REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : génie électrique
Spécialité : automatique et système

Conception d'un systém intelligent pour la supervision et la surveillance d'un champ photovoltaïque

---

Présenté par :

Bouchelit Idris

Boubekeur Soufyan

Proposé et Dirigé par :

Mr :N .Henini

Promotion 2019

Dédicace

Avec l'aide de Dieu, tout puissant, j'ai pu achever ce modeste travail que je dédie:

A ceux qui m'ont tout donné sans rien me demander et à qui je dois énormément et qui je ne remercierais jamais assez :

❖ *A mon très cher père .*

❖ *A ma mère qui m'a éclairée mon chemin.*

J'espère qu'ils trouveront dans ce travail Toute ma reconnaissance et tout mon Amour, toute au long de mes études.

❖ *A mes frères.*

❖ *A ma sœur .*

❖ *A mes amis.*

Boubekeur soufyan

CONCLUSION GENERALE :

Le travail présenté dans ce rapport de projet de fin d'études porte sur la conception et la réalisation d'un système pour surveilliez et supervisiez un champ photovoltaïque (PV) adapté par assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par un générateur PV.

Dans un premier temps, nous avons donné un aperçu général sur les différents types d'énergies renouvelables à savoir l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, l'énergie biomasse, l'énergie géothermique et l'énergie solaire photovoltaïque. Puis nous avons présenté une description des systèmes PV, la cellule PV, le générateur photovoltaïque et ses performances. Nous avons étudié, une interface graphique pour surveillance et la supervision réalisée avec une interface graphique avec Labview via une carte Arduino.

Comme perspectives, nous envisageons:

- Introduire dans le système un dispositif de poursuite du soleil dont le rôle est de garder constamment le rayonnement solaire perpendiculaire au panneau photovoltaïque.
- Implémenter différents algorithmes MPPT dans notre système,

Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu le DIEU qui nous a donné la volonté et le courage afin d'arriver à ce modeste travail.

Nous remercions nos promoteurs : Pr.hanini .N qui nous ont orienté et aidé dans toute la durée de notre travail par leurs critiques et leurs suggestions nombreuses.

Nous tenons à remercier tous les membres de jury pour avoir accepter de juger notre travail.

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de Génie électrique de l'Université de Médéa, et à tous les enseignants qui ont participés à notre formation.

Résume

تتكون مذكرة التخرج من اربعة فصول تتلخص فيما يلي :

الفصل الاول عبارة عن نظرة عامة حول الطاقات المتجددة خصصنا الفصل الثاني للحديث حول انظمة الطاقة الشمسية و الفصل الثالث يهتم بنمذجة و خصائص النظام الشمسي الفصل الرابع يتناول بناء برنامج لمراقبة و مشاهدة نظام شمسي بواسطة برنامج labview

Notre mémoire est en quatre chapitres, les principaux résumés dans ce qui suit:

Le premier chapitre présente une vue général sur les énergie renouvelable.

on a spécifiée la deuxième chapitre sur le système photovoltaïque Dans le troisième chapitre, on s'intéressera à la modélisation et la caractérisation d'un module photovoltaïque avec déférentes méthodes.

Dans le dernier chapitre, la caractérisation électrique d'un module et champ photovoltaïque de Supervision et surveillance sous LabVIEW est présentée.

Our memoir consists of four chapters summarized below

The first chapter consists of an overview of renewable energies we devoted the second chapter to talking about solar energy system

The third chapter deals with the modeling of solar system and it s characteristics .

The four chapter deals with building a program to observe and supervisor solar system by labview program

Sommaire

Liste de figures:…….……..... v

Liste des acronymes :……. vi

Résumé :……. vii

Introduction général :…….. viii

Conclusion générale :……...…...…… ……. ix

Chapitre(I) :les énergies renouvelables

I.1 Introduction :……..…..…….1

I.2 L'énergie éolienne :……..1

I.3 L'énergie hydraulique :… ;……...……..3

I.4 L'énergie biomasse :…..…. ……4

I.5 L'énergie géothermique :……5

I.6 L'énergie solaire :……7

I.7 Conclusion :……8

Chapitre II : généralité sur le systèmes photovoltaïques

II.1 Introduction :……...……10

II.2 Semi conducteur :…….…….……10

II.2.1 Formation de la jonction PN :……10

II.3 Système photovoltaïque :……..……..12

II.3.1 Historique du photovoltaïque :……...12

Sommaire

II.3.2 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque :.…….....12

II.3.3 type et redemandes cellules photovoltaïques :.……..…...14

II.3.4 Module photovoltaïque :……..……..15

I.3.5 Champ PV :……...……..17

II.4 Secteurs duplication :.……..……18

II.4.1 Avenages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :.……..18

II.4.1.1 Inconvénients :…….……18

II.4.1.2 Avantages :…….……..19

II.5 construction systèmes PV:……19

II.5.1 système autonome sans batterie :…….....19

II.5.2 Système autonome avec batterie :……..19

II.5.3 système hybride PV/génératrice :…….……19

II.5.4 système PV sur réseau diesel ……20

II.5.5 système PV sur réseau décentralisé ……..……20

II.5.6 système PV centralise :…….20

II.6 Conclusion ……...……..21

Chapitre III : caractéristiques d'un system photovoltaïque

III.1 Introduction : ……..…….23

III.2 Représentation de la cellule PV:…….……23

III.2.1 Avec une diode :……..23

III.2.2. Courant de court-circuit (Icc) : …….24

III.2.3 Tension de circuit-ouvert (Vco) :……25

III.2.4 Rendement énergétique:.……25

III.2.5 Facteur de forme:……25

III.3 Caractéristique courant- tension et puissance-tension:……26

III.3.1 La caractéristique se divise en trois parties :……..….26

III.3.1.1 Influence de l'éclairement et de la température : ……....26

III.3.1.2 Influence de l'association série et parallèle des cellules PV :…....28

III.3.1.3Influence de l'association parallèle des cellules PV :…….…….…..29

II.3.2 la poursuite du point de puissance maximal MPPT:……..…….30

III.3.2.1 Les méthodes de contrôle MPPT :…….31

III.4 Méthodes d'identification des Panneaux photovoltaïques :……...…….31

III.4.1 Modèle à deux diodes :……...…….31

III.4.1.1 Modèle d'extraction à sept paramètres (double expo DEM) :……31

III.4.2.2 Modèle d'extraction à six paramètres :……..……..32

III.4.2.3 Méthodes d'extraction:……..……32

III.4.2.4 La méthode Newton-Raphson :…….……..33

III.5 Conclusion :……..…….……..35

Chapitre (IV) : surveillance et supervision de champ PV

IV.1 Introduction……...…….37

IV.2 labview :……..……...……37

IV.2.1 Définition:…….…….……...…….37

Sommaire

IV.2.2 Le principe de Labview:……..……..……..38

IV.3 Carte arduino et sa bibéothetque sous labview:……..39

IV.3.1 Description de la carte arduino uno:……..……...39

IV.3.2 Les E/S de la carte Arduino sont réparties comme suit:…….…….40

IV.3.3 Interface arduino sur Labview :……..…….…….41

IV.4 Méthode Newton-Raphson :…….…….……41

IV.5 Application sous labveiw :…….43

IV.5.1 Résultats et discussions :……..……46

IV.6 Conclusion :……47

Conclusion générale

Figure I.1 : Schéma d'une éolienne……3

Figure I.2 : Principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique……4

Figure I.3 : Schéma de fonctionnement d'une centrale biomasse……5

Figure I.4 : Schéma de fonctionnement géothermie de surfac……..5

Figure I.5 : Schéma de fonctionnement de la géothermie en profondeur Liste de figure……..6

Figure II .1 : Génération de la paire électron-trou**……11**

Figure II.2 : La jonction P**……12**

Figure II.3: Effet photovoltaïque**……13**

FigureII.4 : Structure d'une cellule photovoltaïque :**…… ……..14**

Figure II .5 : Les images de différents types de la cellule photovoltaïque**……15**

Figure II.6: Structure d'un panneau photovoltaïque face avant et face arrière**……16**

Figure II.7: Mise en série de cellules PV dans le module avec les deux diodes by-pass**……17**

Figure II.8: Exemple de structure de champ photovoltaïque**……17**

Figure III.1 : Schéma électrique équivalent dune cellule PV à une diode**……23**

Figure III.2 : Caractéristique I =f (V) et p=f(v) d'un module photovoltaïque**……26**

Figure III.3 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique I=f(V**)……27**

Figure III.4 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique P=f(V**)……27**

Figure III.5 : Influence de la température sur la caractéristique I=f(V**)……28**

Figure III.6 Influence de la température sur la caractéristique P=f(V**)……28**

Figure III.7: Caractéristique résultante d'un groupement en série de Ns cellules identiques**…..29**

Figure III.8: Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de Ns cellules identiqu**…29**

Figure III.9 : Caractéristique courant/ tension / puissance d'un panneau P**……30**

Figure III.10 : Circuit équivalent au modèle à six paramètres**……32**

Figure IV.1 : Face avant de l'interface sous Labview ……38

Figure IV.2: un diagramme……39

Figure IV.3 : Description de la carte arduino uno……..…40

Figure IV.4 : Différentes fonctions de la palette arduino sous labview……..41

Figure IV.5 Organigramme de la méthode de newton- Raphson……..…42

Figure IV.6 Diagramme d'un panneau photovoltaïque ……..…43

Figure IV.7 : Face de supervision……..44

Figure IV.8 : Diagramme de l'interface……46

Figure IV.9 : résultat du passage d'une personne devant le GPV……..47

Figure IV.10 : Résultat d'application des Perturbations périodique sur le panneau……..47

I Introduction général :

L'énergie solaire est devenue une source alternative d'énergie de grande importance. Pour cela plusieurs efforts et recherches ont été concentrés sur l'amélioration de l'efficacité des systèmes photovoltaïques (PV) ainsi que l'accessibilité de cette technologie [1].

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.

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, poursuite du point de puissance maximale. Cette technique, comme son nom l'indique, poursuit le PPM 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.

Dans ce mémoire, on a conception un système intelligent pour surveilliez et supervisé un champ photovoltaïque par labview

CHAPITRE 1 :

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

I.1 Introduction

Les énergies renouvelables sont des modes de production d'énergie utilisant des forces ou des ressources dont les stocks sont illimités. L'eau des rivières faisant tourner les turbines d'un barrage hydroélectrique ; le vent brassant les pales d'une éolienne ; la lumière solaire excitant les photopiles ; mais aussi l'eau chaude des profondeurs de la terre alimentant des réseaux de chauffage. Sans oublier ces végétaux comme la canne à sucre ou le colza, grâce auxquels on peut produire des carburants automobiles ou des combustibles pour des chaudières très performantes.

Tout cela constitue les énergies nouvelles et renouvelables. En plus de leur caractère illimité, ces sources d'énergie sont peu ou pas polluantes.

Le solaire, l'éolien, l'eau et la géothermie ne rejettent aucune pollution lorsqu'elles produisent de l'énergie. La combustion de la biomasse génère certains gaz polluants, mais en bien moindre quantité que des carburants fossiles, tels que le charbon ou le fioul. La forme la plus ancienne d'énergie renouvelable est la biomasse qui était utilisé grâce au feu. L'énergie de la biomasse, c'est-à-dire l'énergie mobilisée sous forme chimique par les êtres vivants, venait de trouver ses premières applications. Ensuite, vient le vent. Les premiers bateaux à voile datent depuis 3 000 ans avant Jésus-Christ.

L'utilisation de l'énergie éolienne venait de naître. Les premiers moulins à vent font leur apparition chez les Perses, vers 200 avant Jésus-Christ. Après les moulins à vent, arrivent les moulins à eau. Les moulins à eau remontent également à l'antiquité.

Ils sont les premiers représentants de la domestication de l'énergie hydraulique.

On les utilisait pour les mêmes besoins que les moulins à vent. Les barrages existent aussi depuis très longtemps, il servait tout d'abord à stocker l'eau pour les cultures ainsi que pour la consommation humaine et animale.

Ce n'est qu'après la découverte de l'électricité qu'ils ont servi à produire de l'énergie. Ces sources d'énergie anciennes restent plus que jamais utilisées de nos jours, avec des technologies plus performantes.

I.2 L'énergie éolienne

L'énergie éolienne est l'énergie du vent et plus spécifiquement, l'énergie directement tirée du vent au moyen d'un dispositif comme une éolienne ou un moulin à vent.

Le principe de fonctionnement de l'énergie éolienne est relativement simple: le vent fait tourner les pales qui font tourner le générateur. A son tour le générateur transforme l'énergie mécanique du vent en énergie électrique.

L'électricité est dirigée vers le réseau électrique ou vers des batteries de stockage.

On utilise un aérogénérateur. La machine se compose de 3 pales (en général) portées par un rotor et installées au sommet d'un mât vertical. Cet ensemble est fixé par une nacelle qui abrite un générateur. Les pales permettent de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.

Le vent fait tourner les pales entre 10 et 25 tours par minute. Le générateur transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. La plupart des générateurs ont besoin de tourner à grande vitesse pour produire de l'électricité. Ainsi, le multiplicateur a pour rôle d'accélérer le mouvement lent des pales.

L'électricité produite par le générateur a une tension d'environ 690 volts. Ne pouvant pas être utilisée directement, elle est traitée grâce à un convertisseur, et sa tension est augmentée à 20 000 volts. Elle est alors injectée dans le réseau électrique et peut être distribuée aux consommateurs.

L'énergie éolienne est une énergie propre (non polluante) ne nécessitant aucun carburant et ne produisant pas de déchets toxiques ou radioactifs. Elle n'émet pas de gaz à effet de serre.

C'est une énergie entièrement renouvelable, hautement fiable et très efficiente et aussi elle est l'énergie la moins chère de toutes les énergies renouvelables.

L'énergie éolienne présente aussi plusieurs inconvénients, elle est dépendante de la météo et de l'environnement, elle a un faible rendement et son électricité est une énergie intermittente. Elle a aussi des effets sur le paysage comme le problème de bruit. Elle ne suffit donc pas en elle-même à définir une politique énergétique et environnementale [1].

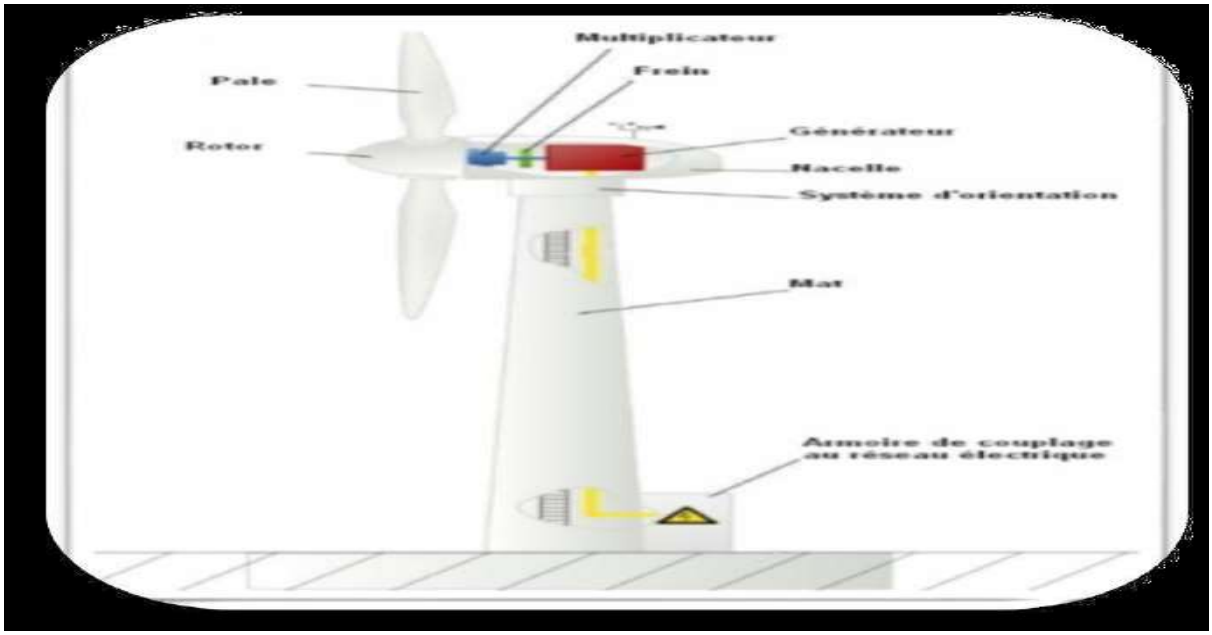


Figure I.1 : Schéma d'une éolienne

I.3 L'énergie hybride

L'énergie hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : chute, cours d'eau, courant marin, marée, vagues.

Ce mouvement peut être utilisé directement, par exemple avec un moulin à eau, ou plus couramment être converti, par exemple en énergie électrique dans une centrale hydroélectrique. Elle est en fait cinétique , et elle est la plus importante source d'énergie renouvelable.

Le principe est plutôt simple :

le courant de l'eau est utilisé pour actionner la roue d'une turbine. Celle-ci, à son tour, entraîne un alternateur grâce auquel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique. Pour l'anecdote historique, notons que la turbine a remplacé la roue à aubes qui était utilisée jusqu'au 19ème siècle dans les moulins à eau. Le rendement d'une turbine (de l'ordre de 70%) est nettement supérieur à celui de la roue hydraulique (20%).

Et de plus c'est une énergie propre.

.

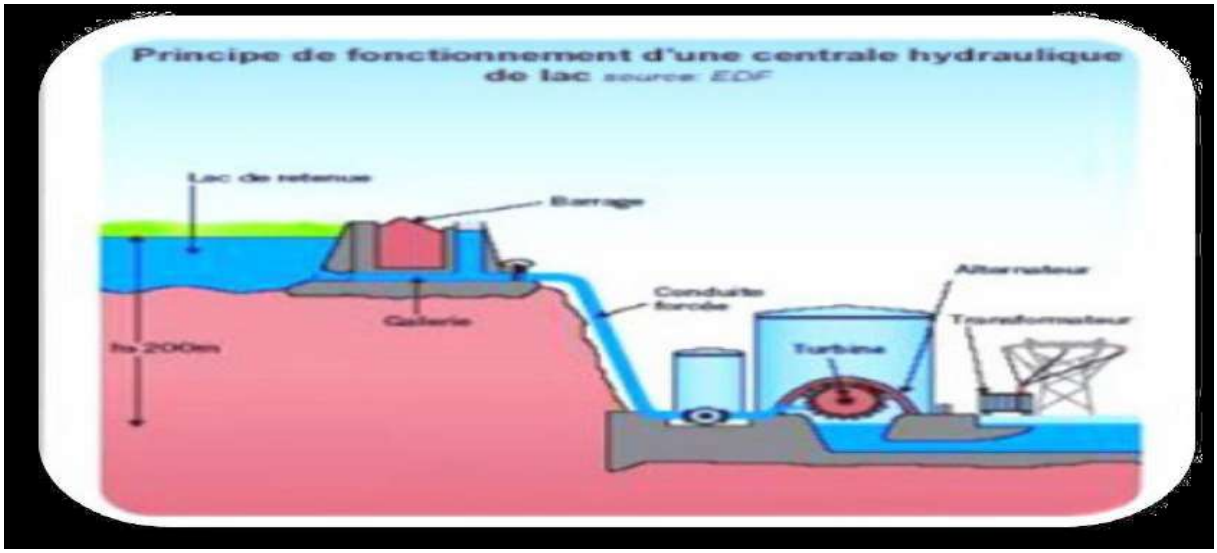


Figure I.2 : Principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique

L'énergie hydraulique est une énergie inépuisable si elle est bien gérée, n'émet pas de gaz à effet de serre et ne produit aucun déchet toxique.

Elle permet de stocker et produire de très grands volumes d'électricité et ainsi d'alimenter de nombreux foyers.

L'énergie hydroélectrique permet de tirer le meilleur parti du mouvement naturel des eaux, quelle que soit sa forme : rivières, chutes d'eau, courants marins, changement de marées, etc.

Bien que rentable sur le long terme, la construction de centrales hydroélectriques reste encore un investissement très important [2]

I.4 l'énergie biomase

La Biomasse est l'ensemble des matières organiques d'origine végétales animales ou fongiques.

La biomasse provient de trois sources principales :

-La biomasse ligneuse (bois, feuilles mortes pailles) utilisée pour le rendement énergétique.

-La biomasse à glucide (céréales, betteraves)

-La biomasse oléagineuse (colza, palmier à huile) principalement destinée au biocarburant On peut décomposer Le fonctionnement d'une centrale biomasse en cinq

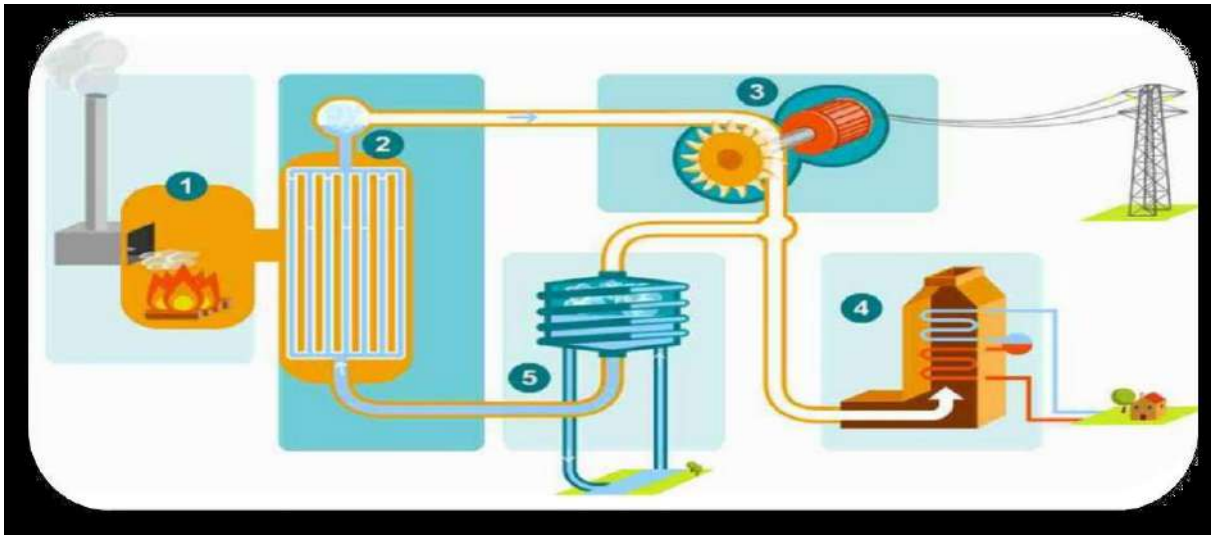


Figure I.3 : Schéma de fonctionnement d'une centrale biomasse

La Biomasse réduit comme toutes les énergies renouvelables la dépendance aux ressources pétrolières, elle réduit la pollution en réduction des émissions des gaz à effet de serre et aussi en évitant la destruction pure et simple des déchets tout en produisant de l'énergie [3].

Les sources de la biomasse sont limitées, le bois devient surexploité par les industriels, cela entraîne des déforestations et a des effets nocifs sur la biodiversité [4].

I.5 L'énergie géothermique :

Les sous-sols de la terre contiennent de la chaleur dont la température augmente avec la profondeur. Utiliser l'énergie géothermique consiste à exploiter ce flux de chaleur naturelle pour le transformer en chauffage ou en électricité.

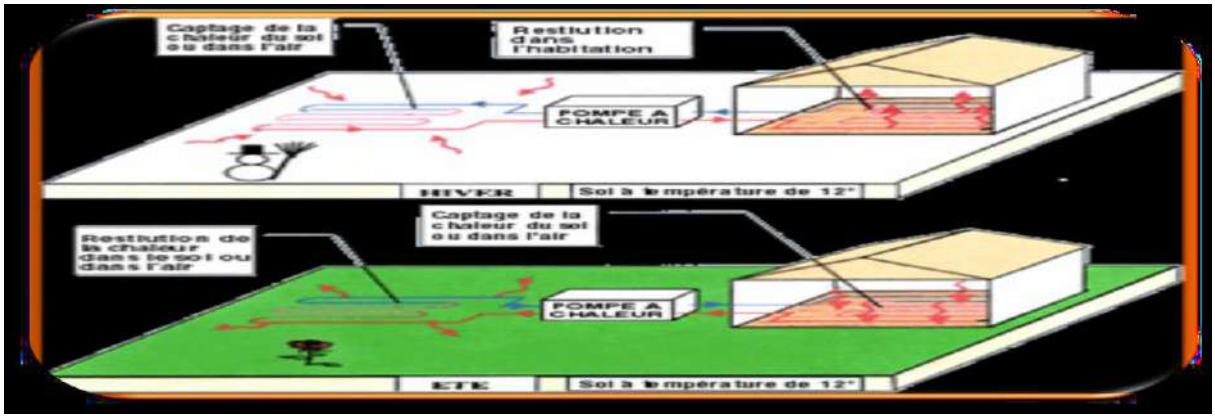


Figure I.4 : Schéma de fonctionnement géothermie de surface

On peut distinguer deux grands types de Géothermie :

- La Géothermie de surface :

Le rayonnement du soleil et le ruissellement de l'eau de pluie permettent au sol de jouer un rôle d'inertie thermique, il y règne à quelques mètres de profondeur une température pratiquement constante toute l'année.

La géothermie de surface utilise cette inertie pour obtenir des températures plus basses que les températures à la surface en été, et à l'inverse obtenir des températures plus élevées que les températures à la surface en hiver.

La Géothermie en profondeur :

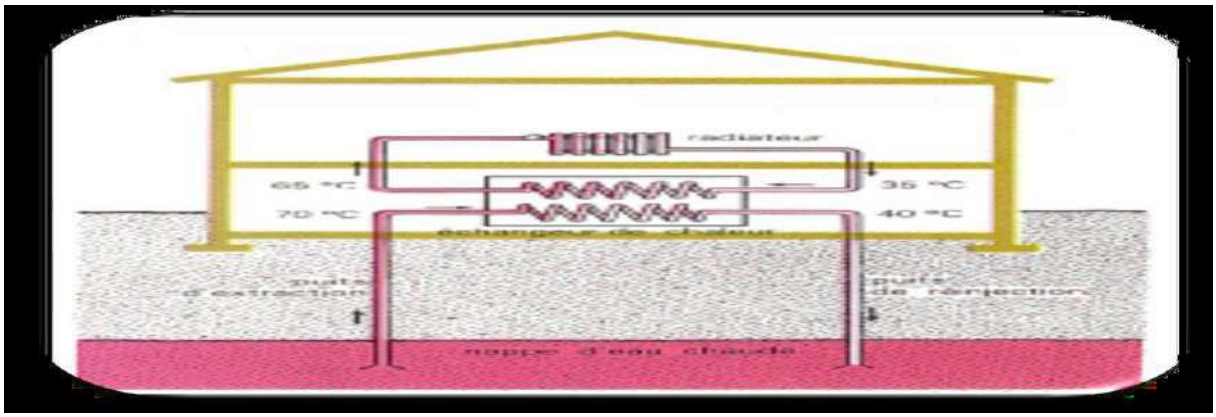


Figure I.5 : Schéma de fonctionnement de la géothermie en profondeur.

Le principe est de récupérer la chaleur en profondeur dans les nappes d'eau chaudes. Cette chaleur traverse « l'échangeur de chaleur » où l'excès de chaleur est rejeté dans le tuyau de rejection.

La chaleur restante est envoyée aux radiateurs situés dans le logement. Ce type de géothermie est très pratique pour le chauffage, mais, contrairement à la géothermie de surface, on ne peut pas abaisser la chaleur dans la maison.

L'énergie géothermique est une énergie propre avec une durée de vie supérieure à 30 ans. Elle a aussi un double fonctionnement en hiver, elle peut être exploitée pour le chauffage et en été pour le refroidissement. Toutefois, elle n'est utilisable en domestique que pour le chauffage, l'électricité dégagée de cette énergie doit être développée dans une centrale géothermique pour qu'elle soit exploitée dans d'autres utilisations. De plus, son installation est relativement élevée. Pour la géothermie verticale, il faut se situer sur une zone propice où l'installation de tuyaux peut descendre loin en profondeur [5].

I.6 L'énergie solaire

L'énergie solaire est l'énergie fournie par le soleil et reçue par notre planète « la Terre ».

Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire, la terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace. Une moyenne de 1367 watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre (pour une distance moyenne terre-soleil de 150 Millions de km). La partie d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser. Celle-ci est caractérisée par le nombre de masse d'air. Lorsque le soleil se déplace plus bas dans le ciel, la lumière traverse une plus grande épaisseur d'air, perdant plus d'énergie. Puisque le soleil n'est au zénith que durant peu de temps, la masse d'air est donc plus grande en permanence et l'énergie disponible est donc inférieure à 1000 W/m_2. L'Homme utilise l'énergie solaire pour la transformer en d'autres formes d'énergie, énergie cinétique, énergie thermique, électricité ou biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité. Découvert en 1839 par Antoine Becquerel, l'effet photovoltaïque permet la transformation de l'énergie lumineuse en électricité. Ce principe repose sur la technologie des semi-conducteurs. Il consiste à utiliser les photons pour libérer les électrons et créer une différence de potentiel entre les bornes de la cellule qui génère un courant électrique continu.

Depuis la découverte de cette énergie, elle a connu plusieurs aspects de développement, on cite les suivants:

-**1958 :** Une cellule avec un rendement de 9 % est développée. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

- 1973 : La construction de la première maison alimentée par des cellules photovoltaïque à l'Université de Delaware**.**

-1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance ***d*** 4 000 km en Australie.

I.7 Conclusion

La conversion photovoltaïque est l'un des modes les plus intéressants d'utilisation de l'énergie solaire.

Elle permet d'obtenir de l'électricité de façon directe et autonome à l'aide d'un matériel fiable et de durée de vie relativement élevée, permettant une maintenance réduite. Les pays à fort ensoleillement pourraient devenir les grands bénéficiaires de cette forme d'énergie. Le climat et la situation géographique du Maroc font de lui le pays parmi les plus avantagés dans ce domaine.

CHAPITRE 2 :

GÉNÉRALITÉS SUR LE SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE

II.1. Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque [6].

Cette énergie solaire est disponible en abondance sur toute la surface terrestre, et malgré une atténuation importante lors qu'elle traverse l'atmosphère, la quantité qui reste est encore assez importante quand elle arrive au sol. On peut ainsi compter sur 10 000 w/m² crête dans les zones tempérées et jusqu'à 14 000 W/m² lorsque l'atmosphère est faiblement polluée [7].

II .2 Semi conducteur :

La filière la plus avancée sur le plan technologique et industrielle est la réalisation de cellules à base de silicium. Ce dernier est l'élément semi-conducteur le plus utilisé car il est peu coûteux et il se trouve en très grande quantité sur terre : il constitue 28% de l'écorce terrestre, sous forme de silice, parfaitement stable et non toxique [8].

II.2.1.Formation de la jonction PN :

Le silicium, comme tous les semi-conducteurs, a une bande de valence pleine et une bande de conduction vide. Mais grâce à un apport énergétique suffisant, il est possible de faire passer des électrons de la bande de valence (BV) à la bande de conduction (BC), d'où la génération d'électrons libres**, figure II.1**

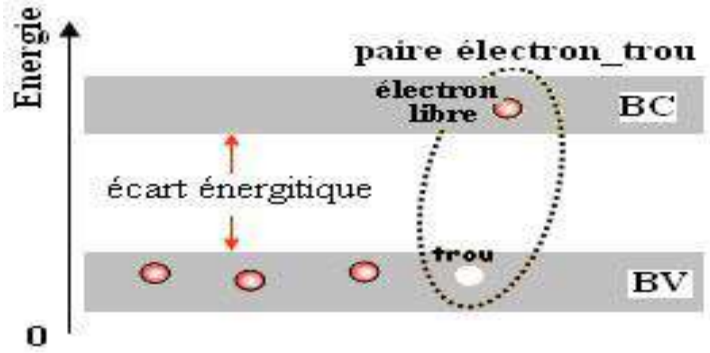


Figure II .1 : *Génération de la paire électron-trou.*

La présence d'électrons libres dans la bande de conduction d'un matériau n'est pas suffisante pour générer un courant : il est nécessaire de créer une différence de potentiel aux bornes du photo- générateur afin d'entraîner les charges positives d'un côté et les charges négatives de l'autre. Cette opération est possible par dopage du Silicium. Une jonction PN est créée par l'assemblage de deux barreaux de Silicium de type N et P. Le composant ainsi créé est appelé diode.

Le dopage de type n (négatif) consiste à introduire dans la structure cristalline semiconductrice des atomes étrangers qui ont la propriété de donner chacun un électron excédentaire (charge négative), libre de se mouvoir dans le cristal. C'est le cas du phosphore (P) dans le silicium (Si). Dans un matériau de type n, on augmente fortement la concentration en électrons libres.

Le dopage de type p (positif) utilise des atomes dont l'insertion dans le réseau cristallin donnera un trou excédentaire. Le bore (B) est le dopant de type p le plus couramment utilisé pour le silicium.

Lorsque l'on effectue deux dopages différents (type n et type p) de part et d'autre de la cellule, il en résulte, après recombinaison des charges libres (électrons et trous), un champ électrique constant créé par la présence d'ions fixes positifs et négatifs. Les charges

électriques générées par l'absorption du rayonnement pourront contribuer au courant de la cellule photovoltaïque.

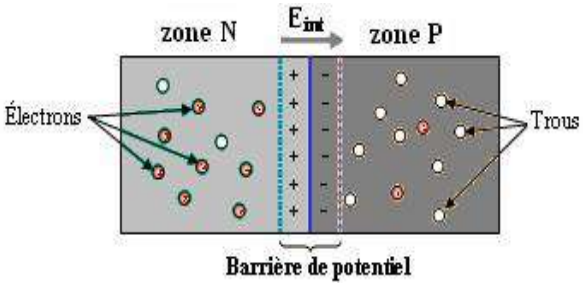


Figure II.2 : La jonction PN.

II.3 système photovoltaïque :

1I.3.1 Historique du photovoltaïque :

Le nom Photovoltaïque vient du Grec est composé de deux parties :

Photos : Lumière.

Volt : Unité de tension électrique, du nom Alessandro Volta.

Ce phénomène fut découvert au 19ème siècle par le physicien Alexandre Edmond Becquerel. La première cellule photovoltaïque fut développée début 1954 pour l'alimentation en énergie des satellites. Depuis 1958, les cellules photovoltaïques alimentent seulement le système énergétique des satellites jusqu'à ses premières applications terrestres au début des années 70. Le photovoltaïque fut utiliser pour l'alimentation en énergie de petites maisons isolées et d'équipements de télécommunications. [10]

II.3.2 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés "Semi-conducteurs" (le plus connu est le silicium utilisé pour les composants électroniques). Cet effet voltaïque a été constaté lorsque les photons heurtent une surface mince de ces matériaux, ils transfèrent leur énergie aux électrons de la matière.

Ceux-ci se mettent alors en mouvement dans une direction particulière, créant ainsi un courant électrique recueilli par des fils métalliques très fins. Il suffit d'assembler des courants provenant de d'autres dispositifs similaires afin d'atteindre la puissance désirée pour des utilisations quelconques [11].

Plus précisément, comme le montre la **Figure II.3** et comme cela est expliqué, l'effet photovoltaïque est propre à la cellule (unité fondamentale de conversion). Dans le cas des panneaux photovoltaïque, les cellules sont réalisées a partir de deux couches de silicium, une dopée P (en général dopée au bore) et l'autre dopée N (en général dopée au phosphore).

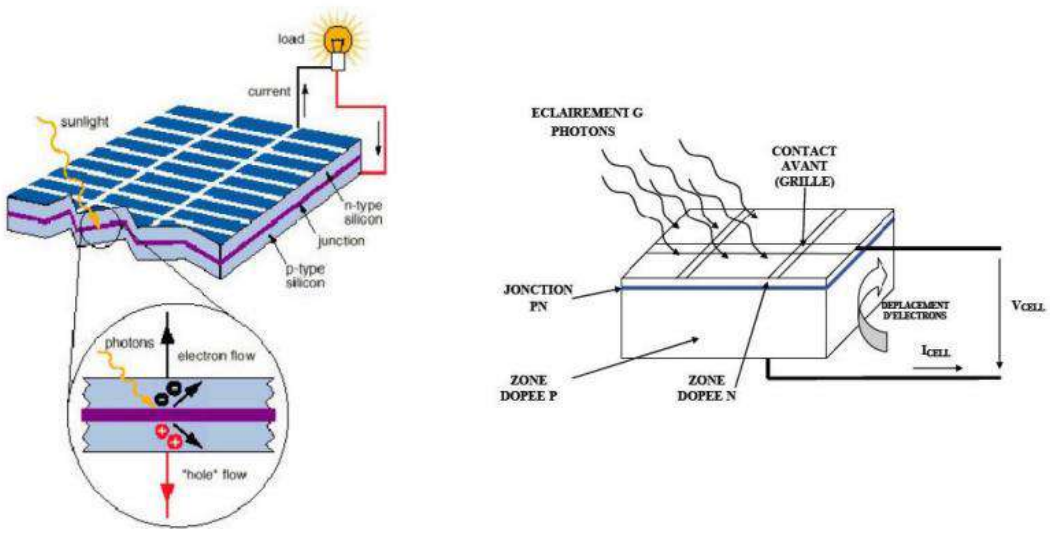


Figure II.3: Effet photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un dispositif semi-conducteur généralement a 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 [9].

La structure d'une cellule photovoltaïque est illustrée dans la **figure II.4** ci-dessous.

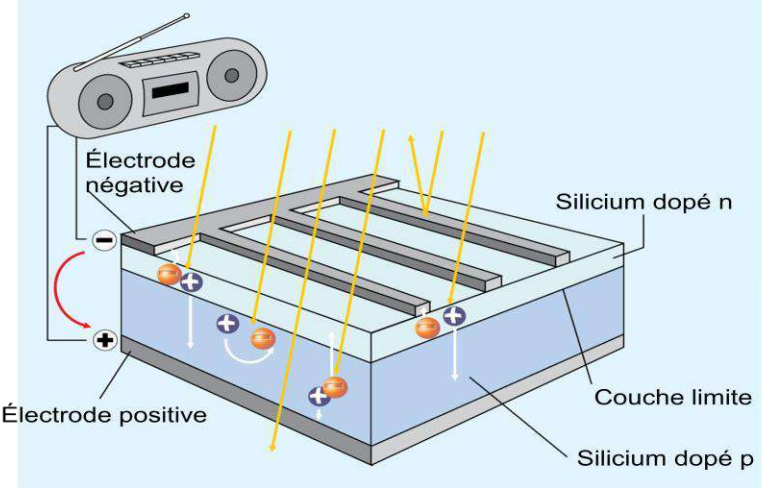


Figure II.4 : Structure d'une cellule photovoltaïque.

II.3.3 type et redemandes cellules photovoltaïques :

Il existe différents types de cellules solaires (ou cellules photovoltaïques), et chaque type de cellules a un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible: de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent. Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle [8].

- **Les cellules monocristallines:** Ce sont celles qui ont le meilleur rendement mais aussi celle qui ont le cout le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée.
- **Les cellules poly cristallines**: Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication st moins important, cependant leur rendement est plus faible.
- **Les cellules amorphes**: Elles ont un faible rendement, mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.



Figure II .5. Les images de différents types de la cellule photovoltaïque

I.3.4 Module photovoltaïque

Le module photovoltaïque est un ensemble de cellules assemblées pour générer une puissance électrique exploitable, lors de son exposition à la lumière. Cet assemblage en série doit être protégé pour rendre le panneau apte à un usage en extérieur. Les cellules sont en effet des objets fragiles et sensibles à la corrosion, qu'il convient de protéger mécaniquement et de mettre à l'abri des rigueurs du climat (humidité, variations de température, etc.).

Des panneaux de diverses puissances sont réalisés selon la surface mise en œuvre (typiquement de 1 à 300 Wc par panneau) et capables de générer du courant continu lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Ils constituent la partie productrice d'énergie dans un générateur photovoltaïque. Des panneaux plus puissants sont disponibles sur le marché, surtout depuis l'essor des installations connectées au réseau, les limites étant liées au poids, et à la manipulation de la structure, et aux contraintes de maintenance.

Un module « classique » contient 36 ou 72 cellules. Mais il existe des modules sur le marché de 40, 54, 60 cellules [TENESOL]. La **figure II .6** montre la structure d'un module photovoltaïque face avant et face arrière contenant 36 cellules.

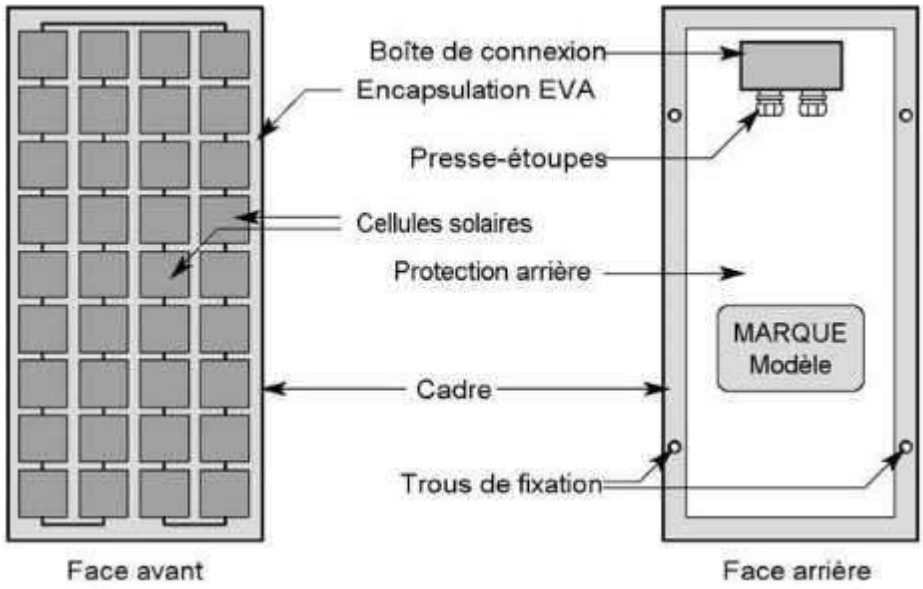


Figure II.6: Structure d'un panneau photovoltaïque face avant et face arrière

Dans les anciens modules, les cellules étaient connectées entre elles directement. Dans les modules plus récents, chaque groupe de cellules est relié à une diode dite "by-pass".
C'est une diode de protection qui permet d'éviter que les modules ne se comportent comme des récepteurs et engendre un échauffement des cellules en cas d'éclairage partiel.
Pour des questions de coûts, les constructeurs ne placent pas de diodes "by-pass" sur chaque cellule, mais sur un groupe de cellule. Le nombre de diode "by-pass" peut varier selon le constructeur.

Généralement, un module PV peut posséder 2 voire 3 diodes "by-pass". L'étude menée par [SILVESTRE et *al.*] démontre que la configuration des diodes by-pass dans un module PV peut avoir son importance dans l'efficacité de production, dans des conditions d'ombrage. Cet article présente une méthodologie de simulation pour étudier différentes configurations de diodes by-pass dans le module. La **figureI I.7** montre la disposition de ces diodes "by-pass" pour un module contenant 36 cellules.

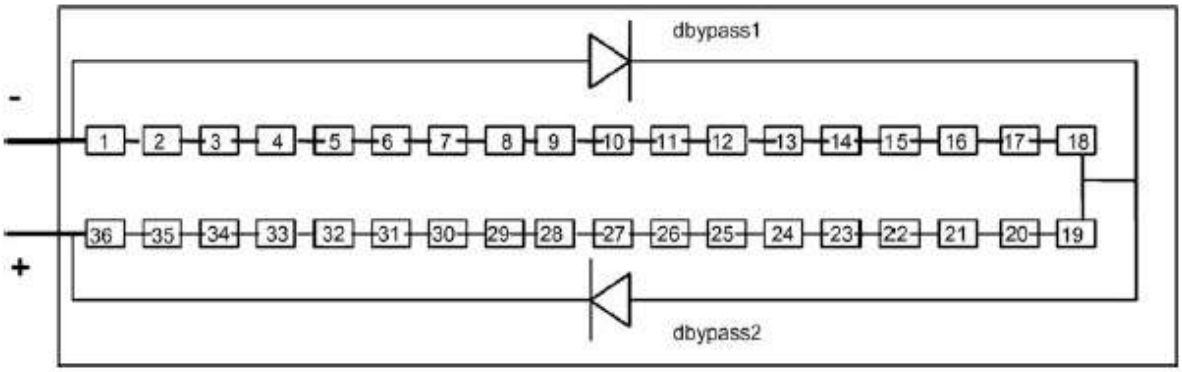


Figure II.7: Mise en série de cellules PV dans le module avec les deux diodes by-pass

II.3.5 Champ PV

Pour disposer d'une puissance installée de plusieurs centaines de kilowatts, voire de mégawatts, il est nécessaire d'assembler les modules photovoltaïques suivant une architecture connue de l'électricité : c'est l'assemblage série et parallèle. La **figure II.8** montre l'architecture série parallèle d'un champ photovoltaïque.

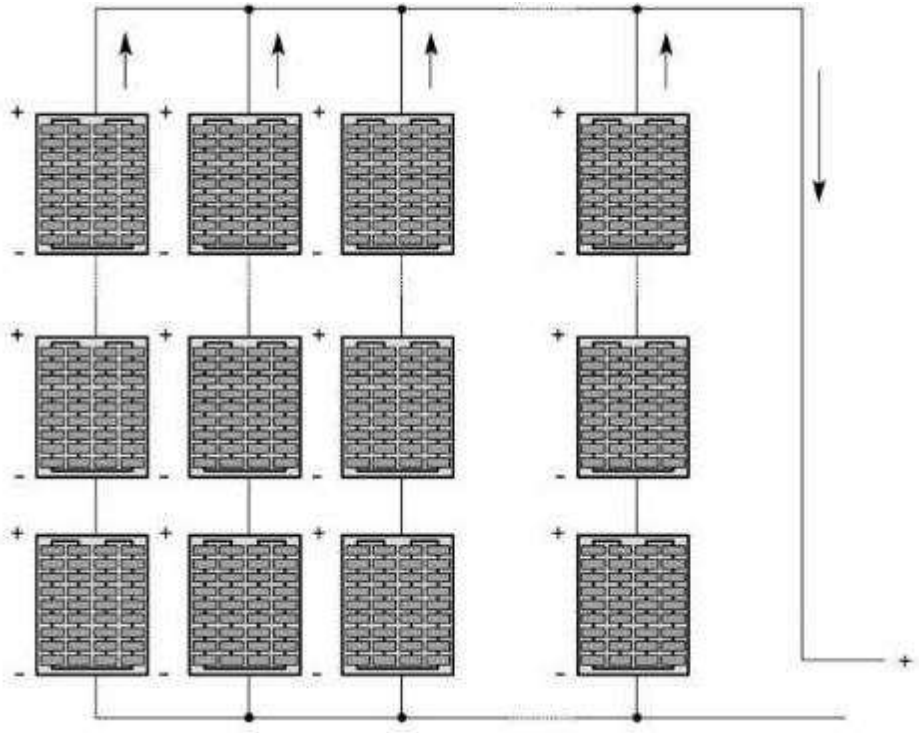


Figure II.8: Exemple de structure de champ photovoltaïque

II.4 Secteurs d'application :

Domaine spatial **:** c'est de loin le secteur le plus ancien puisque les premières utilisations de cellules solaires pour des engins spatiaux (satellites, navettes,...) remontent aux années soixante.

Télécommunications **:** Téléphonie rurale, radiotéléphonie,...

Sites isolés : Parcs nationaux, service des eaux et forêts, régions isolées, pays en voie de développement. Pompage de l'eau, irrigation, domiciles, villages ...

Acquisition de données : L'énergie photovoltaïque joue un rôle très important pour les stations isolées d'acquisition de données, vu la haute fiabilité de fonctionnement, l'autonomie, la moindre sensibilité à la foudre, la résistance extrême aux conditions naturelles, la maintenance légère et la longévité des équipements (25 ans).

Domaine du transport : Lampadaires, panneaux à messages variables, éclairage de panneaux, signalisation lumineuse routière et ferroviaire.

II.4.1 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

II.4.1.1. 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.

II.4.1.2. Avantages :

D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rend 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 puissances allant du milliwatt au Mégawatt.

Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son 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..

II.5 Construction de systèmes PV :

Bien qu'il existe une grande variété de systèmes photovoltaïques, on peut cependant les classer en six groupes distincts. Les trois premiers groupes sont des systèmes autonomes, non reliés à un réseau électrique. Les trois autres types sont des systèmes PV reliés différemment au réseau électrique. [13]

II .5.1 système autonome sans batterie :

Ce type de système ne requiert pas de stockage d'électricité, soit parce que la production d'énergie des cellules est suffisante sous un faible éclairage (calculatrice), soit que le temps de fonctionnement de la charge n'est pas critique (pompe à eau : le réservoir d'eau sert de stockage).

II.5.2 Système autonome avec batterie :

C'est le système photovoltaïque le plus commun. Le champ PV sert de chargeur pour la batterie. L'électricité peut alors être utilisée en tout temps. Par exemple, ce système est bien adapté pour l'éclairage d'une maison ou il faut de l'électricité lorsqu' 'il ne fait plus jour.

II.5.3 système hybride PV/génératrice :

Ce système utilise les avantages de l'énergie photovoltaïque et de la génératrice au diesel, au propane ou à l'essence. Le système photovoltaïque fournie une énergie intermittente mais souvent moins couteuse en régions éloignées.

La génératrice sert d'énergie d'appoint, selon la demande. Ce type de système s'applique particulièrement bien à des sites éloignés où il est important d'avoir de l'électricité à tout moment, où les couts de transport du carburant sont élevés et où il n'est pas encore rentable d'utiliser le système photovoltaïque seul avec les batteries.

Les systèmes hybrides PV/génératrice sont souvent utilisés pour les tours de communications ainsi que pour les refuges et les camps forestiers en régions éloignées. Ils peuvent également être couples avec d'autres sources d'énergie telles les éoliennes et les microcentrales hydrauliques, lorsqu'il ya une complémentarité des productions électrique.

II.5.4 système PV sur réseau diesel :

Ce système est utilisé principalement dans les communautés ou les villages éloignés. Le générateurPV est branché en parallèle avec les génératrices au diesel du réseau villageois et fournit l'électricité sur ce réseau lorsque l'ensoleillement le permet. Il permet de réduire la consommation d'un carburant diesel très couteux en régions éloignées et diminue les temps de fonctionnement des génératrices.

II.5.5 système PV sur réseau décentralisé :

Ce système photovoltaïque est branché directement sur un réseau électrique, mais il est installé prés de la demande. Il peut être installé par exemple, sur une résidence individuelle ou sur un centre commercial, de telle sorte qu'il alimente cette charge et fournit l'excédent de sa production sur le réseau durant le jour. Durant la nuit, la charge puise l'énergie requise sur le réseau. Ce système permet de diminuer les frais de transport d'électricité et la surcharge de ligne, particulièrement en ce qui a trait aux charges adaptées à la production photovoltaïque, tels les systèmes d'air conditionné (gestion de la demande).

II.5.6 système PV centralisé :

Ce système fonctionne comme une centrale électrique normale mais doit tenir compte de la fluctuation de la production d'énergie qui est liée à l'ensoleillement.

II.6. Conclusion

Ce chapitre s'est consacré à présenter les différents composants d'un système photovoltaïque. On a étudié le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule PV et ses paramètres. On a fait ensuite un rappel sur les systèmes PV et leurs performances

CHAPITRE 3 :

CARACTÉRISTIQUE D'UN SYSTEM PHOTOVOLTAÏQUE

III.1 Introduction

Un générateur photovoltaïque est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques Montées en série ou en parallèle afin d'obtenir les caractéristiques électriques désirées tels que La puissance, le courant de court-circuit et la tension en circuit ouvert.

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène. Le courant obtenu est proportionnel à la puissance lumineuse incidente.
La cellule Photovoltaïque délivre une tension continue.

III.2 Représentation de la cellule PV:

III.2.1 Avec une diode :

La caractéristique du courant I = f(v) d'une cellule photovoltaïque peut être schématisée comme suite : [13]

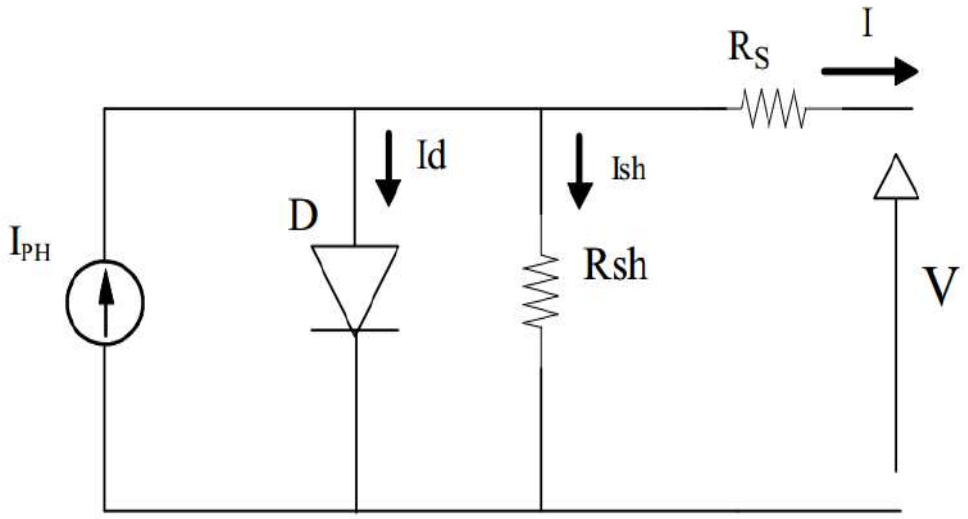


Figure III.1 Schéma électrique équivalent d'une cellule PV à une diode [13].

L'équation de la cellule PV de la **figure III.1** ci-dessus, peut se mettre comme suite :

- $I_m = I_{ph} - I_0(e^{qV_d/KT} - 1)$ (III.1)
- $I_{ph} \cong I_{sc}(T_1) = \left(\frac{G}{G_{nom}}\right) I_{sc}(T_{1,nom})$ (III.2)
- $I_0(T_1) = \frac{I_{ph}(T_1)}{(\frac{qV_{oc}}{e^{KT-1}})}$ (III.3)

E : en générateur

$\boldsymbol{V_{pv}}$ **:** est la tension aux bornes de cette même cellule,

$\boldsymbol{I_{ph}}$ **:** est le photo-courant de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température ou bien courant de (court circuit),

R_{shu} **:** est la résistance D'où shot tenssion

I_{sat} **:** est le courant de saturation,

K : est la constante de Boltzmann (1.381 10^{-23} J/K) ,

T : est la température effective des cellules en Kelvin(K),

e : est la charge de l'électron (e=1,6 10^{-19} C),

n :est le facteur d'idéalité de la jonction (1< n<3),

I_{pv}**:** est le courant fourni par la cellule lorsqu'elle fonctionntance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction,

$\boldsymbol{R_{ser}}$ **:** est la résistance série représentant les diverses résistances de contacts et de connexions.

III.2.2. Courant de court-circuit (Icc)

C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nulle, dans le cas idéal (R_{ser} nulle et R_{shu} infinie), ce courant se confond avec le photo courant I_{ph} dans le cas contraire, en annulant la tension V dans l'équation ***(II.4),*** on obtient:

$$I_{cc} = I_{ph} - I_{sat}\left[\exp\left(\frac{e\left(I_{cc} * \mathrm{R}_{ser}\right)}{nkT}\right) - 1\right] - \frac{\left(I_{cc} * R_{ser}\right)}{R_{shu}} \qquad \text{(III.4)}$$

Pour la plupart des cellules (dont la résistance série est faible), on peut négliger le terme $I_{sat}\left[\exp\left(\frac{e\left(I_{pv} * R_{ser}\right)}{nkT}\right) - 1\right]$ devant I_{ph} . L'expression approchée du courant de court-circuit est alors:

$$I_{cc} \cong \frac{I_{ph}}{\left(1 + \frac{R_{ser}}{R_{shu}}\right)} \qquad \textbf{(III.5)}$$

Quantitativement, il a la plus grande valeur du courant généré par la cellule (pratiquement $I_{cc} = I_{ph}$) .

III.2.3 Tension de circuit-ouvert (Vco)

C'est la tension v_{co} pour laquelle le courant débité par le générateur photovoltaïque est nul (c'est la tension maximale d'une photopile ou d'un générateur photovoltaïque):

$$0 = I_{cc} - I_{sat}\left[\exp\left(\frac{ev_{pv}}{nkT}\right) - 1\right] - \frac{v_{pv}}{R_{shu}} \qquad \textbf{(III.6)}$$

Dans le cas idéal, sa valeur est légèrement inférieur à :

$$v_{co} = v_T \ln\left[\frac{I_{ph}}{I_{sat}} + 1\right] \qquad \textbf{(III.7)}$$

III.2.4 Rendement énergétique

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule $p_{\max}\left(I_{opt}, v_{opt}\right)$ et la puissance solaire incidente

Il est donné par : $$\eta = \frac{p_{\max}}{p_{inc}} = \frac{I_{opt} v_{opt}}{p_{inc}} \qquad \text{(III.8)}$$

Avec p_{inc} est égale au produit de l'éclairement et de la surface totale des photopiles, Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

III.2.5 Facteur de forme

On appelle facteur de forme FF, dit aussi facteur de courbe ou facteur de remplissage (fil factor), le rapport entre la puissance maximum fournie par la cellule $p_{\max}\left(I_{opt}, v_{opt}\right)$ et le produit du courant de court-circuit I_{cc} par la tension de circuit-ouvert v_{co} (c'est-à-dire la puissance maximale d'une cellule idéale). Le facteur de forme indique la qualité de la cellule ; plus il s'approche de l'unité plus la cellule est performante, Il est de l'ordre de 0.7 pour les cellules performantes ; et diminue avec la température. Il traduit l'influence des pertes par les deux résistances parasites $R_{ser} et R_{shu}$. il est défini par :

$$FF = \frac{p_{\max}}{I_{cc} v_{co}} = \frac{I_{opt} . v_{opt}}{I_{cc} v_{co}} \qquad \text{(III.9)}$$

III.3 Caractéristique courant- tension et puissance-tension

Il est difficile de donner un caractère source de courant ou de tension à un panneau photovoltaïque sur toute l'étendue de la caractéristique courant tension. Le panneau photovoltaïque est donc à considérer comme une source de puissance. On s'aperçoit alors de l'existence d'un point Pm où la puissance se trouve être maximale. Il est sans aucun doute intéressant de se placer sur ce point pour tirer le maximum d'énergie et ainsi exploiter au mieux la puissance crête installée.

Certains régulateurs solaires réalisent donc une adaptation d'impédance pour qu'à chaque instant on se trouve proche de ce point de puissance maximale (Maximum Power Point Tracking (MPPT)) [14].

La caractéristique réelle et le schéma équivalent de la cellule sont représentés sur la ***Figure III.2.*** Les valeurs respectives des divers éléments du schéma équivalent déterminent les performances de la cellule réelle.

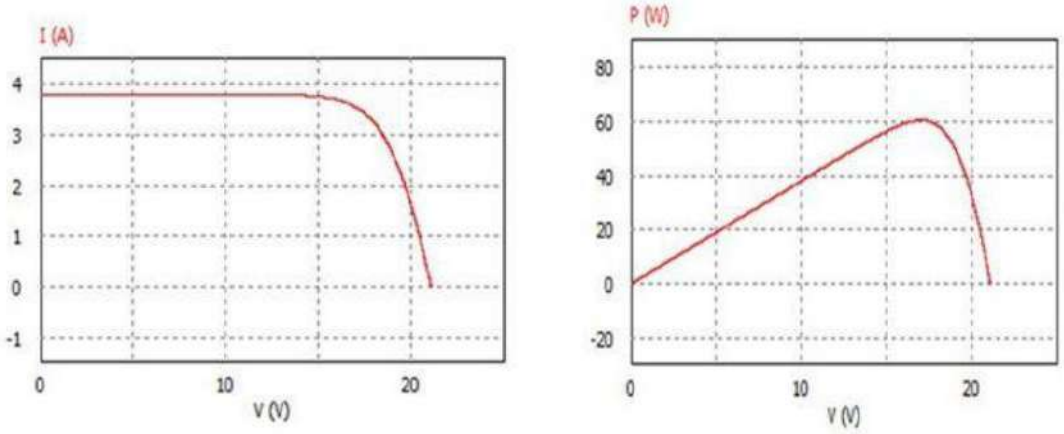


Figure III.2 Caractéristique I =f (V) et p=f(v) d'un module photovoltaïque

III.3.1 La caractéristique se divise en trois parties :

- La zone (a) où la cellule se comporte comme un générateur de courant Icc proportionnel à l'éclairement.
- La zone (b) où la cellule se comporte comme un générateur de tension Vco.
- et la zone (c) où l'impédance interne du générateur varie rapidement.

III.3.1.1 Influence de l'éclairement et de la température :

La Figure III.3 présente les caractéristiques d'une cellule solaire type, pour plusieurs intensités de rayonnement solaire. On remarque que le courant électrique, est

directement proportionnel au rayonnement à ces niveaux d'éclairement. Par contre la tension est dégradée légèrement par rapport au courant, lorsque l'intensité de la lumière baisse.

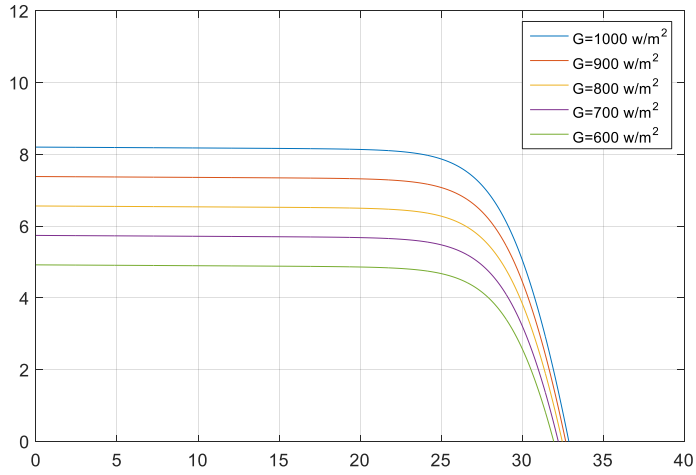


Figure III.3 L'influence de l'éclairement sur la caractéristique I=f(V)

La Figure III.4 illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique P(V) [13].

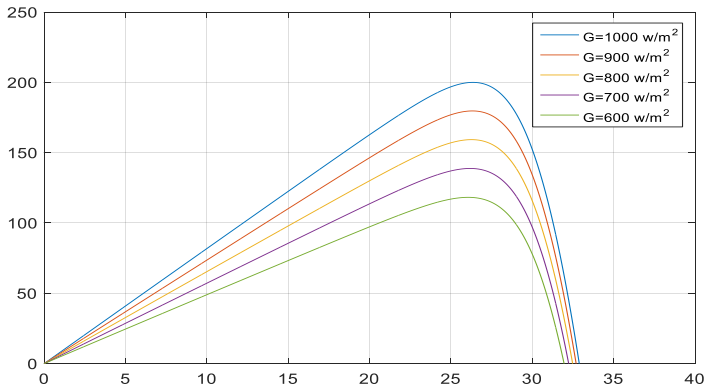


Figure III.4 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique P=f(V)

La concentration des porteurs de charge, puisque la transition entre les niveaux devienne plus probable L'influence de la température est très significative, ce qui nous conduit à une considération soigneuse, lors de la mise en marche des systèmes photovoltaïques.

Sur la **Figure III.5**, on illustre l'effet de la température sur le comportement des photopiles. Elle montre une diminution considérable de la tension électrique délivrée avec l'augmentation de la température.

Tandis que, le courant gagne quant à lui de l'intensité. Ceci peut être expliqué par la baisse du gap, ce qui provoque l'accroissement

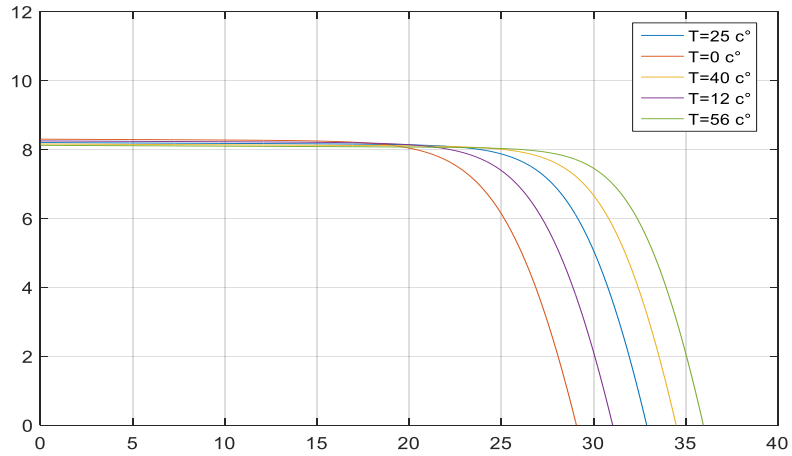


Figure III.5 : Influence de la température sur la caractéristique I=f(V)

La Figure III.6 illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs de la température, ce qui nous permet de déduire l'influence de la température sur la caractéristique P=fct(V) [13] .

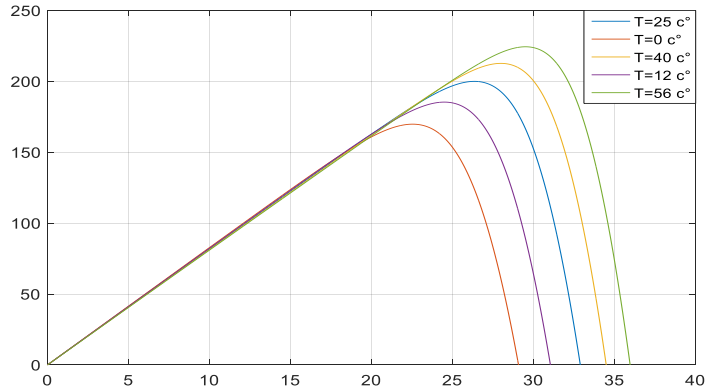


Figure III.6 Influence de la température sur la caractéristique P=f(V**)**

III.3.1.2 Influence de l'association série et parallèle des cellules PV

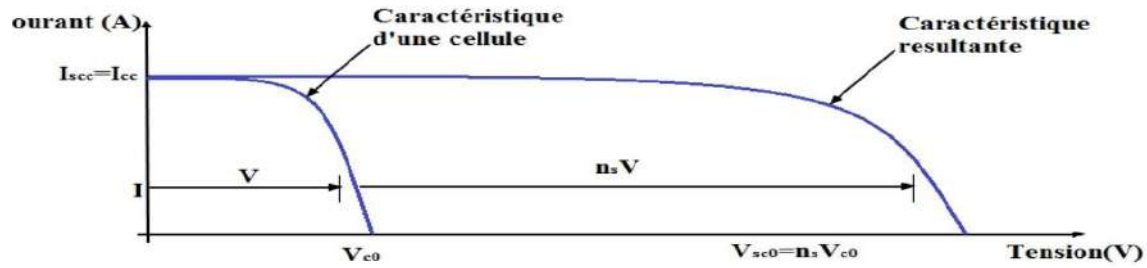
Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. [14]

La Figure III.7 montre la caractéristique résultante (Iscc,Vsco) obtenue en associant en série (indices) ns cellules identiques (Icc,Vco), Ainsi que : $I_{SCC} = I_{CC}$ et $V_{SCO} = n_S * V_{SCO}$

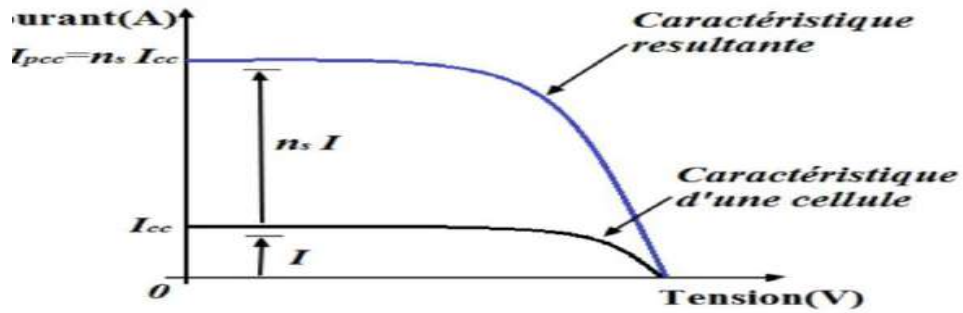
III.3.1.3 Influence de l'association parallèle des cellules PV

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante de groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. . [14]

La *Figure III.8* montre la caractéristique résultante obtenue en associant en parallèles ns cellules identiques. Tels que : $I_{PCC} = n_S I_{CC}$ et $V_{PCO} = V_{SCO}$



FigureIII.7 : Caractéristique résultante d'un groupement en série d Ns



FigureIII.8 : Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle d Ns cellules identique

III.3.2 la poursuite du point de puissance maximal MPPT:

La conception de systèmes photovoltaïques optimisée est assez difficile. En effet, coté source pour un générateur photovoltaïque, la production de puissance varie fortement en fonction de l'éclairement, de la température. Pour que le générateur fonctionne le plus souvent possible dans son régime optimal, la solution communément adoptée est d'introduire un convertisseur statique qui jouera le rôle d'adaptateur source-charge dans des conditions données, c'est-à-dire au point de puissance maximale de la caractéristique puissance en fonction de la tension représentée à la figure (III.9) à éclairement 800 W / m2 et la température 25°C.

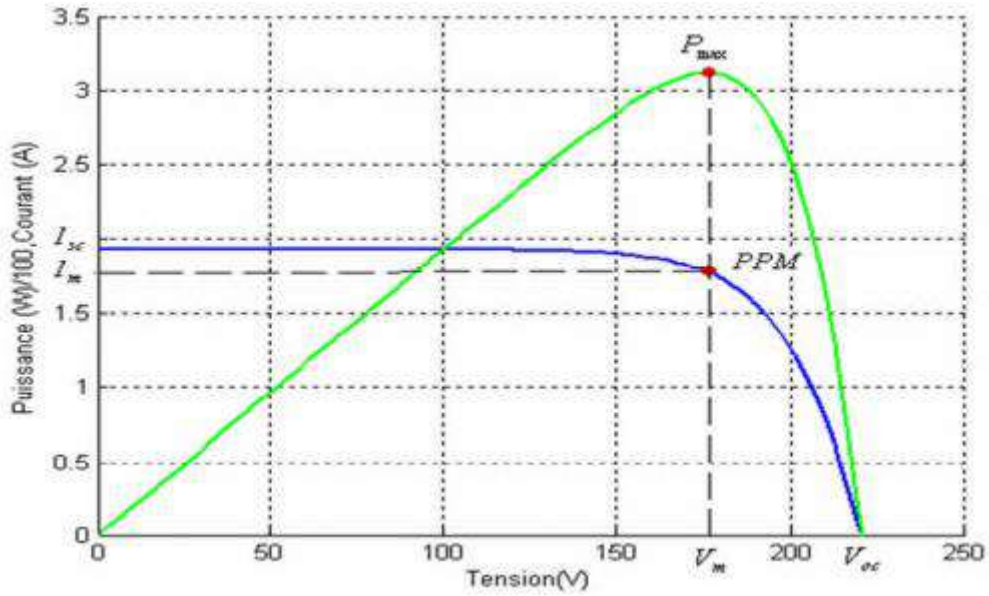


Figure III.9 : Caractéristique courant/ tension / puissance d'un panneau PV

Pour assurer le fonctionnement d'un générateur PV à son point de puissance maximale (PPM), des contrôleurs MPPT sont souvent utilisés. Ces contrôleurs sont destinés à minimiser l'erreur entre la puissance de fonctionnement et la puissance maximale de référence variable en fonction des conditions climatiques [14-15].

La puissance de fonctionnement du générateur PV est facilement calculée à partir du produit tension-courant. Par contre, la détermination de la puissance maximale de référence est plus délicate vue que cette dernière est fonction des conditions climatiques (éclairement, température). Cette référence, étant alors non constante et étant caractérisée par une fonction non linéaire, rend le fonctionnement à puissance maximale plus difficile à réaliser. Afin de

surmonter ces difficultés, plusieurs méthodes sont souvent adoptées telles que les méthodes analogiques et les méthodes numériques.

III.3.2.1 Les méthodes de contrôle MPPT :

- Méthode de courbe d'ajustage (Curve-fitting méthode)
- Méthode de la table de consultation (Look-up table)
- Méthode de tension en circuit ouvert du générateur PV (Open-circuit voltage
- photovoltaïque generator méthode)
- Méthode de courant de court circuit du générateur PV (Short circuit curent
- photovoltaïque générateur méthode)
- Méthode de perturbation et d'observation (P&O)
- Méthode de conductance incrémentielle

III.4 Méthodes d'identification des Panneaux photovoltaïques

III.4.1 Modèle à deux diodes :

Le modèle double-diodes apporte une meilleure précision tout en rendant la modélisation plus complexe. Les branches de chacune des diodes représentent, respectivement, le courant de diffusion dans la base et l'émetteur et le courant de génération et de recombinons dans la jonction. On distique les trois modèles suivants :

III.4.1.1 Modèle d'extraction à sept paramètres (double exponentielle DEM) :

Ce modèle est dit le plus proche du comportement réel de la cellule solaire, du fait qu'il tient compte du mécanisme de transport des charges électriques à l'intérieur de la cellule solaire

$$I = I_{PH} - I_{S1}\left[EXP\left(\frac{q(v+R_S I)}{A_1 KT}\right) - 1\right] - I_{S2}\left[EXP\left(\frac{q(v+R_S I)}{A_2 KT}\right) - 1\right] - \frac{v+R_S I}{R_{SH}} \qquad \text{(III.10)}$$

L'expression de la caractéristique courant-tension, selon T. Back, F. Hoffmeister, s'écrit :

Les deux termes exponentiels représentent, séparément, le courant de saturation de diffusion (I_{s1}) et de saturation de génération-recombinaison (I_{s2}). Les paramètres sont R_{sh}, I_{ph}, I_{s1}, I_{s2}, R_s, A_1 et A_2.

III.4.2.2 Modèle d'extraction à six paramètres :

La figure ci-dessous schématise le modèle à six paramètres

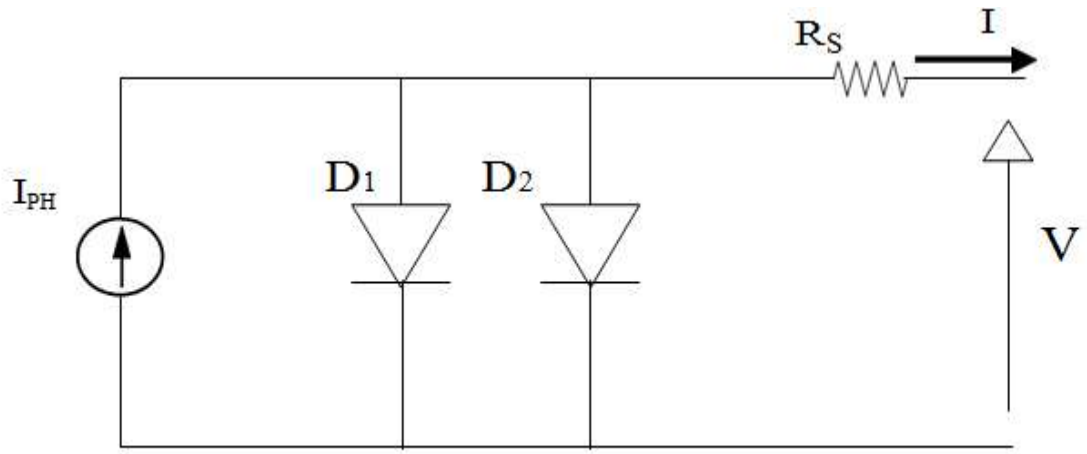


Figure III.10 Circuit équivalent au modèle à six paramètres

Dans ce modèle la résistance shunt a été omise à l'infinie ce qui donne un courant de fuite nul. La relation I-V de ce circuit est donnée par la formule :

$$I_{PH} - I_{S1}\left[EXP\left(\frac{q(v+R_S I)}{A_1 KT}\right) - 1\right] - I_{S2}\left[EXP\left(\frac{q(v+R_S I)}{A_1 KT}\right) - 1\right] \qquad \text{(III.11)}$$

III.4.2.3 Méthodes d'extraction :

Plusieurs méthodes ont été développées pour l'extraction des paramètres de la cellule, nous avons exploités les modèles à Quatre et à Cinque paramètres, (modèle à une seule diode).

Les méthodes à Quatre paramètres :

- La Méthode explicite simplifiée
- La Méthode de la pente au point (V_{co}, 0)

Les méthodes à Cinque paramètres :

- La méthode Newton-Raphson
- La Nouvelle méthode analytique

III.4.2.4 La méthode Newton-Raphson :

La méthode itérative de Newton-Raphson est exploitée parce qu'elle converge rapidement, particulièrement si l'itération commence suffisamment près de la racine désirée. [15]

L'équation (III.12) en soit ne laissent pas dessiner la courbe (I-V), la dépendance de la température du photo-courant, la connaissance de la résistance série, la résistance parallèle, le facteur d'idéalité, et du courant de saturation est obligatoire pour accomplir le modèle [15]:

Avec :

$$I_{PH}(T) = I_{PH}(T_{REF}) + \alpha(T - T_{REF}) \quad \text{(III.12)}$$

$$I_{PH}(T_{REF}) = I_{SC}(T_{REF}) \frac{G}{G_{REF}} \quad \text{(III.13)}$$

De l'équation II.4 on a :

$$I_{SC}(T_{REF}) = \frac{I_{SC}(T_{REF})}{\exp(qV_0(T_{REF})/(n_s K A T_{ref} - 1)} \quad \text{(III.14)}$$

$$V_{0C}(T) = V_{OC}(T_{REF}) - \beta(T - T_{REF}) \quad \text{(III.15)}$$

G : est l'irradiation (W/m^2)

α : Le coefficient d'incrémentation du courant Isc ($A/^{\circ}C$)

β : Le coefficient d'incrémentation de la tension V_{OC} ($V/^{\circ}C$)

Aux conditions d'essai standard (STC) : T_{ref} = 25 °C et G_{ref} = 1000 W/m^2 . D'ailleurs le courant de court-circuit $I_{SC}(T_{ref})$ et la tension de circuit ouvert $V_{OC}(T_{ref})$ aux STC sont énoncés par le fabricant ainsi ils sont généralement tous deux connus [16]

Pour accomplir le modèle nous devrions savoir les valeurs de R_{sh} et de R_s. La valeur de R_s a

un effet marqué sur la proche de la caractéristique (I-V) de l'état du circuit ouvert, alors que R_{sh} agit sur la tension au point de puissance maximale (MPP).

L'évaluation initiale de ces paramètres, que nous dénotons avec R_{s0} et R_{sh0}, est critique parce qu'un mauvais point de départ peut compromettre la convergence de la méthode de newton- Raphson.

Une méthode pour obtenir une première bonne évaluation de R_s et de R_{sh} a été proposée par Gow [16], et consiste en différenciant (III.16), en l'évaluant aux états de circuit ouvert et en le réarrangeant en termes de Rs. L'équation obtenue est :

$$R_{S0} = \left[\frac{dV}{dT}|V = V_{OC} \quad + \frac{1}{X_V}\right] \tag{III.15}$$

La ou :

$$X_V = I_S(T) * \frac{Q}{N_S AKT}\left(EXP\left(\frac{QV_{OC}(T)}{N_S AKT}\right)\right) \tag{III.16}$$

La valeur initiale de R_{sh} provient par évaluation de l'équation (III.17) aux états de MPP en utilisant la valeur de Rs0 précédemment estimée

$$R_{SH0} = \frac{-V_M - R_{S0} * I_{PM}}{I_{PM} - I_{PH} + I_S\left(EXP\left(q\frac{V_M + R_{S0} I_{PM}}{N_S AKT}\right)\right)} \tag{III.17}$$

Il vaut la peine d'accentuer que R_s et R_{sh} ne sont pas affectées par irradiante mais seulement par des caractéristiques physiques de la cellule.

Le facteur d'idéalité A, en exploitant le fait que la dérivée de la puissance maximale est nulle($d_P/d_V=0$)

$$\frac{dP}{dV} = 0 = \frac{\partial I}{\partial V}V = I\frac{\partial V}{\partial V} \qquad \text{(III.18)}$$

On trouve

$$A = \frac{q(2V_M - V_0)}{N_S KT\left(\frac{I_{CC}}{I_{CC}-I_M} + \ln\left(1-\frac{I_M}{I_{CC}}\right)\right)} \qquad \text{(III.19)}$$

III.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, les différents modèles électriques d'une cellule photovoltaïque sont exposés.

On a mis en évidence l'intérêt que présente le modèle à une exponentielle pour la compréhension des différents phénomènes physiques existant au sein de la cellule solaire.

L'extraction d'une manière optimale des différents paramètres de la cellule est un problème d'une grande importance

CHAPITRE 4 :

SURVEILLANCE ET SUPERVISION DE PV AVEC LABVIEW

IV.1 Introduction:

Ce chapitre sera consacré à la simulation des différentes caractéristiques d'un panneau photovoltaïque ainsi d'un régulateur solaire complet, composé d'un capteur de courant, d'un capteur de tension, d'un capteur de température ,d'un capteur de irradiation avec Labview à base d'une carte microcontrôleur Arduino.

IV.2 labview

IV.2.1 Définition :

d'application d'instrumentation .L'idée de labview est de remplacer les Labview (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) est un logiciel de programmation graphique qui utilise de icônes et non des lignes de texte pour créer des applications. À l'inverse des langages de programmation textuels dans lesquels des instructions déterminent l'exécution du programme, en plus c'et un logiciel de développement instruments de mesures et d'analyse d'un laboratoire par un ordinateur muni de cartes spécifiques et d'un logiciel approprié. Ces cartes permettent de convertir des signaux électriques provenant de capteurs en données numériques, contient une gamme d'outils pour l'acquisition, l'analyse, l'affichage et l'enregistrement des données, ainsi que des outils pour l'aider à mettre au point de programme.

IV.2.2 Le principe deLabVIEW

LabVIEW permet de réaliser, des instruments virtuels. Par extension, on appellera VI (Virtual Instrument), toute application réalisée avec LabVIEW composé de trois parties ; face-avant : c'est l'interface (ou moyen de communication) avec l'utilisateur. Cette face-avant, personnalisable à loisir, est composée d'objets graphiques comme des interrupteurs, des potentiomètres, des zones de graphismes, des menus déroulants etc. Elle représente la face-avantde l'instrument.

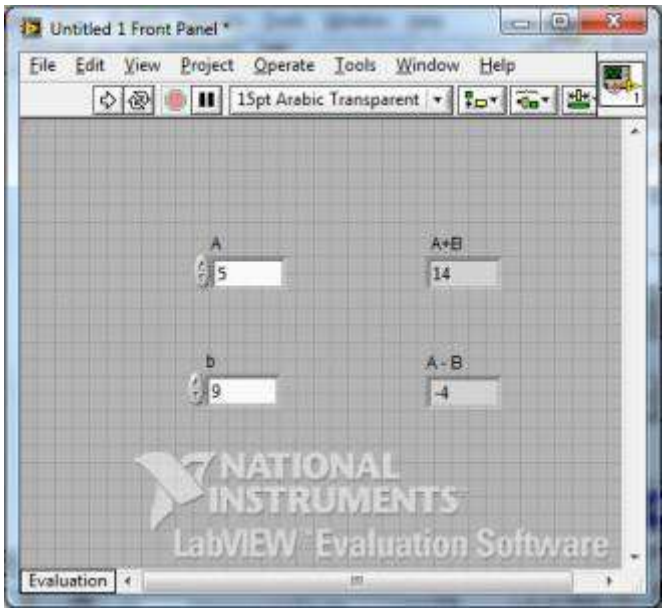


Figure IV.1 : Face avant de l'interface sous Labview.

Un diagramme (block diagram) : cette partie décrit le fonctionnement interne du VI. On utilise le langage G pour décrire ce fonctionnement. Destiné à être utilisé par des ingénieurs et des scientifiques, non informaticiens de formation, LabVIEW utilise un langage de programmation graphique G (pour Graphique) afin de décrire les programmes dictant le comportement de l'application. Ainsi l'utilisateur est affranchi de la lourde syntaxe des langages de programmation textuels tels que C, Basic, etc...

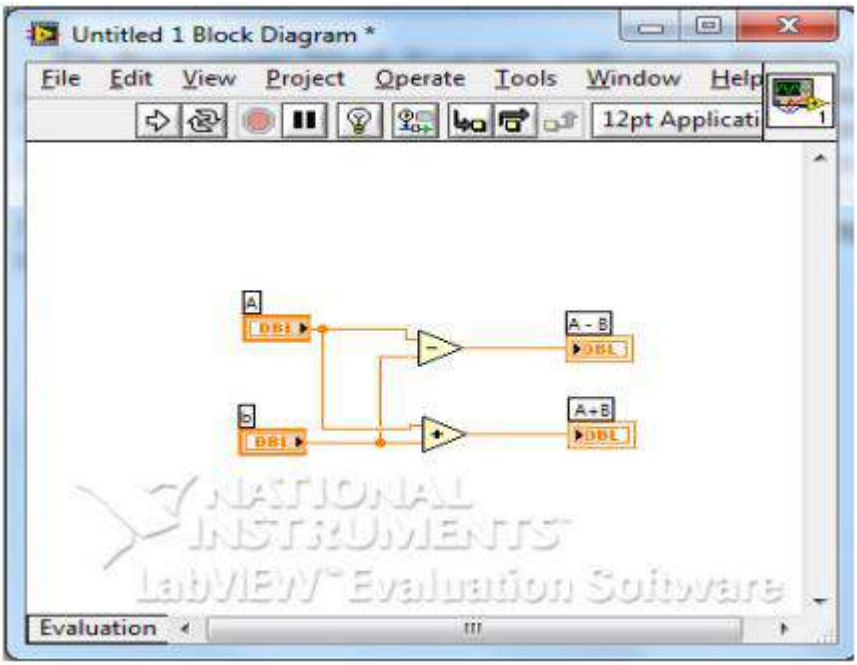


Figure IV.2: un diagramme

Une icône (Icon) : c'est la symbolisation de l'instrument virtuel qui permettra de faire appel à un instrument virtuel déjà créé à l'intérieur d'un autre instrument virtuel, c'est un principe de structure hiérarchique et de modularité. [4]



IV.3 Carte arduino et sa bibéothetque sous labview

IV.3.1 Description de la carte arduino uno

L'Arduino est une famille de cartes électroniques à microcontrôleur open-source née en Italie en 2005. Ces cartes basées sur une interface entrée/sortie simple et sur un environnement de développement proche du langage C.

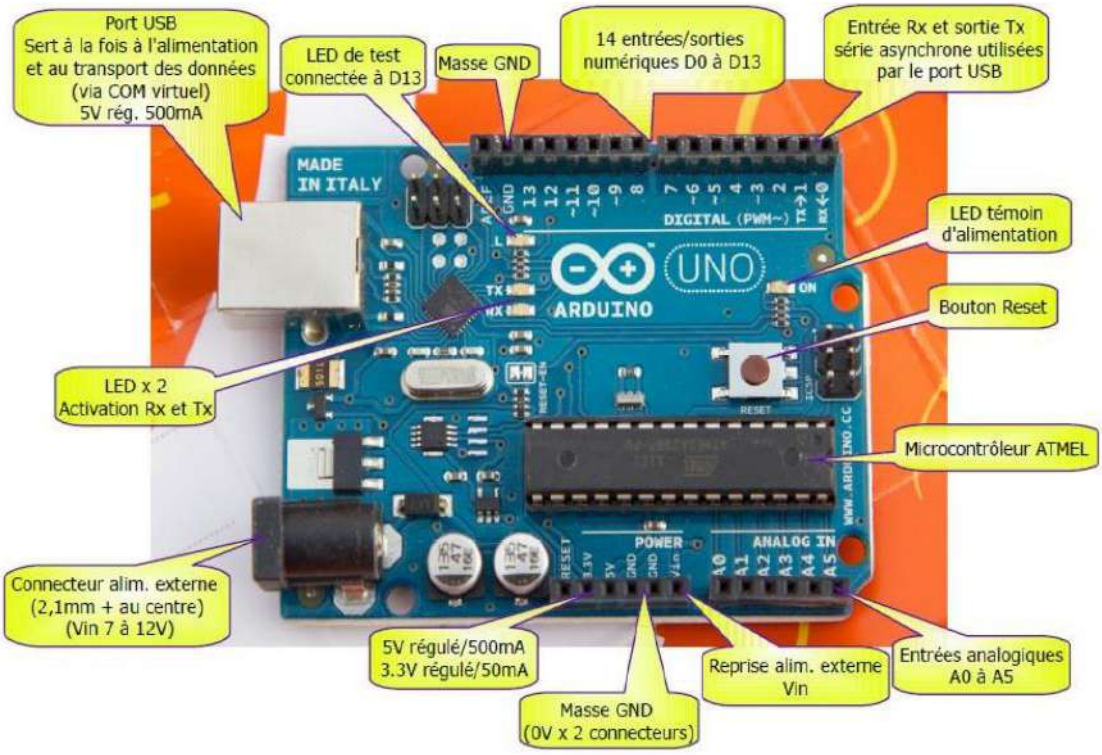


Figure IV.3 : Description de la carte arduino uno

IV.3.2 Les E/S de la carte Arduino sont réparties comme suit :

une série de 12 Pin E/S digitales numérotés de 2 à 13, ayant les caractéristiques suivantes :

- chaque Pin peut être déclaré comme une entrée ou une sortie.
- les Pin dont le numéro est précédé de « ~ » sont pilotables en PWM.
- une série de Pin POWER, composée de :
- une sortie 5 V.
- une sortie 3,3 V.
- deux GND.
- une entrée en tension Vin.
- un Reset.
- une série de 6 Pin ANALOG INPUT, numérotés de A0 à A5.

IV.3.3 Interface arduino sur Labview

Lorsque le module Arduino est installé, la bibliothèque Arduino sera disponible avec ces différentes fonctions «**figure IV.4**»:

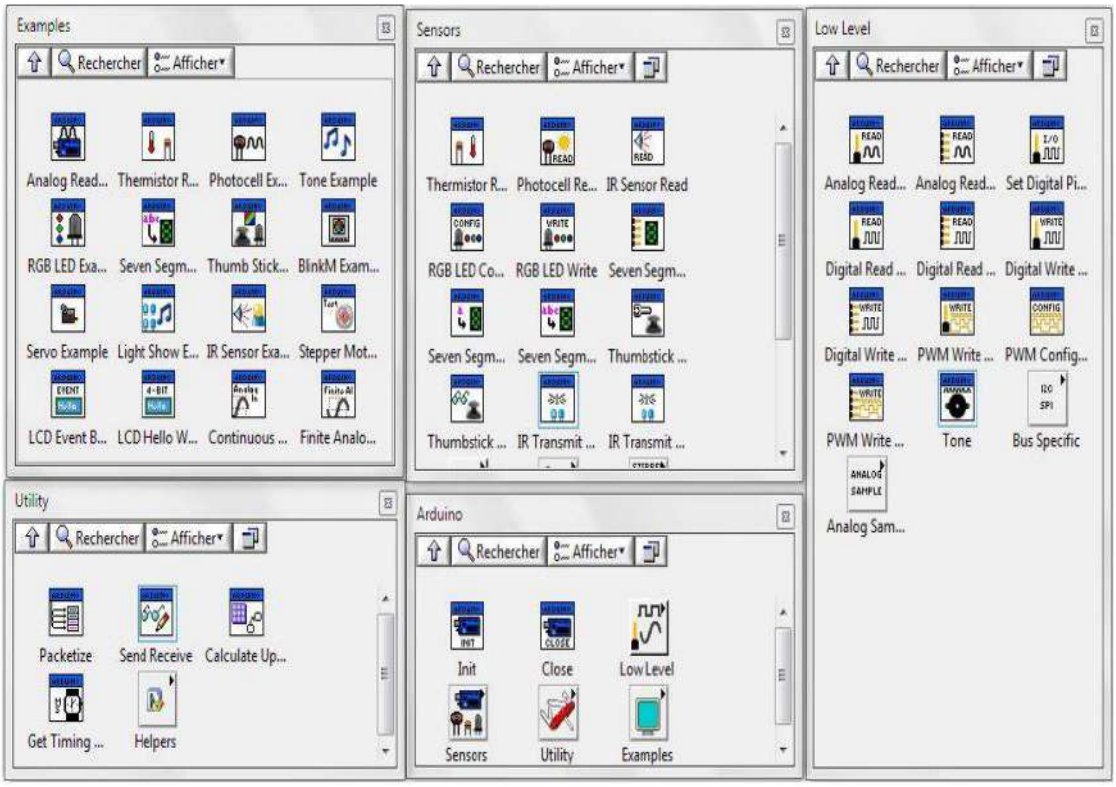


Figure IV.4 : Différentes fonctions de la palette arduino sous labview

La communication entre Arduino et Labview s'établit dans deux phases :

première phase : charger un firmeware dans le microcontrôleur de la carte arduino.

deuxième phase : configurer les paramètres de communication entre l'application labview et la carte arduino à travers un port série virtuel.

IV.4 Méthode Newton-Raphson :

L'Organigramme :

L'organigramme ci-dessous résume les différentes équations utilisées pour l'extraction des

paramètres de la cellule photovoltaïque

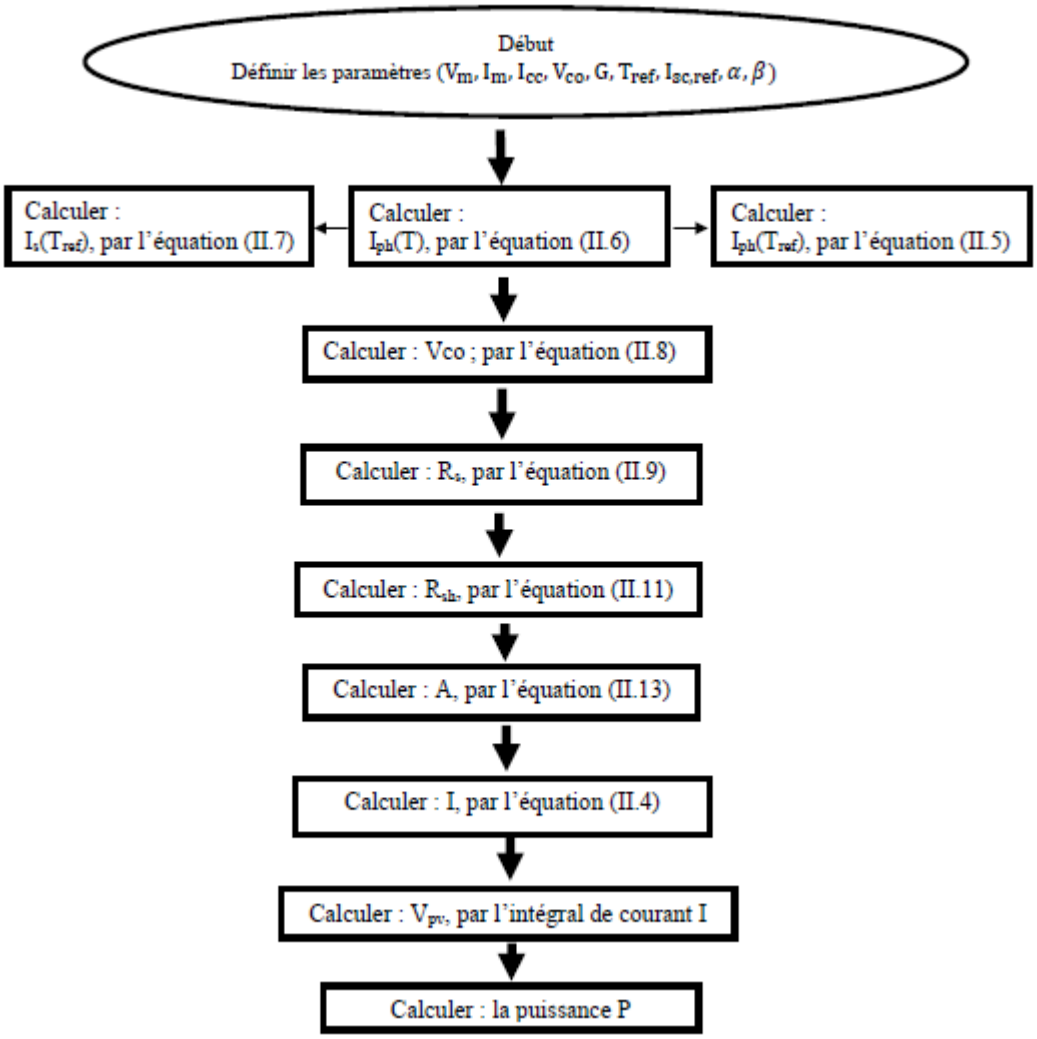
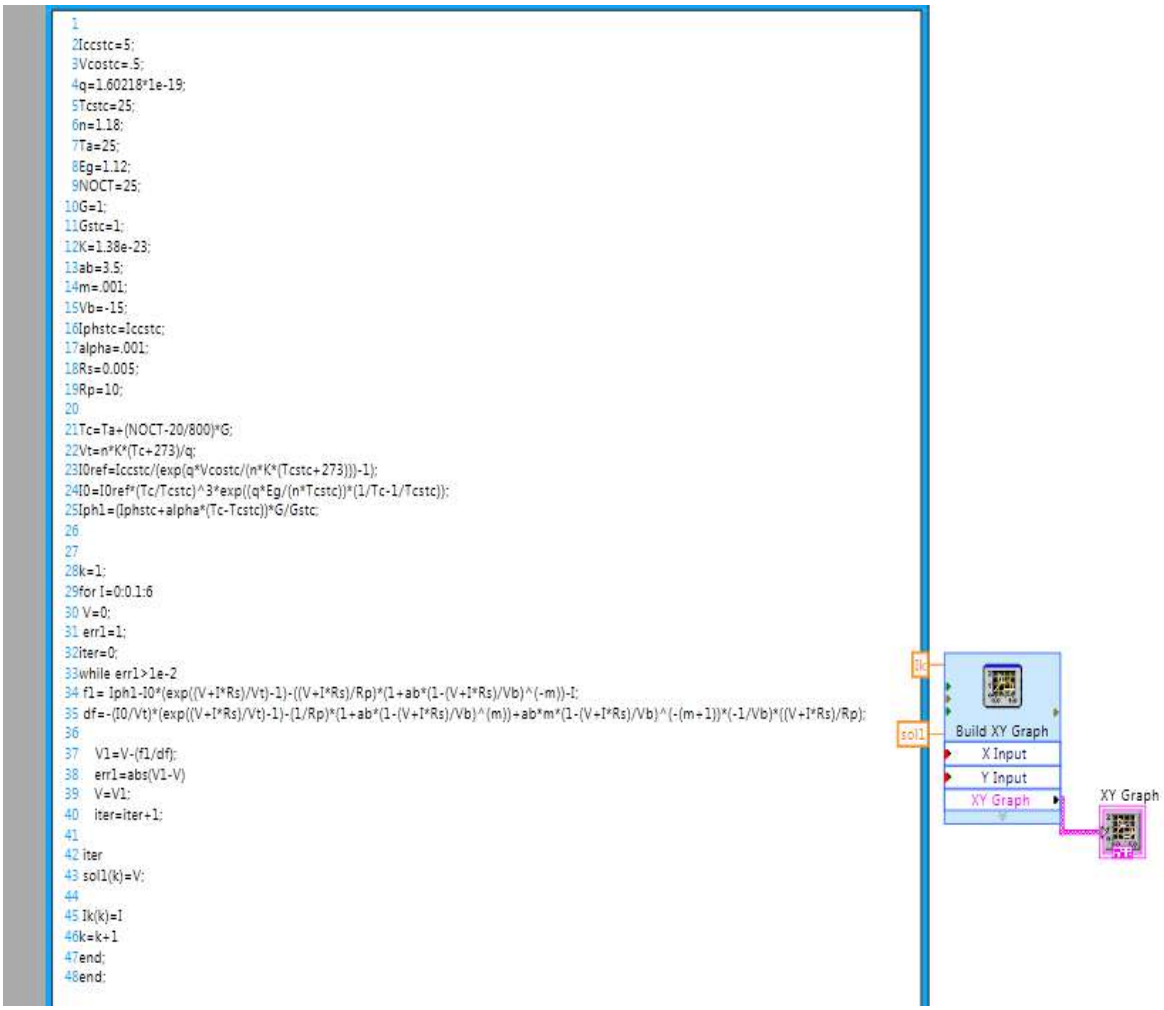


Figure IV.5 Organigramme de la méthode de newton- Raphson




```
Iccstc=5;
Vcostc=.5;
q=1.60218*1e-19;
Tcstc=25;
n=1.18;
Ta=25;
Eg=1.12;
NOCT=25;
G=1;
Gstc=1;
K=1.38e-23;
ab=3.5;
m=.001;
Vb=-15;
Iphstc=Iccstc;
alpha=.001;
Rs=0.005;
Rp=10;

Tc=Ta+(NOCT-20/800)*G;
Vt=n*K*(Tc+273)/q;
I0ref=Iccstc/(exp(q*Vcostc/(n*K*(Tcstc+273)))-1);
I0=I0ref*(Tc/Tcstc)^3*exp((q*Eg/(n*Tcstc))*(1/Tc-1/Tcstc));
Iph1=(Iphstc+alpha*(Tc-Tcstc))*G/Gstc;


k=1;
for I=0:0.1:6
V=0;
err1=1;
iter=0;
while err1>1e-2
f1= Iph1-I0*(exp((V+I*Rs)/Vt)-1)-((V+I*Rs)/Rp)*(1+ab*(1-(V+I*Rs)/Vb)^(-m))-I;
df=-(I0/Vt)*(exp((V+I*Rs)/Vt)-1)-(1/Rp)*(1+ab*(1-(V+I*Rs)/Vb)^(m))+ab*m*(1-(V+I*Rs)/Vb)^(-(m+1))*(-1/Vb)*((V+I*Rs)/Rp);

  V1=V-(f1/df);
  err1=abs(V1-V)
  V=V1;
  iter=iter+1;

iter
soll(k)=V;

Ik(k)=I
k=k+1
end;
end;
```

Figure IV.6 Diagramme d'un panneau photovoltaïque

IV.5 Aplication sous labveiw :

L'interface graphique d'une application constitue la couche externe de cette dernière, c'est le moyen avec lequel l'utilisateur interagit avec le monde extérieur.

Une interface utilisateur nommée aussi « GUI » est un visage des programmes qui permettent aux utilisateurs de communiquer avec les périphériques d'un ordinateur ou d'une autre machine à travers une interface numérique en utilisant un ensemble d'instructions, des textes où des

commandes, elles représentant l'information pour le fonctionnement d'un système et pour simplifier l'utilisation de l'ensemble.

Pour améliorer les fonctionnalités de notre régulateur solaire, nous avons développé une interface graphique sous Labview, qui rassemble la puissance de calcul et la simplicité de la programmation dite graphique, elle représente pour les utilisateurs un moyen puissant pour la commande, le contrôle et la supervision.

Dans ce qui suit, nous allons décrire en détails le fonctionnement de l'application :

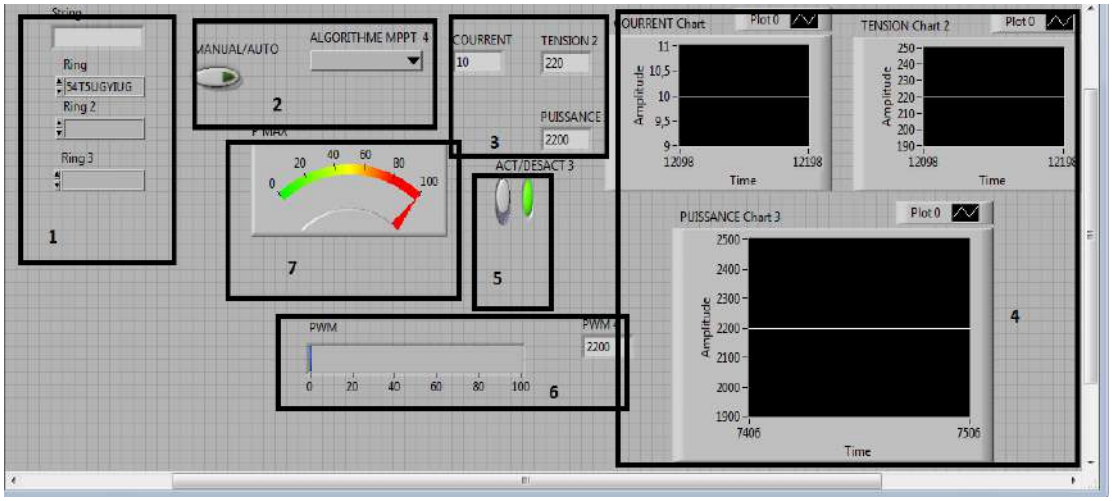


Figure IV.7 : Face de supervision

L'interface développée nous permet de trouver le point de fonctionnement optimal soit manuellement soit automatiquement, la **figure IV.7** illustre l'interface sous Labview.

1 : configuration des paramètres de communication telle que la vitesse de transmission, nombre de bits de données et la sélection du périphérique.

2 : c'est un menu déroulant permettant la sélection de l'algorithme MPPT désiré, avec un bouton de sélection qui permet de permuter entre les deux modes de fonctionnement qu'on

mplémenté qui sont le mode manuel et le mode automatique. Manuellement en agissant sur le rapport cyclique présenté dans le Bloc6, ou automatiquement en implémentant l'algorithme MPPT.

3 : un ensemble d'indicateurs qui affichent en temps réel les valeurs instantanées des grandeurs électriques mesurées (tension, courant et puissance).

4 : ce sont des graphes qui affichent en temps réel les grandeurs électriques mesurées.

5 : un bouton qui a comme rôle l'activation ou la désactivation de la charge, en commandant un relais.

6 : permet de varier manuellement le point de fonctionnement du système photovoltaïque en agissant sur une simple glissière.

7 : c'est un pourcentage de la puissance maximale dans les conditions de fonctionnement standard, il indique si la puissance maximale est achevée ou non.

Ce dernier n'a pas seulement comme rôle la gestion des indicateurs distribuée sur la face avant de l'application labview mais aussi l'implémentation des méthodes de calcul, des instructions de programmation et aussi les algorithmes de commande La **figure IV.8** illustre le diagramme de notre interface :

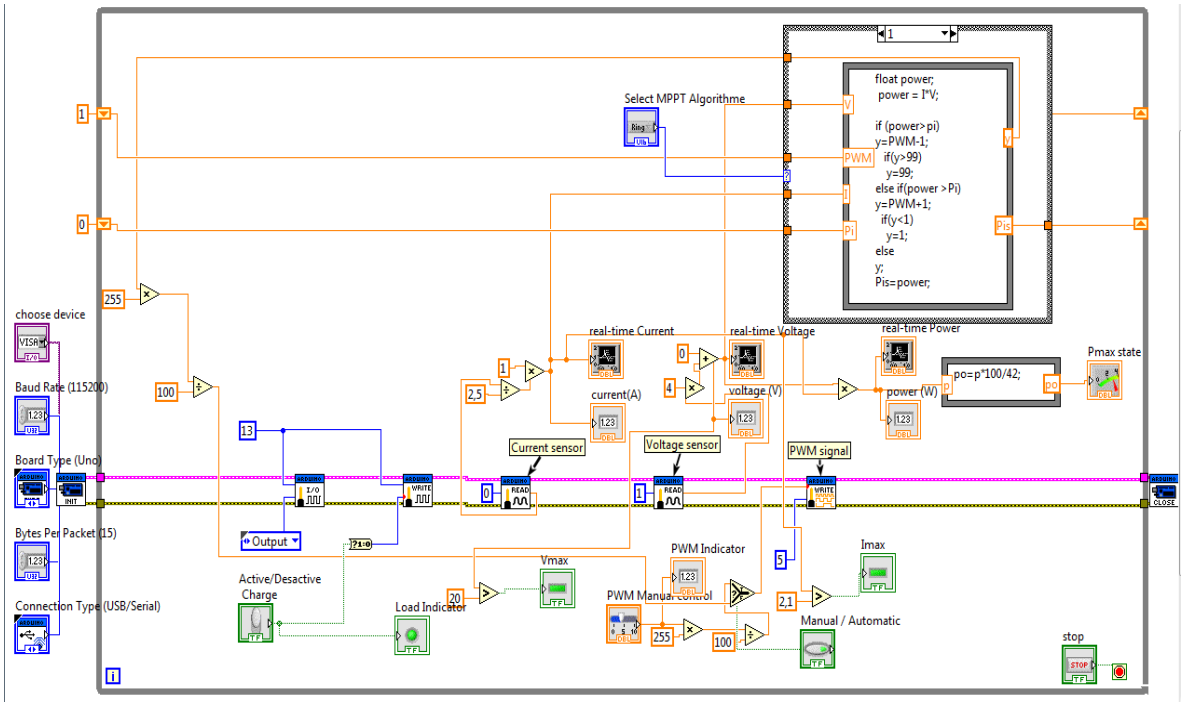


Figure IV.8 : Diagramme de l'interface

IV.5.1 Resultats et discussions

Plusieurs essais ont été élaborés afin d'acquérir les grandeurs électriques (tension, courant, puissance) sur l'application labview et faire une comparaison avec les résultats délivrés par les appareils de mesure du laboratoire.

Aux bornes de la charge, on obtient un signal continu associé à de petites ondulations dues à la fluctuation de la recherche du point de puissance maximale.

Dans un essai différent, nous avons simulé une variation de puissance comme un passage d'un nuage en aveuglant unepartie de la surface du panneau voir **figure IV.9** on a eu un abaissement de tension aux bornes du panneau suivi en même temps d'une diminution de la tension du convertisseur. Si on fait une perturbation périodique sur le panneau, l'influence de ce phénomène apparaît comme des ondulations synchronisées, voir **figure IV.10.**

Pour implanter l'étage MPPT dans un système photovoltaïque y compris plusieurs panneaux photovoltaïques, il s'agit de faire une configuration, qui se caractérise par un étage MPPT pour chaque générateur PV pour élever la puissance de sortie. Cette configuration donne une rentabilité efficace comme :

- Une puissance équivalente optimale d'une somme de puissances de sortie maximales.

- Une continuité de production optimale indépendante de la charge de consommation.

En comparant les deux méthodes de recherche du point de fonctionnement optimal, manuelle et automatique en implémentant l'algorithme P&O, nous avons constatés que les résultats obtenus sont comparables

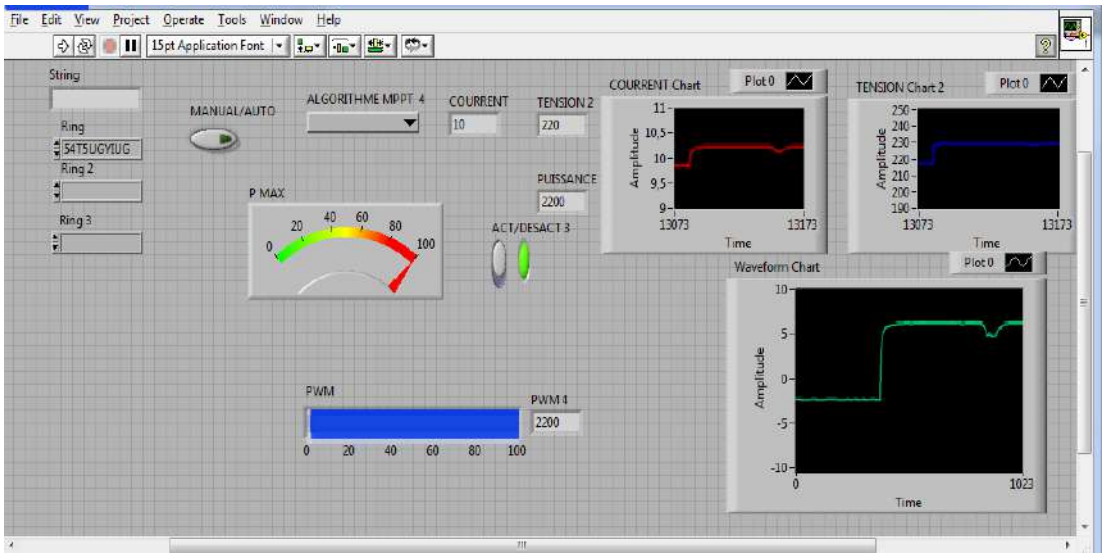


Figure IV.9 : résultat du passage d'une personne devant le GPV.

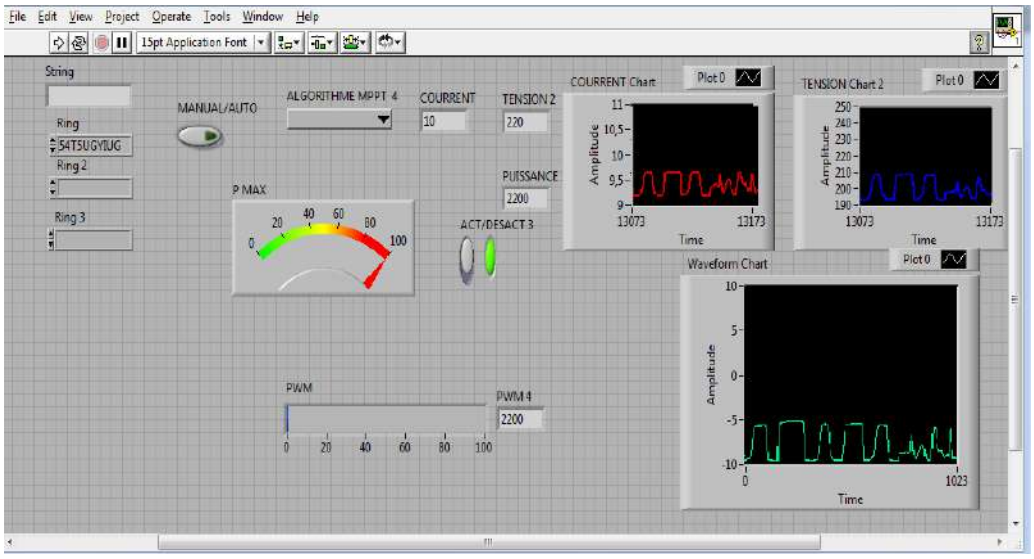


Figure IV.10 : Résultat d'application des Perturbations périodique sur le panneau.

Le système que nous avons conçu présente les avantages suivants:

-système innovant ; permet la supervision et le contrôle du système en temps réel.

-système puissant : avec une grande vitesse de calcule.

-implémentation d'une commande numérique : le passage d'un système analogique vers le numérique.

- Un faible cout on le comparant aux d'autres systèmes

IV.6 Conclusion

Le travail présenté dans ce rapport de projet de fin d'études porte sur la conception et la réalisation d'un système photovoltaïque (PV) adapté par une commande MPPT assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par un générateur PV.

I Introduction général :

L'énergie solaire est devenue une source alternative d'énergie de grande importance. Pour cela plusieurs efforts et recherches ont été concentrés sur l'amélioration de l'efficacité des systèmes photovoltaïques (PV) ainsi que l'accessibilité de cette technologie [1].

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.

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, poursuite du point de puissance maximale. Cette technique, comme son nom l'indique, poursuit le PPM 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.

Dans ce mémoire, on a conception un système intelligent pour surveilliez et supervisé un champ photovoltaïque par labview