



République Algérienne Démocratique et Populaire.

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Echahid Hama Lakhdar- EL Oued



Faculté de la Technologie

Département de Génie Electrique

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Réseaux Electrique

Présenté par:

- MOHAMMED BAHMED
- LEMGHADAM ABD ELHAMID

# COMMANDE MPPT POUR LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES PAR ALGORITHME PERTURBATION ET OBSERVATION

Soutenue le :...../..... /2023

: Devant le jury composé de

- Dr : .....
- Dr : .....
- Dr : Labbi Yacine

Président  
Examineur  
Encadreur

Année universitaire 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## **DEDICACE**

*Je dédie cette réalisation à mes généreux père et  
mère, à mes frères et chers amis*

*Je dédie cette réalisation à tous ceux qui m'ont  
enrichi*

*‘ma vie d'une manière ou d'une autre*

*Qu'il s'agisse de camarades de classe, d'amis, de  
connaissances ou même de personnes*

*‘Je n'ai pas rencontré personnellement*

*Mais ils m'ont soutenu de loin avec leurs gentils  
mots*

*.Et des encouragements continus*

*‘Je me dédie cette réalisation*

*‘Je me remercie pour la conception*

*‘persévérance et dévouement au travail acharné*

*Je me souhaite de réussir dans une nouvelle phase  
de vie*

# *Remerciement*

*Nous adressons nos sincères remerciements au professeur superviseur, « Labbi Yassin » pour sa patience et sa présence à nos côtés du début à la fin des travaux. Nous remercions également Mme « Hakima Sharif » et Mme « Maamir Madiha » pour leur bonne action avec nous tout au long de cette année, alors qu'il a enduré nos embûches et s'est efforcé de corriger le cours de nos recherches avec leurs précieux conseils et leurs avis avisés. Puissiez-vous toujours être notre soutien et notre fierté pour l'humilité, avec votre exemple, nous nous élevons*

## Résume :

كان هناك الكثير من الاهتمام بالطاقة المتجددة في السنوات الأخيرة ، وخاصة الخلايا الكهروضوئية يتعلق هذا المشروع بتصميم وتنفيذ محول DC/DC بتقنية Buck-Boost يتم التحكم فيه بواسطة PO-MPPT في سلسلة كهروضوئية لضمان استمرار الطاقة القصوى التي يولدها مولد الكهروضوئية على أساس متحكم Arduino Uno .

تستخدم النتائج التجريبية لتأكيد فعالية الضوابط المقترحة .

**الكلمات المفتاحية:** الخلايا الكهروضوئية ، محول Buck-Boost ، تحكم MPPT ، محولات DC-DC

## Résumé :

Il y a eu beaucoup d'intérêt pour les énergies renouvelables ces dernières années, notamment le photovoltaïque.

Ce projet porte sur la conception et la mise en œuvre d'un convertisseur DC/DC technologique de type Buck-Boost contrôlé par PO-MPPT dans une chaîne photovoltaïque pour assurer la poursuite de la puissance maximale générée par un générateur PV basé sur un microcontrôleur Arduino UNO.

Les résultats expérimentaux sont utilisés pour confirmer l'efficacité des contrôles proposés.

**Mots clés :** Photovoltaïque , Convertisseur Buck-Boost , Commande MPPT , convertisseurs DC-DC.

## Summary :

There has been a lot of interest in renewable energy in recent years, especially photovoltaics.

This project concerns the design and implementation of a Buck-Boost technology DC/DC converter controlled by PO-MPPT in a photovoltaic chain to ensure the continuation of the maximum power generated by a PV generator based on a microcontroller. Arduino UNO.

Experimental results are used to confirm the effectiveness of the proposed controls.

**Keywords:** Photovoltaic, Buck-Boost converter, MPPT control, DC-DC converters.

## SOMMAIRE

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| DEDICACE .....                                | I   |
| Remerciement .....                            | I   |
| Résume :.....                                 | II  |
| SOMMAIRE .....                                | III |
| Liste de tableau .....                        | III |
| Liste de Figure .....                         | 10  |
| Liste des abréviations et Nomenclature :..... | V   |
| Nomenclature :.....                           | 12  |
| Introduction Générale .....                   | a-b |

### Chapiter I:

#### Concepts De Base Des Systèmes Photovoltaïques

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| I.1. Introduction : .....                                   | 4  |
| I.2. L'énergie Solaire :.....                               | 4  |
| I.3. Description du système photovoltaïque : .....          | 5  |
| I.4. Types de cellules photovoltaïques :.....               | 6  |
| 1. Cellules amorphes : .....                                | 6  |
| 2. Cellules monocristallines :.....                         | 6  |
| 3. Cellules poly-cristallines :.....                        | 6  |
| I.4.1 La cellule photovoltaïque ou la photopile :.....      | 7  |
| I.4.2 Circuit PV Electrique Equivalent :.....               | 8  |
| I.5. Modélisation Du Module PV : .....                      | 11 |
| I.6.Algorithme de perturbation et observation : .....       | 12 |
| I.7.La Simulation De Photovoltaïque module : .....          | 14 |
| I.8. L'influence de la température et de l'éclairemen ..... | 15 |
| I.8.1. L'influence de l'éclairement : .....                 | 15 |

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| I.8.2. L'influence de la température : ..... | 16 |
| I.9.Conclusion : .....                       | 17 |

## **CHAPITER II : MODELISATION DU CONVERTISSEUR DC-DC ET LA COMMANDE MPPT**

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| II.1. Introduction : .....                                  | 19 |
| II.2. Les convertisseurs DC-DC (hacheurs) : .....           | 20 |
| II.2.1.Définition de convertisseurs DC-DC: .....            | 20 |
| II.2.2.Hacheur DC-DC : .....                                | 20 |
| II.2.3.Simulation de convertisseurs DC-DC : .....           | 21 |
| II.2.4.Résultat de simulation : .....                       | 22 |
| II.2.2.1 Convertisseur BUCK : .....                         | 25 |
| II.2.2.2 Convertisseur BOOST : .....                        | 26 |
| II.2.2.3 Convertisseur BUCK-BOOST : .....                   | 28 |
| II.3.Principe de la commande MPPT : .....                   | 30 |
| II.3.1 Poursuite du point de puissance maximale : .....     | 32 |
| II.3.2.Algorithme Perturbation et Observation : .....       | 32 |
| II.3.3.System photovoltaïque avec technique PO-MPPT : ..... | 34 |
| II.3.3.1. Résultat de simulation PO-MPPT: .....             | 35 |
| II.4.Conclusion : .....                                     | 37 |

## **CHAPITER III: APPLICATION DE TRAVAIL DE SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE EXPÉRIMENTAL**

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| III.1.Introduction : .....                                            | 39 |
| III.2. Caractéristiques de la carte Arduino : .....                   | 40 |
| III.2.1. Pourquoi nous avons choisi l'Arduino UNO et son prix : ..... | 40 |
| III.2.2. Carte Arduino Uno et ses composants : .....                  | 40 |
| III.2.3. The microcontroller ATmega328 : .....                        | 41 |

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| III.2.4. Les différentes cartes Arduino :.....                                         | 43 |
| III.2.5. Arduino UNO: .....                                                            | 43 |
| III.2.6 Les entrées / sorties :.....                                                   | 44 |
| III.2.7. Les entrées / sorties numeriques : .....                                      | 45 |
| III.2.8. Les sorties numeriques :.....                                                 | 45 |
| III.2.9.Les entrées numeriques :.....                                                  | 46 |
| III.2.10.Les entrées analogique :.....                                                 | 46 |
| III.2.11.Les sorties analogique : .....                                                | 46 |
| III.2.12.Les tensions de references :.....                                             | 47 |
| III.2.13.Le porte USB :.....                                                           | 48 |
| III.2.14.Partie programme :.....                                                       | 48 |
| III.3. Application pratique por la MPPT du convertisseur DC /<br>DC Buck -Boost :..... | 50 |
| III.3.1. Convertisseur Buck-Boost DC/DC d'occasion et ses<br>composants : .....        | 50 |
| III.3.2. Application pratique por la MPPT :.....                                       | 51 |
| III.3.2.1 : Le panneau photovoltaïque utilisé : .....                                  | 51 |
| III.3.2.2 : Les Captures Utilisé :.....                                                | 52 |
| III.3.3. MPPT et ses résultats :.....                                                  | 54 |
| CONCLUSION GENERAL .....                                                               | 57 |
| REFERENCES .....                                                                       | 58 |

| <b>Liste de tableau</b>                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau I.1. Rendement des différents types de cellules .....                     | 7  |
| Tableau 1.2 : Caractéristiques électriques du module PV .....                     | 11 |
| Tableau I.3. Principe de l'algorithme P&O .....                                   | 13 |
| Tableau (II.1) .Récapitulatif des caractéristiques des convertisseurs DC-DC ..... | 30 |
| Tableau (III.1) la carte arduino UNO : .....                                      | 44 |
| Tableau (III.2) : Propriétés du Sunmodule SW 80 Mono RHA .....                    | 52 |
|                                                                                   |    |

## Liste de Figure

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure (I.1) : Energie solaire photovoltaïque.....                                             | 5  |
| Figure (I.2) : Modèle électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque. .                    | 6  |
| Figure (I.3): Les principaux types de cellules .....                                           | 7  |
| Figure (I.4): Représentation schématique d'une pile solaire à jonction PN standard .....       | 8  |
| Figure (I.5): pratique a diode unique modèle. ....                                             | 8  |
| Figure (I.6) Caractéristique de fonctionnement de la méthode P&O .....                         | 12 |
| Figure (I.7). Organigramme de la méthode P&O .....                                             | 14 |
| Figure (I.8) Simulation d'un panneau solaire avec MATLAB.....                                  | 14 |
| Figure (I.9) Caractéristiques courant-tension pour une température constante $T = 25$ .....    | 15 |
| Figure (I.10) Caractéristiques puissance-tension pour une température constante $T = 25$ ..... | 15 |
| Figure (I.11) Caractéristiques courant-tension .....                                           | 16 |
| Figure (I.12) Caractéristiques puissance-tension.....                                          | 16 |
| Figure (II.1) : convertisseurs DC-DC .....                                                     | 21 |
| Figure(II.2) : Simulasion de convertisseurs DC-DC .....                                        | 21 |
| Figure (III.3) : Résultat de simulation convertisseurs DC-DC.....                              | 24 |
| Figure (II.4) : Schéma électronique de convertisseur abaisseur « Buck » .....                  | 25 |
| Figure (II.5) : Convertisseur Buck durant l'état On .....                                      | 26 |
| Figure (II.6) : Convertisseur Buck durant l'état Off .....                                     | 26 |
| Figure (II.7) : Le convertisseur BOOST.....                                                    | 27 |
| Figure (II.8): Schéma équivalent de la phase 1 .....                                           | 27 |
| Figure (II.9) : Circuit équivalent pour Phase 2 .....                                          | 28 |
| Figure (II.10) : Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Buck-Boost .....     | 29 |
| Figure (II.11) : Schéma bloc d'un algorithme de recherche du MPPT ....                         | 31 |
| Figure (II.12) Caractéristique puissance–tension d'un panneau photovoltaïque.....              | 33 |
| Figure (II.13) : Algorithme de la commande Perturbation et observation                         | 34 |
| Figure (II.14) : Simulation du system photovoltaique avec technique PO-MPPT : .....            | 34 |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure (II.15)Résultat de simulation PO-MPPT(a.b.c.d.e.f.D) .....      | 37 |
| Figure (III.1) : Arduino UNO .....                                     | 39 |
| Figure (III.2) : Carte Arduino Uno et ses composants .....             | 40 |
| Figure (III.3) : Microcontroller ATmega328 .....                       | 42 |
| Figure(III.4) : Les entrees / sorties numeriques.....                  | 45 |
| Figure (III.5) : Les entrées analogique .....                          | 46 |
| Figure (III.6) Les sorties analogique .....                            | 47 |
| Figure (III.7) : Les tensions de references .....                      | 47 |
| Figure (III.8) : L'écran de démarrage Arduino software.....            | 49 |
| Figure (III.9) : Interface IDE Arduino .....                           | 49 |
| figure (III.9) : Convertisseur Buck-Boost DC/DC .....                  | 50 |
| Figure (III.10) : IRFP 260 MOSFET .....                                | 51 |
| Figure (III.11) : Diode traversante MBR20100 .....                     | 51 |
| Figure (III.12) : Sensor la Current Module ampèremètre ACS-712.....    | 53 |
| Figure (III.13) : Sensor la Tension Module compatible Arduino B25..... | 54 |
| Figure (III.13) : Photo réel de system photovoltaïque étudiée. ....    | 54 |
|                                                                        |    |

| Liste des abréviations et Nomenclature :                        |
|-----------------------------------------------------------------|
| <b>.GTO</b> : Gate-Turn-Off thyristor                           |
| <b>.MOSFETS</b> : Transistors à effet de champ d'oxyde de métal |
| <b>.DT</b> : Diode traversante                                  |
| <b>.GPV</b> : générateur photovoltaïque                         |
| <b>.MPPT</b> : Maximum power point tracker                      |
| <b>.DC-DC</b> : Direct Current-Direct Current                   |
| <b>.PV</b> : Photovoltaïque                                     |
| <b>.P&amp;O</b> : perturbation et observation                   |
| <b>.PWM</b> : Pulse with modulation                             |
| <b>MLI</b> : Modulation de Largeur d'Impulsion                  |

| Nomenclature :                                                         |
|------------------------------------------------------------------------|
| <b>.I<sub>0</sub></b> : Courant de sortie [A]                          |
| <b>.I<sub>d</sub></b> : Courant de la diode                            |
| <b>.I<sub>ph</sub></b> : le photo-courant                              |
| <b>.I<sub>ch</sub></b> : le courant de court-circuit de la cellule [A] |
| <b>.V<sub>pv</sub></b> : Tension de sortie de la cellule(V)            |
| <b>.V</b> : Tension de sortie [V]                                      |
| <b>.V<sub>1</sub></b> : Tension aux bornes de l'inductance [V]         |
| <b>.V<sub>ch</sub></b> : La tension du circuit-ouvert                  |
| <b>.R<sub>ch</sub></b> : la résistance de photovoltaïque               |
| <b>.R<sub>s</sub></b> : Résistance série.                              |
| <b>.P<sub>MAX</sub></b> : Puissance maximale [W].                      |

# **Introduction Générale**

# Introduction Générale

---

La croissance du commerce, des transports et des technologies de communication ont toutes un impact significatif sur la consommation mondiale d'électricité au cours des dernières décennies. Aujourd'hui, une partie importante de la production électrique provient de ressources non renouvelables telles que le carbone, le gaz naturel, le pétrole et l'uranium. Leur taux de reproduction est extrêmement lent à l'échelle humaine. Il en résultera un risque non nul d'épuisement de ces ressources sur une période plus ou moins longue.

En outre, la demande ne cesse d'augmenter et est actuellement supérieure à l'offre, comme en témoigne, par exemple, une forte volatilité du prix du pétrole à l'échelle mondiale. On distingue plusieurs types de sources d'énergies renouvelables : l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse et l'énergie photovoltaïque. Actuellement, les sources d'énergie renouvelables deviennent progressivement des sources d'énergie indépendantes qui concurrencent les combustibles fossiles en termes de prix et d'efficacité de production. Cependant, leur système de conversion d'énergie en électricité souffre fréquemment d'un manque d'optimisation, conduisant à des systèmes encore trop chers et présentant des problèmes de fiabilité et de performance importants. Pour cette raison, même si de plus en plus de projets de recherche démontrent la viabilité de sources comme l'énergie solaire (PV) ou l'énergie éolienne, Il existe encore de nombreux obstacles à l'installation de ces systèmes à grande échelle, tant pour la production de masse que pour un usage individuel.

Du fait de la nature non linéaire du système photovoltaïque, il est difficile et compliqué de le contrôler par les régulateurs habituels ; ces derniers nécessitent de nombreuses simplifications et linéarisations du système, ce qui nous éloigne de la réalité de notre système réel.

Dans ce mémoire, nous avons proposé la conception et la réalisation d'un convertisseur Buck-Boost fonctionnant en mode optimisation MPPT avec une technique de modulation de largeur d'impulsion rapide pilotée par Arduino Uno.

► Le premier chapitre présente l'état de l'art : Il semble intéressant que le modèle de photopile présente certaines caractéristiques. L'impact de divers paramètres climatiques et d'autres facteurs sur les caractéristiques  $I(V)$  et  $P(V)$  a été discuté.

# Introduction Générale

---

- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des différents hacheurs avec une présentation avec un affichage des hacheurs que nous allons utiliser Buck-Boost et présentant quelques définitions de l'algorithme PO-MPPT avec la présentation des résultats de simulation
- Le troisième chapitre est consacré aux mesures expérimentales du test réel, aux définitions d'Arduino, et aux résultats des tests réels.

# **Chapiter I:**

## **Concepts De Base Des Systèmes Photovoltaïques**

# **Chapiter I: Concepts De Base Des Systèmes Photovoltaïques**

---

## **I.1. Introduction :**

Les cellules photovoltaïques sont utilisées dans les systèmes d'énergie solaire pour générer de l'énergie électrique sous la forme d'un courant continu pendant les périodes où la lumière du soleil tombe sur la face de ces cellules.

Où il est transféré au transformateur de courant (DC-DC), qui convertit le courant alternatif en courant continu (DC) pour charger les batteries électriques

Où l'énergie DC est stockée à l'intérieur de la batterie sous forme d'énergie chimique et déchargée sous forme d'énergie électrique (DC).

Ce chapitre décrit les concepts de base des systèmes photovoltaïques et de génération l'électricité grâce à l'effet photoélectrique.

Le but de ce chapitre est de fournir toutes les informations nécessaires pour élaborer des modèles photovoltaïques et des circuits qui peuvent être utilisés dans la simulation pour les applications photovoltaïques. Et étudier le principe de l'effet photoélectrique et la cellule photovoltaïque et ses paramètres.

## **I.2. L'énergie Solaire :**

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (kWc/m<sup>2</sup>) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge.

Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année.

L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés:

### **► L'énergie solaire thermique :**

Consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux sombres. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité

# Chapiter I: Concepts De Base Des Systèmes Photovoltaïques

---

## ► L'énergie solaire photovoltaïque :

Consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays où les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles telles que les hydrocarbures ou le charbon [1].

La figure (1) représente un champ PV composé des modules PV. [2]



Figure (I.1) : Energie solaire photovoltaïque

## **I.3. Description du système photovoltaïque : [3]**

Le système étudié contient un panneau photovoltaïque, un hacheur parallèle de type boost, une charge résistive. Le hacheur est commandé par un signal PWM issu de l'un des algorithmes de recherche du point de puissance maximum (algorithme à base de la logique floue ou perturbe&observe).

# Chapiter I: Concepts De Base Des Systèmes Photovoltaïques

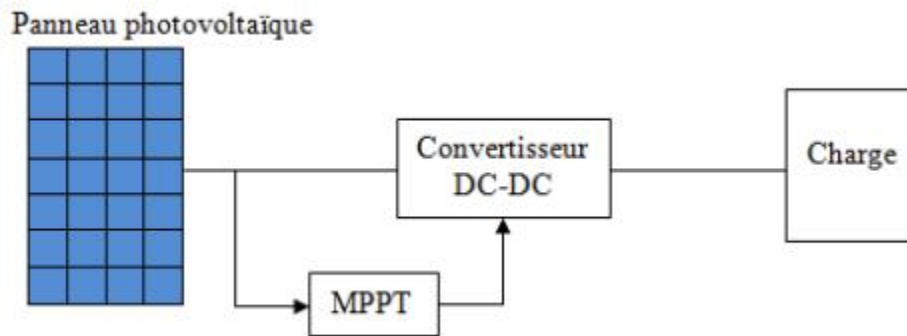


Figure (I.2) : Modèle électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.

## I.4. Types de cellules photovoltaïques :[4]

Il existe différents types de cellules solaires, qui sont réalisées à base de silicium (c'est principalement le semi-conducteur employé dans la fabrication. Les cellules sont différenciables par leurs rendements et leurs coûts.

### 1. Cellules amorphes :

Les cellules amorphes (Figure 3.1) ne possèdent pas de structure cristalline. Leur fabrication et leur efficacité sont inférieures par rapport aux autres types, cependant leur rendement est faible. Elles sont utilisées dans des petits produits de consommation (les calculatrices solaires).

### 2. Cellules monocristallines :

Les cellules aux siliciums monocristallines (Figure 3.2), qui représentent le type avec le plus haut pouvoir de conversion, elles sont considérées parmi les cellules ayant le meilleur rendement

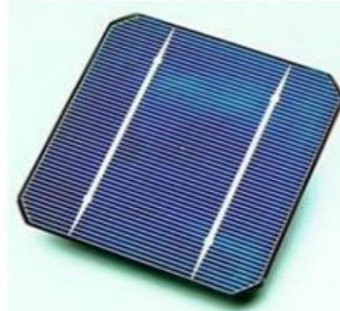
### 3. Cellules poly-cristallines :

Des cellules aux siliciums poly-cristallins (Figure 3.3). Leur conception étant plus faciles. Les composants des cristaux de silicium sont bien visibles, le cout de fabrication est moins important cependant leur rendement est plus faible

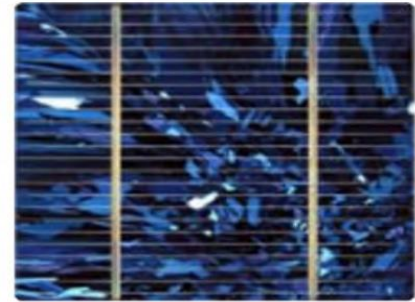
# Chapiter I: Concepts De Base Des Systèmes Photovoltaïques



1/cellule amorphe



2/cellule monocristalline



3/cellule poly-cristalline

Figure (I.3): Les principaux types de cellules

Tableau I.1. Rendement des différents types de cellules

| Technologie de cellule    | Rendement en laboratoire | Rendement production |
|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| Silicium amorphe          | 13%                      | 5-9%                 |
| Silicium poly-cristalline | 19.8%                    | 11-15%               |
| Silicium monocristalline  | 24.7%                    | 13-17%               |

## I.4.1 La cellule photovoltaïque ou la photopile :[5]

Le fonctionnement de la photopile est basé sur les propriétés électroniques acquises par le silicium quand des atomes étrangers en petit nombre (des impuretés) sont substitués dans un réseau cristallin. Cette action est appelée dopage.

- Si l'atome d'impureté contient plus d'électrons que le silicium, le matériau contiendra des électrons libres en excès : il sera dit de type N (exemple: silicium dopé au phosphore).
- Si au contraire, l'atome d'impureté contient moins d'électrons que le silicium, le matériau sera déficitaire en électrons: il sera dit de type P (exemple: silicium dopé au bore).

La fabrication des cellules s'effectue à partir de lingots de silicium. Ces lingots sont découpés en fines couches de type P ou N en y diffusant du brome ou du phosphore. Une cellule solaire est alors obtenue en constituant une jonction de deux zones de type opposé (jonction PN). Au voisinage de la jonction apparaît un champ électrique qui maintient la

# Chapiter I: Concepts De Base Des Systèmes Photovoltaïques

séparation des charges positives et négatives. Des contacts métalliques en formes de grille, contacts avant et arrière, sont déposés (Figure 3)

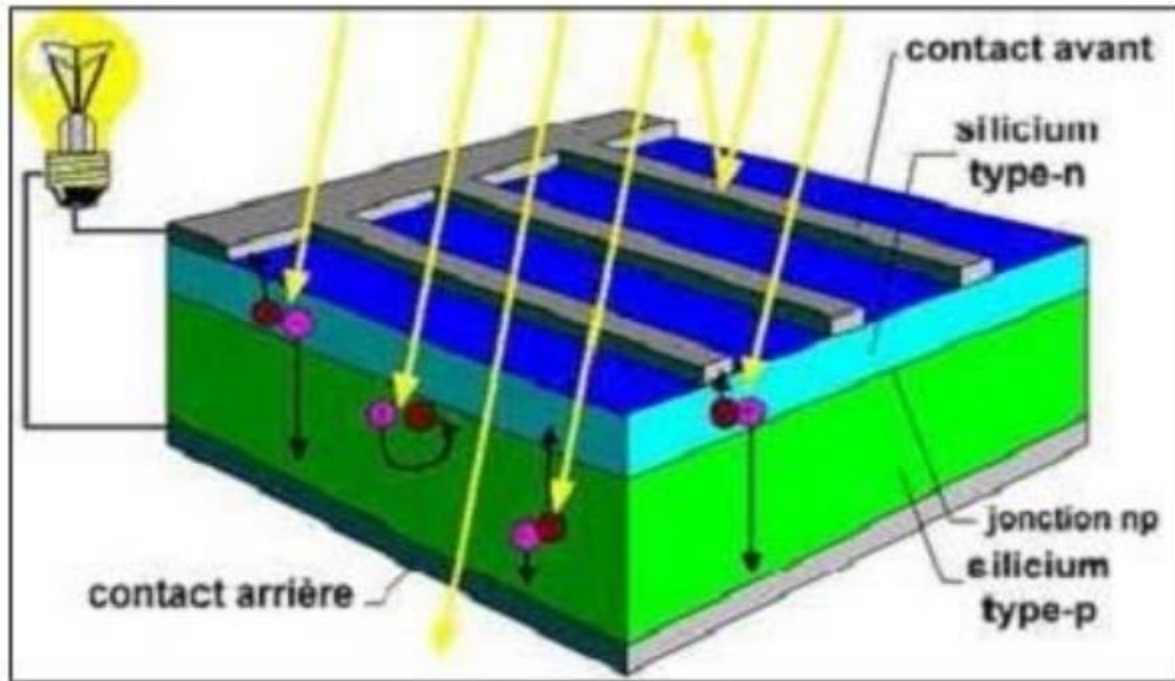


Figure (I.4): Représentation schématique d'une pile solaire à jonction PN standard

## I.4.2 Circuit PV Electrique Equivalent :[3]

Le circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque peut être schématisé comme suit

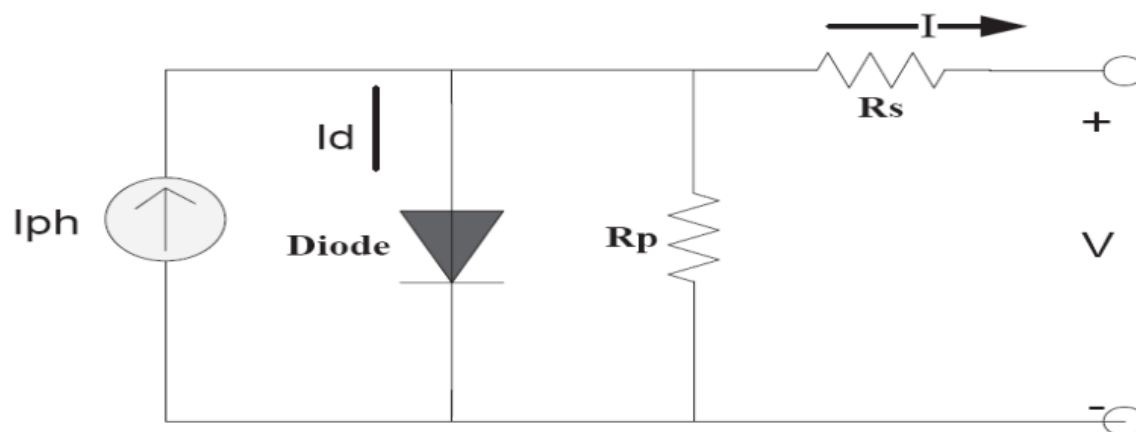


Figure (I.5): pratique a diode unique modèle.[3]

# Chapiter I: Concepts De Base Des Systèmes Photovoltaïques

Celui-ci est un circuit équivalent d'une cellule PV pratique. Dans de nombreuses littératures, il est également appelé modèle à cinq paramètres ( $I_0, n, R_s, R_{ph}, I_{ph}$ ) Il prend en compte différentes propriétés de la cellule solaire comme :

- $R_s$  est introduit de manière à prendre en compte les chutes de tension et les pertes internes dues au flux de couran
- $R_{ph}$ , prend en compte le courant de fuite vers la terre lorsque la diode est polarisée en inverse

Mais ce modèle a négligé l'effet de recombinaison de la diode, c'est pourquoi ce n'est toujours pas le modèle le plus précis [6]

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ \frac{V + IR_s}{e^{n_s v_T} - 1} \right\} - \frac{V + IR_s}{R_p}$$

Il s'agit de la forme modifiée du circuit à diode unique qui prend en compte l'effet de la recombinaison en introduisant une autre diode en parallèle

$$I = I_{01} - I_{ph} \left\{ e^{\frac{V + IR_s}{n_{s1} v_{T1}}} \right\} - I_{02} \left\{ e^{\frac{V + IR_s}{n_{s2} v_{T2}}} - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_p}$$

## I.5 Equations Mathématiques Pour Le Tracé Des Courbes I-V et P-V :

Comme le courant traversant  $R_p$  est très inférieur à celui d'autres courants, la valeur de  $R_p$  a été supposée négligeable par souci de simplicité de calcul.

Maintenant, le photo-courant et le courant de saturation inverse sont des paramètres dépendant de la température comme,

$$I_{ph} = (I_{ph})_{T1} + K_0(T - T_1)$$

Où ,  $T_1$  est une température standard normale .

$$(I_{ph})_{T1} = (I_{sc})_{T1} \frac{G}{G_{STC}}$$

# Chapiter I: Concepts De Base Des Systèmes Photovoltaïques

$$K_o = \frac{(I_{sc})_{T2} - (I_{sc})_{T1}}{T_1 - T_2}$$

Le photo-courant de la cellule est directement proportionnel à l'irradiance. Bien que les performances des cellules ne se dégradent pas de manière significative, l'efficacité des cellules PV dépend de l'énergie solaire incidente

$$I_0 = (I_0)_{T1} * \left(\frac{T}{T_1}\right)^{\frac{3}{n}} * e^{\frac{q(E_g)T_1}{nk} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1}\right)}$$

$$(I_0)_{T1} = \frac{(I_{sc})_{T1}}{\left\{ \frac{q(V_{oc})_{T1}}{nkT_1 - 1} \right\}}$$

La valeur de la résistance série peut être estimée par.

$$R_s = - \left( \frac{dV}{dI} \right)_{V_{oc}} - \frac{1}{X_v}$$

$$X_v = (I_0)_{T1} \frac{q}{nkT_1} e^{\frac{q(V_{oc})_{T1}}{nkT_1}} - \frac{1}{X_v}$$

L'organigramme pour l'estimation du courant de la cellule avec l'irradiance, la température et la tension de la cellule comme paramètres d'entrée est comme indiqué sur la figure 4. La tension de la cellule doit être une matrice de vecteur de ligne dont la plage doit couvrir toutes les valeurs possibles que la cellule PV est capable de produire dans des conditions spécifiées des fabricants

Le rapport entre la puissance maximale pouvant être fournie à la charge et le produit de  $I_{sc}, V_{oc}$  est appelé facteur de remplissage. C'est une mesure des caractéristiques réelles I-V. Pour une valeur de 0,7 ou plus, sont considérées comme de bonnes cellules. FF augmente avec la diminution de la température

# Chapiter I: Concepts De Base Des Systèmes Photovoltaïques

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{oc} I_{sc}}$$

À partir des caractéristiques I-V de la cellule PV, par rapport au circuit équivalent à une diode unique, sont résolues à des points extrêmes, il devient, en condition de circuit ouvert :

$$0 = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{V_{oc} + IR_s}{n_s v_T}} - 1 \right) - \frac{V_{oc} + IR_s}{R_p}$$

En condition de court-circuit :

$$I_{sc} = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{I_{sc} R_s}{n_s v_T} - 1} \right) - \frac{I_{sc} R_s}{R_p}$$

En condition de point de puissance maximale :

$$I_{mp} = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{V_{mp} + I_{mp} R_s}{n_s v_T}} - 1 \right) - \frac{V_{mp} + I_{mp} R_s}{R_p}$$

En utilisant les équations ci-dessus, les caractéristiques des cellules solaires photovoltaïques peuvent être produites. Et une fois que les courbes caractéristiques I-V et P-V.

## I.5. Modélisation Du Module PV :

Spécifications du module PV multicristallin Dimel-85 est choisi pour la modélisation. Il fournit 85 watts de puissance nominale maximale et se compose de 36 cellules Ses spécifications sont présentées dans le tableau 1.

**Tableau 1.2 : Caractéristiques électriques du module PV**

| PARAMÈTRE ELECTRIQUE        | DIMEL-85 |
|-----------------------------|----------|
| PUISSANCE MAX (PM)          | 85W      |
| VMPP                        | 17.85 V  |
| IMPP                        | 4.77 A   |
| ISC                         | 5.15 A   |
| VOC                         | 21.8 V   |
| NOMBRE DE CELLULES EN SERIE | 36       |

# Chapiter I: Concepts De Base Des Systèmes Photovoltaïques

En utilisant le programme Matlab, le module PV a été implémenté en utilisant un organigramme pour les modèles de circuits à une diode. Pour simplifier, a été considéré comme infini. Les paramètres nécessaires sont évalués et des hypothèses ont été faites lors de l'exécution des équations listées dans la section précédente. Ce programme prend l'irradiance, la température de la cellule et la tension du module PV comme entrées et à l'aide d'équations, il renvoie la valeur du courant de sortie du module PV pour toutes les valeurs du vecteur de tension ainsi appliqué dans le programme.

## I.6.Algorithme de perturbation et observation :[7]

L'algorithme de perturbation et observation (communément désignée par P&O) est de type « hill climbing » (mot anglais qui veut dire « grimper une colline »). Il est le plus utilisé dans la littérature et surtout dans la pratique en raison de sa facilité de mise en œuvre. Cet algorithme a pour objectif de faire fonctionner le système à sa puissance maximale par l'incrémentement ou décrémentation de la tension du point de fonctionnement et l'observation de l'effet de cette perturbation sur la puissance débitée par le GPV. Selon cette observation, l'algorithme décide sur l'acte à faire pendant la prochaine itération. Quatre cas de situation pour P&O sont envisagés par la figure 2.14 et récapitulés dans le Tableau 2.2.

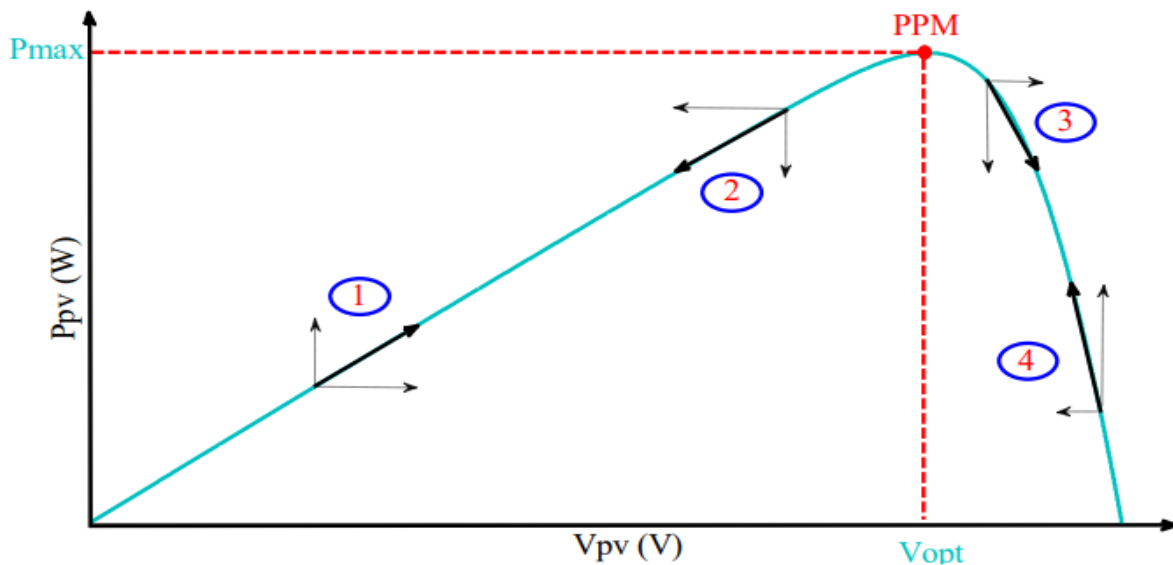


Figure (I.6) Caractéristique de fonctionnement de la méthode P&O [7]

# Chapiter I: Concepts De Base Des Systèmes Photovoltaïques

Tableau I.3. Principe de l'algorithme P&O [8]

| Cas n° | $\Delta V$ | $\Delta P$ | $\frac{\Delta P}{\Delta V}$ | Sens de la poursuite | Action de contrôle                            |
|--------|------------|------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|
| 1      | +          | +          | +                           | Bon                  | Incrémenter<br>$V_{ref} = V_{ref} + \Delta V$ |
| 2      | -          | -          | +                           | Mauvais              | Incrémenter<br>$V_{ref} = V_{ref} + \Delta V$ |
| 3      | +          | -          | -                           | Mauvais              | Décrémenter<br>$V_{ref} = V_{ref} - \Delta V$ |
| 4      | -          | +          | -                           | Bon                  | Décrémenter<br>$V_{ref} = V_{ref} - \Delta V$ |

L'algorithme P&O (Figure 2.15) a comme avantage la précision et la rapidité de réaction. Il permet de déterminer le point de puissance maximale pour un ensoleillement et une température ou un niveau de dégradation des caractéristiques. Le problème avec cet algorithme est:

- l'oscillation autour du PPM dans les conditions de fonctionnement normales.
- la mauvaise convergence de l'algorithme dans le cas des variations brusques de la température et/ou de l'ensoleillement.

Il faut noter que ces oscillations peuvent être réduites si on fixe un faible pas d'incrémentatation mais au détriment du temps de convergence. Alors, un compromis doit être fait entre précision et rapidité lors du choix de ce pas de mise à jour.

# Chapiter I: Concepts De Base Des Systèmes Photovoltaïques

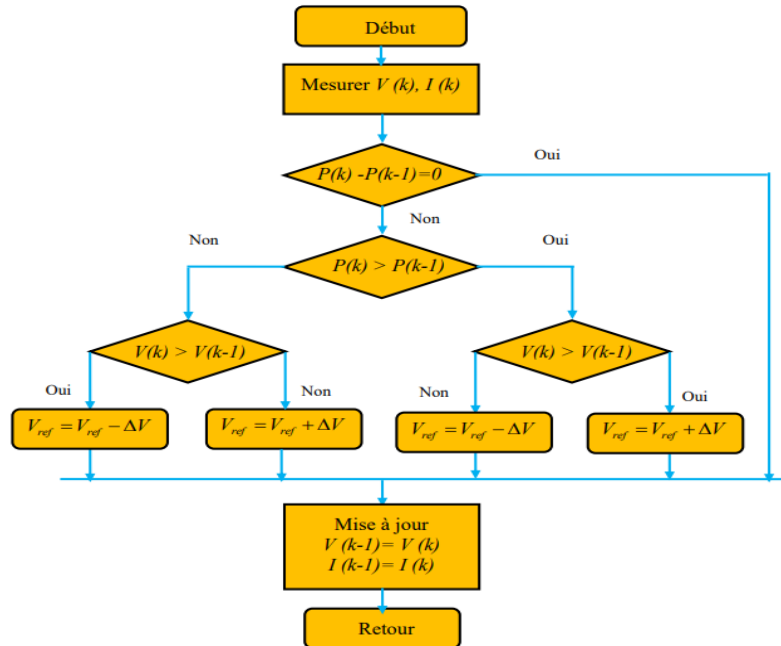


Figure (I.7). Organigramme de la méthode P&O[7]

## I.7.La Simulation De Photovoltaïque module :

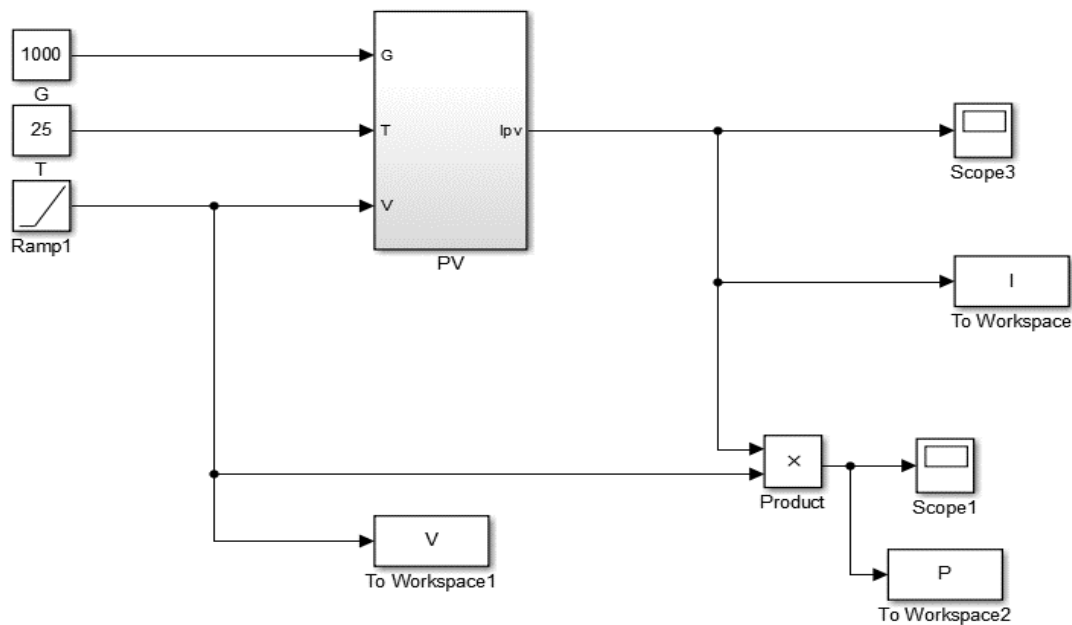


Figure (I.8) Simulation d'un panneau solaire avec MATLAB

## I.8. L'influence de la température et de l'éclairemen

### I.8.1. L'influence de l'éclairement :

Afin de visualiser l'influence de l'éclairement, on fixe la température ambiante à  $T=25^{\circ}\text{C}$ , et On fait varier l'éclairement de  $E=200\text{W/m}^2$  à  $E=1000\text{W/m}^2$  avec un pas de  $200\text{W/m}^2$

D'après les résultats donnés par la figures (9.10) On remarque que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, elle reste quasiment identique même à faible éclairement.

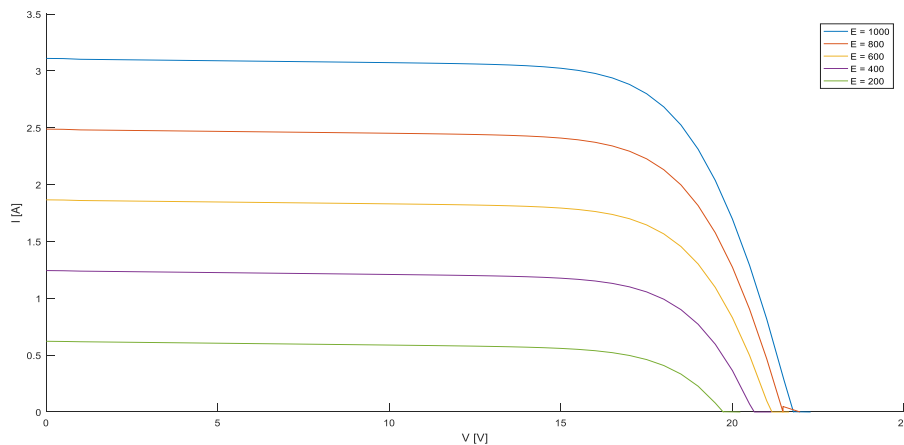


Figure (I.9) Caractéristiques courant-tension pour une température constante  $T = 25$

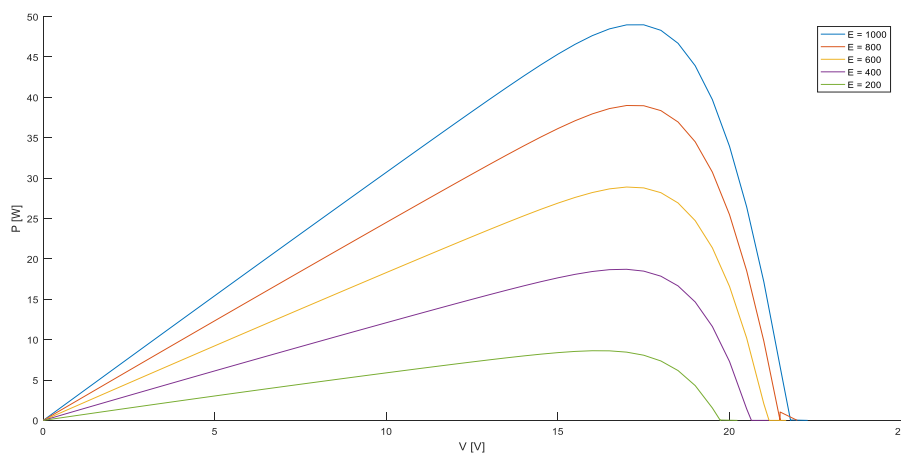


Figure (I.10) Caractéristiques puissance-tension pour une température constante  $T = 25$

## I.8.2. L'influence de la température :

Les caractéristiques de la puissance et du courant en fonction de la tension du panneau photovoltaïque sont illustrées, respectivement, par les figures (11 et 12). On remarque que la température à une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente, par conséquent la puissance extractible diminue [9]

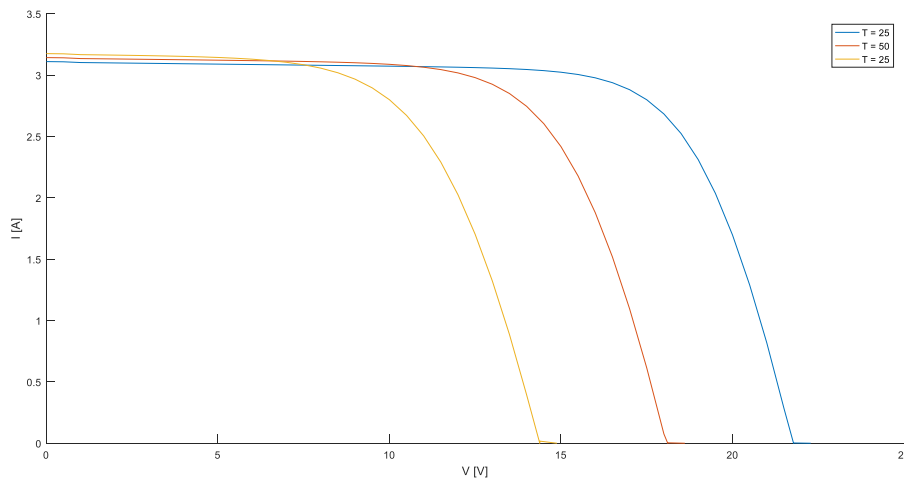


Figure (I.11) Caractéristiques courant-tension

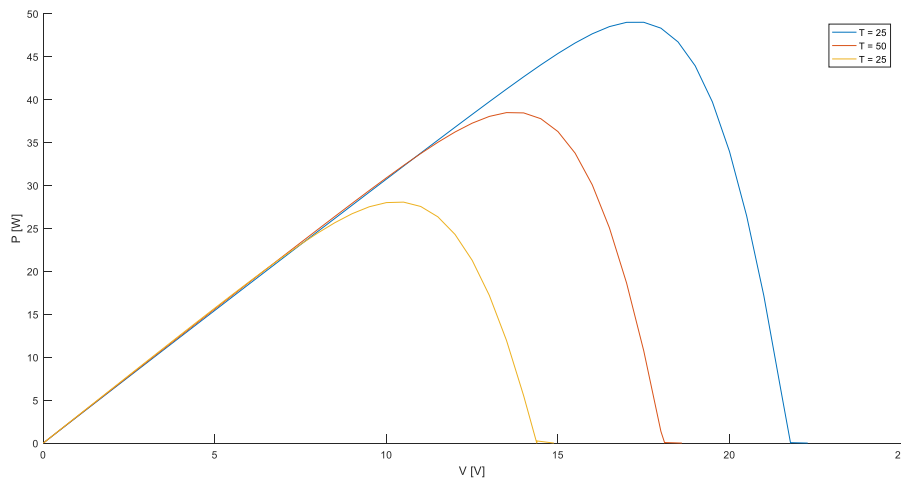


Figure (I.12) Caractéristiques puissance-tension

# Chapiter I: Concepts De Base Des Systèmes Photovoltaïques

---

## I.9.Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la modélisation mathématique de la cellule et le générateur photovoltaïque, Nous avons vu que la cellule PV présente une caractéristique  $I(V)$  non linéaire, présente un point de puissance maximal (PPM) caractérisé par un courant ( $I_{mpp}$ ) et une tension ( $V_{mpp}$ ) et qu'elle peut être modélisée par un circuit électrique simple. Ensuite nous avons utilisé l'outil MATLAB-SIMULINK pour simuler le comportement d'un générateur photovoltaïque dans les conditions standard ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ,  $T=25^\circ\text{C}$ ). Nous avons étudié aussi l'influence des différents paramètres sur cette caractéristique.

**CHAPTER II :**  
**MODELISATION DU CONVERTISSEUR DC-DC**  
**ET LA COMMANDE MPPT**

### II.1. Introduction :

Contrairement aux sources de tension ou de courant, les modules P V ne peuvent pas imposer une valeur de tension ou du courant à leurs bornes, en raison de leur forte dépendance au rayonnement solaire et à la température. Afin d'éviter une perte d'énergie et d'assurer un fonctionnement avec le meilleur rendement (étant donné un rayonnement solaire et une température), le P PM doit être atteint comme point de fonctionnement. Pour assurer le fonctionnement des systèmes P V sur le P PM, des circuits spécifiques nommés "suivi du point maximal de puissance" (MP P T) sont utilisées. Dans la plupart des applications, un MP P T est obtenu grâce à un convertisseur DC – DC (Hardware), un algorithme de suivi (Software) et des capteurs externes (généralement tension et courant) comme le montre la **Figure (1)**

Dans ce chapitre, nous avons présentons plusieurs méthodes de commande MPPT basées sur la recherche du point de la puissance maximale. Notre travail est basé sur la évolution de la méthode perturbation et observation (P&O). Cette commande utilise directement la tension et le courant du panneau photovoltaïque pour chercher le point de fonctionnement correspondant à la puissance maximale. [10]

Dans ce chapitre, Nous faisons modélisé mathématiquement le panneau solaire et le BUCKBOOST. Pour obtenir un modèle exploitable sur Simulink, les équations développées ont été réalisées dans des schémas blocs. Ensuite nous avons présentés simulink techniques pour la poursuite du point de fonctionnement à puissance maximale. Nous avons commencé par les méthodes classiques (PO); Nous avons présenté les résultats des simulations dans les diagrammes sous le Simulink.

Dans ce chapitre, nous avons entamé la partie la plus importante et la plus délicate de cette étude. Il s'agit de présenter le principe de la recherche du point de puissance maximale MPP tout en donnant la différente irradiation solaire G.

## **II.2. Les convertisseurs DC-DC (hacheurs) :**

### **II.2.1.Définition de convertisseurs DC-DC:**

Les convertisseurs sont des appareils servent à transformer l'énergie 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 et autonome (éolienne, photovoltaïque, pile à combustible...)[11]. Le but de ce chapitre est l'étude des quelques types convertisseurs hacheurs DC-DC, utilisés dans les systèmes photovoltaïques. Comme le hacheur abaisseur (buck), élévateur (boost) et mixte ou abaisseur-élévateur (buck-boost).

### **II.2.2.Hacheur DC-DC :**

Les hacheurs présentent la partie essentielle dans le dispositif de commande d'un générateur photovoltaïque, ils sont des convertisseurs statiques continu-continu permettant de contrôler la puissance électrique dans les circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé.

D'un point de vue circuit, le hacheur apparaît comme un quadripôle (figure 1), jouant le rôle d'organe de liaison entre deux parties d'un réseau. On peut le considérer comme un transformateur de grandeurs électriques continues [12.]. La figure (1) rappelle le schéma de principe d'un convertisseur DC-DC.[5]

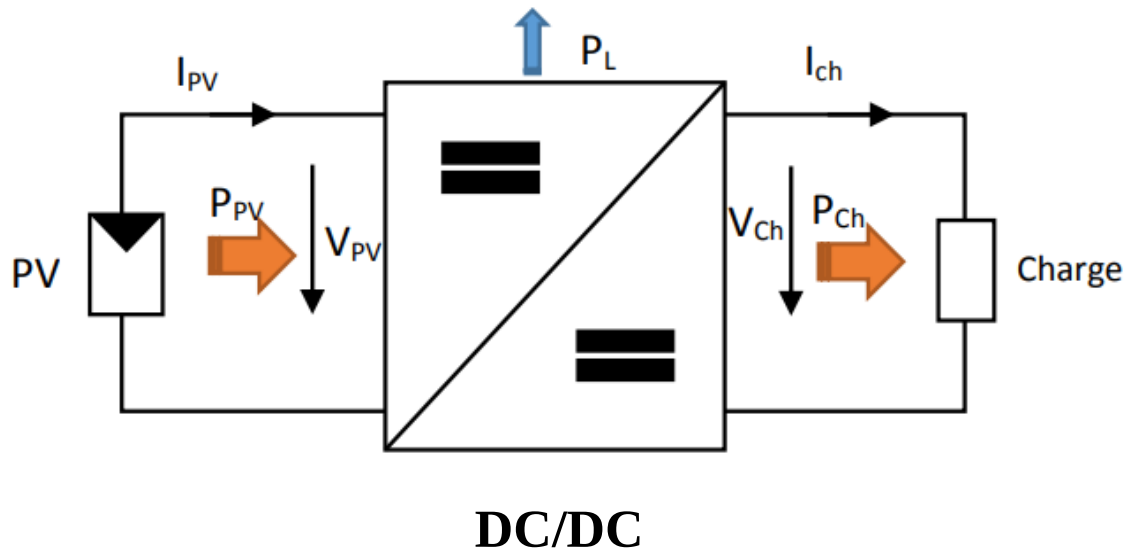
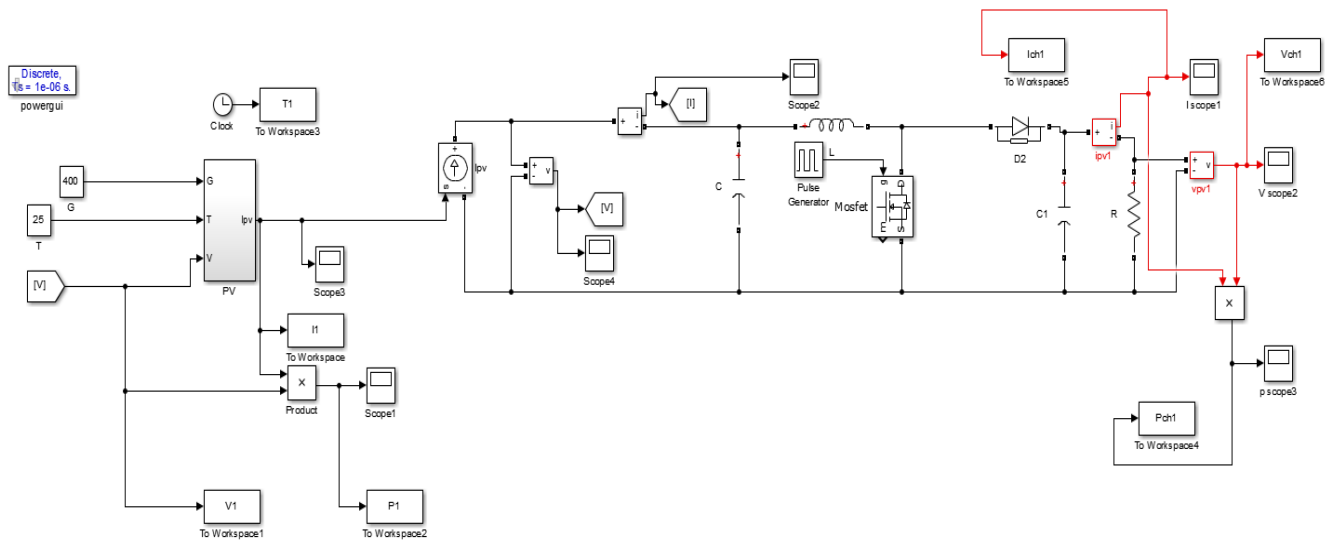


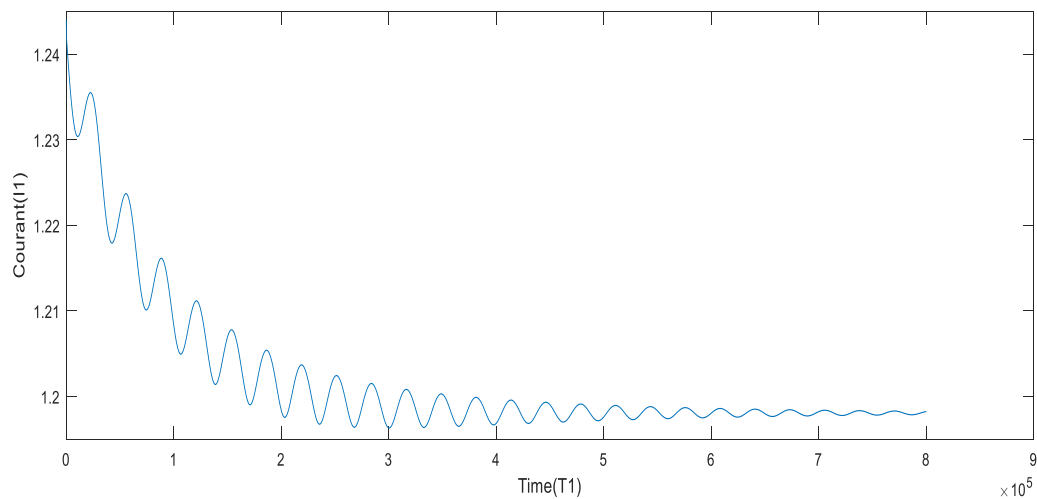
Figure (II.1) : convertisseurs DC-DC [13]

### II.2.3.Simulation de convertisseurs DC-DC :

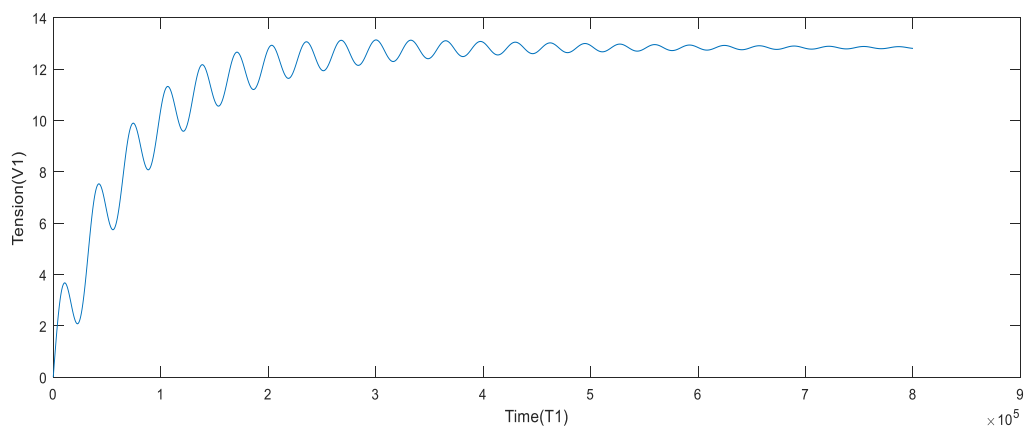


Figure(II.2) : Simulation de convertisseurs DC-DC

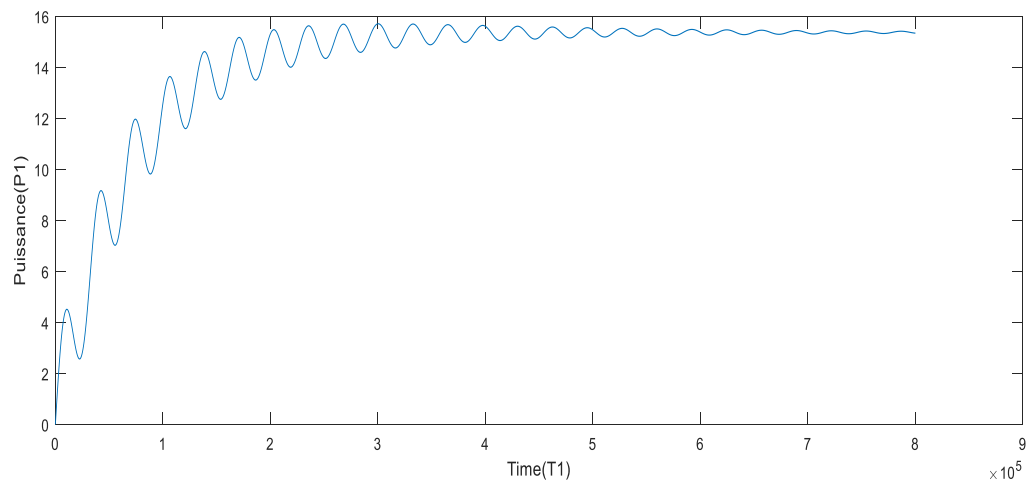
**II.2.4.Résultat de simulation :**



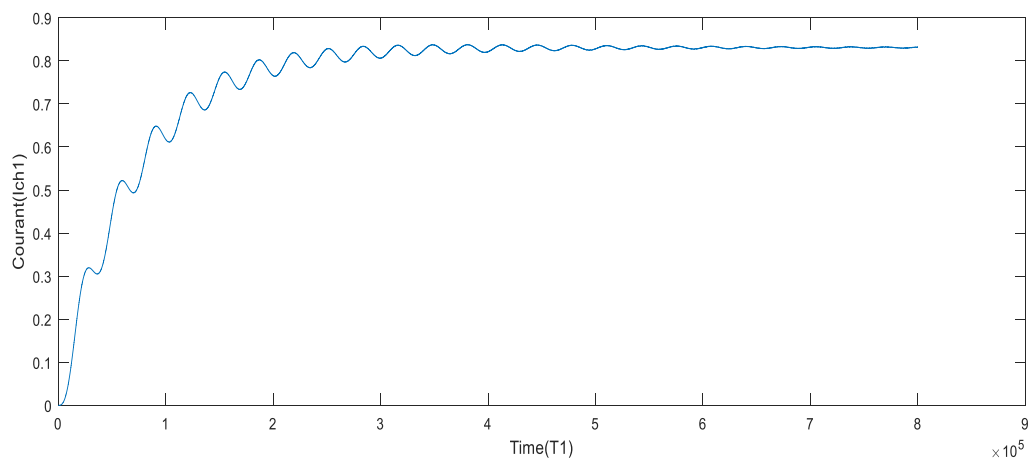
**a) Courant**



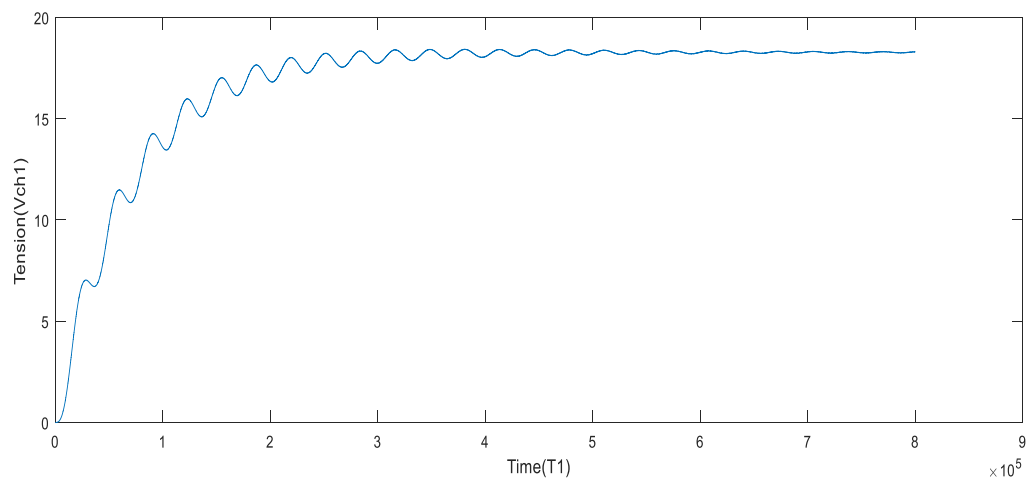
**b) Tension**



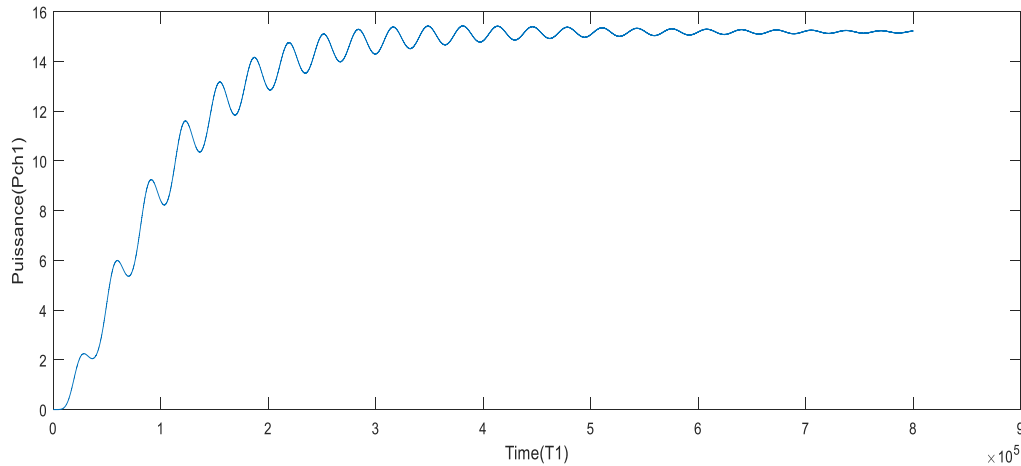
**c) Puissance**



**d) Courant Ich1**



**e) Tension Vch1**



**f) Puissance Pch1**

Figure (III.3) : Résultat de simulation convertisseurs DC-DC

Le rôle du convertisseur DC/DC (dans le cadre du PV) est de faire l'adaptation entre la source (GPV) et la charge pour un transfert de puissance maximal. Ceci est fait en maintenant la puissance fournie sur ou assez proche du MPP pour n'importe quelles conditions de etc.).

Contrairement au cas général où le convertisseur DC/DC est utilisé pour réguler la tension de sortie, ici c'est plutôt plu la tension d'entrée qui est régulée. La tension de référence (consigne) est alors constante ou imposée par un algorithme de commande. Si les pertes internes PL du convertisseur sont négligeables, alors les puissances d'entrée et de sortie sont égales.

Il existe plusieurs types des convertisseurs DC-DC. Parmi les quels, on présente le principe des trios types de convertisseur à découpage (dévolteur, survolteur et mixte), utilisés fréquemment dans les systèmes photovoltaïques pour générer les tensions et les courants souhaités ainsi que pour l'adaptation des panneaux solaires avec les déférentes charges. [11]

- Convertisseur Buck (Hacheur série)
- Convertisseur Booste (Hacheur parallèle)
- Convertisseur Buck-Booste(Hacheur série-parallèle)

### II.2.2.1 Convertisseur BUCK :

Le convertisseur dévolteur peut être souvent trouvé dans la littérature sous le nom de hacheur Buck ou hacheur série ou encore hacheur abaisseur. C'est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur. Le schéma d'un hacheur abaisseur est indiqué à la figure (2). Le commutateur Q peut être un transistor MOSFET ou un IGBT qui peut se commuter sur deux positions, marche ou arrêt rapidement [14]. La tension de la source  $V_e$  doit être plus grande que la tension aux bornes de la charge  $V_s$ .

Q=K

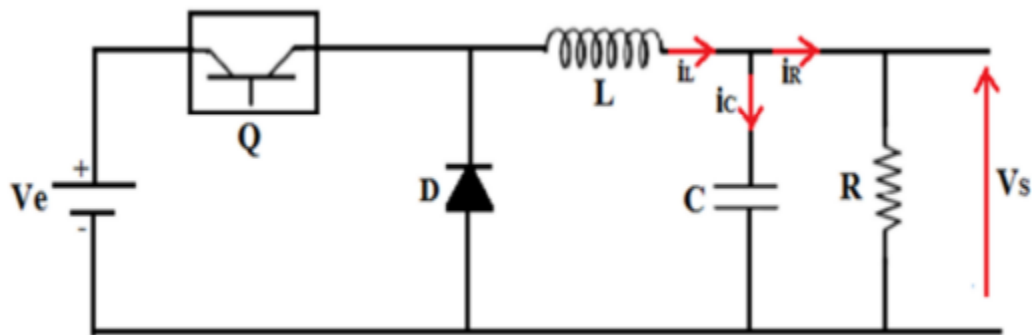


Figure (II.4) : Schéma électronique de convertisseur abaisseur « Buck »

Ce convertisseur a deux phases de fonctionnement :

**Phase 1, Q fermé :** Si le commutateur Q est activé à l'instant  $t_0$ , le courant traverse le circuit mais ne traverse pas la diode à polarité inversée D. Le courant  $i_L$  augmente linéairement avec un taux d'augmentation dicté par l'inductance L plutôt qu'immédiatement.

Q=K

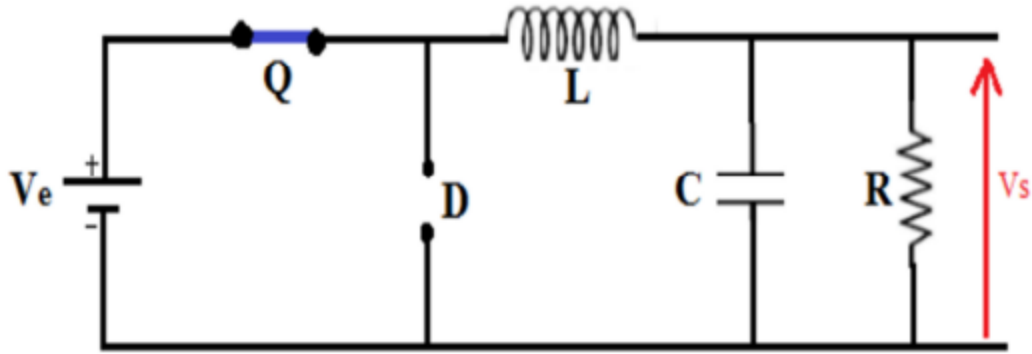


Figure (II.5) : Convertisseur Buck durant l'état On

### Phase 2, Q ouvert :

Si Q est désactivé à  $t = t_1$ , 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[15]

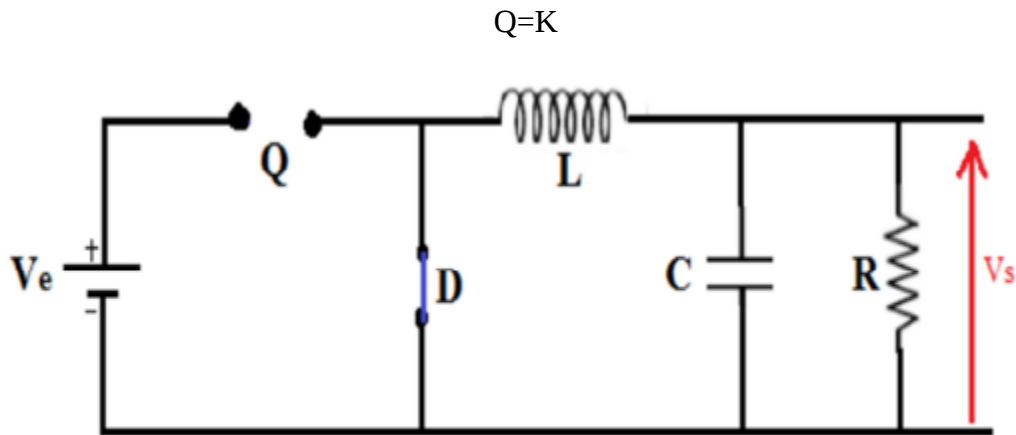


Figure (II.6) : Convertisseur Buck durant l'état Off

### II.2.2.2 Convertisseur BOOST :

Un hacheur parallèle, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur .On utilise un hacheur élévateur lorsqu'on désire augmenter la tension disponible d'une source continue [16]. Le convertisseur BOOST est connu par le nom d'élévateur de tension peut être représenté par le circuit donne par la Figure (5).

$Q=K$

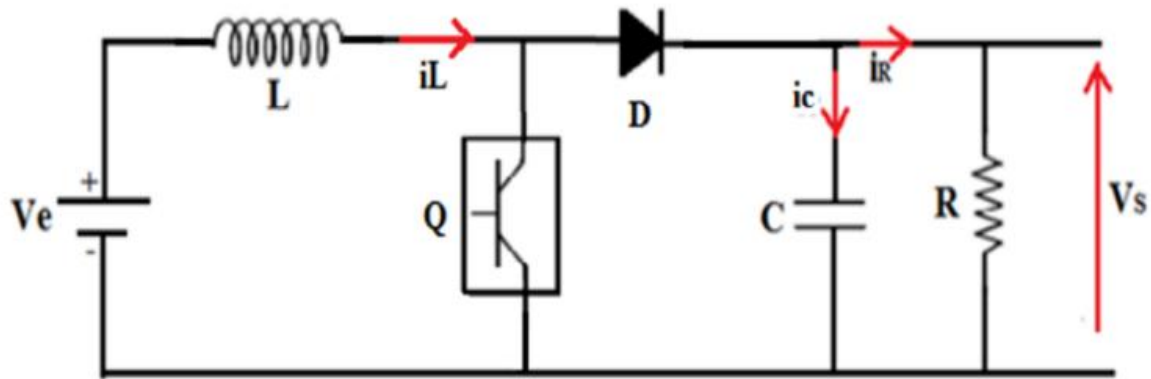


Figure (II.7) : Le convertisseur BOOST

**Ce convertisseur a deux phases de fonctionnement :**

**Phase 1, Q fermé:** (période d'accumulation d'énergie), figure (6) Lorsque l'interrupteur Q est fermé ( $Q=1$ ), le courant dans l'inductance augmente, entraînant le stockage d'une certaine quantité d'énergie sous forme d'énergie magnétique. La diode D est ainsi désactivée, et la charge est alors déconnectée de la source d'alimentation.

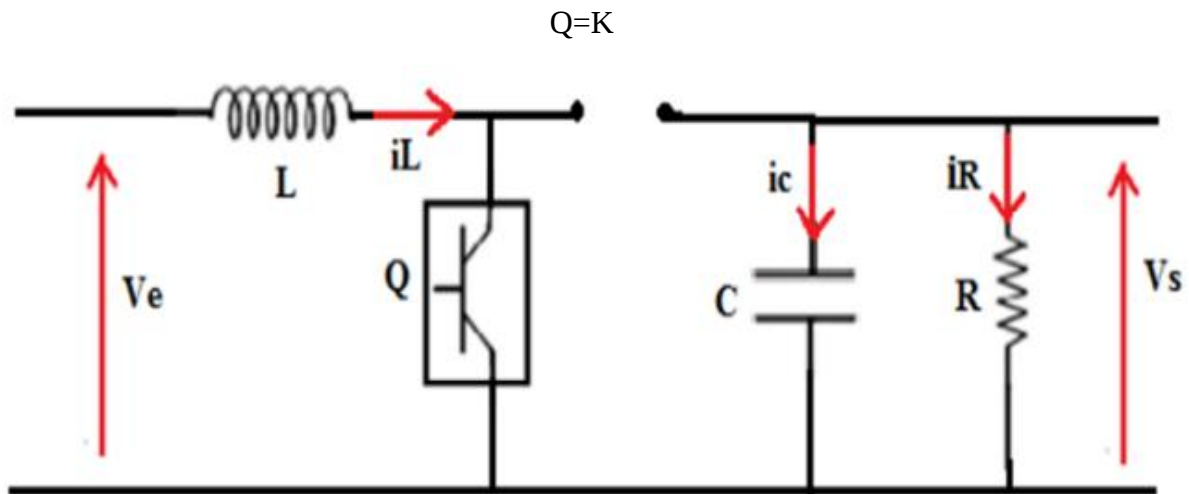


Figure (II.8): Schéma équivalent de la phase 1

**Phase 2, Q ouvert :** Lorsque l'interrupteur Q est activé, l'inductance est en série avec le générateur et sa f.é.m. s'ajoute à celle du générateur (entraînant un effet de surtension). La diode, le condensateur et la charge sont tous passés par le courant après son passage à travers l'inductance. En conséquence, l'énergie qui s'est accumulée dans l'inductance est transférée à la capacité.

Q=K

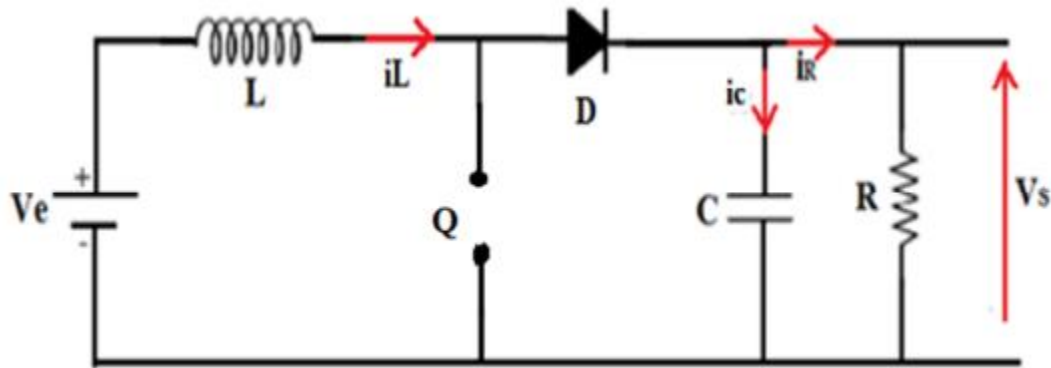


Figure (II.9) : Circuit équivalent pour Phase 2

### II.2.2.3 Convertisseur BUCK-BOOST :

Le convertisseur buck-boost est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de valeur plus faible ou plus grande, mais de polarité inverse. Le schéma de principe d'un convertisseur buck-boost est représenté par la figure (8) [17]

La topologie et les formes d'ondes de courant et de tension obtenues de ce convertisseur sont présentées à la figure (8) La tension de sortie moyenne est donnée par:[7]

$$V_s = \frac{\alpha V_s}{1 - \alpha}$$

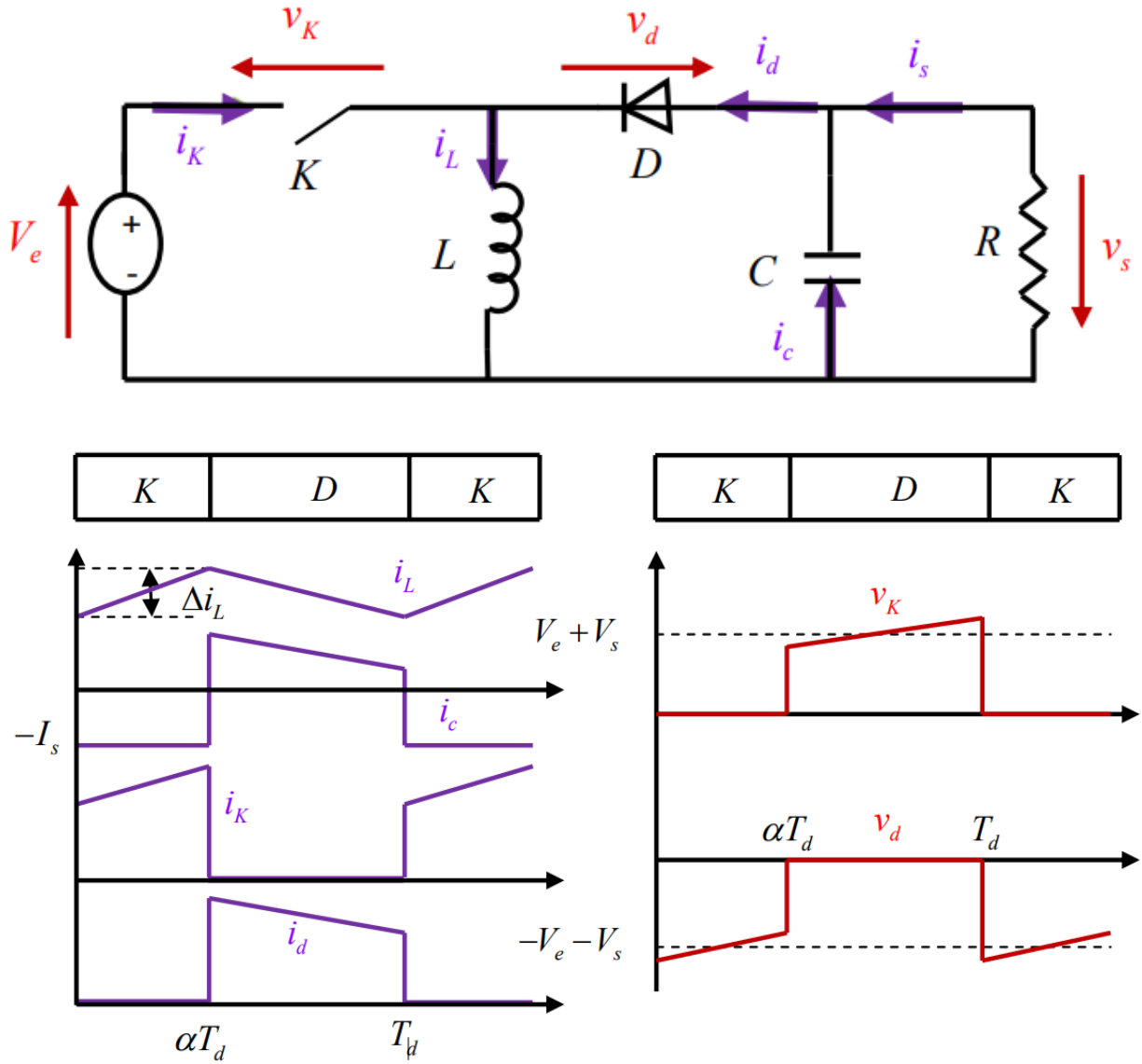


Figure (II.10) : Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Buck-Boost et l'ondulation de la tension de sortie:[7]

$$\Delta V_s = \frac{\alpha^2 I_s}{Cf} = \frac{\alpha^2 V_e}{(1 - \alpha)RC f}$$

La tension de sortie du convertisseur Buck-Boost est négative par rapport à la tension d'entrée. Son amplitude peut être supérieure ou inférieure à celle de la tension d'entrée selon la valeur du rapport cyclique. C'est un abaisseur-élevateur-inverseur en tension. Le courant moyen traversant l'inductance est donné par :[7]

$$I_L = \frac{I_s}{1 - \alpha}$$

Les contraintes en tension et en courant sur l'interrupteur commandé et la diode sont les mêmes :[7]

$$V_{K,max} = |V_{d,max}| = V_{s,max} + V_e = \frac{V_e}{1 - \alpha} + \frac{\Delta V_s}{2}$$

$$i_{K,max} = i_{d,max} = i_{l,max} = \frac{I_s}{1 - \alpha} + \frac{\Delta i_L}{2}$$

**Tableau (II.1) .Récapitulatif des caractéristiques des convertisseurs DC-DC[7]**

| Paramètres            | Gain en tension           | Contraintes en tension                        | Contraintes en courant                        |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Convertisseurs</b> | $\frac{V_s}{V_e}$         | $V_{k,max} =  V_{d,max} $                     | $i_{k,max} = i_{d,max}$                       |
| <b>Boost</b>          | $\frac{1}{1-\alpha}$      | $\frac{V_e}{1-\alpha} + \frac{\Delta V_s}{2}$ | $\frac{I_s}{1-\alpha} + \frac{\Delta i_L}{2}$ |
| <b>Buck-Boost</b>     | $\frac{\alpha}{1-\alpha}$ | $\frac{V_e}{1-\alpha} + \frac{\Delta V_s}{2}$ | $\frac{I_s}{1-\alpha} + \frac{\Delta i_L}{2}$ |
| <b>Buck</b>           | $\alpha$                  | $V_e$                                         | $I_L + \frac{\Delta i_L}{2}$                  |

### II.3.Principe de la commande MPPT :

Pour la maximisation de puissance de la source PV, en intercalant un quadripôle d'adaptation qui est un convertisseur d'énergie DC-DC entre la source PV et la charge et avec le contrôle rigoureux du rapport cyclique de ce dernier, Cette adaptation se réalise en cherchant de façon automatique le PPM du panneau PV et un suivi continu de la puissance maximale est assuré. Ce type de convertisseur est destiné à adapter à chaque instant l'impédance apparente de la charge à l'impédance du champ PV correspondant au point de puissance maximal. Ce système

d'adaptation est couramment appelé MPPT (maximum power point tracking). Son rendement se situe entre 90 et 95% [18].

La Figure (1) représente la chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque associée à une commande MPPT

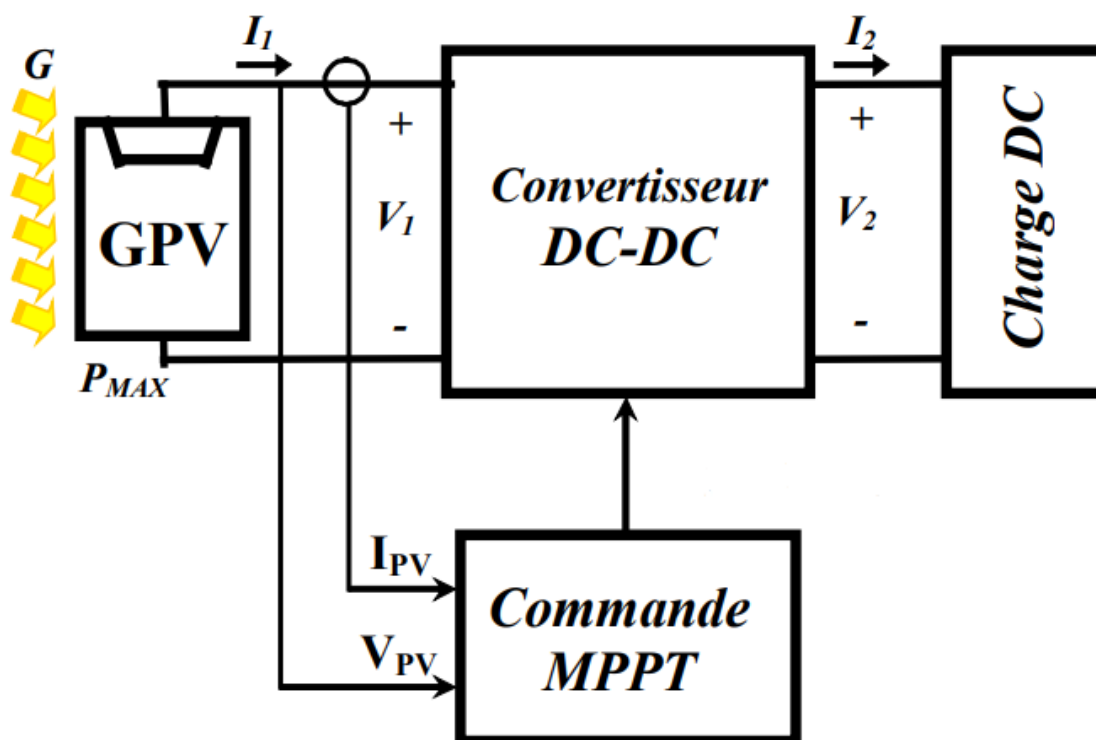


Figure (II.11) : Schéma bloc d'un algorithme de recherche du MPPT [19]

On utilise le convertisseur de type DC/DC dans la partie Contrôle du système photovoltaïque car il est facile à contrôler par leurs rapports cyclique en utilisant un signal MLI. Ici, on utilise le hacheur Boost comme interface de puissance à contrôler par le régulateur MPPT, afin d'adapter la tension de sortie du hacheur à la tension requise par la charge [20]. Du fait du non linéarité de la caractéristique I-V, le circuit MPPT oblige le système à fonctionner en permanence sur le point à puissance maximale du générateur, une fois l'éclairement ou la température change. Le hacheur capte alors la puissance électrique absorbée selon une période d'échantillonnage, et commence à incrémenter ou décrémenter le rapport cyclique  $\alpha$  pour annuler le gradient de la puissance. En effet, ces dispositifs permettent aujourd'hui d'adapter et d'optimiser la production photovoltaïque par le biais de convertisseurs de puissance DC-DC insérés entre les modules photovoltaïques et l'entrée de l'onduleur. Généralement, ces étages disposent de commandes de

gestion électrique plus ou moins complexes permettant d'adapter la tension PV à la tension d'entrée de l'onduleur [20].

### II.3.1 Poursuite du point de puissance maximale :

Lorsque le rayonnement solaire ou la température changent, le point de puissance maximale se déplace sur le plan  $I - V$ . La technique de contrôle MPPT consiste à agir sur le rapport cyclique du convertisseur DC/DC de manière automatique pour amener le GPV à sa valeur optimale de fonctionnement quelles que soient les instabilités météorologiques ou variations brutales de charges qui peuvent survenir (variation de l'ensoleillement, de température ou de charge).

Généralement, les algorithmes MPPT sont classés en deux catégories :

— **Algorithmes classiques** : comme "Incrément des conductances (IncCon)" et "Perturbation et l'observation (P&O)". Ces techniques sont faciles à mettre en œuvre en raison de leur moindre complexité dans l'algorithme. Ils sont efficaces pour des conditions d'irradiation uniformes car le PV ne générera qu'un seul MPPT dans ces conditions. Ces algorithmes seront rappelés dans la suite de ce chapitre

— **Algorithmes intelligents** : basés sur l'optimisation, ils incluent l'algorithme de recherche de coucou (CSA), Optimisation par essaim de particules (PSO) et des autres algorithmes métaheuristiques. Ces méthodes peuvent rechercher le vrai PPM dans des conditions d'environnement dynamiques avec ombrage partiel, où le module PV possèdera plusieurs pics dans la courbe  $P - V$ . Cela fera l'objet du dernier chapitre.[10]

Dans ce chapitre, nous étudierons Algorithme Perturbation et Observation :

### II.3.2.Algorithme Perturbation et Observation :

Le principe de commande P&O consiste à provoquer une perturbation de faible valeur sur la tension VPV, ce qui engendre une variation de la puissance. La figure 3.5 montre que si une augmentation de la tension provoque un accroissement de la puissance, le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM, si au contraire la puissance décroît, il est à droite. De la même manière, on peut faire un raisonnement pour une diminution de la tension. En résumé, pour une perturbation de la tension, si la puissance augmente, la direction de la

perturbation est maintenue. Si non, elle est inversée pour que le point de fonctionnement converge vers le PPM.[17]

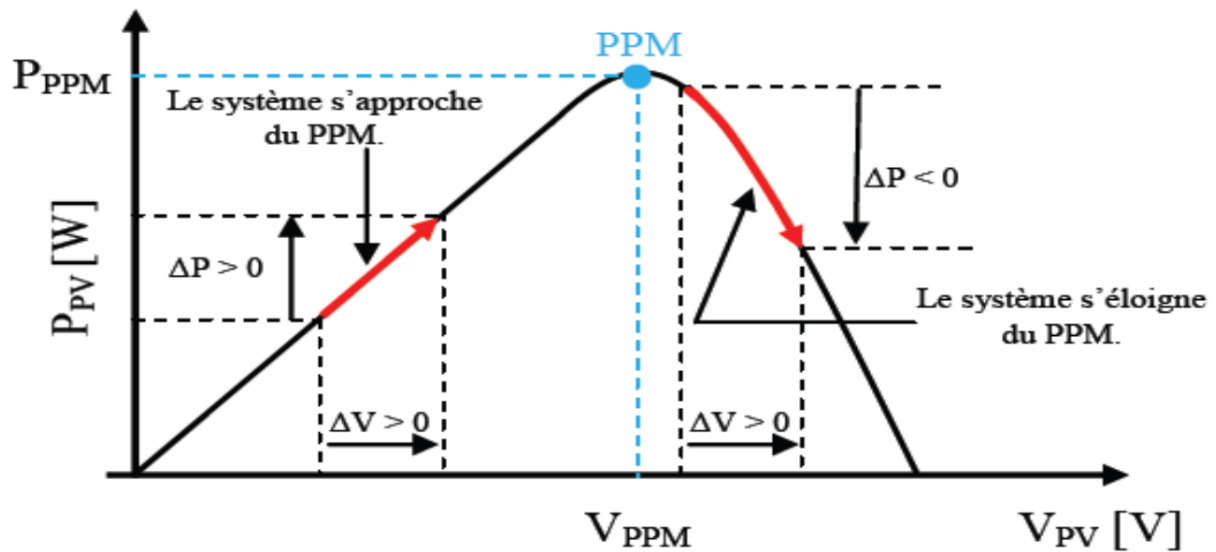


Figure (II.12) Caractéristique puissance–tension d’un panneau photovoltaïque

La figure (11) illustre l’organigramme de la commande MPPT de type P&O. Pour déterminer la puissance à chaque instant, deux capteurs sont nécessaires pour mesurer les valeurs de la tension et du courant :

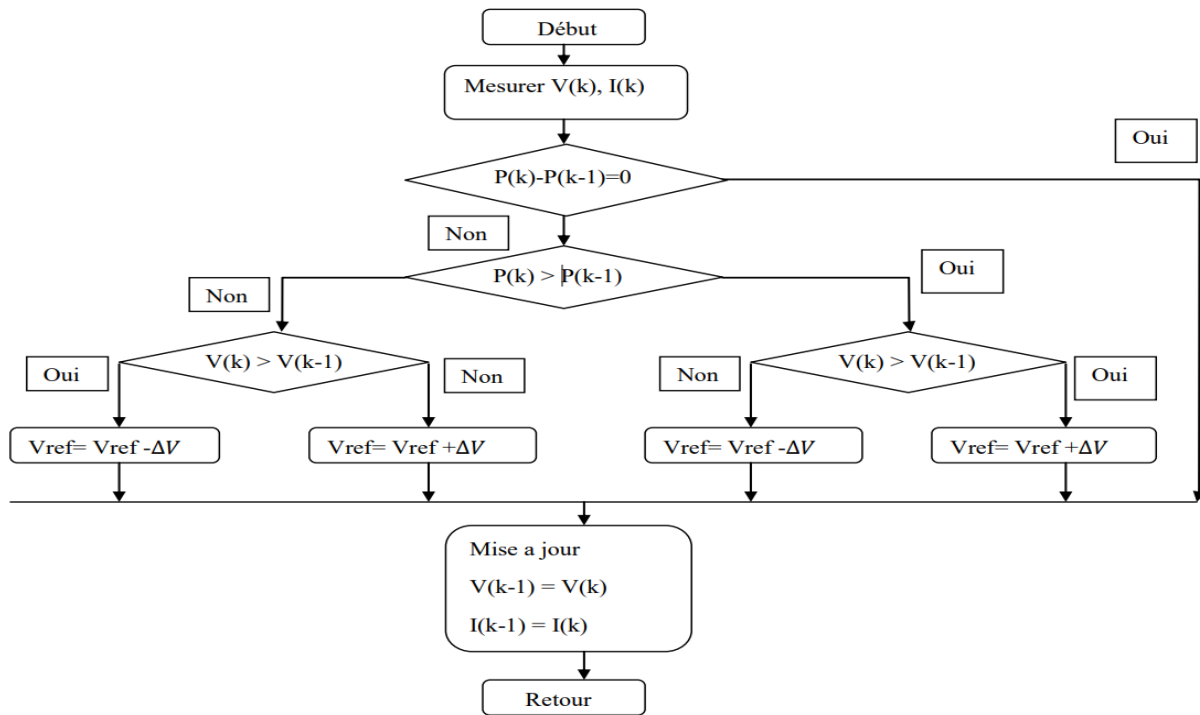


Figure (II.13) : Algorithme de la commande Perturbation et observation[17]

### II.3.3.System photovoltaïque avec technique PO-MPPT :

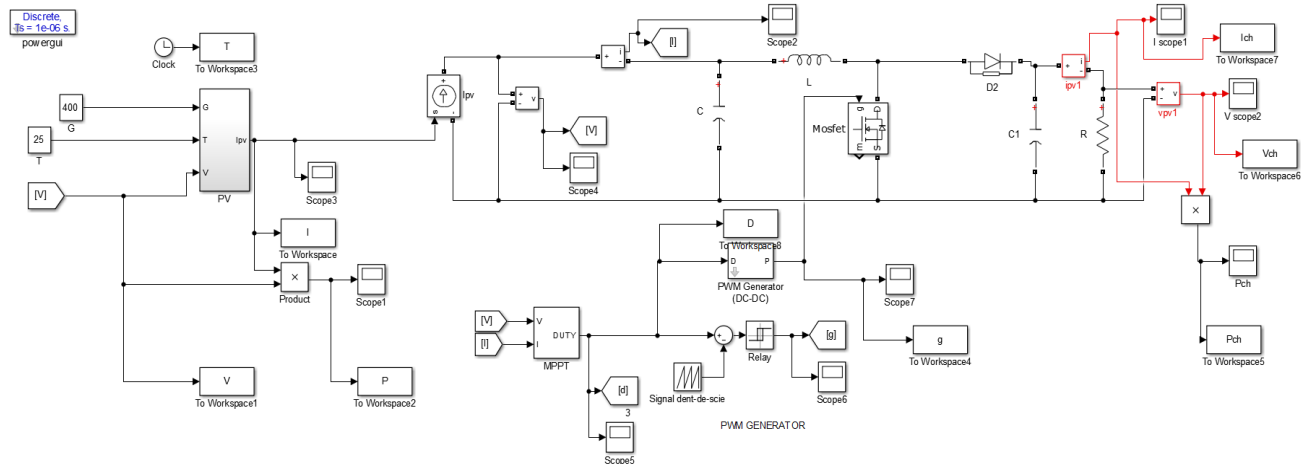
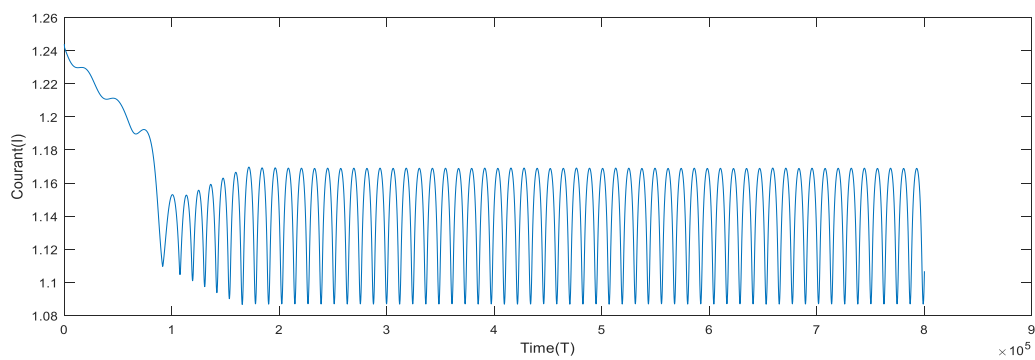
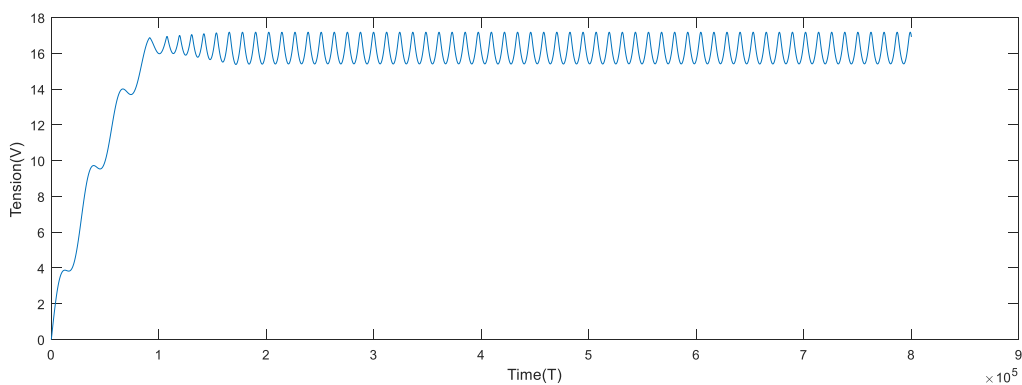


Figure (II.14) : Simulation du system photovoltaïque avec technique PO-MPPT :

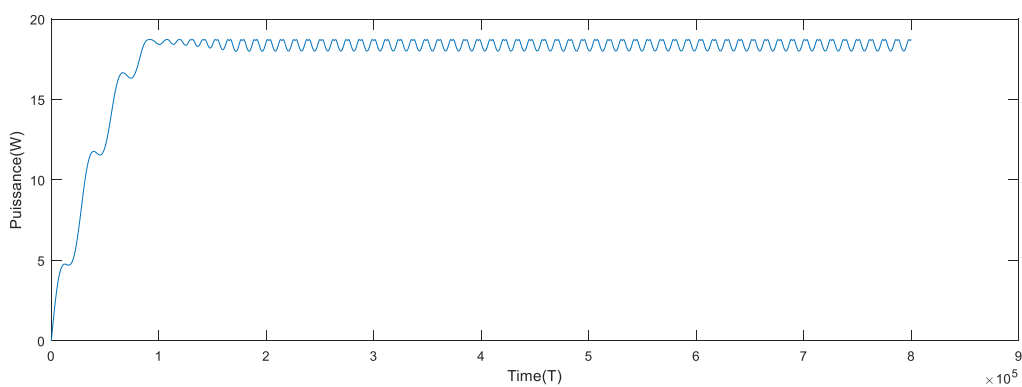
**II.3.3.1. Résultat de simulation PO-MPPT:**



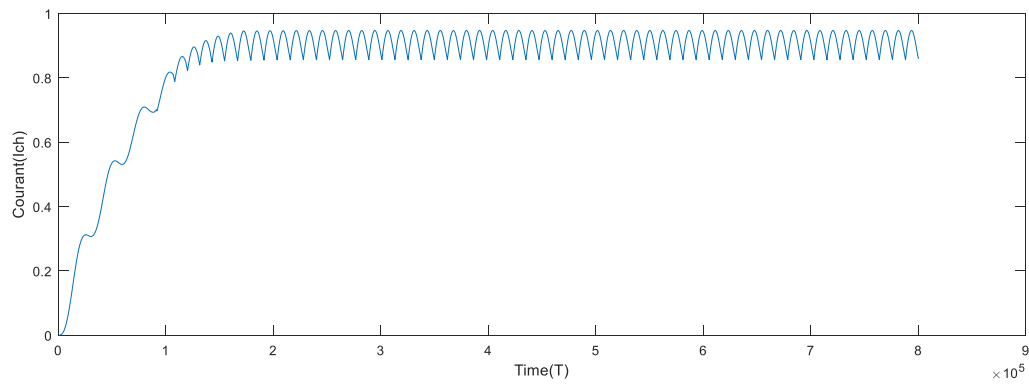
**a)Courant (I)**



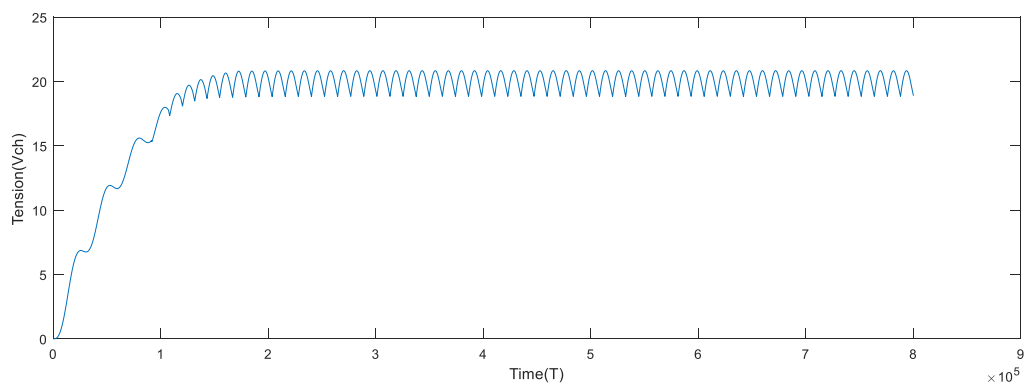
**b)Tension (V)**



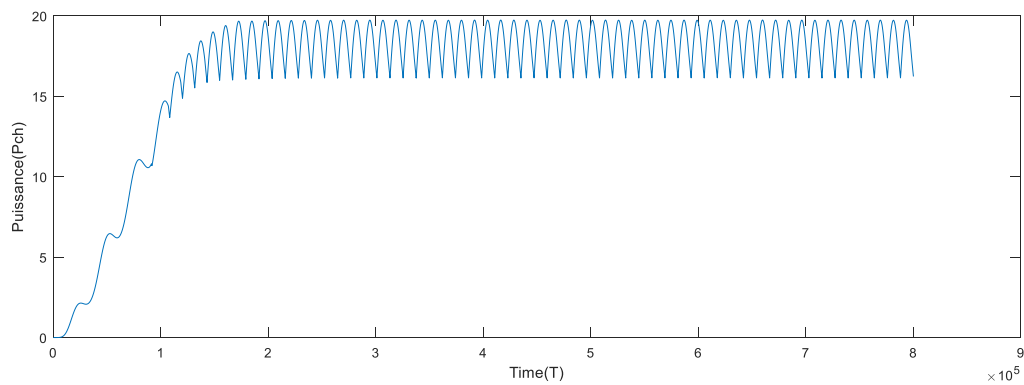
**c)Puissance (P)**



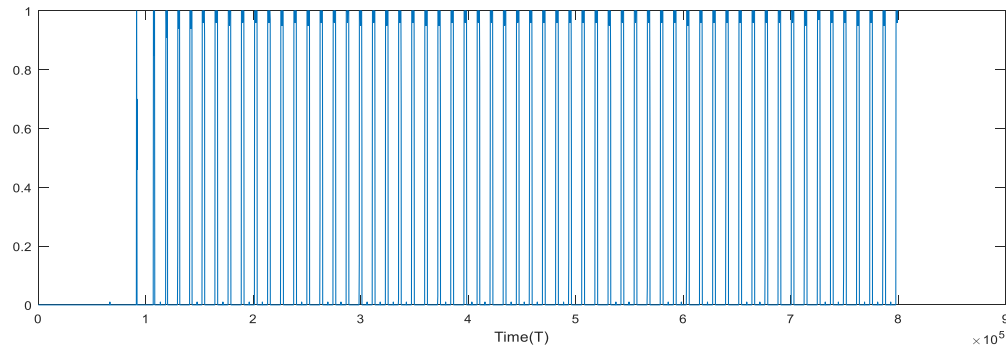
d) Courant ( $I_{ch}$ )



e) Tension ( $V_{ch}$ )



f) Puissance ( $P_{ch}$ )



### **D) Duty Cycle**

Figure (II.15)Résultat de simulation PO-MPPT(a.b.c.d.e.f.D)

## **II.4.Conclusion :**

La facilité d'implémentation de la méthode P&O est la première raison qu'il soit fréquemment utilisée malgré qu'elle présente des problèmes d'oscillations autour du PPM, ceci revient à la répétition périodique de calcul qui oblige le système à osciller autour du PPM. En plus, et pour des variations brusques des conditions climatiques ou/et de la charge, cette méthode présente parfois des erreurs d'interprétation dans la direction qu'il faut suivre pour atteindre le PPM. La facilité d'implémentation de la méthode P&O est la première raison qu'il soit fréquemment utilisée malgré qu'elle présente des problèmes d'oscillations autour du PPM, ceci revient à la répétition périodique de calcul qui oblige le système à osciller autour du PPM. En plus, et pour des variations brusques des conditions climatiques ou/et de la charge, cette méthode présente parfois des erreurs d'interprétation dans la direction qu'il faut suivre pour atteindre le PPM.

**CHAPTER III:**  
**APPLICATION DE TRAVAIL DE SYSTÈME**  
**PHOTOVOLTAÏQUE EXPÉRIMENTAL**

### III.1.Introduction :

Arduino is an open source platform used to build electronic projects. Arduino consists of a programmable electrical board (often referred to as a microcontroller) and programming code or IDE (Integrated Development Environment) that runs on your computer, and is used to write and upload Computer code to the Arduino board.[23]

It is one of the most famous and used types of boards, as it comes in the form of a small electronic board, and is used in programming a microcontroller from Atmel (ATmega328). The circuit contains several ports to connect the electronic components to the controller directly through 14 (input, output) of the digital type (Digital In/out), of which 6 can be used as PWM outputs or what is known as pulse-width-dependent digital modulation (in English: Pulse-width modulation). It also contains a crystal vibrator with a frequency of 16MHz, in addition to a USB port so that you can connect it with a computer, and there is a separate input for power, as well as an ICSP header. It can be said that the Arduino board is developed, programmable, and ready for direct use, and it contains what you need during your work on it, whether through a USB port or through an external source of energy such as: the battery.[24]

Dans ce chapitre, nous étudierons le mécanisme de travail d'Arduino, ses composants, ses pièces, son prix, ses caractéristiques et sa méthode de programmation. Nous verrons également les applications pratiques et les résultats du système mppt.



Figure (III.1) : Arduino UNO

### III.2. Caractéristiques de la carte Arduino :

#### III.2.1. Pourquoi nous avons choisi l'Arduino UNO et son prix :

Il existe de nombreuses cartes électroniques avec des plateformes à base de microcontrôleurs accessibles pour l'électronique codée. Tous ces outils prennent les détails de programmation complexes et les affichent dans un format simple à lire. De la même manière, le système Arduino simplifie l'utilisation des microcontrôleurs tout en offrant aux utilisateurs potentiels un certain nombre d'avantages. ET la carte Arduino est peu coûteuse au regard de ce qu'elle peut faire, puisque son prix atteint 2700 DA.

#### III.2.2. Carte Arduino Uno et ses composants :

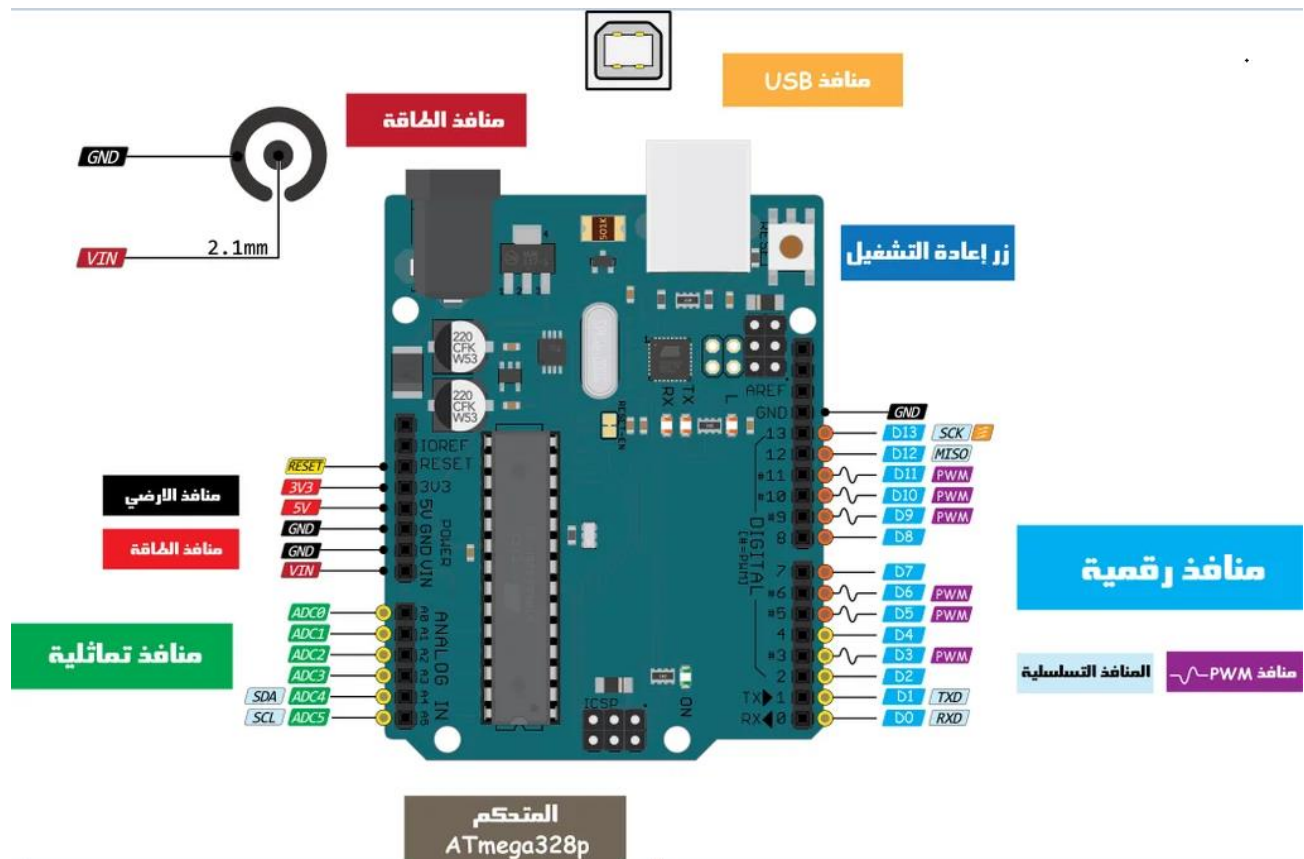


Figure (III.2) : Carte Arduino Uno et ses composants [25]

Et résumez les spécifications les plus importantes :

- Manette : ATmega328
- Tension de fonctionnement du système électrique : 5V
- Tension (recommandé) : 7-12 V
- Tension (maximale et minimale) : 6-20 V
- Nombre de ports numériques (entrée/sortie) : 14
- Ports de contrôle : 6 PWM
- Nombre de ports analogiques (entrée) : 6
- Courant constant à la prise 3.3 V : 50 mA
- CC vers un port numérique (entrée/sortie) : 40 mA
- Espace mémoire : 32 KB
- Vitesse de l'horloge : 16 MHz
- Dimensions de la plaque : Longueur : 6,86 cm, Largeur : 5,34 cm

### III.2.3. The microcontroller ATmega328 :

Un microcontrôleur ATmega328 est un circuit intégré qui rassemble sur une puce plusieurs éléments complexes dans un espace réduit au temps des pionniers de l'électronique. Aujourd'hui, en soudant un grand nombre de composants encombrants ; tels que les transistors; les résistances et les condensateurs tout peut être logé dans un petit boîtier en plastique noir muni d'un certain nombre de broches dont la programmation peut être réalisée en langage C. la figure IV.2 montre un microcontrôleur ATmega 328, qu'on trouve sur la carte Arduino. Le microcontrôleur ATmega328 est constitué par un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction bien déterminée. Il est en fait constitué des mêmes éléments que sur la carte mère d'un ordinateur. Globalement, l'architecture interne de ce circuit programmable se compose essentiellement sur [6] :

- **La mémoire Flash:** C'est celui qui contiendra le logiciel en cours d'exécution.

Cette mémoire est effaçable et inscriptible, avec une mémoire programme de 32 Ko

(dont bootloader de 0.5 ko).

- **RAM** : les variables du programme seront stockées dans cette mémoire dite "live". Il est dit "volatile" car il est supprimé en cas de coupure de la source d'alimentation du microcontrôleur. Il peut contenir 2 Ko.
- **EEPROM** : C'est le disque dur du microcontrôleur. Même si la carte doit être arrêtée, elle capture des données qui doivent perdurer dans le temps.

Lorsque le microcontrôleur est mis hors tension ou reprogrammé, cette mémoire n'est pas effacée.

- **Registres** : il s'agit d'une forme de mémoire utilisée par le processeur.
- **Le processeur** : C'est la partie principale du microcontrôleur. Il gérera le programme que nous lui avons fourni. CPU est un terme couramment utilisé.

Une alimentation électrique est nécessaire pour que le microcontrôleur fonctionne. Ceci est généralement accompli avec une alimentation + 5V. D'autres auraient besoin d'un stress plus faible, tel que + 3,3V. En plus d'une alimentation, il a besoin d'un signal d'horloge. C'est en fait une succession de 0 et de 1 ou plutôt une succession de tension 0V et 5V. Elle permet en outre de cadencer le fonctionnement du microcontrôleur à un rythme régulier. Grâce à elle, il peut introduire la notion de temps en programmation[21].

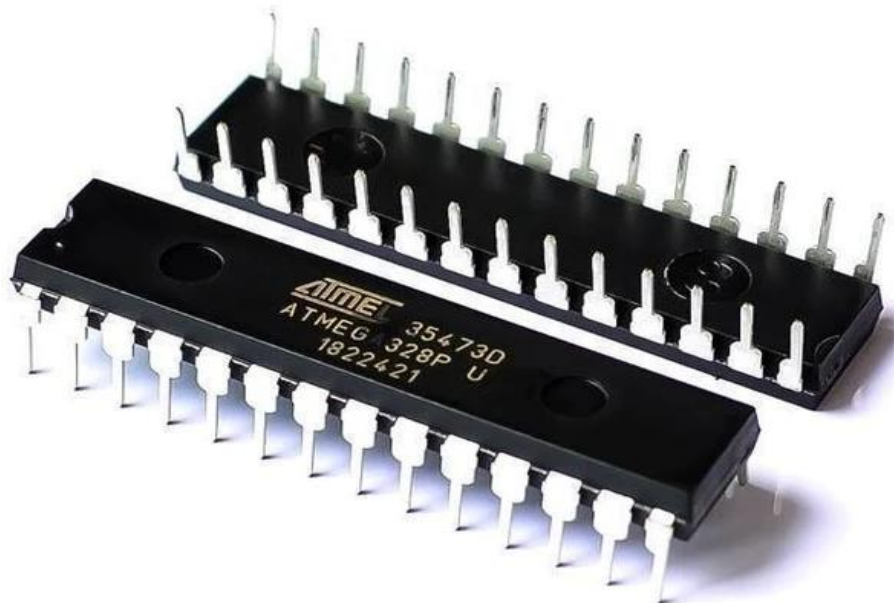


Figure (III.3) : Microcontroller ATmega328

### **III.2.4. Les différentes cartes Arduino :**

Le système Arduino est une plate-forme open source construite sur une carte avec un microcontrôleur qui peut être programmé et un environnement de développement (SDK) qui comprend un éditeur, un compilateur et un testeur de programmeur. Où les cartes et modules Arduino sont équipés d'entrées et de sorties pouvant être reçues les signaux des capteurs ou des interrupteurs et des moteurs, des lumières, etc. peuvent être contrôlés.

Il n'y a pas de carte ou de microcontrôleur spécifique auquel le mot "Arduino" fait référence. Toute la famille Arduino est appelée Arduino. Il peut être difficile de choisir le meilleur pour votre projet, il est donc crucial de déterminer celui que vous utiliserez. Nous en apprendrons plus sur les nombreuses variétés de cartes Arduino disponibles dans cet article, ainsi que sur la façon de les utiliser :

### **III.2.5. Arduino UNO:**

Sans aucun doute, l'Arduino le plus courant est UNO. Il est alimenté par un processeur Atmega328 16 MHz 14 avec entrées numériques E / S, 6 entrées analogiques 1 kilo-octet d'EEPROM, 2 kilo-octets de RAM un rail d'alimentation 5V et 3V avec 32 kilo-octets de mémoire programme.

Tableau (III.1) la carte arduino UNO :

| Categorie                      | Valeur                         |
|--------------------------------|--------------------------------|
| Microcontrôleur                | Atmega 328                     |
| Frequence d'horloge            | 16MHZ                          |
| Tension de service             | 5V                             |
| Tension d'entrées(recommandee) | 7-12V                          |
| Tension d'entrées(limites)     | 6-20V                          |
| Portes numeriques              | 14 entrées et sortie           |
| Portes analogiques             | 6 entrées analogique           |
| Courant maxi.par broche d'E/S  | 40mA                           |
| Courant maxi.par broche3.3V    | 50mA                           |
| Mémoire                        | 32KO flash,2ko SRAM,1ko EEPROM |
| Chargeur d'amorçage            | 0.5 KO(en mémoire flash)       |
| Interface                      | USB                            |
| Dimensions                     | 6.86 cm*5.3cm                  |
| Prix                           | 24\$                           |

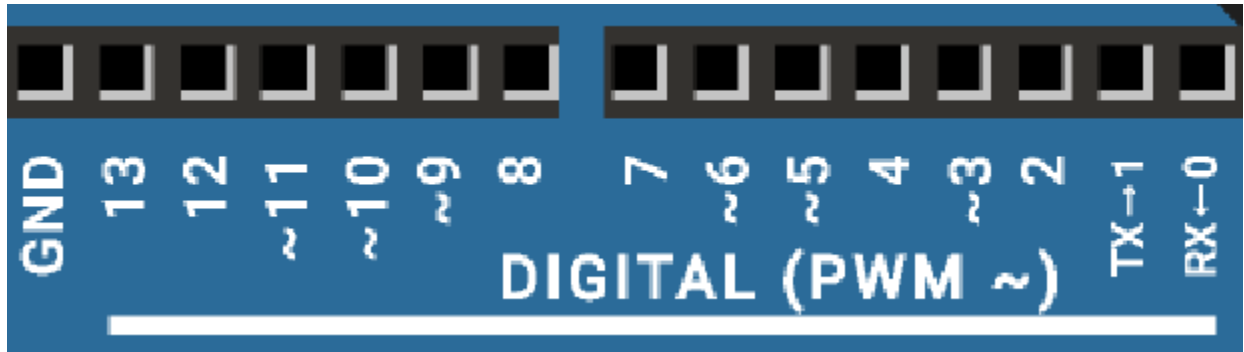
Parmi ces types, nous avons choisi la carte Arduino UNO (carte Basique). L'intérêt principal de cette carte est de faciliter la mise en oeuvre d'une telle commande qui sera détaillée par la suite. En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties. Cette carte est basée sur un microcontrôleur ATmega328 et des composants complémentaires. La carte est illustrée dans la figure (1)

### III.2.6 Les entrées / sorties :

Les broches d'E / S (entrée / sortie) sur la carte Arduino indiquent un moyen pour la carte de communiquer avec le monde extérieur. Le programme du microcontrôleur peut interdire certaines actions (comme allumer ou éteindre une lumière, un ventilateur ou un moteur) car les sorties sont contrôlées par la carte. Le microcontrôleur peut déterminer l'état de l'appareil auquel il est connecté en lisant les entrées. Il existe deux types d'E / S: les E / S numériques et les E / S analogues.

### III.2.7. Les entrées / sorties numeriques :

Les entrees / sorties numeriques ne peuvent prendre que deux valeurs, la valeur LOW ( $\sim$  GND, 0 V), et la valeur HIGH ( $\sim$  5 V). La valeur d'un port numerique peut donc etre codee sur un bit, 0 ou 1, true ou false.



Figure(III.4) : Les entrees / sorties numeriques.

La carte arduino comporte 14 I/O numeriques (appelees DIGITAL sur la carte), numerotees de 0 a 13 (voir le schema ci-dessus), et appelees D0, D1, D2, ... D13. Chacun de ces ports peutetre declare comme etant une entree ou comme une sortie dans le programme du microcontroleur. Les deux premiers ports (D0 et D1) sont reserves a la communication serie, il ne faut pas les utiliser. Le dernier port, D13, possede un indicateur lumineux, une LED qui s'allume quand le port est HIGH, et qui s'eteint quand le port est LOW. Le port GND est la masse de la carte (0 V).[ 6]

### III.2.8. Les sorties numeriques :

Chacun des 14 ports numériques de la carte peut être utilisé pour démarrer. Lorsqu'un port est désigné comme point de départ, le microcontrôleur contrôle la valeur de ce port. Attention: le courant maximum qu'un port de sortie numérique peut fournir est de 40 mA; demander plus que cela peut endommager la carte! Ce type de situation se produira si un port déclare un départ.est directement connecté à la masse (port GND) avec une très faible résistance (un fil), et le programme règle la sortie sur HIGH (5 V). Le contraire est tout aussi dangereux (une sortie numérique soulagée au port 5 V et basculee sur la valeur LOW). Les sorties numériques sont incapables de fournir une puissance électrique suffisante (40 mA max sur 5 V). Ils sont utilisés pour échanger des informations (les ports D0 et D1 sont utilisés pour la communication informatique série, par exemple) ou désactiver un comportement (comme allumer une lumière, par exemple).

### III.2.9.Les entrées numeriques :

Chacun des 14 ports numériques de la carte peut être utilisé comme entrée. Si un port est désigné comme point d'entrée, Arduino lira l'état du port (HIGH ou LOW) et l'application utilisera cette valeur pour décider de l'action à entreprendre. Un numéro de port déclaré en entrée est catégorisé en HAUT ou en BAS selon le stress détecté par la carte. Généralement, les tensions inférieures à 1 volt seront étiquetées comme BAS, et les tensions supérieures à 4 volts seront étiquetées comme Élevées. Il est important d'éviter les tensions intermédiaires, qui peuvent conduire à un résultat imprévisible. Attention: une tension supérieure à 5,5 V endommagera la carte Arduino.

### III.2.10.Les entrées analogique :

Une entrée analogique est comme un voltmètre ; la carte représente la tension appliquée au port. Mais comme le microcontrôleur ne peut gérer que des nombres, la contrainte appliquée doit être transformée en une valeur numérique. C'est le travail du converti.numérique et analogique, également connu sous le nom de CAO.



Figure (III.5) : Les entrées analogique

### III.2.11.Les sorties analogique :

La carte Arduino n'est pas équipée d'une sortie analogique réelle qui peut générer une contrainte à une valeur spécifiée par l'utilisateur. Cependant, certains ports numériques peuvent être utilisés comme sorties analogiques en utilisant la technologie PWM (Pulse Width Modulation) :

## Chapiter III: Application de travail de système photovoltaïque expérimental

ce sont les ports 3, 5, 6, 9, 10 et 11 (signaux par un sur la carte). Ces ports peuvent simuler une tension entre 0 et 5 V en commutant rapidement entre leurs états BAS (O V) et HAUT (H V) (5V) Si le port passe le même temps dans un état que dans l'autre, la tension moyenne est de 2,5V; cependant, en modifiant ce rapport, la tension moyenne peut être réglée entre 0 et 5 V

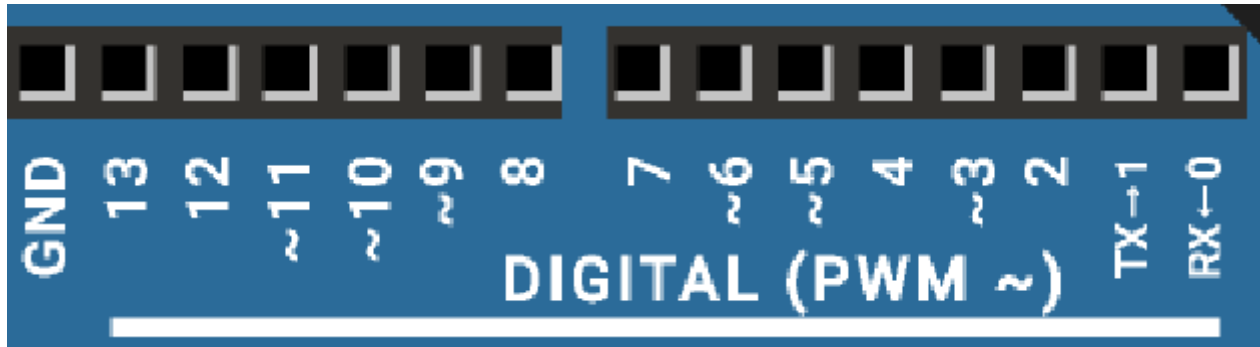


Figure (III.6) Les sorties analogique

### III.2.12. Les tensions de references :

La carte Arduino comprend des ports qui permettent d'accéder à certaines tensions de référence.



Figure (III.7) : Les tensions de references

GND est la carte de référence Arduino par rapport à laquelle toutes les différences de tension sont mesurées. Si la carte est connectée à l'ordinateur via un câble USB, la contrainte est celle de la terre. Les ports 5V et 3V3 permettent d'accéder respectivement à des tensions 5 V et 3,3 V. Ces contraintes sont généralement contrôlées et exactes. Une exception: lorsque la carte est connectée à un port USB sans alimentation externe, le port 5 V n'est plus alimenté par la carte

Arduino mais plutôt par le câble USB, donc la tension de référence 5 V n'est plus aussi bien maîtrisée. Lorsqu'il y en a un, VIN est la tension d'alimentation externe. Attention: si vous connectez le port 5 V au port GND (ou le port 3V3 au port GND, ou le port 5V au port 3V3), vous provoquerez un court-circuit qui endommagera la carte [6]

### **III.2.13.Le porte USB :**

La carte Arduino peut être alimentée via le port USB, ce qui permet également une communication série entre la carte et l'ordinateur. Une fois connectée, la carte Arduino apparaîtra dans le gestionnaire de périphériques de votre ordinateur connecté à l'un des ports série (COM1, COM4, etc.). Vous devez vous assurer que l'IDE (Logical Arduino) est correctement configuré pour communiquer avec le bon port COM et le bon type de carte Arduino. Vous pouvez utiliser L'IDE pour scanner le port COM. Et de récupérer tous les messages qui peuvent avoir été laissés sur la carte. Utilisez toujours cet outil pour déboguer votre logiciel tant qu'il y a des informations circulant sur le port série: Outils / Moniteur série.

### **III.2.14.Partie programme :**

Une carte d'acquisition similaire, comme c'est le cas avec notre carte, doit avoir une interface programmable en raison de sa construction sur un microcontrôleur. Un environnement de programmation open source gratuit pour les téléchargements Arduino est disponible pour Windows, Mac OS X et Linux.

Et Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information ce programme appelé IDE Arduino. [22].

## Chapiter III: Application de travail de système photovoltaïque expérimental

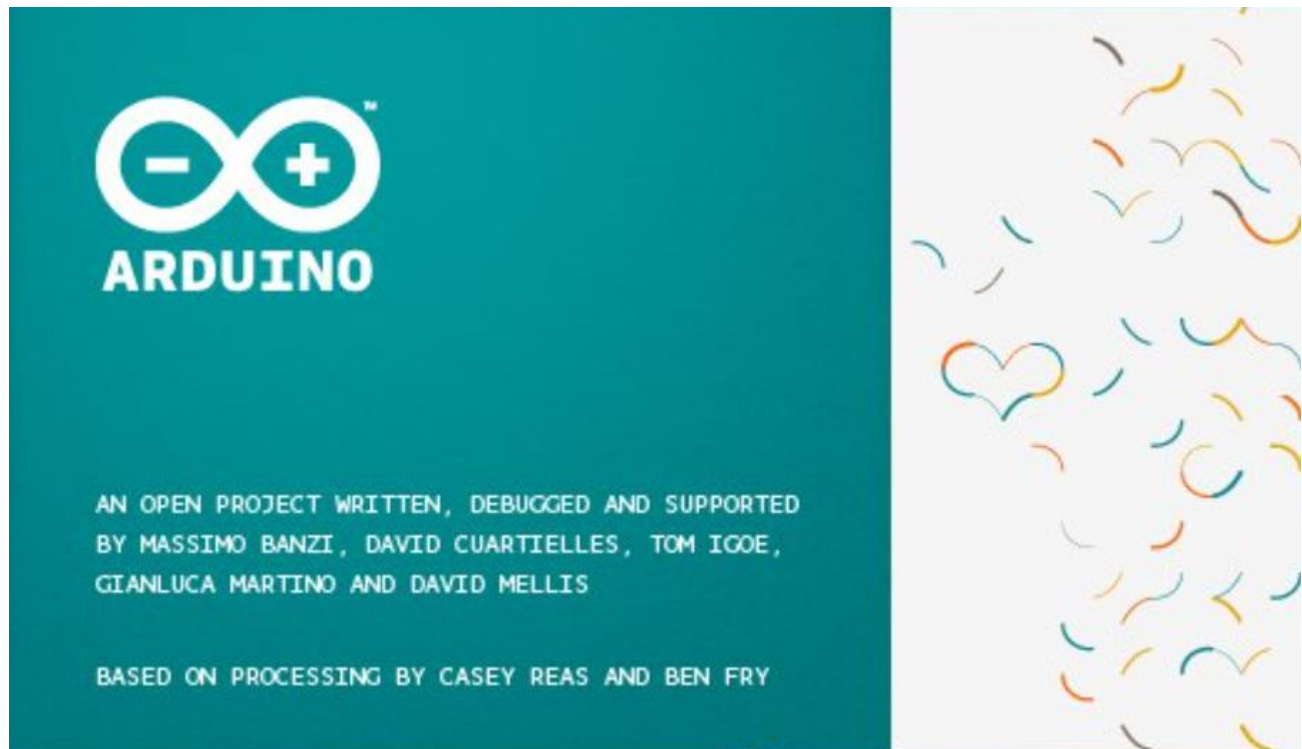


Figure (III.8) : L'écran de démarrage Arduino software.

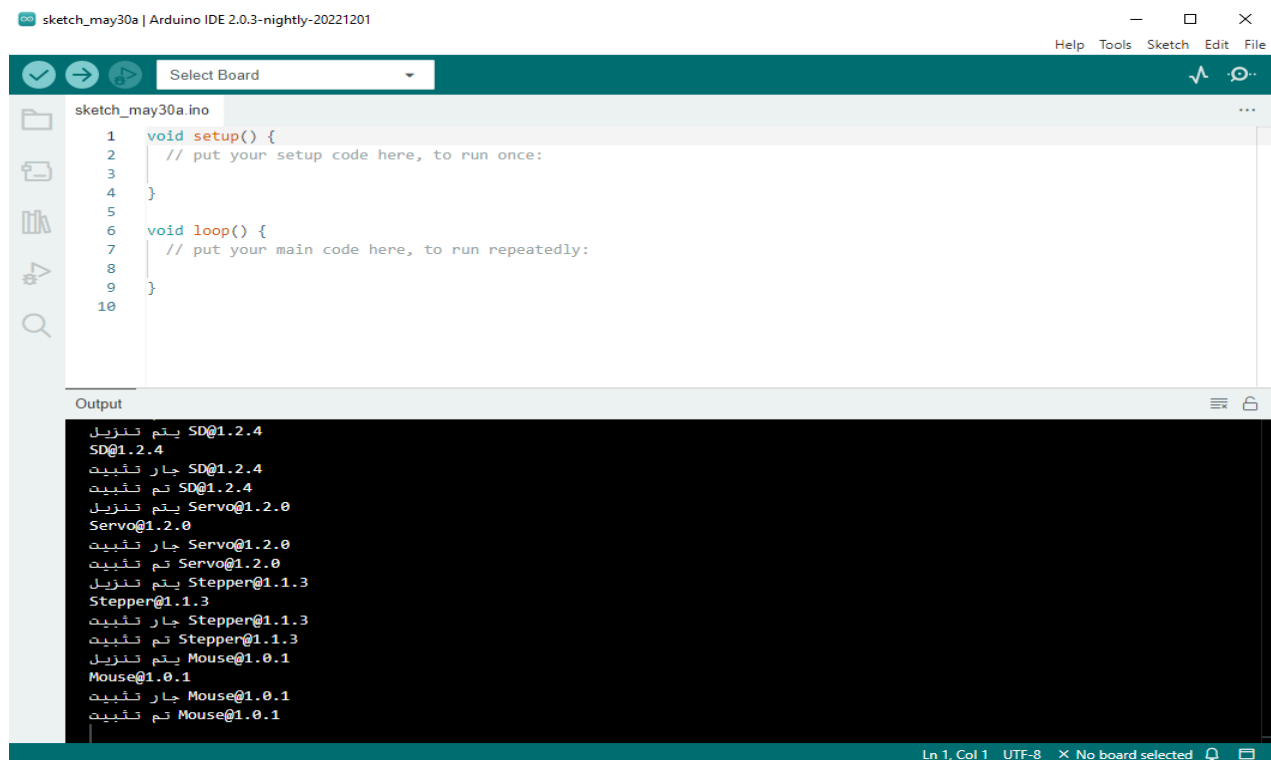


Figure (III.9) : Interface IDE Arduino

### **III.3. Application pratique por la MPPT du convertisseur DC / DC Buck - Boost :**

#### **III.3.1. Convertisseur Buck-Boost DC/DC d'occasion et ses composants :**

Nous avons utilisé le transformateur back-boost dans cette application pratique, car il augmente ou diminue la tension d'entrée, comme illustré par la figure (9) :



figure (III.9) : Convertisseur Buck-Boost DC/DC

**1 : IRFP 260 MOSFET**

**2 : Resistor**

**3 : Input PWM et 5V et GND**

**4 : Diode traversante MBR20100 CT 20A / 100 V**

**5 : Inductance 4.4 mH**

**6 : Les bornes**

**7 : Capaciter 250 V, 270  $\mu$ F**

## IRFP260 MOSFET Pinout

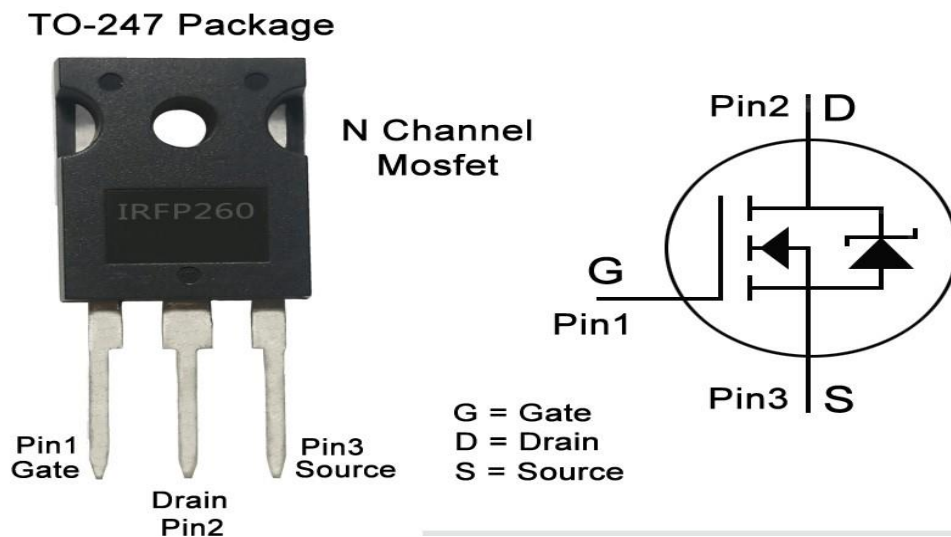


Figure (III.10) : IRFP 260 MOSFET

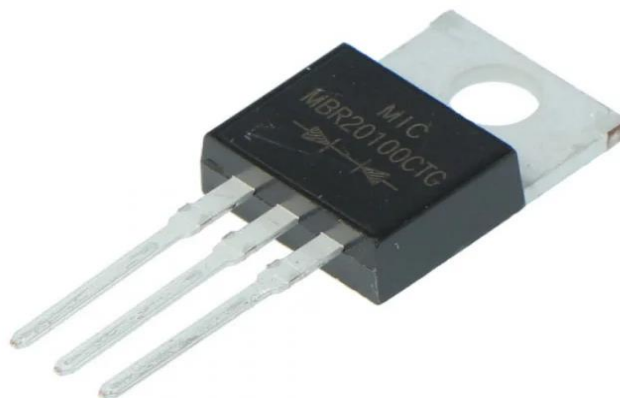


Figure (III.11) : Diode traversante MBR20100

### III.3.2. Application pratique por la MPPT :

#### III.3.2.1 : Le panneau photovoltaïque utilisé :

Dans cette expérience, le panneau photovoltaïque sunmodule sw 80 mono rha a été utilisé, et le tableau (2) montre ses caractéristiques.

Tableau (III.2) : Propriétés du Sunmodule SW 80 Mono RHA

|                                     |                             |                   |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| <b>Maximum power</b>                | <b>P<sub>max</sub></b>      | 80 W <sub>p</sub> |
| <b>Open circuit voltage</b>         | <b>U<sub>oc</sub></b>       | 22.5 V            |
| <b>Maximum power point voltage</b>  | <b>U<sub>mpp</sub></b>      | 18.5 V            |
| <b>Short circuit current</b>        | <b>I<sub>sc</sub></b>       | 4.66 A            |
| <b>Maximum power point current</b>  | <b>I<sub>mpp</sub></b>      | 4.35 A            |
| <b>Power sorting</b>                | -5 % / +10 %                |                   |
| <b>Maximum system voltage SC II</b> | 1000 V                      |                   |
| <b>Maximum reverse current</b>      | 15 A                        |                   |
| <b>Load / dynamic load</b>          | 5.4 / 2.4 kN/m <sup>2</sup> |                   |
| <b>Number of bypass diodes</b>      | 2                           |                   |
| <b>Operating range</b>              | -40°C bis + 85°C            |                   |

#### III.3.2.2 : Les Captures Utilisé :

- **Capture de Current Le module ACS-712 :**

Le module ACS-712 représenté par la Figure (12) est un capteur courant nous servira d'ampèremètre pour mesurer la valeur du courant que l'on va utiliser en tant que variable dans notre algorithme MPPT. Ces modules ACS-712 peuvent mesurer des courants AC ou DC allant de +5A à -5A, +20A à -20A et +30A à -30A. Ce module délivre une tension analogique (0-5V) basée sur le courant circulant dans le fil ; il est donc très facile d'interfacer ce module avec tout microcontrôleur. Lorsqu'aucun courant ne circule dans les bornes du module, la tension de sortie est de +2,5 V( $V_{cc}/2$ )[8]

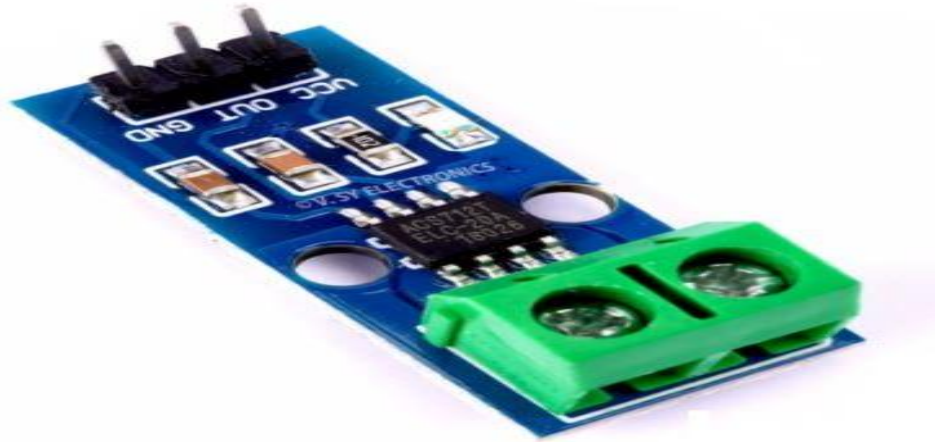


Figure (III.12) : Sensor la Current Module ampèremètre ACS-712

### ● Capture de Tension Le module compatible Arduino B25:

Voltage sensors are the modules that are employed to estimate and monitor the amount of voltage of the device or system. Hence, these Voltage sensors can measure AC and DC voltage levels. The input of this sensor is the voltage, while the output can be an analog voltage signal, an audible signal, or a current. Et B25 is the simple voltage Detection Sensor Module that uses a potential divider that helps to decrease any input voltage by a factor of 5. B25 Moreover; the sensor is of low cost. They based it on the principle of resistive voltage divider design that includes the resistor that functions as a sensing element. To make the circuit of the voltage divider, It separates the voltage into two resistors like a reference voltage & variable resistor. We apply a voltage supply to this circuit. The resistance used in the circuit decides the output voltage.

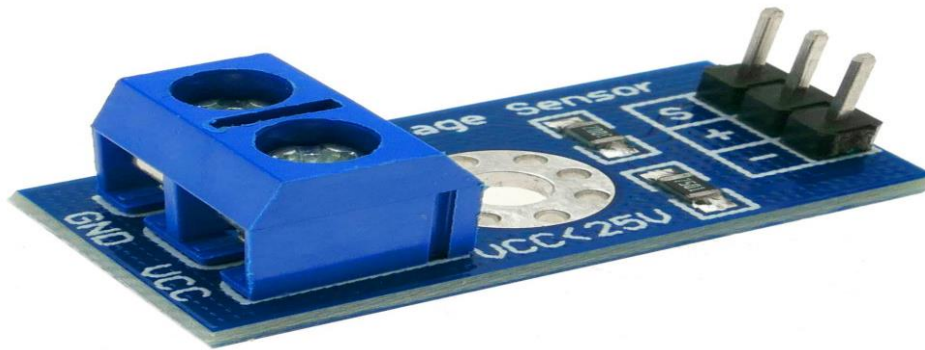


Figure (III.13) : Sensor la Tension Module compatible Arduino B25

### III.3.3. MPPT et ses résultats :

La Figure (13) Expliquer la normalisation scientifique de MPPT :

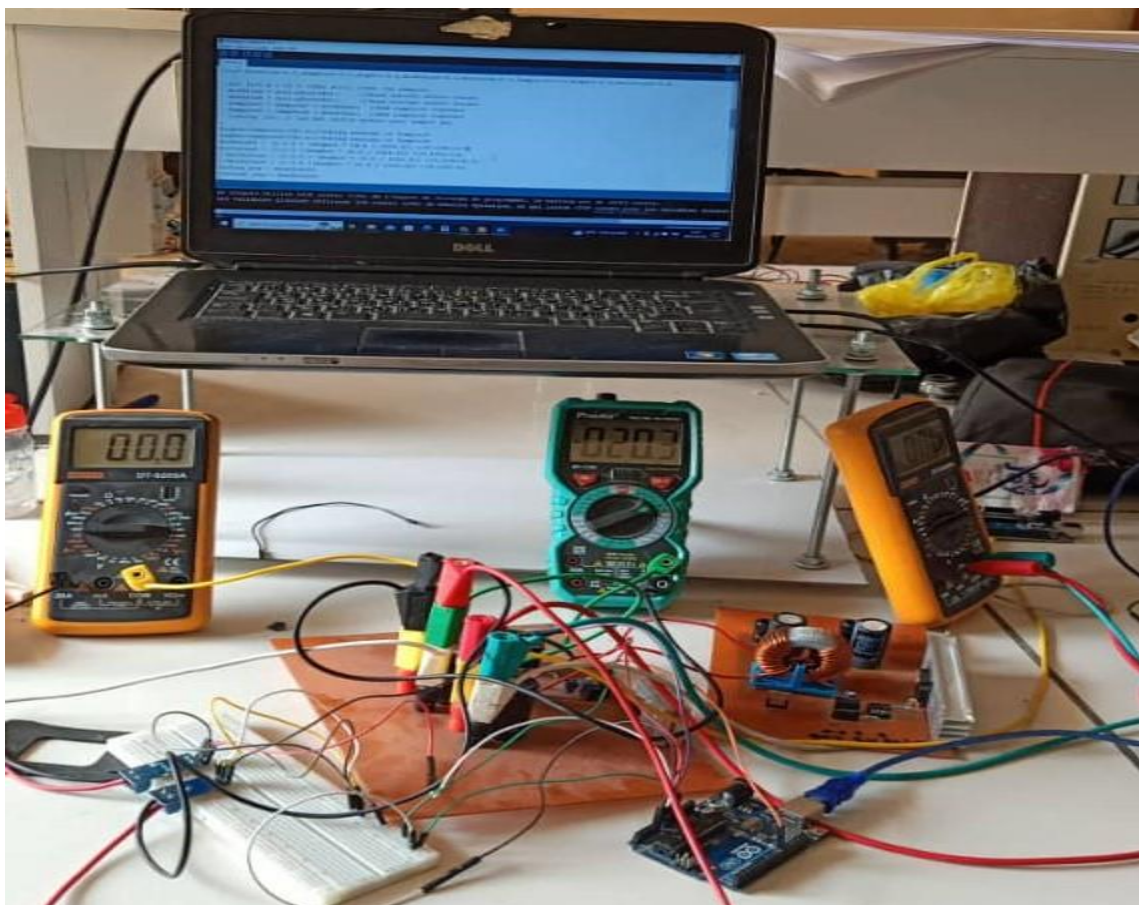


Figure (III.13) : Photo réel de system photovoltaïque étudiée.

### **Chapiter III: Application de travail de système photovoltaïque expérimental**

---

**Et les résultats obtenus :**

# **Conclusion**

## **General**

# CONCLUSION GENERAL

---

## CONCLUSION GENERAL

Ce mémoire est consacré à l'étude et à l'implémentation d'un convertisseur DC/DC abaisseur de tension de type Buck-Boost dans une chaîne PV pilotée par un mode commande MPPT pour assurer le maintien de la puissance maximale fournie par un générateur GPV.

Au début, nous avons donné un aperçu de l'énergie solaire photovoltaïque. Ensuite nous avons abordé la trajectoire apparente du soleil, une description des systèmes photovoltaïques, la cellule photovoltaïque, les capacités du générateur photovoltaïque, et ses performances.

Pour la deuxième fois, nous avons examiné des types spécifiques de convertisseurs DC-DC utilisés dans les systèmes photovoltaïques tels que Buck, Boost et Buck-Boost. Ensuite, nous avons introduit des algorithmes MPPT tels que l'algorithme de perturbation et d'observation (PO). Nous avons ensuite simulé un convertisseur DC-DC dans MATLAB r2016b pour démontrer leur fonctionnalité, suivi par le traçage des caractéristiques I-V et P-V de notre module PV. Enfin, nous avons généré l'algorithme PO à l'aide de SiMILINK matlab.

Puis l'algorithme a été testé par (perturbation et d'observation ), à la fin de notre troisième chapitre Simulation du fonctionnement en mode optimisation de puissance par commande MPPT (PO), Enfin, nous avons fabriqué et testé l'adaptateur attaché à la carte ArduinoUno où nous avons implémenté l'algorithme PO

## **REFERENCES**

## REFERENCES

---

- 1/-Benterki Ghada,Mekidech Akram," Commande MPPT appliquée à un système PV connecté à un réseau électrique triphasé " 2021/2022, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj
- 2/- HIZI NADIR·DJABOREBBI TAKY-EDDINE " Etude comparative des commandes MPPT pour les systèmes photovoltaïques " 2021/2022, UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA
- 3/-Mounir DERRI1, Mostafa BOUZII1, Hamid ELOMARI1, Otmane ZEBRAOUI1, Ismail LAGRAT2, "Modélisation et commande floue d'un système photovoltaïque " 2013  
16èmes Journées Internationales de Thermique (JITH 2013) Marrakech (Maroc), du 13 au 15 Novembre, 2013
- 4/-Cylia TIGRINE "Etude et simulation des techniques MPPT d'un système photovoltaïque " 2018/2019, Université A. MIRA-BEJAIA
- 5/- CHEKIREF Fathya ,"Etude et implementation d'une commande MPPT neuro-floue sur FPGA"2008 ECOLE NATIONALE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
- 6/-Heniat Mohammed ,Salah Ben Aoun Ilies " Contribution à l'approche de suivi du point de puissance maximale des système photovoltaïques pour des conditions complexes " 2020/2021 , Université Echahid Hamma Lakdhar- EL Oued
- 7/-BELKAID ABDELHAKIM "Conception et implémentation d'une commande MPPT de haute performance pour une chaîne de conversion photovoltaïque autonome " 2014/2015 , UNIVERSITE FERHAT ABBAS - SETIF 1  
UFAS(ALGERIE)
- 8/- ANDRIAMIAROSOA Ny Onjy " APPLICATION D'UN ALGORITHME MPPT EN MODE GLISSANT DANS UN SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE " 2018/2019 , UNIVERSITE D'ANTANANARIVO  
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
- 9/- Karkarine Abdelkader " Modélisation et contrôle d'un système photovoltaïque" 2017 ,  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR- ANNABA

## REFERENCES

---

- 10/- Yehia Lalili " Commande MPPT d'un syst`eme photovoltaïque sous irradiation uniforme et non-uniforme "2020/2021 , Universit'e Mohammed Seddik Benyahia –
- 11/- Merini Abdelkarim – Benghalia Djabeur " Commande par LOGIQUE FLOUE d'un convertisseur DC-DC appliqué dans un système photovoltaïque " 2021/2022 , Université BELHADJ BOUCHAIB-AIN TEMOUCHENT
- 12/- C. Hua, J. Lin, C. Shen, Implementation of DSP-controlled photovoltaic system with peak power tracking, IEEE Transaction on industrial electronics, vol 45 No 1, February 1998.
- 13/- BENADEL Faiza " Etude Et Simulation D'une Commande MPPT Pour Système PV " 2015/2016 UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF M'SILA FACULTE DE TECHNOLOGIE DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE
- 14/-- Zennati Cylia Zaknoute Assia " Etude et modélisation d'un algorithme MPPT pour un générateur photovoltaïque " 2019/2020 , UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJ
- 15/--- S.SARRI, H.BFOUTEAHA «Commande en MPPT d'une chaine photovoltaïque à base d'un hacheur multiniveaux», Université Mohamed Seddik Ben Yahia – Jijel, 2020.
- 16/- Nettari Y., «Commandes robustes et intelligentes des convertisseurs DC-DC», Mémoire de Master, Université Ferhat Abbas Sétif, 2014. -BOUIRA
- 17/- Salim ABOUDA – " CONTRIBUTION A LA COMMANDE DES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES: APPLICATION AUX SYSTEMES DE POMPAGE " 2015 , Université de REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE , ECOLE NATIONALE d'INGENIEURS de SFAX , Ecole Doctorale Sciences Technologies Santé 547 , Ecole Doctorale Sciences et Technologies
- 18/- Bouchareb Khalil , Touati Ayyoub " Modélisation et simulation d'un système PV adapté par une commande MPPT basée sur un mode glissant. " 2021 , Université 8Mai 1945 – Guelma

## REFERENCES

---

- 19/- Maite Sanchez Rodriguez. "Réalisation d'un étage d'adaptation pour générateur photovoltaïque à partir d'un girateur de puissance" 2008 , UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
- 20/- S. Diaf « Intégration des systèmes à sources renouvelables d'énergie pour la production décentralisée d'électricité en site isolé », Thèse de Doctorat, École Nationale Polytechnique, Alger 2009
- 21/- M. Noreddinne and G. Abdarrazzak, "Réalisation d'une Carte d'acquisition et supervision en utilisant un module GSM." UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA, 2019.
- 22/- V. Salas, E. Olias, A. Barrado, and A. Lazaro, "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems," Sol. energy Mater. Sol. cells, vol. 90, no. 11, pp. 1555–1578, 2006.
- 23/- Site voltia " Composants de la carte Arduino (UNO)" 2022/12/06 كتاب المهندس عبد الله علي عبد الله
- 24/- site menatech 2023/01/25 " ما هو الاردوينو – Arduino وأنواعه واستخداماته " و ما هي استخداماته و أنواعه Arduino – ما هو الاردوينو 2023/01/25 site menatech بواسطة محمد مالك
- 25/- site instructables " ARDUINO & GENUINO UNO " أردوينو اونو