

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

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie Electrique et Informatique
Département d'Electronique



Mémoire de fin d'étude

Domaine : **Sciences et Technologie**

Filière : **Génie électrique**

Spécialité : **Instrumentation**

THEME

**Etude d'un onduleur hybride et réaliser
Un basculement avec une carte
Arduino**

Dirigé par :
Mr : Zirmi

Réalisé par :

Melle : Larbi Samia
Mme : Mouloudj Nawal

Promotion
2017/2018

Remerciements

REMERCIEMENTS

Avant tout, Nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté de réaliser ce travail.

A la suite nous tenons à remercier vivement Mr. Zirmi notre promoteur qui a fourni des efforts énormes, par ses informations ses conseils et ses encouragements.

Nous tenons également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance.

Et tous les professeurs de département de génie électrique a tous ce qui furent à un moment ou à toute instante prenante de ce travail.

Nos plus chaleureux remerciements pour tous ceux qui de près et de loin ont contribué à la réalisation de cette mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes parents qu'Allah Tout puissant me les garde, qui m'ont posé a m'investie et a allé de l'avant

Je le dédie aussi :

- *Ames chères sœurs et frères.*
- *A toute la famille*
- *A mes nièces et neveux.*
- *A tous mes amis(es) sans exceptions.*
- *Amon binôme et touts sa famille.*
- *A tous mes collègues de la promotion électronique d'instrumentation 2017/2018*

Samia

Je dédie ce travail à mes parents qu'Allah Tout puissant me les garde, qui m'ont posé a m'investie et a allé de l'avant

Je le dédie aussi :

- *Ames chères sœurs et frères.*
- *A toute la famille*
- *A mes nièces et neveux.*
- *A tous mes amis(es) sans exceptions.*
- *Amon binôme et touts sa famille.*
- *A tous mes collègues de la promotion électronique d'instrumentation 2017/2018*

Nawal

Résumer

Dans ce mémoire, nous proposons un système de basculement intelligent pour les onduleurs PV, dans le but de pouvoir faire fonctionner un système d'une manière continue avec des systèmes d'alimentation différents. Le principe du système est de réaliser un basculement entre trois sources d'énergies différentes (générateur PV, réseau électrique et la batterie). Nous avons alors fait une simulation sous proteus et une réalisation du système à base d'une carte Arduino Uno.

D'après les résultats obtenus, nous avons obtenu un système de basculement et qui transfère la puissance fournie par le module PV à la charge. En suite, si le rayonnement solaire est faible (presque nulle), la charge alimentée par la tension délivrée par le réseau électrique, si non, la charge est alimentée par la batterie.

Les mots clés :

Basculement

Relais

NMOS

Arduino

Panneau solaire

Réseau électrique

Batterie solaire

Sommaire

Sommair

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

Chapitre 1 : Modalisation des systèmes photovoltaïque

I.1. Introduction	3
1.2. L'énergie solaire.....	3
I.3 les différents systèmes photovoltaïques	4
I.3-1. Systèmes isolé autonomes	4
I.3-2. Système connecté au réseau.....	4
1.4 .Avantages et Inconvénients de l'Énergie Photovoltaïque.....	5
I.5. La cellule photovoltaïque	6
I.5.1. Définition	6
I.5.2. Principes de fonctionnement	6
I.6. L'effet photovoltaïque	7
I.7. Les différents types de cellules solaires et leur rendement	6
a) Silicium monocristallin.....	8
b) Silicium amorphe	8
c) Silicium poly (ou multi-) cristallin.....	9
I.7.1.Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque	9
I.7.1.1. Caractéristiques courant-tension	9
I.7.1.2. Influence de l'Eclairement Solaire	10
I.7.1.3. Influence de la température	10
I.7.2.Association En Série.....	12
I.7.2. Association en Parallèle	12
I-8.Le panneau solaire	13
I.10. Conclusion.....	14

Chapitre II : Stockage de l'énergie solaire

II.1. Introduction.....	15
II.2. Le stockage d'énergie.....	15
II.3. Principe de fonctionnement.....	15
II.4. Les caractéristiques principales d'une batterie.....	16
II.4.1. Capacité en ampère heure.....	16

II.4.2. Température.....	16
II.4.3. La durée de vie.....	16
II.4.4. Profondeur de décharge.....	17
II.4.5. La tension d'utilisation	17
II.4.6. Le rendement.....	17
II.4.7. Le taux d'autodécharge.....	17
II.5. Types d'accumulateurs.....	17
II.5.1. Les batteries au Caduim-nickel (Cd_Ni).....	18
II.5.2. Les batteries en lithium	18
II.5.3. les batteries au plomb (Pb).....	18
II.6. Composition d'une batterie solaire plomb-acide.....	18
II.7. Conclusion.....	19

Chapitre III : Les convertisseurs statiques

III.1. L'introduction.....	20
III.2. Les onduleurs	20
III.2.1. Principe de fonctionnement d'un onduleur.....	20
III.2.1.1. Onduleur monophasé en demi pont.....	21
III.2.1.2. Onduleur monophasé en pont.....	21
III.2.1.3. Onduleur triphasé.....	22
III.3. Structure de base des onduleurs autonomes monophasés.....	22
III.3.1. Les onduleurs de tension.....	22
III.3.2. Les onduleurs de courant.....	22
III.4. Caractéristiques propres à un onduleur pour système photovoltaïque(PV).....	23
III.5. Classification des onduleurs.....	23
III.5.1. L'onduleur autonome.....	23
III.5.2. L'onduleur pour couplage au réseau électrique	24
III.5.3. L'onduleur hybride.....	25
III.5.4. Les onduleurs multiniveaux.....	25
III.6.1. Les convertisseurs DC-DC.....	25
III.6.1. Le convertisseur survolteur (Boost converter)	25
III.6.2. Un convertisseur dévolteur (Buck converter).....	26
III.7. Avantage de convertisseur Boost.....	27
III.9.1. Les algorithmes MPPT.....	27

III.9.1.1. La méthode perturbation et observation(P&O)..... 28

III.8. Conclusion.....30

Chapitre VI : Simulation d'un système de basculement a base d'une carte Arduino Uno

VI.1. Introduction.....	31
VI.2. Carte Arduino.....	31
VI.2.1. Description de la carte Arduino Ano.....	31
VI.2.2. Alimentation de la carte Arduino.....	32
VI.2.3. Entée sortie de la carte Arduino.....	32
VI.2.3.1. Les entrées analogiques.....	33
VI.2.3.2. Les entrées/sorties numériques.....	33
VI.3 .Langage de programmation.....	33
VI.4. Systèmes de basculement proposé.....	33
VI.4.1.Module photovoltaïque.....	35
VI.4.2. Le relais.....	35
VI.4.3. Le transistor bipolaire (commande en courant).....	35
VI.4.4. les LED.....	36
VI.5. Simulation du système PV sous proteus.....	36
VI.6. Tests pratiques du système PV réalisé	37
VI.7. Conclusion.....	39

Liste des figures

Figure I.1: Exemple de la structure d'un système PV autonome.....	4
Figure I.2: Exemple de la structure d'un système PV connecté au réseau.....	5
Figure I.3 : Principe de fonctionnement d'une cellule.....	7
Figure I.4: Les différents types de cellules solaires.....	8
Figure I.5: Caractéristique IV.....	9
Figure I.6 : Courbes I(V) d'un panneau solaire avec température constant.....	10
Figure I.7 : Courbes I(V) d'un panneau à diverses températures.....	11
Figure I.8: Courbes P(V) d'un panneau à diverses températures.....	11
Figure I.9: Association de panneaux en série.....	12
Figure I.10: Association en parallèle.....	12
Figure I.11 : Composants d'un champ de modules PV.....	13
Figure I.12 : La photo d'un panneau photovoltaïque.....	13
Figure II.1 : Construction d'une batterie monobloc.....	19
Figure III.1 : Schéma de principe d'un onduleur monophasé en demi-pont.....	21
Figure III.2: Schéma de Principe d'un onduleur de tension Monophasé en pont.....	22
Figure III.3 : Schéma d'installation d'on onduleur autonome.....	24
Figure III.4 : Schéma d'installation d'un onduleur couplé au réseau sans batteries de stockage.....	25
Figure III.5 : Schéma du circuit électrique d'un convertisseur survolteur.....	26
Figure III.6: Schéma du circuit électrique d'un hacheur dévolteur.....	26
Figure I.13 : Puissance disponible en fonction de la tension aux bornes d'un panneau solaire.....	28
Figure I.14 : Diagramme fonctionnel algorithmique « perturbation et observation ».....	29
Figure VI.1 : Description d'une carte Arduino	32
Figure VI.2 : Schéma synoptique du système photovoltaïque.....	34
Figure VI.3 : la photo de panneau utilisée.....	35
Figure VI.4: principe de fonctionnement du relais.....	35
Figure VI.5: schème électrique d'un transistor bipolaire.....	36
Figure VI.6 : la photo des LED.....	37
Figure VI.7 : schéma globale du système photovoltaïque sous proteus.....	38

Figure VI.8: l'organigramme de système de basculement sous l'interface Arduino.....	38.
Figure VI.9: la photo de circuit de réalisation.....	39

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

La production d'énergie reste stratégique sur le long terme, ainsi, la consommation énergétique mondiale augmente d'environ 2% par an alors que l'on est confronté à une réduction des ressources primaires fossiles. Par ailleurs, concernant l'avenir de notre planète, en vertu du protocole de Kyoto, du plan de Bali, des accords de Cancun et certainement de ce qui ressortira de la conférence de Durban l'utilisation de quelques ressources conventionnelles comme le charbon, le pétrole, l'énergie nucléaire... seraient limitée ou découragée pour des raisons liées à l'environnement. L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est en forte croissance depuis quelques années car c'est une source inépuisable, non polluante pour l'environnement, silencieuse et non dérangeante pour les riverains. [1].

Les générateurs renouvelables sont couplés généralement à un système de stockage assurant une disponibilité en continue d'énergie.

Le type de stockage généralement utilisé dans ces systèmes est la batterie au plomb. La maturité dont cette technologie fait preuve et son faible coût en sont les raisons principales. L'utilisation de ces batteries à l'échelle saisonnière est inenvisageable. Elles ne peuvent rester longtemps inutilisées sans conséquences néfastes sur leur durée de vie. Leur fonctionnement journalier (décharge et recharge complètes sur quelques jours) permet d'installer une faible capacité de stockage. Mais l'état de charge maximal des batteries est atteint d'autant plus rapidement que cette capacité installée est faible. [2]

Les applications domestiques ou industrielles étant généralement alimentées en courant alternatif, il est nécessaire de convertir le courant continu produit par le GPV, en courant alternatif avec les mêmes caractéristiques (tension, fréquence, phase,...) que le courant qui provient du réseau, cette transformation est réalisée grâce à un onduleur. Etant monophasés ou triphasés, autonomes ou non autonomes, de tension ou de courant, les onduleurs sont basés sur une structure en pont ou en demi pont constituée le plus souvent d'interrupteurs électroniques tels que les transistors de puissance ou thyristors. Par un jeu de commutations commandées de manière appropriée, il module la source afin d'obtenir un signal alternatif de fréquence désirée [3]. De nos jours, les énergies renouvelables occupent une place beaucoup plus grande. Cette source d'énergie est disponible presque partout.

Introduction générale

L'énergie produite sous forme continue, doit être ondulée pour pouvoir alimenter des charges alternatives ou l'injecter au réseau de distribution alternatif. Pour toutes ces raisons nous devons concevoir et développer des technologies pour des onduleurs hybrides (fonctionnant avec plusieurs sources).

Dans ce mémoire on va réaliser un système de basculement qui est placé dans un onduleur, ce système permet d'obtenir un signal qui peut être utilisable pour les applications de tous les jours.

A cet effet, nous avons, dans le premier chapitre, donné une description générale sur le fonctionnement de chaque élément constituant le système photovoltaïque. Le second chapitre est consacré à l'étude sur les accumulateurs et piles électrochimiques permettant de disposer d'une réserve d'énergie électrique pour une autonomie de fonctionnement. Leur utilisation est très répandue et en plein essor.

Nous avons dans le troisième chapitre présenté quelques types des convertisseurs statiques DC-DC, DC-AC, en particulier le convertisseur DC-AC.

Le quatrième chapitre, est consacré à la réalisation d'un système PV. Nous avons alors présenté la carte Arduino utilisée pour commander le système de basculement. En suite, les différents composants du système de basculement sont d'abord présentés, suivi des résultats de simulation sous Isis de Proteus et enfin le système PV sera réalisé.

Chapitre I

Généralité sur les systèmes PV

I.1. Introduction :

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion directe de l'énergie provenant des photons, compris dans le rayonnement solaire, en énergie électrique, par le biais de capteurs fabriqués avec des matériaux sensibles d'ondes du visible (cellules photovoltaïque (PV). L'association de plusieurs cellules PV en série et /ou parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV). Ce GPV a une caractéristique statique courant-tension $I(v)$ non linéaire et présentant un point de puissance maximale (PPM). Cette caractéristique dépend du niveau d'éclairement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble. Le point de fonctionnement du générateur PV peut donc varier entre les points extrêmes correspondant au courant de court-circuit I_{sc} et la tension en circuit ouvert V_{oc} .

La détermination du point de fonctionnement du GPV (générateur photovoltaïque) dépend directement de la charge à laquelle il est connecté. Ce point de fonctionnement est plus ou moins éloigné du PPM qui est caractérisé par le courant et la tension optimaux [4].

I.2. L'énergie solaire

La distance de la terre au soleil est environ 150 million de kilomètres et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300000 km/h [5], les rayons du soleil mettent donc environ 8 minutes à nous parvenir. La constante solaire est la densité d'énergie solaire qui atteint la frontière externe de l'atmosphère faisant face au soleil. Sa valeur est communément prise égale à 1360W/m. Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire est réduite à 1000 W/ m² à cause de l'absorption dans l'atmosphère. Albert Einstein a découvert en travaillant sur l'effet photoélectrique que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie est portée par des particules, les photons. L'énergie d'un photon étant donnée par la relation :

$$E = \frac{h.c}{\lambda} \quad (I.1)$$

H= la constante de planck.

C= la vitesse de la lumière.

Ainsi, plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie du photon est grande [6]

Une façon commode d'exprimer cette énergie est:

$$E = \frac{1.26}{\lambda} \quad (I.2)$$

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 microns (m) [7].

I.3. Les différents systèmes photovoltaïques :

Les systèmes PV sont classés en deux grandes catégories selon la manière dont l'énergie est utilisée:

- Systèmes isolés et autonomes.
- Systèmes raccordés au réseau.

I.3-1. Systèmes isolé autonomes :

Le rôle des systèmes autonomes est d'alimenter un ou plusieurs consommateurs situés dans une zone isolée du réseau électrique.

La Figure (I.1) représente l'exemple d'un système PV autonome. Un système de stockage est associé aux générateurs PV pour assurer l'alimentation à chaque instant et pendant plusieurs jours malgré l'intermittence de la production.

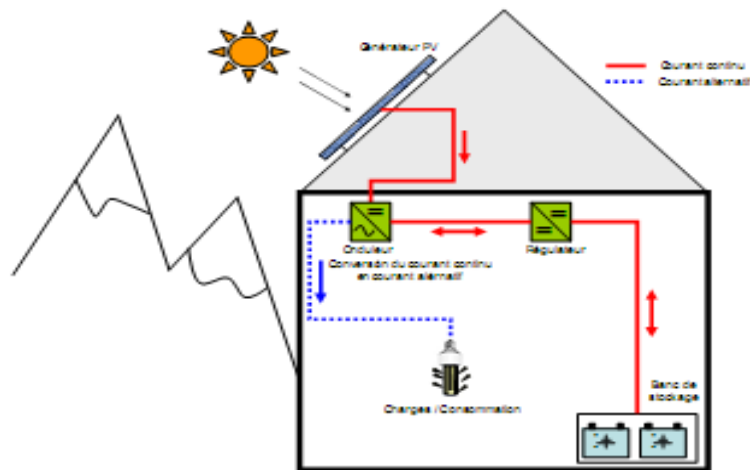


Figure (I.1): Exemple de la structure d'un système PV autonome.

I.3-2. Système connecté au réseau :

La Figure (I.2) représente un système PV connecté au réseau électrique, dont le rôle principal est de contribuer à la production d'électricité d'origine renouvelable sur le réseau. D'un point de vue de la physique, l'énergie produite par les modules est directement consommée par les Charges locales de l'habitat. L'éventuel surplus de production par

rapport à la consommation Instantanée est injecte sur le réseau. Le réseau est utilise en appoint a la production PV.

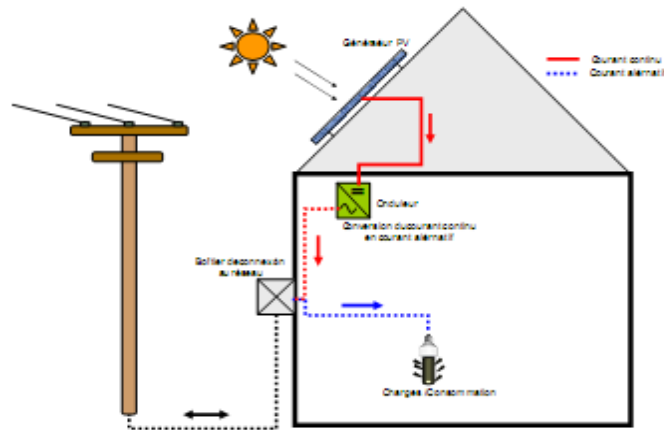


Figure (I.2): Exemple de la structure d'un système PV connecté au réseau [8]

I.4. Avantages et Inconvénients de l'Énergie Photovoltaïque

Les principaux avantages de l'énergie photovoltaïque sont [9] :

- Gratuité.
- Pas de pollution.
- Fiabilité et la longue vie de l'installation.
- Coût de maintenance bas.
- Flexibilité (dimensionnement selon les besoins).
- Installation ne produit aucun bruit.
- Potentiel illimité. 5% de la surface des différents déserts suffiraient pour alimenter la planète entière.

Les inconvénients de l'énergie photovoltaïque sont :

- Coût élevé de l'installation.
- Rendement relativement bas.
- Puissance réduite lorsque les conditions climatiques sont défavorables (nuages).
- Stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire pour une installation autonome.
- Même si l'électricité produite par une installation photovoltaïque est sans pollution, la fabrication, l'installation et l'élimination des panneaux ont un impact sur l'environnement.

I.5. La cellule photovoltaïque

I.5.1. Définition :

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un effet photovoltaïque, Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants.

I.5.2. Principes de fonctionnement

La majorité des cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir du silicium cristallin, car il possède la caractéristique d'être non toxique contrairement au cadmium ou au sélénium, en plus, il permet d'atteindre des efficacités de conversion remarquables, il constitue environ 28% de l'écorce terrestre sous forme de composés (silicates, silice), ce qui en fait une source quasi inépuisable.

La cellule solaire à semi-conducteur est un dispositif permettant de débiter un courant électrique dans une charge externe lorsque celui-ci est exposé à la lumière. Son principe de fonctionnement se résume comme suit:[7].

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au Bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière De potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur Énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent Et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de Potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule. A travers une charge continue, on Peut en plus récolter des porteurs. La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour Un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (V_{OC}). Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit (I_{CC}) et dépend fortement du niveau d'éclairement. La figure (I.3) représentée le principe de fonctionnement d'une cellule. [10]

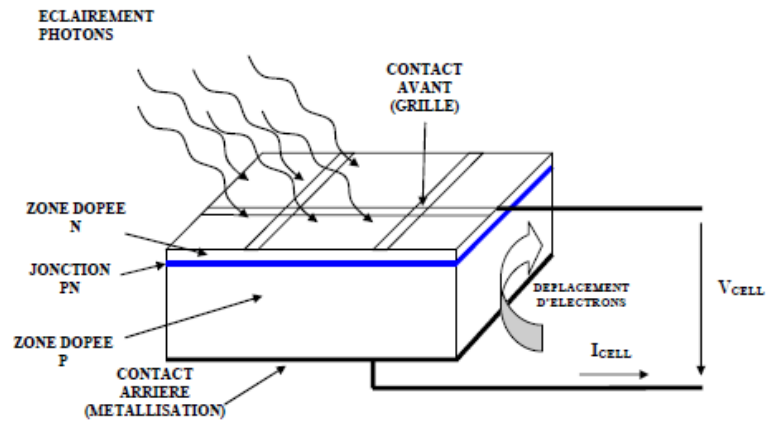


Figure (I.3) : Principe de fonctionnement d'une cellule

I.6. L'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés semi-conducteurs qui produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Le plus connu d'entre eux est le silicium cristallin qui est utilisé aujourd'hui par 90% des panneaux produits dans le monde, mais il existe de nombreuses autres technologies déjà industrialisées comme les couches minces ou en phase de recherche.

Les cellules photovoltaïques exploitent l'effet photoélectrique pour produire de courant continu par absorption du rayonnement solaire. Cet effet permet aux cellules de convertir directement l'énergie lumineuse des photons en électricité par le biais d'un matériau semi-conducteur transportant les charges électriques.

I.7. Les différents types de cellules solaires et leur rendement : [8]

Il existe trois types principaux des cellules :

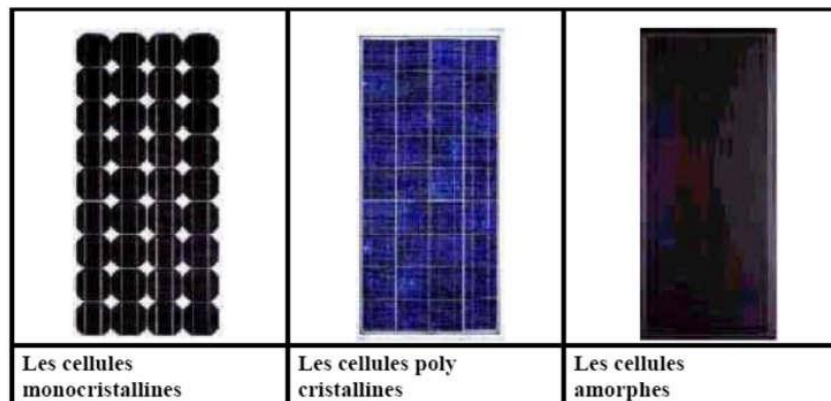


Figure (I.4): Les différents types de cellules solaires.

a) Silicium monocrystallin :

Elles sont issues d'un seul bloc de silicium fondu, elles sont donc très « pures ». Mais sont aussi plus chères à la production, donc au vent. Ces cellules sont en générale octogonales et d'une couleur uniforme foncée (bleu marine ou gris).

La première génération de photopiles est caractérisée par :

- un taux de rendement excellent (12-16%) (23% en laboratoire) ;
- une méthode de fabrication laborieuse et difficile, donc très chère ;
- il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir du cristal pur.

b) Silicium amorphe :

Elles sont produites à partir d'un « gaz de silicium », qui est projeté sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé vaporisation sous vide.

La cellule est gris très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites « solaires », car ce type de cellule est bon marché et la technologie est utilisable sur de nombreux support, notamment des supports souples. Elles sont caractérisées par :

- un coût de production bien plus bas ;
- un rendement plus bas : 8-10% (13% en labo) ;
- une durée de vie plus faible.

C'est le silicium amorphe que l'on trouve le plus souvent dans les produits de consommation comme les calculatrices, les montres etc..... Toutefois, ils réagissent mieux à des températures élevées ou à une lumière diffuse. De plus, les cellules mono et poly-

crystallines sont les types de cellules les plus répandues sur le marché du photovoltaïque (environ 60% de la production).

c) Silicium poly (ou multi-) cristallin :

Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vues de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux. Les cellules sont en générale de forme rectangulaire et sont bleu nuit avec des reflets.

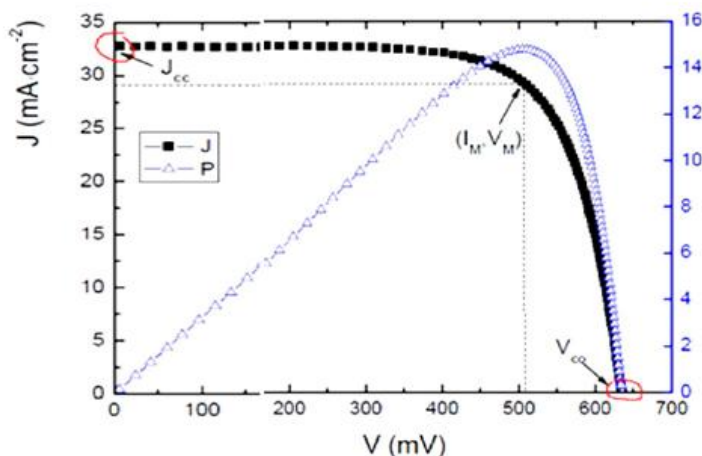
Les caractéristiques des cellules poly cristallines sont:

- Coût de production moins élevé ;
- Procédé nécessitant moins d'énergie ;
- Rendement 11-13% (18% en labo).

I.7.1. Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque :

I.7.1.1. Caractéristique Courant-Tension :

Une cellule solaire est caractérisée par une relation entre la Tension à ses bornes et le Courant qu'elle débite. L'allure de cette relation est indiquée à la figure (I.4) suivante :



Figure(I.5): Caractéristique IV

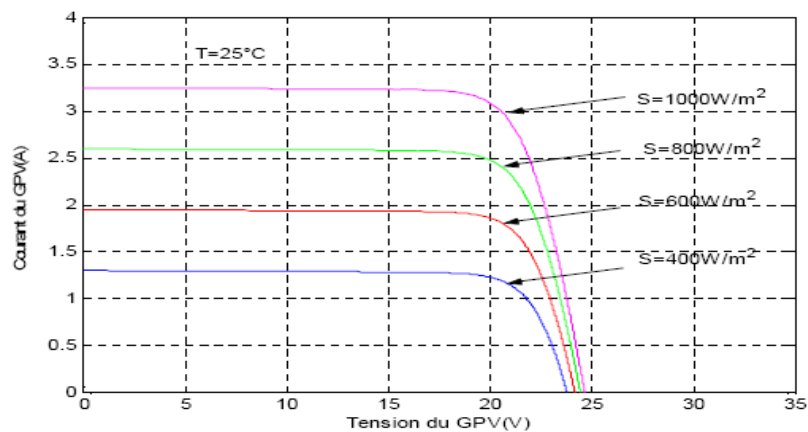
Sur cette courbe, on peut définir plusieurs points remarquables. La tension du circuit ouvert (V_{CO}) et le courant du court-circuit (I_{CC}) de la cellule photovoltaïque. On peut aussi y distinguer un point de puissance maximal: MPP (en anglais : maximal power point) obtenu pour une tension et un courant optimaux : V_{opt} , I_{opt} (parfois appelés aussi V_{mpp} , I_{mpp}) et qui correspond au point cherché par les algorithmes MPPT. La tension fournie par une cellule solaire est assez faible, un peu moins de 0.5 V au point de puissance optimale pour une

cellule au silicium cristallin. Cette tension est insuffisante pour la plupart des utilisations, pour cette raison, il y a des modules qui contiennent habituellement plusieurs cellules connectées en série. Dans ces conditions, le courant que peut débiter le module n'est pas plus grand que celui que peut fournir une cellule. Par contre, la tension du module est la somme des tensions des cellules. Donc, si le module contient n_s cellules identiques éclairées de la même façon, sa tension est n_s fois plus grande que celle d'une cellule [11].

I.7.1.2. Influence de l'Éclairage Solaire :

L'énergie électrique produite par une cellule photovoltaïque dépend de l'éclairage qu'elle reçoit sur sa surface. La figure (I.5) représente la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque avec une température constante.

On remarque que la valeur de courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement [12]. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, elle reste quasiment identique même à faible éclairage. L'irradiation standard, internationalement acceptée, pour mesurer la réponse des panneaux photovoltaïques est une intensité rayonnante 1000 W/m^2 et une température de 25°C .



Figure(I.6) : Courbes I(V) d'un panneau solaire avec température constant

I.6.1.3 .Influence De La Température :

La température est un paramètre important puisque les modules sont exposés au Rayonnement solaire. Les courbes suivantes représentent l'évolution du courant et de la tension en fonction de la température de la cellule durant le même éclairage.

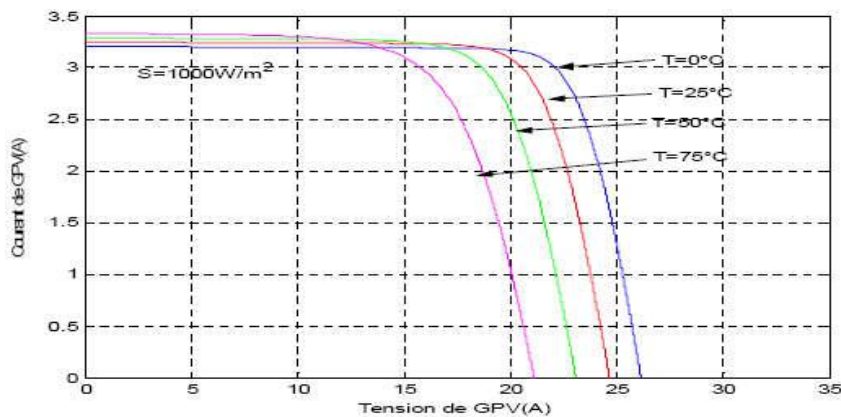


Figure (I.7) : Courbes I(V) d'un panneau à diverses températures

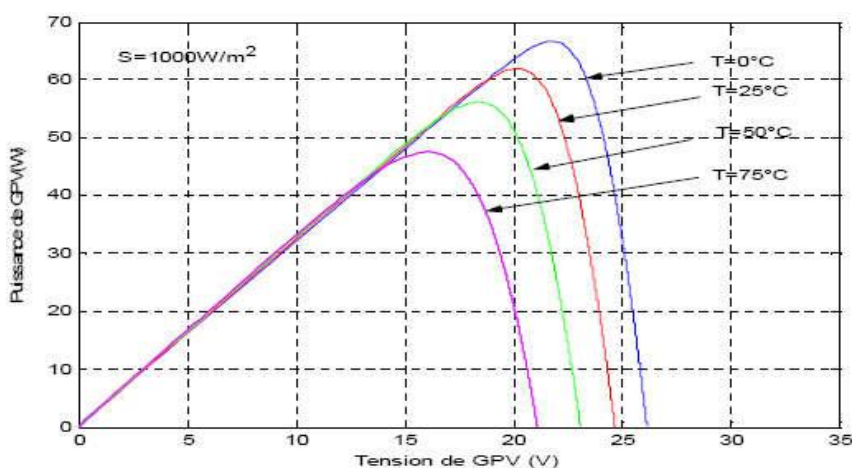


Figure (I.8): Courbes P(V) d'un panneau à diverses températures

On remarque qu'une élévation de la température de jonction des modules solaires Provoque une diminution de la tension et une augmentation du courant.

Dans le cas de cellules au silicium, le courant augmente d'environ $0.025 \text{ mA/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$; Alors que la tension diminue de $2.2 \text{ mV/}^\circ\text{C}$. Plus la température augmente et moins le module est performant.

La puissance électrique produite par un panneau photovoltaïque dépend fortement de L'ensoleillement et à un degré moins important de la température des cellules. Ces deux Variables influençant le comportement du système présentent des fluctuations quotidiennes et Saisonnières. Pour ces raisons, le panneau photovoltaïque ne peut fournir une puissance Maximale que pour une tension particulière et un courant bien déterminé ; ce fonctionnement à puissance maximale dépend de la charge à ses bornes. À cet effet et en fonction du type de cette charge, un dispositif de contrôle devra être intégré dans le circuit de commande du

convertisseur (hacheur ou onduleur). Ce dernier doit être capable de faire fonctionner le panneau photovoltaïque à sa puissance maximale [13].

I.7.2. Association En Série :

Une association de modules en série permet d’augmenter la tension du module Photovoltaïque. Les modules sont alors traversés par le même courant et la caractéristique Résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque Module.

$$V_{OC-NS} = N_s \cdot V_{OC} \text{ avec } I_{CC-NS} = I_{CC} \quad (I.3)$$

V_{OC-NS} : Tension en circuit ouvert pour l’association série

I_{CC-NS} : Courant de court-circuit pour l’association série

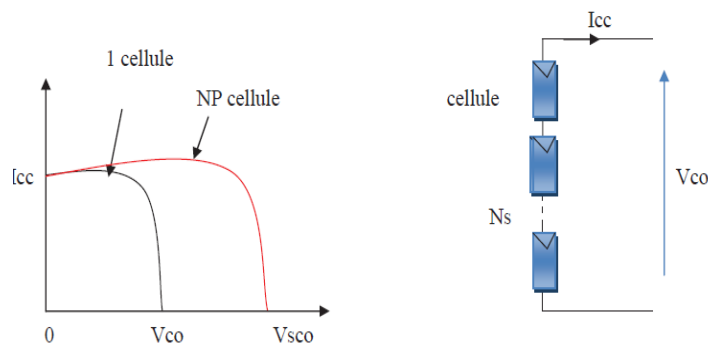


Figure (I.9): Association de panneaux en série

I.7.2. Association en Parallèle

Une association de NP modules en parallèle est possible et permet d’augmente le courant et la tension reste en constant dans un groupement de module identiques connectés en parallèle, les modules sont soumis à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants.

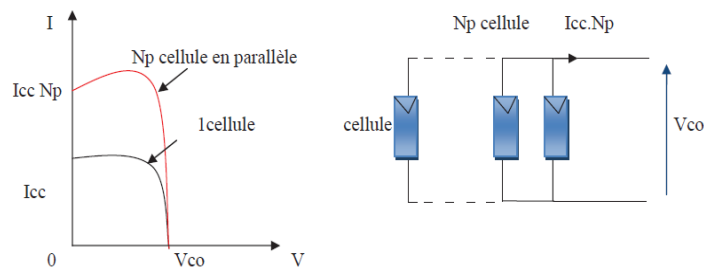


Figure (I.10): Association en parallèle [13]

avec $I_{CC-NP}=N_P \cdot I_{CC}$. $V_{OC-NP}=V_{OC}$ (I.3)

I.8. Le panneau solaire

Le panneau solaire ou (champ solaire) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique. [14]

Le composant le plus crucial de toute installation PV est le module PV, qui se compose de piles solaire interconnectées. Ces modules sont raccordés entre eux pour former des panneaux et des ensembles (champs) de manière à pouvoir satisfaire différents niveaux de besoins en énergie, comme le montre la figure (I.11).

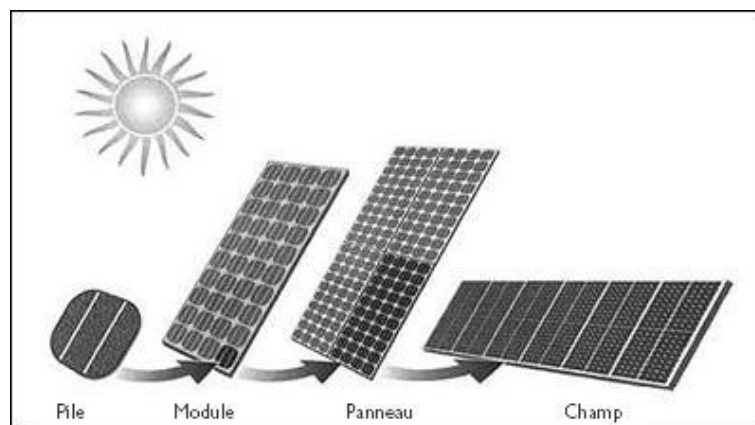


Figure (I.11) : Composants d'un champ de modules PV



Figure (I.12) : La photo d'un panneau photovoltaïque.

I.9. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la modélisation des systèmes photovoltaïque. Tous les éléments ont été introduits afin de permettre une bonne compréhension du fonctionnement des systèmes PV. Afin de faciliter la conception.

Chapitre II

Stockage de l'énergie solaire

II.1. Introduction

Dans un système photovoltaïque, la puissance délivrée par le GPV est imprévisible et varie indépendamment de la demande. Ainsi, pour une installation PV autonome, l'unité de stockage est requise pour assurer un approvisionnement continu en énergie électrique. Parmi les nombreuses technologies de stockage, la batterie au plomb est la plus utilisée dans les installations PV autonomes. Ce type de batterie est connu pour son coût faible, son rendement (environ 85%), ses performances en température (fonctionnement en températures extrêmes), sa longue vie et sa grande disponibilité. Dans ce qui Suit, certaines notions sur les batteries seront définies.

II.2. Le stockage d'énergie

Une batterie solaire est un élément destiné à stocker l'énergie électrique produite par les panneaux solaire sous forme chimique. Les batteries sont indispensables dans les installations autonomes, car les modules photovoltaïques ne fonctionnent qu'en présence de la lumière; pour consommer de l'électricité le soir ou la nuit, il faut que les batteries aient emmagasiné l'énergie électrique journée [15].

II.3. Principe de fonctionnement

Toute batterie est un ensemble d'éléments ou de cellules électrochimiques capable de stocker l'énergie électrique sous forme chimique, puis de la restituer partiellement, par la suite, grâce à la réversibilité des réactions mises en jeu. Ces réactions consistent en des oxydations et des réductions au niveau des électrodes, le courant circulant sous forme d'ions dans l'électrolyte et sous forme d'électrons dans le circuit raccordé à la batterie. La capacité énergétique de la batterie (exprimée en wattheures, Wh) dépend des quantités et de la nature des éléments chimiques compris dans la cellule [16].

L'anode est l'électrode à laquelle l'oxydation (perte d'un ou plusieurs électrons) se produit et à partir de laquelle les électrons vont alimenter le circuit extérieur (la charge). La cathode est l'électrode à laquelle se produit la réduction (gain d'un ou plusieurs électrons), les électrons revenant de la charge arrivent sur cette électrode.

II.4. Les caractéristiques principales d'une batterie

II.4.1. Capacité en ampère heure (Ah):

La capacité de stockage correspond à la quantité d'énergie qui peut être stockée dans une batterie et restituée par celle-ci, les ampères-heure d'une batterie sont simplement le nombre d'ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant. Elle s'exprime en ampère heure (AH)

Théoriquement une batterie de 200Ah peut fournir 200A pendant une heure, ou 50A heures pendant 4heures, ou 4A pendant 50heures. On a ici le choix entre adopter une batterie de la capacité de stockage voulue, ou monter plusieurs circuits de batterie plus petite en parallèle. Il faudra alors s'assurer que chaque circuit de batterie a bien la même tension d'entrée-sortie que les autres. Il existe des facteurs qui peuvent faire varier la capacité d'une batterie tels que [17] :

Rapport de charge/décharge :

La capacité de la batterie est par ailleurs variable suivant la manière dont elle a été chargée et déchargée, c'est-à-dire selon l'intensité du courant de charge ou de décharge. Plus une batterie est chargée(ou déchargée) avec un faible, plus sa capacité est importante. On parle de C10 ou de C100 suivant que le courant de charge ou décharge est égal au dixième ou au centième de la capacité ($I=C/10$ ou $I=C/100$).

Si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.

II.4.2. Température :

Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement ; des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité [16].

II.4.3. La durée de vie :

Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. C'est ce que l'on appelle un nombre de cycles.

Une batterie déchargée de 10% chaque jour (avant d'être rechargée), aura une durée de vie beaucoup plus grande qu'une batterie déchargée quotidiennement de 30%. Cette aptitude au cycle large dépend également du type de batterie [17].

II.4.4. Profondeur de décharge :

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge.

Les batteries de « cycle peu profond » sont conçues pour des décharges de 10 à 15% de leur capacité totale dans chaque cycle. Les batteries de « cycle profond » fabriquées pour les applications PV sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les endommager.

II.4.5. La tension d'utilisation :

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge. La tension nominale d'une batterie dépend du nombre d'accumulateurs placés en série. Un accumulateur du type de ceux qui sont utilisés en photovoltaïque possède entre ses bornes une tension nominale de 2V. Pour les systèmes solaires, les tensions d'utilisation les plus courantes sont 12V, 24V et 48V.

II.4.6. Le rendement :

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

II.4.7. Le taux d'autodécharge :

L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.

Une batterie inutilisée se décharge d'elle-même. Ceci est dû à des phénomènes électrochimiques. Les valeurs courantes d'autodécharge sont de l'ordre de 1% à 10% de la capacité par mois.

II.5. Types d'accumulateurs

Il existe plusieurs types de stockage dans le système PV, on va citer trois types des batteries plus utilisés :

II.5.1. Les batteries au cadmium-nickel (Cd-Ni)

Les batteries nickel-cadmium se décharge à (100%), elles sont plus chère, sont utilisées dans les applications où la fiabilité est vitale. Leur prix est par contre beaucoup plus élevé que pour les batteries au plomb [15].

II.5.2. Les batteries en lithium

Batterie lithium possède de nombreux avantages comparativement aux batteries plombs:

- La batterie est plus compacte
- Poids très faible, réduit de moitié par rapport à une batterie au plomb.
- Recharge très rapide (possible en 1 Heure max)
- Pas de dégagements gazeux, résistantes aux chocs.
- Auto décharge faible 10 % par an max. (contrairement à une batterie normale acide plomb qui se décharge très vite si on ne l'utilise pas un certain temps).

- La capacité de la batterie ne dépend pas du courant de décharge (puissance consommée). Elle reste à 100 % de sa capacité initiale.

- Durée de vie 10 fois plus longue qu'une batterie plomb (3000 cycles)
- Résiste aux températures extrêmes.[16]

II.5.3. Les batteries au plomb (pb) :

La batterie au plomb acide (pb) est la forme de stockage de l'énergie électrique la plus courante, en raison de son coût qui est relativement faible et d'une large disponibilité, elle ne doit jamais être déchargée à plus de 50-80% selon leur type [15].

II.6. Composition d'une batterie solaire plomb-acide :

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de plomb avec une pâte d'oxyde de plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte [17].

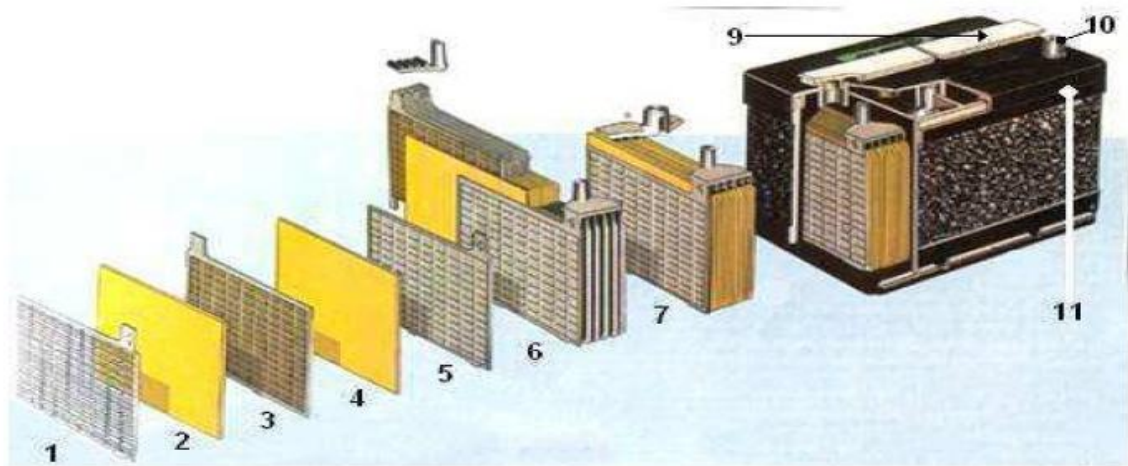


Figure (II.1) : construction d'une batterie monobloc

- | | |
|----------------------|-----------------------|
| 1 : grille. | 6 :Faisceau négatif. |
| 2 : séparateur. | 7 : Élément complet. |
| 3 : plaque positive. | 9 :Rampe de bouchons. |
| 4 : plaque positive. | 10 : Borne. |
| 5 : barrette. | 11 :Bac. |

II.7. Conclusion

Pour les systèmes autonomes utilisant une source renouvelable comme seul apport d'énergie, la présence du stockage est indispensable pour pallier l'intermittence de la production d'électricité. Il existe une grande diversité de moyens de stockage d'énergie, chacun étant adapté à une application donnée, le choix de la technologie employée se porte généralement sur les batteries au plomb qui répondent bien à la problématique du stockage courte durée dans les applications stationnaires isolées. C'est d'ailleurs la technologie la plus utilisée aujourd'hui pour ce type d'applications. Cependant, cette option n'est pas totalement satisfaisante en raison de certaines contraintes liées à leur fonctionnement. Leur hybridation avec un stockage longue durée peut alors constituer une solution alternative, on peut aussi considérer leur remplacement, à moyen terme, par des technologies plus innovantes telles que les batteries au lithium ou le stockage d'énergie à base d'hydrogène.

Chapitre III

Étude les différentes chaînes de conversion

III.1. Introduction :

Les convertisseurs sont des appareils servant à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant en une tension continue différente ou une tension alternative.

L'étude du convertisseur est intéressante dans la mesure où il est utilisé dans la plupart des nouveaux types de sources de production d'énergie dispersée connectée au réseau (éolienne, photovoltaïque.....) [23]. Dans ce chapitre nous présentons les différents types des convertisseurs statiques qu'on peut utiliser dans le système photovoltaïque. Premièrement, nous commençons par les convertisseurs (DC-AC) et leurs différents types, puis les convertisseurs (DC-DC).

III.2. Les onduleurs

Les onduleurs sont des dispositifs d'électronique de puissance permettant de délivrer des tensions et des courants alternatifs, à partir d'une source d'énergie continue.

Les onduleurs sont en général classés selon les modes de commutation de leurs interrupteurs. Deux catégories d'onduleurs sont distinguées : les onduleurs autonomes et les onduleurs non autonomes [21] :

- Un onduleur « autonome » : est un système de commutation à transistors ou à thyristors, de fréquence variable, dont les instants de commutations sont imposés par des circuits externes, la nature de la charge est importante pour cette catégorie d'onduleur. Cet onduleur n'est pas réversible.
- Un onduleur « non autonome » : est un système de commutation à thyristors, à fréquence fixe, dont les instants de commutations à thyristors, à fréquence fixe, dont les instants de commutations sont imposés par la charge. Son fonctionnement est réversible (redresseur et onduleur).

III.2.1. Principe de fonctionnement d'un onduleur

Un onduleur est un dispositif électronique assurant la conversion statique d'une tension/courant continu en une tension/courant alternatif. Il est dit autonome s'il assure de lui-même sa fréquence et sa forme d'onde, deux types d'onduleurs sont donc utilisés pour assurer une telle conversion

III.2.1.1. onduleur monophasé en demi ponté

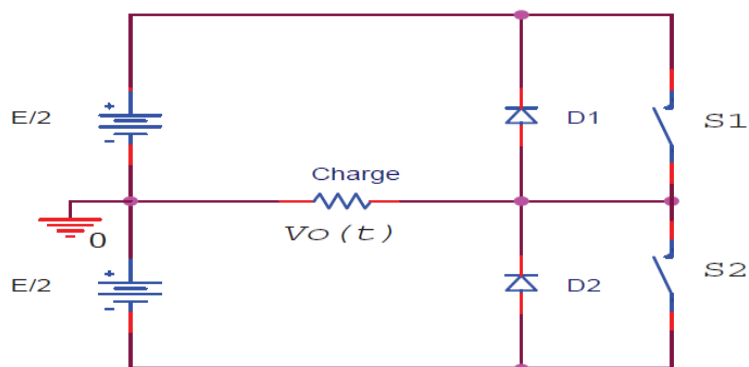


Figure III.1 : schéma de principe d'un onduleur monophasé en demi-pont.

Il est constitué principalement de deux interrupteurs de puissance notés $S1$ et $S2$ à commande complémentaire. La durée de conduction de chacun des interrupteurs est alors d'un demi-cycle 180° correspondant à la fréquence du signal de sortie requis. Lors de la fermeture de l'interrupteur $S1$, la tension aux bornes de la charge serait donc de $+E/2$, et prend la valeur $-E/2$ quand le second interrupteur, $S2$ est fermé.

La conduction simultanée des deux interrupteurs est évitée par l'élaboration d'une commande adéquate qui tient compte des différentes caractéristiques de ces interrupteurs de puissance (temps de montée t_i , temps de descente t_f et temps de stockage t_s). Les diodes $D1$, $D2$, dites de récupération, assurent la conduction d'un courant négatif en cas de déphasage de ce dernier par rapport à la tension aux bornes de la charge [22].

III.2.1.2. Onduleur monophasé en pont

L'onduleur en pont est représenté en figure(III.2) il comporte quatre interrupteurs de puissance désignée par $S1$, $S2$, $S3$ et $S4$ quand les interrupteurs $S1$ et $S2$, sont fermés simultanément la tension imposée aux bornes de la charge prend la valeur $+E$ et $-E$ lors de la fermeture simultanée des deux autres interrupteurs $S3$ et $S4$.

Deux interrupteurs du même bras ne peuvent pas conduire simultanément, à cause d'un court-circuit de la source de tension continu.

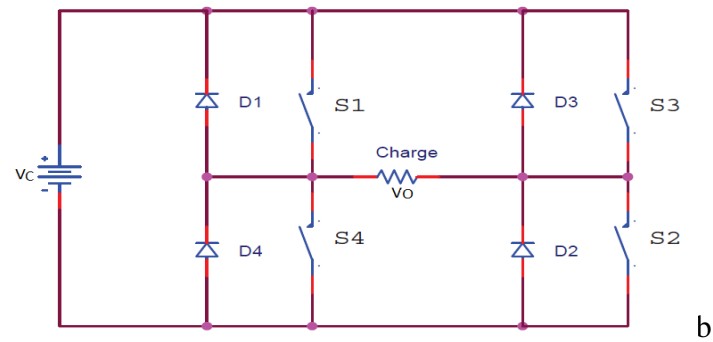


Figure III.2: schéma de Principe d'un onduleur de tension Monophasé en pont.

III.2.1.3. Onduleur triphasé

Ce type d'onduleur est généralement recommandé pour des applications de grande puissance. La structure de tels convertisseurs se fait par l'association, en parallèle, de trois onduleurs monophasés en demi pont(ou en pont) donnant trois tensions de sortie déphasées de 120° degrés, l'une par rapport à l'autre. [23]

III.3. Structure de base des onduleurs autonomes monophasés: [24]

Pour aborder les structures des onduleurs, on caractérise le générateur et le récepteur, continu ou alternatif, de tension ou de courant du point de vue des commutations ; ceci nous conduit à distinguer :

- les onduleurs de tension,
- les onduleurs de courant,

III.3.1. Les onduleurs de tension

Un onduleur de tension est un onduleur alimenté par une source de tension continue. Sa tension V_e n'est pas affectée par les variations du courant qui la traverse, la source continue impose la tension à l'entrée de l'onduleur et donc à sa sortie.

III.3.2. Les onduleurs de courant :

Un onduleur de courant (souvent appelé commutation de courant) est alimenté par une source de courant continu. L'inductance interne de la source est si grand que le courant qui la traverse ne peut être effectué par la variation de la tension à ses bornes, notamment par les

brusques variations correspondants aux commutations, la source continue impose le courant à l'entrée du convertisseur et donc à la sortie.

III.4. Caractéristiques propres à un onduleur pour système photovoltaïque(PV) :

Les onduleurs destinés aux systèmes photovoltaïques sont quelques peu différents des onduleurs classiques utilisés en électrotechnique. Mais l'objectif de conversion AC/DC est le même. La principale caractéristique de l'onduleur PV est la recherche du meilleur point de fonctionnement du système.

L'onduleur de tension impose à sa sortie un système de tensions sous forme de créneaux modulés en largeur d'impulsions (MLI ou PWM en anglais). Ces créneaux ne posent aucun problème pour l'alimentation d'une charge, mais sont incompatibles avec les tensions sinusoïdales du réseau. On place alors entre chaque sortie de l'onduleur et chaque phase du réseau (onduleur monophasé ou triphasé) une inductance qui joue le rôle de filtre et permet à l'onduleur de fournir au réseau des courants quasi sinusoïdaux : d'un point de vue formel elle transforme l'onduleur de tension en onduleur de courant.

III.5. Classification des onduleurs :

III.5.1. Onduleur autonome :

C'est un onduleur conçu pour une application autonome à distance ou hors réseau avec batteries de secours ou l'onduleur est alimenté en courant continu par des batteries chargées par les modules photovoltaïque et le convertit en courant alternatif pour alimenter les charges AC. Les onduleurs autonomes apportent de la variété de taille et de forme de sortie en fonction des applications. Pour un meilleur rendement, l'onduleur à sortie sinusoïdale pure est nécessaire. Il convient pour système solaire, l'électrification rurale, l'électrification des villages dans une région éloignée ou le réseau électrique n'est pas disponible.

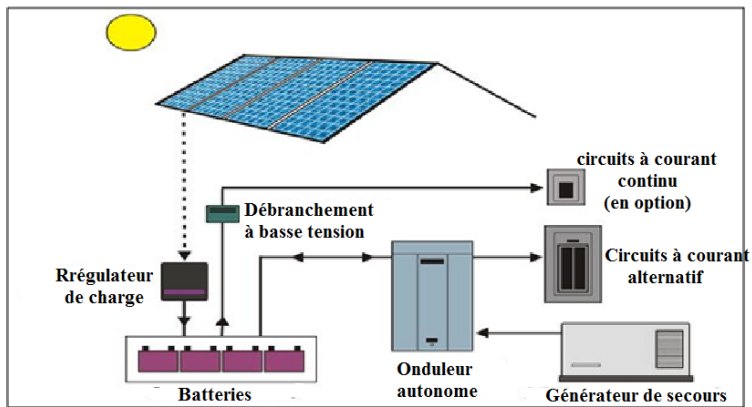


Figure III.3 : schéma d'installation d'un onduleur autonome

III.5.2 L'onduleur pour couplage au réseau électrique

Il est conçu spécifiquement pour les applications raccordées au réseau qui ne nécessitent pas de système de stockage par batteries. L'onduleur convertit le courant continu produit par le générateur PV en un courant alternatif pour alimenter les appareils électriques et la vente d'électricité excédentaire à l'application commerciale réseau. Avec une gamme de tailles disponibles, les onduleurs sont utilisées en partant de la petite application résidentielle jusqu'à la grande application commerciale.

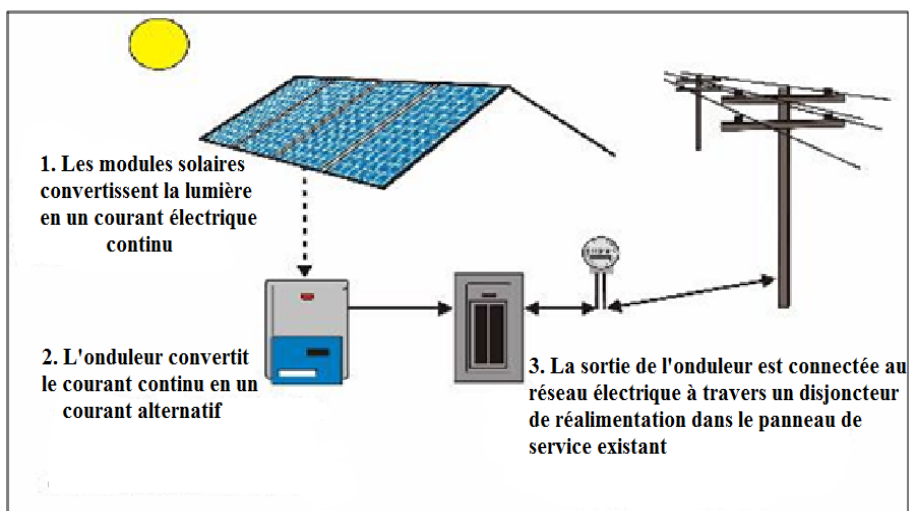


Figure III.4 : Schéma d'installation d'un onduleur couplé au réseau sans batteries de stockage.[25]

III.5.3 L'onduleur hybride

L'onduleur hybride est conçu pour le système d'alimentation hybride qui combine le solaire avec le générateur diesel et d'autres sources d'énergie renouvelables telles que le générateur éolien. Il peut fonctionner soit comme un onduleur autonome ou un onduleur couplé au réseau. Il est relié à la banque des batteries, les lignes du réseau public, le générateur diesel et les appareils ménagers. Il convient de l'utiliser pour l'électrification des villages à distance ou des îles à distance en leur fournissant une énergie fiable en continu sur des sites distants.

III.5.4. les onduleurs multi niveaux :

Depuis de nombreuses années, l'amélioration des dispositifs de puissance est un enjeu important au sein des applications à plus haute densité électrique.

Certaines applications telles que les transports, nécessitent des structures de conversion statique de plus en plus puissantes. Ainsi, il existe une adaptation entre la technologie et la croissance de la puissance à convertir grâce à l'évolution des technologies des composants semi-conducteurs.

III.6. Les convertisseurs DC-DC

Le hacheur est un convertisseur continu/continu permettant de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue à un autre niveau de tension (ou de courant). Son utilisation s'avère nécessaire pour stocker l'énergie photovoltaïque dans les batteries, on a deux topologies de base de circuits de conversion (DC/DC), ils seront décrits dans le paragraphe suivant.

III.6.1. Le convertisseur survolteur (Boost converter)

Un convertisseur survolteur, ou hacheur parallèle, est une alimentation qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur. Ce type de convertisseur peut être utilisé pour alimenter le réseau via un onduleur. Son schéma de base donnée par la figure suivante [25] :

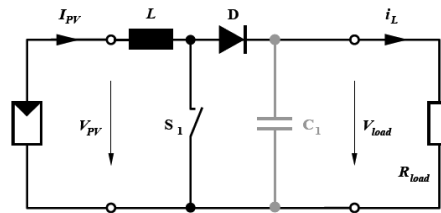


Figure (III.5) : schéma du circuit électrique d'un convertisseur survolteur.

Etat1 :Quand l'interrupteur est fermé durant $[0 ;\alpha T]$, le courant dans l'inductance augmente linéairement selon l'équation. La tension aux bornes de S1 est nulle

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_{pv}}{L} \tag{II.1}$$

Etat2 : pendant la $[\alpha T; T]$ l'interrupteur (S1) s'ouvre et l'énergie emmagasinée dans l'inductance entraine la circulation du courant dans la diode de roue libre D. on a alors $V_{s1}=V_{load}$. En écrivant que la tension aux bornes de l'inductance est nulle, on arrive à :

$$V_{pv} = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T V_{load} dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T V_{load} dt \tag{II.2}$$

Ce qui nous donne :

$$V_{pv}=V_{load}(1-\alpha) \tag{II.3}$$

A pertes minimales

$$P_{load}=P_{pv} \text{ nous avons } V_{load} \cdot I_{load}=V_{pv} \cdot I_{pv} \tag{II.4}$$

$$\text{Donc } (1-\alpha)=\frac{V_{pv}}{V_{load}} = \frac{I_{load}}{I_{pv}} \tag{II.5}$$

III.6.2 convertisseur dévolteur (Buck converter)

un convertisseur buck, ou un hacheur série, est un hacheur qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur. Ce type de convertisseur peut être utilisé pour charger une batterie. Le schéma de principe de ce type de hacheur est donné à la figure suivante [25] :

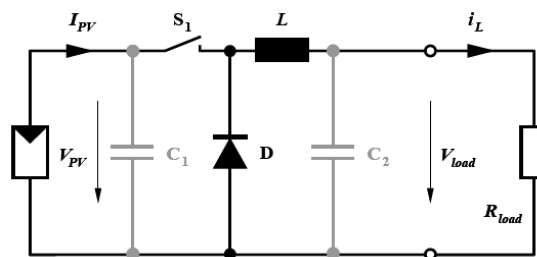


Figure III.6: schéma du circuit électrique d'un hacheur dévolteur.

Si la commutateur S1 est fermé, un courant circule dans le circuit, mais ne passe pas par la diode D puisqu'elle est bloquée. Le courant n'augmente pas immédiatement, mais plutôt linéairement avec un taux d'accroissement imposée par l'inductance L.

Si S1 est ouvert, la charge est déconnectée de son alimentation le courant est toutefois maintenu par l'énergie stockée dans l'inductance L et circule à travers la diode D appelée diode de roue libre. Cette dernière permet d'évacuer l'énergie emmagasinée dans l'inductance à l'ouverture du commutateur sans créer de surtension.

III.7. Avantage de convertisseur Boost

Malgré le rendement élevé du convertisseur buck dans les systèmes avec des sources de puissance conventionnelles, le convertisseur boost peut être plus approprié aux systèmes photovoltaïques avec le suiveur du point de puissance maximale (MPPT) puisque le convertisseur fonctionne en mode courant continu extrayant tant de puissance que possible à partir des cellules solaires. Par conséquent le rendement énergétique du convertisseur boost peut être plus grand que le convertisseur buck. Le convertisseur boost est généralement employé pour obtenir une tension plus élevée de sortie, tandis que le convertisseur buck est employé pou

I.9. Principe de la recherche du point de puissance maximale(MPPT) :

Un MPPT, (maximum power point tracker), est une commande associée à un étage d'adaptation de faire fonctionner un générateur électrique non linéaire de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Les systèmes MPPT sont généralement associés avec les générateurs photovoltaïques.

rabaisser la tension de sortie.

I.9.1 Les algorithmes MPPT

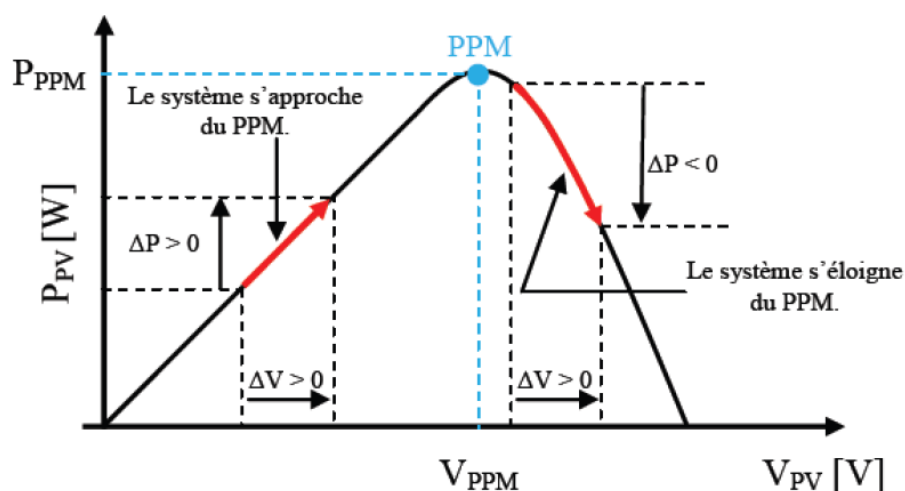
Il existe dans la littérature plusieurs commandes MPPT, toutes ces commandes sont basées en général sur la variation du rapport cyclique du convertisseur statique. Dans ce chapitre nous allons présenter une commande perturbation et observation (P&O) qui est très utilisée dans les systèmes photovoltaïques.

I.9.1.1 La méthode perturbation et observation (P&O) :

La méthode P&O est la plus facile pour la recherche du point de puissance maximal PPM. Dans le cas d'une application photovoltaïque, il s'agit concrètement d'un algorithme qui [26] :

- Pour une tension $U(k)$ fixée va mesurer la puissance correspondante $P(k)$ délivrée par le générateur
- Après un certain temps, l'algorithme impose une tension $U(k+1) = U(k) + \Delta U$ et mesure également la puissance correspondante $P(k+1)$,
- Si $P(k+1)$ est supérieure à $P(k)$: l'algorithme cherche à imposer une tension plus grande $U(k+2) = U(k+1) + \Delta U$. Sinon l'algorithme cherchera au contraire à abaisser la tension $U(k+2) = U(k+1) - \Delta U$

La trajectoire de la variation de ces points est représentée sur la figure(I.12)



Figure(I.13) : puissance disponible en fonction de la tension aux bornes d'un panneau solaire

Les étapes de la recherche du point optimal sont illustrées dans le diagramme de la figure(I.14)

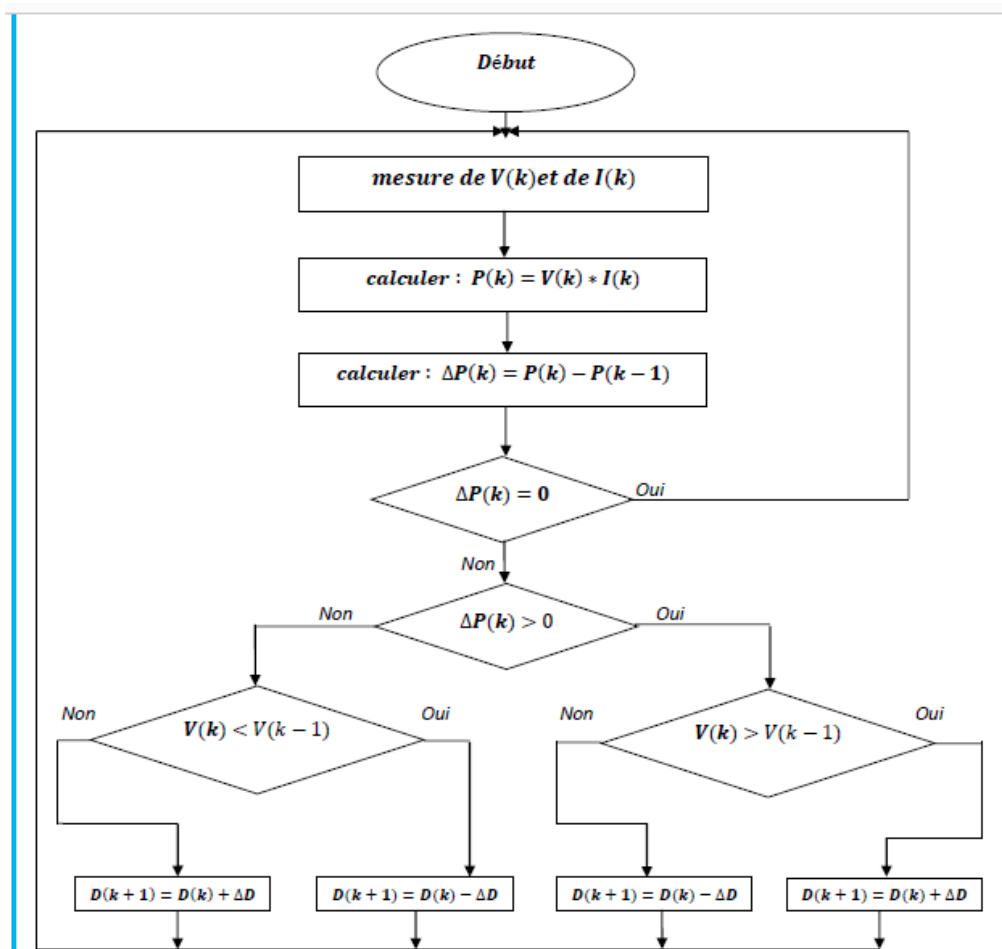


Figure I.14 : diagramme fonctionnel algorithme « perturbation et observation »

La méthode P&O est aujourd'hui largement utilisée de par sa facilité d'implémentation, cependant elle présente quelques problèmes liés aux oscillations autour du PPM qu'elle engendre en régime établi car la procédure de recherche PPM doit être répétée périodiquement, obligeant le système à osciller en permanence autour du PPM, une fois ce dernier atteint. Ces oscillations peuvent être minimisées en réduisant la valeur de la variable de perturbation. Cependant, une faible valeur d'incrément ralentit la recherche du PPM, il faut donc trouver un compromis entre la précision et la rapidité. Ce qui rend cette commande difficile à optimiser [27]

II.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les caractéristiques électriques des convertisseurs statiques (DC-DC/ DC-AC). Nous nous sommes basé sur des convertisseurs de tension (onduleur) dans le but de l'utiliser dans le chapitre suivante.

Chapitre VI

La réalisation d'un système de basculement a base d'une carte Arduino Uno

VI.1. Introduction

Ce dernier chapitre sera consacré à la réalisation d'un système photovoltaïque. Nous présentons en premier temps les cartes arduino utilisées pour commander les systèmes PV. Ensuite, on présente les différents composants du système tel que le module PV, le relais, le transistor, la carte arduino uno, nous faisons des simulations et tests pratiques du système ainsi de ses composants.

VI.2. Carte Arduino

Les cartes Arduino sont conçues pour réaliser des prototypes et des maquettes des Cartes électroniques pour l'informatique embarquée. Elles sont entièrement libres de droit, autant, Sur l'aspect du code source (*Open Source*) que sur l'aspect matériel (*Open Hardware*). Ainsi, il est possible de refaire sa propre carte Arduino dans le but de l'améliorer ou d'enlever des fonctionnalités inutiles au projet. Le langage Arduino se distingue des langages utilisés dans l'industrie de l'informatique embarquée par sa simplicité. En effet, beaucoup de bibliothèques et de fonctionnalités de base occulte certains aspects de la programmation de logiciel Embarquée afin de gagner en simplicité.

VI.2.1. Description de la carte Arduino Uno

L'Arduino est une famille de cartes électronique 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.

La carte Arduino Uno est la première version stable de carte Arduino. Elle possède Toutes les fonctionnalités d'un microcontrôleur classique en plus de sa simplicité d'utilisation. Elle utilise une puce ATmega328 cadencée à 16 Mhz. Elle possède 32ko de mémoire flash destinée à recevoir le programme, 2ko de SRAM (mémoire vive) et 1 ko d'EEPROM (mémoire morte destinée aux données).

Elle offre 14 pins (broches) d'entrée/sortie numérique (donnée acceptée 0 et 1) dont 6 Pouvant générer des PWM (*Pulse width Modulation*). Elle permet aussi de mesurer des Grandeurs analogiques grâce à ces 6 entrées analogiques. Chaque broche est capable de Délivré un courant de 40 mA pour une tension de 5V. Cette carte Arduino peut aussi S'alimenter et communiquer avec un ordinateur grâce à son port USB. On peut aussi L'alimenter avec une alimentation comprise en 7V et 12V grâce à son connecteur Power Jack.[8]

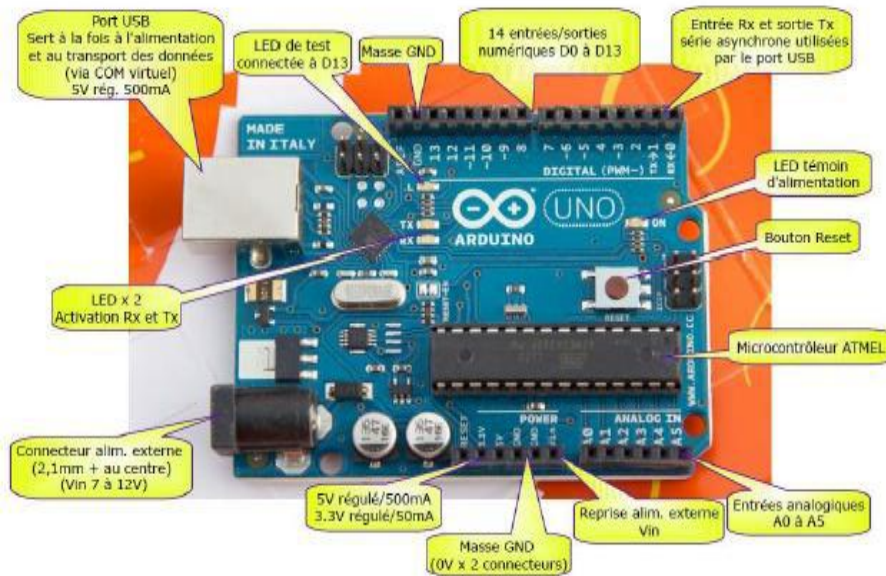


Figure VI.1 : Description d'une carte Arduino Uno

VI.2.2. Alimentation de la carte Arduino :

Pour assurer un bon fonctionnement de la carte Arduino peut-être alimentée par une tension de 9V à 12 V soit à l'aide d'une alimentation externe ou bien utilise la connexion USB (qui fournit 5V jusqu'à 500mA) avec un PC. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par l'Arduino. Le choix d'une alimentation externe (non-USB) peut être soit un adaptateur secteur (de 5V à 12V sous 500mA) ou des piles. L'adaptateur secteur peut être connecté en branchant une prise 2.1mm positif au centre dans le connecteur de la carte.

La carte peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si la carte est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V et la carte pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la carte pourrait chauffer et endommager la carte. Aussi, la plage idéale recommandée pour alimenter la carte est entre 7V et 12V.

VI.2.3. Entée sortie de la carte Arduino:

La carte Arduino Uno est dotée de : 6 entrées analogiques, 14 entrées/sorties numériques dont 6 peuvent assurer une sortie PWM, chacune des entrées/sorties de la carte ne peut pas délivrer plus de 20 mA.

VI.2.3.1. Les entrées analogiques:

Les entrées analogiques permettent de mesurer une tension variable (entre 0 et 5 V) qui peut provenir de capteurs ou d'interfaces divers (potentiomètres, etc.)

VI.2.3.2. Les entrées/sorties numériques:

Reçoivent ou envoient des signaux « 0 » ou « 1 » traduits par 0 ou 5 V. On décide du Comportement de ces connecteurs (entrée ou sortie) en général dans l'initialisation du programme.

VI.3. Langage de programmation

Langage Arduino est inspiré de plusieurs langages. On retrouve notamment des similarités avec le C, le C++, le Java et le Processing. Le langage impose une structure particulière typique de l'informatique embarquée. La fonction setup contiendra toutes les opérations nécessaires à la configuration de la carte (directions des entrées sorties, débits de communications série, etc.). La fonction « loop » est exécutée en boucle après l'exécution de la fonction setup. Elle continuera de boucler tant que la carte n'est pas mise hors tension, redémarrée (par le bouton reset). Cette boucle est absolument nécessaire sur les microcontrôleurs étant donné qu'ils n'ont pas de système d'exploitation. En effet, si l'on omettait cette boucle, à la fin du code produit, il sera impossible de reprendre la main sur la carte Arduino qui exécuterait alors du code aléatoire [28].

VI.4. Systèmes de basculement proposé

La figure (IV.2) représente le schéma synoptique du système de basculement que nous allons placer dans un onduleur hybride. Ce système est composé d'un module photovoltaïque, une batterie, un chargeur, un relais et trois transistors de type NPN et une carte Arduino.

Dans notre réalisation et par faute d'encombrement nous avons remplacé quelques sources (batteries, réseau) et la charge par des composants plus petit et des sources issues de la carte arduino elle-même. Et on varie les tensions de sorte à simuler ces composants. En va varier la tension avec des potentiomètres. Et en ajoute la LED verte pour indiquer que la batterie se déchargé, la LED rouge2 pour indiquer que la batterie est en charge. Les trois LED (LEDP, LEDR, LEDB) représentent les tensions des trois sources respectivement

(générateur PV, réseau électrique et les batteries), et la LED bleu pour montrer la charge. Mais le principe avec les composants essentiels est défini comme :

Les tension des trois entrées sont abaissées et injectées dans les entrées de l'arduino qui va suivre l'évolution de celles-ci. Si elle détecte une tension suffisante pour charger aux bornes de panneau, l'Arduino envoie un ordre pour alimenter et pour charge les batteries par le système PV. Si la tension des panneaux diminue avec la présence d'électricité sur le réseau, l'Arduino envoie un ordre pour alimenter et charger les batteries via le chargeur si dernières sont déchargées. Si non l'Arduino envoie un ordre pour alimenter la batterie.

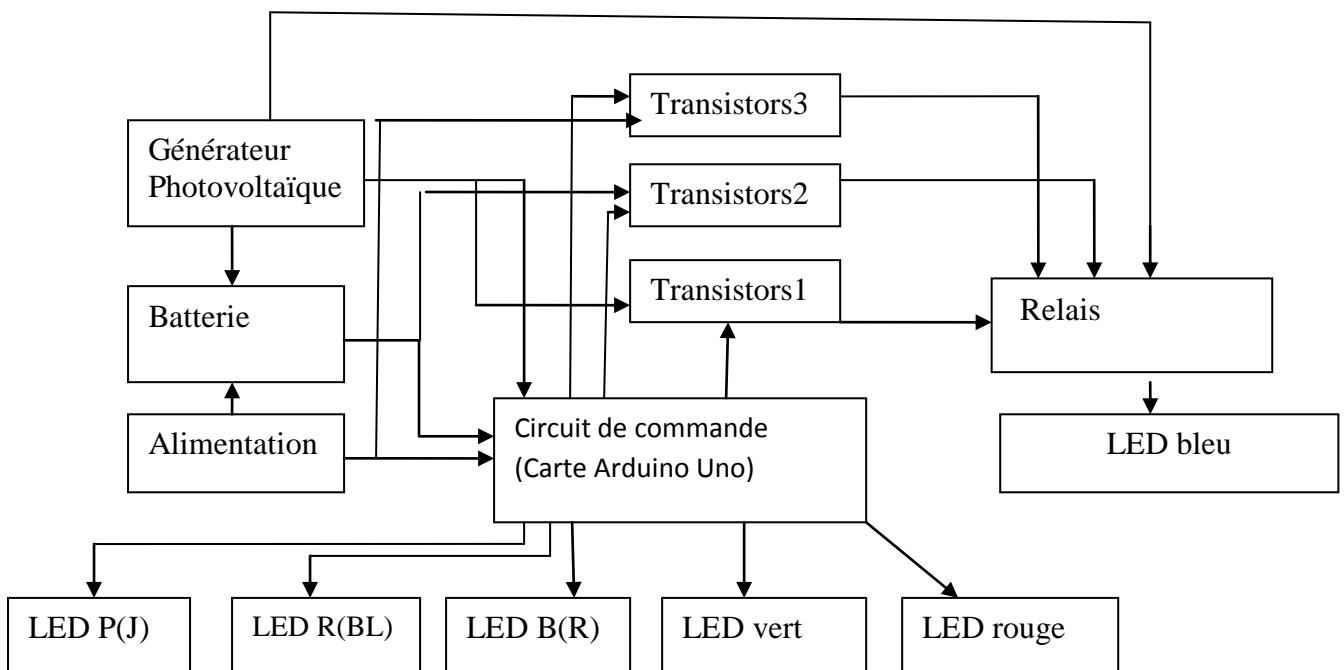


Figure VI.2 : schéma synoptique du système photovoltaïque

Dans cette partie, nous présentons l'étude des différents composants du système PV, tel que le module PV, le relais, le transistor, le LED. Dans ce mémoire, on a choisi une carte d'entrée/sorties de type Arduino Uno.

Le développement sur Arduino est très simple. Un code d'application, avec des fonctions et des libraires spécifiques à Arduino (gestions des E/S), on relie la carte Arduino au Pc et on transfère le programme sur la carte et on finit par utiliser le circuit.

VI.4.1 Module photovoltaïque :



Figure VI.3 : la photo de panneau utilisée

Les caractéristiques de panneau :

- Les cellules solaires sont enveloppées par un cadre extérieur durable en POLY
- Le type : est de silicium poly cristallin
- Tension de travail : max 5V.
- Le courant de travaille : max 0-110MA
- La puissance : 0.6W

VI.4.1. Le relais

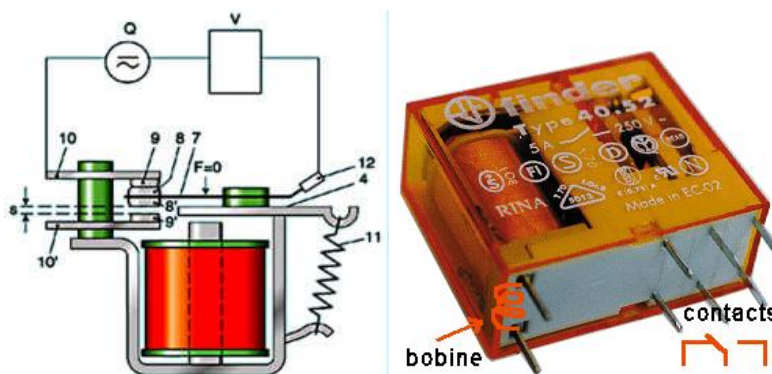


Figure VI.4: principe de fonctionnement du relais.

Un relais électronique est un interrupteur qui commande avec une tension continue de faible puissance. La partie « interrupteur » sert à piloter des charges secteur de forte puissance. Permettant de dissocier la partie puissance de la partie commande : il permet l'ouverture et la fermeture d'un circuit électrique par un second circuit complètement isolé.

Dans ce travail nous avons utilisé un relais de 5 v. Il dispose de contacts NO (normalement ouvert) et NC (normalement fermé). Idéal pour contrôler tout appareil électrique à partir d'une commande par impulsion de 5V, il dispose des connecteurs suivants :

- +5V et GND : permet la commande du relais
- COM : borne commune
- NO : normalement ouvert
- NC : normalement fermé

VI.4.3. Le transistor bipolaire

Le transistor bipolaire est un composant à base de semi conducteur qui remplit deux fonctions vitales en électronique : celles d'amplificateur (c'est un générateur de fort courant en sortie commandé par un faible courant en entrée) et de commutateur (à la manière d'un interrupteur marche/arrêt). Constitué de 2 jonctions P_N, très proche l'une de l'autre. Il est formé de 3 zones (N_P_N ou P_N_P selon son type), chaque zone est reliée à une électrode : base (B), émetteur (E), collecteur (C). Dans notre travail on utilise le transistor S8050 SON

sont caractéristique

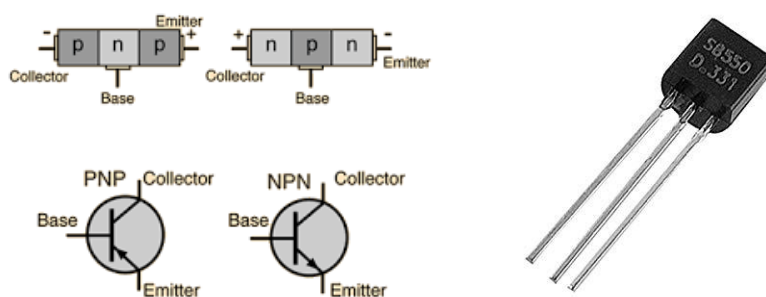


Figure VI.5: schème électrique d'un transistor bipolaire

VI.4.4. Les LED :



Figure VI.6 : la photo des LED

Une LED (diode électroluminescente) est un dispositif optoélectronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Nous avons utilisée 6 LED (rouge, blanche, jaune, vert et le bleu).

VI.5. Simulation du système PV sous proteus

La simulation du système de basculement sous l'environnement proteus est représentée par la figure (IV.6). Les résultats de simulation montrent que le système fonctionne simultanément avec un panneau solaire ou avec un réseau ou avec une batterie, et tout ça commandé par un Arduino. La priorité aux système solaire PV, s'est t-à-dire, si le générateur PV délivre une tension supérieur à 4V, la LED jaune va s'allumer (sa veux dire que les panneaux délivrent une tension) et si la tension de la batterie est faible, la LED verte est allumée (la batterie se charge),alors si la tension du panneau est inferieur à 4V et celle du réseau électrique est supérieur à 4V (sur les entrées de l'arduino), la LED blanche s'allume (existence de la tension dans le réseau), et si la batterie est déchargée alors la LED rouge est allumée ; c'est le signe que la batterie se charge via le réseau. Si non si la tension du panneau est faible et celle de réseau nulle, la LED verte est allumée, le système s'alimente à partir des batteries. La LED bleu représente le circuit de charge (allumée en présence de la charge).

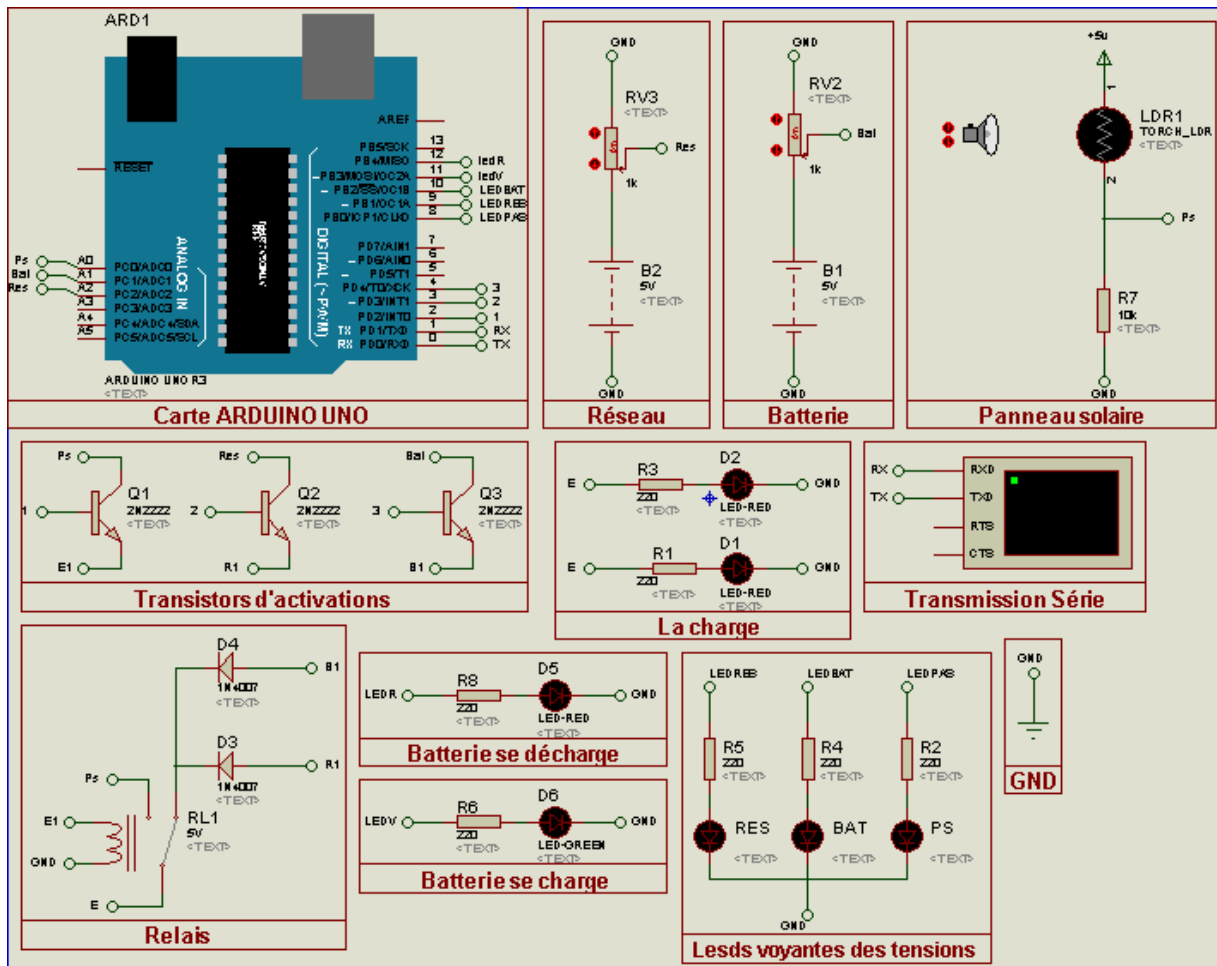


Figure VI.7 : schéma globale du système photovoltaïque sous proteus

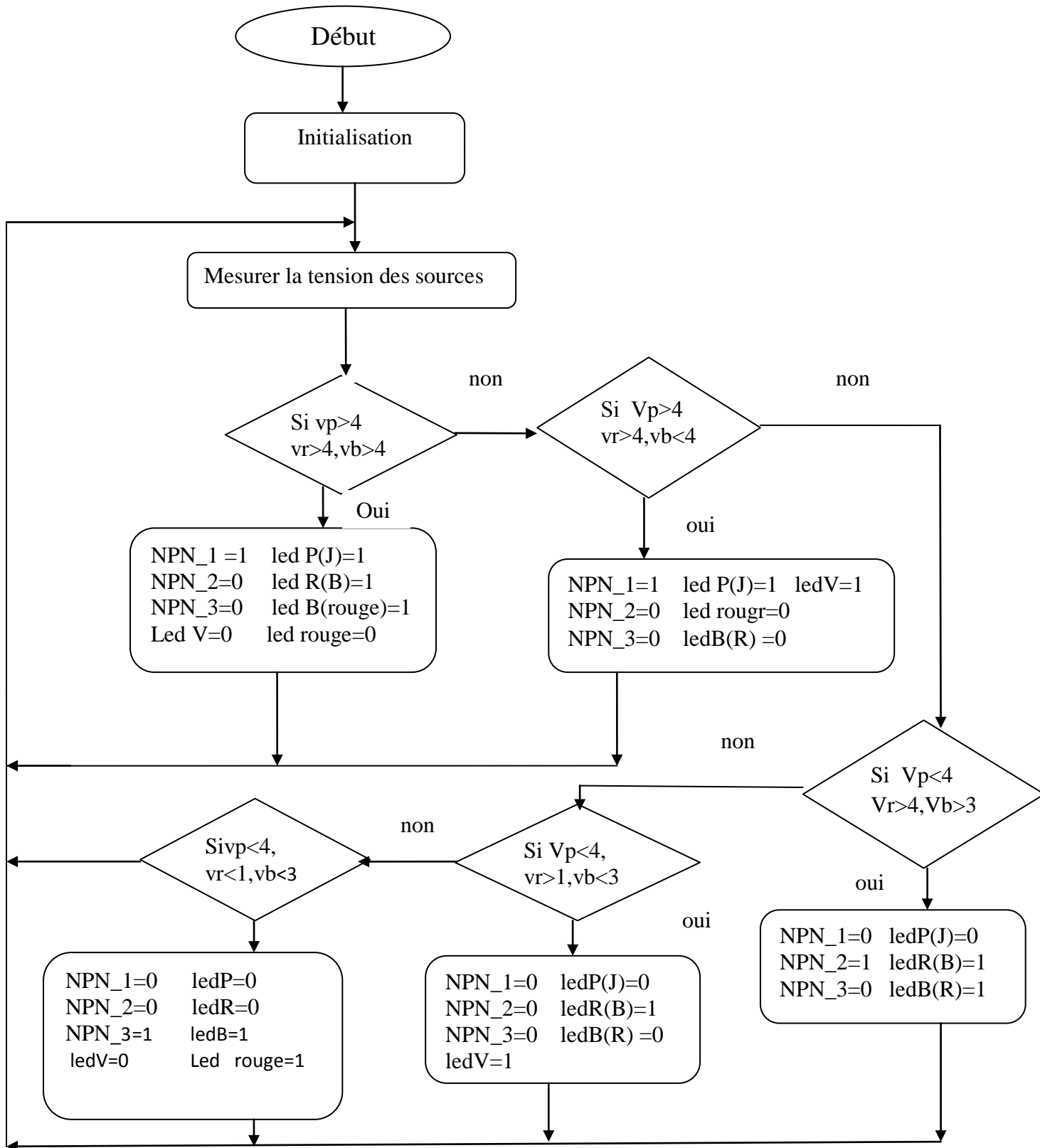


Figure VI.8: l'organigramme de système de basculement sous l'interface Arduino.

VI.6 .La photo de réalisation

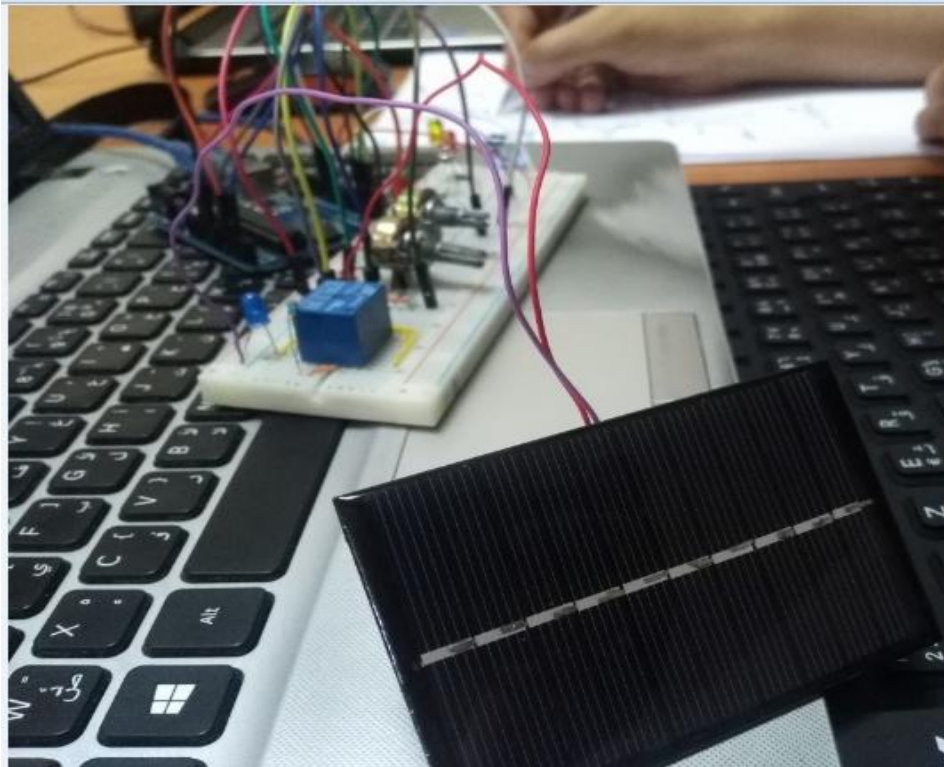


Figure VI.9 : la photo de réalisation

VI.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé un système de basculement à base d'une carte Arduino Uno. Nous avons présenté les cartes Arduino utilisées pour commander le système PV. Ensuite, nous avons fait un bref aperçu sur les différents composants du système, tel que le module PV, la batterie, les relais, les transistors NPN.

D'après les résultats obtenus de la simulation sous Proteus et des tests pratiques, on remarque que le système de basculement, il s'arrête pas, dans l'onduleur avec une option de basculement fonction tous les jours.

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous proposons un système de basculement intelligent pour les onduleurs PV, dans le but de pouvoir faire fonctionner un système d'une manière continue avec des systèmes d'alimentation différents. Le principe du système est de réaliser un basculement entre trois sources d'énergies différentes (générateur PV, réseau électrique et la batterie). Nous avons alors fait une simulation sous proteus et une réalisation du système à base d'une carte Arduino Uno.

D'après les résultats obtenus, nous avons obtenu un système de basculement et qui transfère la puissance fournie par le module PV à la charge. En suite, si le rayonnement solaire est faible (presque nulle), la charge alimentée par la tension délivrée par le réseau électrique, si non, la charge est alimentée par la batterie.

Comme perspective à ce travail, nous proposons de développer notre réalisation pour différents types d'onduleurs.

Bibliographies et Annexe

Références bibliographiques

- [1] S. BACHA..Couplage onduleurs photovoltaïques et réseau, Thèse de doctorat.
- [2] Ait Belkacem. Topologie des onduleurs étude et synthèse. Mémoire de magister 02/10/2012.
- [3] Pierre Lefranc, « Étude, conception et réalisation de circuits de commande d'IGBT de forte puissance », Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 2005.
- [4] M. L LOUAZENE « Etude Technico-économique d'un Système de Pompage Photovoltaïque sur le Site de Ouargla » Thèse de magistère, Université de Batna 2008.
- [5] K. Kassmi., M. Hamdaoui et F. Olivie 'Conception et modélisation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT analogique', Université de Maroc, revue des énergies renouvelables, pp 451 – 462, 2007.
- [6] S. abada ' Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic', Mémoire Maître es Sciences, Université laval, 2011.
- [7] J. Royer et T. Djiako et E. Schiler, B. Sadasy. ' Le pompage photovoltaïque', université d'Ottawa, 1998
- [8] B. Ibrahim. (2011/2012). Modélisation et commande d'un système de stockage photovoltaïque. Mémoire de magister.
- [9] kininger, « Photovoltaic systems Technology », University of Kassel, 2003.
- [10] Archive ouvert : conception et réalisation de modules photovoltaïque- Angel cid Pasto
- [11] F. Lasnier ; TG.Ang.(photovoltaïque engineering Handbook).
- [12] A. Mohamed.(06/05/2015). Etude et Simulation d'une UPS hybride, Université Mohamed Khidar- Biskra.
- [13] M. Mustapha Belarbi.(10/09/2015). Contribution à l'étude d'un générateur solaire pour site autonome

[14] C. Bernad, J. Chaivin, D. Lebrun, J. FMuraz, P. Stassi « Station solaire autonome pour l'alimentation des antennes de l'expérience de radio détection pierre Auger ».2006

[15] T. Fogelman, « Système Photovoltaïque Pour les Pays en Développement », Manuel

[16] T. Boussoukaia, « Optimisation d'Un Système de Pompage Photovoltaïque (PPV) à Based'Un Microprocesseur », Thèse de Magister, Université de Tlemcen, 2001.

[17] I. Tsuda, K. Kurokawa, K. Nozaki, « Annual Simulation Results Of Photovoltaic System With Redox Flow Battery », solar Energy Materials and solar cells 35, pp 503 – 508, 1994.

[18] A. Zerga, F. Benyarou et B. Benyousef « Optimisation du Rendement d'Une Cellule Solaire NP Au Silicium Monocristallin » Rev. Energ. Ren : physique Energétique (1998pp.95-100).

[20] Dirk Uwe Sauer, « Electrochemical Storage for Photovoltaics », Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany, 2004.

[21] <P.Lachauvinière, fichier convertisseur statique communication technique.

[22] I. Tsuda, K. Kurokawa, K. Nozaki, « Annual simulation results of photovoltaic system with redox flow battery », solar Energy Materials and solar cells 35, pp 503 – 508, 1994.

[23] Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque. Mémoire de master 27/06/2012

[24] O. Belabbassi, M. Rezma 'Contribution a l'étude et dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque / réseau sone gaz' mémoire d'ingénieur d'état université de Laghouat, 2011.

[25] Y. Chéron, " La commutation douce dans la conversion statique de l'énergie électrique" Technique et Documentation- Lavoisier 1989.

[26] www.cmhc-schl.gc.ca/ 2018

[27] V. Boitier, P. Maussion, C. Cabal 'Recherche du maximum de puissance sur Les générateurs photovoltaïques', Université de Toulouse, revue 3E. I, N°54, pp 90-96, septembre 2008

[28]

[29] C:\Users\CBS Computer\ Documents\ Les transistors– Circuit Électronique.html
21/09/2018 20 :32