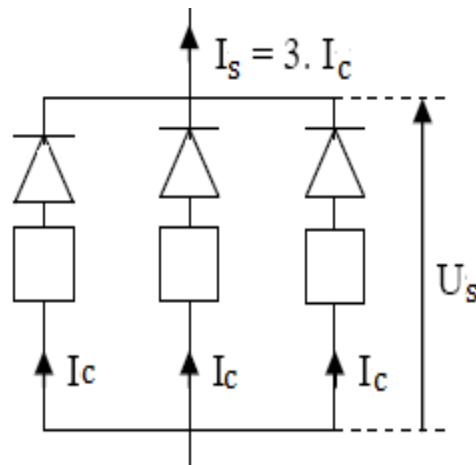


Fig. I.4 : Groupement de cellules en parallèle

I.4. Différents types de cellules photovoltaïques

Les cellules solaires sont construites avec la même matière première et les mêmes Procédés de base. Elles existent en différentes formes et technologies [5] :

I.4.1. Cellules au silicium mono-cristallin

Elles ont le meilleur rendement (de 12 à 18% voir jusqu'à 24.7 % en laboratoire). Cependant, elles coûtent trop chers à cause de leur fabrications complexes.



Fig. I.5 : Cellule au Silicium Monocristalline [5]

I.4.2. Cellules au silicium poly-cristallin

Leurs conception est plus facile et leurs coûts de fabrication est moins important. Cependant leurs rendement est plus faible : de 11% à 15% jusqu'à 19.8% en laboratoire).

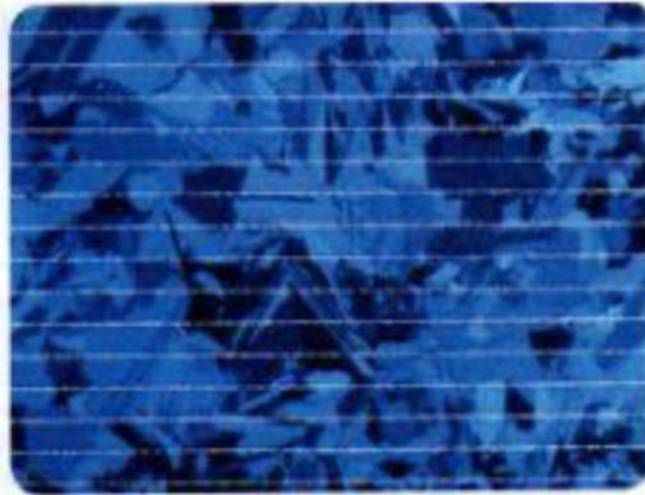


Fig. I.6 : Cellule au Silicium Poly-cristallin [5]

I.4.3. Cellules au silicium amorphe

Elles ont un faible rendement (5% à 8%, 13% en Laboratoire), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans les petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.

L'avantage de ce dernier type est le fonctionnement avec un éclaircissement faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment).

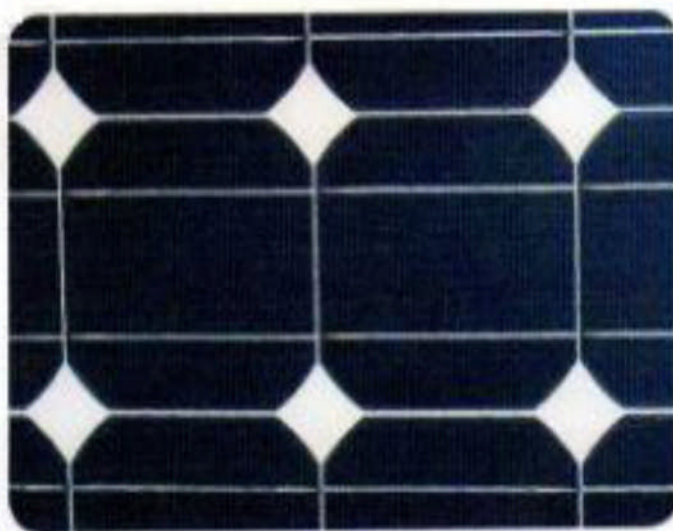


Fig. I.7 : Cellule au Silicium amorphe (couche mince) [5]

I.5. Les modules photovoltaïques

Les modules PV sont les éléments de base de tout système photovoltaïque. Ils peuvent être branchés en série pour augmenter leurs tensions d'utilisation et en parallèle pour augmenter leurs courants. Cet ensemble est appelé le champ de modules PV. L'énergie fournie par le champ peut être utilisée pour charger des batteries qui fourniront l'électricité au moment voulu.

Elle peut être aussi utilisée en reliant directement les modules à la charge sans les batteries (ex. : pour une pompe solaire, l'eau sert de stockage), ou en les branchant sur un réseau électrique. Il est également possible de combiner la sortie du champ PV avec d'autres sources d'énergie telles une génératrice ou une éolienne qui serviront d'appoint, si l'ensoleillement n'est pas suffisant.

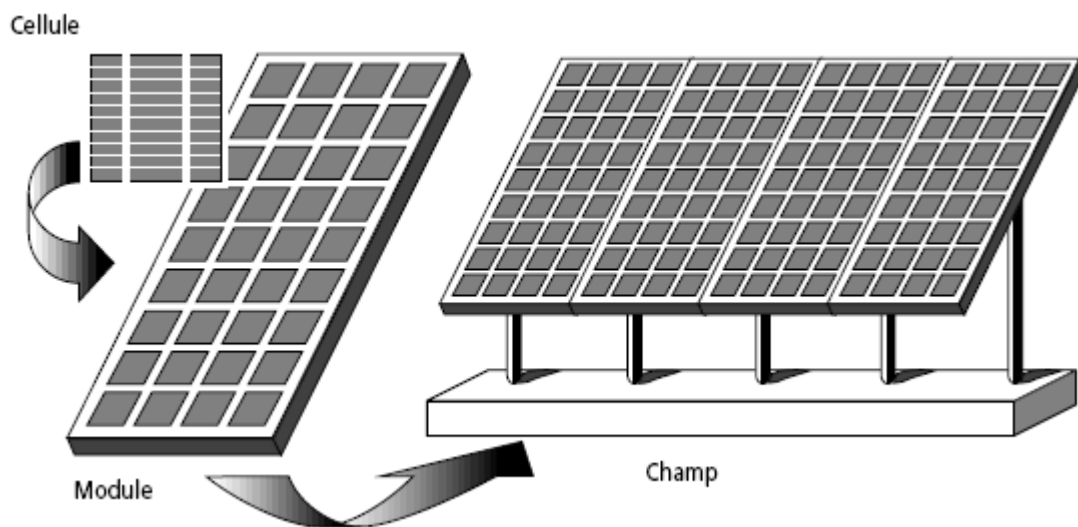


Fig. I.8 : composantes d'un champ de modules photovoltaïques [14]

➤ Zones de fonctionnement du module solaire

La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque donnée pour un éclairement et une température donnée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement; seul la courbe $I(V)$ est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque [6]. La figure (**Fig. I.9**) représente trois zones essentielles :

- La zone (I) : le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région, le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.
- La zone (II) : correspondant au coude de la caractéristique, la région intermédiaire entre les deux zones précédentes, représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.

- La zone (III) : qui se distingue par une variation de courant correspondant à une tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension.

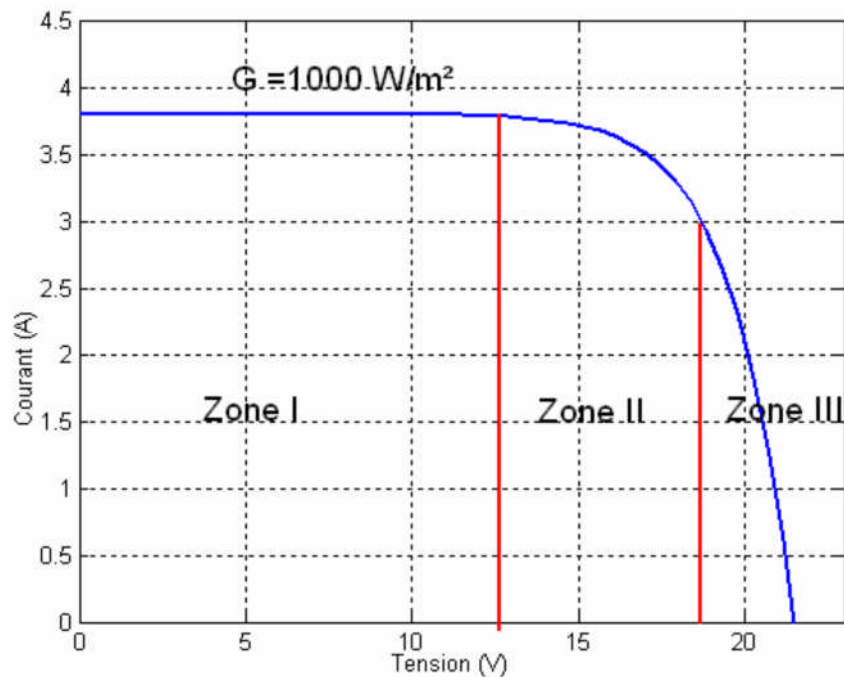


Fig. I.9 : Les différentes zones de la caractéristique I (V), $T=25^\circ\text{C}$ [6]

I.6. Influence de l'ensoleillement et de la température

Le courant produit par la photopile est (I_{ph}) pratiquement proportionnel à l'éclairement solaire (G).

Par contre, la tension (V_p) aux bornes de la jonction varie peu car elle est fonction de la différence de potentiel à la jonction (P-N) du matériau lui-même. La tension de circuit ouvert ne diminue que légèrement avec l'éclairement [7]. Ceci implique:

- La puissance optimale de la cellule (P_m) est pratiquement proportionnelle à l'éclairement;
- Les points de puissance maximale se situent à peu près à la même tension (Voir **Fig. I.10** et **Fig. I.11**).

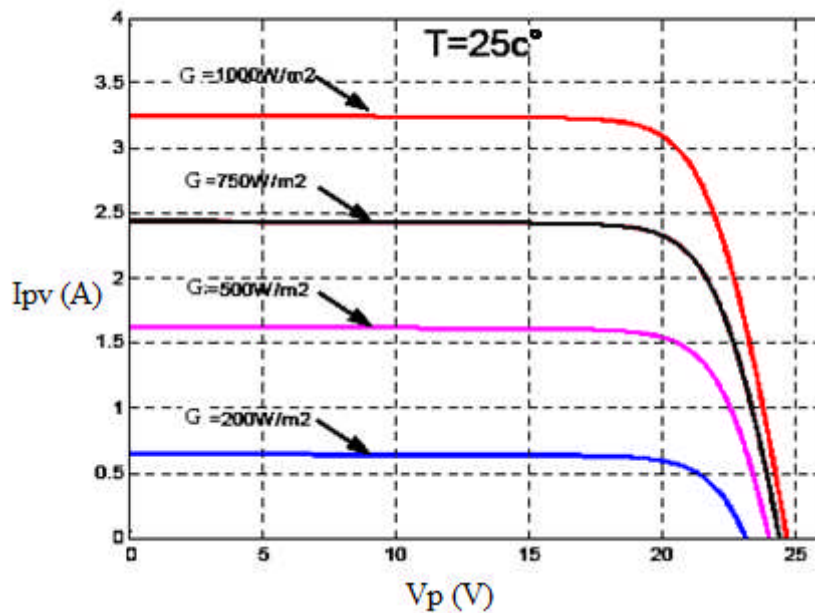


Fig. I.10 : Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique (I_{pv} - V_p) à température constante [15]

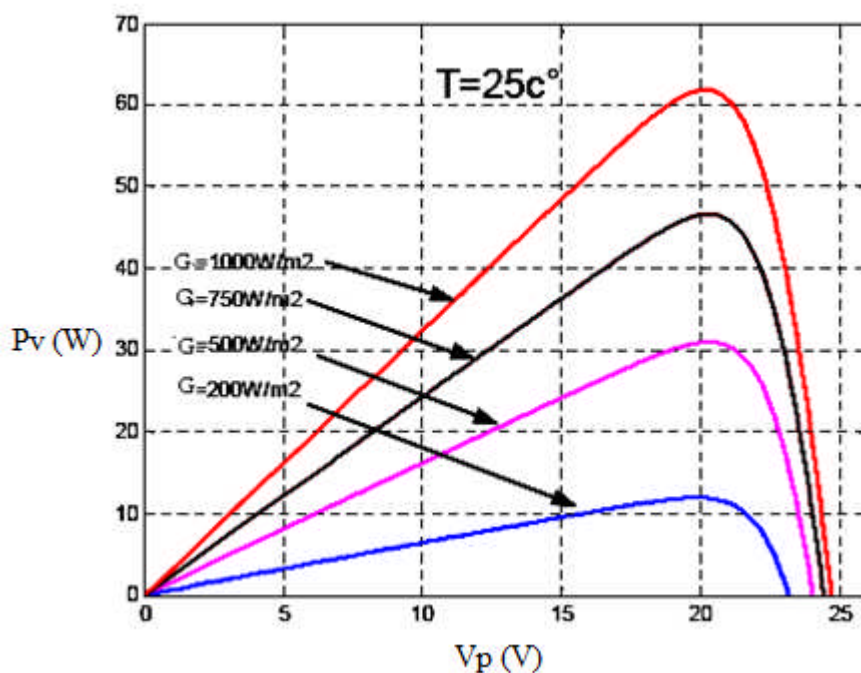


Fig. I.11 : Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique (P_v - V_p) à température constante [15]

L'influence de la température est non négligeable sur la caractéristique courant/tension d'un semi-conducteur (Voir Fig. I.12 et Fig. I.13).

Pour une température qui change, on peut voir que la variation de la tension change beaucoup plus que le courant. Ce dernier varie légèrement.

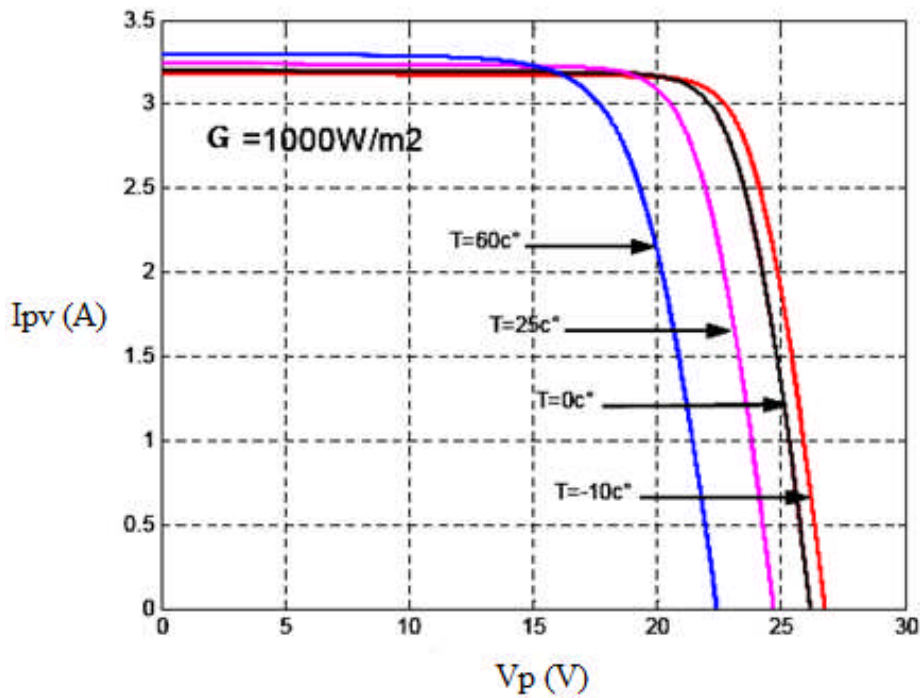


Fig. I.12 : Influence de la température sur la caractéristique (I_{PV} - V_p) à un ensoleillement constant [15]

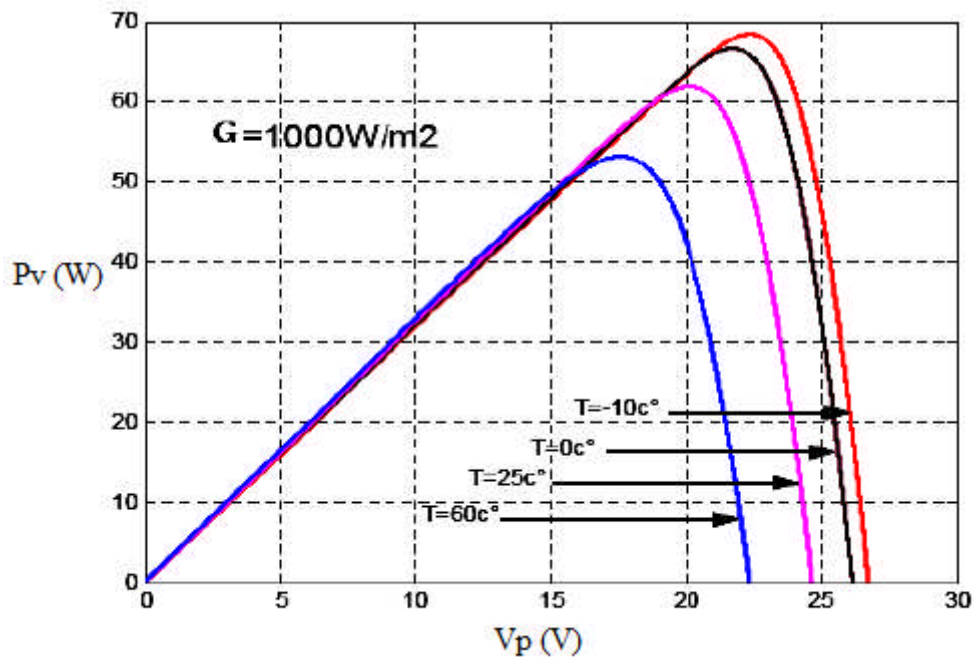


Fig. I.13 : Influence de la température sur la caractéristique (P_v - V_p) à un ensoleillement constant [15]

I.7. Les différents types de panneaux solaires

I.7.1. Le panneau solaire photovoltaïque

On l'appelle aussi un générateur PV, Il se compose de modules PV interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le panneau solaire avec un angle d'inclinaison spécifique

I.7.2. Panneau Solaire Thermique et Thermodynamique

a. Domestique (thermique)

Le principe de ce système est d'utiliser un fluide caloporteur. Le fluide est chauffé dans des panneaux exposés au soleil.

Ce fluide transmet sa chaleur en eau à usage domestique dans des échangeurs.

b. Industriel (thermodynamique)

On désigne par une centrale thermodynamique l'ensemble des techniques qui visent à transformer l'énergie rayonnée par le soleil en chaleur à température élevée. L'eau chauffée par la température est transformée en vapeur, puis envoyée dans une turbine. Un alternateur, lié à la turbine, produit alors de l'électricité.

I.8. Avantages et inconvénients du système photovoltaïque

I.8.1. 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, de l'ordre de 10-15 % avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées. Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.

Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.

I.8.2. Avantages

D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui les rendent particulièrement appropriées 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 puissances allant du milliwatt au Mégawatt.

Le coût du fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.

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, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

I.9. Avenir du photovoltaïque

Source d'énergie 100% propre et faible pour des usages très variés, elle figurera à l'avenir parmi les principales sources mondiales. Son handicap majeur reste un coût encore élevé comparé aux sources conventionnelles et aux filières renouvelables. Ce coût diminue de 10% par an, et pour accélérer cette baisse, les autorités nationales et internationales doivent engagées une politique de soutien à long terme de la filière photovoltaïque. C'est précisément l'objectif des programmes lancés depuis quelques années dans plusieurs pays industrialisés. Dans notre pays, l'application du PV reste encore modeste. La première utilisation été dans le domaine des télécommunications. Après, certain puits dans les hauts plateaux ont été équipés par des systèmes de pompes PV. A nos jours, quelques dizaines de villages sahariens de la région de Tamanrasset et Adrar jouissent des avantages de cette source d'énergie [6].

I.10. La commande MPPT (Maximum Power Point Tracker)

La puissance délivrée par un GPV dépend fortement du niveau d'ensoleillement, de la température des cellules, de l'ombrage et aussi de la nature de la charge alimentée. Elle est de ce fait très imprévisible. Un convertisseur MPPT (Maximum Power Point Tracker) doit donc être utilisé afin de suivre ces changements. Un convertisseur MPPT est un système de conversion de puissance muni d'un algorithme de contrôle approprié permettant d'extraire le maximum de puissance que le GPV peut fournir.

I.10.1.Principe de la recherche du point de la puissance maximale

Le principe de la commande MPPT est d'effectuer une recherche du point de puissance maximal PPM tout en assurant une parfaite adaptation entre le générateur et sa charge de façon à transférer le maximum de puissance. La technique de contrôle communément utilisée consiste à agir sur le rapport cyclique de manière automatique pour amener le générateur à sa valeur optimale de fonctionnement qu'elles que soient les instabilités météorologiques ou variations brutales de charges qui peuvent survenir à tout moment.

Le schéma de la figure ci-dessous illustre le principe de la commande MPPT

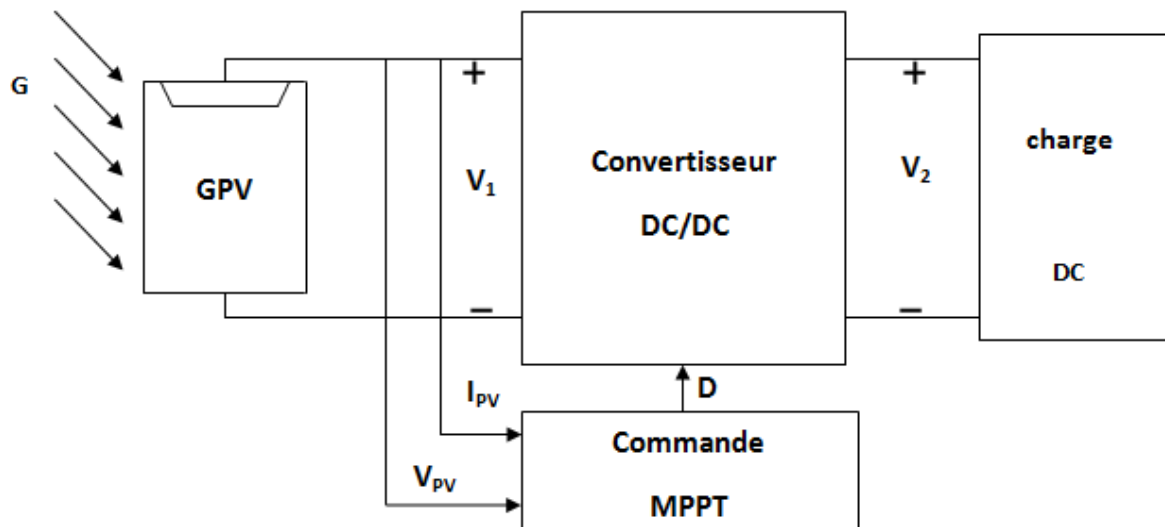


Fig. I.14 : schéma de principe de la commande MPPT

I.11. Les Convertisseurs

I.11.1. Les convertisseurs d'énergie

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dépose généralement soit entre le champ photovoltaïque et la charge pour une charge continue (sans stockage avec une charge en continue, il portera le nom de convertisseur continu-continu), soit entre la batterie et la charge (après stockage, il sera appelé onduleur ou convertisseur continu-alternatif).

Le convertisseur remplit les fonctions suivantes :

- Conversion de courant continu en courant alternatif compatible avec la tension du réseau.
- Optimisation de la tension continue de manière à ce que le champ de modules fonctionne dans des conditions de puissance optimales.
- Sécurité.

I.11.2. Le convertisseur continu-continu (DC-DC)

Ce type de convertisseur est destiné à adapter à chaque instant l'impédance apparente de la charge à l'impédance du champ PV correspondant au point de puissance maximale

a. Hacheur dévolteur (type BUCK)

Ce nom est lié au fait que la tension moyenne de sortie est inférieure à celle de l'entrée. Il comporte un interrupteur à amorçage commandé (transistor bipolaire, transistor MOS ou IGBT...) et en série avec la source et une diode de roue libre. Le cycle de fonctionnement, de

période de hachage T , comporte deux étapes. Lors de la première, on rend le composant passant et la diode polarisée en inverse, est bloquée. Cette phase dure de 0 à DT , avec D : est appelé rapport cyclique, et compris entre 0 et 1 .

Lors de la seconde, on bloque le MOSFET. La diode devient passante. Cette phase dure de DT à T .

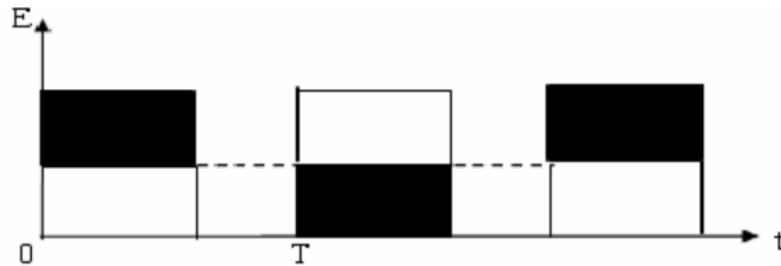


Fig. I.15 : tension de sortie

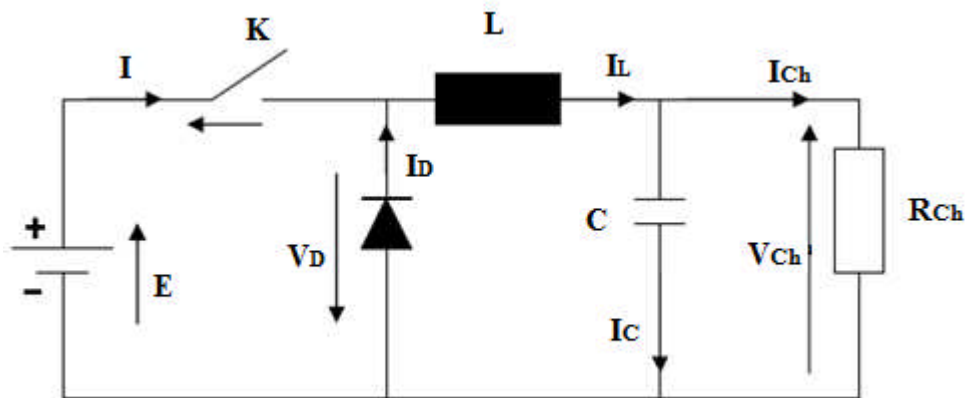


Fig. I.16 : Hacheur dévolteur

b. Hacheur survolteur (type BOOST)

Dans ce hacheur, la tension moyenne de sortie est supérieure à la tension d'entrée.

Cette structure demande un interrupteur commandé et en parallèle avec la source,

Le montage le plus simple consiste à mettre périodiquement en court-circuit la résistance R pendant une durée $T_f = DT$ bien déterminée ; cette mise en court-circuit est assurée par un hacheur branché en parallèle avec la résistance.

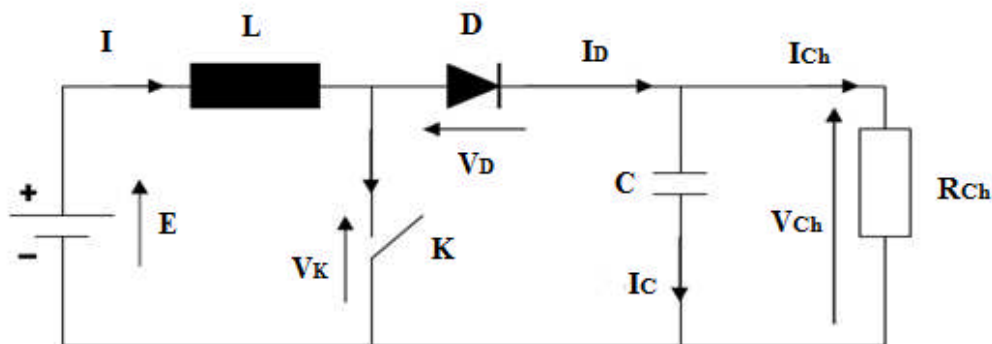


Fig. I.17 : Hacheur survolteur

I.11.3. Le convertisseur continu-alternatif (DC-AC)

C'est un dispositif destiné à convertir le courant continu en courant alternatif « **onduleurs autonomes** »

La conception de l'ensemble du système photovoltaïque de façon à extraire le maximum de puissance du générateur photovoltaïque, quelles que soient les perturbations d'éclairement et de la température, l'alimentation sous la tension alternative des appareils à partir des panneaux solaires nécessitent l'utilisation d'un onduleur assurant la conversion DC/AC. Il peut être conçu à base de transistors de puissance ou à thyristors utilisés comme commutateurs de puissance.

La fréquence de commutation de semi-conducteurs détermine la fréquence de la tension de sortie. L'onduleur autonome impose lui-même la forme et la fréquence de l'onde de sortie.

Dans le système de pompage photovoltaïque, la connexion entre le générateur photovoltaïque et la pompe entraînée par un moteur à courant alternatif est faite par un onduleur. Ce dernier permet de réaliser un transfert optimal de puissance entre le générateur et le groupe moto- pompe sous les conditions variables de la puissance produite et de la demande en puissance. Ce transfert est contrôlé par variation de fréquence.

Selon le mode de commutation, on peut distinguer:

- Onduleur à onde rectangulaire
- Onduleur à créneaux de largeur variable
- Onduleur à modulation de largeur d'impulsion (MLI).

Le choix de l'une des solutions est tributaire des aspects suivants : coût, fiabilité, performances, disponibilité des composants, etc.

I.12. Machines asynchrone

Le moteur asynchrone est le moteur le plus utilisé dans l'ensemble des applications industrielles, du fait de :

- Sa simplicité de construction ;
- Son utilisation et d'entretien ;
- Sa robustesse et son faible prix de revient
- Son faible encombrement ;
- Son bon rendement ;
- Son excellente fiabilité.

Son seul point noir est l'énergie réactive, toujours consommée pour magnétiser l'entrefer. La machine asynchrone est aujourd'hui très couramment utilisée comme moteur dans une gamme de puissance allant de quelques centaines de watts à plusieurs milliers de kilowatts [8].

I.12.1. Constitution

Les moteurs asynchrones sont constitués des principaux éléments suivants (voir **Fig. I.18**).

- le stator (partie fixe) constitué de disques en tôle magnétique portant les enroulements chargés de magnétiser l'entrefer.
- le rotor (partie mobile) constitué de disques en tôle magnétique empilés sur l'arbre de la machine portant un enroulement bobiné ou injecté.
- les organes mécaniques permettant la rotation du rotor et le maintien des différents sous-ensembles



Fig. I.18 : Constitution du moteur asynchrone [8]

a. Le stator (inducteur)

Le stator comporte une carcasse en acier renfermant un empilage de tôles identiques qui constituent un cylindre vide. Ces tôles sont percées de trous à leur périphérie qui forme des encoches dans lesquelles est logé un bobinage triphasé semblable à celui d'une machine synchrone, l'enroulement est réalisé grâce à un jeu de barrette.

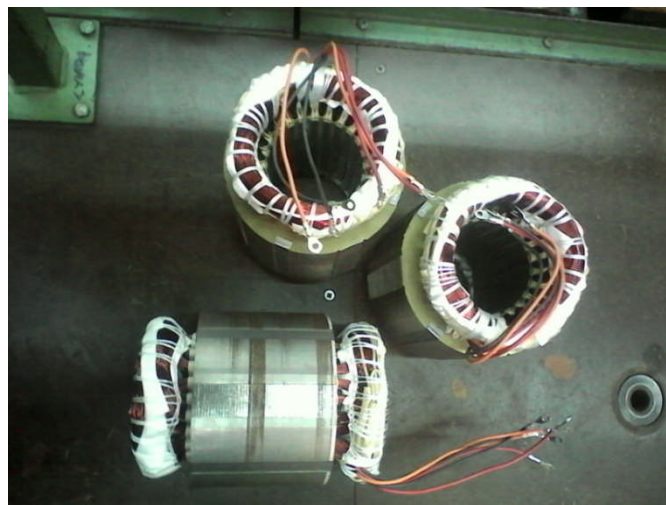


Fig. I.19: Stator bobiné [8]

b. Le rotor (induit)

Le rotor est composé d'un cylindre de tôles poinçonnées pour former des encoches destinées à recevoir les conducteurs. Le rotor n'est lié électriquement à aucune source d'énergie (ni continue, ni alternative). Les courants induits du rotor sont dus uniquement au champ tournant du stator, on l'appelle aussi induit.

On distingue deux types d'enroulement rotoriques :

- Rotor bobiné ou à bagues.
- Rotor à cage.

I.13. Principe de fonctionnement

Les trois enroulements statoriques (trois enroulements identiques décalés de 120°) alimentés par un réseau triphasé équilibré créent dans l'entrefer un champ magnétique tournant à la fréquence de rotation de synchronisme n_s . Les conducteurs du rotor sont soumis à ce champ tournant. Ils sont alors traversés par des courants de Foucault induits. D'après la loi de Lenz (les courants induits s'opposent par leurs effets à la cause qui leur donnent naissance). Les enroulements du rotor étant en court-circuit, la circulation des courants sont alors possibles. Les forces de Laplace qui en résultent exercent des moments sur le rotor. Le rotor tourne alors à la fréquence de rotation n_r . De par son principe, la fréquence de rotation du rotor est inférieure à la fréquence de synchronisme f_s : ($f_r < f_s$).

I.14. Les différents systèmes photovoltaïques

Il existe deux grandes familles de systèmes photovoltaïques (PV) : les systèmes autonomes et les systèmes raccordés au réseau (non autonomes).

I.14.1. le système autonome

Pour les systèmes autonomes on distingue deux types : il ya les systèmes au fil de soleil sans stockage et avec stockage.

I.14.1.a. système au fil du soleil sans stockage

Ce sont les systèmes les plus simples puisque l'énergie photovoltaïque est utilisée directement à partir des panneaux solaires. On peut les trouver dans les deux cas suivant :

- **Alimentation directe**

L'appareil alimenté ne fonctionnera qu'en présence de la lumière et dès que l'éclairement sera suffisant pour atteindre la puissance demandée. C'est intéressant pour toutes les applications qui n'ont pas besoin de fonctionner dans l'obscurité, et pour lesquelles le besoin en énergie coïncide avec la présence de la lumière. L'inconvénient de ce système, c'est qu'on ne profite pas toujours des éclaircissements les plus élevés : pas de stockage, donc pas de récupération des surplus des énergies solaires.

- **Pompage au fil du soleil**

Il s'agit de stocker de l'eau dans un réservoir. La pompe solaire est branchée directement aux panneaux solaires par l'intermédiaire d'un régulateur. Le débit d'arrivée d'eau dans le réservoir est donc variable directement en fonction du rayonnement solaire

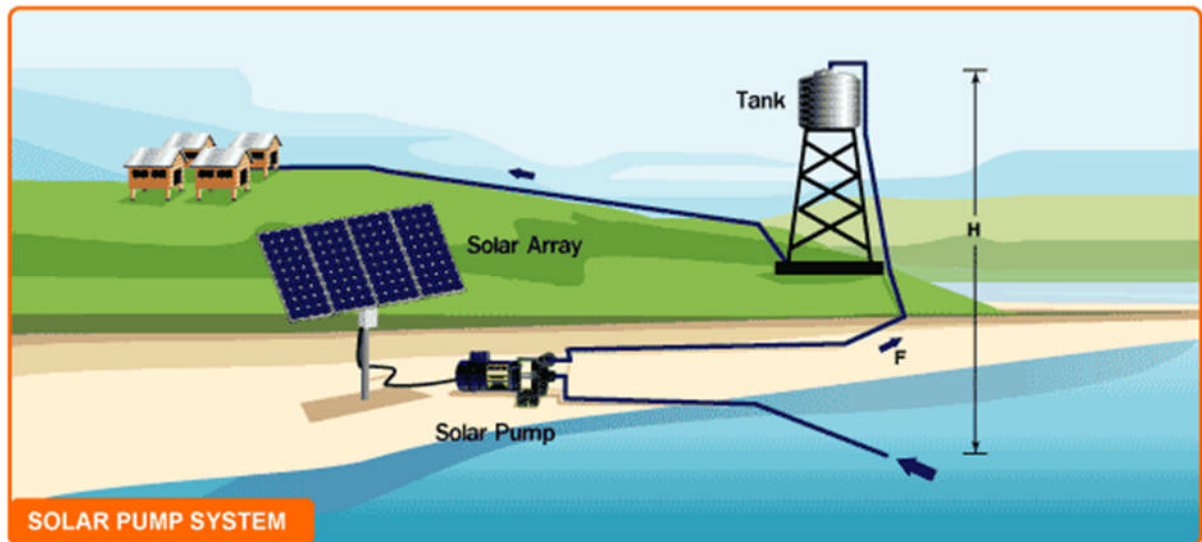


Fig. I.20 : Système de pompage solaire [12]

I.14.1.b. système au fil du soleil avec stockage

Ces installations se composent essentiellement de trois composants : des modules solaires, la batterie et le régulateur de charge. La batterie d'un tel système se charge le jour, et sert de réservoir d'énergie en permanence ; elle peut sans problème à un instant donné, recevoir un courant de charge et débiter un courant de décharge de valeur différente. Les appareils alimentés sont donc câblés sur la batterie à travers le régulateur de charge, cela pour assurer le chargement optimal de l'accumulateur tel que lorsque la batterie est pleine, ce dernier coupe la charge pour éviter qu'elle ne souffre de surcharge.

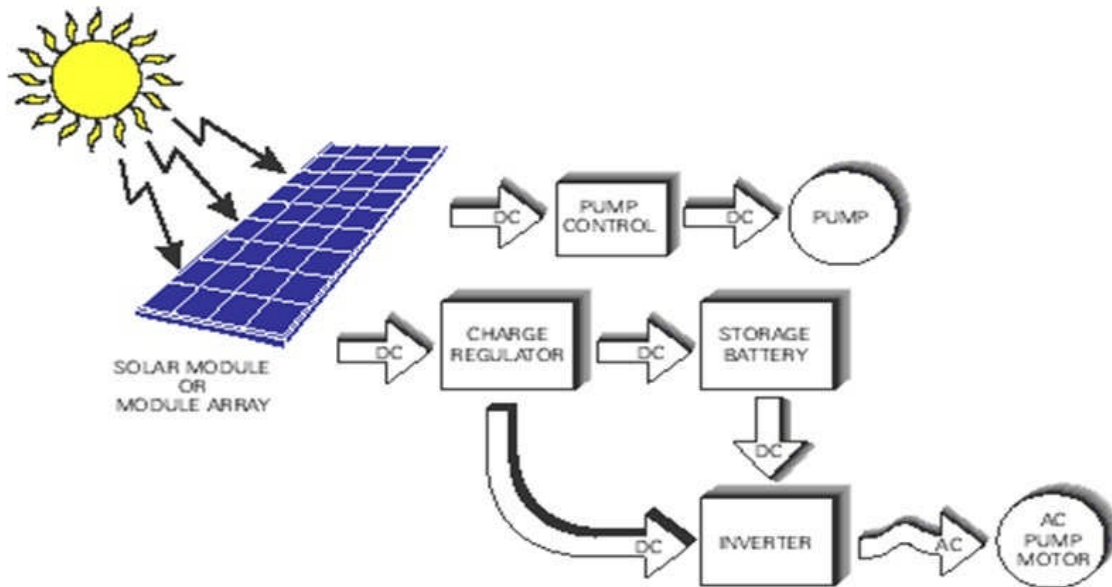


Fig. I.21 : Système au fil de soleil avec stockage [13]

I.14.2. Systèmes couplés au réseau

Les installations raccordées au réseau électrique (ou reliées à une centrale de distribution) constituent généralement une solution optimale pour la production de l'électricité solaire, tant en termes d'énergie que de coûts. Ces installations se composent de modules photovoltaïques interconnectés, d'un (ou plusieurs) onduleur(s) raccordé au réseau électrique. L'onduleur convertit le courant continu généré par les modules photovoltaïques et produit un courant alternatif conforme au réseau électrique. La figure ci-dessous illustre le principe d'un système photovoltaïque connecté au réseau

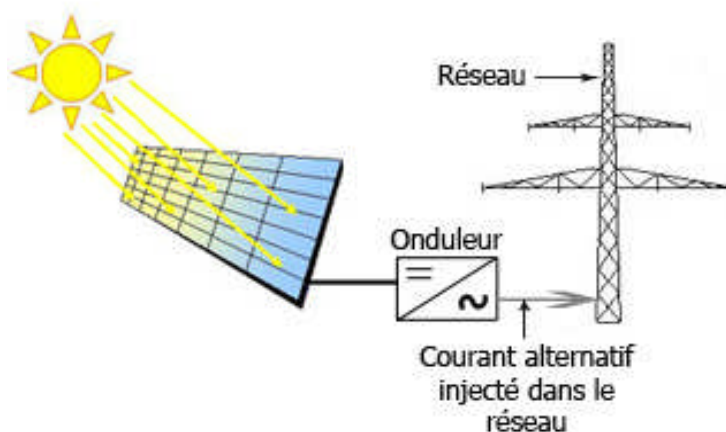


Fig. I.22 : Principe d'un système photovoltaïque connecté au réseau [16]

I.15. Les Batteries

La batterie sert à stocker l'énergie produite par le champ de modules PV. Il y a nécessité de stockage chaque fois que la demande énergétique est décalée dans le temps vis-à-vis de l'apport énergétique solaire. En effet :

- la demande énergétique est fonction de la charge à alimenter, les appareils utilisés fonctionnent soit en continu, soit à la demande ;
- l'apport énergétique solaire est périodique (alternance jour/nuit, été/hiver) et aléatoire (conditions météorologiques). Ce décalage entre la demande et l'apport énergétique nécessite un stockage d'électricité. Le système tampon utilisé le plus couramment pour les systèmes photovoltaïques est la batterie d'accumulateurs électrochimiques.

Dans un système photovoltaïque, la batterie remplit trois fonctions importantes :

- **Autonomie.** Une batterie permet de répondre aux besoins de la charge en tout temps, même la nuit ou par temps nuageux.
- **Courant de surcharge.** Une batterie permet de fournir un courant de surcharge pendant quelques instants, c'est-à-dire un courant plus élevé que celui que peut fournir le champ PV. Ceci est nécessaire pour faire démarrer les moteurs et les autres appareils requièrent un courant de démarrage de 3 à 5 fois supérieur au courant d'utilisation.
- **Stabilisation de la tension.** Une batterie permet de fournir une tension constante, en éliminant les écarts de tension du champ PV et en permettant aux appareils un fonctionnement à une tension optimisée.

I.15.1. Principe de fonctionnement d'une batterie

Deux électrodes, l'une positive et l'autre négative, sont séparées par un électrolyte, à l'interface électrode-électrolyte interviennent des réactions électrochimiques.

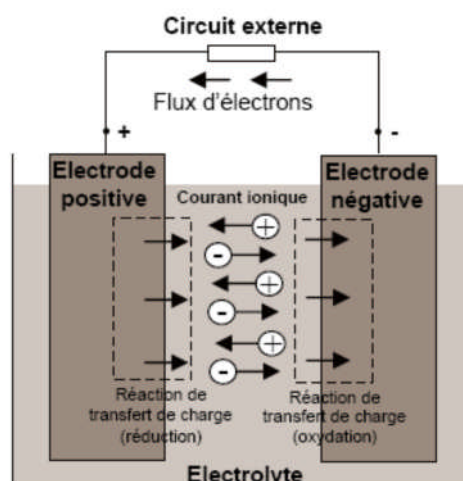


Fig. I.23 : Principe de production d'électricité dans un convertisseur électrochimique [21]

I.16. La pompe

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. Il existe deux grandes types de pompes : les pompes centrifuges et les pompes volumétriques. Ces dernières conviennent pour élever des faibles débits d'eau à des pressions élevées.

I.16.1. Type de pompes

a. La pompe centrifuge

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou à ailettes. L'eau qui rentre au centre de la pompe sera poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages [9].

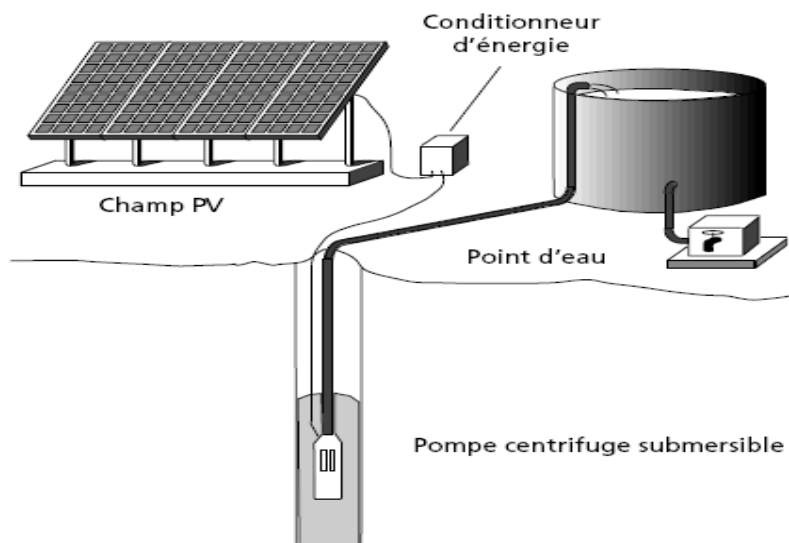


Fig. I.2 : Exemple d'installation avec une pompe centrifuge [9]

b. Caractéristiques d'une pompe centrifuge

- Les pompes centrifuges sont très utilisées pour les applications avec énergie Photovoltaïque parce que le couple d'entraînement de la pompe est pratiquement nul au Démarrage.
- La pompe tourne par très faibles ensoleillement, le moteur peut fournir une vitesse de Rotation rapide à peu près constante.
- Utiliser pour des débits importants.

c. La pompe volumétrique

La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va-et-vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement.

Une pompe volumétrique comporte toujours une pièce mobile dans une pièce creuse qui déplace le liquide en variant le volume contenu dans la pièce creuse. Le principal intérêt des pompes volumétriques, est de pouvoir véhiculer un fluide sous de très fortes pressions. Mais elles ne conviennent que pour des débits faibles, ce qui rend leur emploi très limité pour l'alimentation en eau des cultures [9].

d. Caractéristiques d'une pompe volumétrique

Le couple de démarrage est pratiquement indépendant du débit et sera proportionnel à la H_{MT} (3 à 5 fois le couple nominale). La puissance consommée sera proportionnelle à la vitesse. C'est pourquoi ces pompes sont habituellement utilisées pour les puits et les forages à grandes profondeurs [9].

I.17. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté, le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque, ainsi que les différentes configurations des systèmes photovoltaïque.

Ensuite on à présenter le système de pompage photovoltaïque qui est constitué d'un ensemble d'éléments se trouvant en interaction ; à savoir les panneaux photovoltaïques, les convertisseurs, le moteur asynchrone, les différentes pompes, les batteries. Enfin nous avons présenté l'influence de l'ensoleillement et de la température sur la puissance que délivre le module photovoltaïque à partir de la commande MPPT.

Chapitre II

Configuration et Programmation du PIC 16F877A

II.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons expliquer le fonctionnement général du PIC 16F877A et décrire les convertisseurs analogiques numériques et le module PWM ainsi que la programmation de notre pic pour qu'il soit intégré dans une chaîne de commande.

II.2. Qu'est-ce qu'un microcontrôleur ou PIC

Le microcontrôleur est un composant électronique ayant une unité de traitement de données des mémoires, des interfaces de communication (entrée/sorties, port série....) et de multiples ressources internes. Souvent un microcontrôleur se connecte à un bus de données de 8 ou 16 bits, on peut dire alors qu'il est moins puissant qu'un microprocesseur [10].

Il existe trois familles de PIC

- Base-Line : les instructions sont codées sur 12 bits
- Mid-Line : les instructions sont codées sur 14 bits
- High-End : les instructions sont codées sur 16 bits

Un PIC est identifié par un numéro de la forme suivante :

xx(L)XXyy-zz

D'où :

xx : signifie la famille des composants (12, 14, 16, 17 ou 18)

L : c'est la tolérance la plus importante de la plage de tension

XX : type de mémoire de programme.

- C : EPROM ou EEPROM
- CR : PROM
- F : FLASH

yy : Identification

zz : vitesse maximale du quartz

II.2.1. Principales caractéristiques du PIC 16F877A

Un PIC 16F877A possède les caractéristiques suivantes :

- Une fréquence de fonctionnement allant jusqu'à 20 MHz
- Jeu d'instructions de 35 instructions ;
- Une mémoire de programme de type FLASH sur 8K mots (1 mot = 14bits)
- Une mémoire de données de type RAM sur 368 octets
- Une mémoire de données type EEPROM sur 256 octets

- Une pile (stack) à 8 niveaux
- 14 sources d'interruptions
- Un chien de garde WDT (Watch Dog Timer)
- Timer0 (compteur 8bits avec pré-diviseur)
- Timer1 (compteur 16bits avec pré-diviseur et possibilité d'utiliser une horloge externe)
- Timer2 (compteur 8bits avec pré-diviseur et post-diviseur)
- Une conversion Analogique/Numérique 10bits à 8 entrées multiplexées
- Deux modules de capteur/comparaison/PWM
- Portes Entrées/Sorties : A, B, C, D et E
- Une interface de communication série MSSP, USART
- Une interface de communication parallèle PSP
- Tension de fonctionnement entre 2.0 Volts et 5.5V.

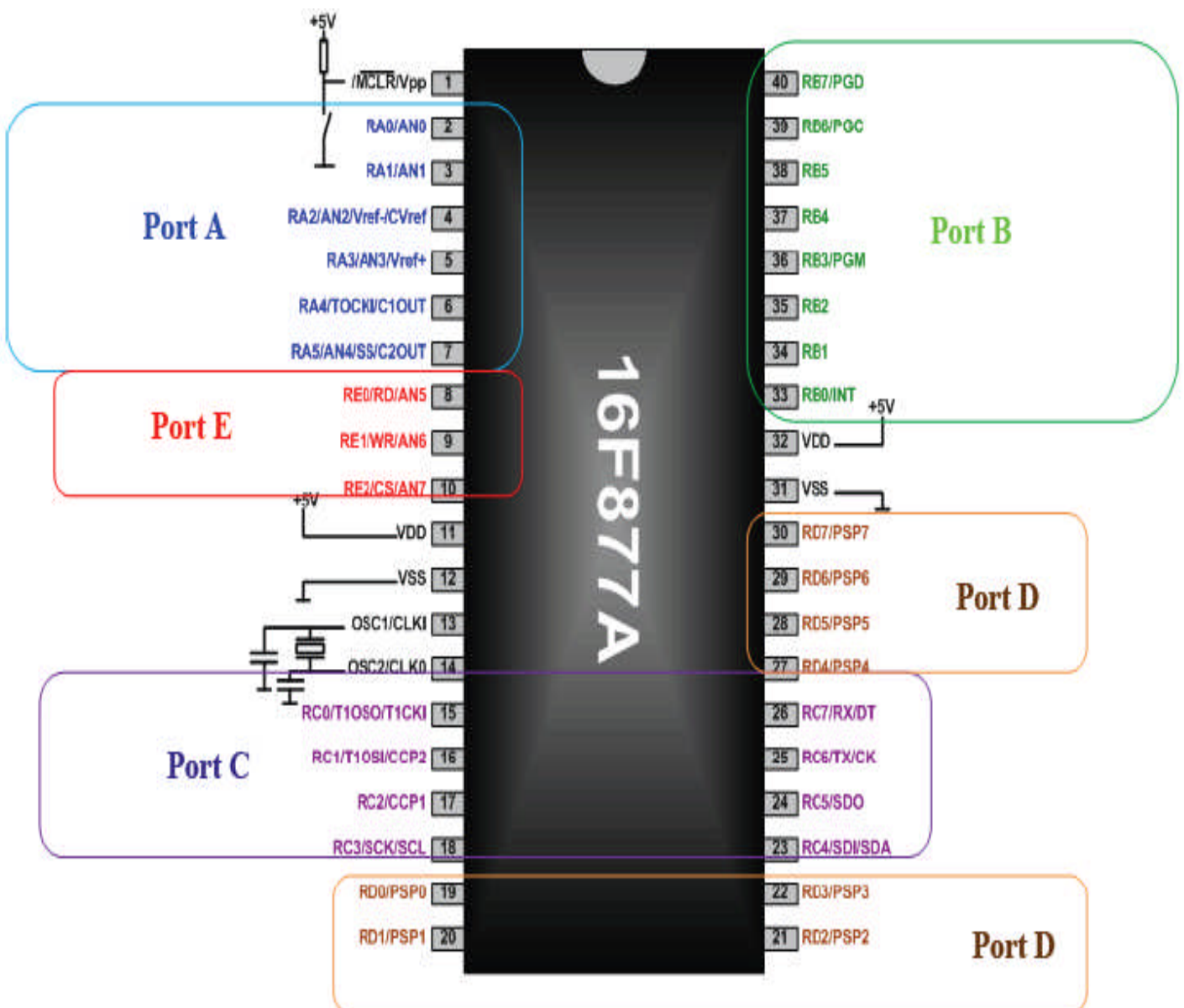


Fig. II.1 : Différents pins et ports du PIC 16F877A [17]

II.2.2. Architecture interne de PIC 16F877A

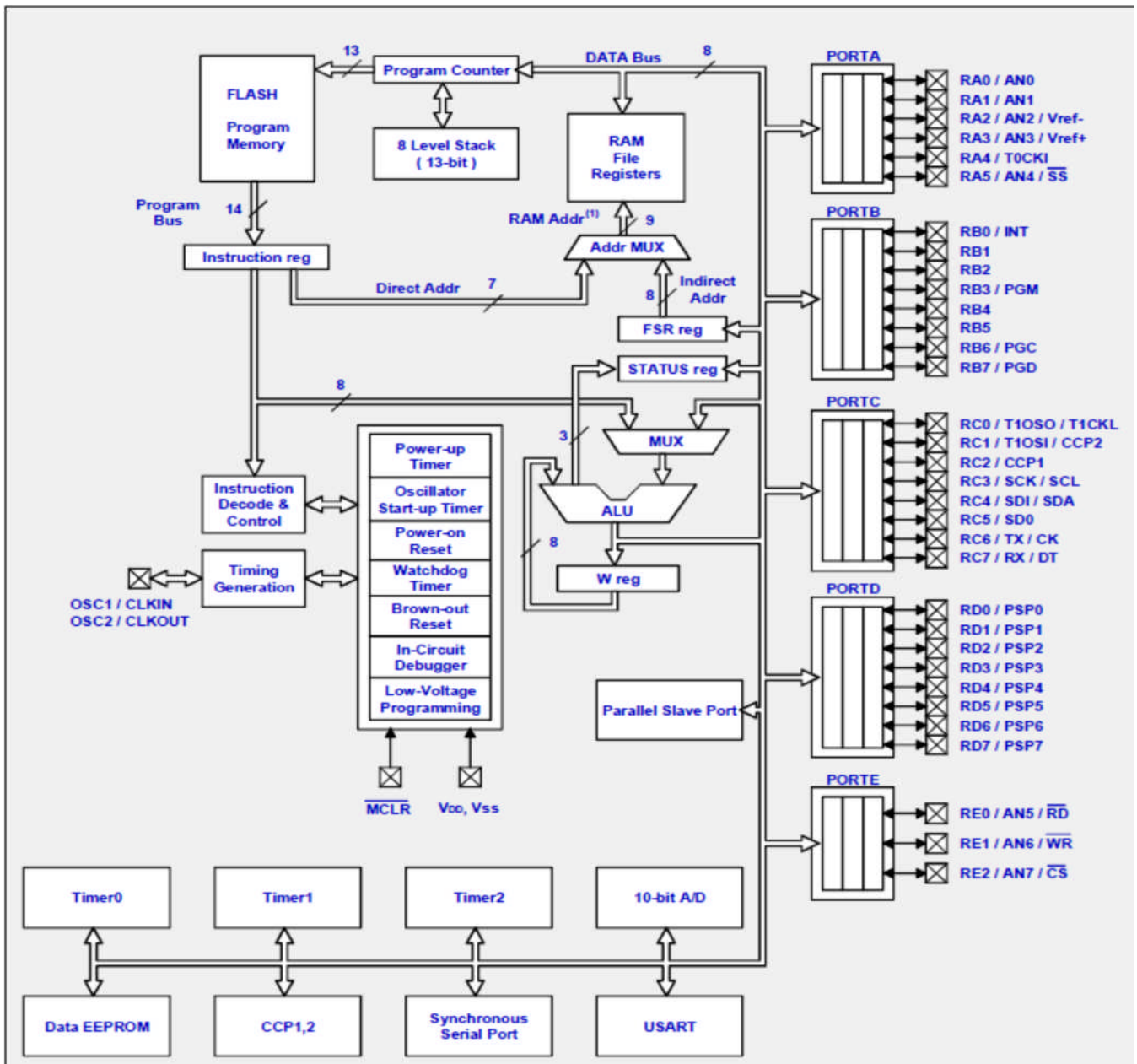


Fig. II.2 : Schéma interne du PIC 16F877A [18]

II.2.2.1 Explication de la structure

Une fois le programme est stocké dans la mémoire (Program Memory) et le microcontrôleur est initialisé, l'instruction à exécuter est désignée par le PC (Program Counter) et sera chargée dans le registre d'instruction (Instruction Reg) au moyen d'un bus de programme sur 14 bits, puis elle sera décodée dans le décodeur et le contrôleur d'instruction (Instruction Decode & control) et ensuite dirigée vers l'UAL (ALU) avec les données chargées à partir des entrées configurées comme entrées, l'UAL fera l'opération nécessaire et

sauvegardera le résultat temporairement dans le registre de travail (W reg) sur 8 bits. Ce résultat sera aussi mis dans la RAM à l'aide d'un bus de données sur 8 bits.

II.3. La conversion analogique numérique dans le PIC 16F877A

Ce module de conversion convertit un signal analogique présent sur l'une de ces 8 entrées à son équivalent numérique sur 10-bits. Le CAN a deux tensions de référence : haute et basse, qui sont choisis par programmation parmi VDD, VSS, RA2 ou RA3. De plus, il y a 4 registres qui lui sont associés:

- ADCON0 : qui est un registre de contrôle des opérations du CAN, il est disponible à l'adresse 1Fh.
- ADCON1 : qui est un registre de configuration du CAN, il est disponible à l'adresse 9Fh.
- ADRESL : registre de résultat de la conversion, il contient les bits du poids faible, disponible à l'adresse 9Eh.
- ADRESH : registre de résultat de la conversion, il contient les bits du poids fort, disponible à l'adresse 1Eh.

Pour effectuer une conversion A/N, voici les étapes à suivre :

1. Configuration du module CAN :

- Configuration du port entrée pour le CAN et les tensions de référence (par le registre ADCON1 bits 3 :0).
- Sélection du canal d'entrée analogique (par le registre ADCON0 bits 5 :3).
- Sélection de l'horloge de conversion (par le registre ADCON0 bits 7 :6).
- Mise en route du module CAN (par le registre ADCON0 bit 0).

2. Configuration de l'interruption (cette étape n'est pas obligatoire) :

- Mise à '0' du bit ADIF (registre PIR1).
- Mise à '1' du bit ADIE (registre PIE1).
- Mise à '1' du bit PEIE (registre INTCON).
- Mise à '1' du bit GIE (registre INTCON).

3. Attendre à ce que l'acquisition soit faite (temps d'acquisition).

4. Démarrer la conversion :

- Mettre à '1' le bit GO/DONE (registre ADCON0).

5. Attendre à ce que la conversion soit terminée :

- Elle est signalée par la mise à '0' du bit GO/DONE, ou par une interruption.

6. Lire le résultat de la conversion. Le résultat est stocké dans les registres ADRESH : ADRESL, et mettre à '0' le bit ADIF si c'est nécessaire.

7. Pour effectuer une deuxième conversion, il faut attendre au moins 2 fois le temps de conversion par bit.

II.3.1. Choix de l'horloge de conversion

C'est le temps de conversion par bit (TAD), il existe 4 possibilités pour effectuer ce choix, le tableau suivant montre comment ce temps est choisi :

TAD	ADCS1 :ADCS0 (registre ADCON0)	Fréquence max. du composant
2TOSC	00	1.25 MHz
8TOSC	01	5 MHz
32TOSC	10	20 MHz
RC interne du CAN	11	Inferieure à 1 MHz

Tab. II.1 : Valeurs de TAD

Le fonctionnement du CAN continu durant un SLEEP à condition d'utiliser l'horloge RC interne.

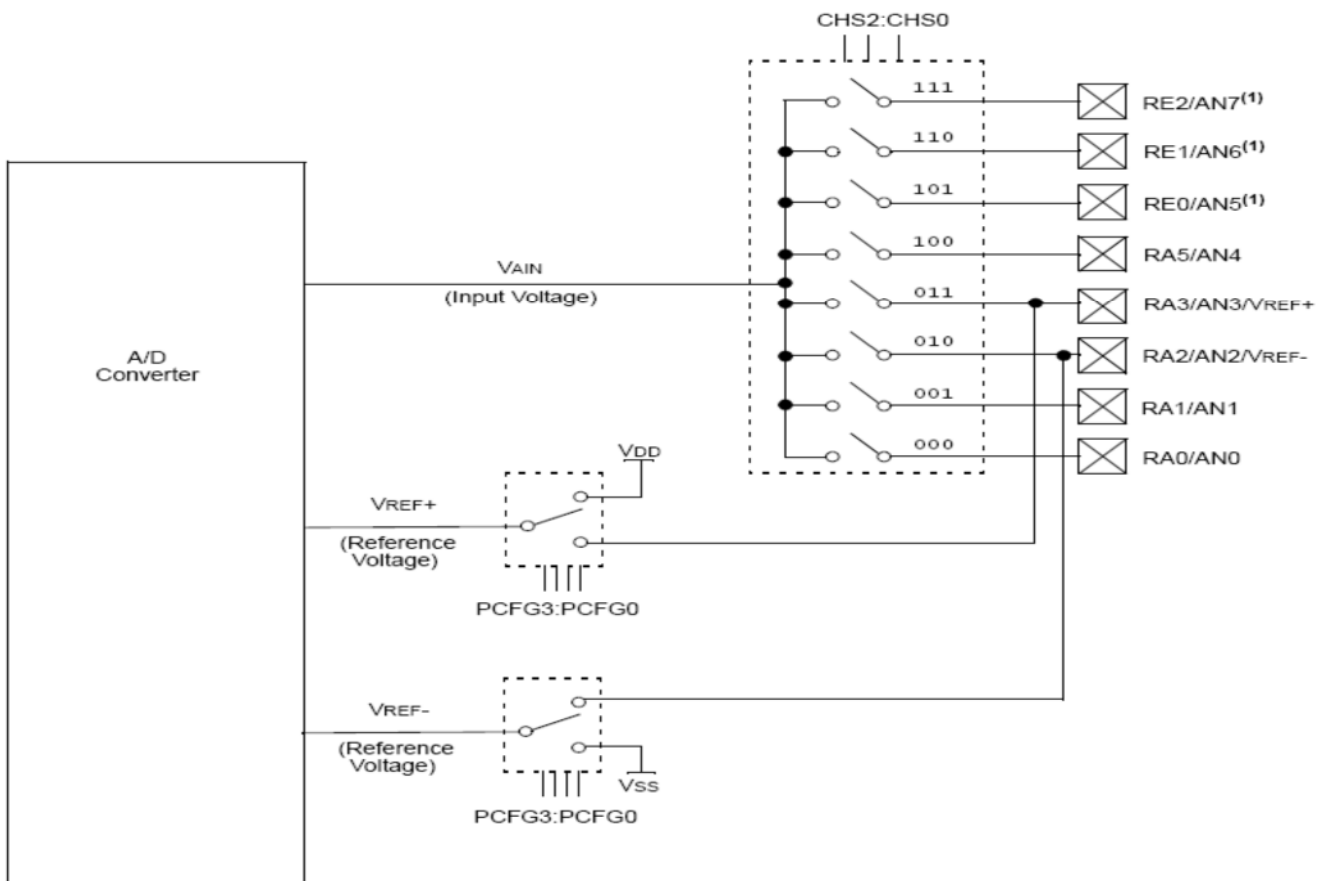


Fig. II.3 : Schéma du module de conversion analogique-numérique [11]

II.4. Modulation de la largeur d'impulsion (MLI)

PWM signifie « Pulse Width Modulation », ce qu'on pourrait traduire par modulation de largeur d'impulsion. Son objectif est de changer une valeur moyenne en agissant sur le rapport cyclique. Puisque ce module utilise essentiellement le timer 2, nous commençons par le décrire.

II.4.1. Description et fonctionnement du timer 2

Le Timer2 est un temporisateur 8-bits avec un pré-diviseur, un post-diviseur et un registre sur 8-bits PR2 dit registre de période. Le registre TMR2 est incrémenté, à l'aide de l'horloge interne (FOSC/4), de 00h jusqu'à une valeur spécifiée dans le registre PR2, puis il recommence de 00h. Lorsqu'il y a une égalité entre le contenu du registre TMR2 et celui du PR2, un signal sera appliqué au Post-diviseur (4-bits) pour générer une interruption. Le Timer2 est arrêté sur la mise à '0' du bit TMR2ON (du registre T2CON).

◆ Registre T2CON :(adresse : 12h)

U-0	L/E-0	L/E-0	L/E-0	L/E-0	L/E-0	L/E-0	L/E-0
-	TOUTPS3	TOUTPS2	TOUTPS1	TOUTPS0	TMR2ON	T2CKPS1	T2CKPS0
Bit7							Bit0

Bit 7 Non-implémenté : Lire comme '0'.

Bit 6:3 **TOUTPS3:TOUTPS0** : Bits de sélection du taux de post-division de la sortie du Timer2.

0000 = 1:1 valeur de post-division.

0001 = 1:2 valeur de post-division.

.

.

.

1111 = 1:16 valeur de post-division.

Bit 2 **TMR2ON** : Bit de mise en marche du Timer2.

1 = Active le Timer2.

0 = Stoppe le Timer2.

Bit 1:0 **T2CKPS1:T2CKPS0** : Bits de sélection du taux de pré-division de l'horloge du Timer2.

00 = Pré-division par 1.

01 = Pré-division par 4.

1x = Pré-division par 16.

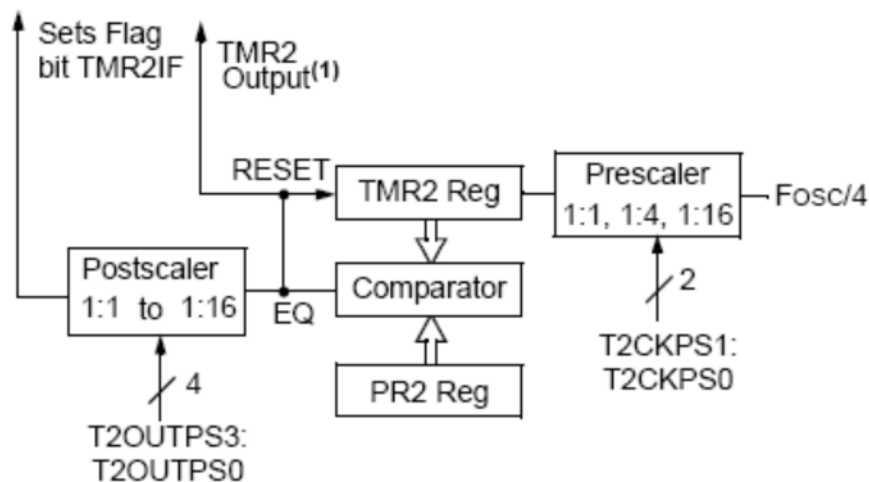


Fig. II.4 : Schéma interne du Timer2 [19]

II.4.2. Période de la PWM

La période de la PWM est spécifiée en écrivant une valeur dans le registre PR2 (registre période du Timer2) et qui sera calculée en utilisant la formule suivante :

Période de la PWM = $[(PR2) + 1] \times 4 \times TOSC \times (\text{la valeur du pré-diviseur du Timer2})$

II.4.3. Rapport cyclique

Le rapport cyclique est spécifié en écrivant une valeur dans le registre CCPR1L (sur 8-bits) qui détermine les bits du poids fort et dans CCP1CON (bit 4 et 5), qui détermine les bits du poids faible donc on a 10-bits. La formule suivante permet de déterminer ce rapport cyclique : Rapport cyclique = $(CCPR1L:CCP1CON<5:4>) \times TOSC \times (\text{la valeur du pré-diviseur du Timer2})$

Le registre CCPR1H est utilisé comme esclave du CCPR1L et ne peut être écrit par le programmeur, il sert, avec les deux autres bits, à sauvegarder la valeur du rapport cyclique pour ensuite générer une même période que la précédente, cette sauvegarde ne se produit que lorsque la valeur du PR2 soit égale à celle du TMR2 (cette égalité signifie qu'une période est terminée).

II.5. Commande MPPT

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un générateur PV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quels que soient les conditions météorologiques (température et l'éclairement), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (V_{mpp} , I_{mpp}).

L'adaptation d'impédance est souvent sous forme d'un convertisseur DC – DC comme représenté sur la figure (Fig. II.5).

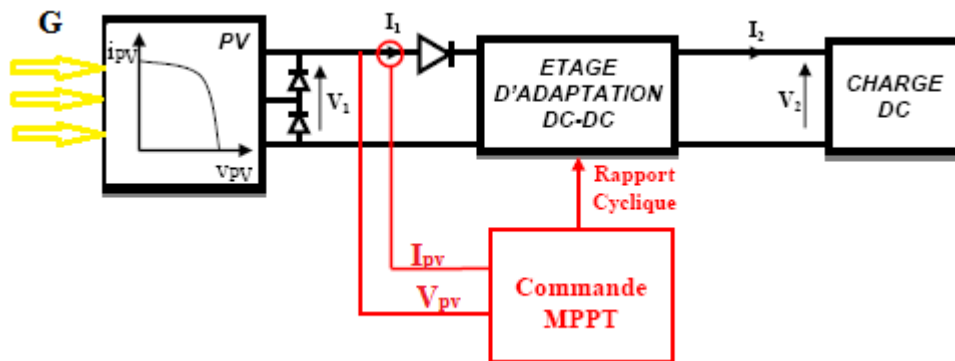


Fig. II.5 : Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT [20]

II.6. Les méthodes de poursuite de MPP

Il existe de nombreux algorithmes utilisés pour trouver le point de puissance maximale. Idéalement, le suivi de la puissance se fait automatiquement pour s'adapter aux conditions météorologiques variables.

II.6.1. Méthodes à contre réaction de tension

Ce genre de mécanismes repose sur le contrôle de la tension de fonctionnement des panneaux par la comparaison de cette tension avec une tension de référence. Cela génère une tension d'erreur qui fait varier le rapport cyclique de la PWM de commande afin d'annuler cette erreur. Selon la nature de cette tension de référence (fixe ou variable, interne ou externe) on a trois types de méthodes [22] :

- Méthode à tension de référence fixe.
- Méthode à tension de référence en fonction de V_{oc} .
- Tension de référence extrême (Cellule pilote).

II.6.2. Méthodes à contre réaction de courant

Cette méthode utilise seulement une mesure de courant pour obtenir l'information sur le point opérationnel et actuel du système. Permet de savoir la valeur du courant optimal dans lequel doit fonctionner le panneau pour extraire le maximum de puissance [22]

- Méthode à courant de référence en fonction du courant de court-circuit I_{sc} .
- Méthode de maximisation du courant de sortie.

II.6.3. Méthodes a contre réaction de puissance

Ces méthodes sont basées sur des algorithmes de recherche itérative pour trouver le point de fonctionnement du panneau pour que la puissance générée soit maximale sans interruption de fonctionnement du système. Elles ne sont pas basées sur des valeurs de références prédéfinies ou à partir des paramètres opérationnels, mais sur la maximisation permanente de la puissance générée par les panneaux solaires. Ainsi pour un point donne on fait la recherche dans un certain sens, si on a une augmentation de la puissance du panneau alors on maintien cette direction de recherche, sinon on cherche dans le sens opposé [22].

II.6.3.1. Méthode par incrémentation de conductance

Pour rechercher les PPM, cette autre technique se base sur la connaissance de la variation de conductance du GPV et des conséquences sur la position du point de fonctionnement par rapport à un PPM. Ainsi, la conductance du module photovoltaïque est définie par le rapport entre le courant et la tension du GPV comme indiqué ci-dessous :

$$G = I_{pv} / V_{pv} \quad (I.1)$$

Et une variation élémentaire (incrément) de conductance peut être définie par :

$$dG = dI_{pv} / dV_{pv} \quad (I.2)$$

D'autre part, l'évolution de la puissance du module PV par rapport à la tension V_{PV} donne la position du point de fonctionnement par rapport au PPM. Lorsque la dérivée de puissance est nulle, cela signifie que l'on est sur le PPM, si elle est positive le point d'opération se trouve à gauche du maximum, lorsqu'elle est négative, on se situe à droite.

Le maximum de puissance peut être alors traqué en effectuant des comparaisons à chaque instant de la valeur de la conductance I_{PV}/V_{PV} avec celle de l'incrément de conductance $\Delta I_{PV}/\Delta V_{PV}$, comme l'illustre l'algorithme de la figure (I.8). V_r correspond à la tension de référence et force le GPV à fonctionner à cette valeur. Si on est au PPM, alors la tension V_r correspond bien à la tension optimale V_{OPT} . Une fois le PPM atteint, le point de fonctionnement peut être maintenu sur cette position jusqu'à la détection d'une variation de ΔI_{PV} . Cela indique alors un changement de conditions climatiques, donc un nouveau PPM à rechercher. Pour cela, l'algorithme incrémente ou décrémente la valeur de V_r jusqu'à atteindre le PPM [23].

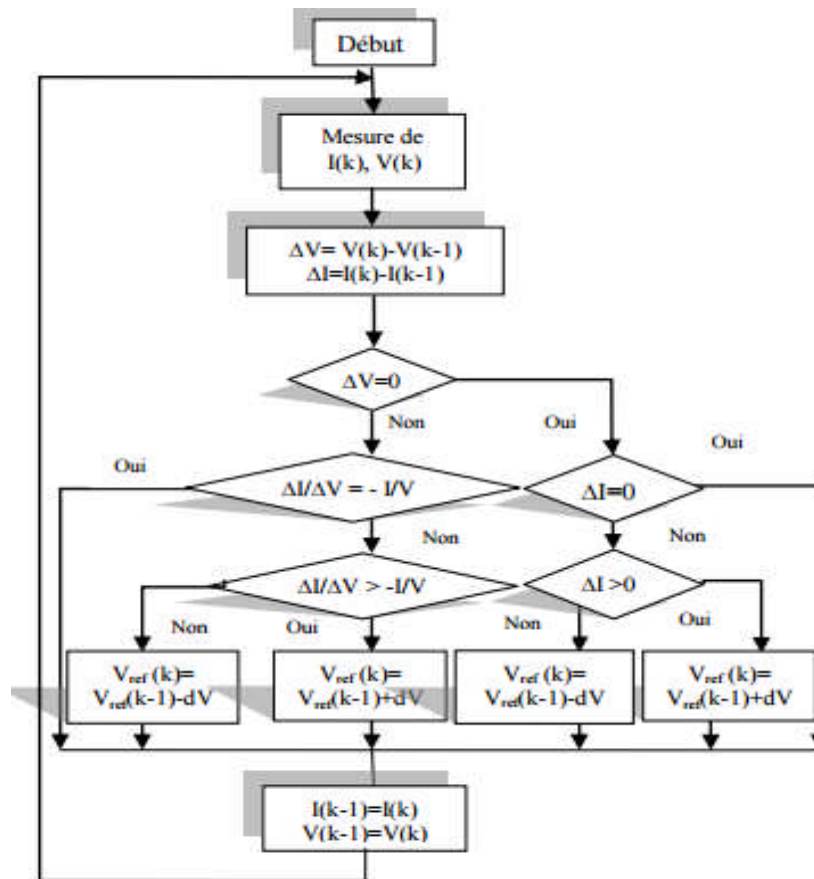


Fig. II.6 : Algorithme d'une commande MPPT basée sur la méthode Incrément de Conductance [24]

II.6.3.2. Algorithme de perturbation et observation

L'algorithme P&O est largement utilisé parce qu'il a la particularité d'avoir une structure simple, et peu de paramètres de mesure, pour l'utiliser on considère que le PV fonctionne à un point qui n'est pas obligatoirement le MPP.

La méthode P&O fonctionne en perturbant périodiquement la tension du panneau VPV avec un ΔV et on observe la variation de l'énergie électrique délivrée à la sortie du PV.

-Si $\Delta P > 0$ alors la perturbation de la tension déplace le point de fonctionnement vers un point plus proche du MPP et on continue à perturber la tension dans la même direction cela va déplacer le point de fonctionnement jusqu'à l'atteinte du MPP.

-Si $\Delta P < 0$ le point de fonctionnement s'éloigne du MPP alors on perturbe la tension avec un signe algébrique contraire au signe précédent pour déplacer le point de fonctionnement jusqu'à l'atteinte du MPP.

sur la figure (**Fig. II.6**) on considère que le point de fonctionnement est sur la courbe (1), le MPPT oscille autour du MPP du point A2 vers le point A puis vers le point A1 et vice versa, si la valeur de l'éclairement augmente la courbe $P(V)$ du panneau se déplace vers la courbe (2) alors le MPPT perturbe le point de fonctionnement du point A vers le point B1 cela nous emmène à $\Delta P > 0$ avec $\Delta P = P(K) - P(K-1)$ et le MPPT continue à perturber les tensions dans la même direction c à d vers le point B2.

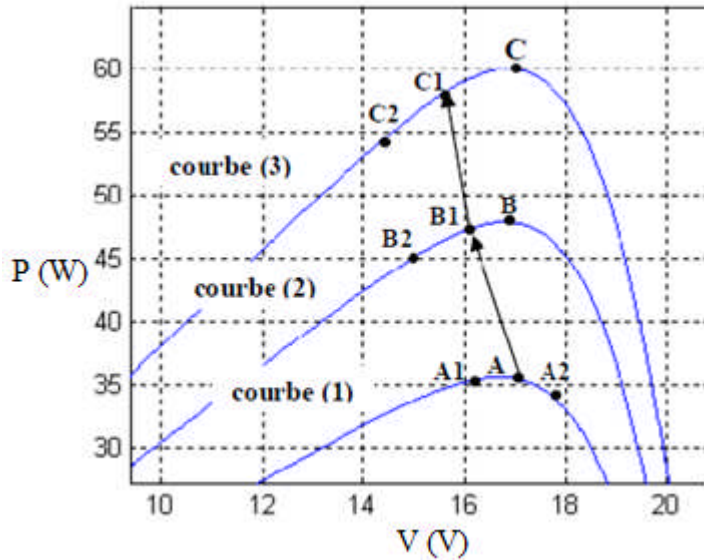


Fig. II.6 : Comportement de l’algorithme P&O sous un changement de l’éclairement [6]

Si l’éclairement augmente toujours le point de fonctionnement se déplace vers le point C1 de la courbe (3) au lieu du point B2 sur la courbe (2) alors le MPPT à toujours $\Delta P > 0$ et il déplace le point de fonctionnement vers le point C2.

A partir des points A → B1 → C1 → C2 l’algorithme P&O continu à s’éloigner du MPP ce qui donne une puissance qui sera perdue et le rendement diminue.

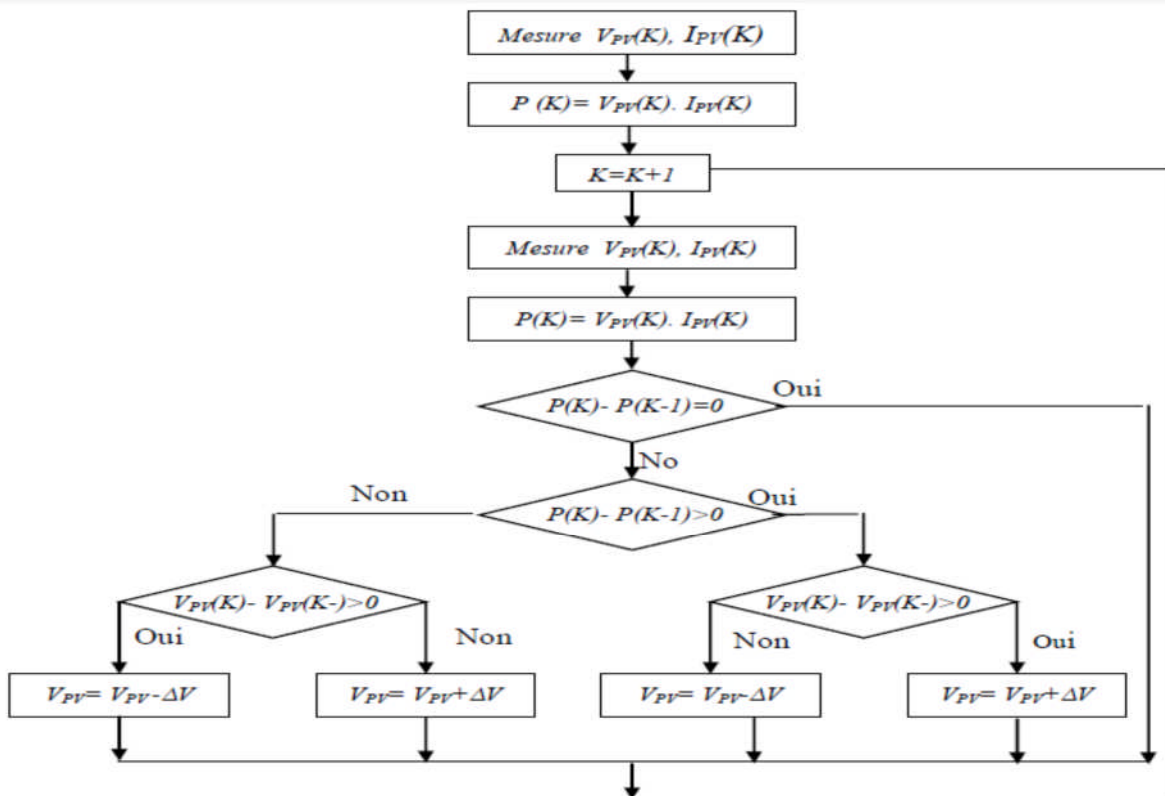


Fig. II.7 : Organigramme de la méthode P&O

II.7. Partie logicielle

Il s'agit dans cette partie de présenter les différents logiciels permettant le développement de notre projet : proteus, le compilateur et le logiciel permettant de gérer le programmeur.

II.7.1. Présentation de proteus

Proteus est une suite de logiciels électronique éditée par la société LabcenterElectronics.

Proteus est composé de deux logiciels principaux : Isis, permettant entre autre la création des schémas et la simulation électrique, et Ares, dédié à la création de circuits imprimés.

Grace à des modules additionnels, Isis est également capable de simuler le comportement d'un microcontrôleur et son interaction avec les composants qui l'entourent.

Le logiciel Isis proteus permet la création d'un schéma électronique avec une grande simplicité. Après un bref apprentissage, il permet de développer son propre schéma électronique. L'application est accompagnée de large librairie de composants.

Malheureusement, il y a des composantes qui ne sont pas disponible dans la bibliothèque. Il faut donc dans un premier temps créer une librairie qui contiendra tous les composants du projet, puis créer les composants. Cette dernière tâche est vraiment simplifiée puisqu'il suffit simplement de créer le contour du composant et d'ajouter ensuite les différentes broches autour de celui-ci, en prenant soin de respecter la nature de la broche (input, output, etc.).

Ceci est capital dans la phase de vérification du schéma et de sa préparation à l'exportation vers un logiciel de routage, car ce dernier pourra alors détecter d'éventuelles erreurs de connexions des broches des composants (par exemple la connexion d'une sortie sur une autre sortie).



Fig. II.8 : Logicielle « ARES &PROTEUS »

II.7.2. Logiciel de programmation du microcontrôleur PIC

Custom computer service dite CCS est une société spécialisée dans la conception du compilateur 'C' développement d'application sur microcontrôleur PIC. (Voir la figure).

Ce compilateur monoposte avec environnement IDE (regroupe un éditeur de texte, un compilateur, des outils automatiques de fabrication, et souvent un débogueur), le Windows renferme un éditeur avec gestion des erreurs syntaxiques, un éditeur de projet, un éditeur de paramètres spécifique à chaque type de microcontrôleur, des « visualiser » de statistiques et de paramètre divers. Il bénéficie d'une génération de code très efficaces et compacte en étant capable d'avoir accès à la gestion de convertisseur (A/N), ou autre de gérer l'état des ports (E/S).

A noter également que les variables utilisées dans notre programme peuvent être associées à des parties 'matériels' du pic (mémoire, ports d'entrée\sortie...) afin que le programme soit lisible et exploitable.

La vitesse d'horloge du microcontrôleur peut être spécifiée afin de concevoir des fonctions de temporisation pour des valeurs données en milliseconde ou en microseconde.

Des fonctions d'entrée/sortie permettent la gestion d'instructions telles que GETC ou PRINTF sur des ports alors gérés comme une communication RS232 (la gestion logicielle et matérielle lorsque cela est possible du port série est pris en compte par les compilateurs).

L'ensemble des accès possibles aux ports d'entrée/sortie est totalement optimisé pour une efficacité maximale.

Les compilateurs « CCS » disposent d'une optimisation de la gestion mémoire (les paramètres de fonction sont placés dans les registres réutilisables limitant de ce fait l'utilisation de la RAM au minimum).

La gestion des pages mémoires « programme est automatiquement pris en compte et de ce fait totalement transparente.

Les constantes de type chaîne de caractère ou tableau sont sauvegardées en mémoire 'programmer' le fichier de sortie 'hexa' et les fichiers 'debug' sont compatibles avec la plupart des programmeurs ainsi que les simulateurs.

Le 'CCS' est caractérisé par une librairie intégrée gérant pour tous les microcontrôleurs, une gestion automatique des pages mémoires, ainsi que les nombreux exemples de programmes livrés.

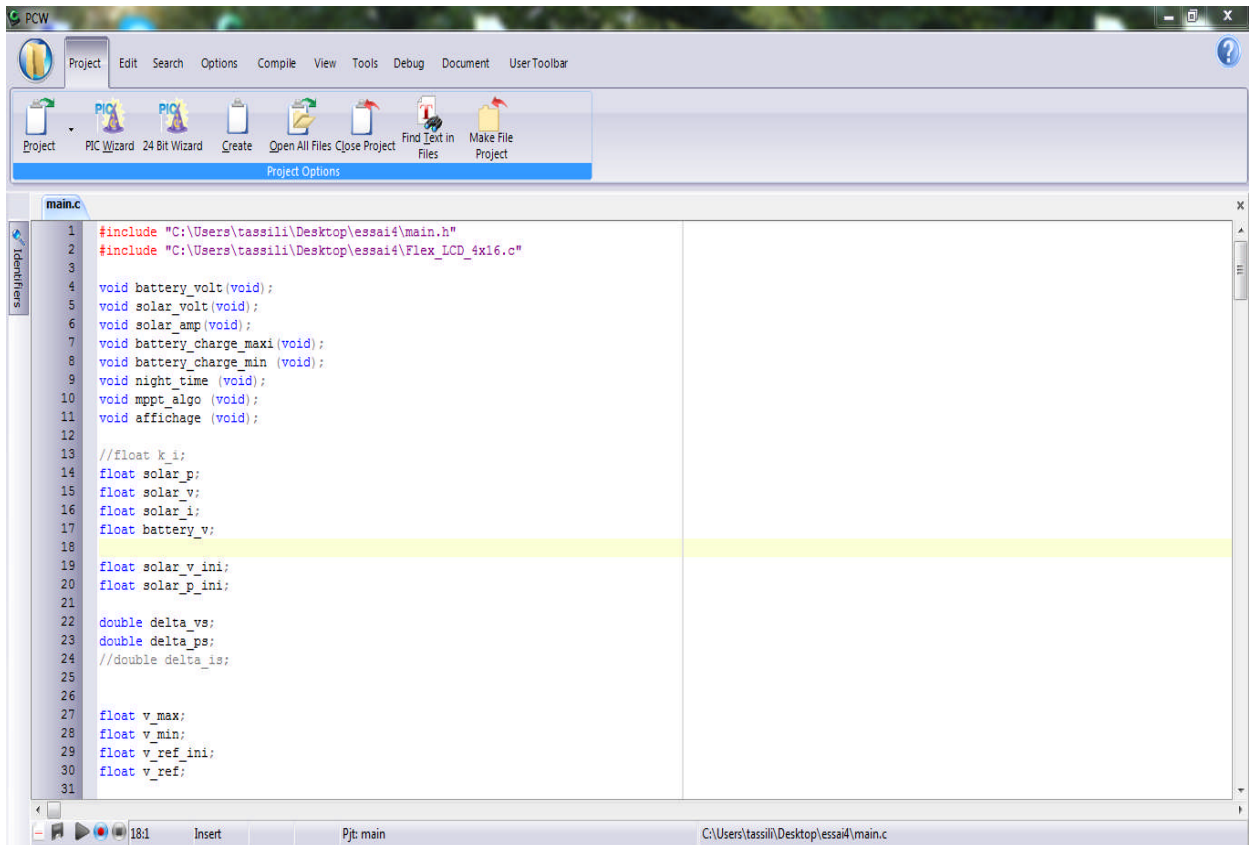


Fig. II.9: Programme "CCS PIC C Compiler"

II.8. Les étapes de programmation avec le compilateur PIC C compiler de CCS

Une fois qu'on a installé ce programme « PIC C Compiler » sur notre PC, on démarre l'application par le raccourci qui se trouve sur le bureau.

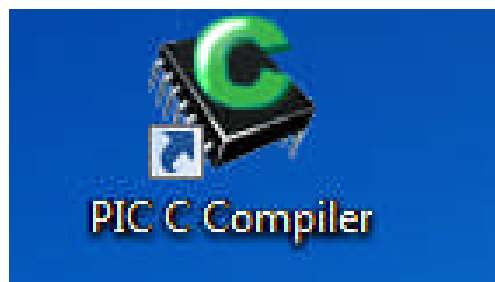


Fig.II.10: PIC C Compiler

II.8.1. Création d'un nouveau projet

Lors de la création du projet, la fenêtre ci-dessous apparaît.

L'utilisation de projet wizard : Menu « Project/New/PIC Wizard », ensuite sélectionner un nom de projet.

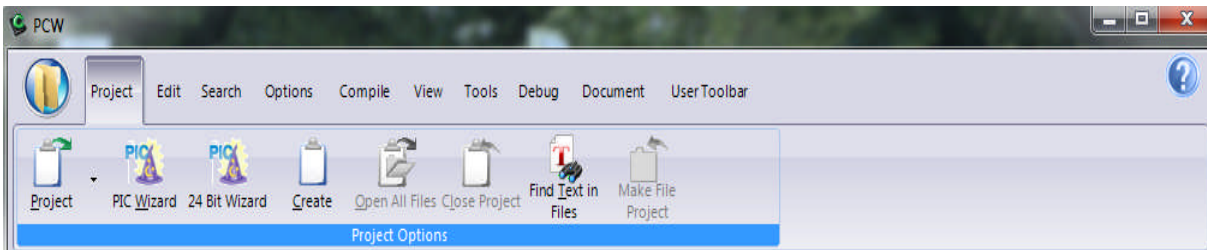


Fig. II.11 : Fenêtre de création de nouveau projet sur le CCS

II.8.2. Configuration des propriétés du PIC

Lors de la configuration du pic la fenêtre suivante apparaît.

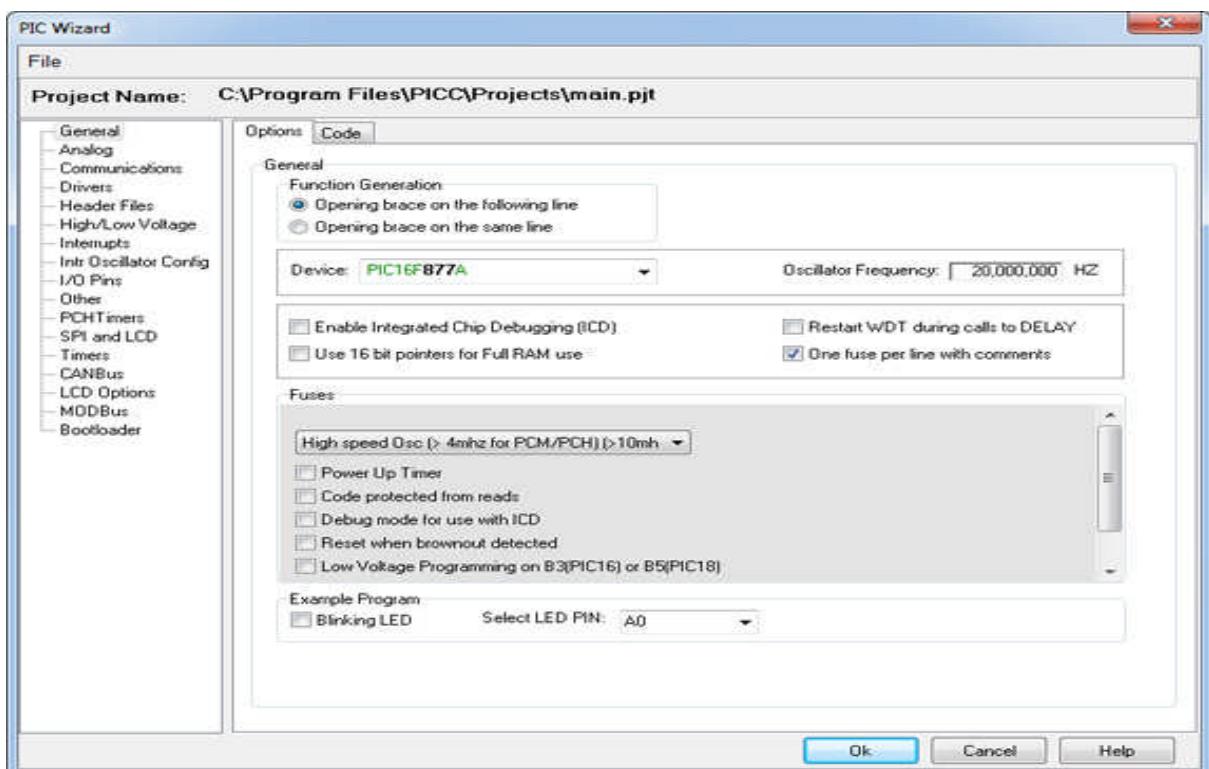


Fig. II.12 : Configuration du PIC

Une boîte à onglet apparaît, suivant les options choisies, des lignes de code seront générées automatiquement, entre autres :

- Type de microcontrôleur : (pour nous, à priori : pic 16f877a)
- Type d'oscillateur : Crystal oscillateur, fréquence : 20 méga HZ.

Alors, cette boîte nous permis de configurer notre PIC comme on veut, à savoir les : I/O, timers, interrupts, analog.....etc.

Si on a oublié quelque chose, il sera toujours temps de l'ajouter après.

II.8.3. Compilation du programme

Une fois qu'on a terminé d'écrire notre programme, on passe à la compilation, qui est très importante, afin d'avoir un fichier « **.HEX** » exécutable par le microcontrôleur PIC. Ceci est illustré par la figure ci-dessous :

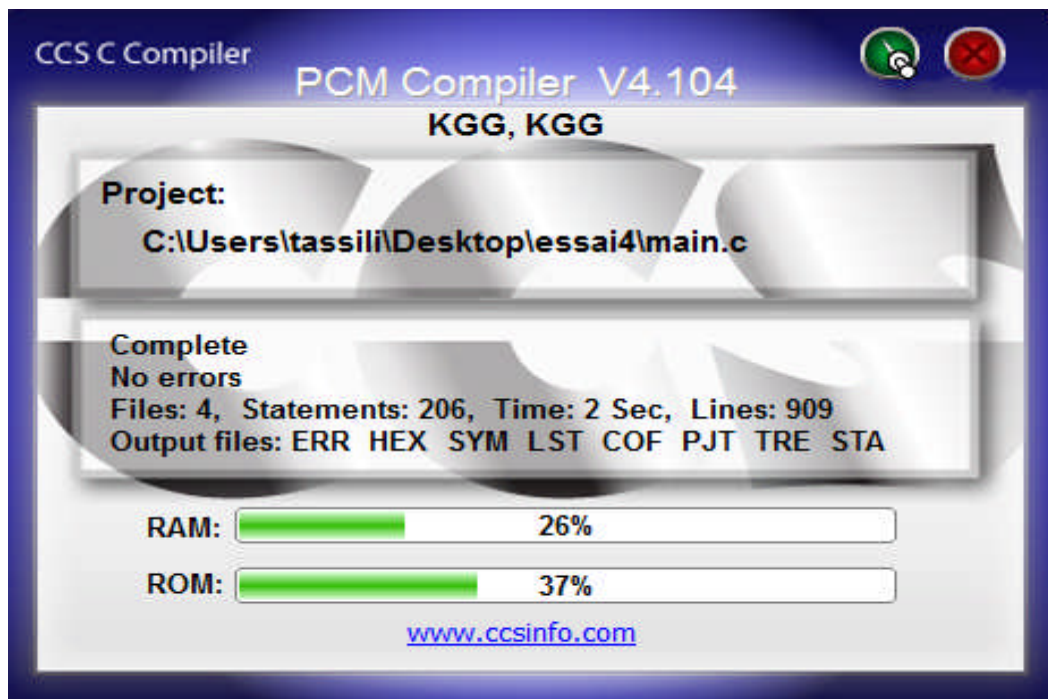


Fig. II.13 : Compilation du programme

II.9. Présentation du programmeur WinPic800

WinPic800 est un logiciel qui nous permet le transfert d'un fichier compilé en hexadécimale vers un PIC ou une mémoire. (Voir **Fig. II.14**). Après l'initialisation du logiciel lors de l'installation, nous chargeons le logiciel avec le Fichier « hexa » qui a été créé par le compilateur ensuite le programme va être chargé dans notre microcontrôleur par l'intermédiaire d'un programmeur (voir **Fig. II.15**).

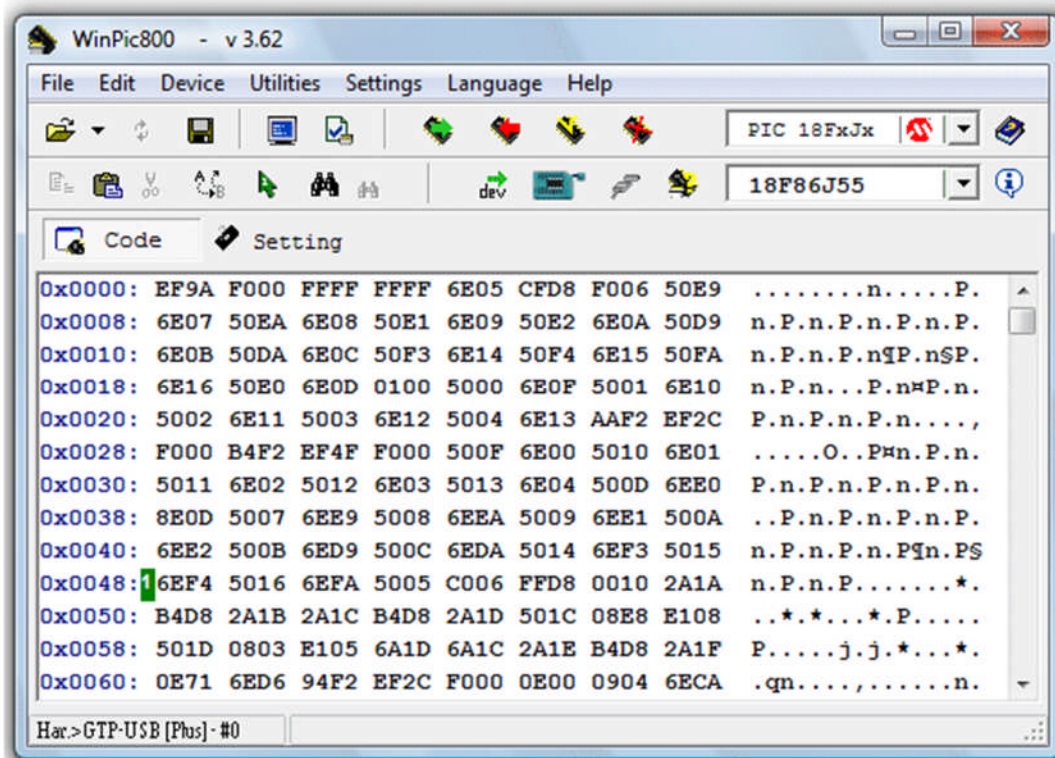


Fig. II.14:Programme du Win PIC 800

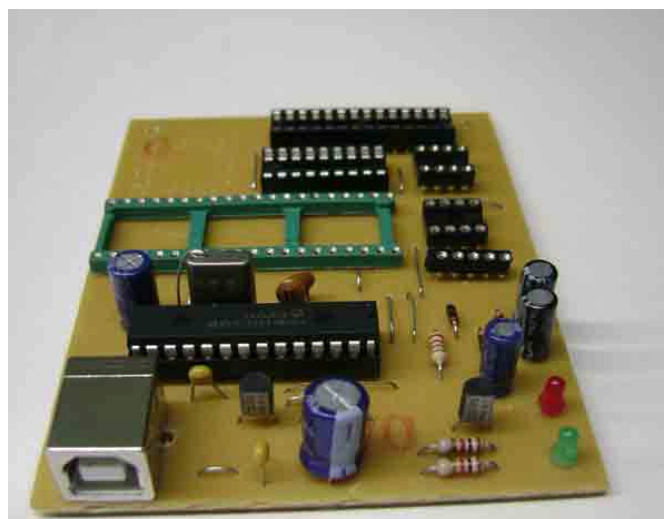


Fig. II.15:Programmateur du pic

II.10. Partie programmation

L'avantage du compilateur CCS est que le logiciel fait appel à des bibliothèques spécifiques à la demande de l'utilisateur qui commencent par (#include) pour ne pas compliquer la programmation, mais on doit respecter les consignes d'entrée/sortie des pins du PIC 16f877a.

Après avoir écrit le programme, nous l'avons simulé à l'aide de PROTEUS. Ce dernier nous a permis de réaliser le circuit du PIC 16F877A auquel nous avons ajouté un afficheur LCD pour afficher les valeurs de la tension de référence et de la puissance et la tension de batterie à chaque variation de la température et de l'éclairement. Une fois que le programme est injecté dans le PIC on démarre la simulation. Pour chaque variation de la tension et du courant du GPV nous visualisons le signal de la tension aux bornes du générateur photovoltaïque et de la tension de la batterie.

La figure suivante illustre le circuit de simulation et le signal de la commande MPPT.

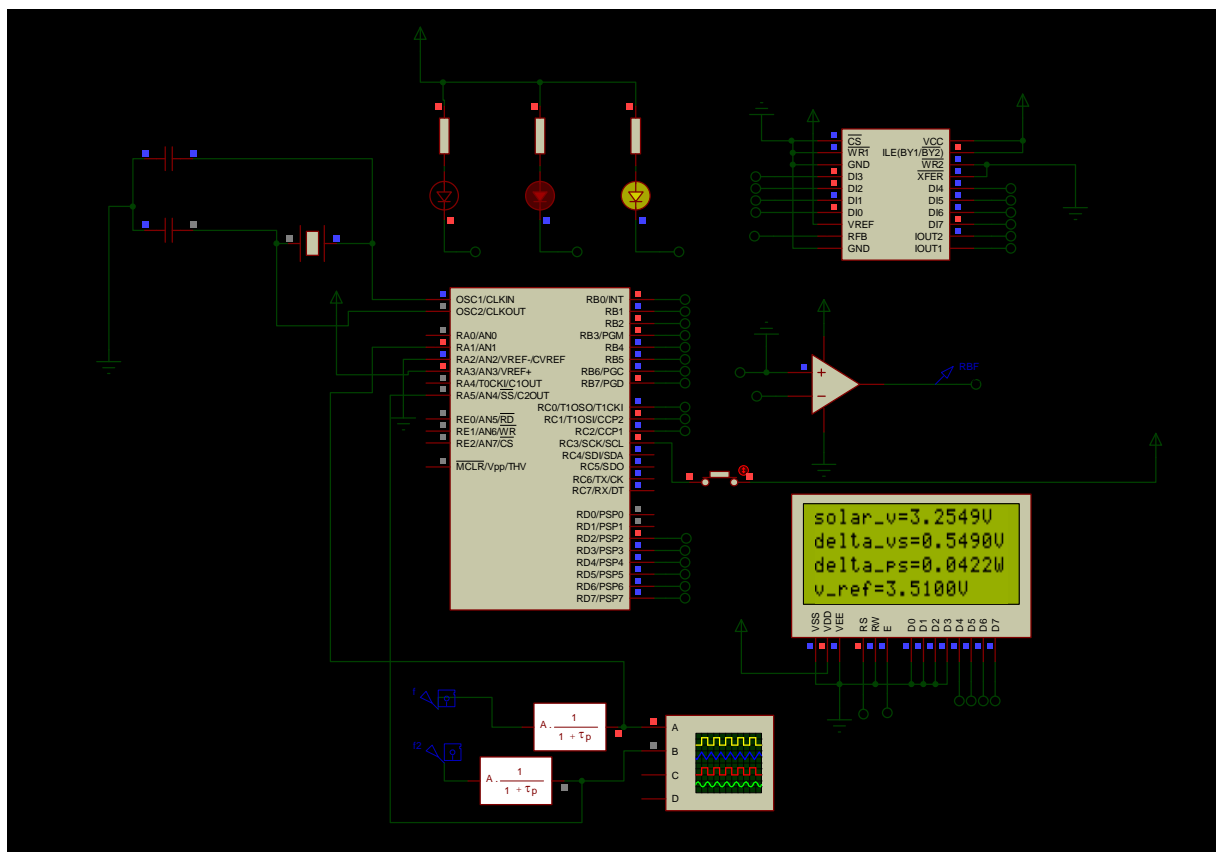


Fig. II.16 : Schéma de simulation réalisé par PROTEUS

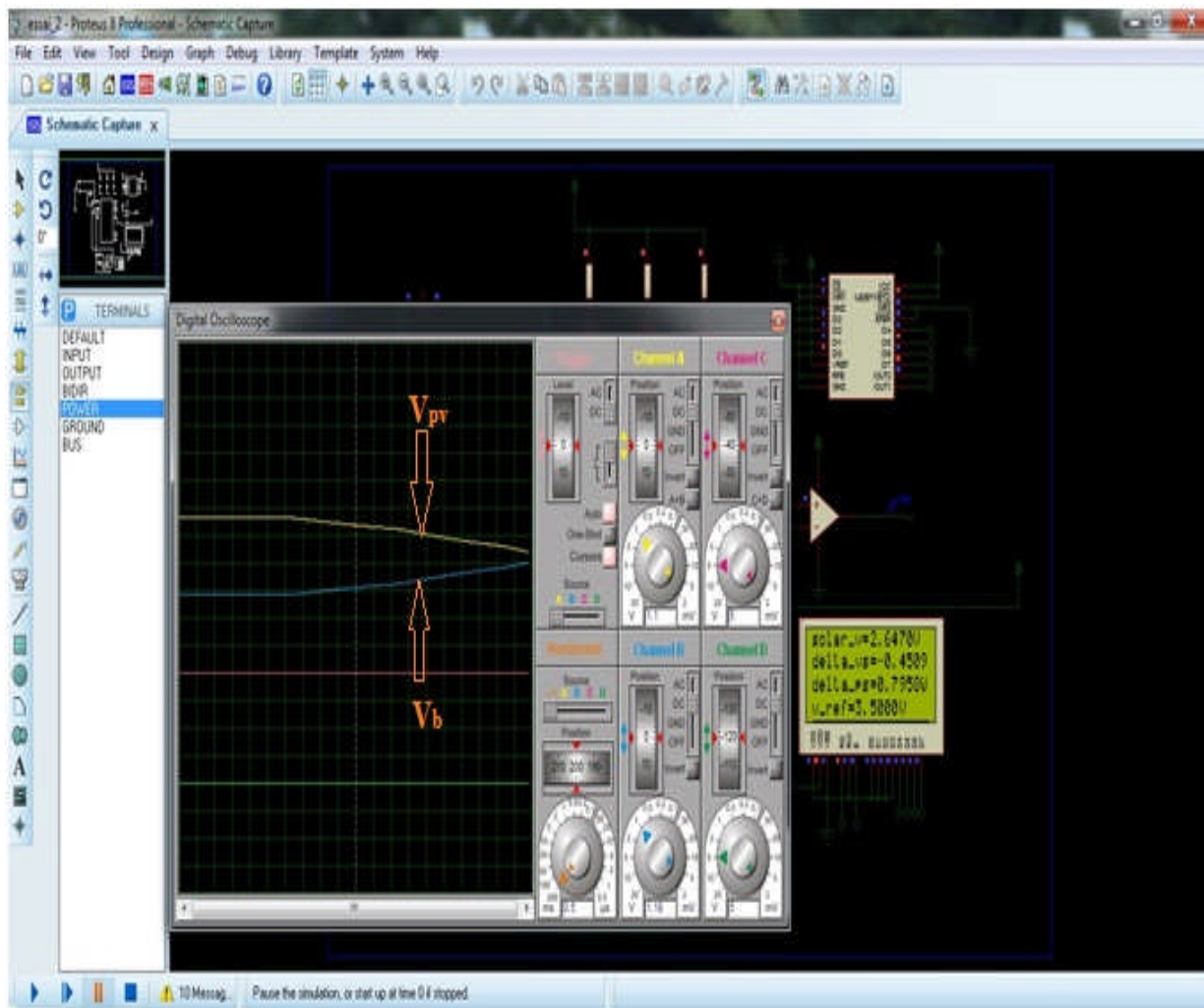


Fig. II.17 : Résultat de simulation

II.11. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné une description des modules les plus importants du à savoir :

La conversion analogique/numérique et le module de la modulation de la largeur d'impulsions.

Ensuite nous avons détaillés les différentes méthodes de la recherche du point de puissance maximale.

Enfin, On a programmé le pic et une simulation du programme sous le logiciel PROTEUS a été réalisée.

Chapitre III

Conception et réalisation de la carte MPPT

III.1. Introduction

Dans ce chapitre nous détaillerons la réalisation électronique de la commande MPPT développée dans le cadre de ce projet. Pour atteindre le but, nous allons réaliser deux cartes électroniques à savoir le bloc alimentation, la carte MPPT avec affichage. La gestion du pic est assurée par un programme que nous avons chargé dans la mémoire interne du pic 16F877A pour que l'adaptation se fasse automatiquement à tout instant. L'objectif principal de ce programme est d'effectuer une recherche du point de puissance maximale PPM du panneau photovoltaïque.

III.2. Description de l'installation

La figure représente les panneaux PV utilisés dans le cadre de nos travaux. Dans notre présent travail, nous avons considéré un seul panneau.

Les caractéristiques constructeurs de ces panneaux sous conditions standards ($1000\text{W}/\text{m}^2$, 25°C) sont illustrées dans le tableau



Fig.III.1 : Site photovoltaïque de laboratoire de recherche LATAGE-UMMTO

Module	80M-12
Puissance	85 W (25°C)
Tension optimale	17.10 V
Courant optimale	4.70 A
Tension à circuit ouvert	21.9 V
Courant de court-circuit	4.96 A

Tab.III.1 : Caractéristique du panneau solaire du LATAG-UMMTO

III.3. Description de la commande MPPT à réaliser

Comme nous l'avons cité dans le deuxième chapitre, notre réalisation MPPT se base sur la méthode de « **Perturbation et Observation P&O** » à cause de sa simplicité. La **figure** présente le schéma de principe de la commande MPPT [11].

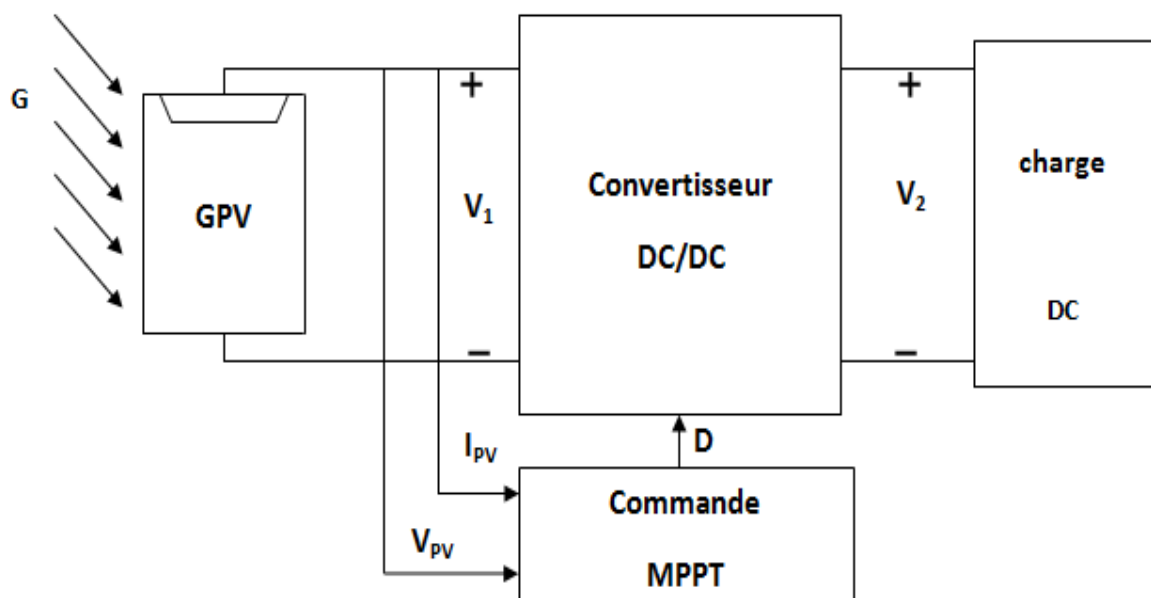


Fig.III.2 : Schéma de principe de la MPPT

Cette méthode de recherche du point de puissance maximale est considérée comme la première technique développée pour atteindre cet objectif, elle se base sur l'algorithme suivant :

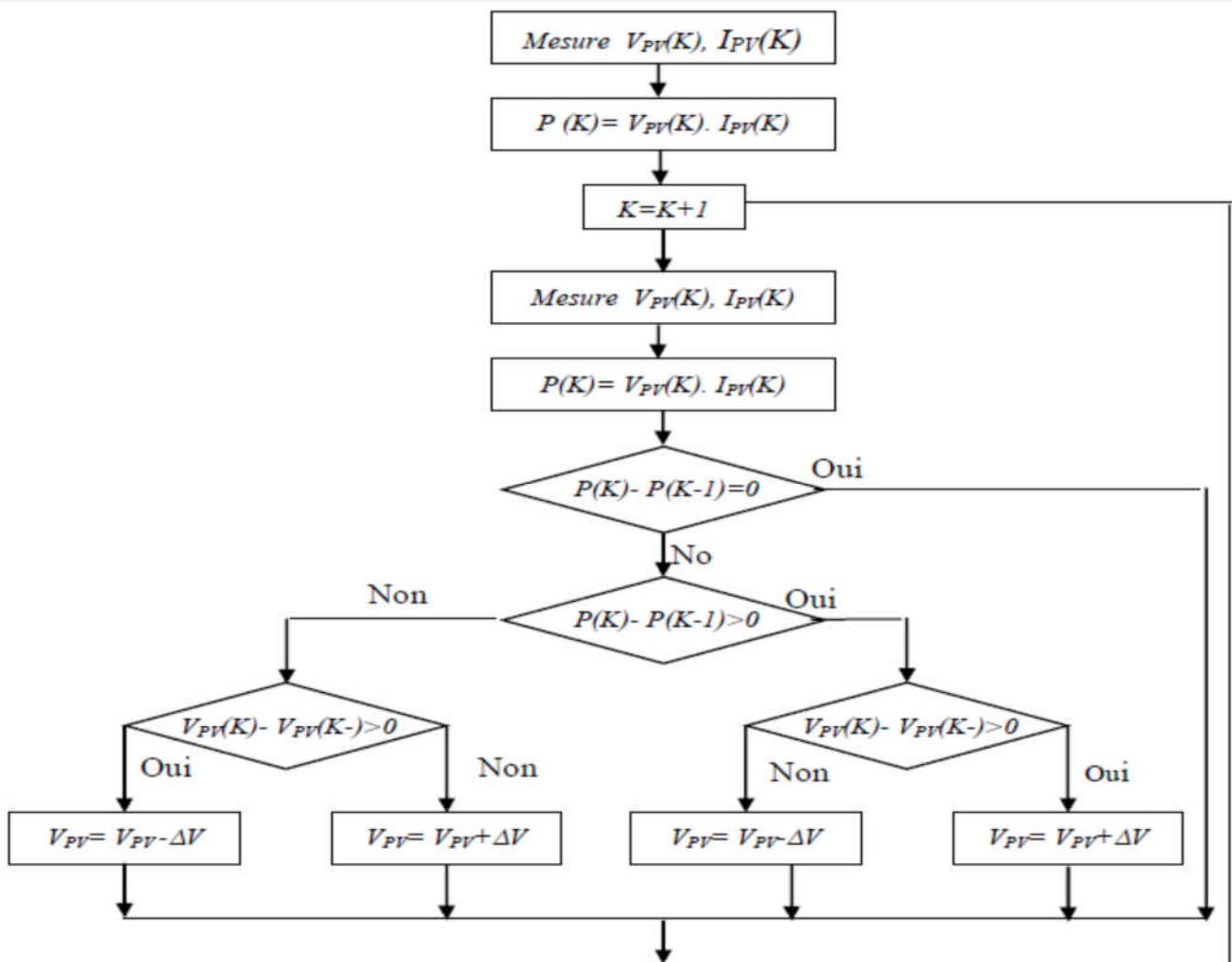


Fig.III.3 : Algorithme P&O de la commande MPPT

C'est l'algorithme de poursuite du PPM le plus utilisé, et comme son nom l'indique, il est basé sur la perturbation du système par l'augmentation ou la diminution de V_{ref} ou en agissant directement sur le rapport cyclique du convertisseur DC-DC. À chaque cycle, V_{pv} et I_{pv} sont mesurés pour calculer $P_{pv}(k)$. Cette valeur de $P_{pv}(k)$ est comparée à la valeur $P_{pv}(k-1)$ calculée au cycle précédent. Si la puissance de sortie a augmenté, V_{pv} est ajustée dans la même direction que dans le cycle précédent. Si la puissance de sortie a diminué, V_{pv} est ajustée dans la direction opposée que dans le cycle précédent. V_{pv} est ainsi perturbée à chaque cycle de MPPT. Quand le point de puissance maximale est atteint, V_{pv} oscille autour de la valeur optimale V_{op} , ceci cause une puissance qui augmente avec le pas de l'incrémention de la perturbation. Si ce pas d'incrémention est large, l'algorithme du MPPT répond rapidement aux changements soudains des conditions de fonctionnement. D'autre part, si le pas est petit, les pertes, lors des conditions de changements atmosphériques lents ou stables, seront inférieures mais le système ne pourra pas répondre rapidement aux changements rapides de la température ou de l'éclairement.

III.4. Les différentes cartes réalisées

III.4.1. Bloc d'alimentation

Afin d'assurer l'alimentation de convertisseur numérique analogique DAC0832, nous avons réalisé une carte à quatre niveaux de tension (+5V, -5V, +15V, -15V), plusieurs composants sont utilisés dans cette carte:

- Un transformateur abaisseur 220V / 17V ;
- Un redresseur à pont de GRETZ ;
- Un régulateur L7805CV pour stabiliser la tension à +5V ;
- Un régulateur L7905CV pour stabiliser la tension à -5V ;
- Un régulateur L7815CV pour stabiliser la tension à +15V ;
- Un régulateur L7915CV pour stabiliser la tension à -15V ;
- Et les différents composants (condensateurs, diodes, résistances...).



Fig.III.4 : Carte de l'alimentation

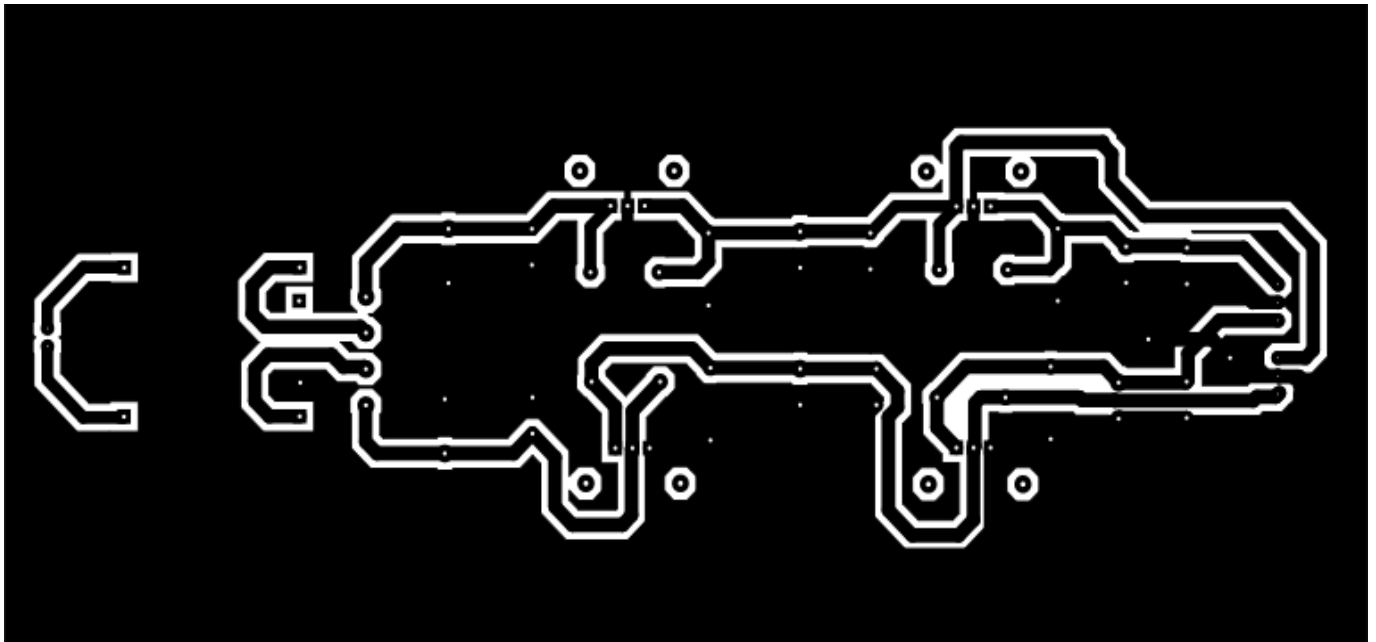


Fig.III.5: Circuit imprimé de la carte d'alimentation

III.4.2. La carte MPPT

C'est la carte du microcontrôleur, plusieurs composants électroniques sont utilisés pour la mise en marche de cette carte et pour chacun son rôle :

- Le transformateur abaisseur 220 / 12 V ;
- Un redresseur monophasé qui effectue le passage du courant alternatif au continu.
- Un Microcontrôleur 16F877A qui reçoit les données d'acquisitions de la tension et courant du panneau photovoltaïque et génère le signal MLI approprié après l'implémentation du programme MPPT
- Un afficheur LCD 4x16 pour afficher les différentes valeurs de la tension et de la puissance au niveau du panneau solaire ;
- Un bouton poussoir qui va réinitialiser à chaque fois le microcontrôleur ;
- Deux potentiomètres pour le réglage de tension et du courant ;

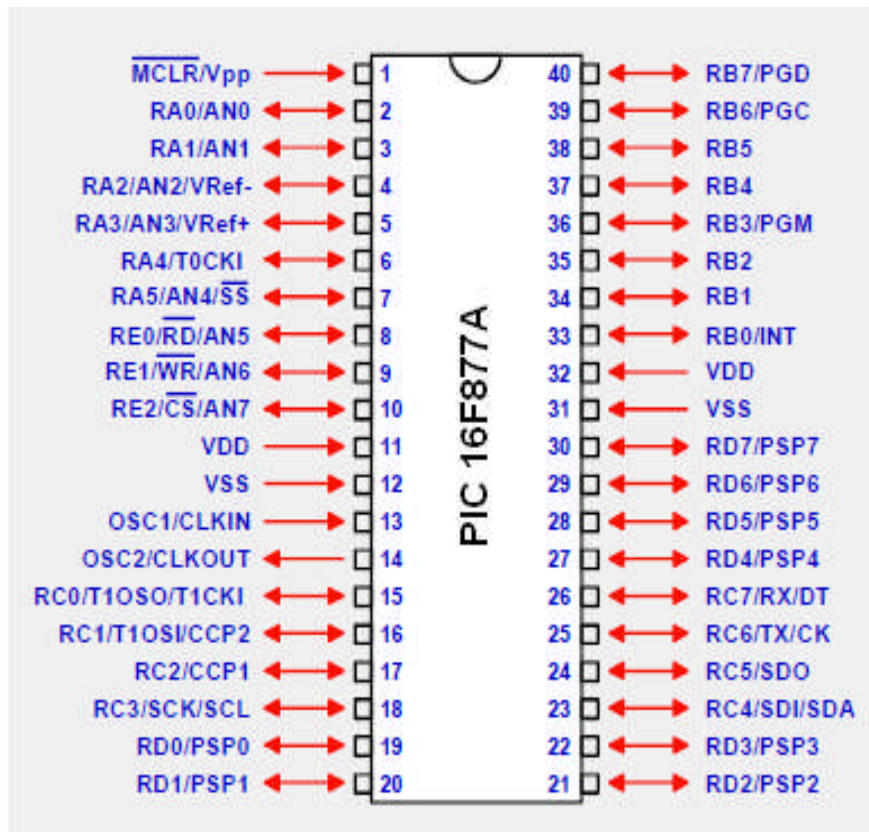


Fig.III.6 : Schéma de brochage du PIC 16F877A

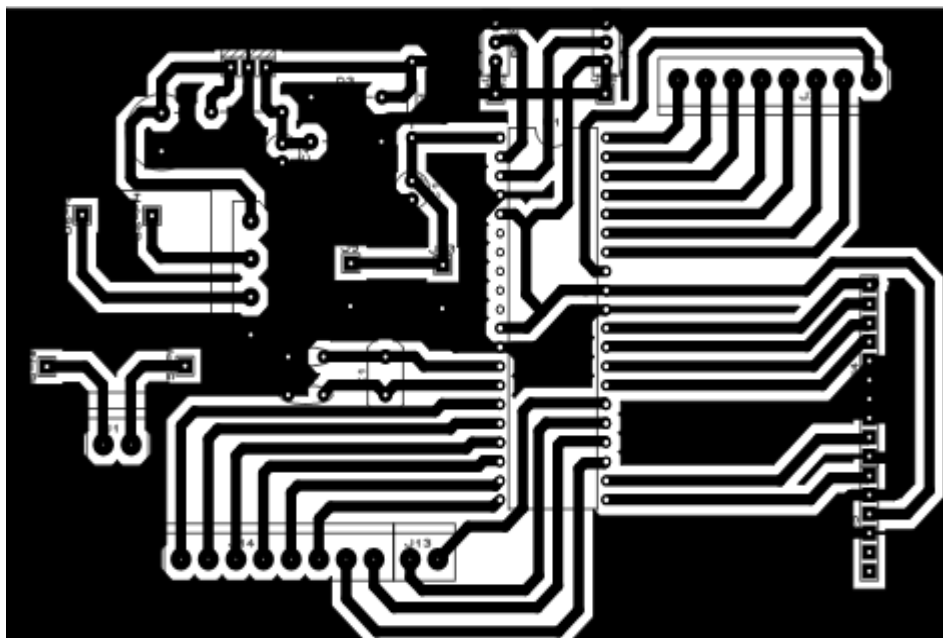


Fig.III.7 : Circuit imprimé de la carte MPPT

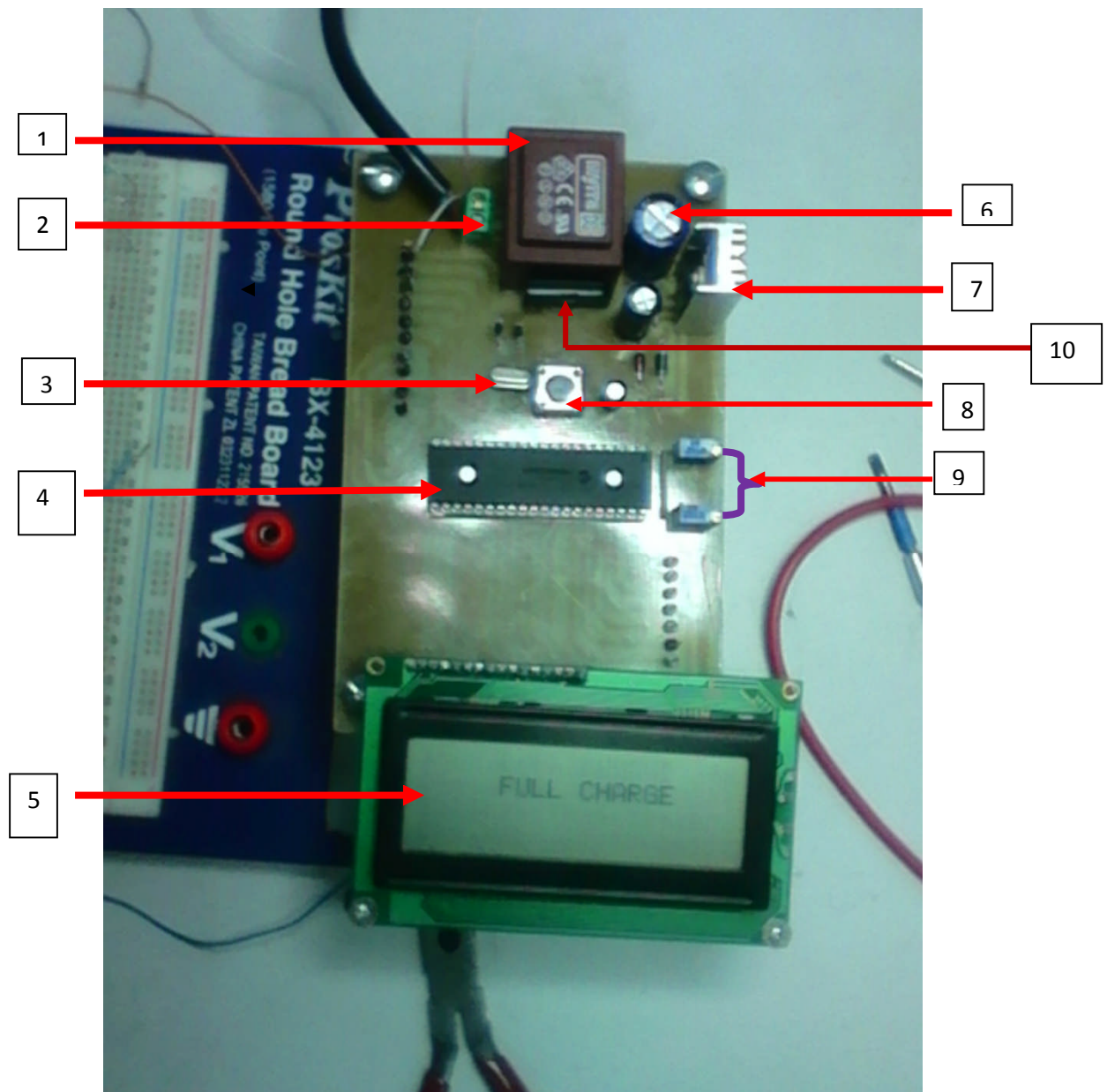


Fig.III.8 : La carte MPPT

1. Transformateur abaisseur 220/12V
2. Secteur d'alimentation
3. Quartz
4. Microcontrôleur pic16F877A
5. Afficheur LCD 4x16
6. Condensateur
7. Radiateur
8. Bouton poussoir
9. Deux potentiomètres
10. Redresseur monophasé

III.5. Affichage des données

Pour l'affichage des différentes grandeurs mesurées et d'autres informations utiles, nous avons utilisé un afficheur à cristaux liquides (LCD) à quatre (04) lignes. Un circuit intégré spécialisé est chargé de la gestion du module. Il remplit une double fonction d'une part, il commande l'affichage, et se charge de la communication avec l'extérieur.

Le tableau ci-dessous présente les différentes broches de l'afficheur.

Broche	Nom	Fonction
1	V_{ss}	Masse
2	V_{dd}	Alimentation positive +5V
3	V_{ee}	Réglage du contraste de l'afficheur
4	RS	Sélection du registre (registre Select)
5	R /W	Lecture ou écriture (Read / Write)
6	E	Entrée de validation (Enable) active sur front descendant
7...14	D0...D7	Bus de données bidirectionnel 3 états
15	A	Anode rétro éclairage (+5V)
16	K	Cathode rétro éclairage (masse)

Tab.III.2 : Les différentes broches de l'afficheur

III.6. Convertisseur Numérique analogique

Un convertisseur numérique-analogique (CNA, de N/A pour numérique vers analogique ou, en anglais, DAC, de D/A pour Digital to Analogic) est un composant électronique dont la fonction est de transformer une valeur numérique (codée sur plusieurs bits) en une valeur proportionnelle à la valeur numérique codée. Le plus souvent, la valeur codée sera une tension électrique.

Dans notre projet nous avons utilisé le convertisseur numérique analogique DAC0832 pour convertir les valeurs numériques du microcontrôleur pic 16F877A en valeurs analogiques.



Fig.III.9 : Convertisseur numérique analogique

Pour tester le fonctionnement du programme que nous avons chargé dans le microcontrôleur, nous avons réalisé le circuit de la figure ci-dessous.

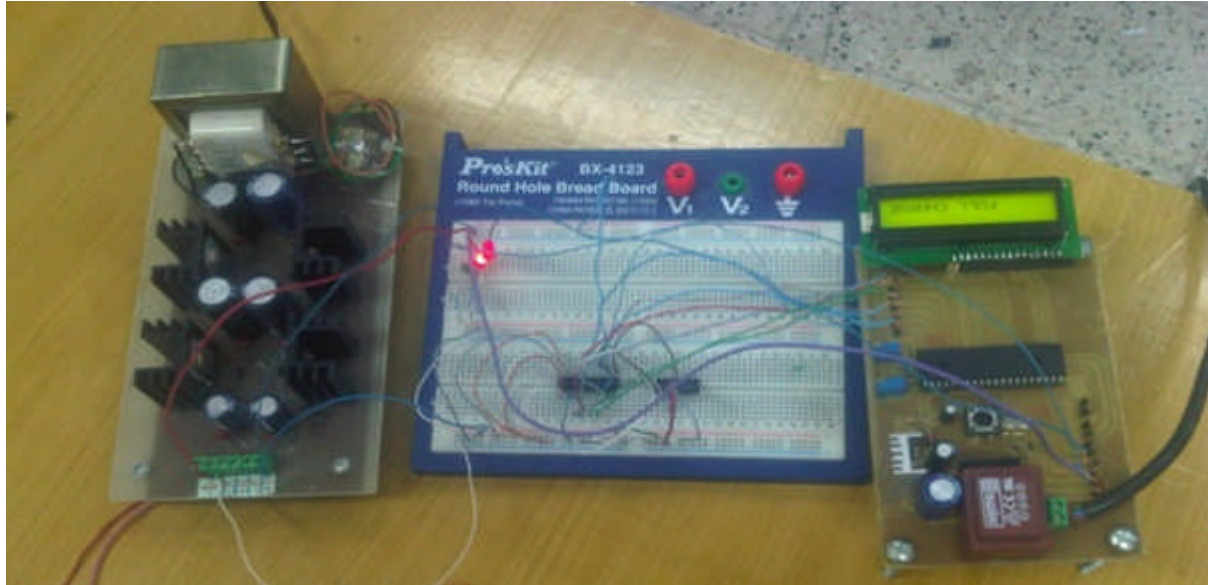


Fig.III.10 : Schéma du montage

A chaque variation de la tension et du courant au niveau du générateur photovoltaïque à l'aide des deux potentiomètres, Les valeurs de la tension de référence et la tension de la batterie ainsi la puissance récupérée et l'état de charge de la batterie sont affichés dans l'afficheur LCD 4x16 que nous avons connecté au niveau de la carte MPPT.

Nous remarquons que la tension de référence varie, ce qui signifie que l'algorithme MPPT utilisé fonctionne

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons réalisé essentiellement la carte MPPT qui assure l'extraction de la puissance maximale au niveau du panneau photovoltaïque à chaque variation de la tension au niveau du générateur photovoltaïque causé par l'éclairement et les conditions atmosphériques, et nous avons réalisé la carte d'alimentation qui est nécessaire pour l'alimentation de certains composants.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le générateur photovoltaïque est un convertisseur d'énergie caractérisé par un point de fonctionnement où la puissance générée est maximale. Ce point varie en fonction des conditions atmosphériques. Un mécanisme de poursuite s'avère alors indispensable pour que le générateur photovoltaïque puisse fonctionner avec une efficacité acceptable. Ce processus de poursuite est connu sous le nom de contrôleur MPPT. Une adaptation source/charge est réalisée à travers un algorithme, permettant un transfert maximal de puissance du panneau vers la charge. Notre travail consiste à réaliser un mécanisme de poursuite du point maximal de puissance à base d'un microcontrôleur de la famille Microship 16F.

Dans un premier temps, nous avons donné un aperçu général sur les systèmes photovoltaïques et les notions sur les cellules et les modules photovoltaïques et l'influence de l'éclairement et la température sur le GPV.

Dans la deuxième partie, nous avons exposé quelques commandes MPPT les plus utilisées. Nous avons opté pour un algorithme P&O. qui est efficace et simple à mettre en œuvre.

En dernier lieu nous avons réalisé les différentes cartes électroniques (carte d'alimentation, carte MPPT) afin de tester l'algorithme MPPT proposé.

La technique que nous avons développée est hybride (Numérique- Analogique). Le microcontrôleur est utilisé pour implémenter l'algorithme MPPT en mesurant la tension et le courant du panneau, Une tension de référence est récupérée sous une forme binaire. Ensuite un circuit analogique (DAC0832) est utilisé pour convertir cette tension de référence à une tension analogique qui peut être appliquée pour réaliser une chaîne de réglage.

Pour les perspectives de ce travail, il est intéressant de continuer le dimensionnement de la chaîne de réglage.

Bibliographie

- [1] B.Omar, C.Idris, " L'intégration du photovoltaïque Au Réseau électrique Problèmes et Perspectives", Mémoire ingénieur, Université Mohamed Khider de Biskra, 2006.
- [2] B. Wafa S. Samah, « étude comparative des systèmes de pompage photovoltaïque " Mémoire ingénieur, Université Mohamed Khider de Biskra, 2006.
- [3] R.Chenni, "Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque Dans un village solaire ", thèse Doctorat, Université Mentouri de Constantine, 2007.
- [4] S. NAOUAL, "Modélisation et Extraction Automatique des Paramètres d'un Générateur" Mémoire de Magister, " Université Ferhat Abbas, 2010.
- [5] B. Flèche, D. Delagnes, « Energie solaire photovoltaïque », STI ELT Approche générale, juin 2007.
- [6] Borni abdelhalim, « étude et régulation d'un circuit d'extraction de la puissance maximale d'un panneau solaire» Mémoire de magister, Université Mentouri de Constantine, 2009.
- [7] Y. Pankow, « Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension» Thèse de doctorat de l'école Nationale supérieure d'Art et Métiers de Lille décembre 2004.
- [8] K.Akhmoum, Dj.Ferrag, « Calcul et réalisation d'un bobinage de moteur asynchrone triphasé de puissance 11 kw réalisé au sein de l'entreprise électro-industrie » Mémoire de TS en électrotechnique, centre de Oued Aïssi, septembre 2014.
- [9] Mohamed lakhdar louazene, «étude technico-économique d'un système de pompage Photovoltaïque sur le site de Ouargla »Mémoire de Magister, Université Hadj Lakhdar de Batna, 2008.
- [10] BIGONOFF, «La programmation des PIC Par Bigonoff, Seconde Partie- Révision 21, la gamme MID-Range par l'étude des PIC 16F87X.
<http://www.abcelectronique.com/bigonoff> ou www.bigonoff.org.
- [11] H.Akhmoum, A.Badji, «Conception d'un circuit d'extraction de la puissance maximale d'un panneau photovoltaïque à base d'un microcontrôleur» Mémoire ingénieur, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2012.
- [12] http://www.minhha.vn/solar_water_pump_en.html
- [13] http://www.renewables.net/solar_design_guide.html
- [14] P.Emmanuel, « production de l'énergie photovoltaïque à la société nova diffusion université de ngaoundere» Mémoire de Magister, Université Ngaoundere de Cameroun 2008.

- [15] Abbassen Lyes « Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque » Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri TiziOuzou, 2011.
- [16] <http://costelec09.free.fr/?p=photovoltaique&r=reseau>
- [17] <http://tpworks-place.com/documents/1916/viewer/visu.php?f=4>
- [18] <http://fr.slideshare.net/abdellatifmoubarik/cours-pics16-f877>
- [19] <http://www.circuitstoday.com/timer-modules-in-pic-16f877>
- [20] Cabal Cédric «Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque» mémoire de doctorat, Université de Paul Sabatier Toulouse III, septembre 2008.
- [21] Boukli-hacene.O«Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion énergétique » Mémoire de Magister, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, Décembre 2011.
- [22] M.mechalikh, C.Hamada « Modélisation et simulation d'un système Photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau » Mémoire de Master2, Université Kasdi Marbah de Ouargla, 2013.
- [23] H.Akhmoum, A.badji«Etude et réalisation d'une carte de commande numérique d'un hacheur élévateur entrelacé associé à un panneau photovoltaïque » Mémoire de Master2, Université Mouloud Mammeri de TiziOuzou, 2013.
- [24] Hanen Abbes, Hafedh Abid, Kais Loukil, Ahmad Toumi, Mohamed Abid«Etude comparative de cinq algorithmes de commande MPPT pour un système photovoltaïque» Conférence internationale des énergies renouvelables, Tunisie 2013.

Annexes

Pin Diagram

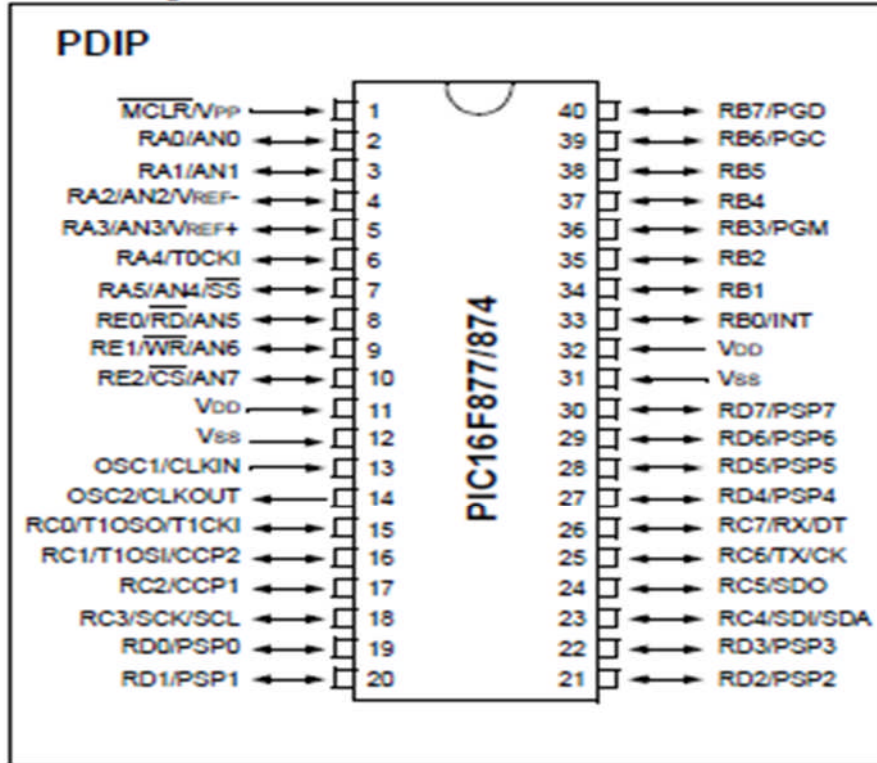


Fig.1 : Schéma de brochage du PIC 16F877A

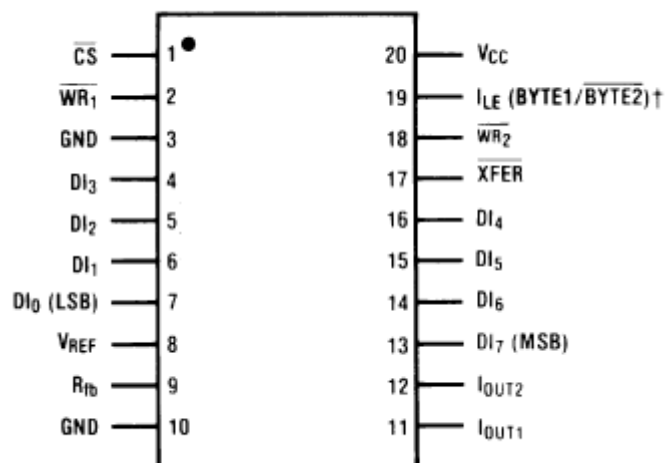


Fig.2 : différents pins du DAC0832

Annexe B

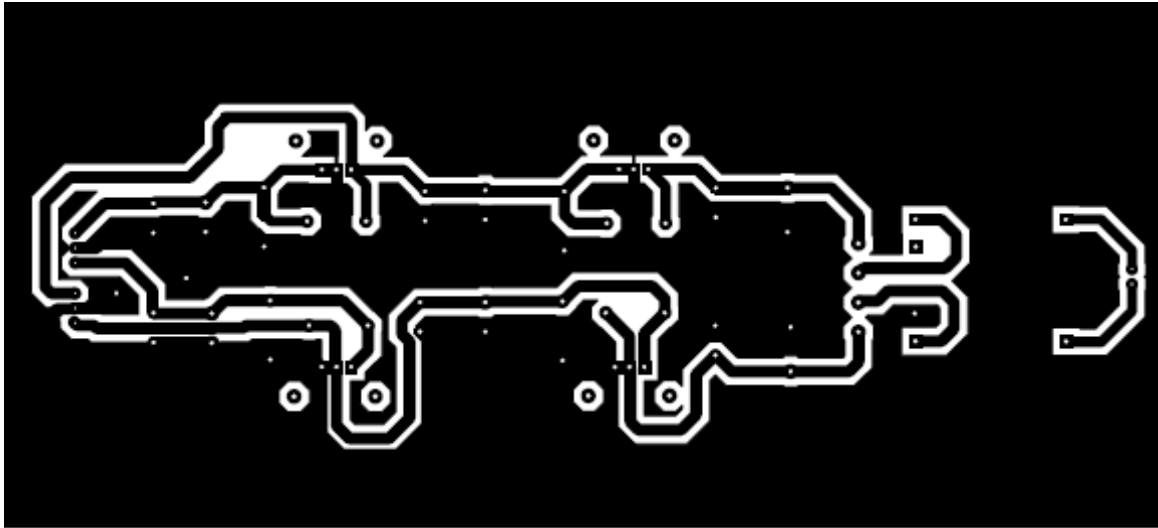


Fig.3 : Circuit imprimé de la carte d'alimentation

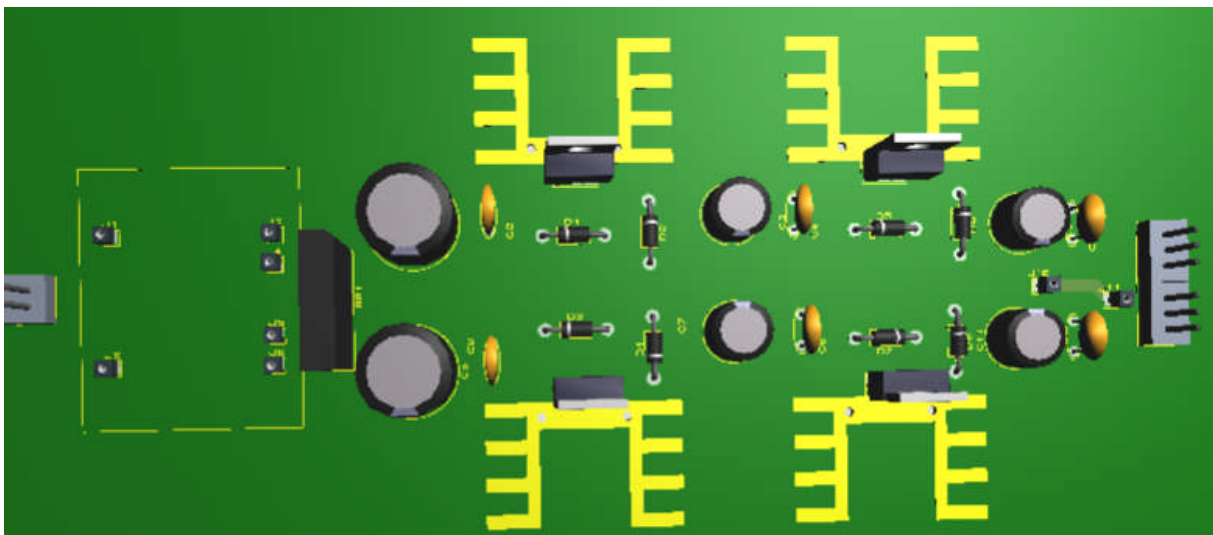


Fig.4 : Vue en 3D de la carte d'alimentation

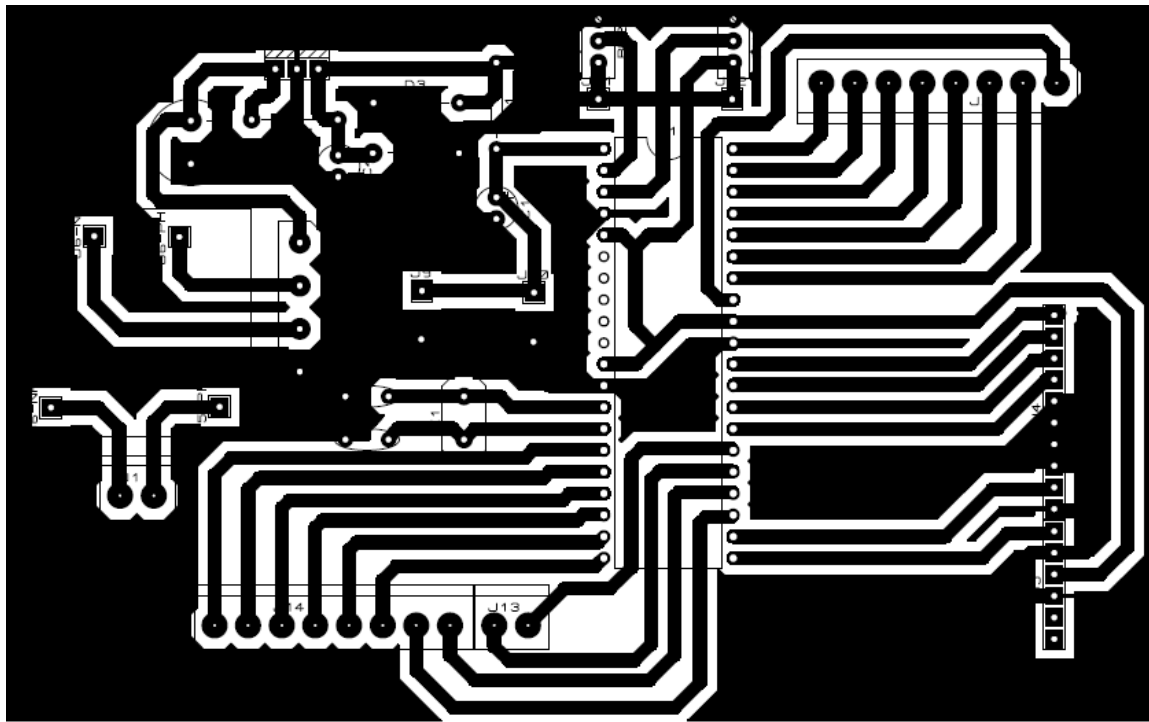


Fig.5 : Circuit imprimé de la carte MPPT

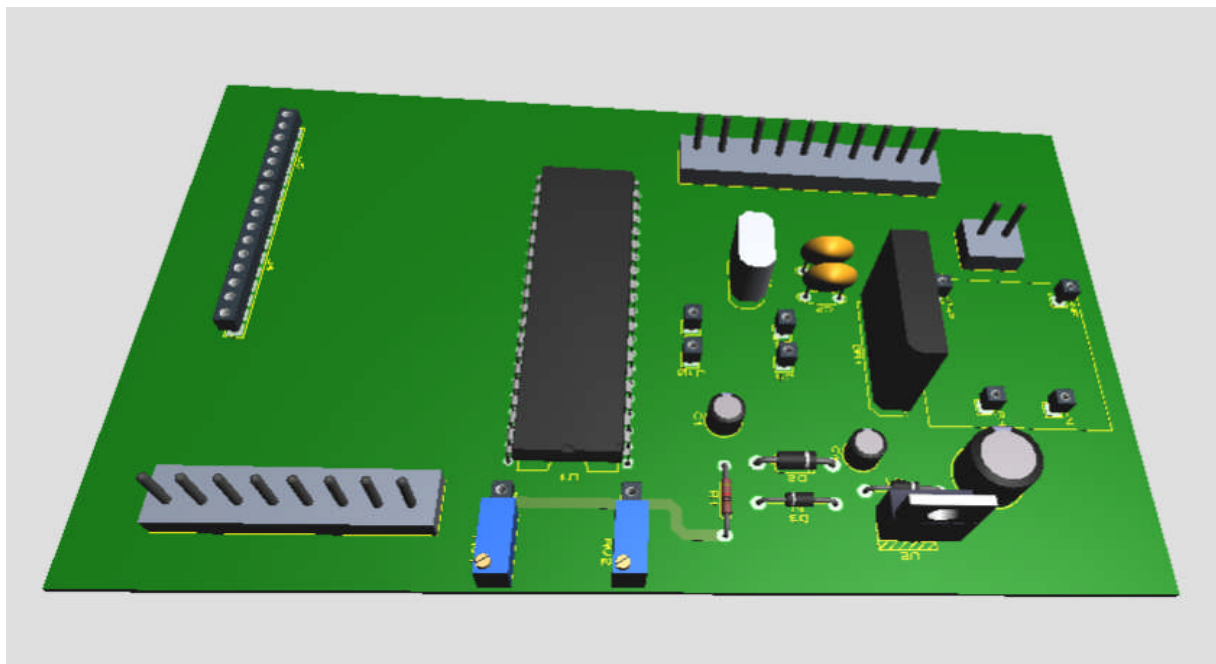


Fig.6 : Vue en 3D de la carte MPPT