



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de génie électrique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
Automatique  
Automatique et informatique industriels

Réf. : .

---

Présenté et soutenu par :  
**SAOULI RAMZI**

Le : samedi 23 juin 2018

## REALISATION PRATIQUE D'UN GENERATEUR PV CHARGE RESISTIVE

---

### Jury :

Mr	DHIABI FATHI	MAA	ST	Président
Mr	GUETTAF ABDERAZZAG	MCA	ST	Encadreur
Mr	ARIF ALI	MCA	ST	Examineur

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Automatique

**Option** : Automatique et informatique industrielle

**Mémoire de Fin d'Etudes**  
**En vue de l'obtention du diplôme:**

**MASTER**

*Thème*

**REALISATION PRATIQUE D'UN GENERATEUR  
PV CHARGE RESISTIVE**

**Présenté par :**  
**SAOULI Ramzi**

**Avis favorable de l'encadreur :**  
**GUETTAF Abderrazag**

**Avis favorable du Président du Jury**  
**DHIABI fathi**

**Cachet et signature**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrique

Filière : Automatique

Option : Automatique et informatique industrielle

*Thème :*

## REALISATION PRATIQUE D'UN GENERATEUR PV CHARGE RESISTIVE

Proposé par : GUETTAF Abderrazag

Dirigé par : GUETTAF Abderrazag

### RESUME (ARAB / FRANCAIS)

#### الملخص

هذه المذكرة انجزت انطلاقا من مسالة المتمثلة في التحكم و تسيير الاستطاعة المتوفرة من المولد الكهروضوئي باستعمال التحكم المبرمج مستعملا لوحة arduino, بداية الدراسة متمثلة في نظرة عامة على العناصر بخصائصها التي تستعمل في هذا النوع من الانظمة و التصميم و كتابتها رياضيا.

الهدف من هذه الدراسة هو استعمال طريقة الاضطراب و الملاحظة مستعملا نظام التحكم و المعالجة MPPT, في هذا الجزء من العمل ركزنا على المحاكاة و التطبيق حتى نستطيع من دراسة استجابة النظام في الحالة الديناميكية و اختيار العناصر المناسبة.

و لقد تحصلنا على نتائج مرضية حسب عمل البرنامج مع التحكم في المحول الرفع مستمر/مستمر و هذا يعود الى المخطط المحصل عليه.

#### الكلمات المفتاحية :

المولد الكهروضوئي, لوحة arduino, التصميم, نظام التحكم و المعالجة MPPT, طريقة الاضطراب و الملاحظة, المحاكاة و التطبيق, المحول الرفع مستمر/مستمر.

## **RESUME**

Ce mémoire est réalisé à partir d'une problématique de contrôle et de gestion de puissance d'un module générateur PV par une commande programmée utilisant la carte arduino. Le début de l'étude a fait l'objet d'une vue générale sur les éléments avec leurs caractéristiques qui sont utilisés dans ce type de système et leur modélisation. Le but de cette étude est d'utiliser la méthode « perturbation et observation » utilisant le système de contrôle et traitement MPPT. En cette partie le travail a été focalisé sur la simulation du système et sa réalisation afin d'étudier le comportement du système dynamique et choisir les paramètres techniques adéquats. Enfin nous sommes arrivés aux résultats satisfaisants que ce soit la gestion de programme et le fonctionnement du convertisseur boost DC/DC et cela est confirmé graphiquement.

### **Mots clé :**

Générateur PV, la carte arduino, modélisation, la méthode « perturbation et observation », contrôle et traitement MPPT, la simulation, réalisation, convertisseur boost DC/DC,

# Remerciement

Au préambule de ce mémoire je remercie ALLAH qui m'a aide et donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude. je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères a mes parents et plus particulièrement a mon père qui était a tout moment a ma demande et aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

je tiens à remercier sincèrement Mr GUETTAF Abderrazeg, en tant qu'encadreur, qui à toujours été a mon écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire. Merci à tous.

# Sommaire

## Introduction générale

### CHAPITRE I : Système photovoltaïque

I.1. Introduction.....	2
I.2 énergies renouvelables.....	3
I.3 Les cinq grands types d'énergies renouvelables.....	3
I.3.1 L'énergie solaire photovoltaïque ou thermique.....	3
I.3.2 énergie éolienne.....	5
I.3.3 L'énergie hydraulique.....	5
I.3.4 L'énergie biomasse.....	6
I.3.5 la géothermie.....	6
I.4 Historique de la photovoltaïque.....	7
I.5 Le solaire photovoltaïque.....	7
I.5.1 Principe de fonctionnement.....	7
I.6 Création d'une jonction.....	8
I.6.1 La jonction.....	8
I.7 Les différents types de cellules photovoltaïques.....	9
I.7.1 Technologies des cellules.....	9
I.7.1.1 Cellule de 1 <sup>er</sup> génération.....	9
I.7.1.2 Cellule de 2 <sup>ème</sup> génération.....	10
I.7.1.3 Cellule de 3 <sup>ème</sup> génération .....	11
I.8 Montage des cellules photovoltaïques.....	13

<b>I.8.1 Schéma synoptique de panneau solaire.....</b>	<b>13</b>
<b>I8.1.1 protection du PV.....</b>	<b>13</b>
<b>I.8.2 Champ photovoltaïque.....</b>	<b>13</b>
<b>I.9 Constitution d'une station photovoltaïque.....</b>	<b>14</b>
<b>I.9.1 Types de station photovoltaïque.....</b>	<b>14</b>
<b>I.9.2 Station photovoltaïque.....</b>	<b>15</b>
<b>I.9.3 Principe de fonctionnement.....</b>	<b>16</b>
<b>I.10 Conclusion.....</b>	<b>16</b>

## **CHAPITRE II : Modélisation du système pompage photovoltaïque**

<b>II.1 introduction.....</b>	<b>18</b>
<b>II.2 Modélisation du système.....</b>	<b>18</b>
<b>II.2.1 modèle d'un générateur photovoltaïque.....</b>	<b>19</b>
<b>II.2.1.1 Influence de l'éclairement et de la température sur les caractéristiques du PV.....</b>	<b>19</b>
<b>II.2.1.2 modèle d'un générateur photovoltaïque idéal.....</b>	<b>22</b>
<b>II.2.1.3 Modèle d'un générateur photovoltaïque réel.....</b>	<b>23</b>
<b>II.2.2 modèle de hacheur.....</b>	<b>24</b>
<b>II.2.2.1 Hacheur boost.....</b>	<b>25</b>
<b>II.2.2.2 Hacheur buck.....</b>	<b>27</b>
<b>II.2.2.3 Hacheur buck-boost.....</b>	<b>28</b>
<b>II.2.4 Commande MPPT.....</b>	<b>29</b>
<b>II.2.4.1 Etude d'une commande MPPT.....</b>	<b>29</b>
<b>II.2.4.2 Algorithme Perturber et Observer (P&amp;O).....</b>	<b>30</b>

<b>II.3 conclusion.....</b>	<b>32</b>
-----------------------------	-----------

### **CHAPITRE III : simulation et réalisation d'un système photovoltaïque**

<b>III.1 introduction.....</b>	<b>34</b>
<b>III.2 Système photovoltaïque proposé.....</b>	<b>34</b>
<b>III.2.1 Module photovoltaïque.....</b>	<b>35</b>
<b>III.2.2 interface panneau/arduino.....</b>	<b>36</b>
<b>III.2.2.1 Capteur de tension.....</b>	<b>37</b>
<b>III.2.2.2 Capteur de courant.....</b>	<b>38</b>
<b>III.2.3 Carte Arduino.....</b>	<b>39</b>
<b>III.2.3.1 Description de la carte ARDUINO UNO.....</b>	<b>39</b>
<b>III.2.3.2 Langage de programmation.....</b>	<b>40</b>
<b>III.2.3.3 Structure d'un programme.....</b>	<b>41</b>
<b>III.2.4 interface entre arduino et convertisseur.....</b>	<b>42</b>
<b>III.2.5 Convertisseur survolteur (boost).....</b>	<b>43</b>
<b>III.2.5.1 constitution du convertisseur utilise.....</b>	<b>43</b>
<b>III.2.5.2 Simulation du convertisseur survolteur sous Proteus.....</b>	<b>45</b>
<b>III.3 Résultat de simulation.....</b>	<b>46</b>
<b>III.4 Résultat de réalisation.....</b>	<b>49</b>
<b>III.5 Conclusion.....</b>	<b>50</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>51</b>
<b>Perspectives.....</b>	<b>52</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>53</b>
<b>ANNEXE.....</b>	<b>54</b>

## Liste des tableaux

<b>Les tableaux</b>	<b>Titre de tableau</b>	<b>page</b>
<b>I.1 Tableau</b>	<b>Tableau récapitulatif</b>	<b>13</b>
<b>III.1 Tableau</b>	<b>Tableau de caractéristiques de MOSFET « IRF840»</b>	<b>44</b>
<b>III.2 Tableau</b>	<b>Caractéristiques de diode</b>	<b>44</b>

# LISTES DES FIGURES

## CHAPITRE I

Figure I.1 : schéma d'installation de système photovoltaïque .....	4
Figure I.2 : schéma d'installation de système thermique.....	4
Figure I.3 : schéma d'installation de système éolienne.....	5
Figure I.4 : schéma d'installation de système hydraulique.....	5
Figure I.5 : schéma d'installation de système biomasse.....	6
Figure I.6 : schéma d'installation de système géothermie.....	6
Figure I.7 : réalisation d'une jonction PN.....	8
Figure I.8 : fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	9
Figure I.9 : Schéma synoptique de panneau solaire.....	13
Figure I.10 : champ photovoltaïque.....	14
Figure I.11 : Schéma type d'une station.....	15

## CHAPITRE II

Figure II.1: Schéma d'un système photovoltaïque.....	19
Figure II.2: Normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil, notion d'air masse AB.....	20
Figure II.3 : courbe de l' influence de la température V-P.....	21
Figure II.4 : courbe de l' influence de la température V-I.....	21
Figure II.5: courbe de l'influence de l'éclairement V-P.....	22
Figure II.6: courbe de l'influence de l'éclairement V-I.....	22
Figure II.7 : Schéma équivalent de la cellule photovoltaïque idéal.....	22
Figure. II.8 : Schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réel.....	23
Figure. II.9 : Schéma électrique du convertisseur BOOST.....	25
Figure. II.10 : Schéma électrique du convertisseur BUCK.....	27

Figure. II.11: Schéma électrique du convertisseur BUCK- BOOST.....	28
Figure II.17 : Organigramme de l'algorithme P&O.....	30
Figure II.18 : Principe du contrôleur MPPT V-I.....	31
Figure II.18 : Principe du contrôleur MPPT V-P.....	32

## Chapitre III

Figure III.1 : Schéma synoptique du système photovoltaïque .....	34
Figure III.2 : réalisation du système photovoltaïque.....	35
Figure III.3 : simulation de système photovoltaïque ISIS proteuse.....	35
Figure III.4 : panneau utiliser.....	36
Figure III.5 :interface entre panneau et arduino.....	37
Figure III.6 : simulation de capteur de tension ISIS Proteus.....	38
Figure III.7 : simulation de diviseur de courant.....	38
Figure III.8 : anatomie de la carte arduino uno.....	40
Figure III.9 : langage de programmation dans la carte arduino.....	41
Figure III.10 : interface entre arduino et transistor.....	42
Figure III.11: simulation de amplificateur ISIS proteus.....	42
Figure III.12: simulation de Convertisseur survolteur ISIS proteus.....	43
Figure III.13 : Schéma du convertisseur survolteur sous Porteus.....	45
Figure III.14 : simulation globale de système photovoltaïque.....	46
Figure III.15 : courbe d'évolution de la tension a la sortie de convertisseur.....	46
Figure III.16 : duty cycle a 50 %.....	47
Figure III.17 : duty cycle a 20 %.....	47
Figure III.18: duty cycle a 70 %.....	48

Figure III.19 : variation de tension entrer sortie on fonction de variation d'éclairement.....	49
Figure III.20 : variation courant et tension on fonction de variation d'éclairement.....	49
Figure III.21 : variation de alpha on fonction de tension d'entrer.....	50

## **Perspectives**

Tout système étant appelé à évoluer dans le temps, des améliorations technico-économiques peuvent être apportées à ce travail afin de le rendre plus utile et opérationnel :

Ce thème peut être une solution dans les applications concernant la production de l'énergie électrique dans les investissements grand public. Sa réalisation sera complétée par le choix du moteur à courant continu et ses caractéristiques électriques et mécaniques ou autres types de puissance qui peuvent fonctionner avec la commande en question. Encore il sera plus avantageux de sa généralisation à d'autres applications nouvelles telle que le domestique le transport de l'électricité ....

## Introduction Générale

Les études récentes sur les énergies renouvelables ont permis à une meilleur exploitation de l'outil technologique utilise dans ce domaine elles utilisent souvent des techniques modernes et de nouveaux moyens pour améliorer le rendement des installations de production de l'énergie électrique .Dans cette étude l'objectif est de pouvoir exploiter le panneau photovoltaïque d'une manière optimale de point de vu puissance. Pour cela il a été proposé l'étude du système par la méthode « perturbation observation ) commande par une commande MPPT assurant la poursuite du point a puissance maximale fournie par le module photovoltaïque . cette étude est réalisée en trois (3) chapitre :

- Le premier chapitre faisait l'objet d'une présentation en bref sur l'historique, la nature de l'énergie renouvelable, la conception des PV et leur utilisation .

- Le deuxième chapitre a été consacré à la modélisation des éléments faisant fonction dans l'application des systèmes PV comme le générateur de l'énergie électrique le convertisseur DC/DC qui fera l'interface entre le PV et le moteur qui jouera le rôle de charge .Ensuite on a donné un aperçu sur les types de moteurs et enfin on a termine par l'exposition de la méthode MPPT (algorithme ) utilisant la méthode« perturbation-observation ».

- Le troisième chapitre sera consacré à la simulation du système utilisant le simulateur PROTEUS .On simulera le système PV en introduisant la carte ARDUINO commandant le convertisseur DC/DC d'où on retire les résultats de la simulation et de réalisation et enfin une conclusion générale qui termine le mémoire de fin d'étude .

# CHAPITRE I

Systeme photovoltaïque

---

# Systeme photovoltaïque

## I.1. Introduction

Le monde énergétique est basé sur la production des hydrocarbures qui est l'élément utilisé à Grande échelle .Par conséquent cette énergie est à l' origine de la pollution du globe terrestre, par émission du dioxyde de carbone et d autres gaz toxiques, qui est un paramètre néfaste pour l'environnement et l'humanité. L'enseignement des bases des énergies renouvelables est devenu une nécessité dans le domaine de« la science et de la technologie ». Ces énergies non polluantes contribuent à un environnement plus protégé vis-à-vis des émissions dangereuses, que ce soit celles dites à effet de serre ou celles qui dérangent la qualité de l'air

Pour cela le monde moderne s'oriente vers la production d'autres formes d'énergies plus propres, non nocives et non polluantes, comme le soleil, les vents ... qu'on les appellera énergies nouvelles renouvelables. L'intégration des énergies renouvelables dans le mix énergétique notamment le développement du photovoltaïque surtout (sans oublier l'éolien le solaire thermique la géothermie) constitue un enjeu majeur pour la diversification des sources de production de l'électricité et contribue au développement durable.

Les applications les plus importantes de la production de l'énergie photovoltaïque réside dans le domaine du pompage de l'eau, l'éclairage rural et domestique dans les zones a reliefs accidentés ou désertiques. Ces applications utilisent des panneaux photovoltaïques, des moteurs électriques soient à courant continu ou à courant alternatif.

## I.2 énergies renouvelables

Les énergies renouvelable (ENR en abrégé) sont des sources d'énergies dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain. Elles proviennent de phénomènes naturels cycliques ou constant : le soleil surtout,...

Fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, les marées les énergies renouvelables n'engendrent pas d'émissions polluantes. Elles participent à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

L'énergie solaire (énergie solaire photovoltaïque, énergie solaire thermique), l'hydroélectricité, l'éolien, la géothermie sont des énergies flux inépuisables par rapport aux « énergies stock » tirées des gisements de combustibles fossiles en voie de raréfaction : pétrole, charbon, gaz naturel etc....

ENR : énergie renouvelable

### **I.3 Les cinq grands types d'énergies renouvelables**

Il existe cinq grands types d'énergies renouvelables : l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, la biomasse et la géothermie. Leur caractéristique commune est de ne pas produire d'émissions polluantes (ou peu), et ainsi d'aider à lutter contre l'effet de serre.[1]

#### **I.3.1 L'énergie solaire photovoltaïque ou thermique**

L'énergie solaire est produite par le rayonnement du soleil. On distingue l'énergie photovoltaïque qui, comme son nom l'indique, transforme l'énergie contenue dans le rayonnement solaire en électricité, et l'énergie solaire thermique qui, est l'énergie calorifique véhiculée par le rayonnement solaire.[1]

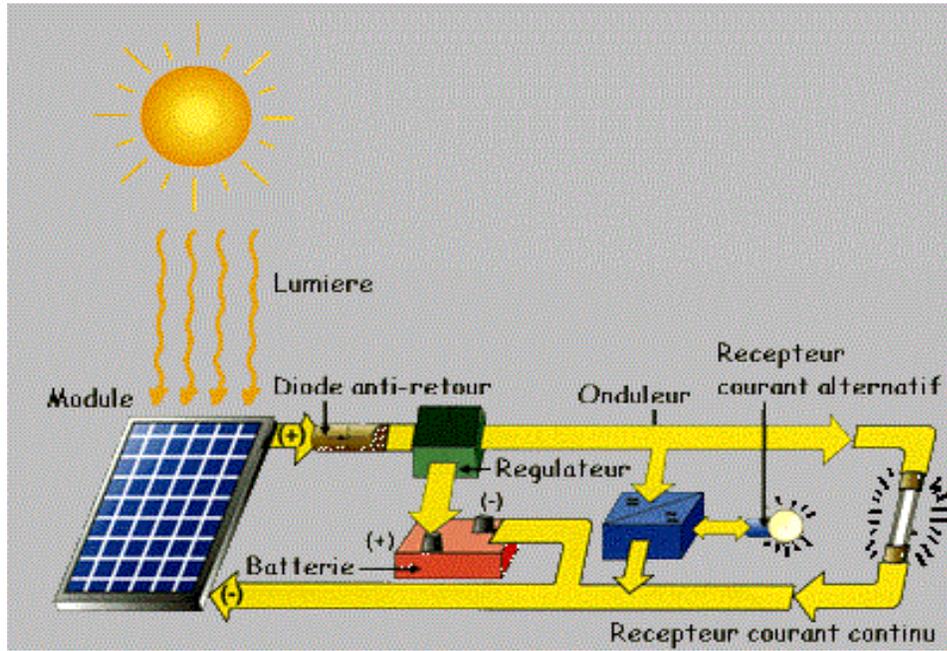


Figure I.1 : schéma d'installation de système photovoltaïque

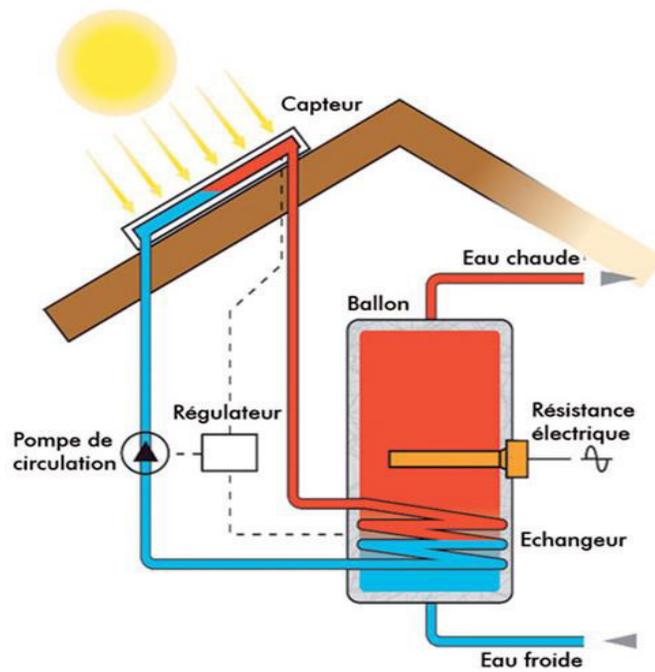


Figure I.2 : schéma d'installation de système thermique

### I.3.2 énergie éolienne

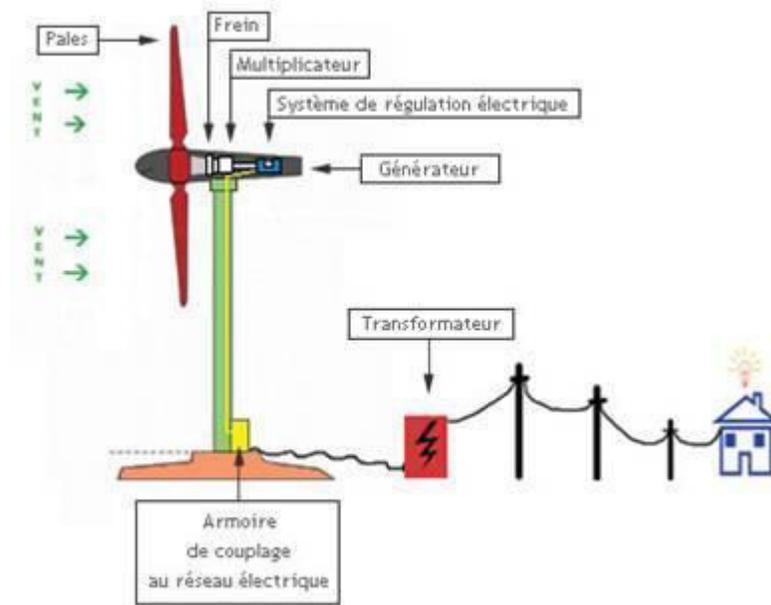


Figure I.3 schéma d'installation de système éolienne

### I.3.3 L'énergie hydraulique

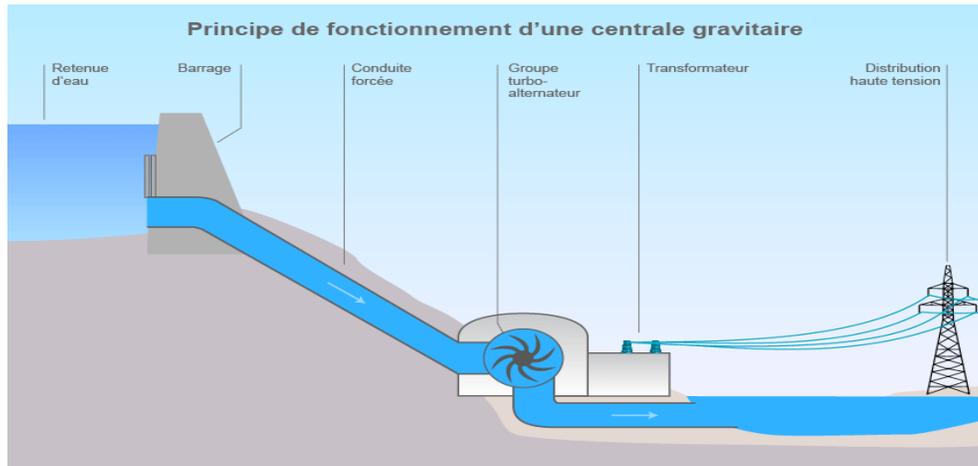


Figure I.4 : schéma d'installation de système hydraulique

### I.3.4 L'énergie biomasse

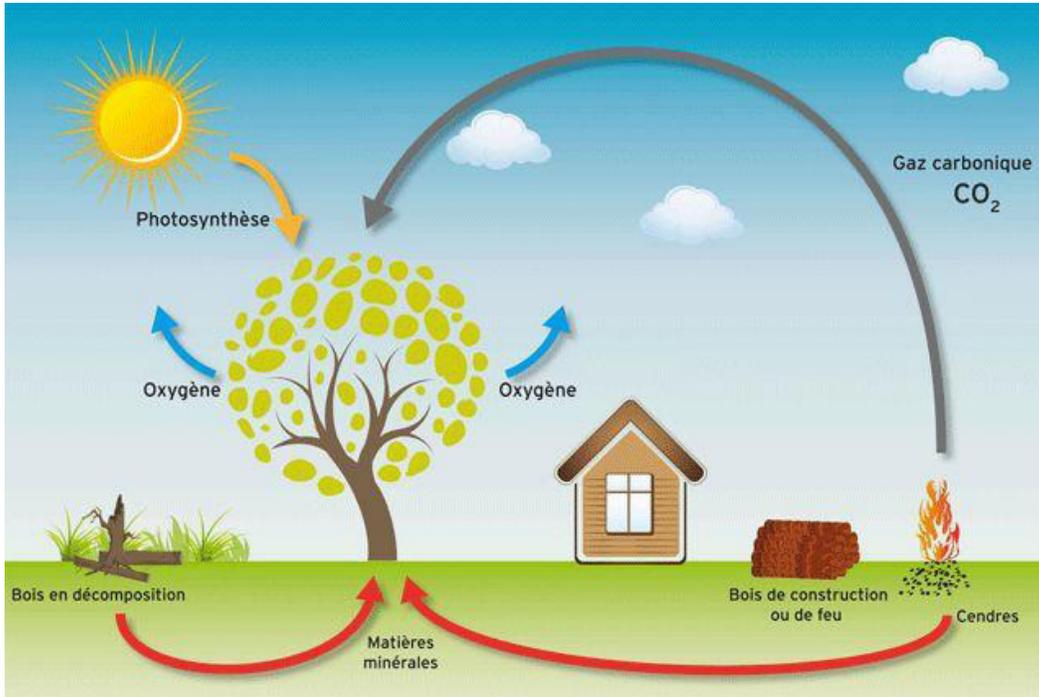


Figure I.5 : schéma d'installation de système biomasse

### I.3.5 la géothermie

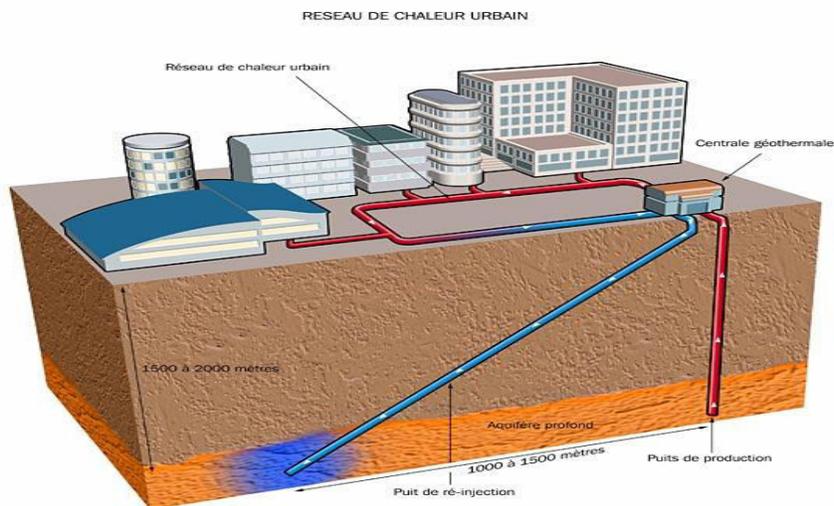


Figure I.6 : schéma d'installation de système géothermie

## **I.4 Historique de la photovoltaïque**

L'énergie photovoltaïque était le fruit d'un travail de recherche par beaucoup de chercheurs dont Becquerel en 1839 qui a mis en place la première cellule photovoltaïque à l'origine de la production de l'énergie photovoltaïque en utilisant un matériau semi-conducteur de base le silicium (Si). Dès une révolution technologique s'est déclarée en travaillant sur la transformation de l'énergie solaire affectant une cellule à base de semi-conducteur (silicium, germanium) pour la production de l'électricité.

En se basant sur le rayonnement solaire qu'émet le soleil et qu'absorbe la terre sous forme d'énergie solaire est environ 40000 fois les besoins énergétiques consommés par l'humanité sous forme d'énergie classique qui sont les hydrocarbures.[2]

Le rendement des cellules photovoltaïques reste faible (15% et 20%) en comparant à celui des énergies classiques (énergie fossile) donc l'orientation vers l'amélioration du rendement par les nouvelles technologies mises en place.

## **I.5 Le solaire photovoltaïque**

La cellule photovoltaïque est l'élément de base pour la production de l'électricité à partir de rayonnement solaire, elle est constituée de semi-conducteur à base de silicium, de germanium ou de tellure de cadmium...

Alors un panneau photovoltaïque est un ensemble de cellules montées en montage mixte pour la production d'une ddp et d'un courant électrique.

### **I.5.1 Principe de fonctionnement**

Une cellule solaire photovoltaïque affectée par des photons solaires libère des électrons après absorption, ces électrons libérés de couche de valence vont se déplacer dans le réseau cristallin qui va donner par la suite un courant électrique. Ce processus de production s'appelle effet photovoltaïque,

## I.6 Création d'une jonction

### ➤ Dopage Type n

En ajoutant au semi-conducteur des impuretés comme le phosphore par exemple qui a cinq électrons sur sa couche de valence va mettre en jeu un surplus d'électron libre d'où son nom semi-conducteur type n

### ➤ Dopage Type p

En dopant le semi-conducteur par des impuretés comme l'indium par exemple qui a trois électrons sur sa couche de valence va créer un manque électronique au niveau de la liaison de covalence et la charge électrique va être positive d'où son nom de semi-conducteur type p

### I.6.1 La jonction

En mettant en contact le semi-conducteur type n et type p nous obtenons une jonction pn, d'où un champ électrique s'installe dans la jonction après immigration des électrons vers la zone p et les trous (charges positives) vers la zone n et tend à repousser les électrons vers la zone n et Les trous vers la zone p. une fois la jonction reçoit un flux lumineux elle met en jeu une paire Electron-trou qui passe dans la bande de conduction et qui donne naissance à un courant, en reliant extérieurement et à travers une Resistance les semi-conducteurs type p et n .

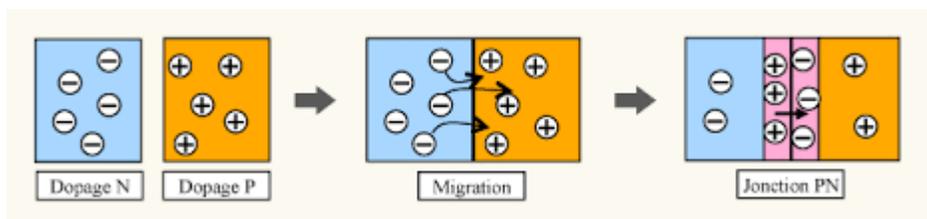


Figure I.7 :réalisation d'une jonction PN

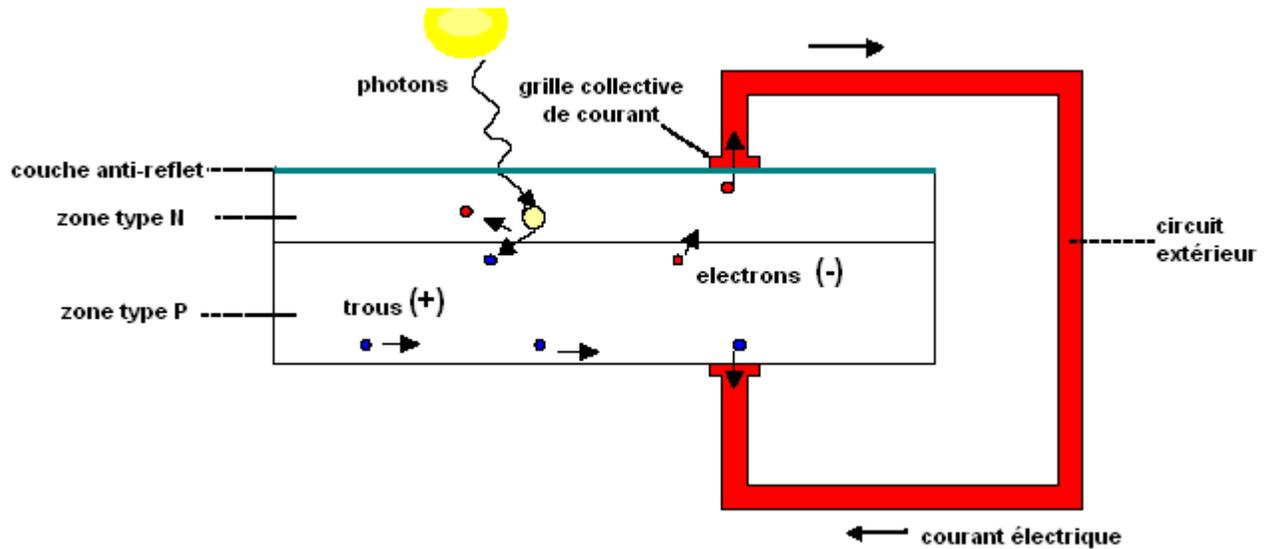


Figure I.8 : fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

## I.7 Les différents types de cellules photovoltaïques

La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique. Cette cellule ne produit qu'une très faible puissance De l'ordre de 1 à 3 watts avec une tension proche d'un volt. Pour produire plus de puissance il est nécessaire de monter plusieurs cellules en montage mixte et réaliser des panneaux .Ainsi la fiabilité de la cellule photovoltaïque est liée aux technologies de pointe et aux semi-conducteurs utilisés pour cela on distingue les types suivants :

### I.7.1 Technologies des cellules :

#### I.7.1.1 Cellule de 1<sup>er</sup> génération :

##### 1- cellule en silicium monocristallin :

En fondant le silicium sous forme barre cylindrique, après traitement et refroidissement on opère au découpage en couches minces en réalisant des cellules photovoltaïques.

- rendement excellent (12-16%) (23% en Laboratoire)
- Une méthode de fabrication difficile, donc très chère

### **2-cellule multi jonction**

Pour améliorer le rendement de la cellule on réalise plusieurs couches pour absorber le maximum du spectre solaire incident.

### **3- cellule au silicium polycristallin**

- **Coût de production moins élevé**
- **Procédé nécessitant moins d'énergie**
- **Rendement 11-13% (18% en Labo)**

Ces cellules sont fabriquées à partir du silicium fondu et cristallisé donc un tissu non uniforme

#### **I.7.1.2 Cellule de 2<sup>eme</sup> génération :**

##### **1- cellule en couches minces CIS ( cuivre –indium –sélénium )**

Nouvelle production de cellules solaires sans l'utilisation du silicium, les cellules a base de cuivre, d'indium et de sélénium remplacent actuellement les cellules photovoltaïques classiques vu leur pouvoir de conversion énergétique élevé

- rendement excellent (20%)

## **2-cellule au silicium amorphe en couche mince**

Durant le traitement du silicium, il dégage un gaz marron foncé recueilli sur un support plastique en couche mince. Il est utilisé pour le chargeur solaire des montres des calculatrices.

- Coût de production bas
- Rendement faible : 8-10% (13% en labo)
- Durée de vie plus faible

### **1.7.1.3 Cellule de 3<sup>ème</sup> génération :**

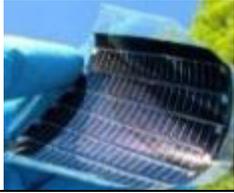
#### **1-cellule CZTS (cuivre-zinc-étain-soufre)**

Les dernières innovations dans le domaine de la production de l'énergie électrique à partir de l'énergie solaire est l'utilisation des matériaux non toxiques CZTS et leur fixation facile sur des supports souples en couche mince. Ce type de cellule peut être monté sur n'importe quel profil.

Les enjeux des cellules photovoltaïques restent les suivants : continuer à abaisser le coût de l'énergie solaire, trouver comment donner plus de durabilité aux cellules solaires, utiliser des matériaux abondants et non toxiques : éléments qui offriront à l'énergie solaire son plein potentiel.(1)

- Coût de fabrication faible support fixation flexible
- Rendement très faible : (<5%)

**I.1 Tableau récapitulatif [3]**

Type de cellule	Rendement	Avantage	Inconvénients	L'image
Silicium monocristallin	(13à17)%	Bon rendement pour une cellule	Cout de fabrication élevé	
Silicium polycristallin	(11à15)%	Bon rendement pour un module	Cout de fabrication élevé	
Silicium amorphe	(5à9)%	Fabrication facile	Rendement faible	
Cadmium-tellure (CdTe)	(7à11)%	Très bonne absorption de photon solaire	Cadmium Polluant durant la fabrication	
Cuivre-indium-sélénium(CIS)	20%	Bonne absorption	Matière première rare	
Cuivre-zinc-étain-soufre (CZTS)	<5%	Cout de fabrication faible support fixation flexible	Rendement très faible	

## I.8 Montage des cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont montées soit en parallèle soit en série. Pour augmenter la tension ( $v$ ) on effectue le montage série des cellules et pour augmenter le courant ( $A$ ) on effectue le montage parallèle ainsi on obtient un panneau solaire photovoltaïque et pour augmenter la Puissance on connecte plusieurs panneaux pour former une installation photovoltaïque.

### I.8.1 Schéma synoptique de panneau solaire

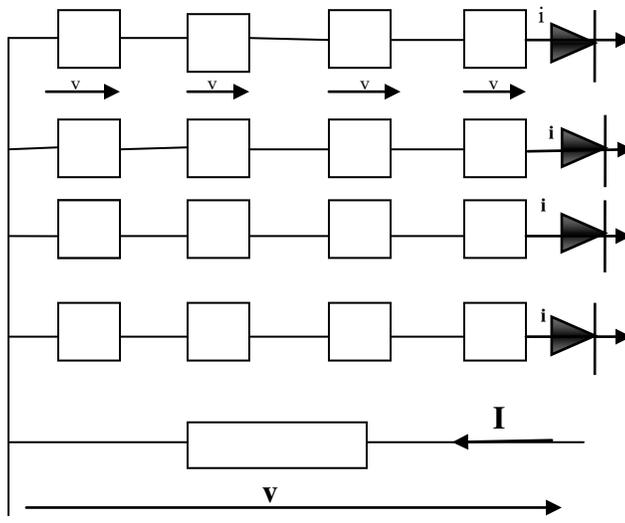


Figure I.9 : Schéma synoptique de panneau solaire

#### I.8.1.1 Protection du pv

le rôle des diodes est de protéger le PV des courants inverses qui risquent de le détériorer.

#### I.8.2 Champ photovoltaïque

Comme son nom l'indique c'est un ensemble de panneau connecte entre eux sur une grande surface pour une grande exploitation de l'énergie solaire d'où augmentation de puissance de l'installation photovoltaïque.



Figure I.10: champ photovoltaïque

## **I.9 Constitution d'une station photovoltaïque**

Toute station photovoltaïque est constituée de certains éléments nécessaires en commençant de la production l'énergie électrique jusqu'à la distribution d'où je cite le panneau solaire comme élément capteur, les batteries comme élément de stockage, le régulateur de puissance, l'onduleur l'élément qui génère le courant alternatif sans oublier les éléments de connexion

### **I.9.1 Types de station photovoltaïque**

#### **•Station autonome**

Une station est dite autonome, une station qui n'est liée à aucune autre source d'énergie électrique extérieure au système photovoltaïque. Cette station est capable de fournir de l'énergie électrique même en absence de soleil alors une partie de l'énergie sera véhiculée vers les batteries de stockage pour en servir la nuit.

### •Station hybride

Lorsque plusieurs technologies sont couplées ensemble pour accroître la quantité d'énergie comme la voltaïque et l'éolien par exemple le système fonctionne en cas de présence du soleil ou du vent.

### •Station connectée au réseau

Les stations à caractère commercial sont automatiquement reliées au réseau pour pouvoir commercialiser l'énergie électrique fourni par les panneaux photovoltaïques .Ce système doit comprendre un onduleur qui transforme le courant continue en courant alternatif conformément au courant du réseau en fréquence et en tension.

## I.9.2 Système photovoltaïque

### Schéma type d'une station photovoltaïque

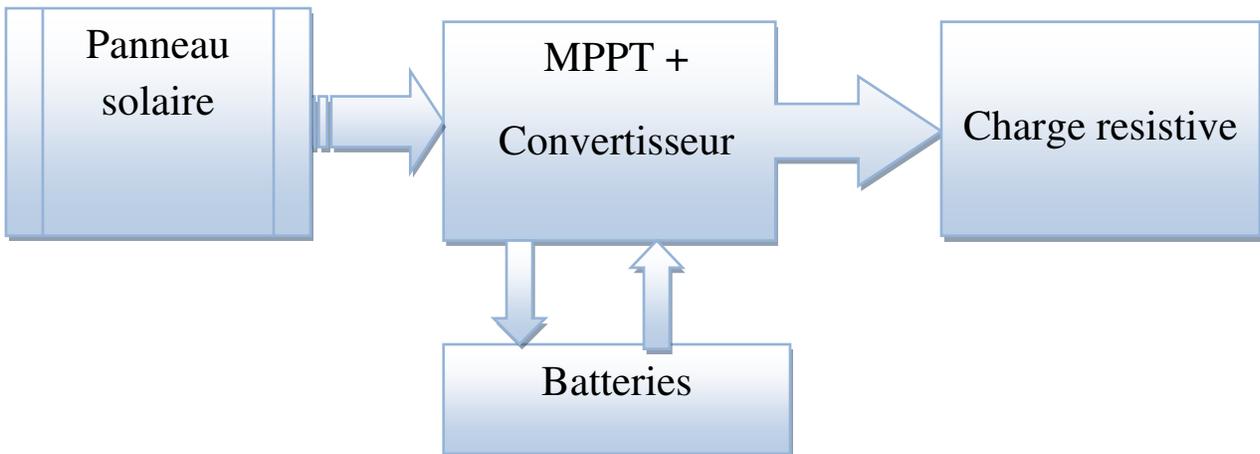


Figure I.11 : Schéma type d'une station

### **I.9.3 Principe de fonctionnement**

Le panneau photovoltaïque recevant de l'énergie solaire incidente sous forme de photons la converti en courant électrique sous une certaine tension et un courant. Cette énergie en premier lieu sera emmagasinée dans des batteries à travers un régulateur pour être utilisée une fois la production du panneau devient faible (production nocturne par exemple ou en temps nuageux un système suiveur de puissance maximale va suivre la production électrique en alimentant le circuit de puissance en lui offrant cette puissance avec un rendement maximal.

### **I.10 Conclusion**

Les travaux de recherche sur les énergies nouvelles s'avèrent une lancée vers l'avant dans les technologies modernes voire les systèmes photovoltaïques pour la production de l'énergie électrique qui ont vu une nette amélioration du point de vue rendement. L'utilisation des méthodes d'optimisation permettent l'extraction maximale de la puissance disponible sur le générateur photovoltaïque à tout moment et dans n'importe quelles conditions de travail. Pour pouvoir répondre à cette exigence on fait recours aux méthodes et techniques modernes utilisées qui assurent l'adaptation des impédances du système.

Dans ce qui suit le travail proposé est l'étude de la poursuite de la puissance maximale du système photovoltaïque qui sera étudiée par la méthode perturbation et observation utilisant un convertisseur électronique DC/DC2 appelé Max Point Power Tracking qui permet l'optimisation en permanence des paramètres électriques entre la source (les cellules photovoltaïques), les accumulateurs (les batteries), et les récepteurs (moteurs électriques).

# CHAPITRE II

## **Modélisation du système photovoltaïque charge résistive**

# Modélisation du système photovoltaïque charge résistive

## II.1 introduction

L'extraction de l'eau par le système de pompage photovoltaïque utilisant de l'énergie solaire a constitué le thème de nombreux travaux ces dernières années. Cette solution est utilisée surtout dans les régions à accès difficile et des régions désertiques. Alors le solaire photovoltaïque est la solution la plus convaincante dans ces conditions et évite toutes les contraintes de transport de combustible et d'entretien dans les cas de systèmes classiques. En général le système photovoltaïque est constitué d'un ensemble d'éléments qui assurent le fonctionnement normal du système et sont le générateur photovoltaïque, d'un convertisseur DC/DC dans le cas d'utilisation de moteur à courant continu et d'un onduleur DC/AC dans le cas de moteur à courant alternatif et d'un moteur accouplé à une pompe. La rentabilité du système s'améliore en ajoutant une série de batteries pour le stockage de l'énergie cumulée durant la présence du soleil. Dans cette partie il est impératif de choisir les caractéristiques mécaniques et électriques du moteur électrique entraînant la pompe.

## II.2 Modélisation du système

Un système photovoltaïque est constitué de quatre blocs comme le montre la figure II 1. Le premier bloc représente la source d'énergie (panneau photovoltaïque), le second bloc est un convertisseur statique DC-DC, le troisième bloc représente la charge et le quatrième bloc représente le système de commande. Le rôle principal du convertisseur statique est de faire une adaptation d'impédance de sorte que le panneau délivre le maximum d'énergie.

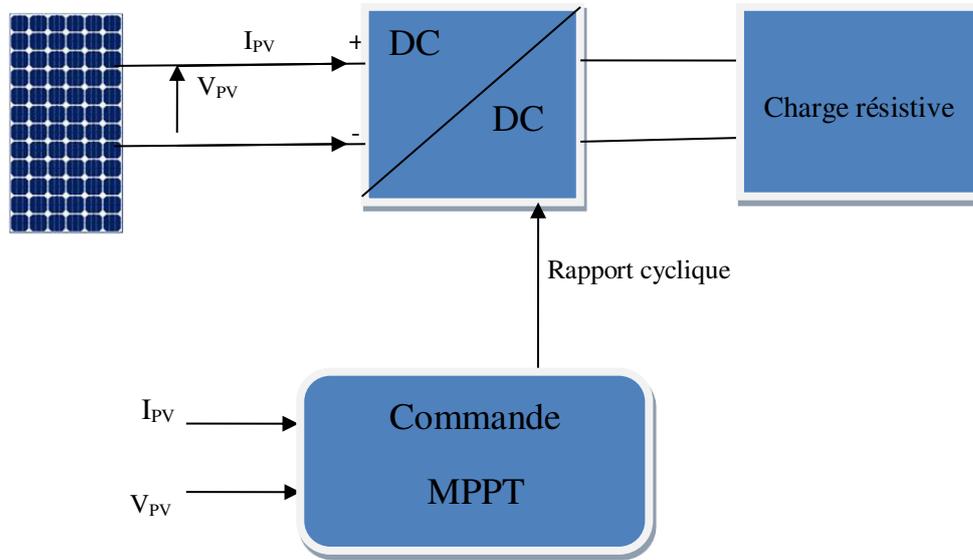


Figure II.1 : Schéma d'un système photovoltaïque

### II.2.1 modèle d'un générateur photovoltaïque

La composante élémentaire du panneau photovoltaïque est la cellule photovoltaïque. Cette dernière peut être considérée comme une source idéale de courant fournissant un courant  $I_{ph}$  proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode qui est représenté par la jonction P-N. Par conséquent, la cellule PV peut être modélisée par la figure II.3 [9]

#### II.2.1.1 Influence de l'éclairement et de la température sur les caractéristiques du PV

##### Notion air –masse

Le soleil émet un rayonnement lumineux sous une incidence. Cette dernière a une influence sur la cellule photovoltaïque du point de vu génération du courant électrique. Le rayonnement solaire sera atténué durant la traversée de la couche atmosphérique qui contient des gaz et de la vapeur d'eau. Alors l'incidence du rayonnement doit être choisie de sorte que la puissance lumineuse soit maximale et pour cela la cellule doit être perpendiculaire au champ lumineux. On qualifie le nombre d'air masse par la relation suivante:

$$AB = \frac{1}{\sin(\alpha)}$$

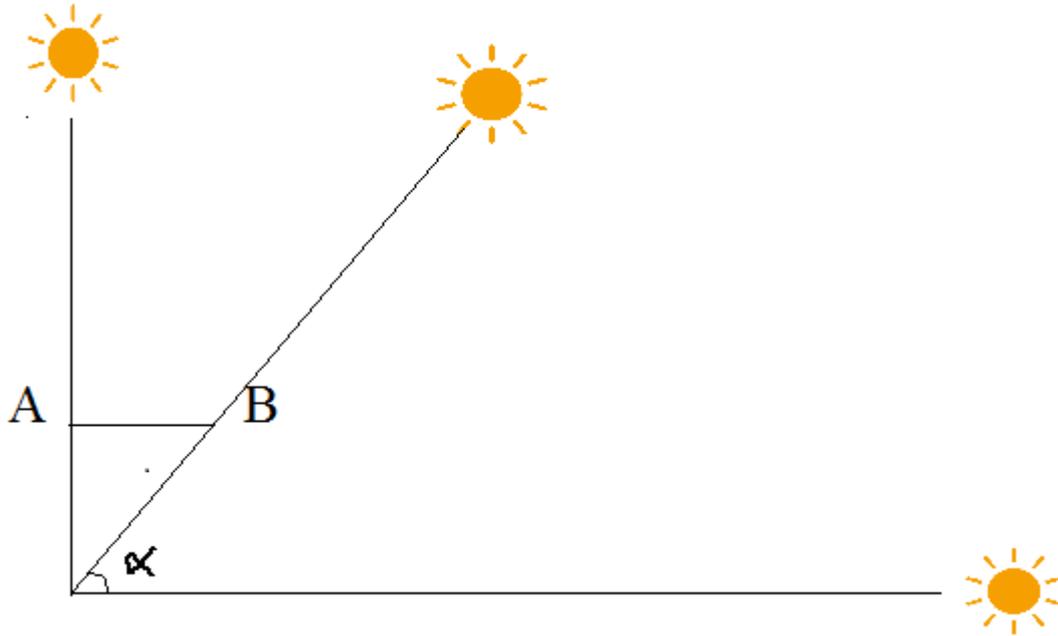


Figure II.2 : Normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil, notion d'air masse AB

La caractéristique d'une cellule PV (ou d'un générateur PV) est directement dépendante de l'éclairement et de la température

- Le courant de court-circuit  $i_{cc}$  varie proportionnellement à l'éclairement,
- La tension à vide  $V_{co}$  varie peu avec l'éclairement. Elle peut être considérée comme une constante pour une installation donnée [4]

Les influences de ces paramètres se traduisent donc par des variations de la caractéristique utile du générateur photovoltaïque avec les conditions d'éclairement

La température a également une influence sur la caractéristique d'un générateur PV

- La tension à vide  $V_{co}$  décroît avec la température. Plus la température est élevée plus  $V_{co}$  est faible,
- Le courant de court-circuit  $i_{cc}$  augmente avec la température. Cette hausse est nettement moins importante que la baisse de tension. L'influence de la température sur  $i_{cc}$  peut être négligée dans la majorité de cas.

La température et l'éclairement sont donc les deux principaux paramètres qui vont modifier la caractéristique d'un générateur PV. Ces deux paramètres devront donc être étudiés avec soin lors de la mise en place d'une installation PV.[5]

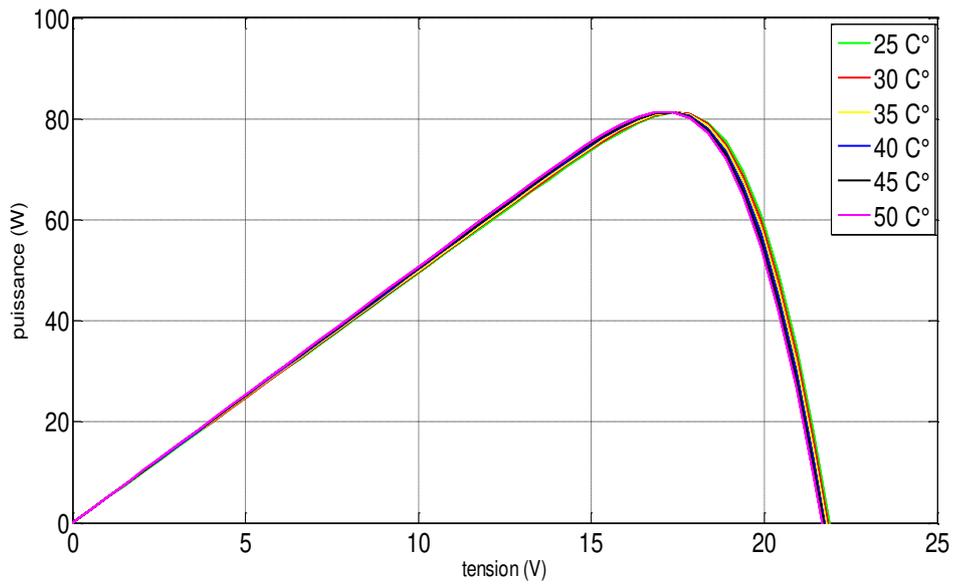


Figure II.3 :courbe de l' influence de la température V-P[ ]

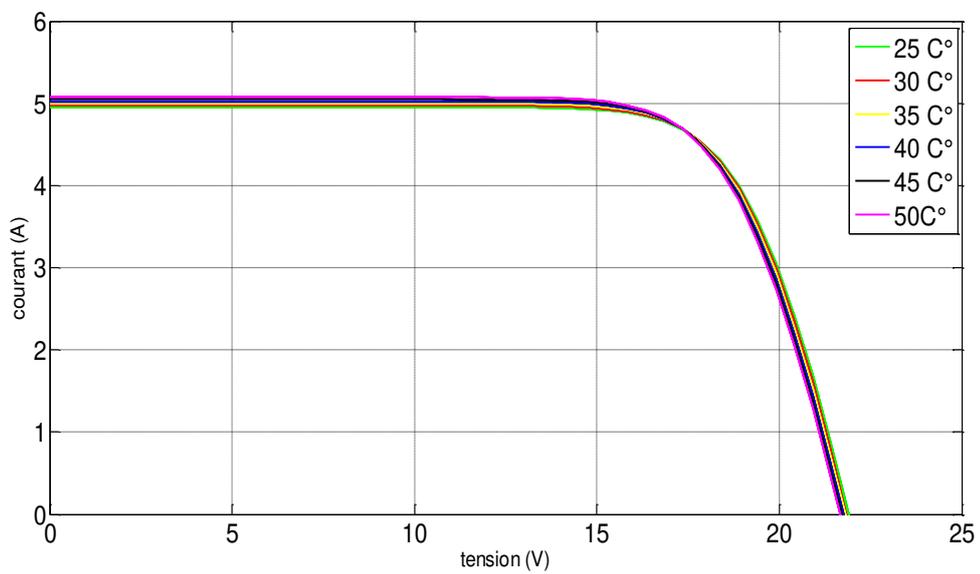


Figure II.4 :courbe de l' influence de la température V-I

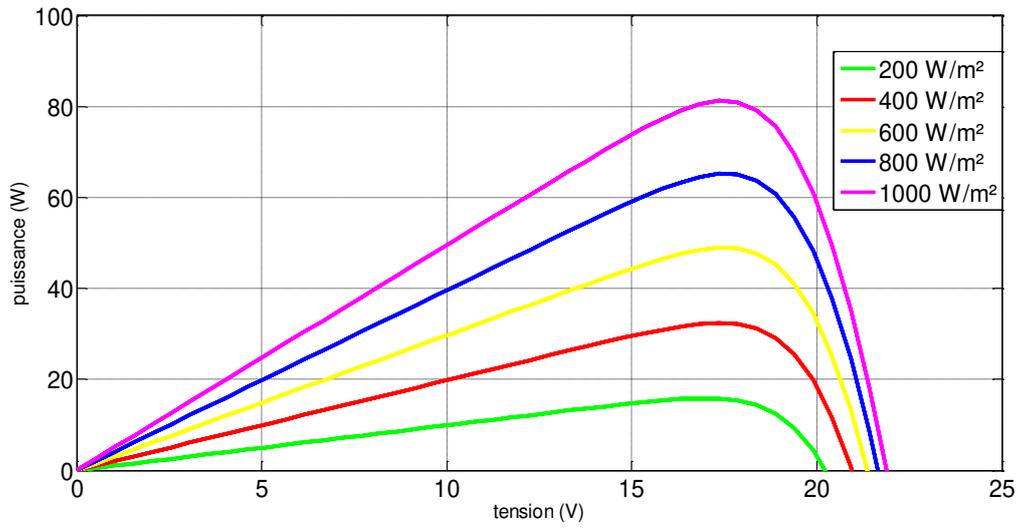


Figure II.5 : courbe de l'influence de l'éclairement V-P

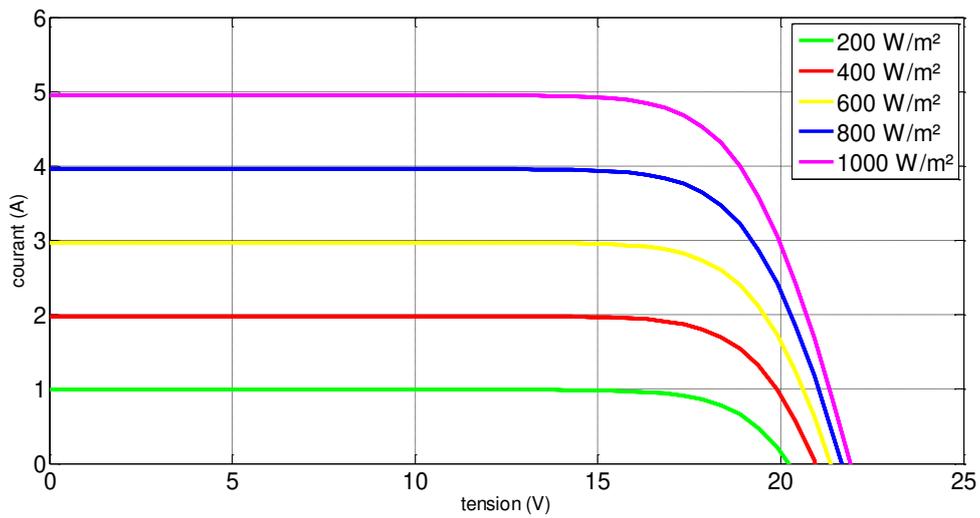


Figure II.6 : courbe de l'influence de l'éclairement V-I

II.2.1.2 modèle d'un générateur photovoltaïque idéal :

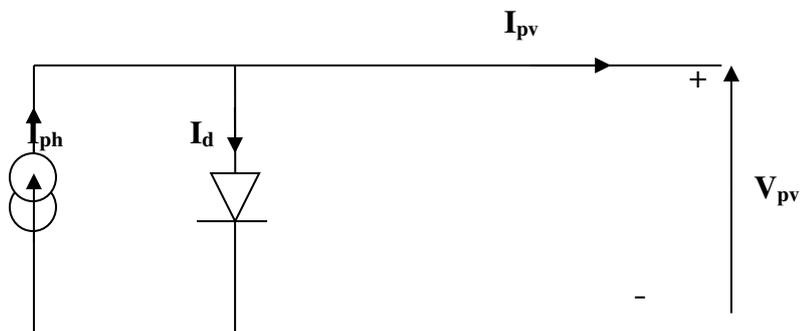


Figure II.7: Schéma équivalent de la cellule photovoltaïque idéal

La somme des courants d'après la loi de Kirchhoff est :

$$I_{ph} = I_d + I_{pv} \quad (II.1)$$

$I_{pv}$  : est le courant délivré par le module PV

$I_{ph}$  : est le photo-courant

$I_d$  : est le courant de la diode

La diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique Courant-Tension est donnée par la relation :

$$I_d = I_0 \left( e^{\frac{V_{pv}}{V_t}} - 1 \right) \quad (II.2)$$

$I_0$  : est le courant de saturation de diode

$V_{pv}$  : est la tension délivré par le module PV

$V_t = \frac{kT}{q}$  : est la tension thermique

T : est la température absolue en Kelvin (K)

k : constante de boltzmann ( $k = 1.381 \cdot 10^{-23} J/K$ )

$I_{ph}$  : est le photo courant

Donc, la relation (1.1) sera :  $I_{ph} = I_{pv} + I_0 \left( e^{\frac{V_{pv}}{V_t}} - 1 \right)$  (II.3)

### II.2.1.3 Modèle d'un générateur photovoltaïque réel

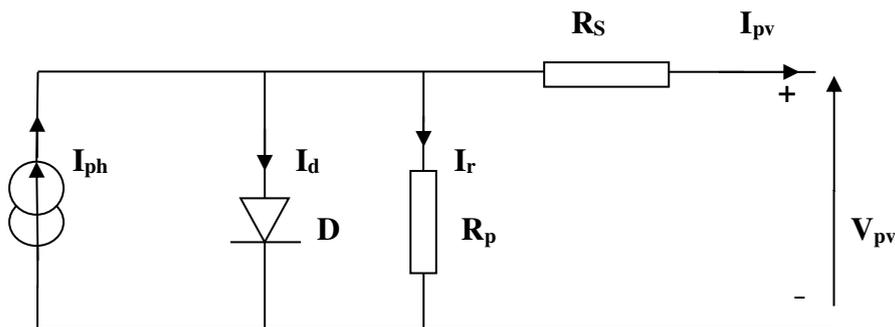


Figure II.8 : Schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réel

Dans le cas de la représentation mathématique d'une cellule réelle on doit introduire les pertes en courant et en tension .Pour cela  $R_p$  représentera les fuites de courant et  $R_s$  perte en tension, Donc le courant généré par la cellule est donné par la loi de Kirchhoff ( loi des nœuds )

$$\left\{ \begin{array}{l} \bullet \quad I_{ph} = I_{d+} + I_r + I_{pv} \quad (II.4) \\ \bullet \quad I_d = I_0 \left( e^{\frac{q(V_{pv} + R_s I)}{A \cdot K \cdot T}} - 1 \right) \quad (II.5) \\ \bullet \quad V_{pv} = -R_s I_{pv} + R_p \cdot I_r \quad \text{alors} \quad I_r = \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_p} \quad (II.6) \end{array} \right.$$

Donc, la relation (1.4) sera :

$$I_{ph} = I_{pv} + I_0 \left( e^{\frac{q(V_{pv} + R_s I)}{A \cdot K \cdot T}} - 1 \right) + \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_p} \quad (II.7)$$

$I_{pv}$  : le courant fourni par le module PV

$I_{ph}$  : le photo courant dépendant de l'éclairement

$K$  : la constante de Boltzmann ( $1,381 \cdot 10^{-23}$  joule/Kelvin)

$q$  : la charge d'électron =  $1,602 \cdot 10^{-19}$  C

$T$  : la température du module PV en kelvin.

$A$  : le facteur d'idéalité de la jonction ( $1 < A < 2$ ).

$R_s$  : résistance série.

$R_p$  : résistance parallèle

### II.2.2 modèle de hacheur

Le convertisseur DC-DC est une interface qui permet l'adaptation entre le panneau PV et la charge afin d'extraire la puissance maximale du panneau.[9]

### II.2.2.1 Hacheur boost

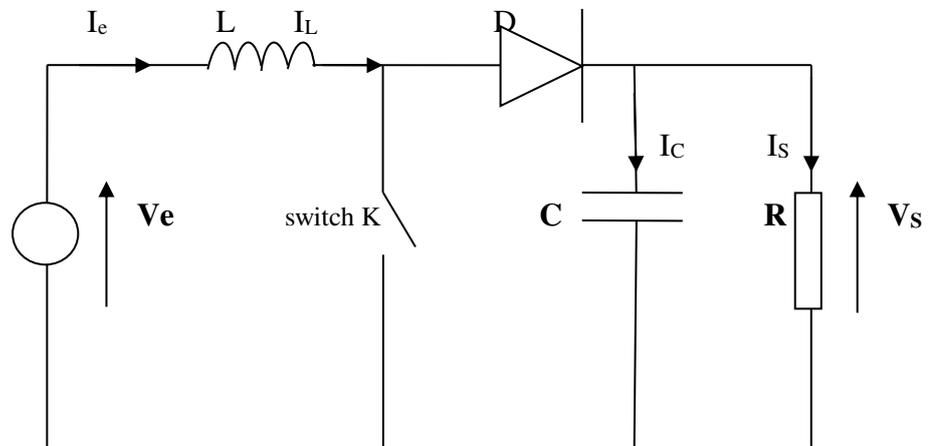


Figure. II.9: Schéma électrique du convertisseur BOOST

Le circuit est alimentée par une source de tension  $V_e$ , la sortie est chargée par une résistance  $R$  traversée par un courant  $I_s$ . Un MOS FET de puissance symbolisé par un interrupteur  $K$ , est rendu périodiquement conducteur avec un rapport cyclique  $\alpha$  à la fréquence  $F = 1/T$ . On distingue deux modes de fonctionnement de ce circuit selon que le courant circulant dans l'inductance  $L$  ne s'annule pas au cours de la période. Le mode conduction continue étant le plus intéressant pour ce convertisseur, nous n'étudierons que ce mode. [6]

#### Principe de fonctionnement :

Le principe du hacheur consiste à établir et interrompre périodiquement la liaison source- charge à l'aide d'un interrupteur électronique [7]

#### Le rapport cyclique $\alpha$ :

Le rapport cyclique est défini comme le temps pendant lequel l'interrupteur est fermé divisé par la période de fonctionnement du montage ( $T$ ).

### 1- fermeture du contact

$$V_L(t) = V_s = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad \frac{di_L(t)}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (\text{II.8}) \quad [14]$$

$$\Delta i_{L-ON} = t_{ON} \frac{V_s}{L} \quad t_{ON} = \alpha T \quad (\text{II.9}) \quad [14]$$

$$\Delta i_{L-ON} = \alpha T \frac{V_s}{L} \quad (\text{II.9}) \quad [14]$$

### 2- ouverture du contact

$$V_e = V_L + V_s \quad V_L = V_e - V_s \quad \frac{di_L(t)}{dt} = \frac{V_e - V_s}{L} \quad [14]$$

$$t_{off} = (1 - \alpha) T \quad \Delta i_{L-OFF} = (1 - \alpha) T \left( \frac{V_e - V_s}{L} \right) \quad [14]$$

$$\Delta i_{L-ON} + \Delta i_{L-OFF} = 0$$

$$\alpha T \frac{V_s}{L} + (1 - \alpha) T \frac{V_e - V_s}{L} = 0 \quad \text{donne} \quad V_s = \frac{V_e}{(1 - \alpha)} \quad (\text{II.10}) \quad [14]$$

$V_s$  : tension de sortie

$V_L$  : tension de l'inductance

$V_e$  : source de tension

$L$  : l'inductance

$D$  : diode

$C$  : capacité

$R$  : la charge

$I_e$  : source de courant

$I_s$  : courant de sortie

$I_C$  : courant de capacité

$I_L$  : courant de l'inductance

$t_{on}$  : temp de fermeture de Switch

$t_{off}$  : temp d' ouverture de Switch

T : la période

### II.2.2.2 Hacheur buck

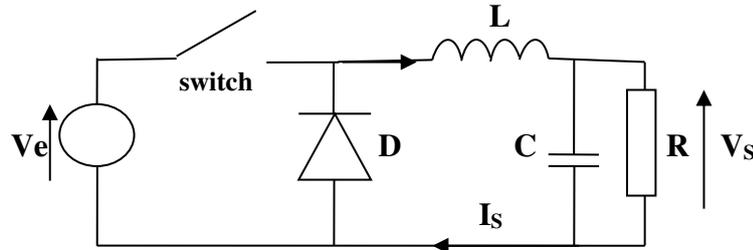


Figure. II.10 : Schéma électrique du convertisseur BUCK

C'est le montage le plus simple et le plus ancien. On dit qu'il s'agit d'un hacheur à un bras. Il permet de relier une entrée de type « v » (qui n'a pas de discontinuité de tension) à une sortie de type « i » (qui n'a pas de discontinuité de courant). C'est un hacheur irréversible. L'énergie ne peut circuler que de l'entrée vers la sortie. Il ne comprend qu'un seul interrupteur commandé et une diode de roue libre. Cependant ce transfert est réglable. Le paramètre de réglage est le rapport cyclique  $\alpha$  de la commande de l'interrupteur. Nous allons voir que ce hacheur est de type abaisseur, la tension de sortie étant toujours inférieure à la tension d'entrée.[8]

#### 1- fermeture du contact

$$V_L(t) = V_e - V_s \quad (V_C = V_s) \quad V_L = L \frac{di_L}{dt} \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_L}{L} = \frac{V_e - V_s}{L}$$

$$t_{on} = \alpha T \quad \Delta i_{L_{on}} = \frac{(V_e - V_s)}{L} * \alpha T \quad [15] \quad (II.11)$$

#### 2 – ouverture du contact

$$V_L = -V_s = L \frac{di_L}{dt} \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{-V_s}{L} \quad t_{off} = (1 - \alpha) T \quad [15]$$

$$\Delta i_{L-OFF} = -\frac{V_o}{L} * (1 - \alpha) T \quad [15] \quad (II.12)$$

$$\Delta i_{L-ON} + \Delta i_{L-OFF} = 0$$

$$\frac{(V_e - V_s)}{L} * \alpha T - \frac{V_s}{L} * (1 - \alpha) T = 0$$

$$V_s = V_e * \alpha \tag{II.13}$$

### II.2.2.3 Hacheur buck-boost

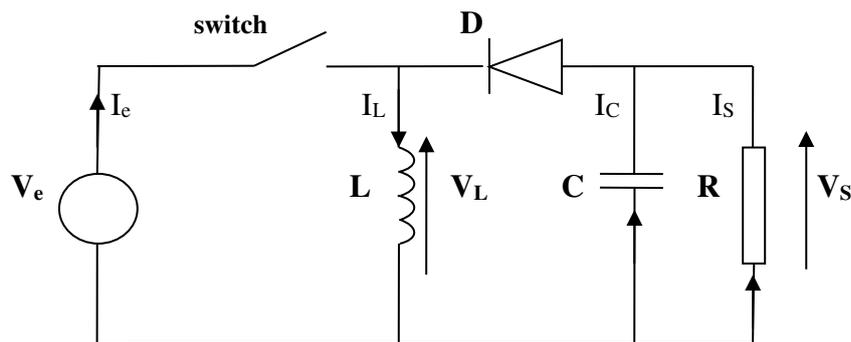


Figure. II.11 : Schéma électrique du convertisseur BUCK- BOOST

Un convertisseur Buck-Boost est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible ou plus grande valeur mais de polarité inverse. L'inconvénient de ce convertisseur est que son interrupteur ne possède pas de borne reliée au zéro, compliquant ainsi sa commande.[11]

#### 1-fermeture du contact

$$\begin{cases} V_L(t) = V_e & L \frac{di_L(t)}{dt} = V_e & [16] \\ \frac{di_L(t)}{dt} = \frac{V_e}{L} & \Delta i_{L-ON} = \alpha T \frac{V_e}{L} & (II.14) \end{cases}$$

#### 2- ouverture du contact

$$\begin{cases} V_L = V_s & L \frac{di_L(t)}{dt} = V_s & [16] \\ \Delta i_{L-OFF} = \frac{V_s}{L} T(1 - \alpha) & & (II.15) \end{cases}$$

$$\alpha T \frac{V_e}{L} + \frac{V_s}{L} T(1 - \alpha) = 0 \quad V_s = -\frac{\alpha}{1 - \alpha} V_e \tag{II.16}$$

$$\begin{cases} 0 < \alpha < 0.5 & \text{BUCK} & [16] \\ 0.5 < \alpha < 1 & \text{BOOST} & [16] \end{cases}$$

### II.2.3 Commande MPPT

La commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) est une commande essentielle pour un fonctionnement optimal du système photovoltaïque. Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique  $\alpha$  en l'amenant à la valeur optimale de manière à maximiser la puissance délivrée par le panneau PV. Pour cette raison, on va présenter et étudier par la suite les algorithmes de commande les plus populaires.[9]

#### II.2.3.1 Etude d'une commande MPPT :

La puissance mise en jeu par le panneau photovoltaïque est liée directement à la puissance de l'éclairement solaire ce dernier variable dans le temps suite à plusieurs fluctuations climatiques comme le brouillard les nuages ... etc. Pour cela il est nécessaire d'extraire le maximum d'énergie électrique du panneau, alors en fait recours à un système de commande appelé MPPT qui va optimiser cette puissance en cherchant par la méthode de suiveur du point max de la puissance à chaque instant et à chaque perturbation contrairement au système comparateur basé sur la comparaison d'une valeur de référence prédéterminée. Le fonctionnement du MPPT est basé sur la commande d'un hacheur (convertisseur DC/DC) piloté par une base de temps à rapport cyclique variable  $\alpha$  (duty cycle) commandé par une programmation. La méthode de suivi ou "Tracking est basée sur l'utilisation d'un algorithme de recherche du maximum sur la courbe de puissance du panneau photovoltaïque. À noter que le tracking joue un rôle très important parce qu'il maximise le rendement et réduit au maximum le coût.[9]

II.2.3.2 Algorithme Perturber et Observer (P&O):

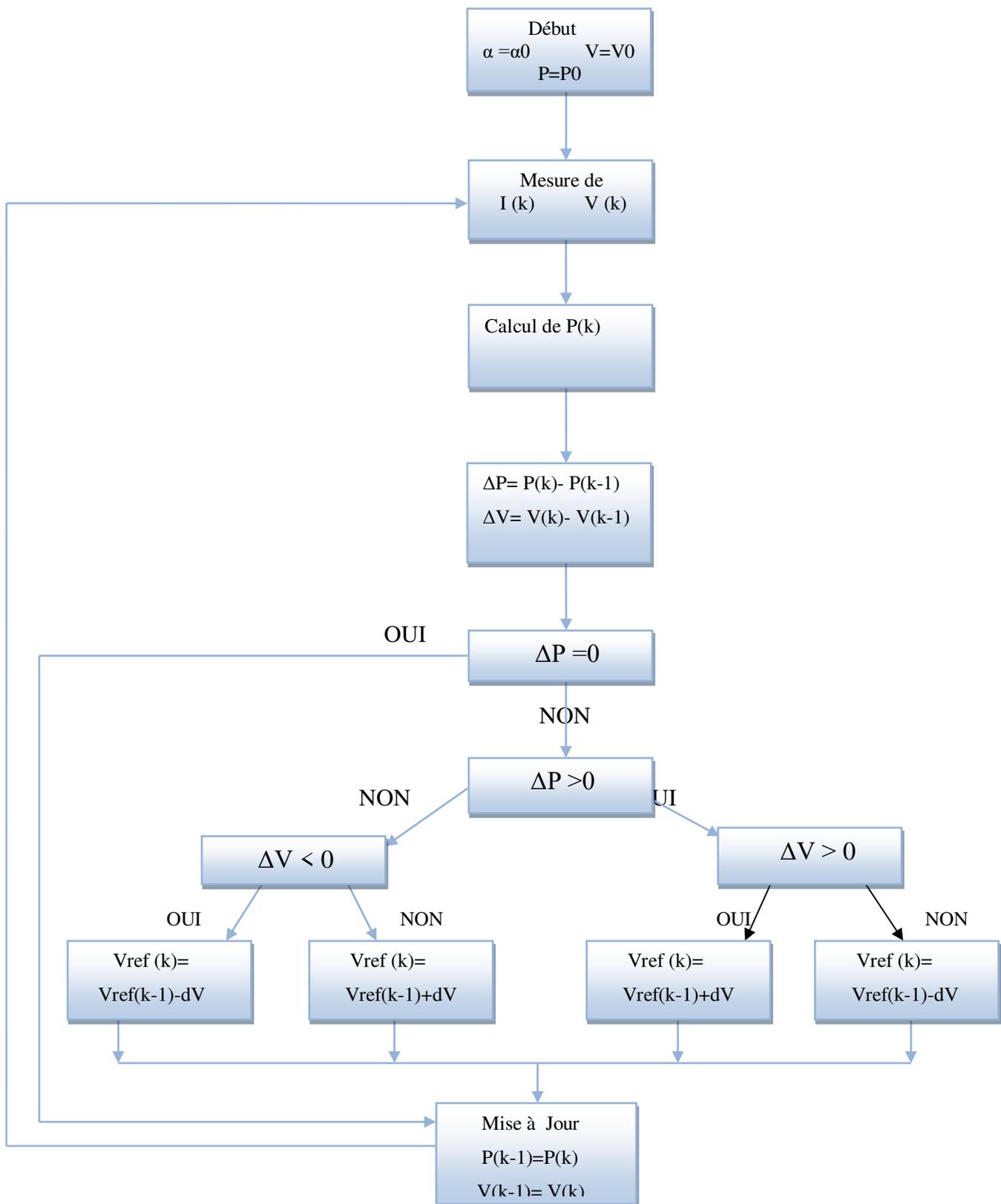


Figure II.12 : Organigramme de l'algorithme P&O

Le principe de cet algorithme est d'effectuer une perturbation sur la tension du panneau PV tout en agissant sur le rapport cyclique  $\alpha$ . En effet, suite à cette perturbation, on calcule la puissance fournie par le panneau PV à l'instant  $k$ , puis on la compare à la précédente de l'instant  $(k-1)$ . Si la puissance augmente, on s'approche du point à maximum de puissance (PMP) et la variation du rapport cyclique est maintenue dans le même sens. Au contraire, si la puissance diminue, on s'éloigne du PMP. Alors, on doit inverser le sens de la variation du rapport cyclique [9]

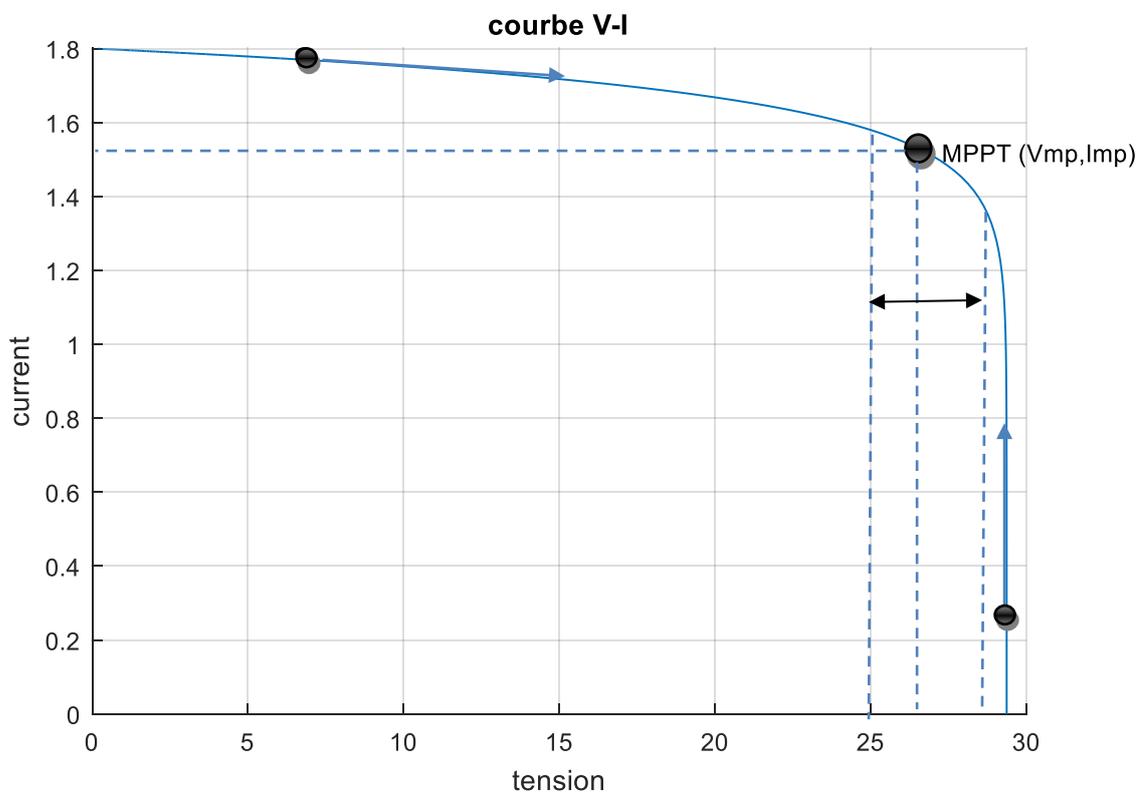


Figure II.13 : Principe du contrôleur MPPT V-I

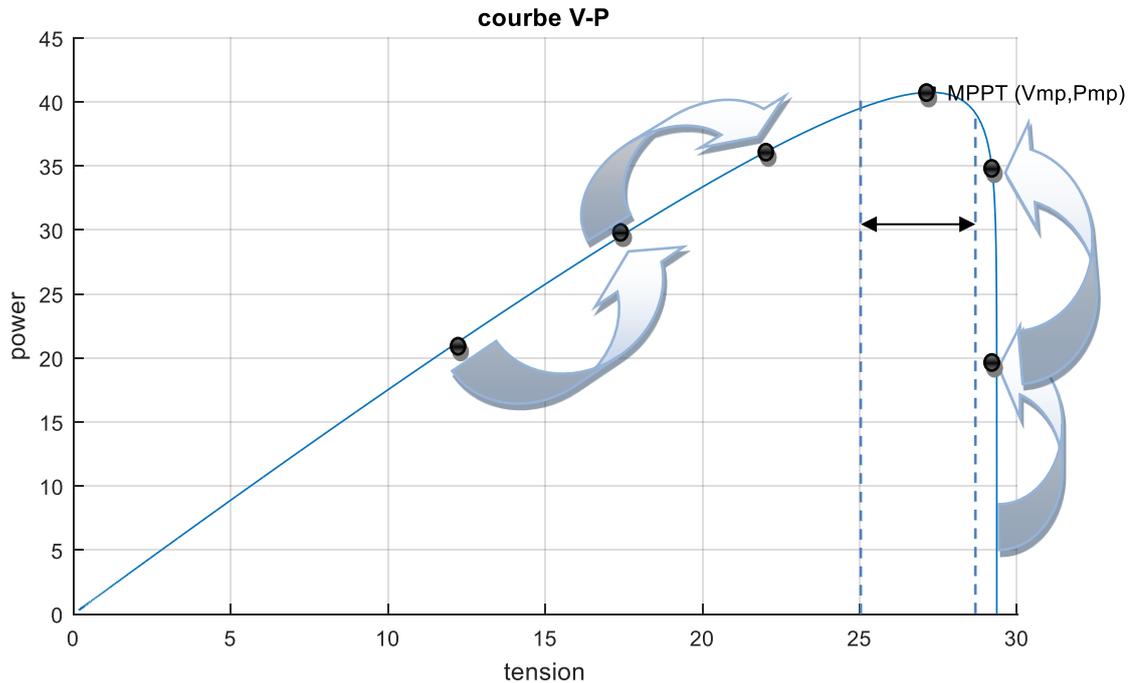


Figure II.14 : Principe du contrôleur MPPT V-P

### II.3 conclusion

Cette partie du mémoire a été consacrée à l'étude des blocs constituant le système photovoltaïque de point de vue modèle mathématique. Cette approche va nous permettre de mieux comprendre le comportement des éléments suite à une perturbation et leur commande utilisant la méthode de poursuite du point à puissance maximale ou MPPT.

Comme on a pu donner un aperçu sur la technologie des moteurs et les principes de fonctionnement de chaque type ainsi le choix résultant des caractéristiques mécaniques et de maintenance.

# CHAPITRE

# III

**Simulation et réalisation du système  
photovoltaïque**

# Simulation et réalisation du système photovoltaïque

## III.1 introduction

Ce chapitre est consacré à la simulation de système de commande utilisant la carte arduino. Pour cela il a été mis en oeuvre un programme en langage C pour gérer le système. Ce programme est basé sur le calcul de la puissance maximale produite par le panneau et faire varier la valeur de duty cycle  $\alpha$  utilisé par le convertisseur boost à fin de produire la puissance nécessaire pour la charge.

## III.2 Système photovoltaïque proposé

La figure (III.1) représente le schéma synoptique du système PV, alimentant une charge résistive. Ce système PV est constitué d'un générateur photovoltaïque, d'un convertisseur DC/DC, d'une charge représentée par un moteur et d'un système de commande MPPT représentée par une carte arduino. Cette dernière est équipée de deux capteurs l'un de courant et l'autre de tension.

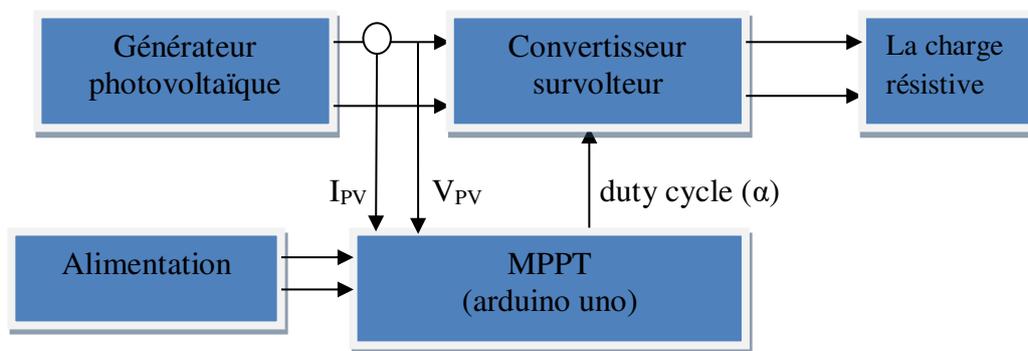


Figure III.1 : Schéma synoptique du système photovoltaïque

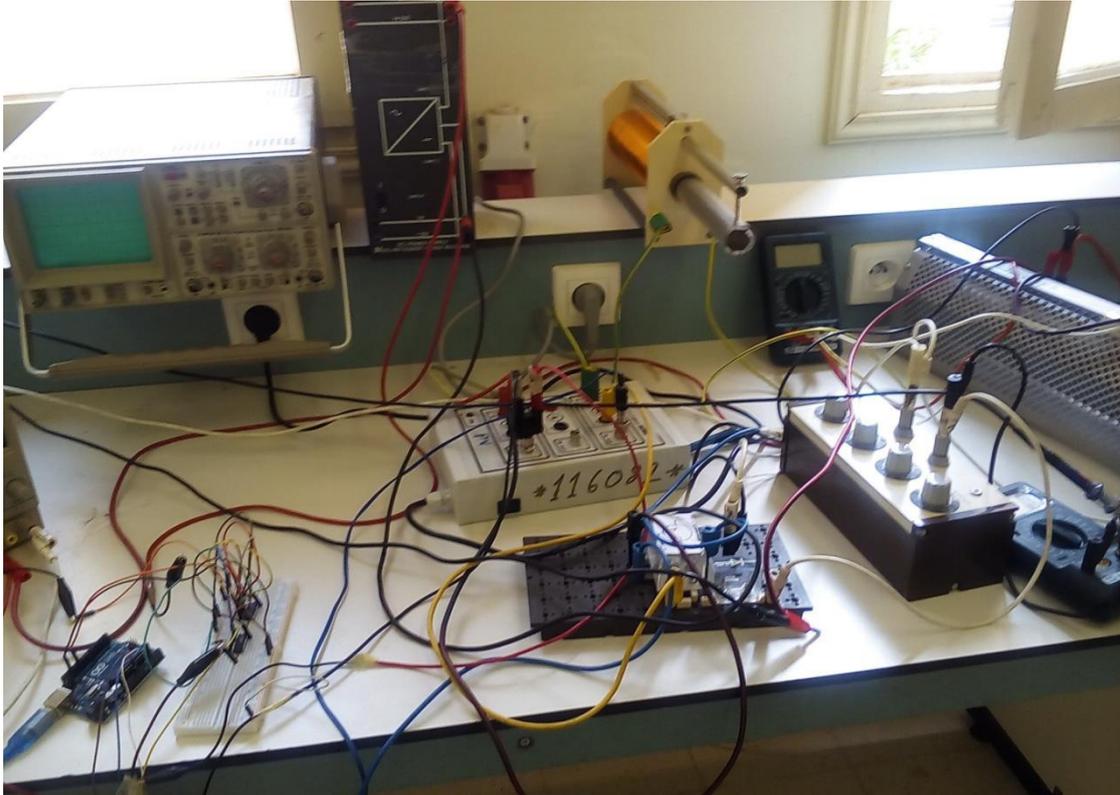


Figure III.2 : réalisation du système photovoltaïque

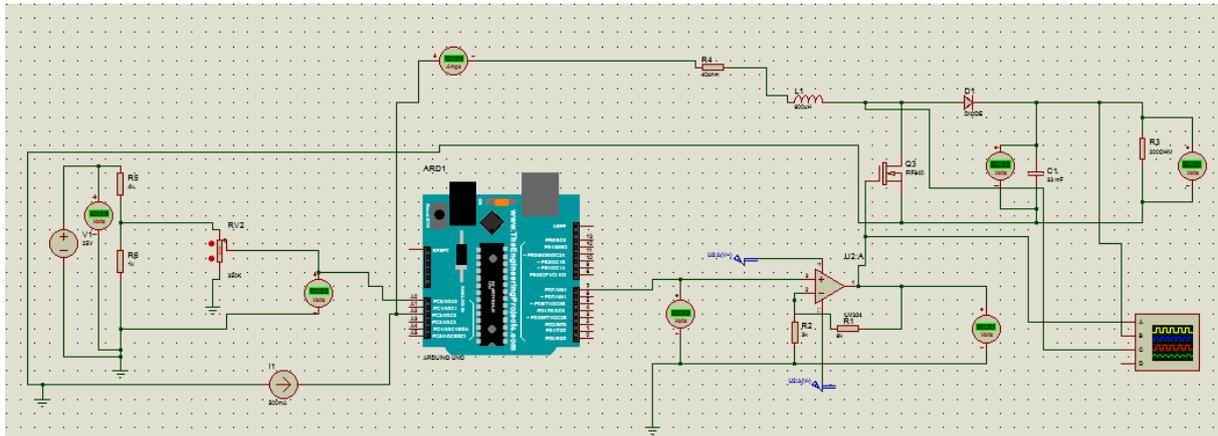


Figure III.3 : simulation de système photovoltaïque ISIS proteus

### III.2.1 Module photovoltaïque

Notre réalisation a été effectuée sur un générateur photovoltaïque avec les caractéristiques suivantes fournies par le constructeur a  $1000 \text{ w /m}^2$  a  $25^\circ \text{C}$  :

Courant de court –circuit :  $I_{cc}=3,7\text{A}$

Tension a circuit ouvert :  $V_{oc}=22,5 \text{ V}$

Courant optimum  $I_{op} = 3,5A$

Tension optimum  $V_{op} = 18V$

Resistance série :  $R_s = 0,08 \Omega$

Puissance crête :  $P = 60W$

Coefficient de variation du courant en fonction de la température =  $0.06\%/^{\circ}C$

Coefficient de variation de tension en fonction de la température =  $0.4\%/^{\circ}C$



*Figure III.4 : panneau utiliser*

### **III.2.2 interface panneau/arduino**

Le rôle de cette interface est d'adapter l'élément source qui est le générateur à la carte arduino pour éviter le conflit entre ces deux éléments. Elle contient une source de tension et une source de courant qui servent comme des entrées pour la carte arduino.

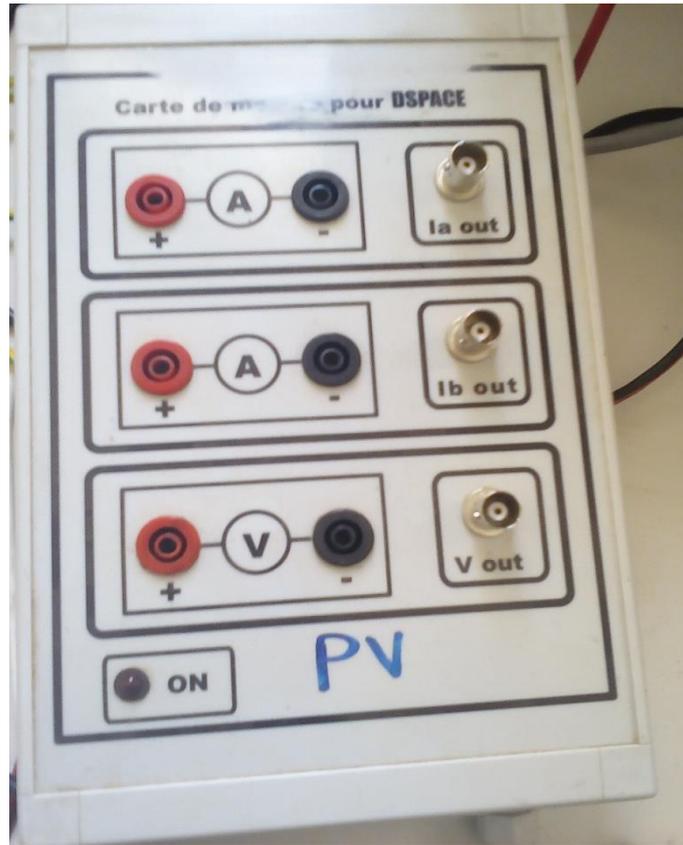


Figure III.5 : interface entre panneau et arduino

### III.2.2.1 Capteur de tension

Le capteur de tension est réalisé par un diviseur de tension composé de deux résistances ou plus et sur chaque résistance est appliquée une tension bien précise dans notre cas la tension appliquée à la carte varie entre 0 --- 5V

La tension de sortie du diviseur est donnée par la formule suivante :

$$V_2 = V_1 * \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

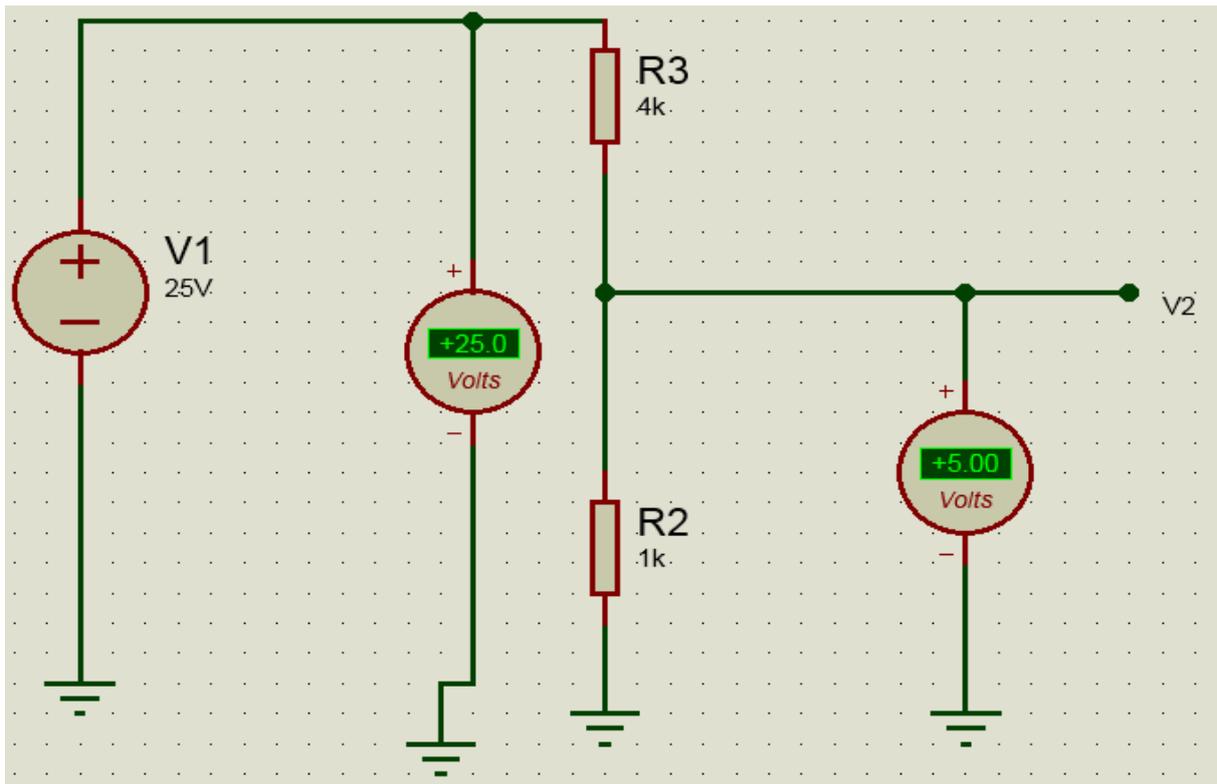


Figure III.6 : simulation de capteur de tension ISIS Porteous

### III.2.2.2 Capteur de courant

Le diviseur de courant est destiné à produire des valeurs de courant précises à travers un montage parallèle de résistance. La valeur du courant dans une branche est régie par l'équation suivante :

$$I2 = \frac{R1}{(R1+R2)} I1$$

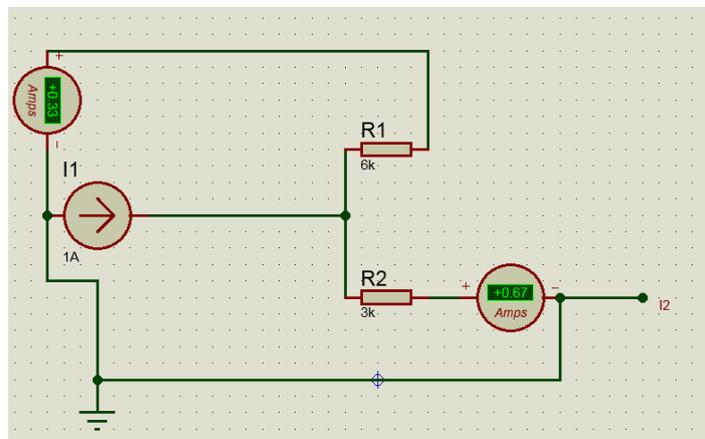


Figure III.7 : simulation de diviseur de courant ISIS Porteous

### III.2.3 Carte Arduino

Les cartes Arduino sont conçues pour réaliser des maquettes des cartes électroniques pour l'informatique embarquée. Ces cartes permettent un accès simple et rapide à l'informatique embarquée. 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 de programmation. [12]

#### III.2.3.1 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 [10].

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 Atmega328P 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) [10].

Elle offre 14 pins (broches) d'entrée/sortie numérique (donnée acceptée 0 et 1) dont 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 délivrer 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[10].

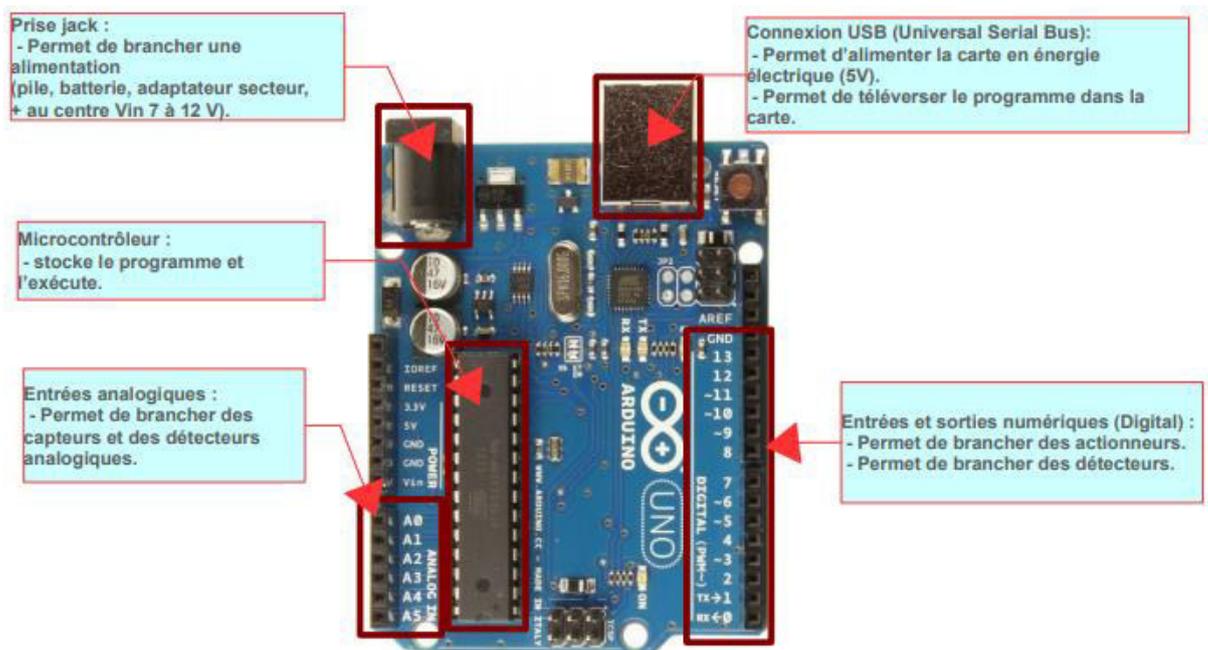
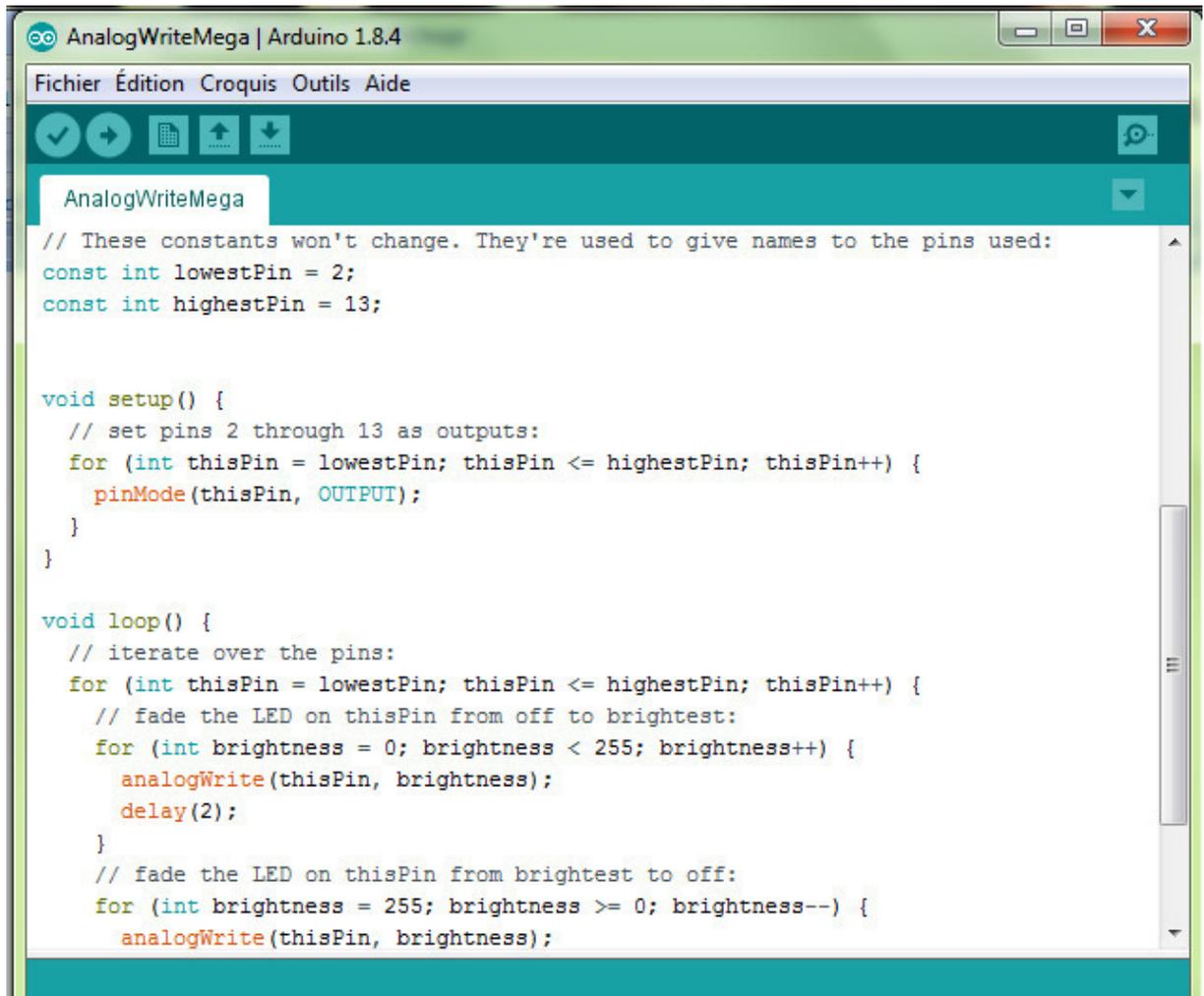


Figure III.8 : anatomie de carte arduino uno

### III.2.3.2 Langage de programmation

Le langage Arduino est inspiré de plusieurs langages. On retrouve notamment des Similarités avec le C, le C++. 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 [10].

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is 'AnalogWriteMega | Arduino 1.8.4'. The menu bar includes 'Fichier', 'Édition', 'Croquis', 'Outils', and 'Aide'. The toolbar contains icons for file operations and a search icon. The main editor area shows the following C++ code:

```
// These constants won't change. They're used to give names to the pins used:
const int lowestPin = 2;
const int highestPin = 13;

void setup() {
  // set pins 2 through 13 as outputs:
  for (int thisPin = lowestPin; thisPin <= highestPin; thisPin++) {
    pinMode(thisPin, OUTPUT);
  }
}

void loop() {
  // iterate over the pins:
  for (int thisPin = lowestPin; thisPin <= highestPin; thisPin++) {
    // fade the LED on thisPin from off to brightest:
    for (int brightness = 0; brightness < 255; brightness++) {
      analogWrite(thisPin, brightness);
      delay(2);
    }
    // fade the LED on thisPin from brightest to off:
    for (int brightness = 255; brightness >= 0; brightness--) {
      analogWrite(thisPin, brightness);
    }
  }
}
```

Figure III.9 : langage de programmation dans la carte arduino

### III.2.3.3 Structure d'un programme :

Un programme Arduino comporte trois parties :

- La partie déclaration des variables (optionnelle)
- La partie initialisation et configuration des entrées / sorties : la fonction `setup()`
- La partie principale qui s'exécute en boucle : la fonction `loop()`

### III.2.4 interface entre arduino et convertisseur

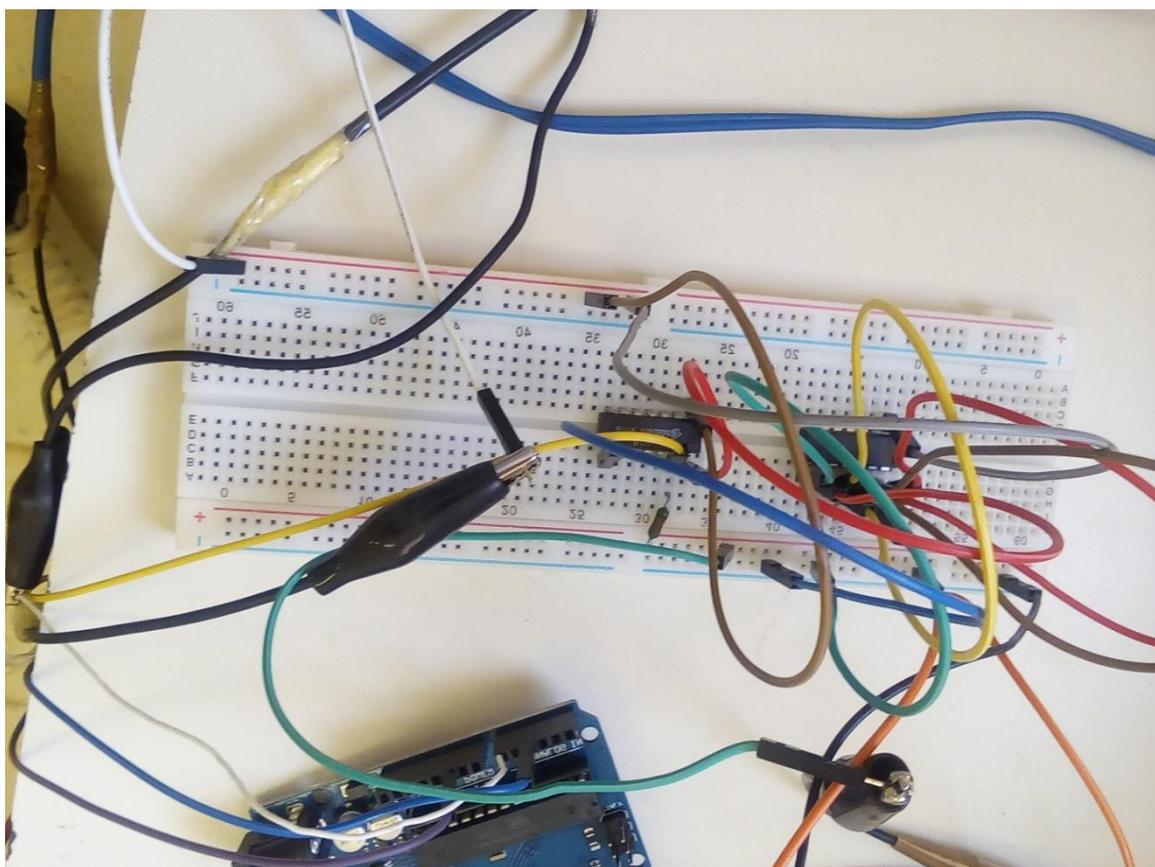


Figure III.10 : interface entre arduino et transistor

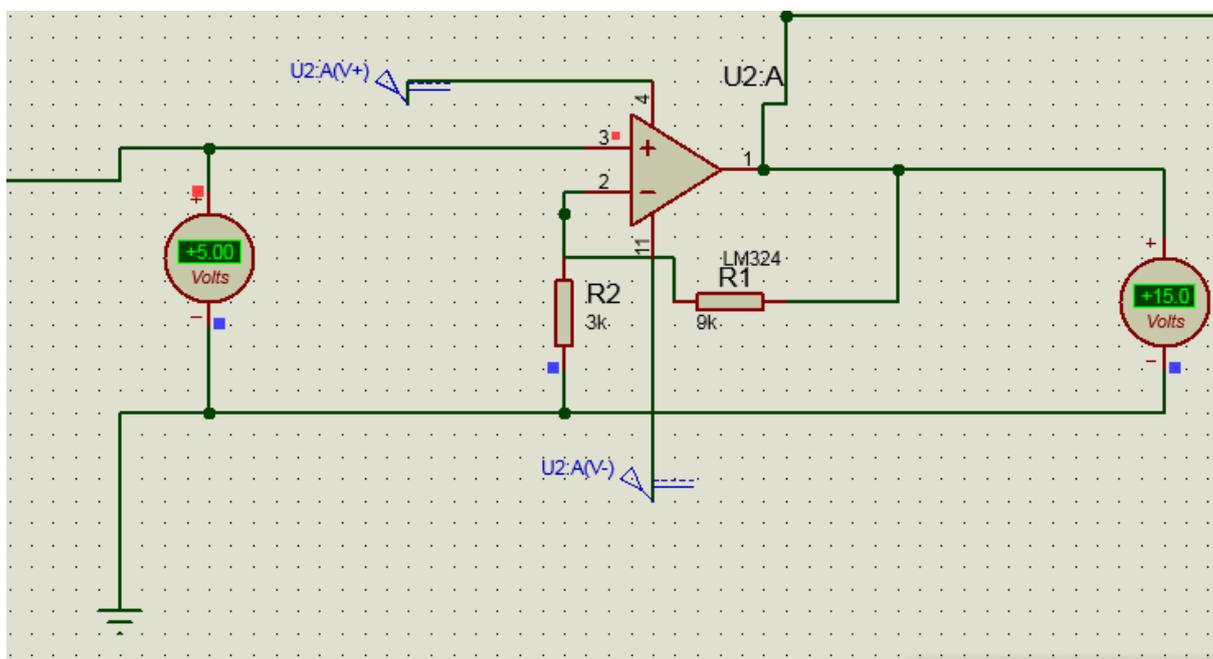


Figure III.11 :simulation de amplificateur ISIS proteus

Le rôle de l'amplificateur est de générer des impulsions pour commander le MOSFET de type "IRF840" jouant de rôle de Switch. Le niveau de la tension d'entrée est de 5V, à la sortie de l'amplificateur on obtient une tension de 15 V cadencée à une fréquence de 100 KHz qui fait fonctionner ce MOSFET. Cet amplificateur est réalisé à partir d'un amplificateur opérationnel LM 324 dont la borne négative est reliée au point médian d'un pont diviseur R1 et R2 qui a un potentiel variable avec la sortie. à chaque variation de l'entrée de 0 à 5 V Correspond une tension de sortie variable de 0 à 15 V.[13]

### III.2.5 Convertisseur survolteur (boost)

Comme nous avons vu dans le chapitre précédent la tension moyenne de sortie est supérieure à la tension d'entrée dans un convertisseur survolteur. Cette structure demande un interrupteur commandé à l'amorçage et au blocage (bipolaire, IGBT, ...). La figure (III.12) présente le schéma principe du convertisseur survolteur.

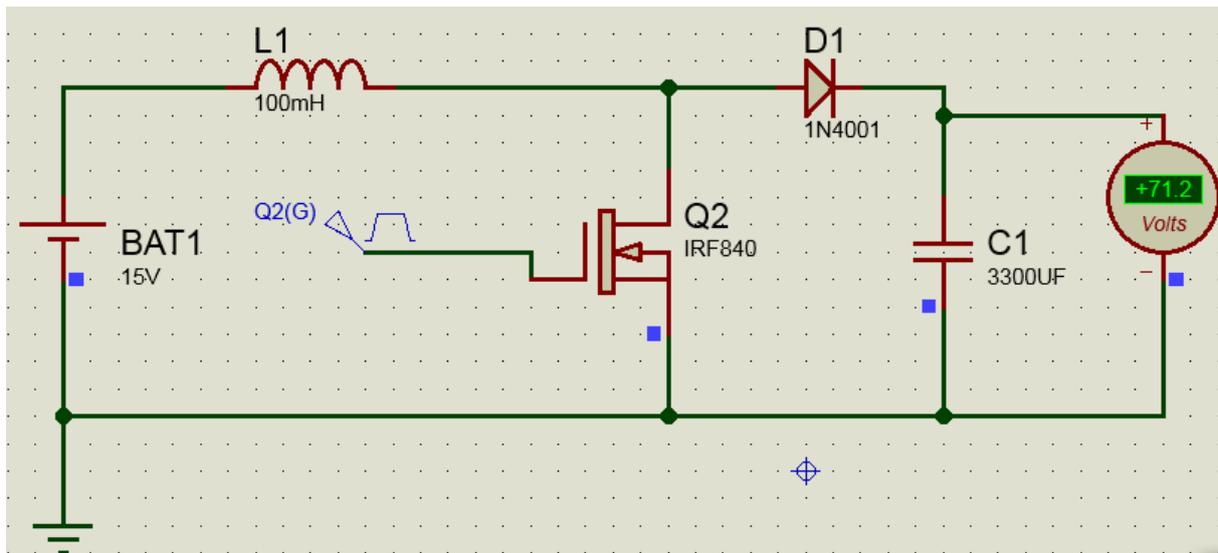


Figure III.12 : simulation de Convertisseur survolteur ISIS proteus

#### III.2.5.1 constitution du convertisseur utilise

Les différents composants constituant le convertisseur à savoir, l'inductance de lissage, le transistor de commutation, les capacités et la diode. La détermination de ces caractéristiques est une étape importante pour le système. tout composant inadapté peut créer un dysfonctionnement de la carte, et risque d'occasionner des pertes bien plus importantes qui affecte le rendement du système d'une manière très accentuée.

## 1) Transistor

Le transistor doit être dimensionné pour supporter le courant maximal délivré à la charge. Nous choisissons un MOSFET « *IRF 840* » dont les caractéristiques sont les suivantes :

### III.1 Tableau de caractéristiques de MOSFET « IRF840 »

IRF840	
Type of Transistor:	MOSFET
Type of Control Channel	N -Channel
Maximum Power Dissipation (Pd)	125 W
Maximum Drain-Source Voltage  Vds	500 V
Maximum Gate-Source Voltage  Vgs	20 V
Maximum Junction Température (Tj)	150 °C
Maximum Drain Courant  Id	18 A
Drain-Source Capacitance (Cd)	1500 pF

## 2) Diode

La diode utilisée doit être rapide et pouvant supporter le courant maximal fourni à la charge, son rôle est d'éviter le retour du courant provenant de la charge et peut supporter tension inverse important. Dans ce travail, nous avons placé une diode de référence «1N250B ».

### III.2 Caractéristiques de diode

1N250B	
Courant nominal	20A
Tension inverse de crête	200V
Température	150°C

## 3) Bobine

Cet élément est le plus délicat à déterminer. En effet, une inductance trop faible ne permet pas le fonctionnement de la carte de puissance, et une inductance trop forte quant à elle provoquerait d'importantes pertes de puissance par effet Joule. Alors, l'inductance du circuit Boost est calculée pour un rapport cyclique de 20% et une fréquence minimale de 100Khz avec un courant maximal de 10A

#### 4) Condensateur

Nous plaçons en sortie un condensateur chimique de valeur 6.3 mF pour filtrer les variations de tension de sortie et maintenir la forme de l'onde de sortie continue avec un taux d'ondulation réduit.

### III.5.2 Simulation du convertisseur survolteur sous Proteus

La figure (III.13) représente le schéma du convertisseur survolteur sous Proteus. On fait des tests sur le fonctionnement du convertisseur survolteur et l'élévation de sa tension. Le convertisseur est bien joué son rôle, l'augmentation du rapport cyclique augmente la tension de sortie et vice versa.

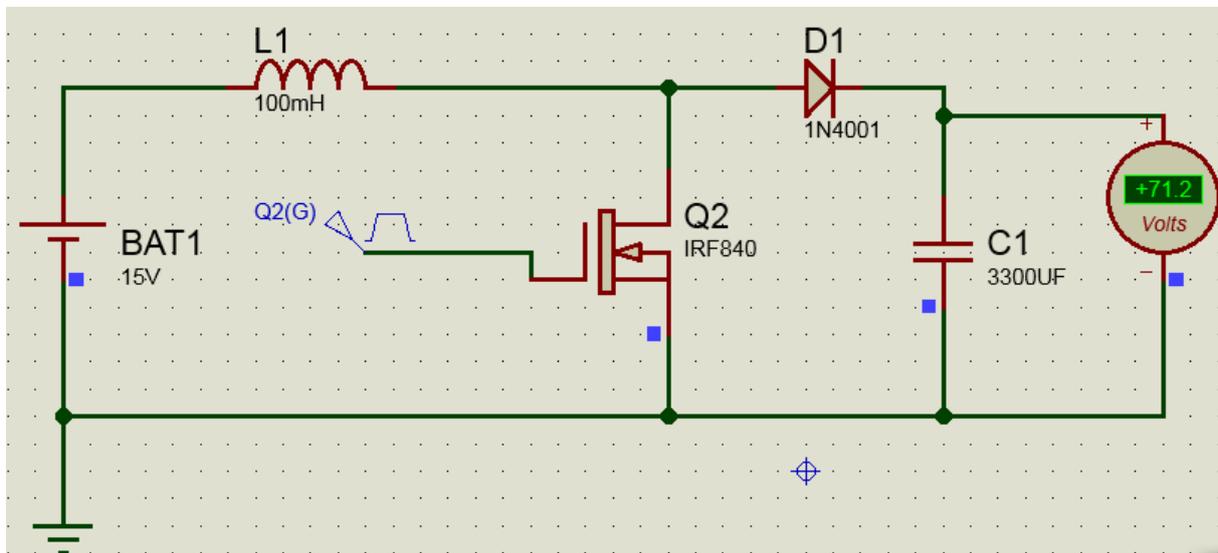


Figure III.13 : Schéma du convertisseur survolteur sous Proteus

### III.3 Résultat de simulation

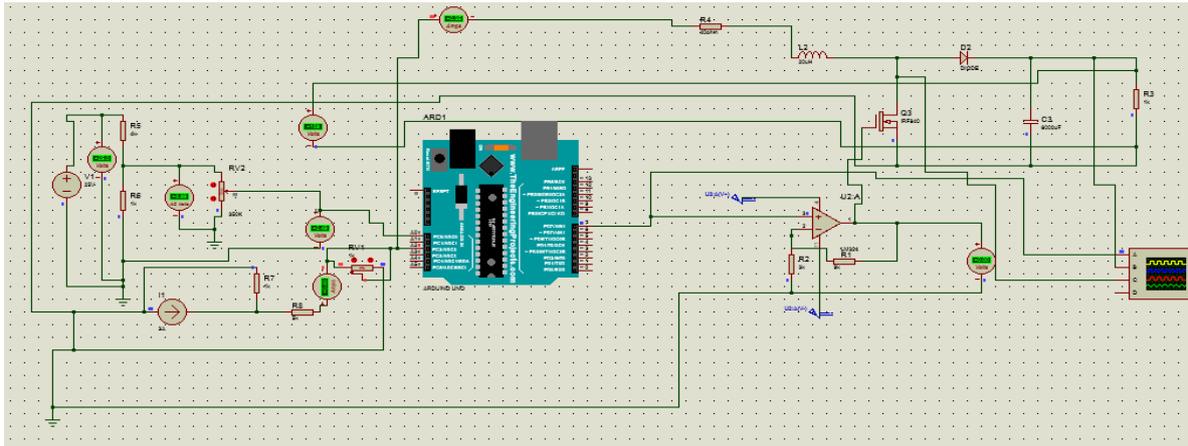


Figure III.14 : simulation globale de système photovoltaïque

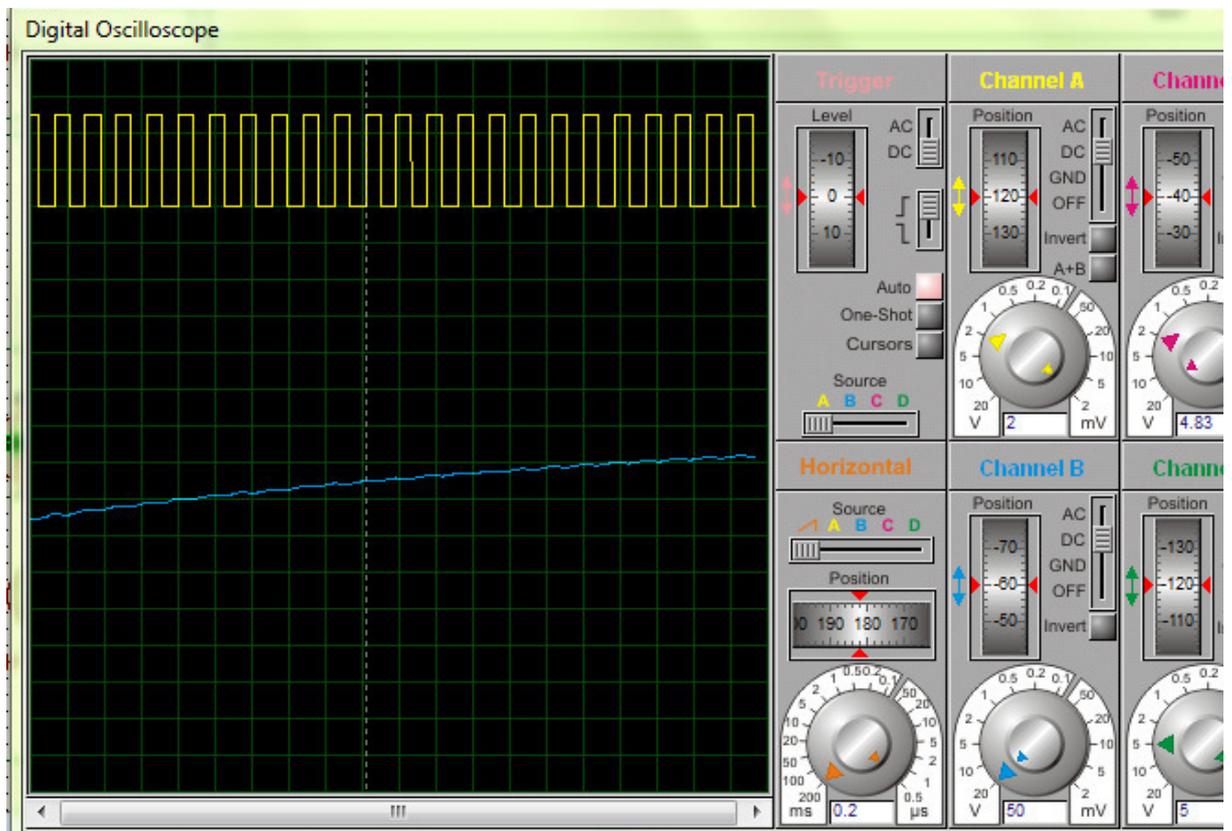


Figure III.15 : courbe d'évolution de la tension a la sortie de convertisseur

La tension de sortie évolue dans le temps suivant la forme exponentielle est qui se stabilise a la tension nominale de la charge avec un duty cycle constant

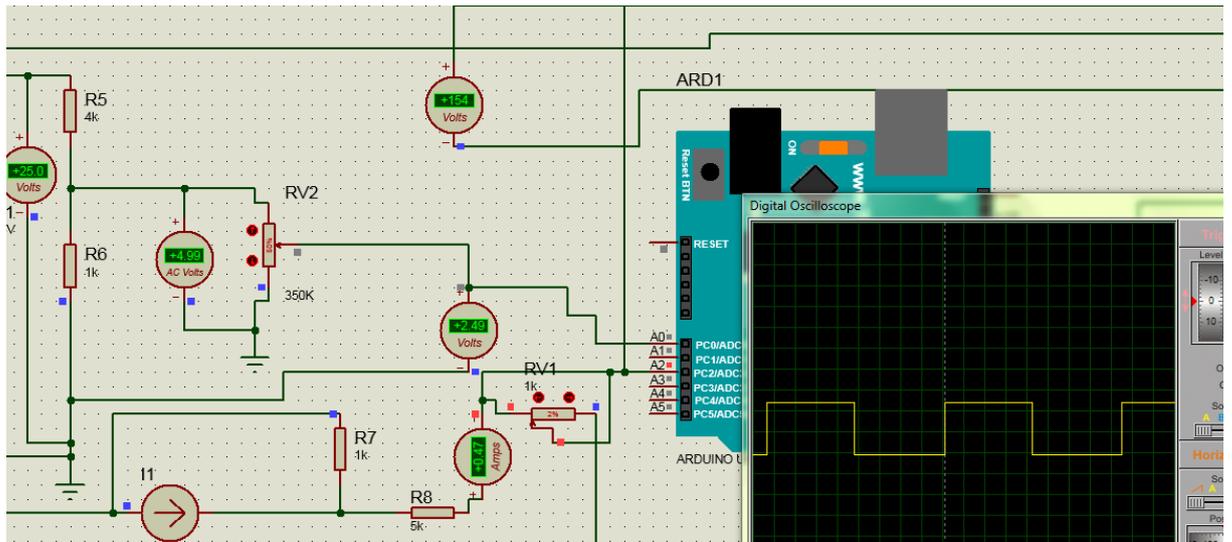


Figure III.16 : duty cycle a 50 %

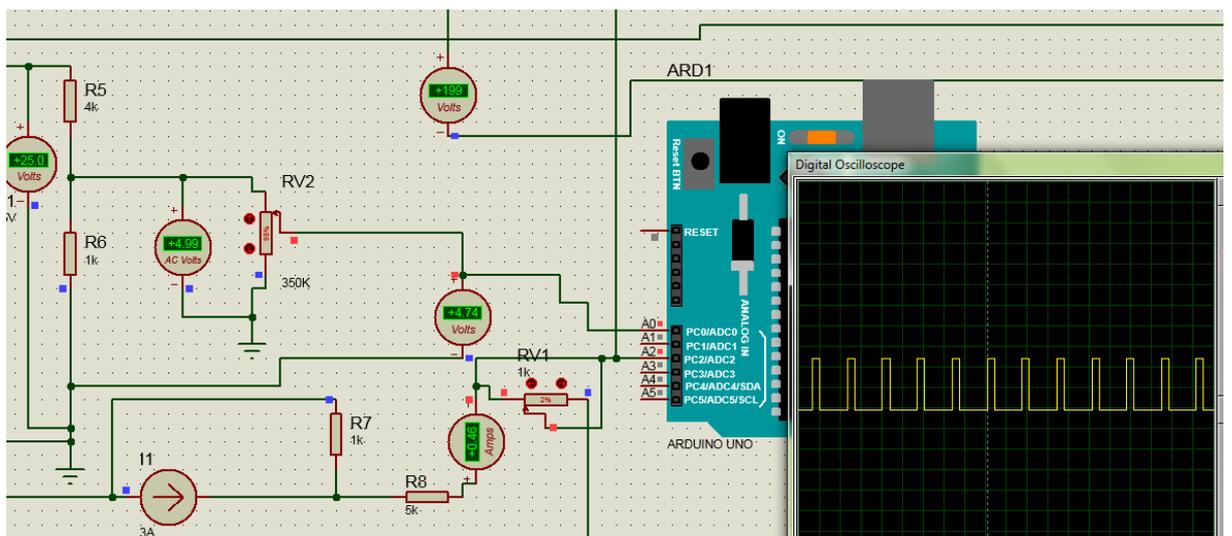


Figure III.17 : duty cycle a 20 %

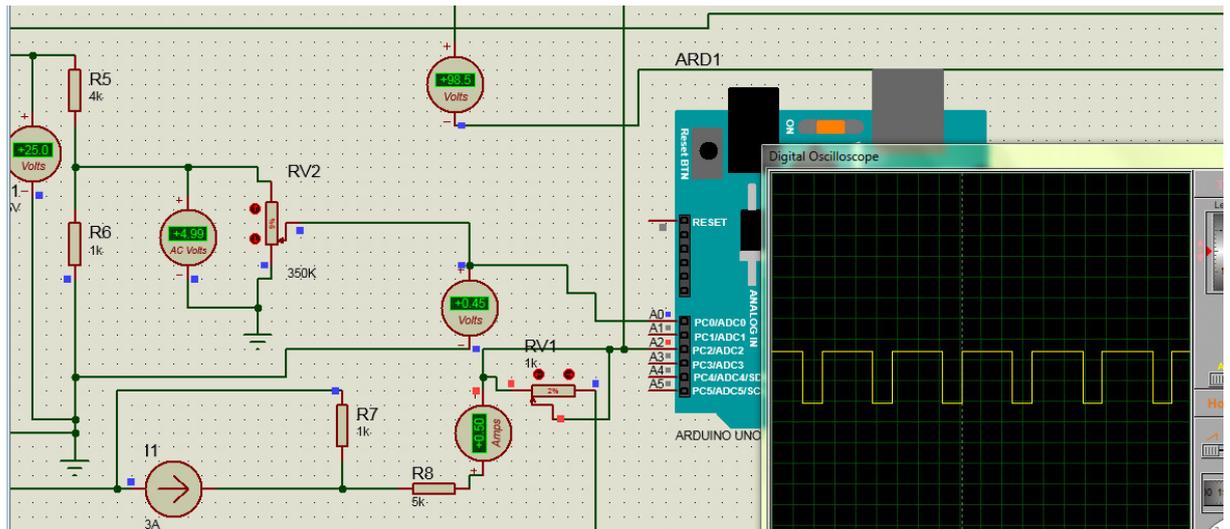


Figure III.18 : duty cycle a 70 %

Après variation de la puissance du panneau simulé par la variation de la tension et de courant nous observons dans la réponse de la carte arduino la variation du duty cycle comme suivant :

Comme référence le duty cycle ( $\alpha$ ) a 50 % la tension de sortie est fixée au alentours de 154 V (figure III.16).

En agissant par augmentation de la puissance d'entrée a travers la tension nous observons que le duty cycle a diminué ce qui a donné une augmentation de la tension de sortie(figure III.17)

En faisant diminuer la puissance a travers la tension d'entrée nous remarquons que le duty cycle ( $\alpha$ ) augmente ce qui donne une diminution de tension a la sortie (figure III.18).

### III.4 Résultats de réalisation

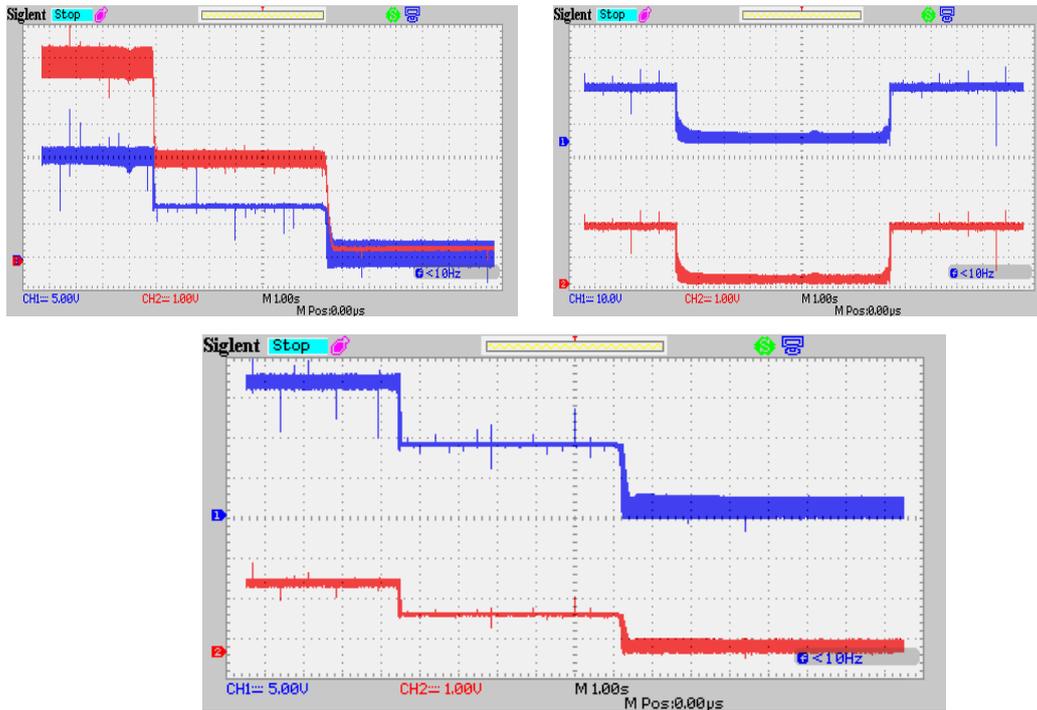


Figure III.19 : variation de tension entrée sortie on fonction de variation d'éclairement

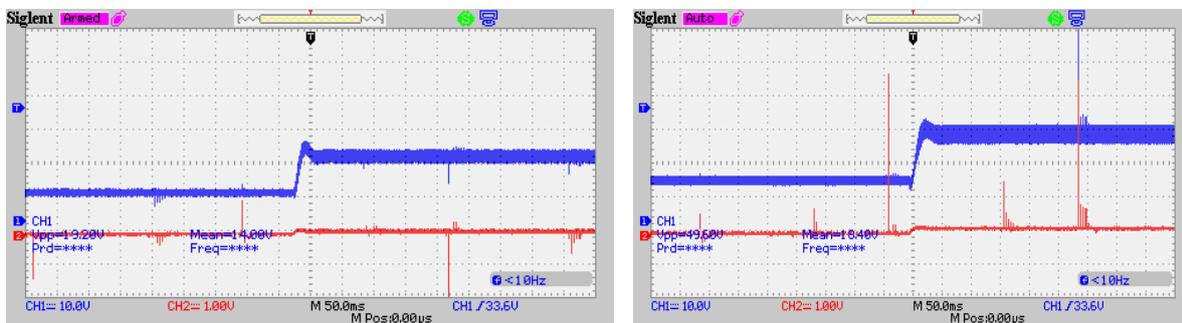


Figure III.20 : variation courant et tension on fonction de variation d'éclairement

Comme il a été dit au chapitre II, l'éclairement influe directement et proportionnellement sur les paramètres électriques du générateur PV ce qui a été confirmé par la concrétisation réelle en manipulant du panneau en changeant l'incidence de rayonnement.

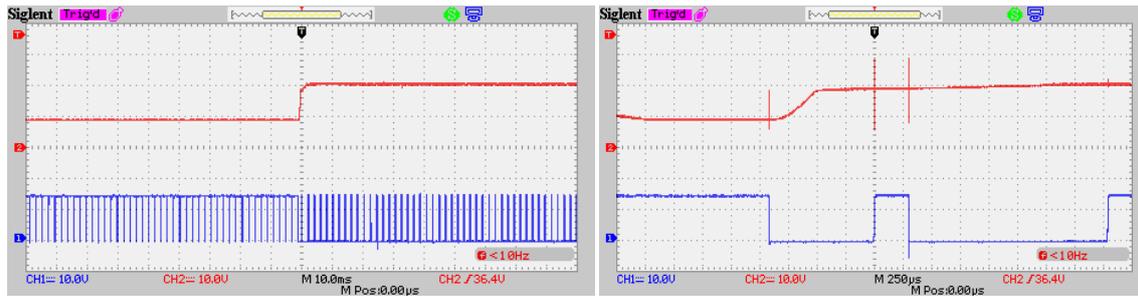


Figure III.21 : variation de duty cycle on fonction de tension d'entrée

L'influence de l'éclairement sur la tension d'entrée a montré la variation de duty cycle  $\alpha$ , la figure III.20 ci-contre montre cette variation, ce qui a donné dans ce cas une augmentation de tension avec une diminution du duty cycle

### III.5 Conclusion

Dans cette dernière partie l'étude a été consacrée à la simulation des parties du système que ce soit sur l'influence des éléments du convertisseur DC/DC que sur les paramètres du générateur photovoltaïque. La manipulation nous a permis de voir les variations des paramètres électriques agissant sur la puissance (moteur à cc), ainsi que les variations du flux lumineux incident (éclairage) sur le générateur PV, ce qui nous permet de confirmer la concordance des résultats obtenus par simulation et réalisation.

## **Conclusion générale**

Cette étude m'a permis d'étudier le comportement d'un système PV commandé par une carte ARDUINO utilisant le principe de la poursuite automatique de la puissance maximale MPPT générée par le PV. A cet effet la méthode Perturbation-Observation était choisie voire recommandée, vu sa simplicité utilisant uniquement les variables tension et courant, afin de mieux observer le comportement du système et la réponse de la commande.

En premier temps j'ai donné un aperçu général sur les générateurs PV leur fonctionnement et leur application ensuite étudié quelques types de convertisseur DC/DC dont j'ai utilisé le convertisseur DC/DC survolteur (boost) afin de pouvoir commander le moteur à courant continu utilisé dans le système.

Comme il a été fait l'objet d'une vision générale de la carte ARDUINO comme un microcontrôleur programmable utilisant le langage similaire à C, C++ et les autres éléments de la chaîne de commande comme, les capteurs de tension et de courant, le convertisseur survolteur (boost) jouant le rôle d'interfaces entre le PV et la puissance.

Finalement une simulation a été faite sur le simulateur PROTEUS de l'ensemble du système et en comparaison des résultats obtenus confirment les résultats pratiques effectués sur un panneau photovoltaïque piloté par une carte ARDUINO qui ajuste la puissance à sa valeur maximale suite à toute perturbation ce qui montre l'efficacité de ce type de commande.

# ANNEXE

## Programme de perturbe and observe :

```
floatduty_min =1;
floatduty_max = 750 ;
float duty = 480 ;
const float v = A0;
const float i = A2;
int pa =10;
floatvk ;
floatik ;
float p ;
floatdelP ;
floatv_prev = 0 ;
floatp_prev = 0 ;
floatdelv ;
constint wave = 7;
```

```
void setup() {
```

```
pinMode(wave,OUTPUT);
```

```
pinMode(v,INPUT);
```

```
pinMode(i,INPUT);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
// put your main code here, to run repeatedly:
```

```

vk = analogRead(v);
ik = analogRead(i);

ik = ik*(5.0/1023.0);
vk = vk*(5.0/1023.0); //analog read will give value between 0 to 1023.

p = vk*ik;

delP = p - p_prev;
delv = vk - v_prev;

if(delP !=0 )
{
if (delP> 0){
if (delv > 0)
    {duty += pa;}

else if (delv< 0)
    {duty -= pa;}
}
else if (delP< 0) {
if (delv< 0)
    { duty += pa ;}
else if (delv> 0)
    {duty -= pa;};

}
}

```

```
}

else if (delP = 0) {
duty ;
}
if (duty >duty_max)
{duty = duty_max;}
else if (duty <duty_min)
{duty = duty_min;}
digitalWrite(wave,HIGH);
delayMicroseconds(duty);
digitalWrite(wave,LOW );
delayMicroseconds(duty_max - duty);

p_prev=p;
v_prev=v;
}
```

## Bibliographie

- [1] <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/energie-renouvelable-son-t-cinq-types-energies-renouvelables-4134/>
- [2] <https://www.museum.toulouse.fr/-/quelles-energies-pour-l-humanite-aujourd-hui-et-demain->
- [3] aoufi ,saliha . «modélisation et commande d'un système de pompage photovoltaïque »UNIVERSITE FERHAT ABBAS — SETIF, algerie
- [4] Thomas ,Mambrini. « caraterisation de panneaux solaires photovoltaïque en conditions reelles d'implantation et en fonction des differentes technologies » laboratoire de genieelectrique de paris (LGEP),université paris sud-paris, France, 2014, page 38 -39.
- [5] Stéphane,vighetti. « Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau : Choix et dimensionnement des étages de conversion », l'Institut polytechnique de Grenoble, France, le 24 septembre 2010
- [6] [docplayer.fr/20392132-Convertisseur-eleveur-boost.html](http://docplayer.fr/20392132-Convertisseur-eleveur-boost.html)
- [7] ] <http://www.e-cours.com/2014/05/exercices-avec-corriges-hacheur-serie.html>
- [8] [garnero.michel.free.fr/Docs-isen/ENP/1-Hacheurs.pdf](http://garnero.michel.free.fr/Docs-isen/ENP/1-Hacheurs.pdf)
- [9] H. Abbes, H. Abid, K. Loukil, A. Toumi et M. Abid « Etude comparative de cinq algorithmes de commande MPPT pour un système photovoltaïque » National School of Engineering of Sfax, University of Sfax PO Box, 1173, 3038 Sfax, Tunisia
- [10] Ahmed,Azi. « Contribution au développement d'un outil d'aide au diagnostic de performances des MPPT dans la chaine de conversion photovoltaïque », Mémoire magister, Université de M'sila, Algérie, 2014
- [11] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Convertisseur\\_Buck-Boost](https://fr.wikipedia.org/wiki/Convertisseur_Buck-Boost)
- [12] LECHALUPÉ, Julien. « Cours d'initiation à Arduino », Université Paul Sabatier,2014, pages25
- [13] [http://www.sonelec-musique.com/electronique\\_bases\\_diviseurs\\_res.html](http://www.sonelec-musique.com/electronique_bases_diviseurs_res.html), 12/05/2018.
- [14] Lutfi,al charif. «Boost Converter I: Derivation of equations», site: <https://www.youtube.com/watch?v=J4fbQEngsac>. University de Jordan
- [15] Lutfi, al charif.« Buck Converter I: Derivation of equations », site :<https://www.youtube.com/watch?v=qRYsIaQd-NU>. University de Jordan
- [16] Lutfi, al charif.« Buck Converter I: Derivation of equations », site: <https://www.youtube.com/watch?v=OfQDBsd6tvG>. University de Jordan