
MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du diplôme de master
Systèmes Microélectroniques, de Télécommunications et de l'Informatique
Industrielle

Conception et réalisation d'un régulateur solaire sous Labview à base de microcontrôleur

Réalisé par :

✚ Mr ANAS EL ATMI

Encadré par :

✚ Pr N. ES-SBAI

✚ Pr F. ERRAHIMI

Soutenu le : 17 Juin 2014

Devant le jury composé de :

✚ Pr. A. AHAITOUF

Examineur

✚ Pr . A.MECHAQRANE

Examineur

✚ Mme . F. ERRAHIMI

Encadrante

✚ Mme . N. ES-SBAI

Encadrante

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2013/2014

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude à ma mère et mon père pour l'éducation qu'ils m'ont prodiguée; avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard, pour le sens du devoir et du respect qu'ils m'ont enseignés depuis mon enfance.

A ma sœur en témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je lui porte.

A la mémoire de mes grands-mères et grands-pères, puisse Dieu tout puissant leur accorder sa clémence et sa miséricorde.

A tous mes amis pour tous les instants inoubliables que j'ai passés avec eux, je les remercie.

A tous mes professeurs en témoignage de ma gratitude et profond respect.

Anas el atmi

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mes remerciements sincères aux nombreuses personnes ayant contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce projet de fin d'études.

Je souhaite remercier Mme Errahimi Fatima et Mme Es-sbai Najia, mes encadrantes à la FST de FES, pour leur disponibilité, leur rigueur et les précieux conseils qui m'ont été d'un grand secours tout au long de mon projet.

Je tiens également à remercier les membres du jury, qui ont accepté de juger mon travail.

Merci enfin à tout le corps professoral administratif et technique de la FST, pour la qualité de l'enseignement qui nous a été dispensé et l'ambiance agréable durant ces cinq ans d'études.

RESUME

Durant ces dernières années, il y a eu un intérêt considérable pour les énergies renouvelables et plus particulièrement l'énergie photovoltaïque.

La poursuite du point de puissance maximale (MPPT) joue un rôle important dans le système photovoltaïque parce qu'il permet de suivre le point de puissance maximale du module photovoltaïque indépendamment des perturbations, améliorant ainsi, le rendement du système.

Ce projet porte sur la conception et la réalisation d'un régulateur solaire MPPT sous Labview à base de microcontrôleur.

Le système de régulation proposé dans ce travail permet de simuler et de tester en temps réel les différents algorithmes MPPT tel que l'algorithme perturbe et Observe (P&O). Ce système est composé d'un capteur de courant, d'un capteur de tension, d'un convertisseur DC-DC de type BOOST, commandé avec une interface graphique réalisée avec **Labview via un** microcontrôleur. L'environnement Labview offre une structure souple et évolutive au système développé.

L'efficacité du régulateur solaire proposé est vérifiée par des résultats expérimentaux en appliquant l'algorithme MPPT, P&O.

ABSTRACT

In the last few years there has been considerable interest in renewable energy and more specifically photovoltaic source. In photovoltaic power systems, Maximum power point tracking (MPPT) play an important role because they maximize the power output from a PV system for a given set of conditions, and therefore maximize the solar module efficiency.

This project deal with the design and developments of a solar regulator system combining two parts: hardware and software application.

The regulator system proposed in this work can simulate and test in real time any MPPT method such as Perturb and Observe (P&O) algorithm, it's based on a PV module, a DC-DC boost converter, voltage and current sensors, microcontroller and software application to establish communication between hardware system and the users, the software that we worked on was carried out under Labview which confers a flexible and evolutionary structure to the system.

The effectiveness of the proposed solar regulator system is verified by the experimental results under our developed system using two MPPT algorithms, P&O.

SOMMAIRE

DEDICACE.....	2
REMERCIEMENTS	3
RESUME.....	4
ABSTRACT	4
LISTE DES FIGURES	7
LISTE DES ABREVIATIONS	9
INTRODUCTION GENERALE.....	9
CHAPITRE I.....	12
1. Généralités.....	13
2. L'énergie éolienne.....	14
3. L'énergie hydraulique	15
4. L'énergie biomasse.....	16
5. L'énergie géothermique.....	16
6. L'énergie solaire.....	18
7. Conclusion.....	20
CHAPITRE II.....	21
1. Cellule photovoltaïque	22
1.1 Principe de fonctionnement.....	22
1.2 Types de cellules photovoltaïques.....	24
1.3 Tableau comparatif des types de cellules photovoltaïques.....	25
2. Modules photovoltaïques.....	26
2.1 Normes et spécifications concernant les modules photovoltaïques.....	26
2.2. Protections des Modules.....	26
3. Générateur photovoltaïque (GPV).....	26
3.1 Association des cellules photovoltaïques en Série	27
3.2 Association des cellules photovoltaïques en parallèle.....	27
3.3 Regroupement mixte (série et parallèle).....	28
4. Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque.....	28
4.1 Caractéristique courant-tension :	28
4.2 Caractéristiques puissance-tension.....	29
4.3 Influence de l'éclairement et de la température.....	30
5. Etages d'adaptation entre générateur photovoltaïque et la charge	31
5.1 Connexion directe.....	31
5.2 L'étage d'adaptation :.....	33
6. Etages d'adaptation pour une commande MPPT	33
6.1 Convertisseur Buck :	33
6.2 Convertisseur BOOST :.....	34

6.3 Principe du PWM	34
7. Principe de la recherche du point de puissance maximale	35
7.1 Algorithme de perturbation et d'observation (P&O).....	36
7.2 Algorithme à incrémentation de la conductance	37
8. Conclusion.....	39
CHAPITRE III	40
1. Interface sous Labview à base du PIC 16F887.....	41
2. Communication par transmission série RS232.....	44
3. PIC 16F887.....	46
3.1 Principales caractéristiques du PIC 16F887	47
3.2 Programmation du microcontrôleur PIC 16F887	48
4. Simulation avec Isis.....	49
5. Conclusion.....	51
CHAPITRE IV	52
1. Carte Arduino et sa bibliothèque sous Labview	53
1.1 Description de la carte arduino uno.....	53
1.2 Interface Labview.....	54
2. Conception et réalisation de régulateur solaire.....	54
2.1 Convertisseur DC/DC BOOST.....	55
2.2 Dimensionnement des composants.....	56
3. Réalisation d'un capteur de courant/tension.....	59
4. Simulation du système complet sous PSIM	61
4.1 Logiciel PSIM	61
4.2 Mise en évidence du PPM	61
4.3 Connexion direct	62
4.4 Convertisseur DC-DC dans la chaine photovoltaïque	62
4.5 Insertion du microcontrôleur	63
4.6 Insertion du bloc de contrôle	64
4.7 Programmation du microcontrôleur	64
4.8 Résultat de la simulation	65
5. Application sous Labview :.....	65
6. Résultats et Discussions	67
5. Conclusion.....	70
Conclusion générale	71
Références	71

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma d'une éolienne	14
Figure 2 : Principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique	15
Figure 3 : Schéma de fonctionnement d'une centrale biomasse	16
Figure 4 : Schéma de fonctionnement géothermie de surface.....	17
Figure 5 : Schéma de fonctionnement de la géothermie en profondeur.....	18
Figure 6 : Satellite américain Vanguard en 1959	19
Figure 7 : Première voiture alimentée par énergie photovoltaïque (1983).....	20
Figure 8 : Mouvement des charges dans une jonction PN	23
Figure 10 : Cellules monocristallines	24
Figure 9 : Principe de fonctionnement d'une jonction PN.....	23
Figure 11 : Cellules poly-cristallines	24
Figure 12 : Cellules amorphe	25
Figure 13 : Caractéristique courant tension de N_s cellules en série.....	27
Figure 14 : Caractéristique courant tension de (N_p) cellules en parallèle.....	27
Figure 15 : Caractéristique résultante de n_s cellules associées en série et de N_p cellules identiques associées en parallèle	28
Figure 16 : Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque réelle	29
Figure 17 : Caractéristique puissance-tension d'une cellule photovoltaïque réelle.....	29
Figure 18 : Influence de l'éclairement sur le courant et la tension d'un générateur photovoltaïque	30
Figure 19 : Influence de la température sur le courant et la tension d'un GPV.....	31
Figure 20 : Influence de la température et de l'éclairement sur le courant et la tension	31
Figure 21 : schéma d'une connexion directe entre la source et la charge.....	32
Figure 22 : Les points de fonctionnement d'un générateur photovoltaïque pour les trois types de charges.	32
Figure 23 : Connexion d'un générateur photovoltaïque à une charge à travers un étage d'adaptation	33
Figure 24 : schéma convertisseur BUCK.....	34
Figure 25 : schéma d'un convertisseur BOOST	34
Figure 26 : Principe de fonctionnement de l'étage d'adaptation avec la commande MPPT ...	35
Figure 27 : Situation du PPM par rapport au point de fonctionnement	36
Figure 28 : Algorithme P&O.....	37
Figure 29 : situation du PPM par rapport au point de fonctionnement	38
Figure 30 : Algorithme commande à incrémentation de la conductance	39
Figure 31 : Face avant de l'interface sous Labview	42
Figure 32 : Diagramme de l'interface sous Labview	42
Figure 33 : VISA Configure Serial Port.....	43
Figure 34: VISA Write	43
Figure 35 : VISA Read	44
Figure 36 : Envoi du caractère A par la communication série	45
Figure 37 : Connecteur RS232 à 9 voies.....	45
Figure 38 : Eléments constitutifs du PIC 16F887	47
Figure 39 : Brochage du pic 16F887	48
Figure 40: Interface du Configure Virtual Serial Port Driver	50
Figure 41 : Schéma électrique sous ISIS.....	50

Figure 42 : Envoi du caractère « A » de l'interface Labview au module LCD.....	51
Figure 43 : Description de la carte arduino uno	53
Figure 44 : Différentes fonctions de la palette arduino sous labview	54
Figure 45 : Configurations d'un convertisseur Boost	55
Figure 46 : Simulation sous matlab simulink.....	57
Figure 47 : Résultat de la simulation.....	58
Figure 48 : Convertisseur réalisé.....	58
Figure 49 : Simulation du capteur de courant/tension sous ISIS	60
Figure 50 : Capteur de courant réalisé.....	60
Figure 51 : caractéristique courant-tension et puissance tension d'un générateur photovoltaïque sous les conditions standards de la température et d'éclairement.....	61
Figure 52 : connexion direct entre GVP et une charge résistive	62
Figure 53 : résultats de simulation d'une connexion directe	62
Figure 54 : simulation du convertisseur DC-DC type BOOST.....	63
Figure 55 : résultats de la simulation d'un convertisseur DC-DC	63
Figure 56 : Système solaire complet	65
Figure 57 : Résultats de la simulation du système pour différentes valeurs d'éclairéments	65
Figure 58: Face de supervision.....	66
Figure 59 : Diagramme de l'interface	67
Figure 60 : Visualisation du rapport cyclique dans l'oscilloscope.....	68
Figure 61 : résultat du passage d'une personne devant le GPV.....	69
Figure 62 : Résultat d'application des Perturbations périodique sur le panneau	69
Figure 63 : Régulateur solaire complet	70

LISTE DES ABREVIATIONS

GPV : générateur photovoltaïque.

GUI : graphical user interface

I_{cc} : courant de court-circuit

I_{pm}: courant optimal

LCD: liquid crystal display.

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

MOS : metal oxide semiconductor.

MPPT: Maximum Power Point Tracking : dispositif de poursuite du point de puissance maximale.

np : le nombre des cellules associées en parallèle.

ns: le nombre des cellules associées en série.

P&O: Perturbe & Observe.

P_m : puissance maximale.

PPM : point de puissance maximum.

PV : photovoltaïque.

RS232: Send Receive 232

UART: Universal Asynchronous Receiver Transmitter

U_{pm}: tension optimale

V_{oc} : tension de circuit ouvert

INTRODUCTION GENERALE

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 progrès considérable de la technologie et de l'industrie. Ceci a eu comme conséquence néfaste, 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.

À l'ère du développement durable, l'énergie photovoltaïque connaît une progression rapide en raison de son potentiel significatif comme source d'énergie renouvelable. En effet, plus de 22GW ont été produites en 2010 contre 0.4 GW en 1998, soit une augmentation de 5500% selon l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE). Cependant, le rendement de la conversion photovoltaïque reste relativement faible. Ceci présuppose l'utilisation et la mise en œuvre de techniques permettant d'optimiser le profit de cette technologie en tirant le maximum de la puissance pouvant être produite.

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, 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.

Ce projet de fin d'étude, pour obtenir le diplôme de MASTER en Systèmes Microélectroniques, de Télécommunication et d'Informatique Industrielle (SMTII), porte sur **la conception et réalisation d'un régulateur solaire MPPT sous Labview à base de microcontrôleur.**

Ce travail a été réalisé au Laboratoire Signaux Systèmes et Composants (L.S.S.C) du département génie électrique créé en 1996 à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès. Parmi les activités de recherche de mes deux encadrantes, il y a les Energies Renouvelables et l'Efficacité Energétique.

L'objectif du projet est la réalisation électronique, par le biais d'un microcontrôleur sous Labview, d'un régulateur solaire. Son principe de fonctionnement est basé sur la commande d'un convertisseur DC-DC par un signal rectangulaire 'PWM' généré par un microcontrôleur. Cette technique de commande hache le courant du module photovoltaïque avec des

impulsions d'une fréquence fixe et d'une largeur d'impulsion variable, c'est le principe du signal modulé par largeur d'impulsions, afin de réguler le courant de charge à travers le convertisseur DC-DC qui est généralement un dispositif de conversion de puissance.

L'interface Labview dite utilisateur permet de générer les commandes MPPT et d'afficher les caractéristiques du système en temps réel.

Pour présenter le travail effectué, ce mémoire est subdivisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre, aborde le contexte général des énergies renouvelables.
- Le deuxième chapitre évoque la description générale d'un système photovoltaïque, le principe de fonctionnement d'un panneau photovoltaïque, sa modélisation mathématique et ses caractéristiques seront détaillées.
- Le troisième chapitre traite l'interfaçage à base d'un microcontrôleur PIC16F887 réalisé avec Labview via la communication série UART, destinée à la commande MPPT.
- Le quatrième chapitre sera dédié à la réalisation électronique d'un régulateur solaire complet. A savoir, la réalisation des capteurs, d'un convertisseur DC-DC de type BOOST et l'interfaçage du système avec une application Labview développée via une carte de microcontrôleur Arduino, assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le GPV. Finalement, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale et quelques perspectives pour des travaux futurs dans ce domaine.

CHAPITRE I

Les énergies renouvelables

L'utilisation par l'homme des sources d'énergie renouvelable, dont l'énergie solaire, éolienne et hydraulique, est très ancienne; ce type d'énergie est utilisé depuis l'antiquité et son utilisation a continué d'exister jusqu'à l'arrivée de la "Révolution Industrielle", époque à laquelle, étant donné le bas prix du pétrole, elles ont été abandonnées. Cependant depuis ces dernières années étant donné l'accroissement du coût des combustibles fossiles et des problèmes environnementaux dérivés de leur exploitation, nous assistons à un renouveau des énergies renouvelables.

GENERALITES

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 utilisée 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.

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.

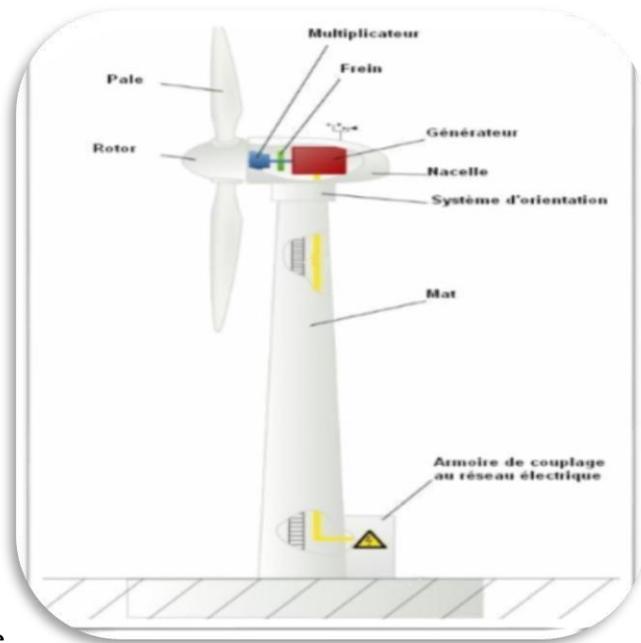


Figure 1 : Schéma d'une éolienne

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 efficace 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].

L'ÉNERGIE HYDRAULIQUE

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.

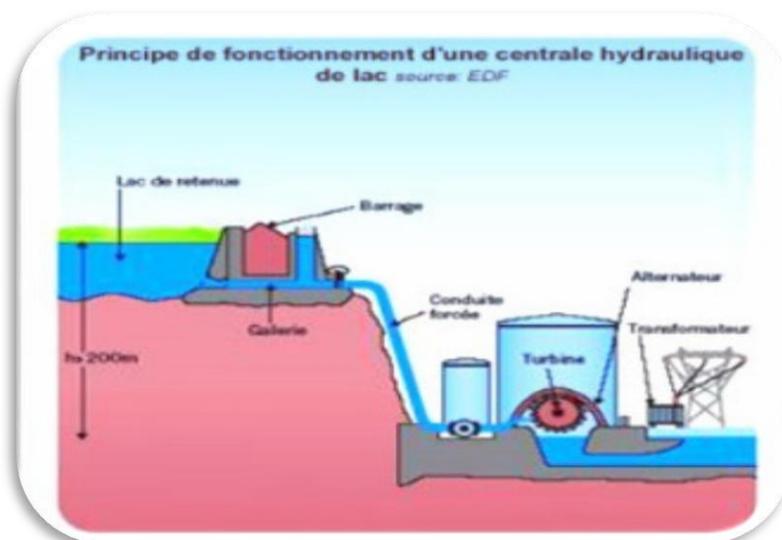


Figure 2 : Principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique

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].

L'ENERGIE BIOMASSE

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 étapes comme c'est indiqué sur la figure suivante :

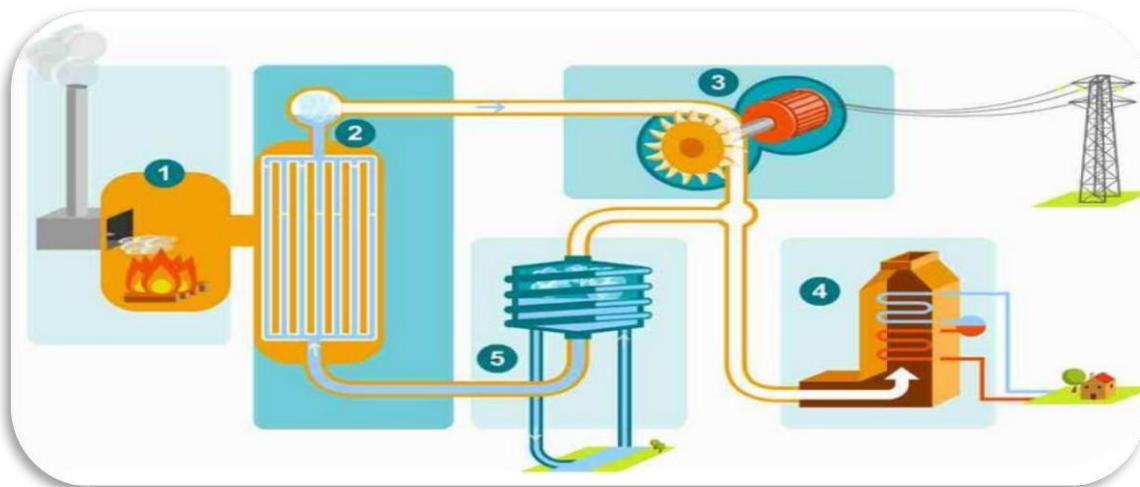


Figure 3 : Schéma de fonctionnement d'une centrale biomasse

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].

L'ENERGIE GEOTHERMIQUE

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.

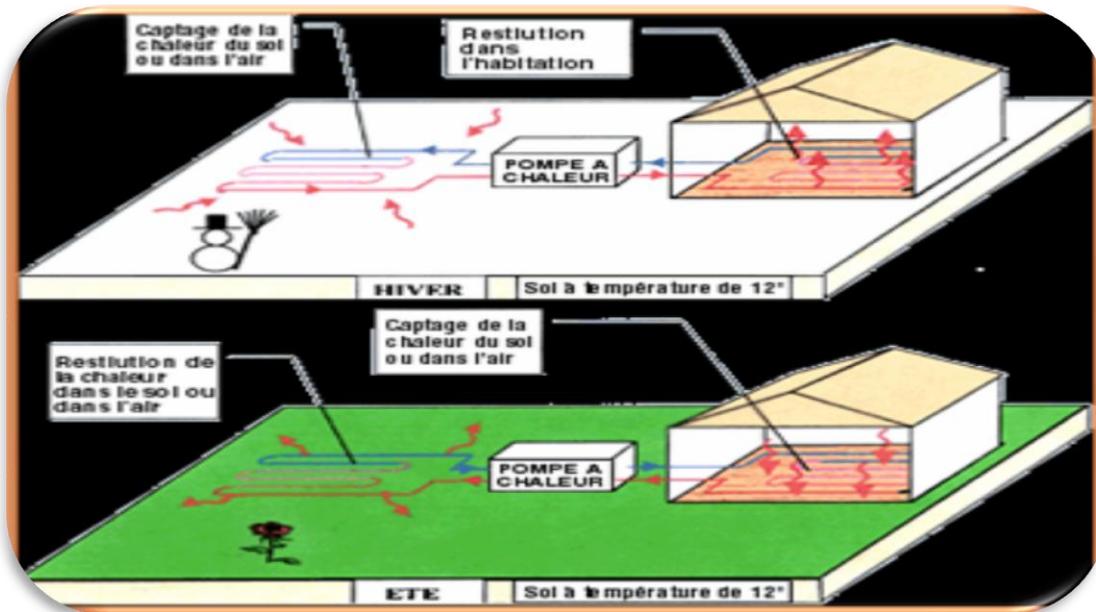


Figure 4 : Schéma de fonctionnement géothermie de surface

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 :

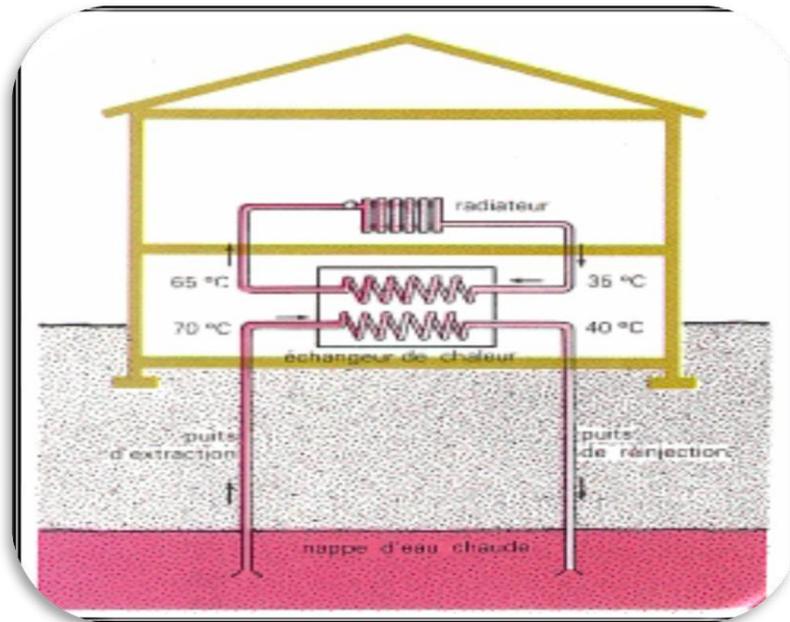


Figure 5 : Schéma de fonctionnement de la géothermie en profondeur

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].

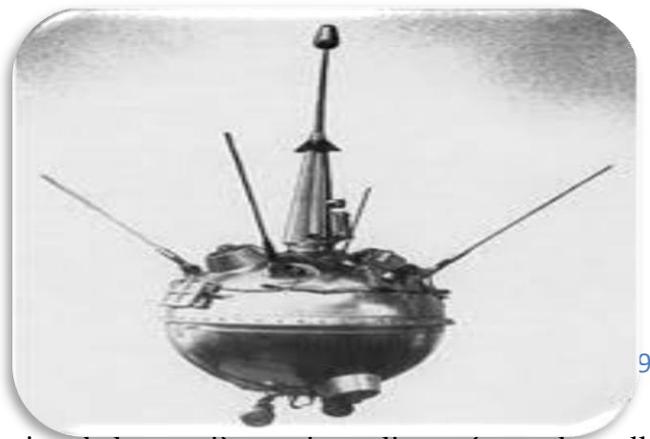
L'ENERGIE SOLAIRE

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 photovoltaïques à l'Université de Delaware.

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



Figure 7 : Première voiture alimentée par énergie photovoltaïque (1983)

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 II

ETUDE DES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES

Le système photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs. Cet ensemble, appelé aussi "Balance of System" ou BOS, comprend tous les équipements entre le champ de modules et la charge finale, à savoir la structure rigide (fixe ou mobile) pour poser les modules, le câblage, la batterie en cas de stockage et son régulateur de charge, et l'onduleur lorsque les appareils fonctionnent en courant alternatif.

Le système photovoltaïque est alors l'ensemble du générateur photovoltaïque et des équipements de consommation.

CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

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.

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de [semi-conducteurs](#), principalement à base de [silicium](#) (Si) et plus rarement d'autres semi-conducteurs : [séléniure de cuivre](#) et [séléniure d'indium](#) ($\text{CuIn}(\text{Se})_2$ ou $\text{CuInGa}(\text{Se})_2$), [tellurure de cadmium](#) (CdTe), etc. Elles se présentent généralement sous la forme de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté, les cellules sont souvent réunies dans des [modules solaires photovoltaïques](#) ou panneaux solaires, en fonction de la puissance recherchée.

1.1 Principe de fonctionnement

Le matériau de base pour la fabrication du composant de cellules solaires photovoltaïques est le silicium. Le Silicium naturel n'est pas directement utilisable, il doit subir certains traitements, parce qu'il est un isolant électrique à basse température et pour augmenter sa conductivité on y introduit d'autres atomes. Ce procédé est appelé dopage, il ya deux types de dopage selon la nature du dopant.

- Dopage de type N : consiste à produire un excès d'électrons, qui sont négativement chargés, par ajout des atomes pentavalents (par exemple le Phosphore) au silicium.

- Dopage de type P : consiste à produire un excès des trous, qui sont positivement chargés, par ajout des atomes trivalents (par exemple le Bore) au silicium.

Par l'accolement d'une région dopé P et d'une région dopée N, on obtient une jonction PN, cette jonction permet le passage des électrons entre les deux régions.

Quand ces deux matériaux sont mis en contact et les charges opposées s'attirent grâce au phénomène de diffusion, les électrons vont dans le matériau de type P et les trous vont dans le matériau de type N.

La chute de potentiel entre les matériaux N et P est nommé le potentiel de diffusion.

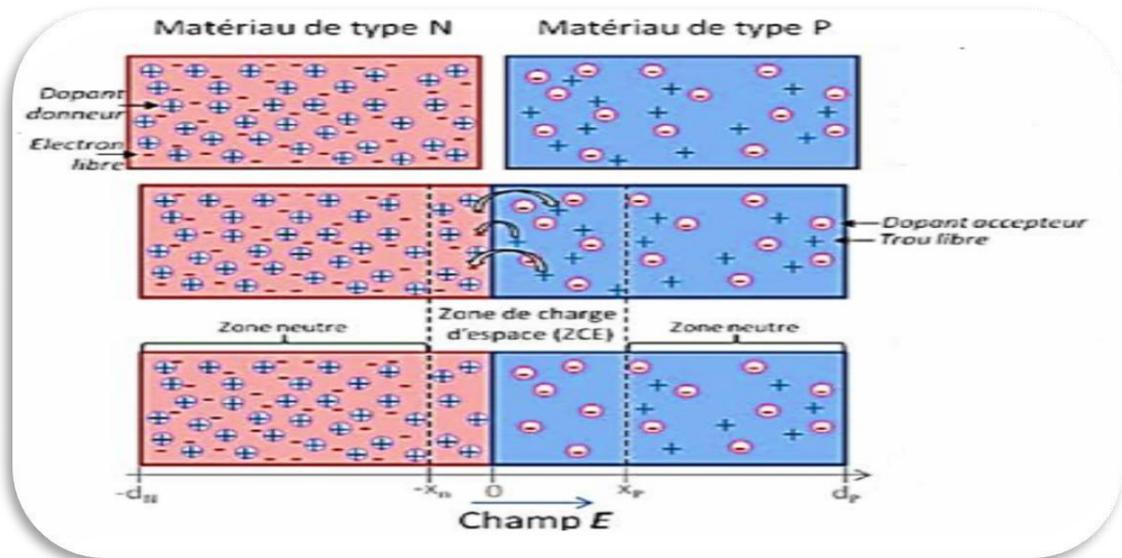


Figure 8 : Mouvement des charges dans une jonction PN

Certains électrons, libres des atomes sous l'action du rayonnement de la lumière du soleil (photons), peuvent se déplacer du matériau dopé P au matériau dopé N sous l'effet du potentiel de diffusion, et si une connexion extérieure est établie entre les deux matériaux, un courant électrique est généré dans l'un d'eux et parcourt cette connexion et puis ce courant retourne au semi-conducteur par l'autre matériau.

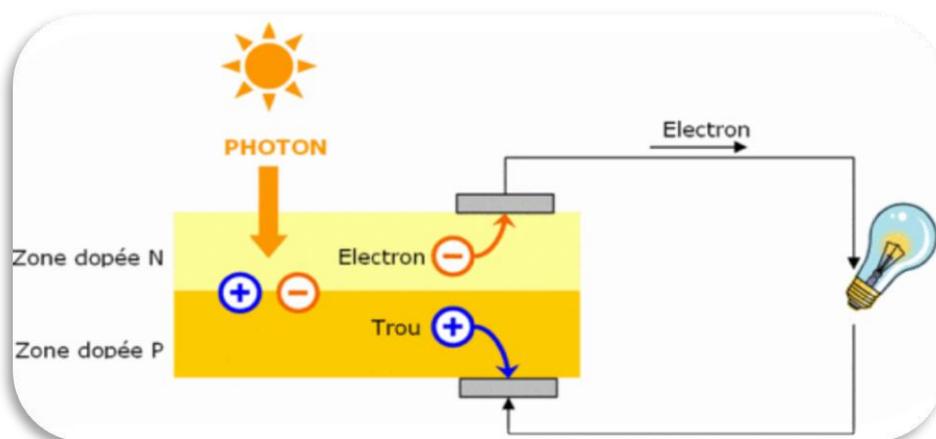


Figure 9 : Principe de fonctionnement d'une jonction PN

1.2 Types de cellules photovoltaïques

Il existe essentiellement quatre technologies de cellules photovoltaïques : monocristallin, poly cristallin, amorphe et couches minces.

a. Silicium monocristallin

Pour ce genre d'applications technologiques, le silicium pur est obtenu à partir de la silice de quartz ou de sable par transformation chimique métallurgique.

Le silicium a un rendement électrique et une durée de vie de l'ordre de deux fois celle du silicium amorphe, mais il est nettement plus cher.



Figure 10 : Cellules monocristallines

b. Silicium poly cristallin

Le silicium poly-cristallin est un matériau composé de cristaux juxtaposés obtenus par moulage. Ce matériau est moins coûteux (que le mono-cristallin). Les cellules carrées ou rectangulaires sont faciles à utiliser.



Figure 11 : Cellules poly-cristallines

c. Cellules amorphe

Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaires".



Figure 12 : Cellules amorphe

d. Couches minces

C'est une technologie émergente de rendements inférieurs au silicium cristallin mais les coûts sont potentiellement inférieurs (cette technologie nécessite moins de matériaux semi conducteurs), les modules sont de grandes dimensions.

1.3 Tableau comparatif des types de cellules photovoltaïques

Technologie	Silicium monocristallin	Silicium poly-cristallin	Silicium Amorphe
Rendement dans les condition standard (25 °C, intensité lumineuse 1000W/m ²)	12-18%	11-15%	6-8%
Surface de panneau pour 1KWc(Puissance caractéristique des Panneau solaires photovoltaïque)	7m ²	8m ²	16m ²
Electricité produite en un an/m ²	90-95 KWh/m ²	90-95 KWh/m ²	55-60 KWh/m ²
Emission de CO ₂ économisée/m ² /an	45Kg/m ²	40Kg/m ²	25Kg/m ²

Tableau 1 : Tableau comparatif des différents types de cellules photovoltaïques

Les cellules monocristallines sont plus rentables, en ce qui concerne la transformation d'énergie solaire en électricité, que les autres types de cellules, aussi la quantité d'électricité

produite par an pour un m² est plus importante, mais les cellules amorphes sont les moins polluantes.

MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Les puissances demandées par les charges couramment utilisées nécessitent conjointement des tensions et des courants supérieurs à ceux que peuvent fournir les cellules élémentaires et il faut donc envisager des groupements.

Dans la pratique les connexions sont effectuées au niveau des modules regroupant un certain nombre de cellules généralement connectées en série.

Ces modules sont les éléments de base du champ photovoltaïque et l'encapsulation ainsi réalisée a deux rôles principaux :

- La protection des cellules vis-à-vis des agents atmosphériques extérieurs pour que leurs durées de vie soient significatives.
- Le contrôle de la température des jonctions via un échange thermique entre les cellules et l'air ambiant (convection naturelle) au travers du matériau d'encapsulation.

2.1 Normes et spécifications concernant les modules photovoltaïques

Les modules photovoltaïques doivent être conformes aux conditions d'homologation définies dans les normes CEI (Commission Electrotechnique Internationale).

Les modules doivent notamment pouvoir supporter les conditions ambiantes suivantes :

- Température: de – 40°C à + 85°C
- Humidité : jusqu'à 100 % d'humidité relative
- Vent : jusqu'à 190 km / heure
- Grêlons: diamètre inférieur à 25 mm
- Atmosphère salée

2.2. Protections des Modules

L'existence d'une cellule non identique dans un module peut provoquer sa destruction, par échauffement. Donc les déséquilibres importants dus à l'occultation, d'une ou plusieurs cellules, les modules peuvent être amenés à travailler en récepteur. Pour corriger ces problèmes, des diodes peuvent être placées en parallèle et en série avec les modules.

GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE (GPV)

Un générateur photovoltaïque est donc un assemblage de modules et leurs protections en configuration série, parallèle ou mixte.

3.1 Association des cellules photovoltaïques en Série

Une association de (N_s) cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation résume les caractéristiques:

$$V_{coNs} = Ns \times V_{co}$$

$$I_{cc} = I_c$$

V_{coNs} : La somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.

I_{cc} : Courant de court-circuit de N_s cellules en série.

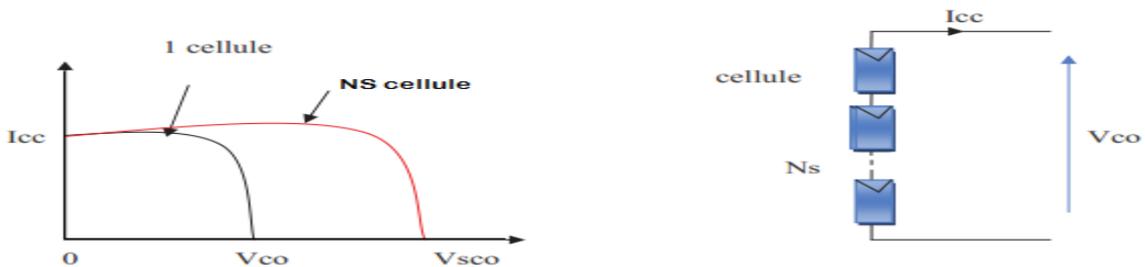


Figure 13 : Caractéristique courant tension de N_s cellules en série

3.2 Association des cellules photovoltaïques en parallèle

Une association parallèle de (N_p) cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.

$$I_{ccNp} = Np \times I_{cc} \quad (1)$$

$$V_{coNp} = V_{co}$$

I_{ccNp} : La somme des courants de court-circuit de (N_p) cellules en parallèle.

V_{coNp} : Tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle.

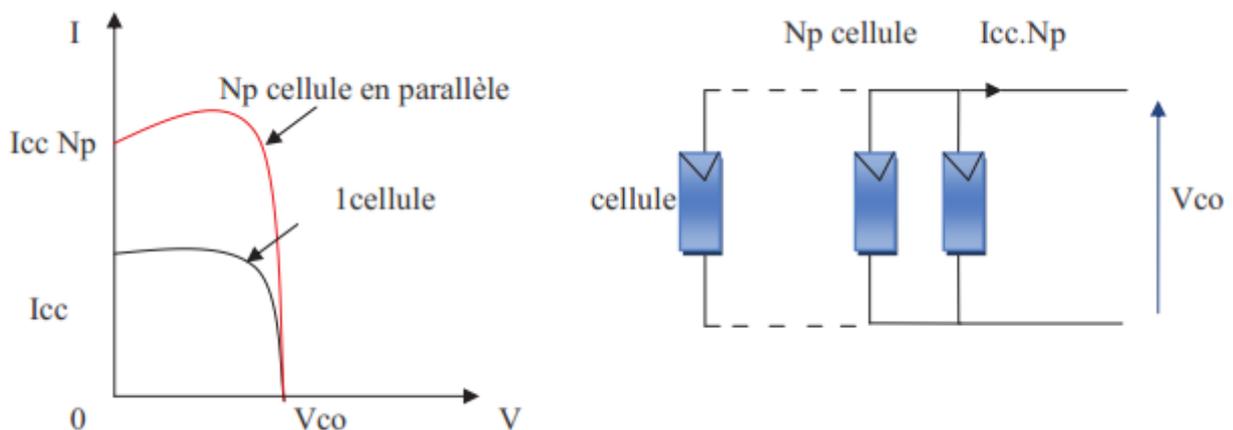


Figure 14 : Caractéristique courant tension de (N_p) cellules en parallèle

3.3 Regroupement mixte (série et parallèle)

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires est représentée ci-dessous, ce qui peut être généralisé sur une gamme de N_s modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant. Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque.

La figure suivante montre la caractéristique résultante obtenue en associant, en série n_s et en parallèle n_p , cellules identiques.

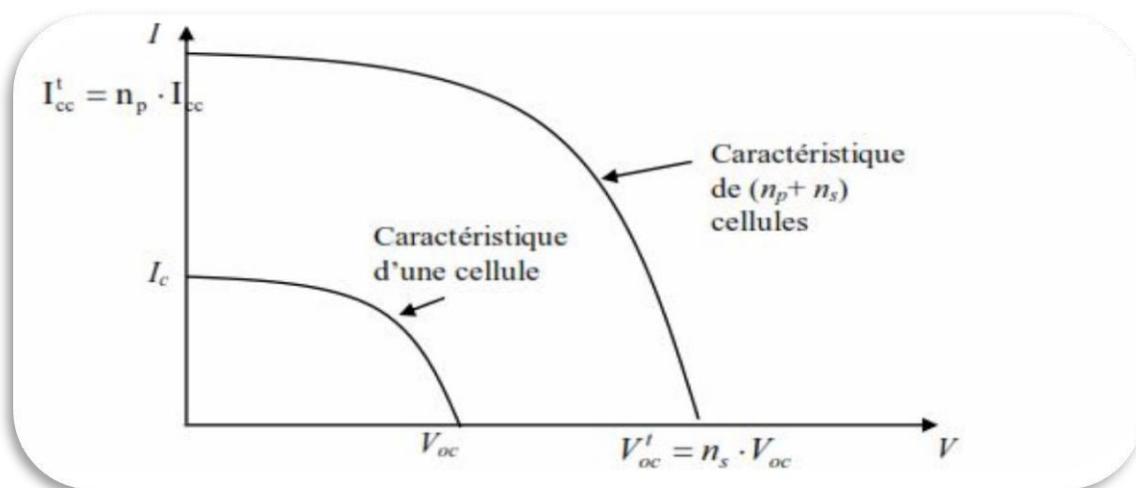


Figure 15 : Caractéristique résultante de n_s cellules associées en série et de N_p cellules identiques associées en parallèle

Avec : N_s : le nombre des cellules associées en série.

N_p : le nombre des cellules associées en parallèle.

$V_{oc}^t = N_s * V_{oc}$: le nombre des cellules associées en série * tension de circuit ouvert.

$I_{cc}^t = N_p * I_{cc}$: le nombre des cellules associées en parallèle * courant de court circuit.

CARACTERISTIQUES D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

4.1 Caractéristique courant-tension :

Le panneau photovoltaïque peut être considéré comme une source de puissance à cause de la difficulté de donner un caractère source de courant ou de tension à un panneau photovoltaïque sur toute l'étendue de la caractéristique courant-tension.

A température et éclairement fixés, la caractéristique courant-tension d'une cellule a l'allure suivante (figure 16) :

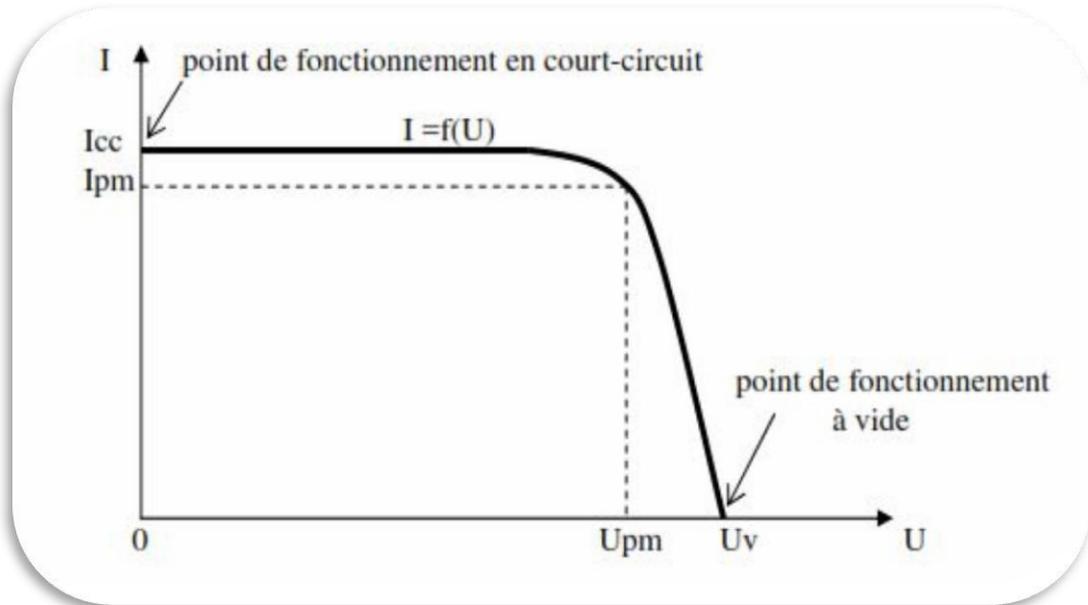


Figure 16 : Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque réelle

De cette courbe, on peut marquer l'existence du :

- Point de fonctionnement à vide : U_v pour $I = 0A$
- Point de fonctionnement en court-circuit : I_{cc} pour $U = 0V$
- Point P_m où la puissance est maximale, et qui correspond à l'intersection du point U_{pm} et I_{pm} , ce point représente une très grande importance pour tirer le maximum d'énergie et exploiter au mieux la puissance installée. C'est pourquoi on utilise des régulateurs solaires pour se placer à côté de ce point.

4.2 Caractéristiques puissance-tension

Sachant que la puissance est le produit de la tension par l'intensité, on peut tracer la caractéristique puissance-tension de la cellule pour mieux localiser le point P_m .

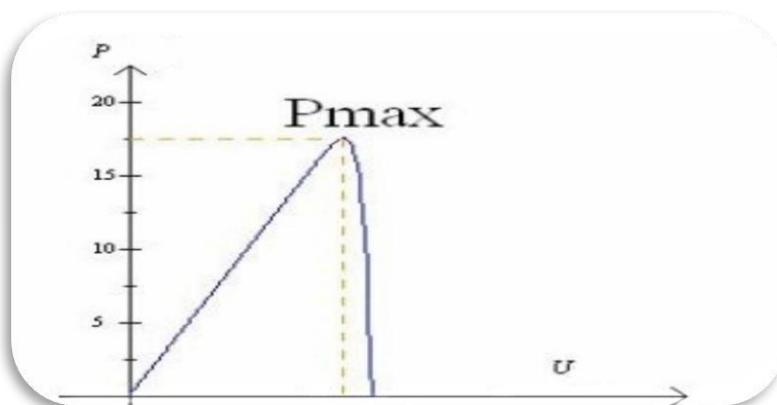


Figure 17 : Caractéristique puissance-tension d'une cellule photovoltaïque réelle

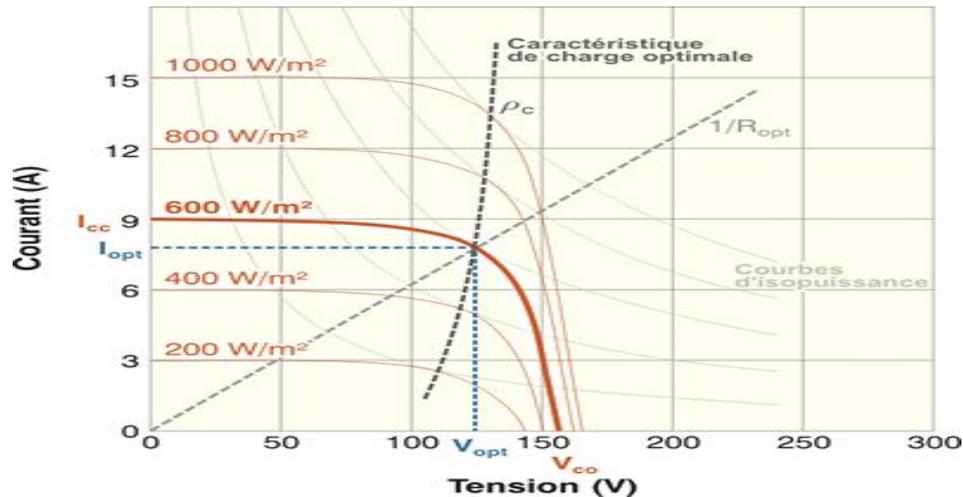
On remarque que la courbe présente deux parties séparées par le point P_m , la puissance chute rapidement après ce point. Il est donc très important de travailler au plus près de P_m pour avoir un rendement optimal.

4.3 Influence de l'éclairement et de la température

Le rendement d'une cellule solaire dépend de l'éclairement et de la température.

a. Influence de l'éclairement

Le photo-courant est pratiquement proportionnel à l'éclairement, en fixant la valeur de la température, la figure suivante montre l'influence de la valeur de l'éclairement sur le courant et la tension.



On constate que la valeur du courant de court-circuit varie proportionnellement avec l'éclairement au contraire de la tension de circuit ouvert qui reste presque stable même si on varie l'éclairement.

b. Influence de la température

En fixant la valeur de l'éclairement, la figure 16 montre l'influence de la valeur de température sur le courant et la tension.

La valeur de la tension de circuit ouvert décroît proportionnellement avec la température au contraire du courant de court-circuit qui reste presque stable même si on varie l'éclairement.

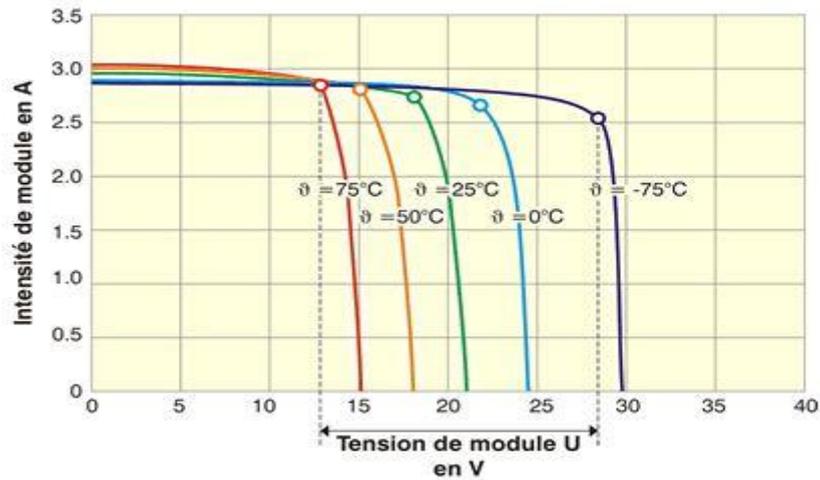


Figure 19 : Influence de la température sur le courant et la tension d'un GPV

c. Influence de l'éclairement et la température

La figure suivante illustre l'influence de la température et de l'éclairement sur le rendement d'une cellule photovoltaïque :

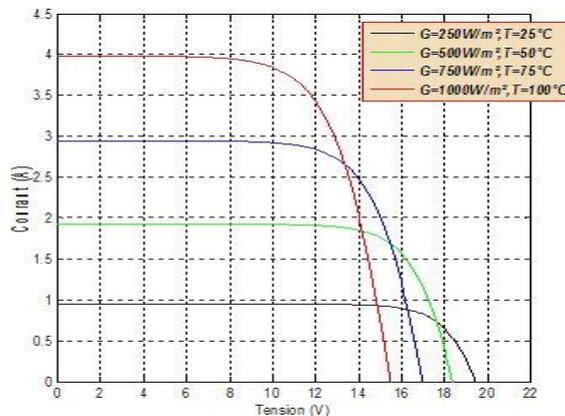


Figure 20 : Influence de la température et de l'éclairement sur le courant et la tension

En variant la température et l'éclairement en même temps, on a une faible variation de tension de circuit ouvert et une grande variation de courant de court-circuit.

ETAGES D'ADAPTATION ENTRE GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE ET LA CHARGE

Une chaîne de conversion photovoltaïque signifie un générateur photovoltaïque (GPV) connecté à une charge par l'intermédiaire d'un convertisseur. Selon l'application visée, l'énergie photovoltaïque est soit utilisée telle quelle par la charge, soit stockée ou bien injectée directement au réseau électrique.

5.1 Connexion directe

Dans le cas d'une connexion directe le point de fonctionnement du GPV dépend de l'impédance de la charge à laquelle il est connecté.

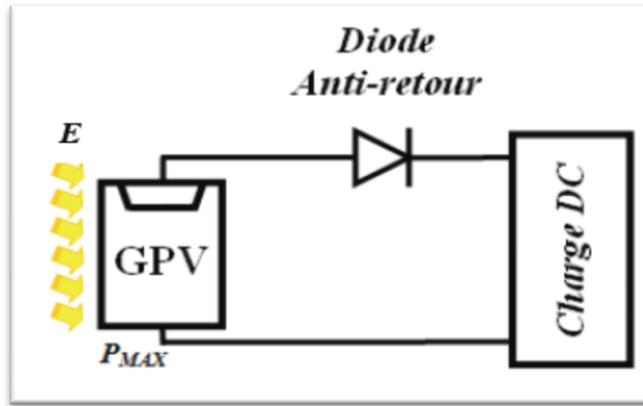


Figure 21 : schéma d'une connexion directe entre la source et la charge

On peut expliquer ce type d'application par un champ photovoltaïque ayant une tension V_{opt} fixée par la tension nominale de l'application. La présence de la diode anti-retour est indispensable pour empêcher la circulation d'un courant négatif vers le module PV. Cette connexion présente des inconvénients par exemple elle n'offre pas la possibilité de régler la tension de la charge, elle est valable juste pour les applications qui nécessitent une tension fixe.

Les expériences ont montré que la puissance extraite d'un GPV connecté directement à une charge qui peut être de trois types: une charge de type source de tension continue, une charge de type source de courant continu ou une charge purement résistive, est souvent très éloignée du maximum de puissance que peut délivrer le GPV, comme l'illustre la figure suivante :

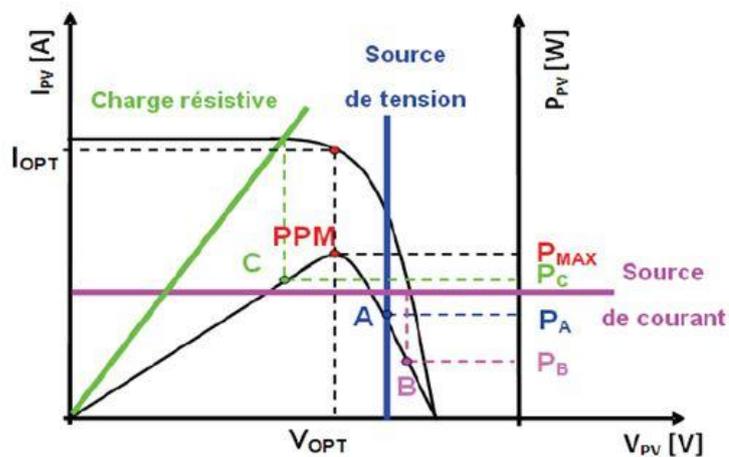


Figure 22 : Les points de fonctionnement d'un générateur photovoltaïque pour les trois types de charges.

De ces trois points de fonctionnement A, B, C de puissances respectives P_A , P_B , P_C ; on peut constater que le générateur photovoltaïque est mal exploité. De plus, selon les caractéristiques de la charge sur laquelle le générateur photovoltaïque débite, nous pouvons trouver un très grand écart entre la puissance potentielle du générateur et celle réellement

transférée à la charge en mode connexion directe, la différence étant perdue sous forme de chaleur dissipée dans le générateur.

Puisque certaines charges ont besoin de tensions et courants alternatifs, la connexion directe entre la source est la charge n'est pas toujours valable car le générateur photovoltaïque fournit des courants continus, de ce fait on a besoin d'ajouter un étage d'adaptation entre la source et la charge[7].

5.2 L'étage d'adaptation :

Dans le but d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du générateur photovoltaïque et de la transférer à la charge, la technique utilisée est d'ajouter un étage d'adaptation entre la source et la charge, cet étage permet de contrôler la puissance, de diminuer la quantité d'énergie perdue et que le transfert de l'énergie peut s'effectuer dans des conditions de fonctionnement optimales pour la source PV et la charge.

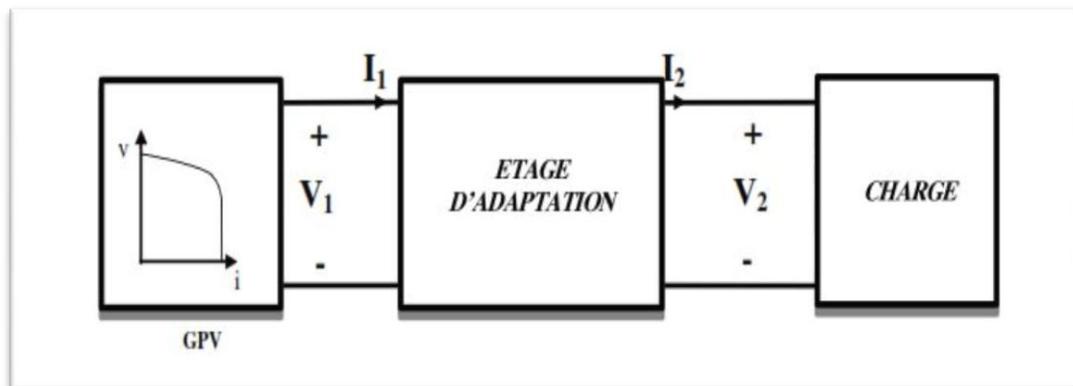


Figure 23 : Connexion d'un générateur photovoltaïque à une charge à travers un étage d'adaptation

L'ensemble peut fonctionner de façon idéale, si les boucles de contrôle en entrée et en sortie de l'étage d'adaptation sont convenables. En entrée, elles garantissent l'extraction à chaque instant du maximum de puissance que le générateur débite. Et en sortie, des boucles de contrôle spécifiques permettent un fonctionnement optimal de chaque application. Les techniques utilisées classiquement pour les boucles de contrôle en entrée consistent à associer à l'étage d'adaptation une commande appelée MPPT (Maximum Power Point Tracking : dispositif de poursuite du point de puissance maximale) [7].

ETAGES D'ADAPTATION POUR UNE COMMANDE MPPT

6.1 Convertisseur Buck :

Un convertisseur Buck, ou hacheur série, est une alimentation à découpage convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur. Il est utilisé pour deux types d'application :

- Les applications visant à obtenir une tension continue fixe à partir d'un générateur de tension continue.

- Les applications permettant d'obtenir une tension réglable mais toujours inférieure à celle présente à l'entrée [8].

La figure 24 illustre le schéma électrique d'un BUCK :

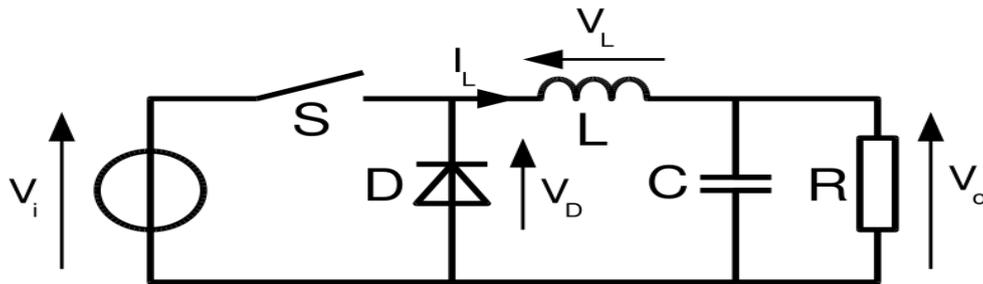


Figure 24 : schéma convertisseur BUCK

6.2 Convertisseur BOOST :

Un convertisseur BOOST, ou hacheur parallèle, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur. On utilise un convertisseur BOOST lorsqu'on désire augmenter la tension disponible d'une source continue. La figure 25 illustre le schéma électrique d'un BOOST :

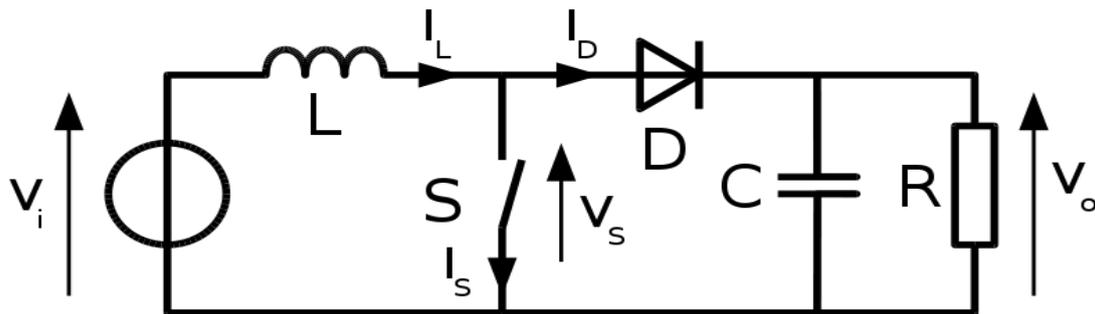


Figure 25 : schéma d'un convertisseur BOOST

L'interrupteur \$S\$, est un MOS de puissance, qui est rendu périodiquement conducteur avec un rapport cyclique α à la fréquence $F = 1/T$.

Le transistor (MOS) fonctionne comme un Switch, est en parallèle, la capacité sert à stabiliser la tension de sortie. Quand le MOS laisse passer le courant, la self est en charge grâce à la source de tension d'entrée. Lorsque le MOS bloque le courant, la tension de sortie variera proportionnellement au rapport cyclique, elle sera plus grande que la tension d'entrée [8].

6.3 Principe du PWM

La tension de sortie des convertisseurs DC-DC, doit être régulée pour être constamment égale à une tension de référence, du fait que la tension d'alimentation \$V\$ et les caractéristiques de la charge peuvent varier.

Une méthode pour réguler la tension de sortie afin d'obtenir une tension moyenne fixe consiste à ajuster en permanence le rapport cyclique α de commande de l'interrupteur sans modifier la période.

Cette méthode consiste à faire varier la largeur des impulsions de commande de l'interrupteur. Elle est appelée méthode de Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI) ou encore PWM (Pulse Width Modulation).

- Si $\alpha=1$, l'interrupteur S est commandé à la fermeture (état ON).
- Si $\alpha=0$, l'interrupteur S est commandé à l'ouverture (état OFF).

7. PRINCIPE DE LA RECHERCHE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE

Il existe un point de fonctionnement où le générateur photovoltaïque débite une puissance maximale. L'optimisation consiste à réaliser ce point en permanence en agissant de façon automatique sur la charge vue par le générateur, cette adaptation de charge dont le principe s'effectue en général à l'aide d'un convertisseur.

La figure 26 représente le principe de fonctionnement de l'étage d'adaptation avec la commande MPPT :

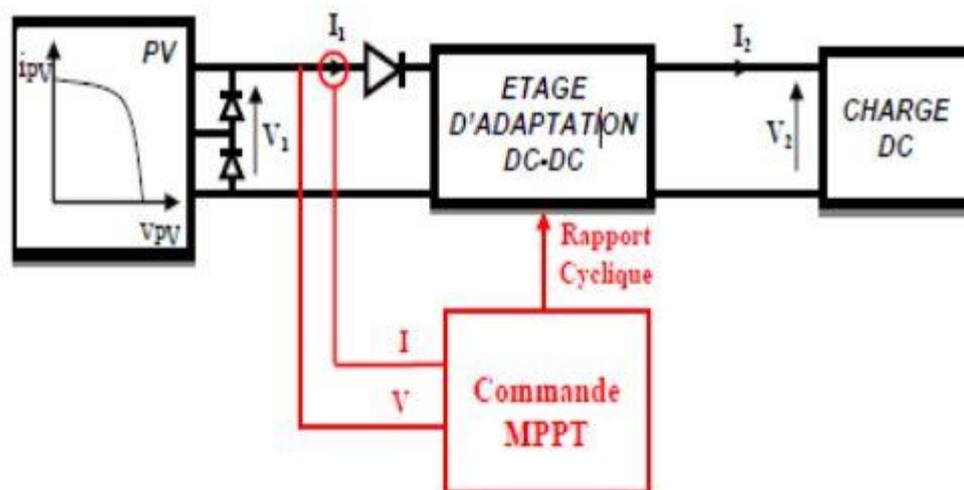


Figure 26 : Principe de fonctionnement de l'étage d'adaptation avec la commande MPPT

L'étage d'adaptation pour cette charge DC est un convertisseur DC qui peut être soit un BUCK ou un BOOST selon nos besoins, de telle sorte que la puissance de la charge va recevoir la puissance maximale générée par le générateur.

La technique de contrôle communément utilisée consiste à agir sur le rapport cyclique de telle manière que la tension et le courant générés à la charge par l'étage d'adaptation soient optimaux, d'où la nécessité d'un régulateur solaire MPPT.

Dans ce contexte plusieurs méthodes de poursuite et algorithmes ont été mises en application (réf), chacune présente des avantages et des inconvénients. Les plus répandus sont Perturbe & Observe (P&O) et l'incrément de conductance (IncCond) [7].

7.1 Algorithme de perturbation et d'observation (P&O)

Le principe des commandes MPPT de type P&O consiste à perturber la tension V , ou le courant I , d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et l'observation de la conséquence de cette perturbation sur la puissance mesurée. Si une incrémentation positive de la tension V provoque :

- Un accroissement de la puissance P cela signifie qu'on n'a pas encore atteint le PPM.
- Un décroissement de la puissance P cela signifie qu'on a dépassé le PPM.

Il est facile de situer le PPM par rapport au point de fonctionnement :

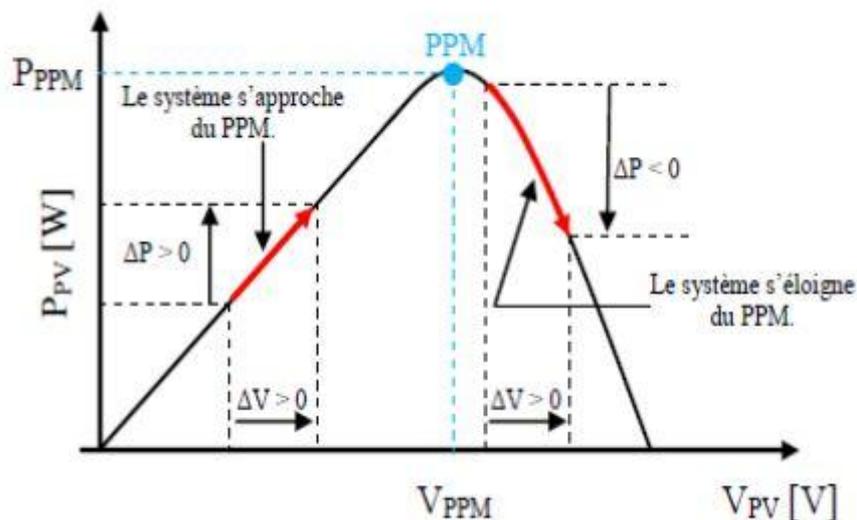


Figure 27 : Situation du PPM par rapport au point de fonctionnement

Si suite à une perturbation de tension, la puissance P augmente, la direction de perturbation est maintenue. Dans le cas contraire, elle est inversée pour converger vers le PPM[7].

La figure suivante illustre l'algorithme de l'approche perturbe et observe :

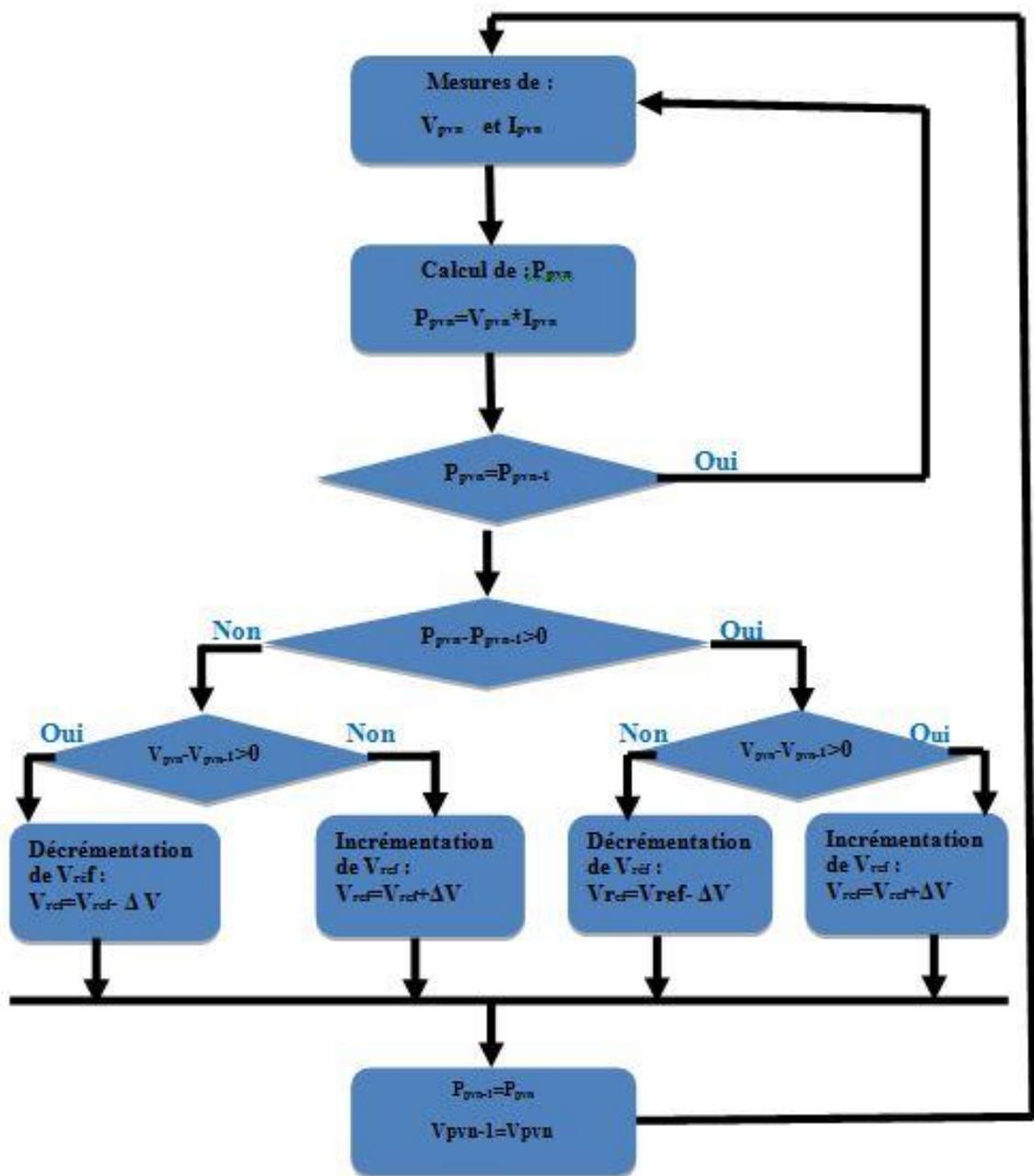


Figure 28 : Algorithme P&O

7.2 Algorithme à incrémentation de la conductance

La commande à incrémentation de conductance est basée sur la dérivée de la conductance du GPV ($dG = \Delta I_{pv} / \Delta V_{pv}$) pour connaître la position relative du MPP.

La figure suivante illustre la position de point de fonctionnement par rapport au PPM :

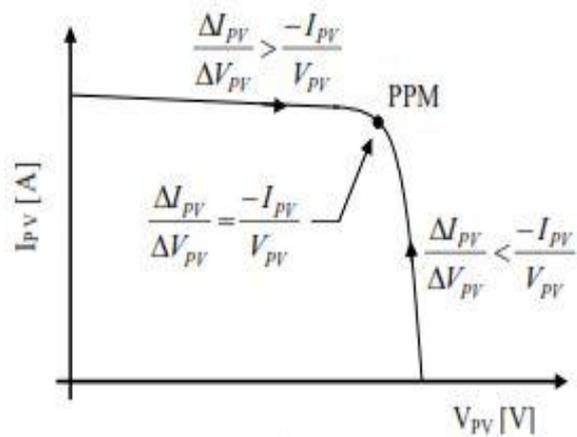


Figure 29 : situation du PPM par rapport au point de fonctionnement

Donc on peut situer le point de fonctionnement par rapport au PPM comme suivant :

- Si $\Delta I_{pv}/\Delta V_{pv} > -I_{pv}/V_{pv}$: le point de fonctionnement est à gauche du PPM, il faut diminuer le rapport $\Delta I_{pv}/\Delta V_{pv}$.
- Si $\Delta I_{pv}/\Delta V_{pv} = -I_{pv}/V_{pv}$: le point de fonctionnement est sur le PPM.
- Si $\Delta I_{pv}/\Delta V_{pv} < -I_{pv}/V_{pv}$: le point de fonctionnement est sur la droite du PPM, il faut augmenter le rapport $\Delta I_{pv}/\Delta V_{pv}$

La figure suivante présente l'algorithme de l'approche perturbée et observe :

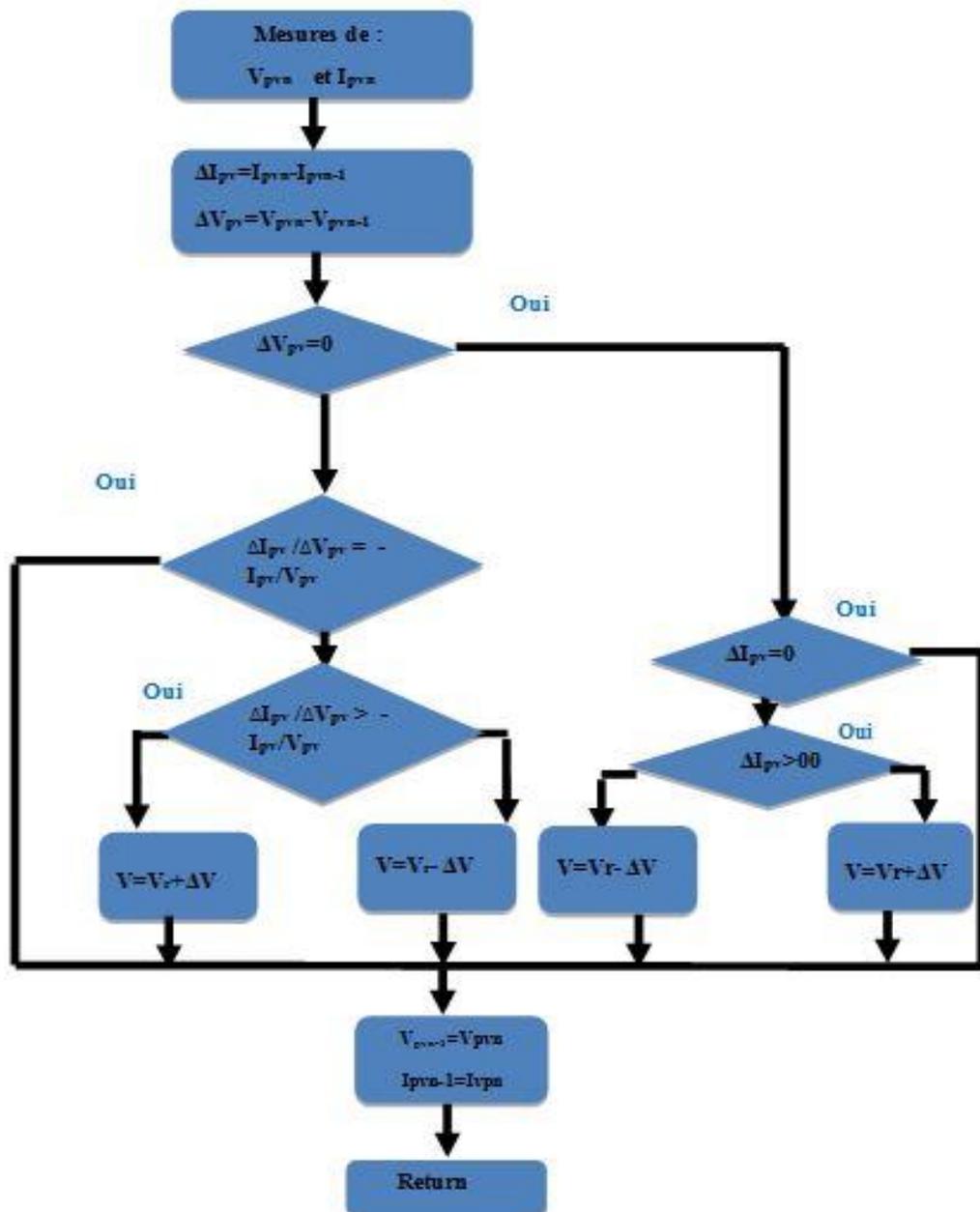


Figure 30 : Algorithme commande à incrémentation de la conductance

8. CONCLUSION

La commande MPPT contrôle le convertisseur DC-DC assurant l'interface de puissance du générateur photovoltaïque et la charge. Cette commande permet au générateur d'énergie de fournir sa puissance maximale.

Concernant la réalisation électronique d'une commande MPPT, plusieurs techniques sont possibles. La solution que nous développons par la suite dans ce projet est basée sur les microcontrôleurs avec une interface graphique réalisée avec LABVIEW.

CHAPITRE III

Interface à base d'un microcontrôleur PIC16F887 et Labview via la communication série UART

La conception d'un régulateur solaire que nous allons développer dans ce chapitre est basée sur le contrôle d'un convertisseur DC-DC par un signal rectangulaire 'PWM', généré par un microcontrôleur PIC16F887 et commandé avec une interface graphique réalisée avec **LABVIEW** via la communication série UART.

Cette interface, nécessite deux programmes : un du côté PIC16F887 édité avec MikroC et l'autre du côté PC réalisé avec Labview.

1. INTERFACE SOUS LABVIEW A BASE DU PIC 16F887

1.1 Labview

Labview (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) est un logiciel de développement d'applications d'instrumentation. Mis au point par la société américaine National Instrument, ce logiciel utilisable dans un grand nombre de domaines, est plus particulièrement destiné à l'acquisition de données et au traitement du signal. En effet, il offre de larges possibilités de communication entre l'ordinateur et le monde physique (par cartes d'acquisitions analogiques ou numériques, cartes GPIB, réseau, liaisons série et parallèles, USB etc.) ainsi que d'importantes bibliothèques mathématiques permettant de réaliser de multiples traitements sur les signaux mesurés.

Labview permet de remplacer les instruments de mesures et d'analyse d'un laboratoire par un ordinateur muni de cartes spécifiques et d'un logiciel approprié. Dans le cadre de la mesure, les cartes permettent de convertir des signaux électriques provenant de capteurs, en données numériques. Ainsi, un seul ordinateur muni d'une carte d'acquisition analogique et de Labview est capable de remplacer un voltmètre, un fréquencemètre ou un oscilloscope. De plus, on pourra traiter, analyser et archiver sur disque automatiquement les mesures effectuées. Etant donné que Labview possède la capacité de communiquer avec des périphériques externes, il peut donc naturellement servir à envoyer des données vers ces périphériques afin de les contrôler (un robot par exemple) [9,10].

1.2 Interface sous Labview

L'interfaçage permet l'échange d'informations entre deux ou plusieurs périphériques, dans notre cas on s'intéresse à l'interfaçage entre un PC et un convertisseur DC-DC, en utilisant une connexion série.

Les figures suivantes illustrent la face avant 31 et le diagramme 32 de l'interface sous Labview :

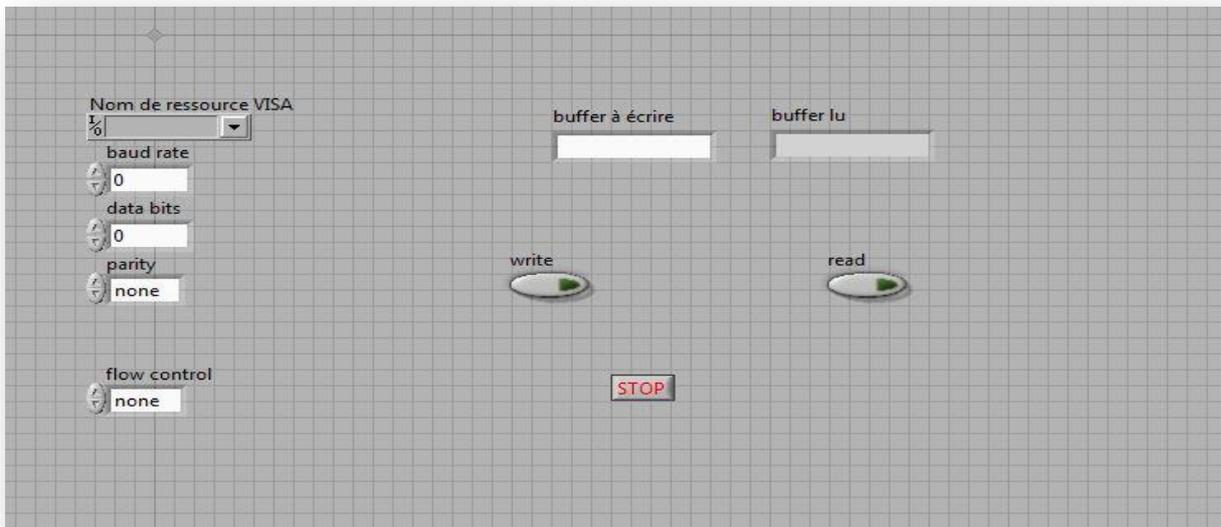


Figure 31 : Face avant de l'interface sous Labview

On configure les paramètres du VISA (Virtual Instrument Software Architecture) (baud rate, data bits ..) de sorte qu'ils seront les mêmes à la réception. La zone de texte *buffer à écrire* sert à envoyer les données au pic et *buffer lu* à recevoir les données du pic.

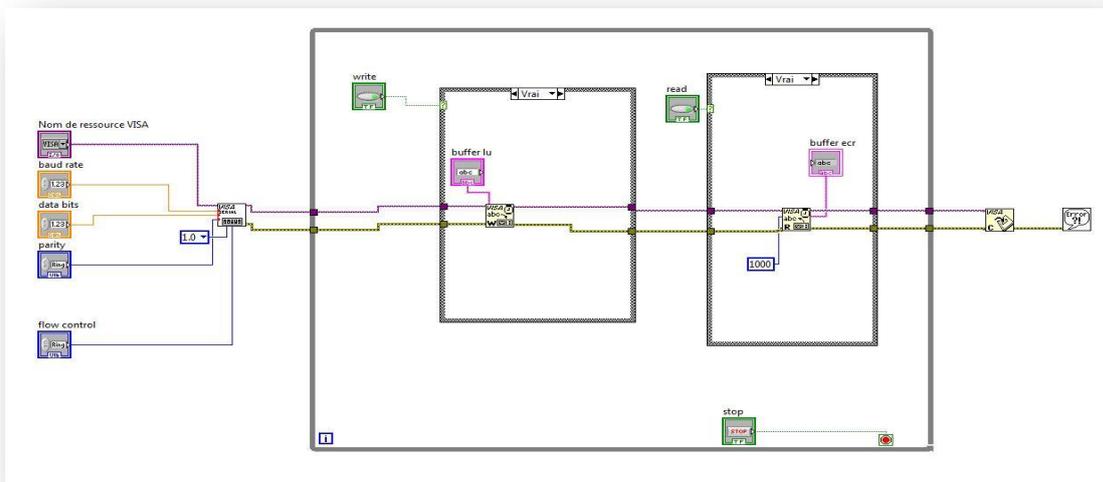


Figure 32 : Diagramme de l'interface sous Labview

Pour établir la connexion on utilise l'interface VISA qui est une couche logicielle de niveau application qui permet de communiquer avec les pilotes d'entrées/sorties installés sur le système. VISA n'est pas un élément de Labview, mais une interface d'application (API) standardisant les appels aux drivers.

Les blocs VISA utilisés sont :

- **VISA Configure Serial Port :**

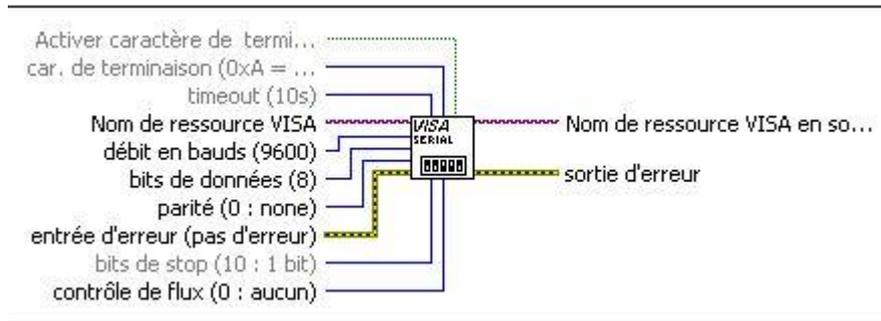


Figure 33 : VISA Configure Serial Port

Il faut configurer certains paramètres de ce bloc pour qu'ils soient convenables à transmettre et à recevoir les données :

- Nom de ressource VISA : spécifie la ressource à ouvrir. (Port)
- débit en bauds : est la vitesse de transmission.
- bits de données : est le nombre de bits dans les données entrantes.
- parité spécifie : est la parité utilisée pour chaque trame à transmettre ou recevoir.
- bits de stop : il spécifie le nombre de bits d'arrêt utilisés pour indiquer la fin d'une trame.
- contrôle de flux : il définit le type de contrôle utilisé par le mécanisme de transfert.

Ces paramètres doivent être les mêmes que dans l'autre périphérique.

- **VISA Write :**

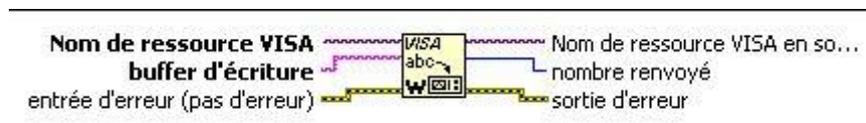


Figure 34: VISA Write

Ce bloc permet d'écrire du Labview au périphérique, il faut le configurer lui aussi en définissant certains paramètres :

- Nom de ressource VISA : il spécifie la ressource à ouvrir.
- buffer à écrire : il contient les données devant être écrites sur le périphérique.
- entrée d'erreur : il décrit les erreurs survenues avant l'exécution de ce nœud.
- Nom de ressource VISA en sortie : est une copie du Nom de ressource visa renvoyé par les fonctions VISA.
- sortie d'erreur : il contient des informations sur l'erreur.

- **VISA Read :**

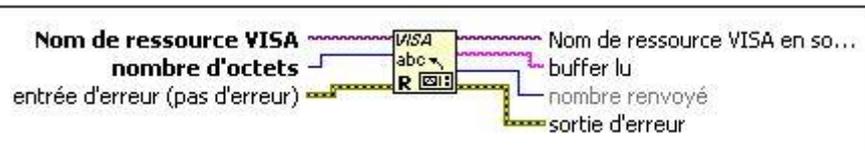


Figure 35 : VISA Read

Ce bloc permet de lire du Labview au périphérique, il faut le configurer lui aussi en définissant certains paramètres :

- Nom de ressource VISA : il spécifie la ressource à ouvrir.
- nombre d'octets : il correspond au nombre d'octets à lire.
- entrée d'erreur :(pas d'erreur) il décrit les erreurs survenues avant l'exécution de ce nœud.
- Nom de ressource VISA en sortie : est une copie du Nom de ressource visa renvoyé par les fonctions VISA.
- buffer lu : il contient les données lues en provenance du périphérique.
- sortie d'erreur : il contient des informations sur l'erreur.

La transmission ou la réception des données ne peut s'effectuer entre l'interface labview et le périphérique si seulement si les paramètres avec lesquels on a configuré le bloc VISA CONFIGURE sont les mêmes que ceux du connecteur utilisé pour lier l'interface avec le périphérique, dans notre cas c'est une communication série utilisant un connecteur RS232 [9].

COMMUNICATION PAR TRANSMISSION SERIE RS232

La communication série est l'action d'envoyer des données bit par bit, séquentiellement, sur un canal ou un bus de communication.

Le bus RS232 est basé sur l'émetteur-récepteur asynchrone universel (UART) de la communication série entre deux appareils électroniques. Dans la communication série, seulement deux câbles (plus un câble de terre) sont nécessaires pour transférer des données dans les deux sens. Les données sont envoyés en format série bit par bit. Normalement, le dispositif de réception est au repos.

Pour l'émission, la patte TX est au niveau logique 1, également connue sous le nom MARK. La transmission des données commence lorsque le niveau logique sur cette patte passe de 1 à 0, également connue sous le nom ESPACE. Le premier bit envoyé est le bit de départ à la logique 0. La suite de ce bit, 7 ou 8 bits de données sont envoyés, suivie par un bit de parité en option. Le dernier bit envoyé s'appelle bit d'arrêt est au niveau logique 1. Les données en série est généralement envoyé sous forme de 10 bits : un bit de départ, 8 bits de données, et un bit d'arrêt, et aucun bits de parité.

Par exemple si on veut envoyer le caractère A en utilisant la communication série rappelant que la configuration binaire ASCII de A est 01000001.

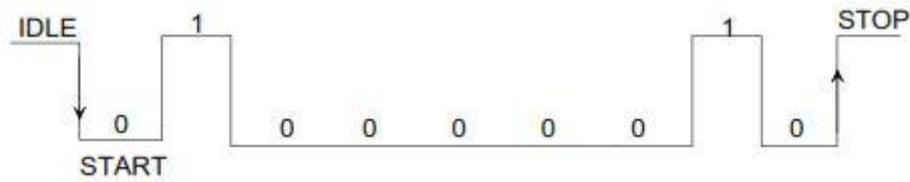


Figure 36 : Envoi du caractère A par la communication série

Comme montre la figure36, le premier bit de départ est envoyé, cela est suivi par 8 bits de données 01000001, et enfin le bit d'arrêt est envoyé. Le rythme binaire est très important dans la communication série, la dispositifs de transmission (TX) et de réception (RX) doivent avoir le même rythme de bits. Le rythme binaire est mesuré par la vitesse de transmission, qui spécifie le nombre de bits transmis ou reçus par seconde [11].

Prenant l'exemple du connecteur RS232 de 9 (ou bien 25) voies, seules les broches TX, RX et GND sont nécessaires pour la communication.



Figure 37 : Connecteur RS232 à 9 voies

Chaque broche a sa propre utilisation :

Broche	Signal	Type	Utilisation
--------	--------	------	-------------

1	CD	Sortie	Carrier Detect: le passage au 0 logique indique à l'ordinateur que l'on reçoit une réponse.
2	TD	sortie	Transmitted Data: donnée émise. Lorsque l'équipement est en attente, la sortie est au 1 logique
3	RD	Entrée	Received Data: donnée reçue
4	DTR	Entrée	Data Terminal Ready: le passage au 0 logique annonce que l'ordinateur souhaite communiquer
5	SG		Signal Ground: masse de référence des signaux (0V)
6	DSR	Sortie	Data Set Ready: le passage au 0 logique indique que l'on est prêt.
7	CTS	Entrée	Clear To Send: le passage au 0 logique annonce que l'ordinateur nous demande d'être prêt à recevoir.
8	RTS	Sortie	Request To Send: le passage au 0 logique indique que l'on est prêt à recevoir.
9	RI	Sortie	Ring Indicator: le passage au 0 logique indique à l'ordinateur que l'on reçoit un appel.

Tableau 2:Pins d'un connecteur RS232

PIC 16F887

Un PIC est un microcontrôleur, c'est à dire une unité de traitement de l'information de type microprocesseur à laquelle on a ajouté des périphériques internes permettant de réaliser des montages sans nécessiter l'ajout de composants externes. Les PICS sont des composants dits RISC (Reduced Instructions Set Computer), ou encore (composant à jeu d'instruction réduit).

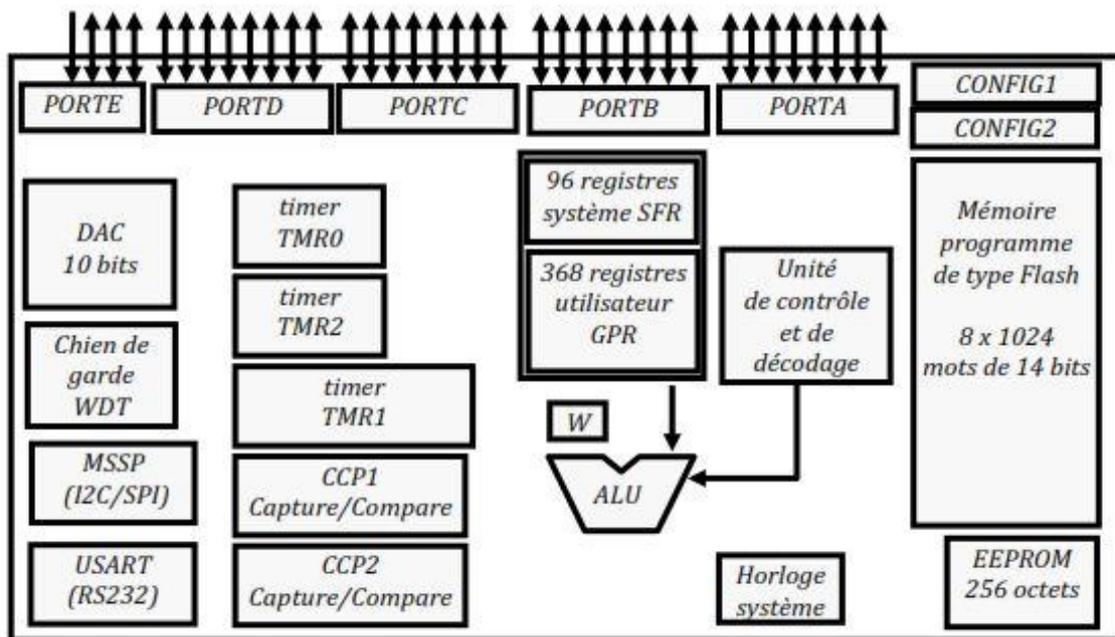


Figure 38 : Eléments constitutifs du PIC 16F887

3.1 Principales caractéristiques du PIC 16F887

- Mémoire programme de type EEPROM flash de 8K mots de 14bits.
- Mémoire EEPROM de données d'une capacité de 256 octets.
- 96 registres de configurations appelés SFR (special function registers).
- 368 octets de RAM utilisateur appelés GPR (General Propose Registres).
- 4ports d'entrée sortie 8bits PORTA, PORTB, PORTC, PORTD et un 4 bits PORTE.
- 2 comparateurs analogiques.
- Un convertisseur analogique numérique 10bits à 14 canaux.
- USART, port série universel, modes synchrone été asynchrone.
- MSSP, Port série synchrone supportant les protocoles I2C et SPI.
- trois times TMRO, TMR1 et TMR2.
- Deux modules de comparaison et capture CCP1 et CCP2 avec fonction PWM.
- un chien de garde.
- 13 sources d'interruption.

- Générateur d'horloge jusqu'à 20MHZ.
- Protection de code.
- Fonctionnement en mode sleep pour réduction de la consommation.
- Programmation in-situ ICSP (in circuit serial programming) 12V ou 5V.
- Possibilité aux applications utilisateur d'accéder à la mémoire programme.
- Tension de fonctionnement de 2 à 5V.
- Jeu de 35 instructions.

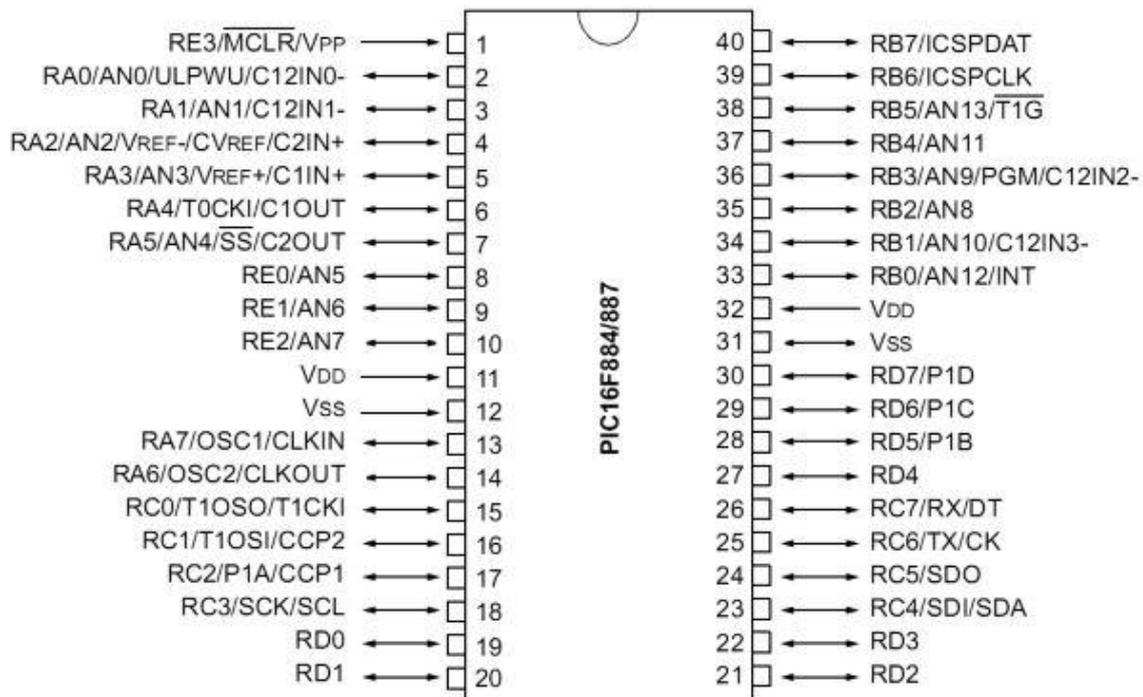


Figure 39 : Brochage du pic 16F887

3.2 Programmation du microcontrôleur PIC 16F887

Dans la partie suivante, on va programmer le microcontrôleur de telle sorte qu'il soit capable de transmettre et recevoir les données de l'interface Labview et les afficher sur LCD connecté au microcontrôleur. Puisque le PIC et l'interface sont connectés par RS-232 qui est basé sur le bus UART donc on va utiliser les fonctions de LCD (liquid crystal display) et d'UART. L'environnement de programmation utilisé est MikroC pour pic.

- **Les fonctions UART :**

Pour sélectionner le module UART désiré il faut changer la lettre x par le numéro du module soit 1 ou 2.

-UARTx_Init : cette fonction spécifie la vitesse de transmission, si la vitesse est insupportable on va avoir une erreur dans la compilation.

-UARTx_Data_Ready : cette fonction prend deux valeurs soit 1 ou 0, si la valeur est 1 alors le bit est prêt pour être lu, si la valeur est 0 ça veut dire qu'on n'a pas de bit pour lire.

-UARTx_Read : cette fonction lit le bit reçu par l'UART, après que la valeur de UARTx_Data_Ready soit 1.

-UARTx_Write : cette fonction transmet le bit par l'UART.

Il existe d'autres fonctions comme UARTx_Read_Text, UARTx_Write_Text ...

- Les fonctions LCD :

-Lcd_Init : cette fonction est utilisé pour configurer l'interface entre le microcontrôleur et l'écran LCD quand les connexions sont faites par défaut.

-LCD Out : affiche du texte à la position indiqué dans sa configuration. La configuration est sous la forme suivante Lcd_Out (ligne, colonne, "texte")

-Lcd_Out_Cp : affiche du texte à la position actuelle du curseur.

-Lcd_Chr : affiche un caractère à la position indiqué dans sa configuration. La configuration est sous la forme suivante Lcd_Chr (ligne, colonne, 'caractère').

-Lcd_Chr_Cp : affiche un caractère à la position actuelle du curseur.

Il existe d'autres commandes pour la fonction Lcd_Cmd comme LCD_CLEAR, LCD_FIRST_ROW

SIMULATION AVEC ISIS

Le module ISIS de proteus nous permet de saisir les schémas structurels des circuits électroniques, en assemblant les composants électroniques et en les reliant par des connexions électriques. Il nous permet aussi de simuler le comportement des composants du schéma.

Avant de simuler notre communication série, on a besoin de créer des ports série virtuels dans notre machine, pour cela on va utiliser l'application « Configure Virtual Serial Port Driver » qui nous permet de créer un nombre infini des ports virtuels.

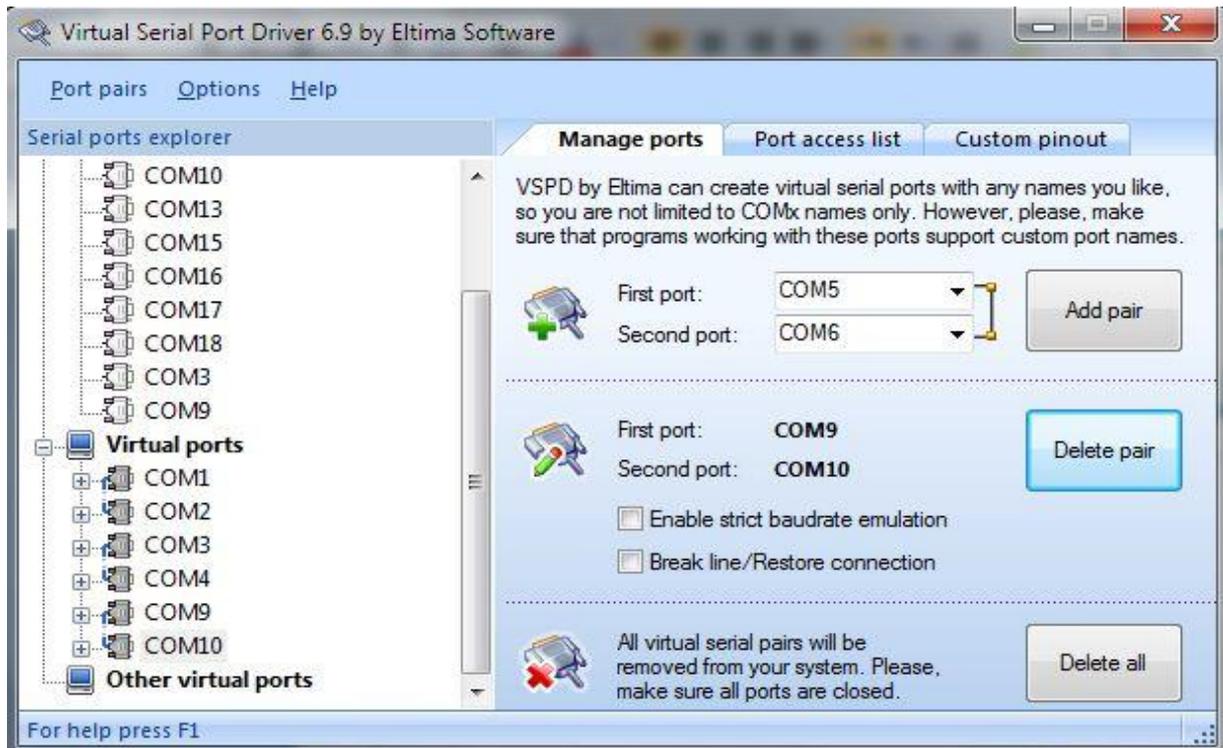


Figure 40: Interface du Configure Virtual Serial Port Driver

Il suffit d'appuyer sur le bouton "Add pair" pour créer une paire de port, pour les supprimer on appuie sur le bouton "Delete pair", le bouton "Delete all" pour supprimer tous les ports virtuels. On trouve les ports créés dans le gestionnaire des périphériques.

Le circuit électrique sous ISIS que nous proposons est donné sur la figure 41 :

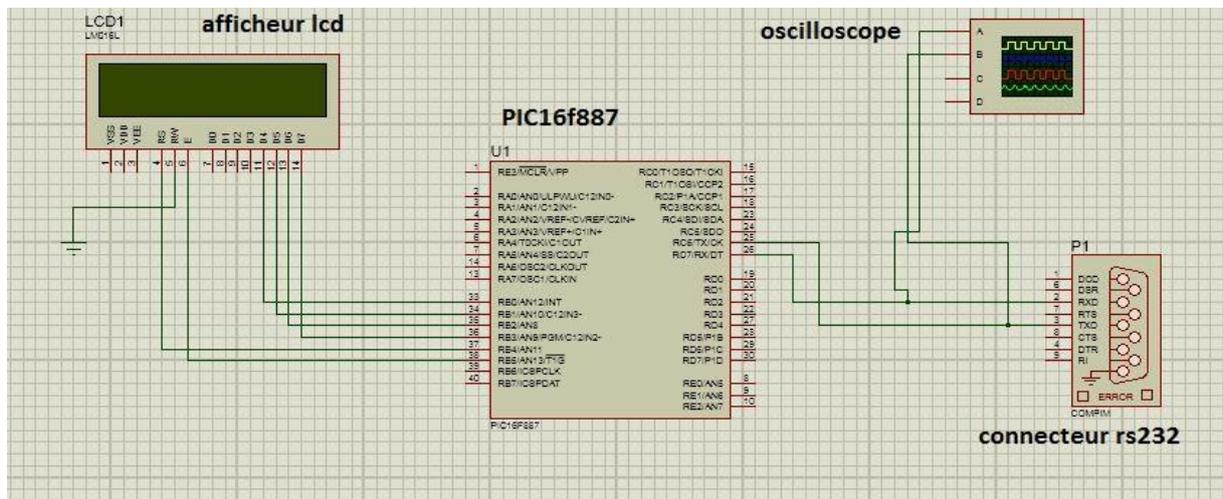


Figure 41 : Schéma électrique sous ISIS

Pour le brochage de LCD, la broche RS désigne le registre de sélection, si la broche est reliée à 0V (niveau bas) les données sont transférées à l'affichage et si la broche est reliée à 5V (niveau haut) les données peuvent être transférées à partir du module LCD. La broche RW (read write), si elle est reliée au niveau bas on écrit les données au module LCD et si elle est

reliée au niveau haut on transfère les données du module LCD. La broche E est utilisée pour initialiser le transfert des données entre le Pic et le module LCD.

Avant de lancer la simulation on configure les paramètres du bloc VISA CONFIGURE, on prend pour : Nom de ressource VISA le com 3 virtuel, le nombre de bit 8, parité et le contrôle du flux 0. La même chose pour le connecteur RS232 sauf qu'on choisit le com 4 virtuel (le couple de com 3). Et on charge notre programme sous mikroC dans le PIC.

Pour envoyer la commande de l'interface au module LCD on appuie sur write, et pour le cas contraire on appuie sur read.

La figure suivante illustre l'envoi du caractère « A » de l'interface Labview au module LCD, avec sa représentation ASCII sur l'oscilloscope.

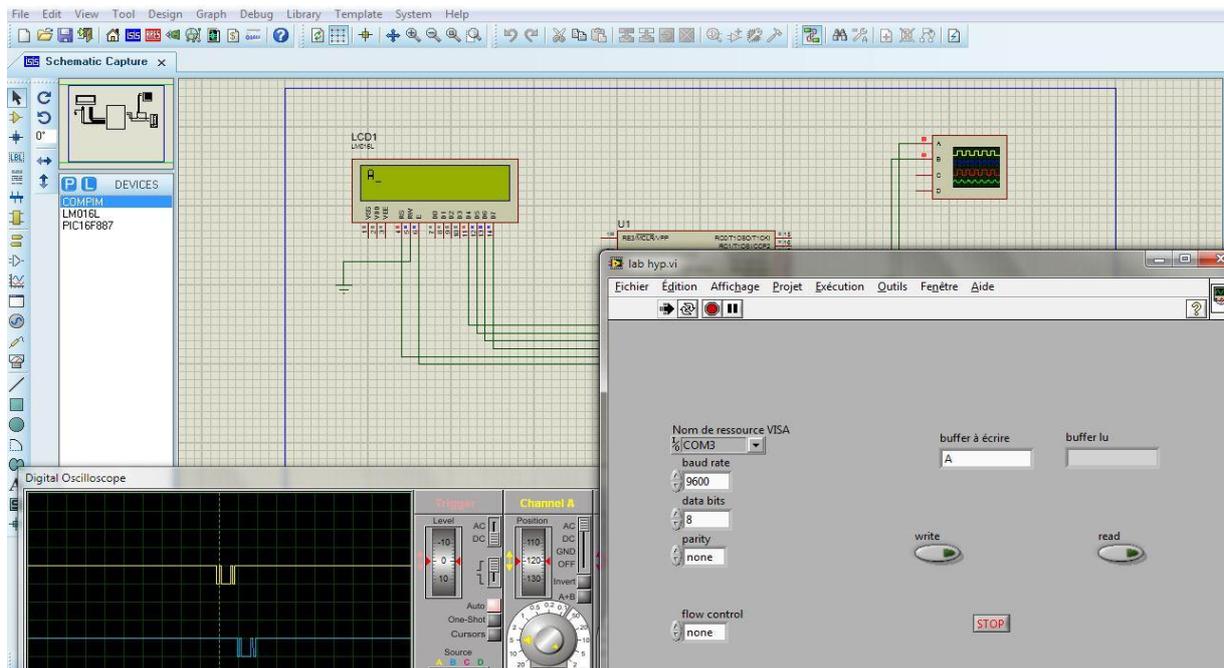


Figure 42 : Envoi du caractère « A » de l'interface Labview au module LCD

On a donné l'exemple d'envoi du caractère « A » pour comparer les résultats obtenus avec la simulation et l'exemple donné à l'explication du principe de la communication série.

CONCLUSION

Nous avons pu simuler la communication série, mais suite à un manque du matériel (microcontrôleur PIC16F887,...) nous n'avons pas pu réaliser et implanter cette solution en pratique. Ainsi, nous allons développer une autre solution réalisable en se basant sur un autre microcontrôleur.

CHAPITRE IV

Conception et réalisation d'un Régulateur Solaire sous Labview commandé par la carte Arduino

Ce chapitre sera consacré à la simulation sous PSIM des différentes caractéristiques d'un panneau photovoltaïque ainsi la réalisation électronique d'un régulateur solaire complet, composé d'un capteur de courant, d'un capteur de tension, d'un convertisseur DC-DC de type BOOST et l'interfaçage du système avec **Labview** à base d'une carte microcontrôleur Arduino.

CARTE ARDUINO ET SA BIBLIOTHEQUE SOUS LABVIEW

1.1 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.

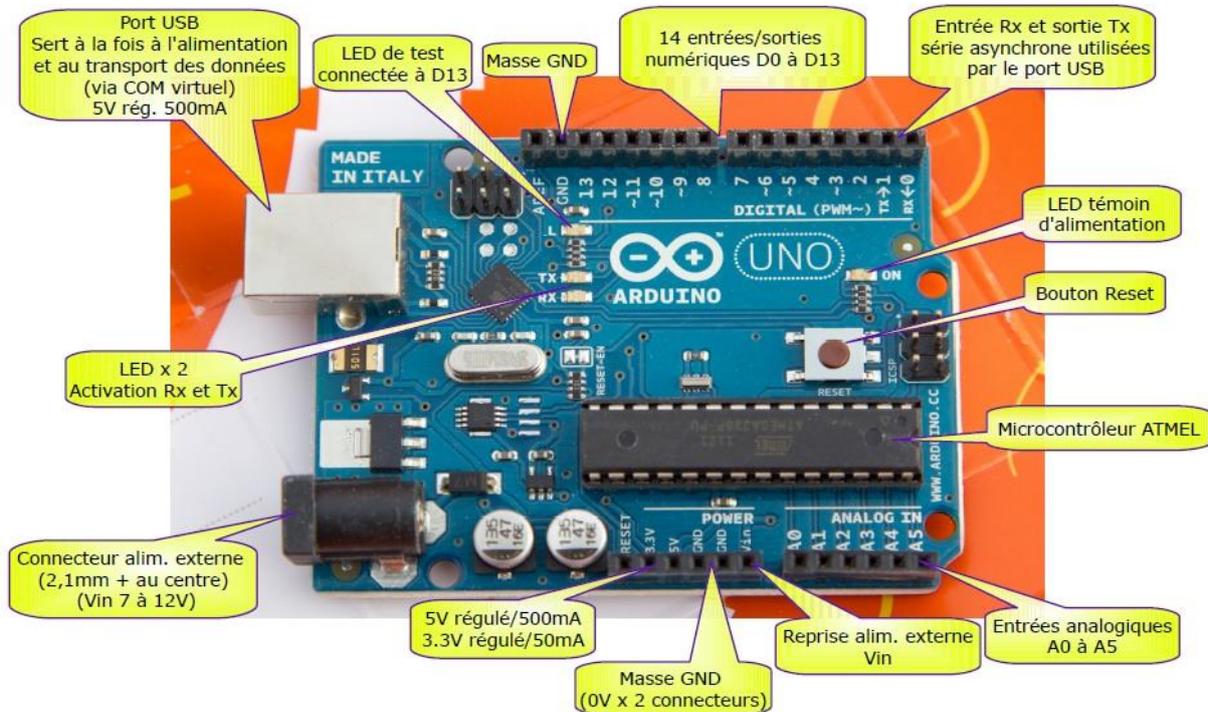


Figure 43 : Description de la carte arduino uno

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.

La carte Arduino peut être interfacée avec Labview.

1.2 Interface Labview

Lorsque le module Arduino est installé, la bibliothèque Arduino sera disponible avec ces différentes fonctions «figure 44»:

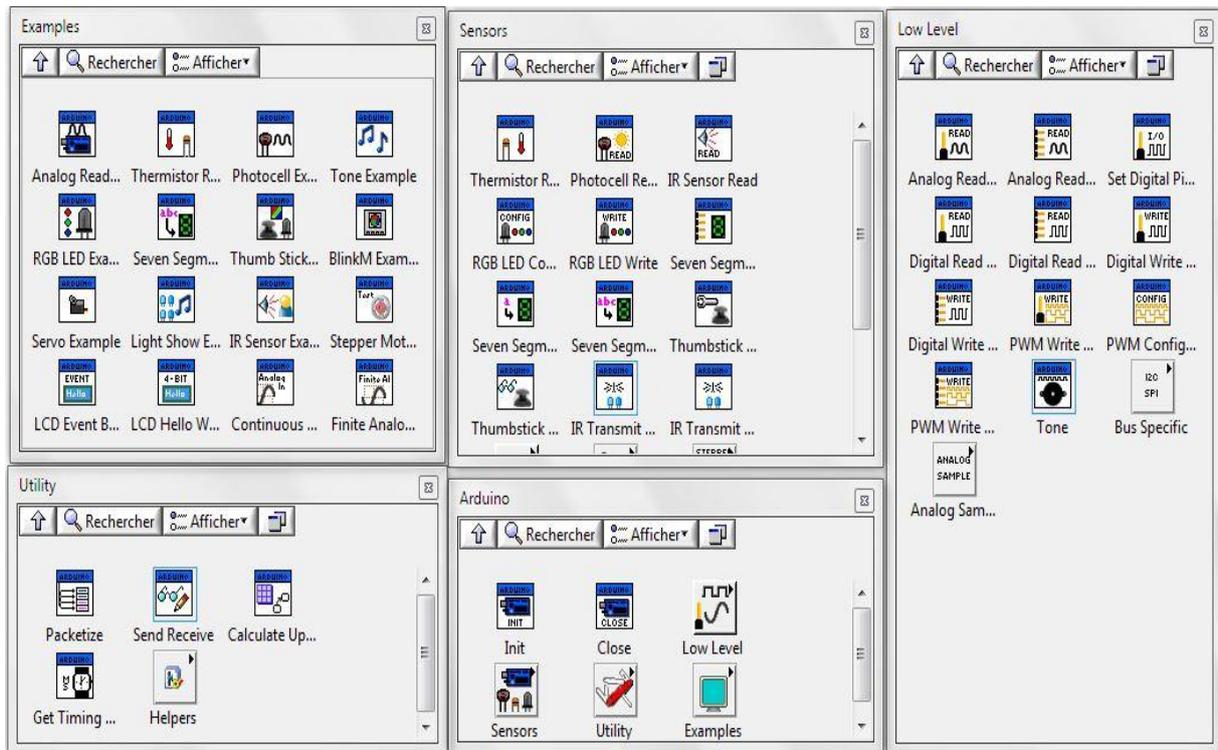


Figure 44 : Différentes fonctions de la palette arduino sous labview

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

- **première phase** : charger un firmware 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.

CONCEPTION ET REALISATION DE REGULATEUR SOLAIRE

La réalisation du système est basée sur le dimensionnement et les caractéristiques techniques des éléments disponibles.

Dans notre projet on a travaillé avec le module solaire LDK-020P qui est composé de 36 cellules photovoltaïques avec une puissance de 20W sous les conditions de test standard.

Les éléments à dimensionner et à réaliser autour de ce module solaire sont :

- Un convertisseur DC/DC de type BOOST
- Un capteur de courant/tension

2.1 Convertisseur DC/DC BOOST

Le fonctionnement d'un convertisseur BOOST peut être divisé en deux phases :

- Une phase d'accumulation d'énergie : lorsque l'interrupteur est fermé, cela entraîne l'augmentation du courant dans l'inductance donc le stockage d'une quantité d'énergie sous forme d'énergie magnétique. La diode D est bloquée et la charge est alors déconnectée de l'alimentation.
- Lorsque l'interrupteur est ouvert, l'inductance se trouve alors en série avec le générateur et sa force électromotrice s'additionne à celle du générateur. Le courant traversant l'inductance traverse ensuite la diode D, le condensateur C et la charge R. Il en résulte un transfert de l'énergie accumulée dans l'inductance vers la capacité.

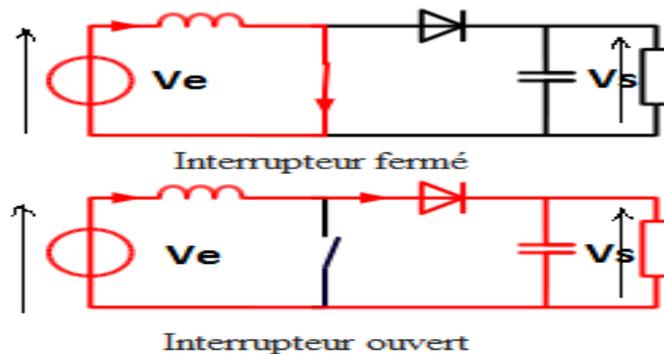


Figure 45 : Configurations d'un convertisseur Boost

Le convertisseur BOOST fonctionne en deux modes continu et discontinu. Dans notre cas nous nous intéressons au fonctionnement en mode continu, car dans ce mode le courant traversant l'inductance ne s'annule jamais.

- **Phase 1 : $0 < t < \alpha T$**

L'interrupteur est fermé, la diode est bloquée.

$$V_e = L \frac{di}{dt} \Rightarrow i(t) = I_{\min} + \frac{V_e}{L} t \quad (2)$$

Avec : I_{\min} est le courant à l'instant initial (0t).

A l'instant $t = \alpha T$ le courant dans l'inductance atteint la valeur max alors :

$$I_{\max} = I_{\min} + \frac{V_e}{L} \alpha T \quad (3)$$

- **Phase 2 : $\alpha T < t < T$**

On ouvre l'interrupteur et la diode devient conductrice.

On a
$$V_e - V_s = L \frac{di}{dt} \quad (4)$$

$$\Rightarrow I(t) = I_{\max} - \frac{V_s - V_e}{L}(t - \alpha T) \quad (5)$$

Avec : I_{\max} est le courant à l'instant initial (αT).

A l'instant $t = T$ le courant dans l'inductance atteint la valeur min alors

$$I_{\min} = I_{\max} - \frac{V_s - V_e}{L}(T - \alpha T) = I_{\max} - \frac{V_s - V_e}{L}(1 - \alpha)T \quad (6)$$

Posant ΔI l'ondulation du courant dans l'inductance, avec $\Delta I = I_{\max} - I_{\min}$:

De l'équation (2) on déduit:

$$\Delta I = I_{\max} - I_{\min} = \frac{V_e}{L} \alpha T \quad (7)$$

Et de l'équation (5) on déduit:

$$\Delta I = I_{\max} - I_{\min} = \frac{V_s - V_e}{L}(1 - \alpha)T \quad (8)$$

En combinant ces deux relations, on trouve :

$$\frac{V_e}{L} \alpha T = \frac{V_s - V_e}{L}(1 - \alpha)T \quad (9)$$

$$\Rightarrow \frac{V_s}{L}(1 - \alpha) = \frac{V_e}{L} \quad (10)$$

Alors
$$V_s = \frac{V_e}{(1 - \alpha)} \quad (11)$$

On déduit donc que la tension de sortie du convertisseur ne dépend que du rapport cyclique α et de la tension d'entrée V_e .

D'après l'équation 11 on peut déduire que la tension de sortie est toujours supérieure à celle d'entrée nous somme donc devant un élévateur de tension « montage BOOST ».

2.2 Dimensionnement des composants

Pour dimensionner correctement les composants et notamment les semi-conducteurs, il est nécessaire de connaître les valeurs maximales des tensions et des courants.

- **Dimensionnement de l'inductance :**

Durant la phase 1, et à l'instant $t = \alpha T$

On a :
$$I_{\max} = I_{\min} + \frac{V_e}{L} \alpha T \quad (12)$$

$$\Rightarrow \Delta I = \frac{V_e}{L} \alpha T \quad (13)$$

Alors :
$$L = \frac{V_e}{\Delta I} \alpha T = \frac{V_e}{F \Delta I} \alpha \quad (14)$$

- **Dimensionnement du condensateur de sortie « Cs » :**

Durant la phase 1 en supposant que le courant de sortie I_s est constant, et sachant que le condensateur est la seule source d'énergie, on peut calculer la charge fournie par le condensateur :

$$\Delta Q = I_s \alpha T \quad (15)$$

Si on admet une ondulation ΔV_s de la tension de sortie, on peut écrire:

$$\Delta Q = C \Delta V_s \quad (16)$$

En combinant ces deux relations, on trouve :

$$I_s \alpha T = C \Delta V_s \quad (17)$$

Alors :
$$C = \frac{I_s \alpha T}{\Delta V_s} \quad (18)$$

- **Simulation du convertisseur BOOST sous matlab simulink :**

Durant cette simulation on a pris en considération les valeurs des composants qu'on obtient c'est à dire : $L = 2,35\text{mH}$, $C_s = 75\text{nF}$,

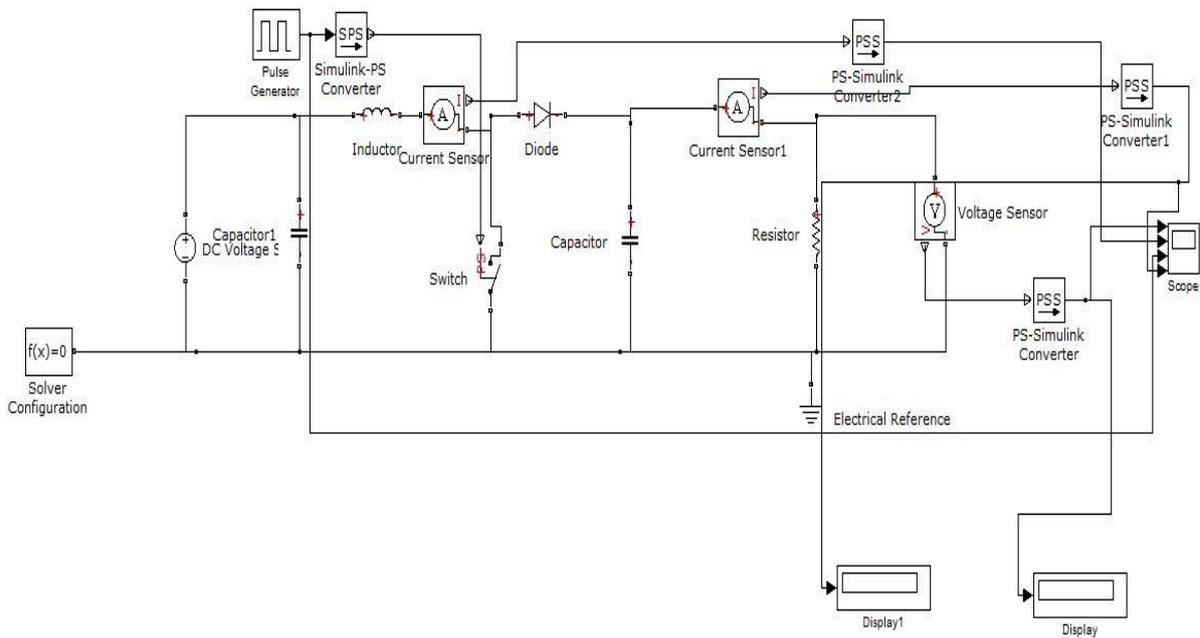


Figure 46 : Simulation sous matlab simulink

La figure 47 illustre le résultat de simulation, pour $V_e = 10\text{V}$ et $\alpha = 50\%$

V_s est donc égale deux fois V_e (20V)

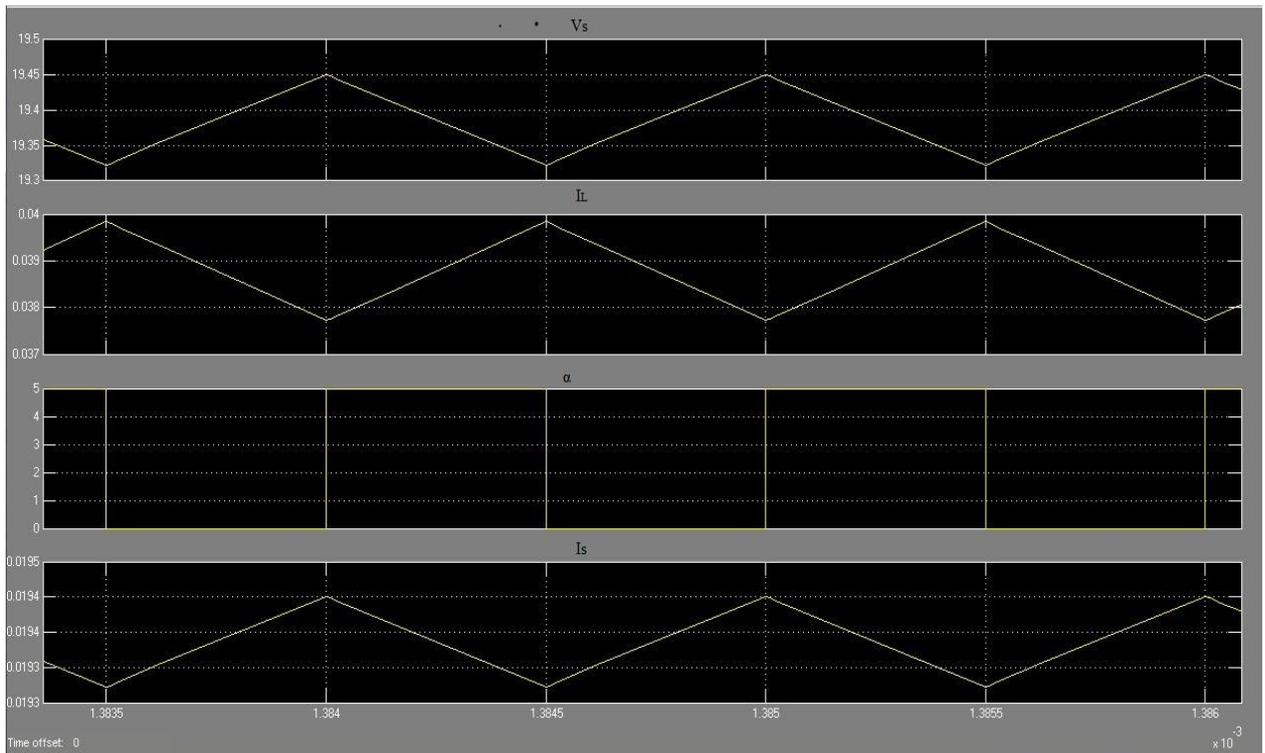


Figure 47 : Résultat de la simulation

Le convertisseur BOOST que nous avons réalisé est composé des éléments suivants: inductance L, capacité CE, et CS, diode et un transistor MOSFET.

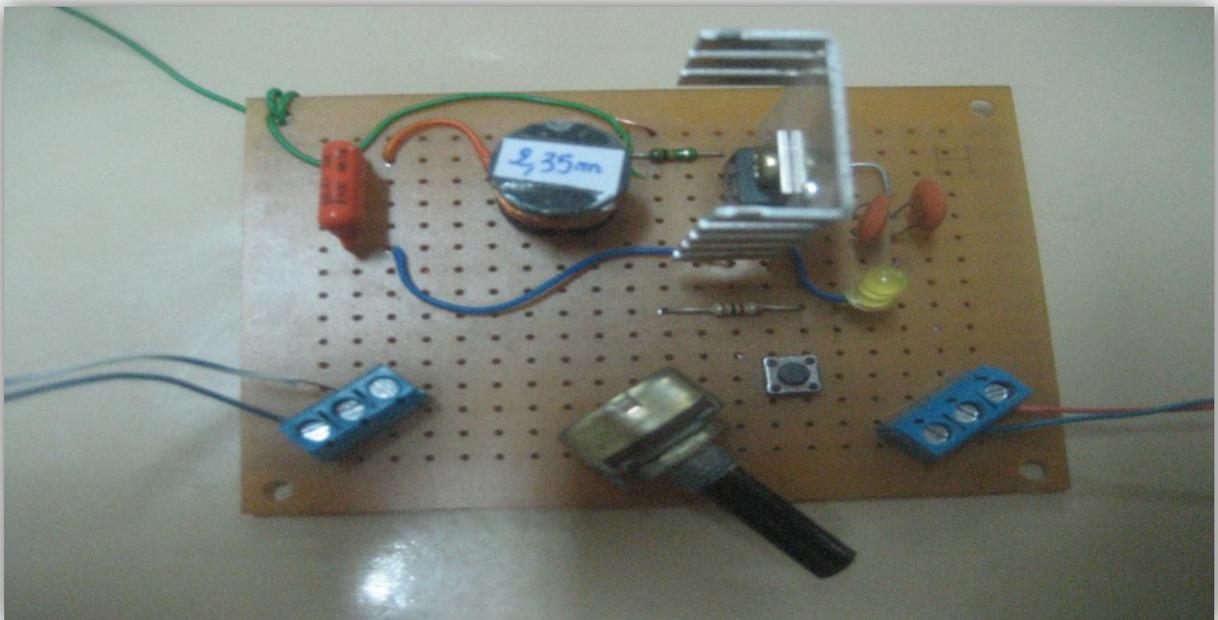


Figure 48 : Convertisseur réalisé

REALISATION D'UN CAPTEUR DE COURANT/TENSION

▪ **Mesure du courant:**

Pour la mesure du courant la méthode la plus simple consiste à mesurer la tension aux bornes d'une résistance pour déduire le courant la traversant. Cette méthode est peu onéreuse par rapport aux autres techniques, et procure une bonne précision en basse fréquence. La résistance de mesure et le circuit qui lui est associé doivent présenter une bonne stabilité en température et une bonne précision.

La résistance et le circuit amplificateur que nous avons utilisé répond clairement à ces exigences.

Le capteur que nous avons développé est composé d'une résistance shunt R3 de faible valeur « ohm » insérée en série avec le générateur photovoltaïque et aux bornes de laquelle la mesure de tension est faite pour déduire ensuite le courant qui la traverse.

Le gain du circuit est en effet défini par le rapport des résistances R2 et R1, selon la formule suivante :

$$\text{Gain} = 1 + (R1 / R2) = (1,5 / 1) + 1 = 1,5 + 1 = 2,5 \quad (19)$$

La résistance R6 et le condensateur C1 forment un filtre passe-bas destiné à absorber les variations rapides de la tension développée aux bornes des résistances shunt, c'est en quelque sorte un circuit de "freinage" ou de moyennage du courant mesuré comme dans le cas du filtrage numérique. Un courant légèrement fluctuant sera donc visualisé de façon assez stable sur l'indicateur de mesure.

▪ **Mesure de la tension:**

Pour la mesure de la tension, la méthode utilisée est similaire à celle exploitée dans les voltmètres analogiques et numériques.

Cette technique est très utile pour réduire la valeur de la tension, c'est tout simplement le principe des diviseurs de tension, la tension aux bornes d'une résistance en série est proportionnelle au rapport de celle-ci par rapport à la résistance globale de l'ensemble.

Dans notre projet on veut mesurer des tensions qui varient entre 0 et 20 V avec une carte Arduino, pour cela on utilise un Convertisseur Analogique Numérique (CAN) interne du microcontrôleur qui ne supporte que 5V comme valeur Maximale. Il faut utiliser un pont diviseur pour abaisser la valeur de la tension en provenance du GPV et par la suite faire un étalonnage des valeurs mesurées pour qu'on puisse transférer les valeurs réelles de la tension vers notre application.

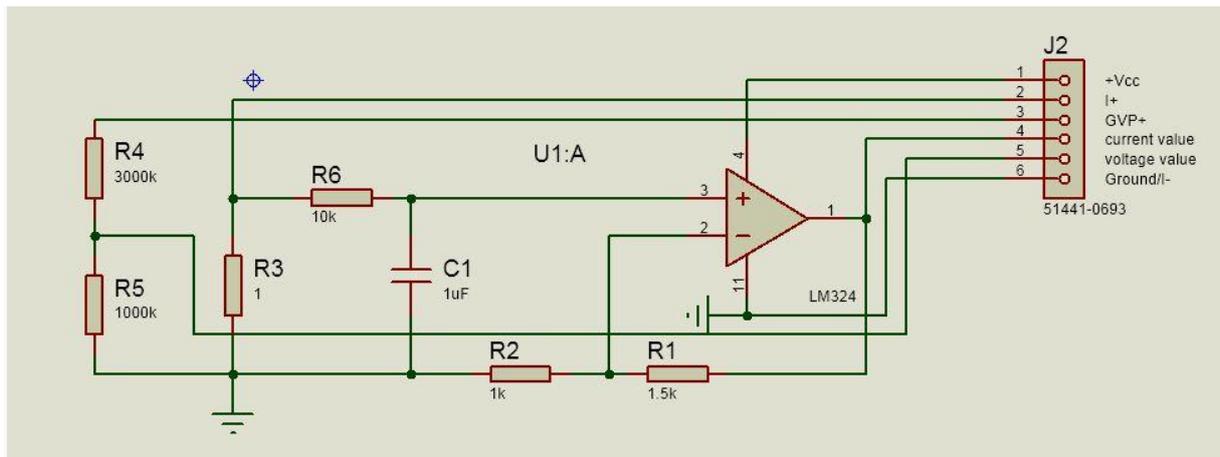


Figure 49 : Simulation du capteur de courant/tension sous ISIS

Symbole	Signification
+VCC	Alimentation
I+	Entrée de la résistance de shunt
GPV+	Tension généré par le panneau
Current value	Valeur du courant mesuré
Voltage value	Valeur de tension mesurée
Ground/I-	La masse

Tableau 3 : Significations

Le capteur que nous avons réalisé est illustré dans la figure 50 :



Figure 50 : Capteur de courant réalisé

SIMULATION DU SYSTEME COMPLET SOUS PSIM

La partie suivante sera consacrée à la simulation des différentes caractéristiques d'un panneau photovoltaïque pour divers niveaux d'ensoleillement et aussi pour l'adaptation de la charge pour obtenir le maximum de puissance, cette simulation est effectuée sous PSIM.

4.1 Logiciel PSIM

PSIM est un logiciel de simulation bien adapté à l'électrotechnique et l'électronique de puissance .Il est possible de réaliser des analyses temporelles (les plus fréquentes pour ce simulateur), mais également des études de réponse en fréquence ; on peut également paramétrer ces diverses analyses.

Principe général d'utilisation Après avoir lancé le logiciel, il faut successivement :

- Dessiner le circuit ou le système à simuler.
- Attribuer des valeurs aux composants.
- Paramétrer la simulation souhaitée.
- Lancer l'exécution.

4.2 Mise en évidence du PPM

Un panneau solaire présente des caractéristiques qui lui sont propres et que nous pouvons mesurer par des essais en charge et ainsi en obtenir les allures de courbes suivantes :

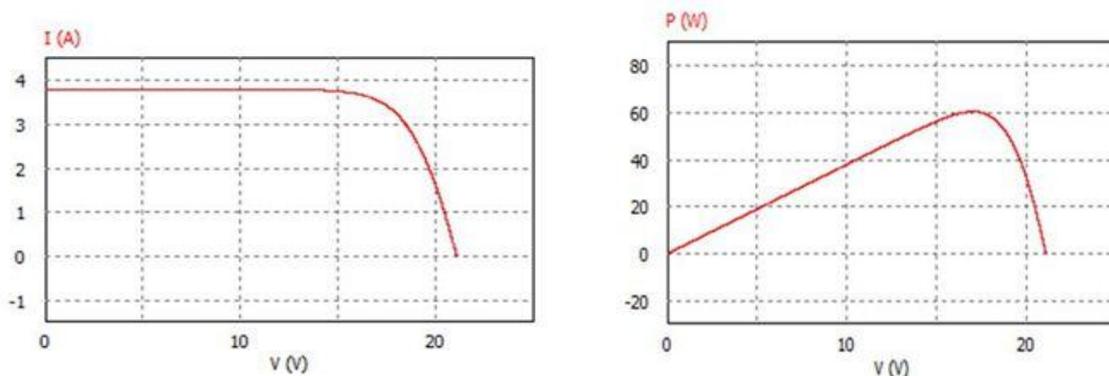


Figure 51 : caractéristique courant-tension et puissance tension d'un générateur photovoltaïque sous les conditions standards de la température et d'éclairement

Ces courbes mettent en évidence un point où le rapport courant absorbé par la charge et la tension aux bornes de la charge soit maximale. Ce point est appelé point de puissance maximal, ces caractéristiques se dégradent en fonction de l'ensoleillement et de la température.

4.3 Connexion direct

Dans le cas d'une connexion directe le point de fonctionnement du GPV dépend de l'impédance de la charge à laquelle il est connecté.

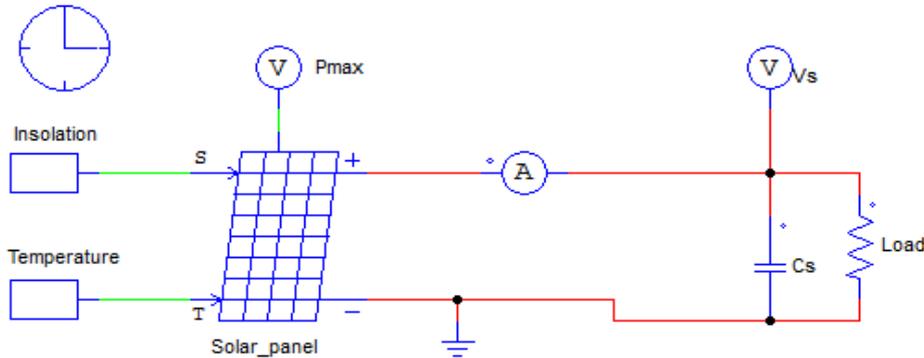


Figure 52 : connexion direct entre GVP et une charge résistive

Sous les conditions standards de température et d'ensoleillement les résultats de simulation sont illustrés dans la figure 53 :

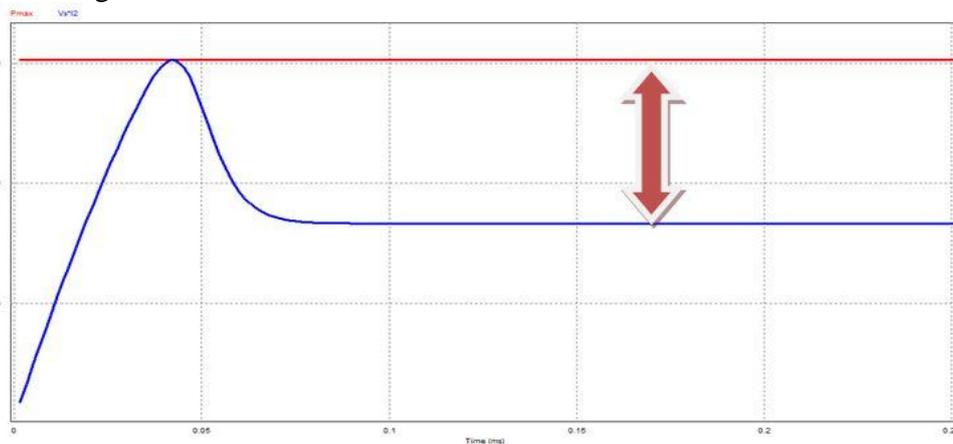


Figure 53 : résultats de simulation d'une connexion directe

Dans l'exemple figure 53, pour une puissance disponible aux bornes du panneau de 60W et une charge résistive, cette dernière n'arrive à en extraire que 35W.

4.4 Convertisseur DC-DC dans la chaîne photovoltaïque

Pour pallier ce manque, nous insérons dans le montage, un convertisseur DC-DC de type BOOST commandé par un signal PWM de période fixe. L'intérêt de cet ajout est de modifier l'équation de la caractéristique de la charge qui passe de $\frac{1}{R}$ à $\frac{\alpha}{R}$ et permet ainsi de se déplacer sur la caractéristique du panneau solaire indépendamment de la charge en faisant varier le rapport cyclique.



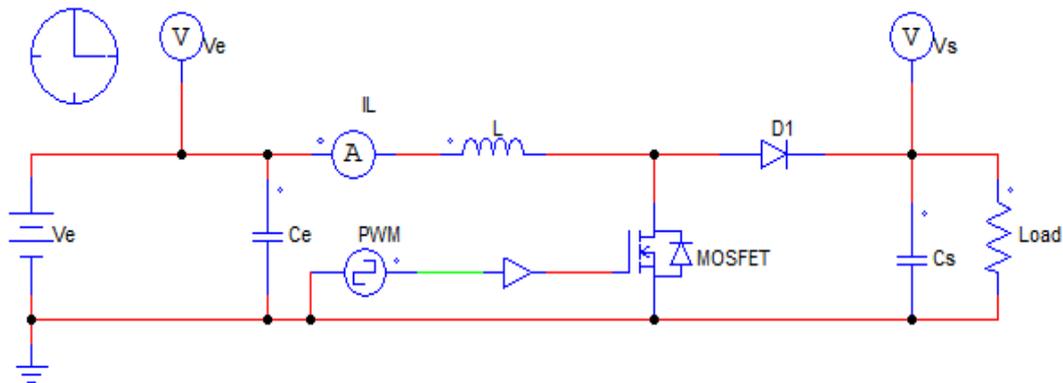


Figure 54 : simulation du convertisseur DC-DC type BOOST

Pour un rapport cyclique fixe de 50% on trouve les résultats illustré dans la figure 55 :

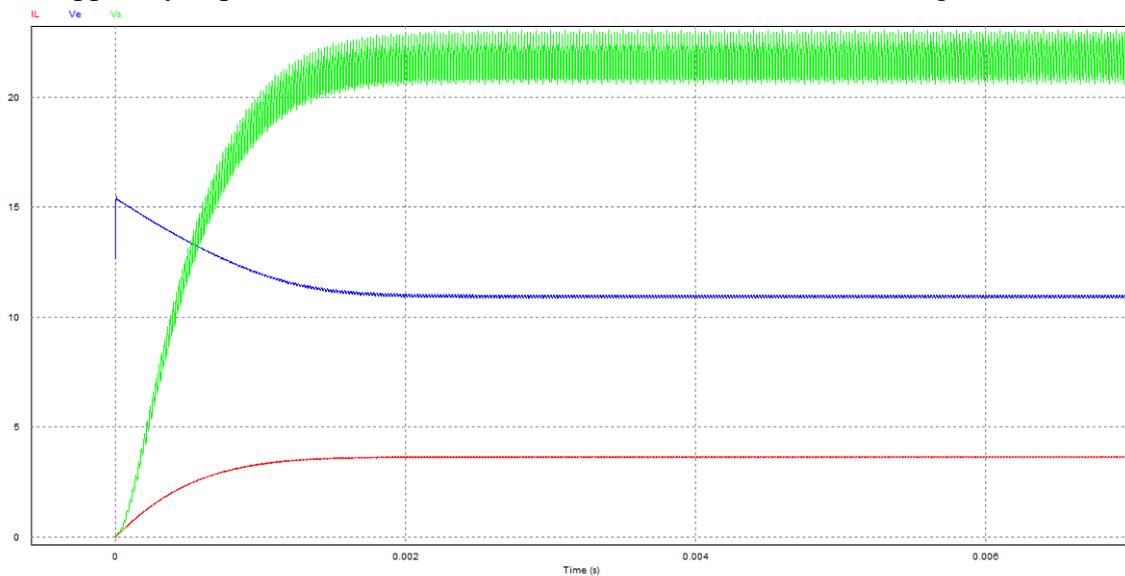


Figure 55 : résultats de la simulation d'un convertisseur DC-DC

Le convertisseur est commandé par un signal PWM qui consiste à faire varier la Largeur d'impulsion en laissant la période constante. Une méthode pour réguler la tension de sortie afin d'obtenir une tension moyenne fixe consiste à ajuster en permanence le rapport cyclique α de commande de l'interrupteur. On a la tension de sortie(en vert) égale deux fois la tension d'entré(en bleu).

4.5 Insertion du microcontrôleur

Après qu'on a inséré le convertisseur DC-DC, on doit ajuster le rapport cyclique. Il existe des solutions analogiques en se basant sur des circuits simples et numériques à travers des blocs de calculs numériques. Dans ce projet on va travailler sur la deuxième solution.

L'algorithme MPPT qu'on a développé est simple, il consiste à mesurer le courant et la tension et de déduire la valeur de la puissance.





Le principe est de faire varier la tension et le courant en variant le pourcentage du signal PWM, et on compare les valeurs des puissances à chaque instant:

- si la puissance mesurée à l'instant $t+\Delta t$ est supérieure à celle mesurée a l'instant t , on augmente le pourcentage du rapport cyclique.
- si la puissance mesurée à l'instant $t+\Delta t$ est inférieure à celle mesurée a l'instant t , on diminue le pourcentage du rapport cyclique.
- sinon la valeur du signal PWM reste la même.

4.6 Insertion du bloc de contrôle

Après l'insertion du MPPT contrôler (microcontrôleur dans notre cas) dans le schéma, il est nécessaire de savoir que PSIM différencie entre la partie commande et partie puissance. Donc il est impossible d'envoyer les valeurs de grandeurs mesuré (courant, tension) directement sur le microcontrôleur. Pour résoudre cet obstacle nous allons utiliser des capteurs de courant et tension pour effectuer le passage du partie puissance à la partie commande et d'utiliser un switch ON/OFF pour le passage du partie commande à la partie puissance.

4.7 Programmation du microcontrôleur

Pour vérifier la validité de l'algorithme de poursuite de PPM, il faut l'implémenter dans le bloc du microcontrôleur pour cela on doit double cliquer sur le microcontrôleur pour ouvrir l'interface de programmation.

Première étape on doit configurer le nombre des paramètres d'entrées, deux dans notre cas tension et courant, et aussi le nombre des paramètres de sortie, signal PWM dans notre cas.



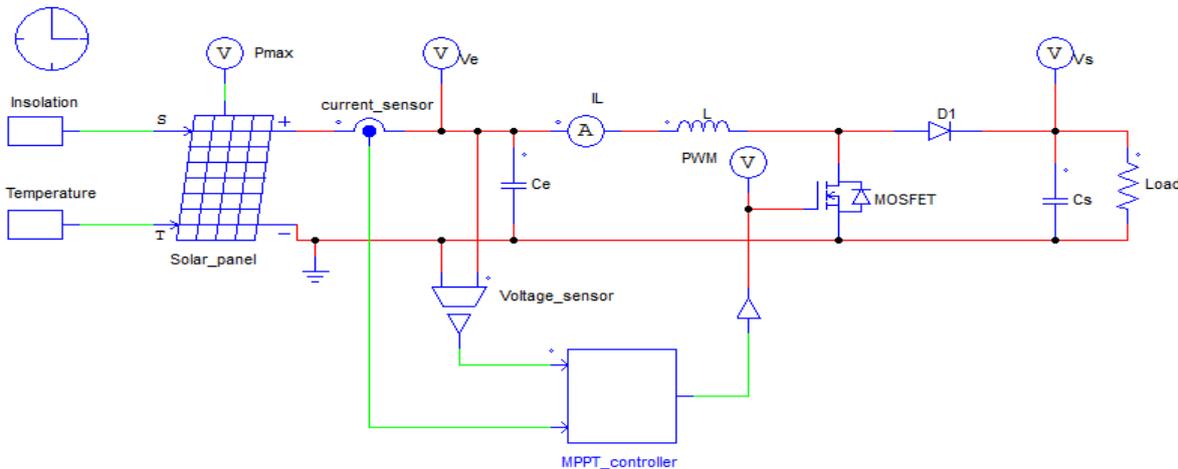


Figure 56 : Système solaire complet

4.8 Résultat de la simulation

Les relevés sont effectués pour des éclairements de 500W/m^2 , 1000W/m^2 et 1500W/m^2 , et une température de $25\text{ }^\circ\text{C}$:

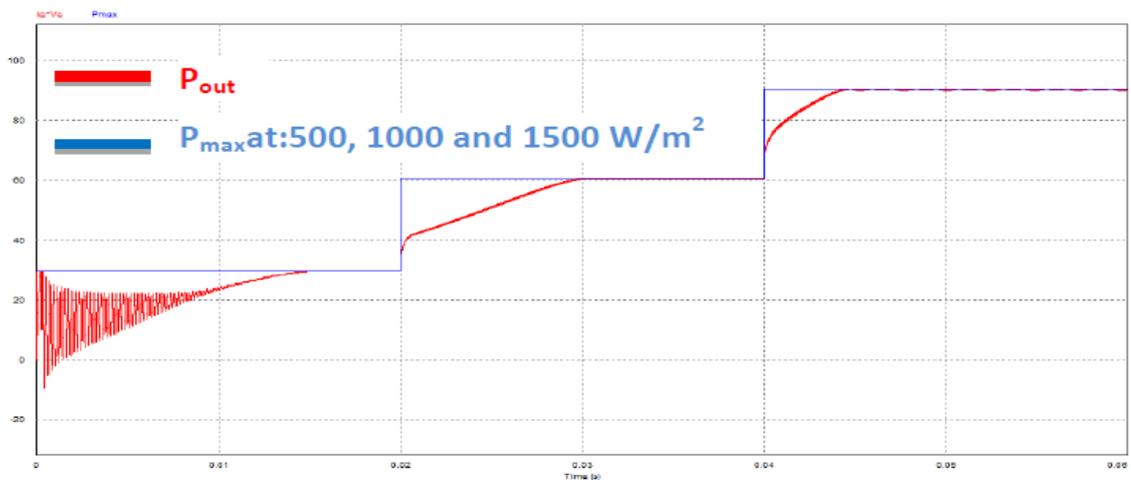


Figure 57 : Résultats de la simulation du système pour différentes valeurs d'éclairements

Nous déduisons que la courbe de puissance extraite par la charge rejoint la courbe de puissance disponible aux bornes du panneau pour les différentes valeurs d'éclairements.

APPLICATION SOUS LABVIEW :

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 :

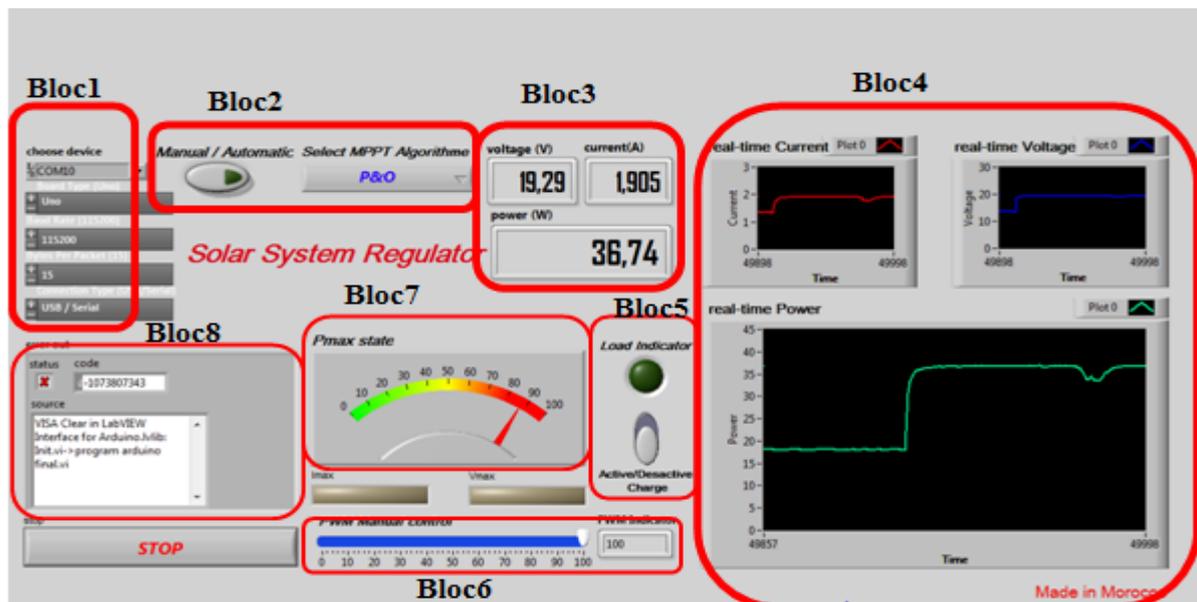


Figure 58: Face de supervision

L'interface développée nous permet de trouver le point de fonctionnement optimal soit manuellement soit automatiquement, la figure 58 illustre l'interface sous Labview.

-**Bloc1** : configuration des paramètres de communication telle que la vitesse de transmission, nombre de bits de données et la sélection du périphérique.

-**Bloc2** : 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 implémenté 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.

-**Bloc3** : un ensemble d'indicateurs qui affichent en temps réel les valeurs instantanées des grandeurs électriques mesurées (tension, courant et puissance).

- Bloc4** : ce sont des graphes qui affichent en temps réel les grandeurs électriques mesurées.
- Bloc5** : un bouton qui a comme rôle l'activation ou la désactivation de la charge, en commandant un relais.
- Bloc 6** : permet de varier manuellement le point de fonctionnement du système photovoltaïque en agissant sur une simple glissière.
- Bloc7** : c'est un pourcentage de la puissance maximale dans les conditions de fonctionnement standard, il indique si la puissance maximale est achevée ou non.
- Bloc8** : affiche les erreurs de communication entre l'application et le système.

Pour gérer toutes ces fonctionnalités, un programme de contrôle doit être élaboré derrière cette interface graphique. 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 59 illustre le diagramme de notre interface :

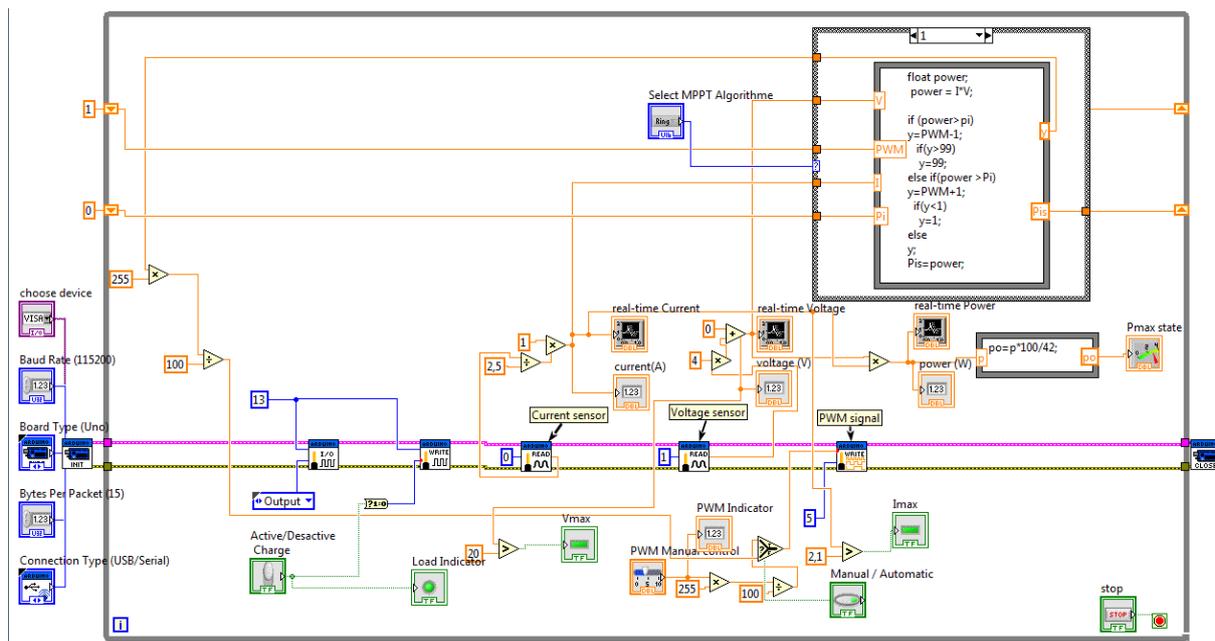


Figure 59 : Diagramme de l'interface

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 une partie de la surface du panneau voir figure 61, 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 62.

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.

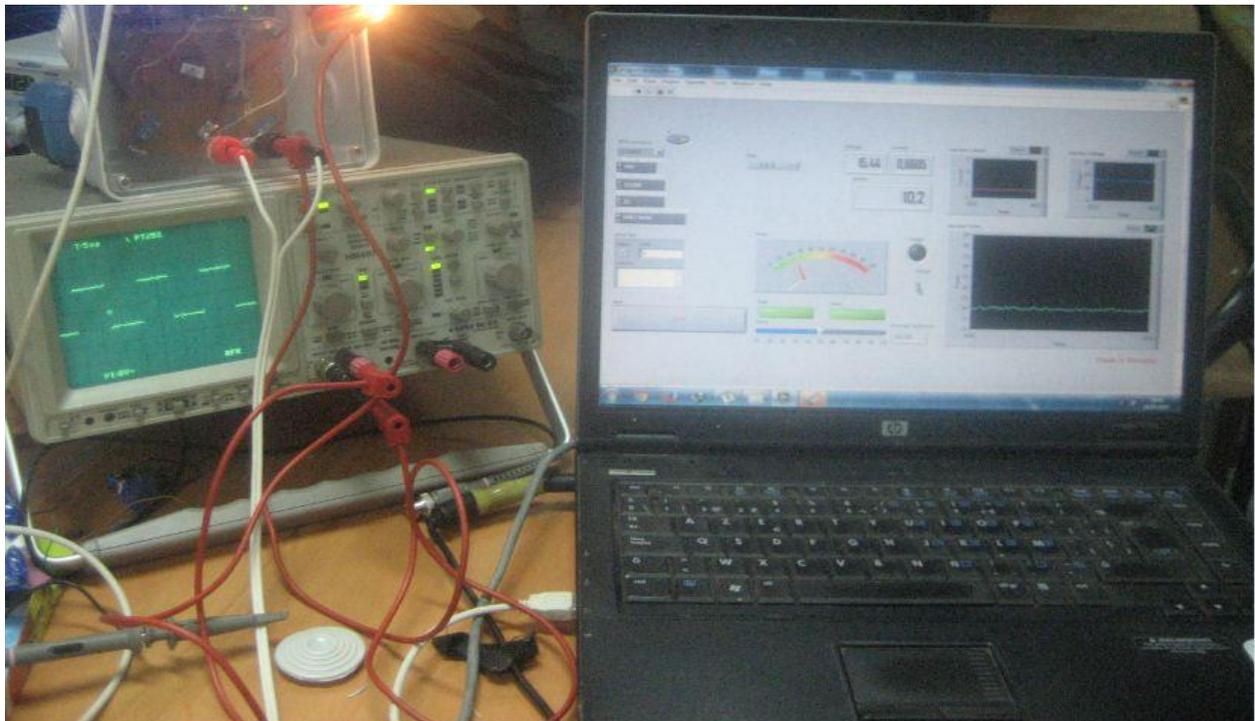


Figure 60 : Visualisation du rapport cyclique dans l'oscilloscope



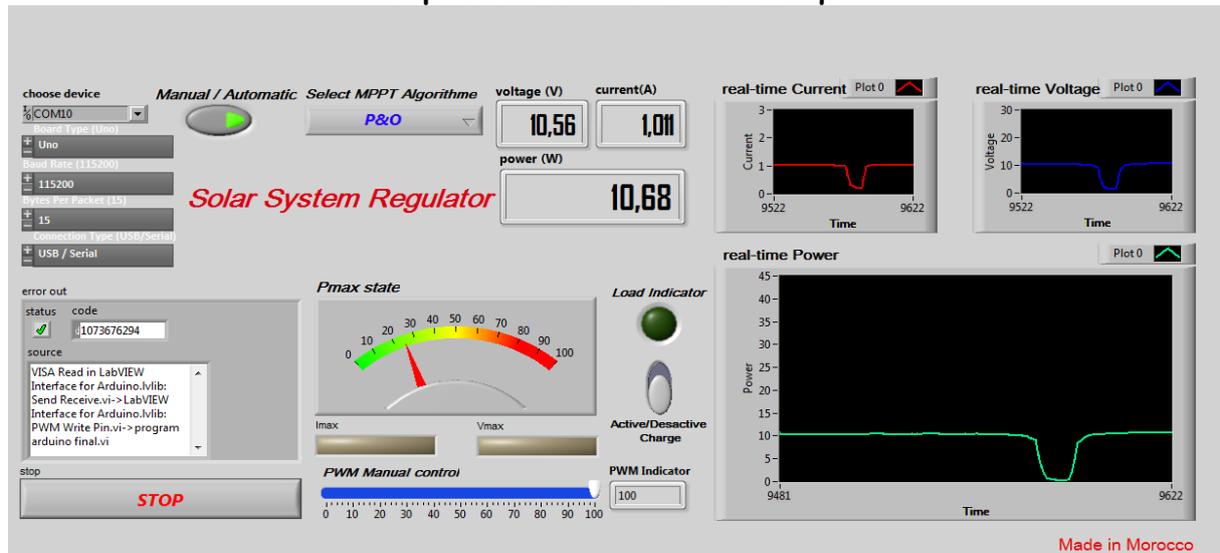


Figure 61 : résultat du passage d'une personne devant le GPV



Figure 62 : 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 calcul.
- implémentation d'une commande numérique : le passage d'un système analogique vers le numérique.
- Un faible cout on le comparant aux d'autres systèmes.

La figure 63 montre le résultat final du régulateur solaire que nous avons réalisé durant la période du stage.



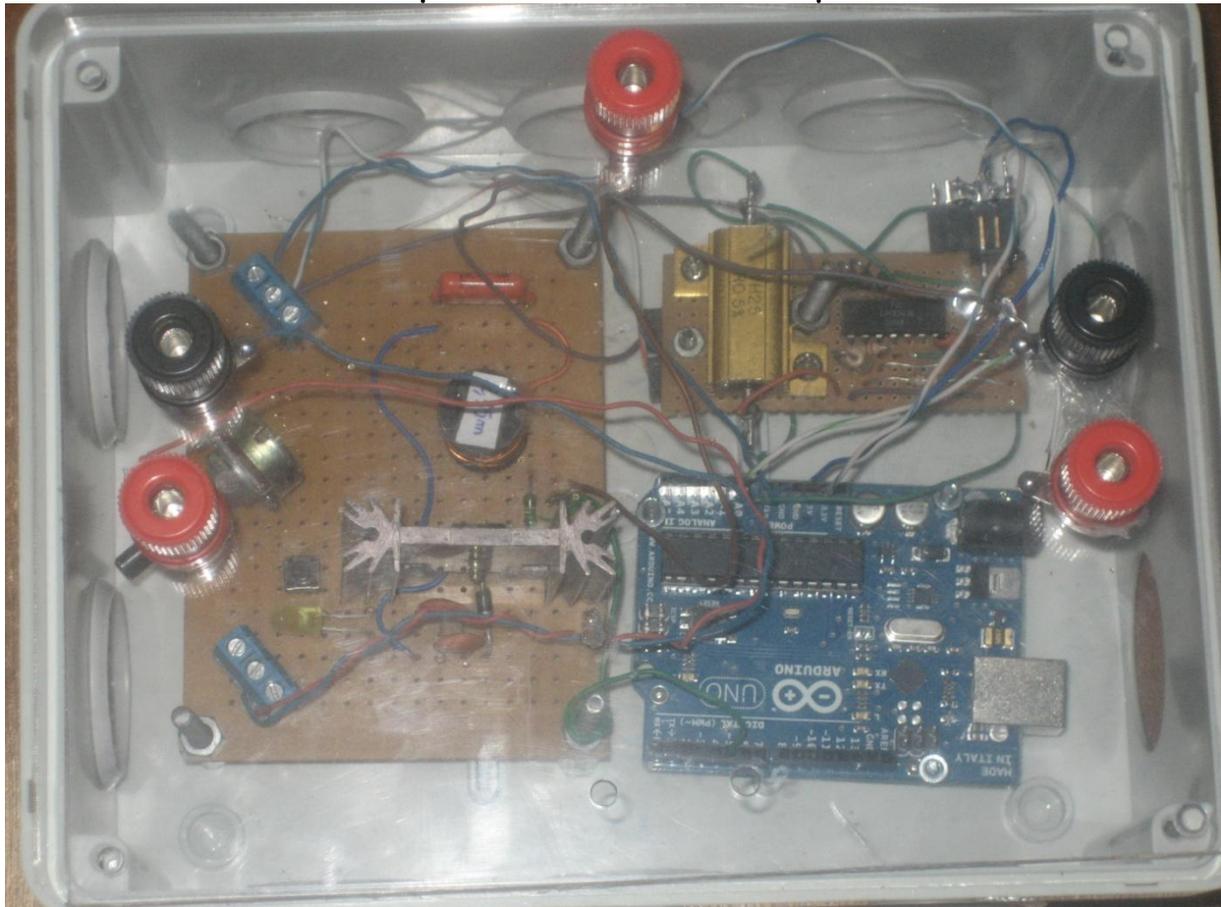


Figure 63 : Régulateur solaire complet

5. CONCLUSION

Nous avons simulé et réalisé une commande d'adaptation MPPT à base de microcontrôleur via Labview. La méthode de perturbation et observation est une technique simple à exploiter dans la programmation des microcontrôleurs, permettant la recherche du point de puissance maximale indépendamment des conditions climatiques.

D'autres algorithmes MPPT telque: le réseau de neurones, peuvent être implémentés sous le système que nous avons développé.





CONCLUSION GENERALE

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.

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, dans un deuxième temps, quelques types de convertisseurs DC-DC, utilisés dans les systèmes photovoltaïques comme le BOOST et le BUCK. Puis nous avons présenté des algorithmes MPPT, comme l'algorithme d'incrément de conductance et la méthode de perturbation et observation. Cette dernière a été choisie pour tester la validité du système développé.

Ensuite, Nous avons proposé un régulateur solaire basé sur le contrôle d'un convertisseur DC-DC par un signal rectangulaire 'PWM', généré par un microcontrôleur PIC16F887 et commandé avec une interface graphique pour le contrôle et la supervision réalisée avec **LABVIEW** via la communication série UART.

Finalement, nous avons présenté la simulation et la réalisation électronique d'un régulateur solaire complet, composé d'un capteur de courant, d'un capteur de tension, d'un convertisseur DC-DC de type BOOST, commandée avec une interface graphique réalisée 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,
- Réaliser une communication entre applications distantes.

REFERENCES





[1] [HTTP://WWW.LES-ENERGIES-RENOUVELABLES.EU/FR/AVANTAGES-ET-INCONVENIENTS-DE-LENERGIE-EOLIENNE.HTML](http://www.les-energies-renouvelables.eu/fr/avantages-et-inconvenients-de-lenergie-eolienne.html)

[2] [HTTP://WWW.PLANETE-ENERGIES.COM/TOTAL/FR/HYDROELECTRICITE/ENERGIE-HYDRAULIQUE-AVANTAGE.PHP](http://www.planete-energies.com/total/fr/hydroelectricite/energie-hydraulique-avantage.php)

[3] [HTTP://ENERGIE-BIOMASS.E-MONSITE.COM/PAGES/LES-AVANTAGES.HTML](http://energie-biomass.e-monsite.com/pages/les-avantages.html)

[4] [HTTP://ENERGIE-BIOMASS.E-MONSITE.COM/PAGES/LES-INCONVENIENTS.HTML](http://energie-biomass.e-monsite.com/pages/les-inconvenients.html)

[5] [HTTP://TPEGEOTHERMIE.E-MONSITE.COM/PAGES/III-LES-AVANTAGES-ET-LES-INCONVENIENTS-DE-LA-GEOTHERMIE.HTML](http://tpegothermie.e-monsite.com/pages/iii-les-avantages-et-les-inconvenients-de-la-geothermie.html)

[6] Alain Bilbao Learreta, « Réalisation de Commandes MPPT Numériques », Diplôme : Ingénieur Technique Industriel : Electronique Industrielle, Septembre / 2006.

[7] Cédric CABAL ; « Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque » thèse ; Le 15 Décembre 2008.

[8] http://fr.wikipedia.org/wiki/Convertisseur_Boost

[9] R. Decourt , « labview » ,Edition 2011.

[10] Rick Bitter, Taqi Mohiuddin, Matt Nawrock, " labview advanced programming techniques", second edition.

[11] V. TOURTCHINE, " Programmation en mikroC. Application pour les microcontrôleurs de la famille PIC", cours, UNIVERSITE M'HAMED BOGARA DE BOUMERDES

