



N° d'ordre:  
N° de série:



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

**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued**

**Faculté de Sciences et de La Technologies Filière: Genie Electrique**

**Mémoire de fin d'étude**  
Présenté pour l'obtention du diplôme de  
**MASTER ACADEMIQUE**

**En:** machine Electrique

**Par:**

ABDELGOUI Taoufik  
BEN AMOR Said  
MEHRI Abdennour

**Thème**

**Simulation de système photovoltaïque connecte au  
réseau et alimentant une machine asynchrone**

**Devant le jury composé de:**

**Mr. LABIOD Chouaib**

....

**Président**

**Mr. MAAMRI Oussama**

....

**Examinateur**

**Mr. SERHOUD Hicham**

....

**Encadreur**

**2022-2023**



## الإهداء

الحمد لله وكفى والصلاة على النبي المصطفى وأهله ومن وفى أما بعد:

إلى كل هؤلاء أهدي هذا البحث المتواضع

الحمد لله الذي وفقنا لتثمين هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية بمذكرتنا هذه ثمرة الجهد والنجاح.

إلى صاحب السيرة العطرة والفكر المستنير فلقد كان له الفضل الأول في بلوغي التعليم العالي

(والدي الحبيب) أطال الله في عمره

إلى من وضعتني على طريق الحياة ربتي على القيم الحميدة وراعتني حتى صرت رجلاً (أمي

الغالية) اللهم أدمها تاجاً على رأسي.

إلى رفيقة دربي زوجتي الغالية أدامها الله سنداً لي

إلى قطعة السكر التي أنارت حياتي ابنتي ليان اللهم أنبتها نباتاً حسناً واجعلها من البررة وحفظة

كتاب الله

إلى كافة العائلة الكريمة إخوتي وأصدقائي وزملائي

شكراً لكم جميعاً

عبد النور

## الإهداء

قال الله تعالى «و لئن شكرتم لأزيدنكم»  
الحمد و الشكر لله الذي و فقنا لإجاز هذا العمل و أنعم علينا نعمة  
العلم و هدانا إلى نوره و يسر لنا المصاعب.

قال رسول الله - صلى الله عليه و سلم « من لم يشكر الناس لا يشكر الله »  
إلى من سهر ليالي طويلة من أجل راحتي و لمن استيقضت فجرًا من أجل الدعاء لي أُمي  
الحبيبة و لكل العائلة الكريمة التي ساندتني و لا تزال، من أحوالي و أصدقائي و إلى رفقاء  
المشوار عبد النور و عبد القوي و إلى كل أصدقاء قسم الماكينات الكهربائية و إلى كل من كان  
له أثر في حياتي و إلا كل من أحبهم قلبي و نسيهم قلبي.

شكرا...

السعيد

## الإهداء

الى اعز الناس واقربهم الى قلبي الى والدتي العزيزة ووالدي العزيز اللذان كانا عوننا وسندا لي  
وكان لدعائهما المبارك أعظم الاثر في تسيير سفينة البحث حتى ترسوا على هذه الصورة.  
الى من ساندتني وخطت معي خطواتي ويسرت لي الصعاب الى زوجتي العزيزة التي تحملت  
الكثير وعانت ووقوفي في هذا المكان، ما كان ليحدث لولا تشجيعها المستمر لي.  
الى زهرتي ابنتي الغالية ميار التي حرمت مني طيلة الفترة التي قضيتها في اعداد هذا  
البحث

الى اخوتي الاعزاء الذي كان لهم بالغ الاثر في كثير من العقبات والصعاب الى روح اختي  
الغالية ليلي

الى اساتذتي واهل الفضل علي الذين غمروني بالحب والتقدير والنصيحة  
الى كل هؤلاء اهديهم هذا العمل المتواضع سائلا الله العلي التقدير ان ينفعنا به ويمدنا  
بتوفيقه

شكرا جميعاً ...

عبد القوي

## Liste de symboles

$\eta$  : Le rendement de la cellule photovoltaïque ;

$P_m$  : La puissance produite par le générateur PV ;

ESTC : L'éclairement absorbé par la cellule ;

E : L'énergie d'un photon

$\lambda$  : la densité d'énergie solaire.

h : la constante de planck.

C : la vitesse de la lumière.

I : Courant

P : puissance

L : Inductance

R : Résistance de la charge

F : fréquence

PV : Photovoltaïque

MPPT : Maximum Power Point Tracking.

P&O : Perturbation et Observation.

DC : Courant Continu (Direct Curent).

GPV : Générateur photovoltaïque

PPM : Le point de puissance maximale

DC-DC : Convertisseur continu/continu

$R_s, l_s$  : résistance et inductance propre d'une phase statorique

$R_r, l_r$  : résistance et inductance propre d'une phase rotorique

$M_s$  : coefficient demutuelle inductance entre deux phases de stator

$M_r$  : coefficient de mutuelle inductance entre deux phases de rotor

$M_{sr}$  : maximum de l'inductance mutuelle entre d'une phasede stator et une phase du rotor

$L_s$  : inductance cyclique statorique

$L_r$  : inductance cyclique rotorique

$T_r$  : constante de temps rotorique

M : inductance mutuelle cyclique entre stator et rotor

p : nombre de paires de pôles

J : moment d'inertie ramené sur l'axe moteur

## Liste de figure

	page
<b>Chapitre I : Généralité sur les systèmes photovoltaïques</b>	
Figure.I.1 : Types de rayonnement solaire	<b>06</b>
Figure.I.2 : Distribution spectrale du rayonnement solaire	<b>06</b>
Figure.I.3 : Schéma block d'une cellule PV	<b>08</b>
Figure.I.4 : Jonction PN d'un Cellule Photovoltaïque	<b>09</b>
Figure.I.5 : Composants d'un GPV	<b>09</b>
Figure.I. 6 : Schéma équivalent d'une cellule idéale.	<b>10</b>
Figure.I.7 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle	<b>11</b>
Figure. I.8 : Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode antiretour	<b>13</b>
Figure. I.9 : Effet de la diode by-pass sur la caractéristique I(V) d'un générateur photovoltaïque	<b>14</b>
Figure. I.10 : Schéma de simulation d'une module photovoltaïque réelle.	<b>14</b>
Figure. I.11 : Paramètres du bloc Générateur PV 1 .	<b>15</b>
Figure. I.12 : Caractéristique I-V d'une module PV.	<b>16</b>
Figure. I.13 : Caractéristique P-V d'une module PV.	<b>16</b>
Figure. I.14 : Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en série.	<b>17</b>
Figure. I.15 : Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en parallèle.	<b>17</b>
Figure. I.16 : Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents éclairément et une température T=25°C .	<b>18</b>
Figure. I.17 : Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents température et un éclairément E=1000 W/m <sup>2</sup>	<b>19</b>
Figure. I.18 : Schéma bloc d'un convertisseur DC-DC.	<b>20</b>
Figure. I.19 : rapport cyclique d'un convertisseur DC-DC.	<b>20</b>
Figure. I.20 : courant sorte d'un convertisseur DC-DC.	<b>20</b>
Figure. I.21 : tension de sorte d'un convertisseur DC-DC.	<b>21</b>
<b>Chapitre II : <i>Poursuite du point de puissance maximale</i></b>	
Figure.II.1 : Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque	<b>23</b>
Figure.II.2 : caractéristique Ppv (Vpv) d'un panneau solaire	<b>24</b>
Figure II.3 : Organigramme de l'algorithme Perturbation et Observation (P&O)	<b>25</b>
Figure II.4 : Schéma de simulation de l'algorithme de perturbation et de l'observation (P et O)	<b>26</b>
Figure II.5 : Schématique de SIMULINK du générateur photovoltaïque avec MPPT	<b>27</b>
Figure II. 6 : Variation de l'éclairément.	<b>27</b>
Figure II. 7: Variation de la température	<b>28</b>
Figure II. 8 : Résultats de simulation des courbes de puissance	<b>28</b>
Figure II.9 : Résultats de simulation du courant	<b>29</b>
Figure II.10 : Résultats de simulation des courbes de tension de PV	<b>29</b>
Figure II.11 : Résultats de simulation rapport cyclique (d)	<b>29</b>
<b>Chapitre III moteur asynchrone alimente par une source photovoltaïque connecte au réseau</b>	
Figure III.1: Les systèmes de pompage photovoltaïque	<b>32</b>
Figure. III.2: systèmes de pompage photovoltaïque autonome	<b>33</b>
Figure. III.3 Panneaux solaires connectés en parallèle avec moteur à induction	<b>33</b>
Figure. III. 4 Le générateur photovoltaïque connecté au réseau et alimentes une moteur à induction	<b>34</b>
Figure III.5 Schéma de l'onduleur triphasé à deux niveaux	<b>36</b>

Figure III.6 : Schéma de simulation d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique	<b>38</b>
Figure III.7 Schéma de réseau électrique	<b>38</b>
Figure III.8 Schéma de L'onduleur	<b>39</b>
Figure III.9 Principe de contrôle du courant par hystérésis	<b>40</b>
Figure III.10 : Le schéma block d'un filtre RL sur Matlab -Simulink	<b>41</b>
Figure. III.11:Conception de la simulation du système PV connexion au réseau électrique et pompage d'eau photovoltaïque sur l'environnement MATLAB Simulink	<b>42</b>
Figure III.12 résultats de simulation de système de pompage d'eau photovoltaïque	<b>43-44</b>

## Liste des Tableaux

Titre	Page
Tableaux I.1: Caractéristiques électriques du module PV KC200GT en condition de test standard	15



## Sommaire

Titre	page
Dédicace	-
Remerciements	-
Sommaire	II
liste de figure	IV
Liste de Tableau	VI
Listes des symboles et abréviations	VIII
Abréviation utilisée	IX
Introduction générale	01
<b>Chapitre I : Généralité sur les systèmes photovoltaïques</b>	
I.1. Introduction	04
I.2 Energie solaire photovoltaïque	04
I.3. Rayonnement solaire	5
I.4. Types de rayonnement	05
I.5. Spectre du rayonnement solaire	06
I.6. La cellule PV	07
I.7. l'effet Photovoltaïque	07
I. 8. Les Principes de Conversion dans les Systèmes PV	08
I.9. Générateur photovoltaïque GPV	09
I.10. Modélisation D'un Cellule Photovoltaïque	10
I.11. Protections D'un Générateur	13
I.12. simulation d'un module photovoltaïque	14
I.13. Constitution d'un générateur photovoltaïque (GPV)	16
I.14. Conclusion	21
<b>Chapitre II : <i>Poursuite du point de puissance maximale</i></b>	
II.1. Introduction	23
II.2. Principe du MPPT	23
II.3. Structure et simulation de la commande MPPT numérique « P&O »	24
II.3.1. Structure de la commande « perturbation et observation »	24
II.3.2. Simulation de la méthode MPPT	25
II.3.3. Bloc du système avec MPPT	26
II.3.4. Résultats de simulation	27
II.4 Conclusion	33
<b>Chapitre III moteur asynchrone alimente par une source photovoltaïque connecte au réseau</b>	
III.1. Les systèmes de pompage photovoltaïque	34
III.2. Modélisation du moteur asynchrone triphasée	36
III.3. Modèle de la pompe	39
III.4. Système photovoltaïque connecté au réseau proposé	39
III.5 Configuration de Modèle proposé	43

III.6 Les résultats de simulation de de la MAS alimente par une système photovoltaïque	44
III.7. CONCLUSION	45
<b>Conclusion générale</b>	48
<b>Références</b>	51

# **Introduction Générale**

## **Introduction Générale :**

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables les plus utilisées. Elle consiste à convertir directement le rayonnement solaire en électricité grâce à l'effet photovoltaïque. Les panneaux photovoltaïques (PV) ont la capacité de transformer les photons en électrons. L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable. En raison des caractéristiques électriques fortement non linéaires des cellules PV et de leurs associations, le rendement des systèmes PV peut être amélioré par des solutions utilisant les techniques de recherche du point de puissance maximale (dites techniques MPPT).

Dans ce contexte, nous sommes intéressés dans ce travail essentiellement, à l'étude et développement de la poursuite de point de la puissance maximale (Maximum Power Point Tracking MPPT) d'un générateur photovoltaïque (GPV), pour une bonne exploitation, quelques soient les conditions météorologiques (température et éclairage). Ceci nécessite l'implémentation d'une technique de poursuite de point maximale de puissance, telle que la méthode de Perturbation-Observation (P&O).

Dans ce mémoire nous avons commencé par présenter des notions générales sur les systèmes photovoltaïques, Nous avons ensuite présenté dans le deuxième chapitre le convertisseur de puissance type DC/DC . Nous avons également présenté . les algorithmes de contrôle MPPT d'un système photovoltaïque et leurs classifications. dans troisième chapitre commande MPPT d'un système de pompage PV alimentant une machine asynchrone et connectes au réseau électrique : d'Le convertisseur est un onduleur triphasé qui sert à convertir le courant continu en courant alternatif pour alimenter le groupe motopompe (moteur asynchrone, pompe centrifuge). Et le raccordement du système photovoltaïque avec le réseau électrique.

L'objectif principal de ce mémoire est de développer des stratégies de contrôles et de commandes pour un système photovoltaïque connecté au réseau dans un but d'amélioration de la qualité d'énergie et de minimisation les effets néfastes résultants de cette connexion pour avoir les meilleures réponses surtout ce qui concerne le couple et la vitesse de la machine asynchrone pour le pompage de l'eau.

**Chapitre I :**  
**Généralité sur les systèmes**  
**photovoltaïques**

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

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancées sur le plan technologiques et industriel, en effet le silicium et l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice non toxique.

Pour définition le mot " photovoltaïque " vient de la grec " photo " qui signifie lumière et de "voltaïque" qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro Volta (1754 - 1827) qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité, alors le photovoltaïque signifie littérairement la lumière électricité [1].

## **I.2 Energie solaire photovoltaïque :**

L'énergie solaire est une source d'énergie qui est dépendante du soleil. Cela signifie que la matière première est le soleil.

Elle se place dans la catégorie des énergies renouvelables puisqu'on la considère comme inépuisable.

On dit aussi que c'est une énergie 100% verte car sa production n'émet pas directement de CO2.

Grâce à cette énergie, il est possible de produire de l'électricité. Elle sera captée par des panneaux solaires ou des centrales thermiques. Ces installations captent les rayons produits par le soleil. Elles convertissent ensuite l'énergie du soleil en électricité.

Plus précisément, le principe est de transformer l'énergie portée par les photons dans la lumière, en électricité.

C'est là que rentre en jeu la cellule photovoltaïque : lorsqu'elle est exposée à la lumière, elle absorbe l'énergie des photons lumineux. Ces derniers génèrent un courant électrique continu .

C'est en 1839 qu'Antoine Becquerel a découvert que les matériaux semi-conducteurs étaient capables de transformer l'énergie solaire en électricité ? C'est ce que l'on nomme l'effet photovoltaïque [2].

### I.3. Rayonnement solaire :

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre de 1390000 km, soit environ 50 fois celui de la terre. Il est composé à 80% d'hydrogène, 19% d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus depuis que Lavoisier et Laplace, s'appuyant sur la théorie de la relativité d'Einstein, ont émis l'idée il y a une soixantaine d'années que c'est l'énergie de fusion nucléaire qui fournit au soleil sa puissance, il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène –hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions tonnes d'hélium; la réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement [3].

Sa lumière, à une vitesse de 300000 km/s, met environ 8 minutes pour parvenir à la terre, sa distribution spectrale de l'atmosphère est présentée un maximum pour une longueur d'onde d'environ  $0.5\mu\text{m}$ , la température de corps noir à la surface du soleil est d'environ  $5780^{\circ}\text{K}$  [3] :

- Diamètre de soleil  $D_s = 1.39.10^9\text{m}$  ;
- Diamètre de la terre  $D_t = 1.27.10^7\text{m}$  ;
- Distance moyenne soleil\_ terre  $L_{ts} = 1.5. 10^{11}\text{m}$  .

### I.4. Types de rayonnement :

#### I.4.1 Rayonnement direct :

Flux solaire sous forme de rayons parallèles provenant du disque soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère.

#### I.4.2 Rayonnement diffus :

C'est la partie du rayonnement provenant du soleil, ayant subi multiples réflexions (dispersions), dans l'atmosphère.

#### I.4.3 Rayonnement réfléchi :

C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (neige, sable...). Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de sol appelé Albedo( $\epsilon$ ) .

#### I.4.4 Rayonnement global :

Un plan reçoit de la part du sol un rayonnement global qui est le résultat de la superposition des trois compositions direct, diffus et réfléchi[3, 6, 7].

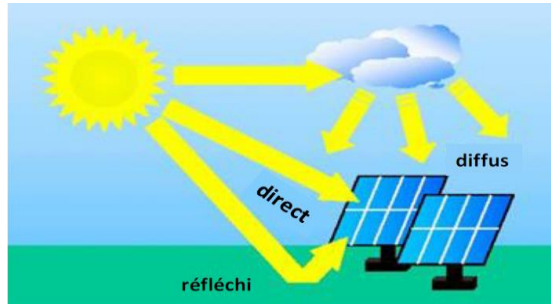


Figure.I.1 : Types de rayonnement solaire [4].

### I.5. Spectre du rayonnement solaire :

Le rayonnement électromagnétique est composé de « grains » de lumière appelés photons. L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde :

Le spectre du rayonnement extraterrestre correspond environ à l'émission d'un corps noir porté à  $5800^{\circ}$  K. Une courbe standard, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom de AM0. Sa distribution en énergie est répartie en :

- Ultraviolet **UV**  $0.20 < \lambda < 0.38 \text{ mm}$  **6.4%**
- Visible **0.38 < \lambda < 0.78 \text{ mm}** **48.0%**
- Infrarouge **IR**  $0.78 < \lambda < 10 \text{ mm}$  **45.6%**

Le rayonnement solaire reçu au sommet de l'atmosphère, dans un plan perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance terre-soleil égale à sa valeur moyenne. Lorsque ce rayonnement traverse l'atmosphère pour atteindre la surface terrestre, il est fortement atténué en raison des phénomènes d'absorption et de diffusion par les différents constituants de celle-ci [5].

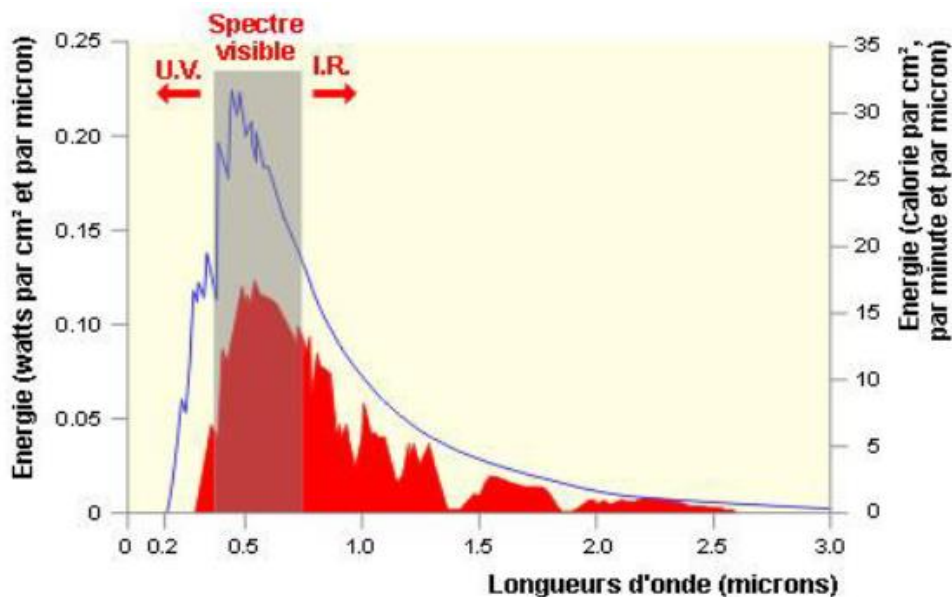


Figure.I. 2 : Distribution spectrale du rayonnement solaire.

## **1.6. La cellule PV :**

### **1.6.1.Types des cellules PV :**

Il existe différents types de cellules photovoltaïques avec des rendements et des coûts divers. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent . On peut citer Trois principaux types de cellules actuellement utilisées.

#### **I.6.1.1 Cellules mono-cristallines :**

Ce sont celles qui ont le meilleur rendement (12-16%), mais aussi celles qui ont le coût le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée [6] .

#### **I.6.1.2 Cellules poly-cristallines :**

Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication est moins important, cependant leur rendement est plus faible : (11% -13%) [8] .

#### **I.6.1.3 Cellules amorphes :**

Elles ont un faible rendement (8% - 10%), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans les produits de petite consommation telles que les calculatrices solaires ou encore les montres [8] .

## **I.7. l'effet Photovoltaïque :**

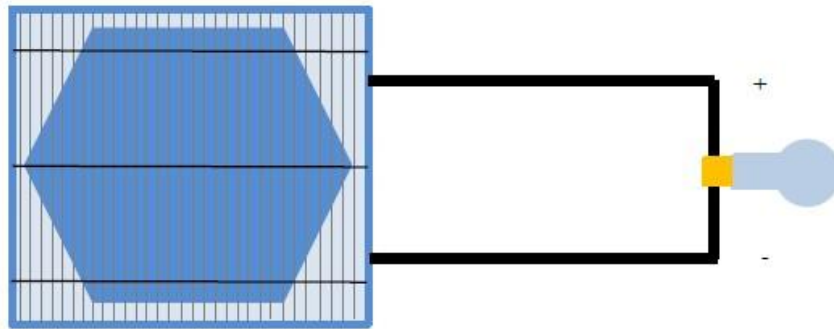
L'énergie photovoltaïque (PV) est la transformation directe de la lumière en électricité. A l'encontre de l'énergie solaire passive, qui utilise les éléments structuraux d'un bâtiment pour mieux le chauffer (ou le refroidir), et de l'énergie solaire active, qui utilise un caloporteur (liquide ou gazeux) pour transporter et stocker la chaleur du soleil (on pense au chauffe-eau), l'énergie photovoltaïque n'est pas une forme d'énergie thermique. Elle utilise une cellule PV pour transformer directement l'énergie solaire en électricité.

L'effet photovoltaïque, c'est-à-dire la production d'électricité directement de la lumière, fut observée la première fois, en 1839, par le physicien français Edmond Becquerel. Toutefois, ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs de la compagnie Bell Téléphone, aux États-Unis, parvinrent à fabriquer la première photopile, l'élément primaire d'un système photovoltaïque[8].

## I. 8. Les Principes de Conversion dans les Systèmes PV :

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p.

Une jonction (dite p-n) est formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi un pair électron - trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel le courant électrique circule [10].



**Figure I.3 :** Schéma block d'une cellule PV.

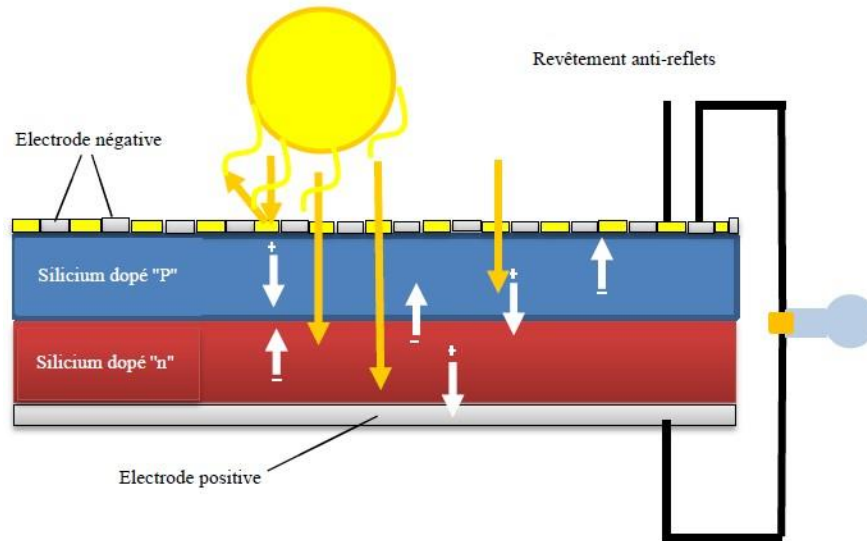


Figure I.4 : Jonction PN d'un Cellule Photovoltaïque .

### I.9. Générateur photovoltaïque GPV :

Les cellules solaires sont généralement associées en série et en parallèle, puis encapsulées sous verre pour obtenir un module photovoltaïque. Un générateur PV est constitué de modules interconnectés pour former une unité produisant une puissance continue élevée compatible avec le matériel électrique usuel (**figure 1.3**) . Les modules PV sont habituellement branchés en série parallèle pour augmenter la tension et l'intensité à la sortie du générateur. Les modules interconnectés sont montés sur des supports métalliques et inclinés suivant l'angle désiré en fonction du lieu, cet ensemble est souvent désigné par champ de modules [11].

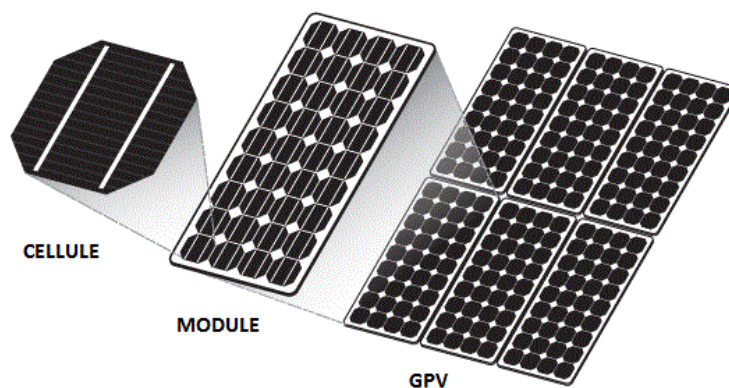


Figure. I.5 : Composants d'un GPV.

## I.10. Modélisation D'un Cellule Photovoltaïque :

### I.10.1. Cas d'une cellule idéale :

Dans le cas idéal, la cellule d'une jonction PN soumise à l'éclairement photovoltaïque connectée à une charge peut être schématisée par un générateur de courant en parallèle avec une diode. Ce générateur est délivrer un courant  $I_{ph}$  selon la Figure (I.6), qui représente le circuit équivalent d'une cellule solaire idéale [6, 7, 12].

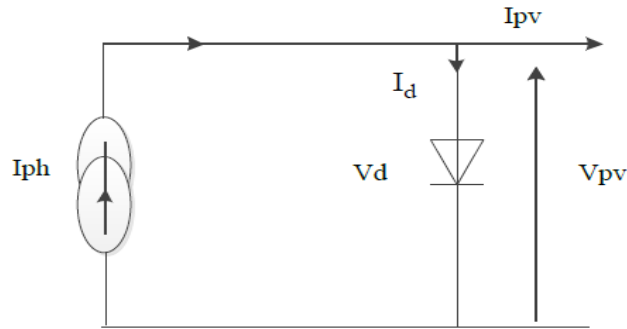


Figure. I .6: Schéma équivalent d'une cellule idéale.

- Les équations retenues de ce modèle sont :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (I.1)$$

Le courant  $I_{ph}$  est assimilé au courant  $I_{sc}$  avec  $V_{pv} = 0$ , courant de court-circuit obtenu en court circuitant la charge.

$$I_{ph} = I_{sc} = \frac{E}{E_{réf}} \quad (I.2)$$

**E** : L'éclairement absorbé par la cellule ;

**E<sub>réf</sub>** : L'éclairement de référence ( $1000 \text{ w/m}^2$ ) ;

$$I_d = I_0 \left( e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right) \quad (I.3)$$

**I<sub>0</sub>** : Courant de saturation inverse de la diode ;

$$V_t = \frac{NKT}{q}$$

**V<sub>t</sub>** : Tension thermique ;

**N** : Facteur d'idéalité de la photopile ;

**K** : Constant de Boltzmann ( $1,38. 10^{-23}$  J/K) ;

**q** : Charge de l'électron ( $1,6. 10^{-19}$  C).

### I.10.2. Cas d'une cellule réelle :

Le schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réelle tient compte d'effets résistifs parasites dues à la fabrication et représenté sur la Figure(I.7).

Ce schéma équivalent est constitué d'une diode (d) caractérisant la jonction, une source de courant ( $I_{ph}$ ) caractérisant le photo-courant, une résistance série ( $R_s$ ) représentant les pertes par effet Joule, et une résistance shunte ( $R_{sh}$ ) caractérisant un courant de fuite entre la grille supérieure et le contact arrière qui est généralement très supérieure à ( $R_s$ ) [13].

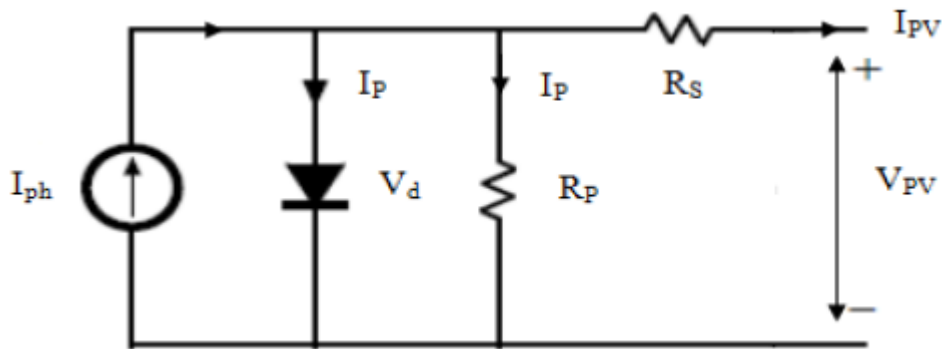


Figure.I. 7: Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle.

Dans notre travail, nous avons utilisé le modèle mathématique du module solaire à exponentiel simple.

Le courant de sortie d'une cellule photovoltaïque se met sous la forme mathématique suivante:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_p \quad (I.4)$$

**$I_{pv}$**  : Courant générer par la cellule photovoltaïque ;

**$I_{ph}$**  : Photo courant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident) ;

**$I_d$** : Le courant circulant dans la diode, équation (I.3).

$$I_d = I_0 \left( e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right) \quad (I.5)$$

$$I_0 = I_{0r} \left( \frac{T}{T_n} \right)^3 e^{\left[ \frac{E_g}{BK} \left( \frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right) \right]} \quad (I.6)$$

**I<sub>0r</sub>** : est le courant de court circuit de la cellule à la température de référence  $T_n$  et l'éclairement de référence  $E_{réf}$ ;

**T** : Température de la jonction des cellules PV [°K] ;

**T<sub>n</sub>** : Température de référence des cellules PV [°K] ;

**B** : facteur d'idéalité de la jonction ;

**E<sub>g</sub>** : Énergie de gap [ev] ;

$$V_d = V_{pv} + R_s I_{pv} \quad (I.7)$$

**R<sub>s</sub>** : résistance série symbolise la résistance de masse du matériau semi conducteur, ainsi les résistances ohmiques et de contact au niveau des connexions des cellules ;

**V<sub>pv</sub>** : La tension de sortie ;

**I<sub>p</sub>** : Le courant circulant dans la résistance  $R_p$  ;

**R<sub>p</sub>** : Résistance shunt représente les fuites autour de la jonction p-n dues aux impuretés et sur les coins de la cellule.

En substituant les équations (I.5; I.6) dans l'équation (I.4) le courant  $I_{pv}$  devient :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{V_t}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_p} \quad (I.8)$$

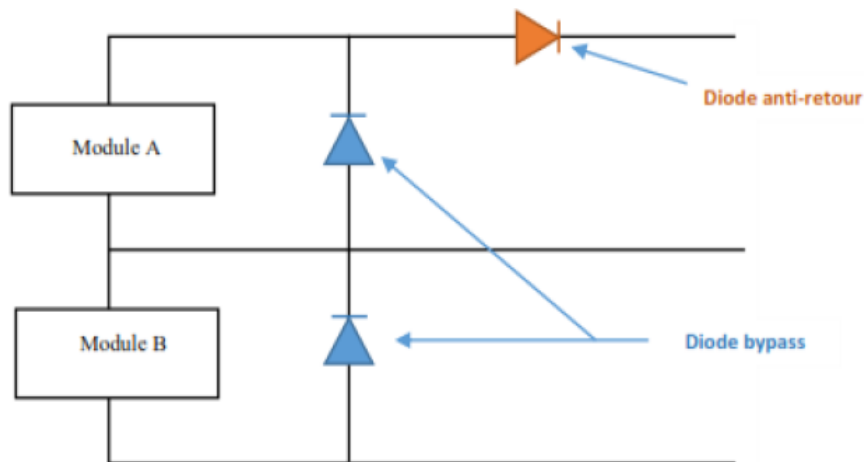
Donc :

$$I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{V_t}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_p} - I_{pv} = 0 \quad (I.9)$$

### I.11. Protections D'un Générateur :

Pour garantir une durée de vie importante d'une installation photovoltaïque destinée à produire de l'énergie électrique sur des années, des protections électriques doivent être ajoutées aux modules commerciaux afin d'éviter des pannes destructrices liées à l'association de cellules en séries et de panneaux en parallèles. Pour cela, deux types de protections classiques sont utilisés dans les installations actuelles Figure. (I.8) :

- la diode anti-retour empêchant un courant négatif dans les PV. Ce phénomène peut apparaître lorsque plusieurs modules sont connectés en parallèle, ou bien quand une charge en connexion directe peut basculer du mode récepteur au mode générateur, par exemple une batterie durant la nuit.
- les diodes by-pass peuvent isoler un sous-réseau de cellules lorsque l'éclairement n'est pas homogène évitant ainsi l'apparition de points chauds et la destruction des cellules mal éclairées. La mise en conduction de ces diodes affecte la caractéristique de sortie du générateur, comme illustré sur la Figure. (I.9) , par la perte d'une partie de la production d'énergie et par la présence de deux maximums de puissance [14].



**Figure. I.8 :** Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode antiretour.

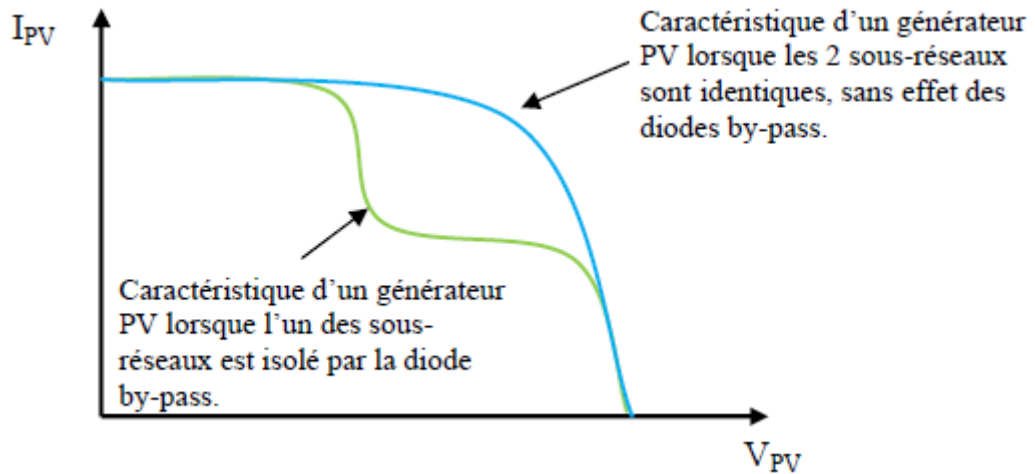


Figure. I.9: Effet de la diode by-pass sur la caractéristique  $I(V)$  d'un générateur photovoltaïque.

### I.12. simulation d'un module photovoltaïque :

Sur la base du modèle mathématique de la cellule solaire développé dans l'outil MATLAB/ **SimPowerSystem**. Le bloc schématique de SIMULINK est montré sur la Figure (1.10).

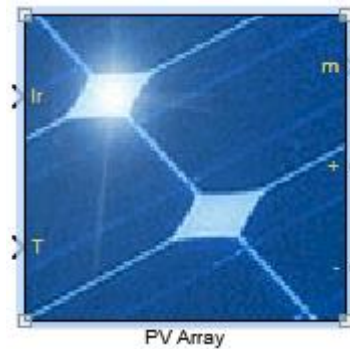


Figure. I.10 : Schéma de simulation d'un module photovoltaïque

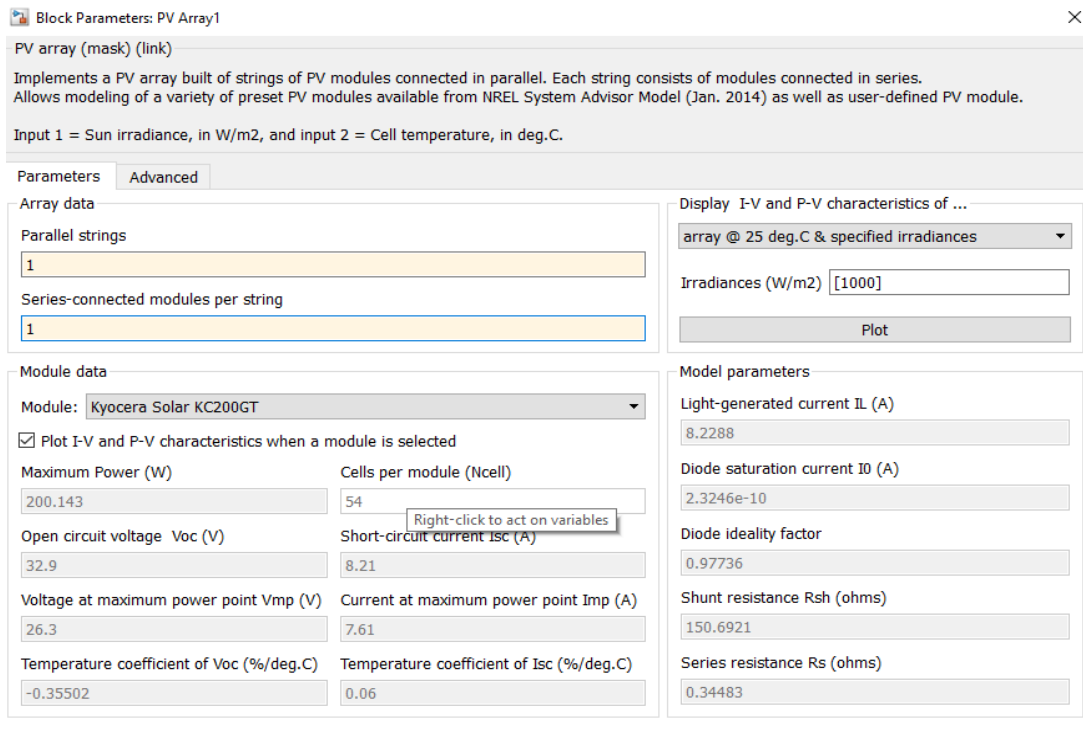


Figure. I.11 : Paramètres du bloc Générateur photovoltaïque .

Tableaux I.1: Caractéristiques électriques du module PV KC200GT en condition de test standard [18].

<b>Nombre de cellule en série par panneau (Ns)</b>	54
<b>Puissance maximale (P_max)</b>	200.143 W
<b>Courant de court-circuit (I_cc)</b>	8.21 A
<b>Tension de circuit ouvert (v_co)</b>	32.9 V
<b>Courant au point de MPP (I_op)</b>	7.61 A
<b>Tension au point de MPP (v_op)</b>	26.3 V

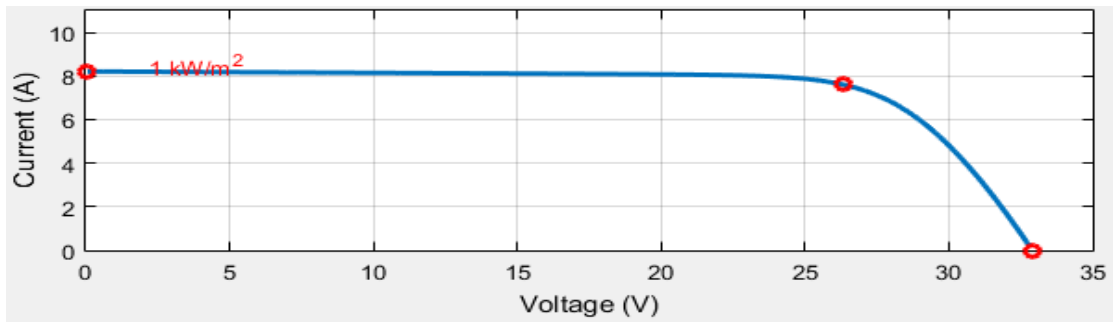


Figure. I.12 : Caractéristique I-V d'un module PV.

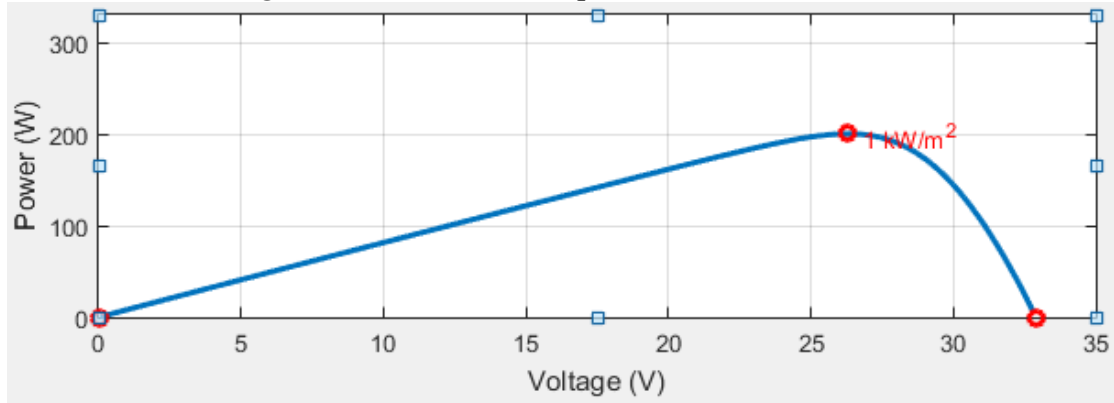


Figure. I.13 : Caractéristique P-V d'un module PV.

### I.13 . Constitution d'un générateur photovoltaïque (GPV) :

L'association de plusieurs modules photovoltaïques en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque. Si les cellules se connectent en série, les tensions de chaque cellule s'additionnent, augmentant la tension totale du générateur. D'une autre part, si les cellules se connectent en parallèle , c'est l'ampérage qui augmentera comme représentés sur les figures suivantes [15-17].

#### I.13.1. Association De module Photovoltaïques En Série :

lorsqu'on associe des cellules en série Figure (I.14) , la tension s'ajoute et le même courant les traverse.

$$I_{sc} = I_{cc} \quad (I.10)$$

**Et**

$$V_{cs} = N_s . V_c \quad (I.11)$$

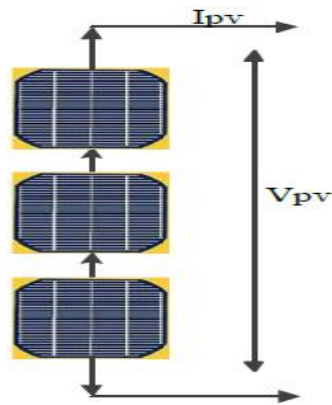


Figure. I.14 : Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en série.

### I.13.2. Association de Cellules Photovoltaïques en Parallèle :

lorsqu'on les associe en parallèle Figure (I.15) , le courant résultant correspond à l'addition des courants générés par chaque cellule

$$I_{pcc} = N_p \times I_{cc} \quad (I.12)$$

Et

$$V_{pco} = V_{co} \quad (I.13)$$

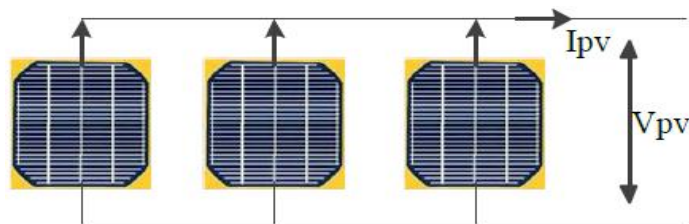


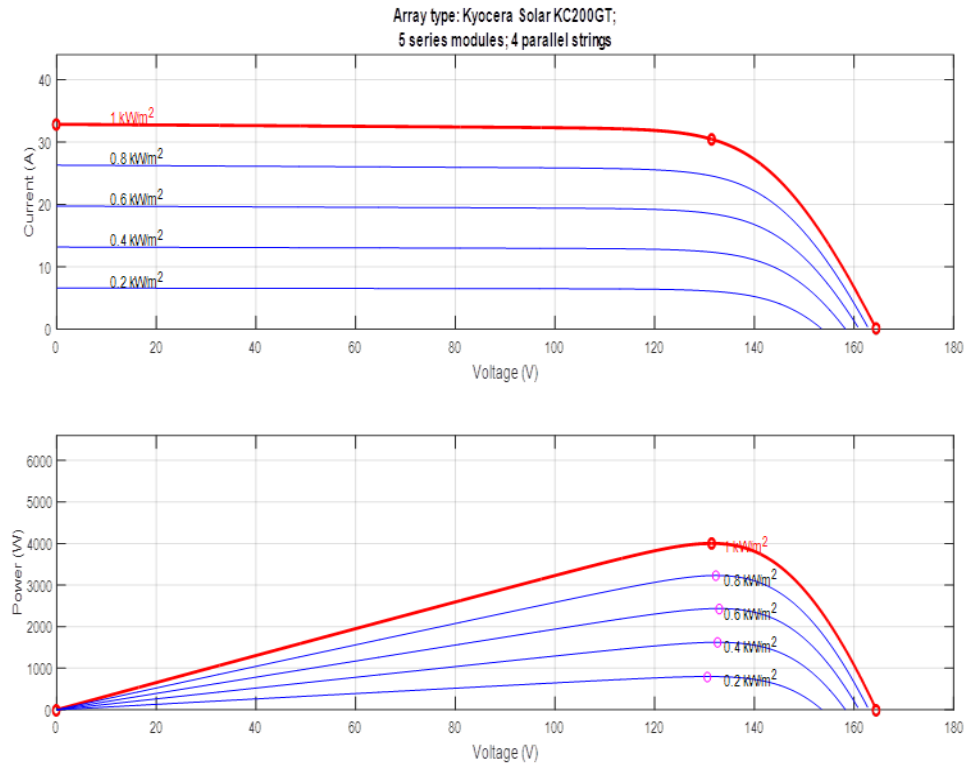
Figure. I.15 : Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en parallèle.

Pour augmenter la puissance de sortie, les modules PV sont associés dans le panneau. Dans cette structure, les modules peuvent être connectés en série, en parallèle ou les deux, dans notre cas (NS=5, NP=4).

Pour visualiser l'influence de l'éclairement, on fixe la température ambiante ( $T = 25^\circ\text{C}$ ) et on fait varier l'éclairement dans une gamme suffisante.

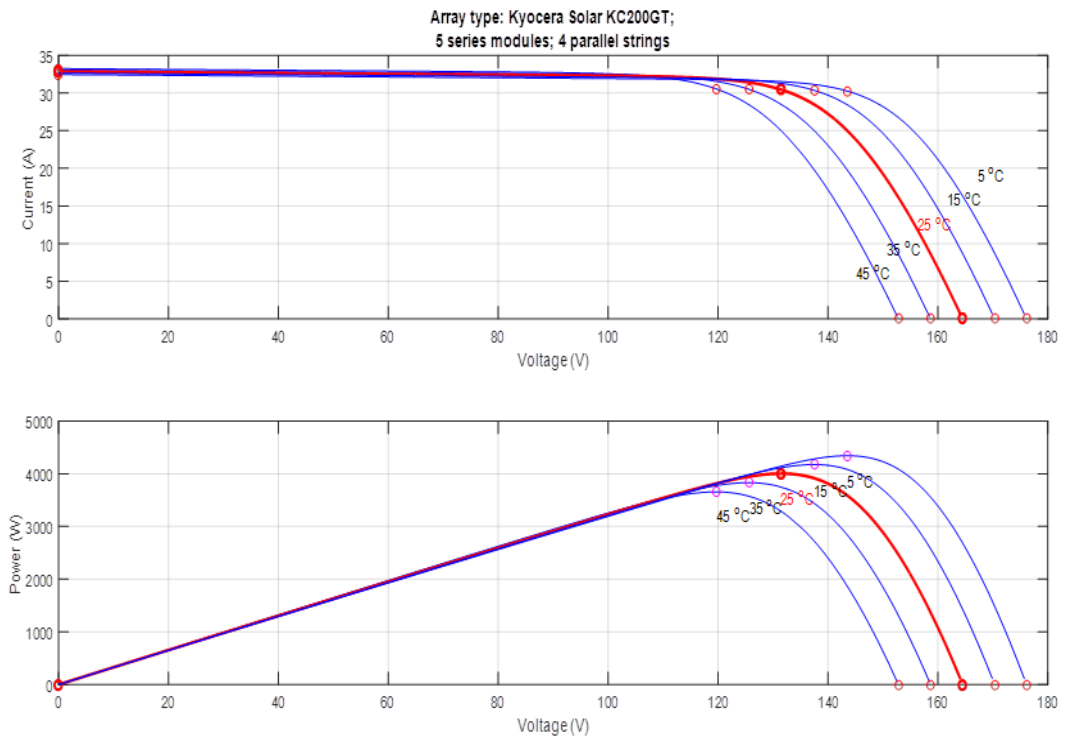
D'après la figure (2.6), on remarque une forte diminution du courant de court-circuit par rapport à l'éclairement (E) et une faible diminution de la tension du circuit ouvert.

C'est qui prouve que le courant de court-circuit de la cellule dépend au éclairement, par contre la tension de circuit ouvert subit une légère augmentation quand l'éclairement varie de 200 W/m<sup>2</sup> a 1000 W/m<sup>2</sup>.



**Figure I.16:** Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents éclairement et une température T=25°C.

On remarque aussi sur la figure (2.6) que, l'éclairement influe proportionnellement sur la puissance et la tension du circuit ouvert du GPV.



**Figure I.17 :** Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents température et un éclairement  $E=1000 \text{ W/m}^2$ .

On constate d’après la figure (2.7) que l’effet de l’augmentation de la température fait diminuer la tension du circuit ouvert du GPV, contrairement au courant de court-circuit qui reste constant.

Le modèle choisi a donné des résultats concordant avec ceux obtenus la littérature et reflète bien le comportement physique d’une cellule (PV) vis-à-vis des variations de la température et de l’éclairement, ce qui valide le modèle utilisé.

#### 2.4. Simulation d’hacheur boost :

Pour montrer le rôle des convertisseurs boost nous avons utilisé logiciel Matlab pour la simulation et nous prenons ( $E=100\text{V}$ ,  $L= 1\text{e-}3 \text{ H}$ ,  $R=200$ ,  $D=\text{variable}$ ).

La figure 2.8. Résultat de simulation d'un convertisseur DC-DC :

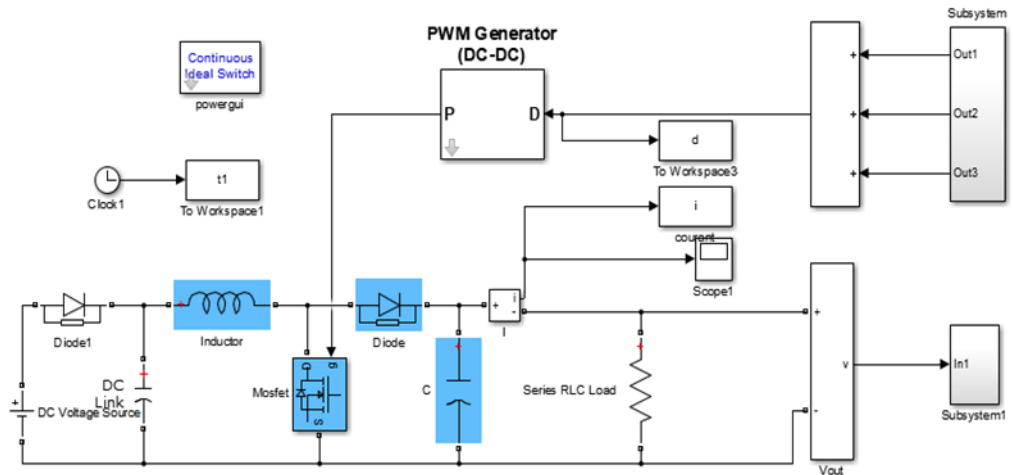


Figure. I.18 : Schéma bloc d'un convertisseur DC-DC.

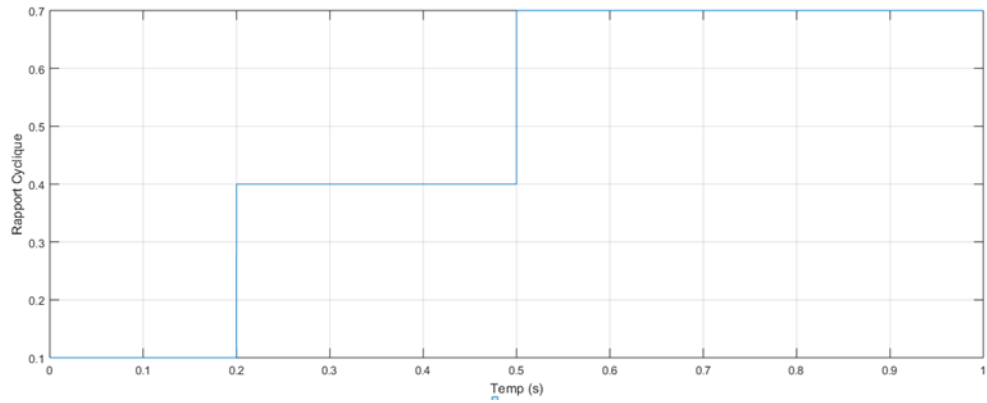


Figure. I.19 : rapport cyclique d'un convertisseur DC-DC.

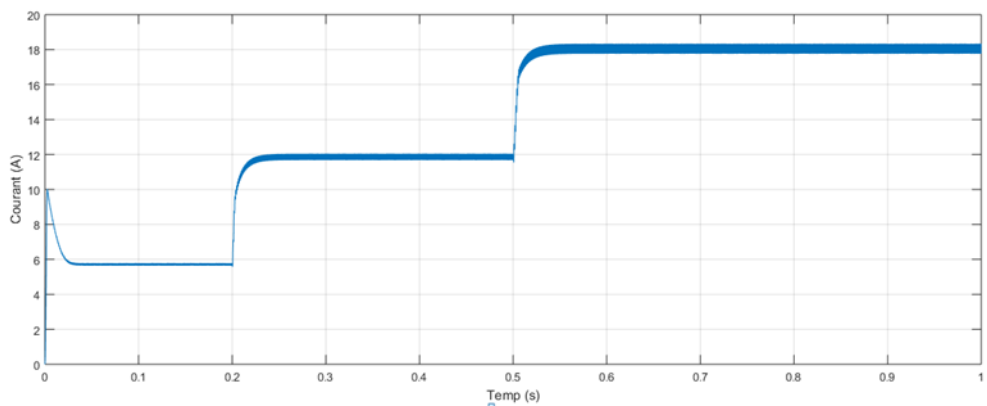
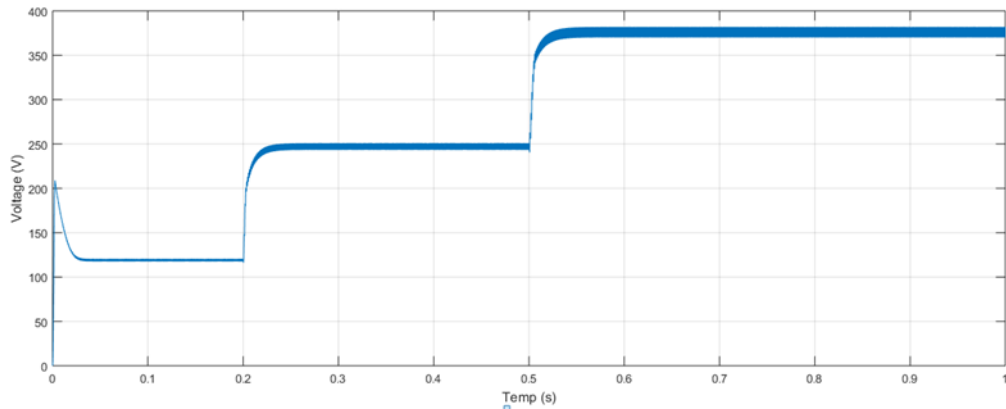


Figure I.20 : courant sorte d'un convertisseur DC-DC.



**Figure I.21 :** tension de sortie d'un convertisseur DC-DC.

Les figures (2.11 et 2.12) représentent des résultats de simulation de convertisseurs boost par une variation paramétrique de rapport cyclique comme le montre la Figure (2.9).

Où l'on remarque une légère oscillation au décollage d'environ 0,01 seconde pour revenir à sa valeur et se fixer à une certaine valeur. Il montre également la relation directe entre les changements du rapport cyclique, car son augmentation s'accompagne d'une augmentation du niveau de courant et de tension qui sort.

Donc les résultats du hacheur boost effectué correctement sans rôle puisque la tension de sortie d'hacheur boost est supérieure à celle l'entrée.

#### 1.14. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur les systèmes photovoltaïques comme la cellule solaire, le module photovoltaïque et le panneau solaire.

Nous avons expliqué le fonctionnement de la cellule photovoltaïque ainsi que ces types. Ensuite nous avons présenté la structure des panneaux photovoltaïques plus les différents types de systèmes photovoltaïques. La simulation du convertisseurs statiques DC/DC réalisée pour que la commande MPPT.

**Chapitre II :**

**Poursuite du point de puissance  
maximale**

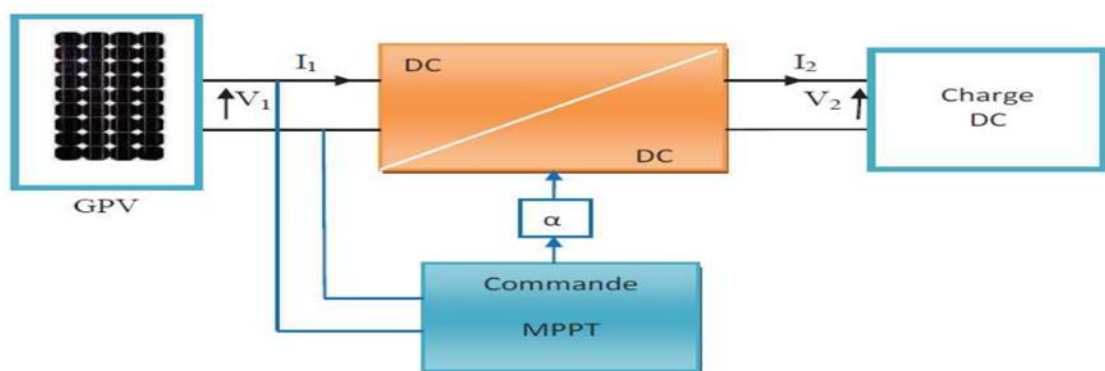
## II.1. Introduction:

Ce chapitre se concentre sur l'étude de la "Poursuite du point de puissance maximale" (MPPT) dans les systèmes photovoltaïques. Le MPPT est une technique cruciale pour optimiser la production d'énergie solaire en ajustant en temps réel les paramètres de fonctionnement du générateur photovoltaïque afin de maintenir un fonctionnement proche de son point de puissance maximale, malgré les variations des conditions d'éclairage et de charge.

Dans cette section, nous examinons le principe fondamental du MPPT, ainsi que la structure et la simulation de la commande numérique "Perturb and Observe" (P&O), l'une des méthodes de MPPT les plus couramment utilisées. Nous présentons également les résultats de simulations réalisées pour évaluer l'efficacité de cette méthode dans différents scénarios.

En nous appuyant sur des références clés telles que [16-26], nous renforçons notre analyse et fournissons une base solide à nos conclusions. L'objectif principal de cette étude est d'améliorer les performances des systèmes photovoltaïques en garantissant un suivi précis du point de puissance maximale, ce qui permet une utilisation plus efficace de l'énergie solaire et une augmentation du rendement des installations solaires connectées au réseau.

En évaluant les performances du MPPT dans différentes conditions de fonctionnement et avec différentes charges, nous pourrions identifier les avantages, les limitations et les possibilités d'amélioration de cette technique. Ces résultats orienteront la conception et l'implémentation de systèmes photovoltaïques plus performants, contribuant ainsi à une utilisation plus efficace de l'énergie solaire disponible.



*Figure. II.1 : Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque.*

## **II.2. Classification MPPT pour les systèmes photovoltaïques:**

La classification des techniques MPPT pour les systèmes photovoltaïques se base sur leur capacité à suivre le point de puissance maximale (MPP) en fonction des conditions environnementales changeantes. Différentes techniques sont utilisées pour extraire la puissance maximale des modules solaires, et elles sont classées en fonction de leur nature de suivi dans les convertisseurs photovoltaïques.

Les techniques classiques de MPPT incluent l'incrémentation de la conductance (InC), la tension fractionnelle en circuit ouvert (FOCV), le courant fractionnaire en court-circuit (FSCC), l'escalade de pente (HC), la perturbation et l'observation (P&O), la taille variable de pas (P&O), la tension constante (CV), la tension de référence adaptative (ARV), le contrôle de chute de tension du condensateur DC, le contrôle de corrélation des ondulations (RCC), la méthode de recherche de table de référence, le MPPT basé sur la linéarisation et l'algorithme de recherche en ligne du MPP. Ces techniques sont faciles à mettre en œuvre en raison de leur complexité algorithmique réduite. Elles sont très efficaces dans des conditions d'irradiation uniforme où le module photovoltaïque génère un seul point de puissance maximale global (GMPP). Cependant, ces algorithmes présentent des oscillations rapides autour du MPP, entraînant une perte de puissance. De plus, toutes ces stratégies classiques négligent l'effet des conditions spécifiques du système photovoltaïque, ce qui empêche le suivi précis du véritable MPP[6-7, 19-21].

Les techniques basées sur l'intelligence comprennent le contrôle logique flou (FLC), les réseaux de neurones artificiels (ANN), le contrôle par mode glissant (SMC), le MPPT basé sur la série de Fibonacci et le MPPT basé sur l'approche Gauss-Newton. Ces techniques sont destinées aux conditions météorologiques dynamiques et changent avec une précision élevée. Leurs efficacités de suivi, ainsi que leurs vitesses de suivi, sont très élevées. Cependant, ces méthodes sont confrontées à une complexité élevée du circuit de commande et à un traitement de données important pour la formation préalable du système. Le contrôle logique flou est une technique remarquable qui ne nécessite pas de connaissance du système pour l'implémentation du MPPT. Les réseaux de neurones artificiels sont plus rapides dans le suivi, mais nécessitent une grande quantité de données pour améliorer la précision du suivi. Ils utilisent l'irradiation dynamique et la température comme entrées et les stockent sous forme d'ensembles de données. Le contrôle par mode glissant est une technologie avancée dont l'implémentation est plus facile et qui offre des vitesses de suivi plus élevées. Les méthodes basées sur la série de Fibonacci et l'approche Gauss-Newton émergent rapidement en raison

de leur intelligence dans le suivi du MPP en mettant à jour instantanément la plage de recherche.

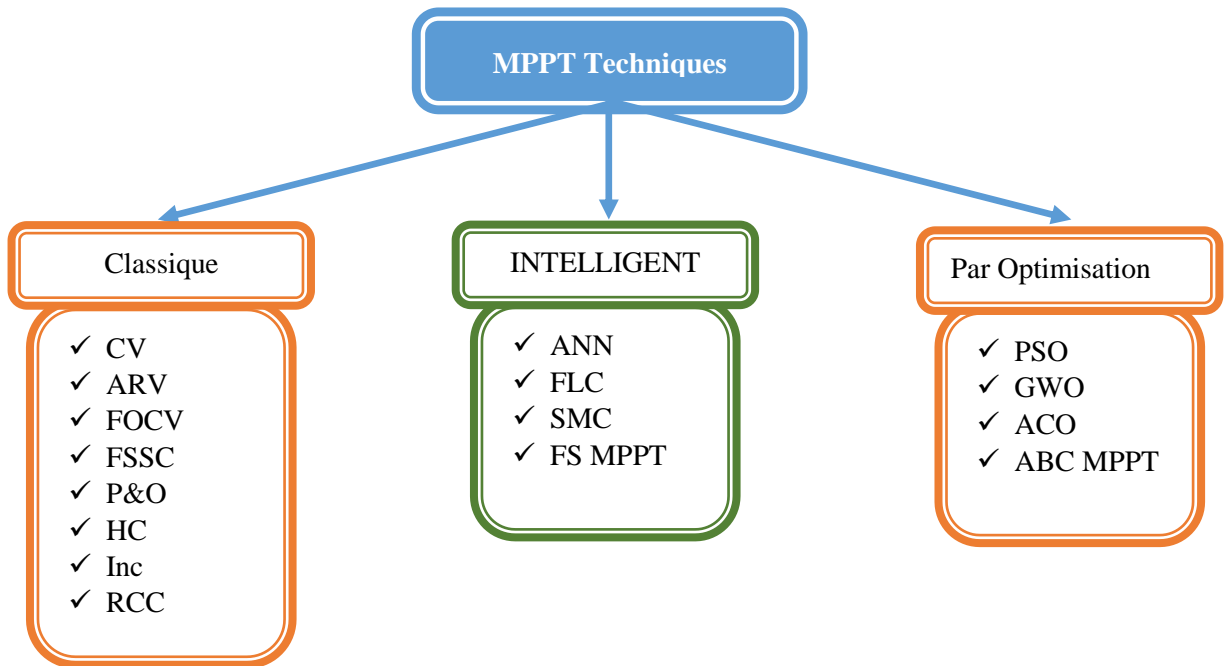
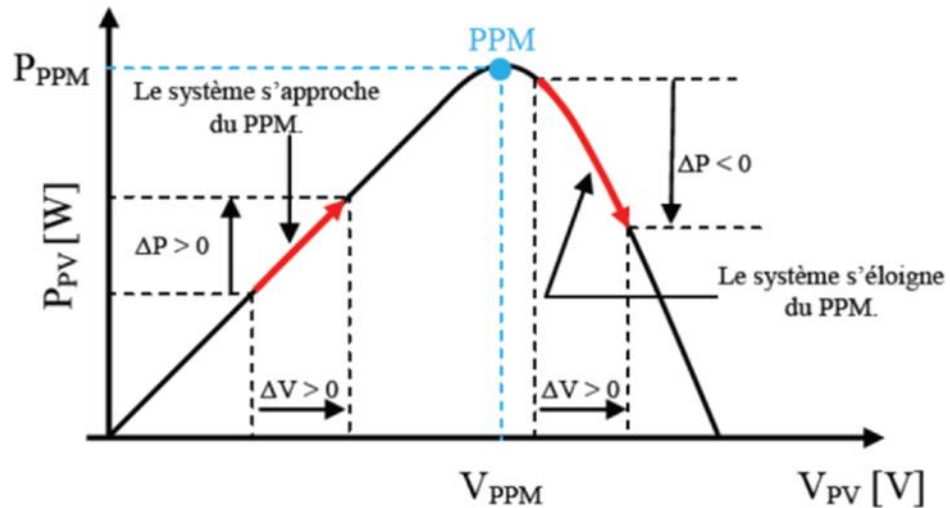


Figure. II.2 : Classification de base des techniques de MPPT

### II.3. Principe du MPPT :

C'est la méthode la plus utilisée du fait de sa simplicité : une boucle de retour et peu de mesures sont nécessaires. La tension aux bornes des panneaux est volontairement perturbée (augmentée ou diminuée) puis la puissance est comparée à celle obtenue avant perturbation. Précisément, si la puissance aux bornes du panneau est augmentée du fait de la perturbation, la perturbation suivante est faite dans la même direction. Réciproquement, si la puissance diminue, la nouvelle perturbation est réalisée dans le sens opposé

Comme son nom l'indique, la méthode P&O fonctionne avec la perturbation de la tension  $V_{pv}$  et l'observation de l'impact de ce changement sur la puissance de sortie du générateur PV.



**Figure 2.2 :** caractéristique  $P_{pv}$  ( $V_{pv}$ ) d'un panneau solaire.

## II.4. Structure et simulation de la commande MPPT numérique « P&O » :

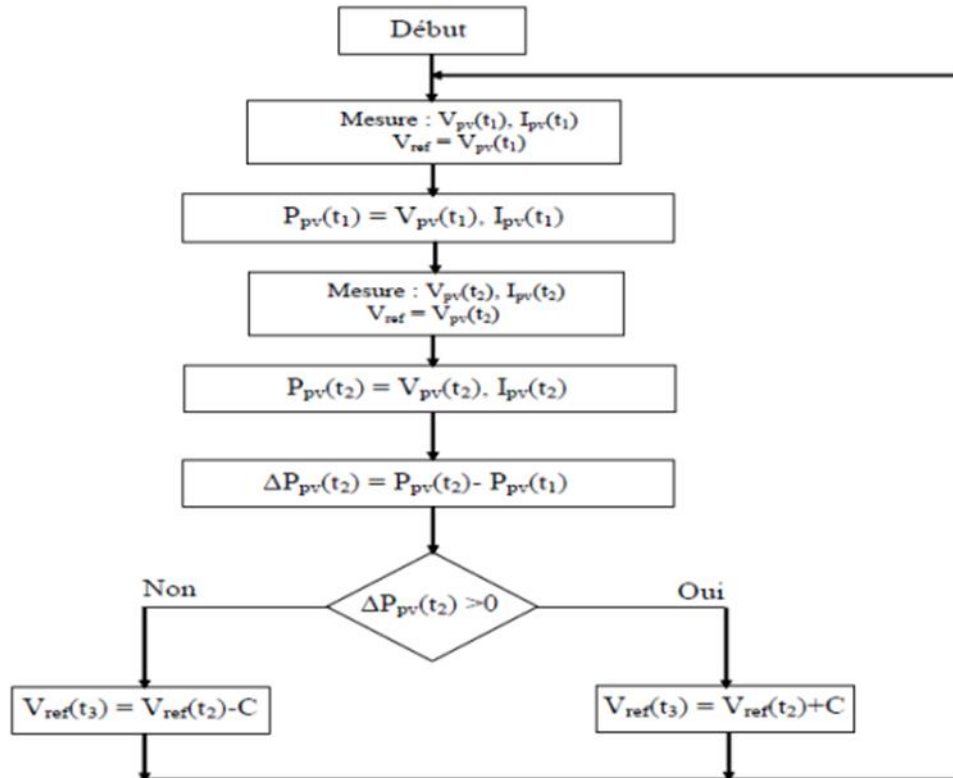
### II.4.1 Structure de la commande « perturbation et observation » :

La méthode de perturbation et d'observation « P/O » est une approche largement répandue dans la recherche du MPPT parce qu'elle est simple et exige seulement des mesures de tension et du courant du panneau photovoltaïque  $V_{ref}$  et  $I_{ref}$  respectivement. Elle peut déduire le point de puissance maximale même lors des variations de l'éclairement et la température.

C'est l'algorithme de poursuite du point de puissance maximale (MPPT) le plus utilisé, et comme son nom l'indique il est basé sur la perturbation du système par l'augmentation ou la diminution de  $V_{ref}$  ou en agissant directement sur le rapport cyclique du convertisseur DC-DC, puis l'observation de l'effet sur la puissance de sortie en vue d'une éventuelle correction de ce rapport cyclique [22-24].

L'avantage de cette méthode c'est qu'elle a la particularité d'avoir une structure de régulation simple, et peu de paramètre de mesure. Elle peut déduire le point de puissance maximale même lors des variations de l'éclairement et la température, pour toutes ces raisons, la méthode P&O est devenue une approche largement répandue dans la recherche du MPPT [25-26].

La figure (2.13) montre l'organigramme de l'algorithme de P&O et le modèle de Simulink est donné par la figure (2.14).



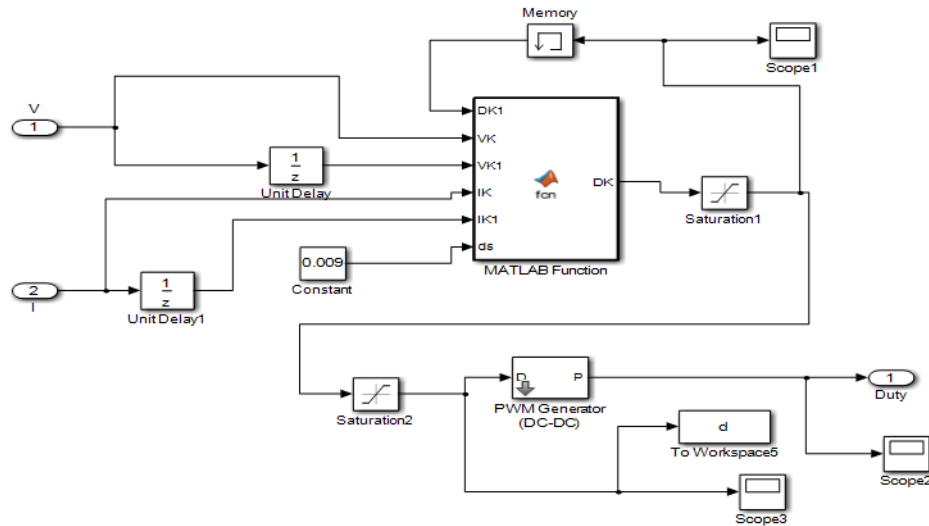
**Figure 2.3 :** Organigramme de l’algorithme Perturbation et Observation (P&O).

Comme son nom l’indique, la méthode P&O fonctionne avec la perturbation de la tension  $V_{pv}$  et l’observation de l’impact de ce changement sur la puissance de sortie du générateur PV.

#### II.4.2 Simulation de la méthode MPPT :

Nous avons réalisé le modèle de simulation de l’algorithme P&O avec PWM.

La figure (2.14) illustre le bloc schématique de SIMULINK de la commande de poursuite MPPT :



**Figure 2. 4 :** Schéma de simulation de l’algorithme de perturbation et de l’observation (P et O).

### II.4.3 Bloc du système avec MPPT :

Le bloc du système avec MPPT est représenté dans la Figure (2.15) du schéma SIMULINK. Il montre le générateur photovoltaïque et la commande de poursuite du point de puissance maximale (MPP). Dans cette simulation, nous avons utilisé le convertisseur DC/DC boost en utilisant les outils SimPower de MATLAB Simulink. Ce bloc permet d'optimiser le fonctionnement du système photovoltaïque en maximisant la puissance produite par les modules solaires. La commande de poursuite du MPP ajuste en temps réel les paramètres du convertisseur pour suivre les variations des conditions environnementales et garantir le fonctionnement au point de puissance maximale. Cela permet d'optimiser l'efficacité globale du système et de maximiser la production d'énergie solaire. La simulation dans Simulink nous permet de visualiser les performances du système avec la commande MPPT et d'évaluer son efficacité dans différentes conditions de fonctionnement.

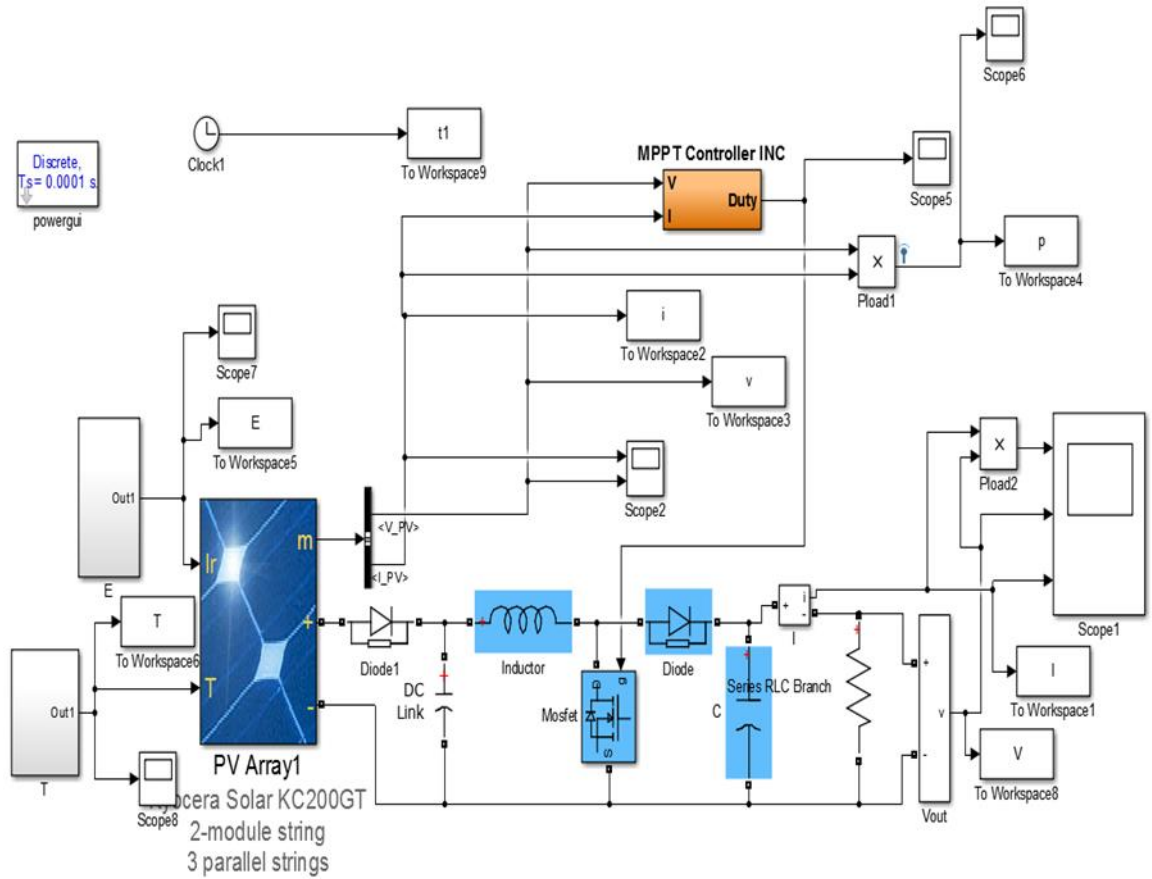


Figure 2. 5 : schématique de SIMULINK du générateur photovoltaïque avec MPPT.

#### II.4.4 Bloc du système avec MPPT :

Résultats de simulation :

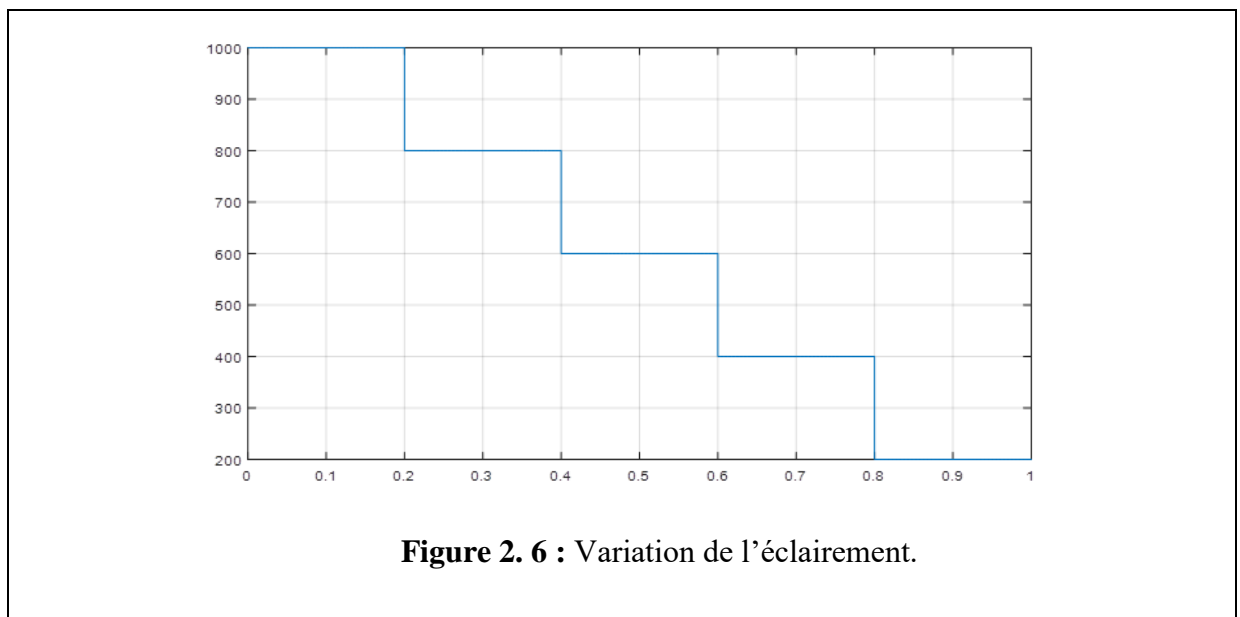


Figure 2. 6 : Variation de l'éclairage.

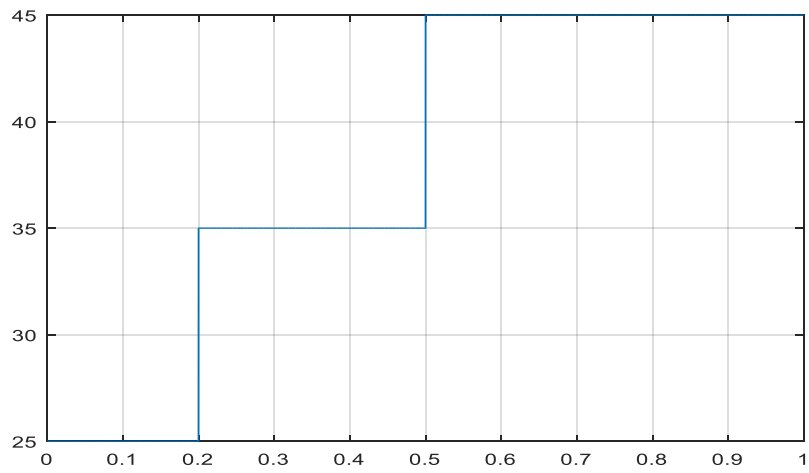


Figure 2. 7: Variation de la température

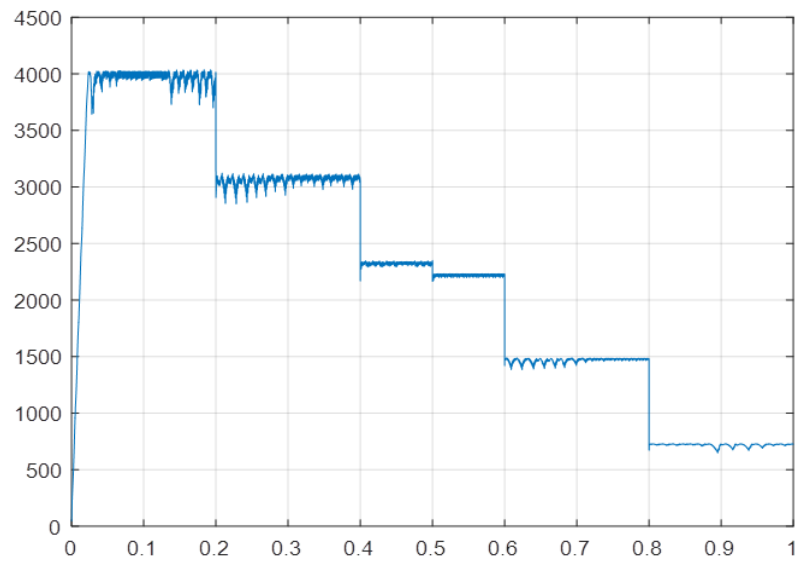


Figure 2. 8 : Résultats de simulation des courbes de puissance

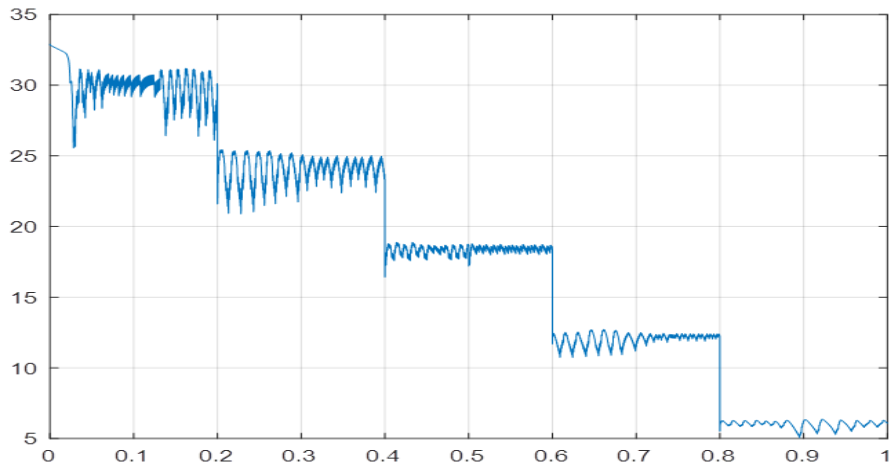


Figure 2.9 : Résultats de simulation du courant.

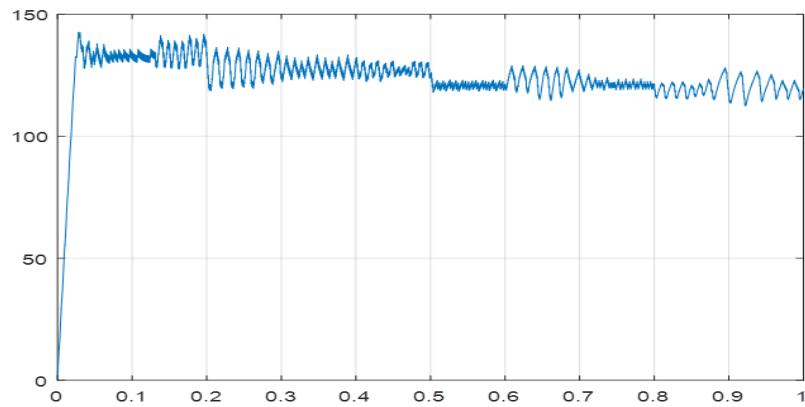


Figure 2.10 : Résultats de simulation des courbes de tension de PV.

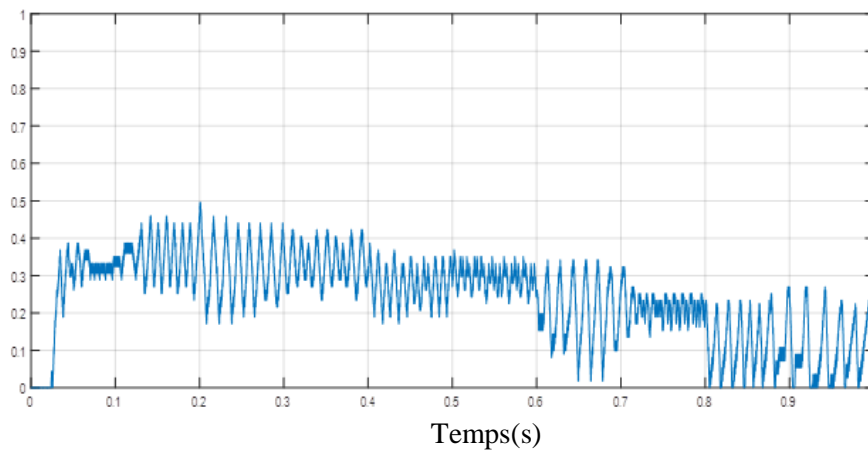


Figure 2.21 : Résultats de simulation rapport cyclique (d).

Dans le cadre de cette étude, différentes simulations ont été effectuées sous l'environnement Matlab/Simulink afin d'analyser l'impact des variations des conditions météorologiques (température et irradiation) sur l'obtention de la puissance maximale des panneaux photovoltaïques. Les résultats de simulation ont permis de constater que le contrôleur MPPT utilisant la méthode P&O présente de meilleures performances, comme le montrent les figures précédentes. En effet, on observe des oscillations réduites en régime permanent ainsi qu'un temps de réponse plus rapide.

La Figure 2.6 représente la variation de l'éclairement, tandis que la Figure 2.7 montre la variation de la température. Les Figures 2.8, 2.9 et 2.10 présentent les résultats de simulation des courbes de puissance, du courant et des courbes de tension du panneau photovoltaïque respectivement. Enfin, la Figure 2.21 illustre les résultats de simulation du rapport cyclique.

Ces résultats confirment l'efficacité de la méthode P&O en termes d'optimisation de la puissance maximale des panneaux photovoltaïques. Ils mettent en évidence la capacité du contrôleur MPPT à réagir rapidement aux variations des conditions météorologiques, ce qui permet de maximiser la production d'énergie solaire.

## **6. Conclusion :**

Le chapitre aborde la poursuite du point de puissance maximale (MPPT) dans les systèmes photovoltaïques appliqués au système de pompage avec un moteur asynchrone alimenté par un système photovoltaïque. Il présente le principe fondamental du MPPT et propose une structure et une simulation de la commande MPPT numérique basée sur la méthode "Perturb and Observe" (P&O). Les résultats de simulation démontrent l'efficacité du contrôleur MPPT P&O en termes de régulation précise du point de puissance maximale, permettant ainsi d'optimiser les performances du système de pompage. Cette étude contribue à l'amélioration des performances des systèmes de pompage utilisant l'énergie solaire.

## **Chapitre III :**

# **Moteur asynchrone alimenté par une source photovoltaïque connecté au réseau**

### **III.1. Introduction :**

Le présent chapitre se concentre sur les différents aspects des systèmes de pompage photovoltaïque (3.1), la modélisation du moteur asynchrone triphasé (3.2) et le modèle de la pompe. Il aborde également l'utilisation du convertisseur continu-alternatif (DC-AC) dans ces systèmes. En outre, les résultats des simulations de la MAS (Moteur Asynchrone Triphasé) alimentée par un système photovoltaïque sont présentés. Pour soutenir les informations fournies, les références [09], [16], [22], [37], [18], et [19], sont utilisées. Ces références comprennent des travaux de recherche, des thèses et des mémoires qui fournissent des connaissances approfondies dans le domaine de l'énergie photovoltaïque et des systèmes de pompage. L'étude comparative de la conversion d'énergie dans une petite éolienne [14], la modélisation et la simulation des systèmes photovoltaïques avec une commande MPPT [15], et la modélisation et la commande des chaînes de pompage photovoltaïques [16] sont quelques-unes des références pertinentes qui seront utilisées pour étayer les résultats et les discussions de ce chapitre.

### **III.2. Les systèmes de pompage photovoltaïque :**

Beaucoup de populations dans les zones rurales des pays en voie de développement affrontent de grands problèmes dus au déficit en eau. Ces problèmes sont spécialement accentués dans les zones désertiques. Le déficit en eau dans les zones arides est une question vitale pour les populations. L'amélioration des conditions de vie dans ces zones est liée à la recherche des solutions adéquates à ce problème. Le pompage photovoltaïque (PV) représente la solution idéale pour l'approvisionnement en eau partout où le réseau électrique est absent. [9]

Actuellement, deux systèmes de pompage photovoltaïque sont utilisés, avec et sans batteries. La technologie sans batteries a quelques inconvénients, son principal défaut est d'avoir un débit d'eau qui dépend de l'ensoleillement au cours de la journée. Nous allons faire une étude avec l'ajout de batteries dans le système de pompage photovoltaïque.

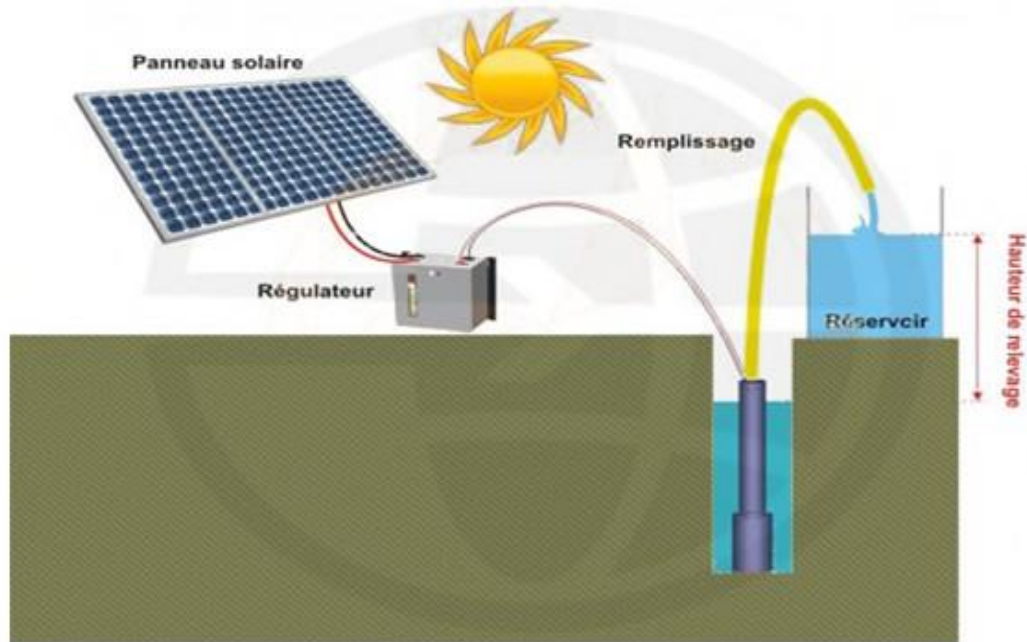


Figure III.1: Les systèmes de pompage photovoltaïque .

Trois architectures s'imposent parmi le système pompage à énergies renouvelables

➤ **systèmes de pompage photovoltaïque autonome**

le système de pompage solaire est autonome; il est adapté à l'électrification dans les zones ni raccordées, ni raccordables au réseau électrique;

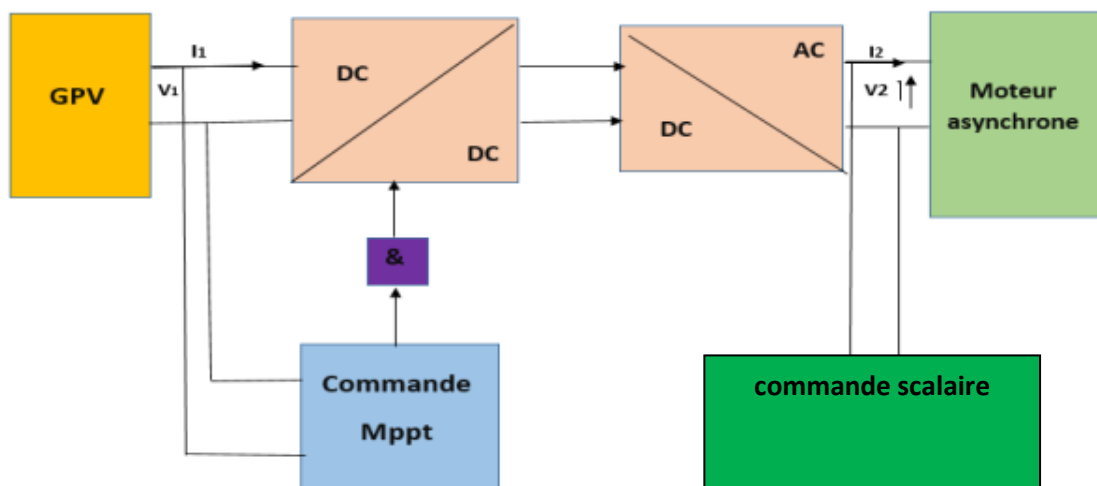


Figure. III.2: systèmes de pompage photovoltaïque autonome

➤ **l'intégration du réseau électrique avec générateur photovoltaïque est réalisé avec un convertisseur DC-DC**

Le système est capable d'ajuster le flux de puissance selon les besoins. Et le générateur photovoltaïque est connecté au bus CC avec un convertisseur de puissance pour fournir une tension de bus CC constante, La figure suivante représente le système.

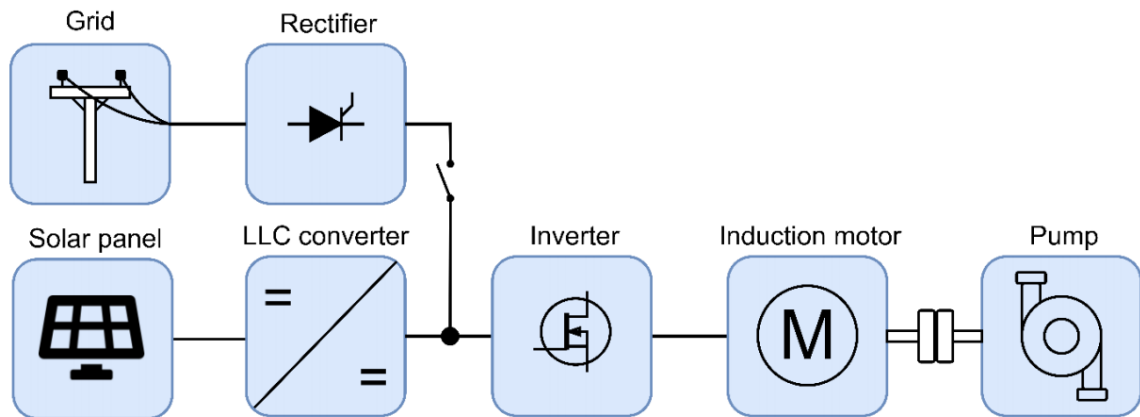


Figure. III.3 Panneaux solaires connectés en parallèle avec moteur à induction

- -l'intégration du réseau électrique avec générateur photovoltaïque est réalisé avec un convertisseur DC-AC

Le moteur à induction alimentée à partir du PV. Si la puissance pas suffisamment alimentation de le moteur peut être fournie a partir du réseau électrique. Si la puissance de système PV abondant ,la puissance peut être injectée dans le réseau électrique.

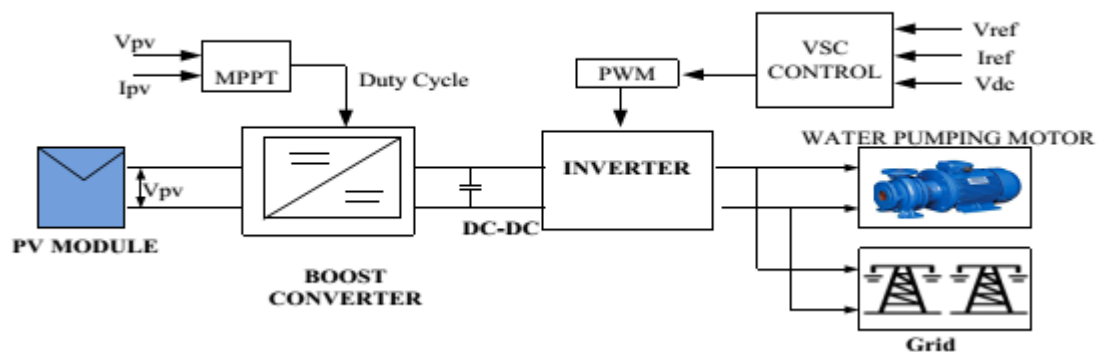


Figure. III. 4 Le générateur photovoltaïque connecté au réseau et alimentes une moteur à induction

### III.3. Modélisation du moteur asynchrone triphasée:

Dans ce chapitre nous présentons une modélisation de la machine asynchrone. Le moteur asynchrone à cage d'écureuil se présente sous la forme d'un carter qui renferme le circuit avec des fentes pour recevoir le stator. Le stator multi phase (généralement triphasé) est enroulé dans un fil de cuivre isolé. Au sein de ce circuit magnétique, la montre ressemble à un

cylindre creux, séparé par un entrefer, du circuit magnétique tournant, ce dernier recevant dans ses fentes des tiges d'aluminium ou de cuivre du boîtier tournant de la montre torsadées à chaque extrémité même article. Circuit magnétique installé dans les brides, la partie mobile est à travers l'arbre en appui sur la boîte de roulement [22].

**Hypothèses simplificatrices**

- -L'entrefer constant et L'effet d'encoche négligé
- -Circuit magnétique non saturé et à perméabilité constante
- -Pertes ferromagnétiques négligeables
- -L'influence de l'effet de peau et de l'échauffement sur les caractéristiques n'est pas prise en compte
- -Distribution spatiale sinusoïdale des forces magnétomotrices d'entrefer

**Les équations électriques :**

$$\begin{cases} U_{s\alpha} = i_{s\alpha} \cdot r_s + \frac{d\Phi_{s\alpha}}{dt} \\ U_{s\beta} = i_{s\beta} \cdot r_s + \frac{d\Phi_{s\beta}}{dt} \\ 0 = i_{s\alpha} \cdot r_r + \frac{d\Phi_{r\alpha}}{dt} + \Phi_{r\beta} \cdot \omega_r \\ 0 = i_{s\beta} \cdot r_r + \frac{d\Phi_{r\beta}}{dt} - \Phi_{r\alpha} \cdot \omega_r \end{cases} \quad (3-1)$$

**Les équations des flux**

$$\begin{cases} \Phi_{\alpha s} = L_s i_{\alpha s} + M i_{\alpha r} \\ \Phi_{\beta s} = L_s i_{\beta s} + M i_{\beta r} \\ \Phi_{\alpha r} = L_r i_{\alpha r} + M i_{\alpha s} \\ \Phi_{\beta r} = L_r i_{\beta r} + M i_{\beta s} \end{cases} \quad (3-2)$$

**L'équation de couple électromagnétique:**

$$C_e = \frac{3}{2} PM (i_{r\alpha} i_{s\beta} - i_{s\alpha} i_{r\beta})$$

**L'équation mécanique :**

$$C_e - C_r = \sum j \cdot \frac{d\Omega}{dt} + f \cdot \Omega \quad (3.3)$$

Où c'est le couple électromagnétique, Cr le couple résistant imposé par la charge,  $\sum j$  le moment d'inertie total (machine + charge entraînée) et f le frottement proportionnel à la vitesse de rotation.

L'alimentation à fréquence variable de la machines asynchrone se fait à l'aide d'un convertisseur statique généralement continu-alternatif (fig. 2-1). La source d'entrée peut être du type source de courant ou du type source de tension. en sortie du convertisseur, on contrôle l'amplitude des tensions ou des courants statoriques ainsi que leur fréquence  $f_s$

Pour modéliser l'onduleur de tension, Fig. 2.2, on considère son alimentation comme une source parfait, suppose être constituée de deux générateurs de F.E.M égale à  $E/2$  connectés entre eux par un point note  $n_0$ .

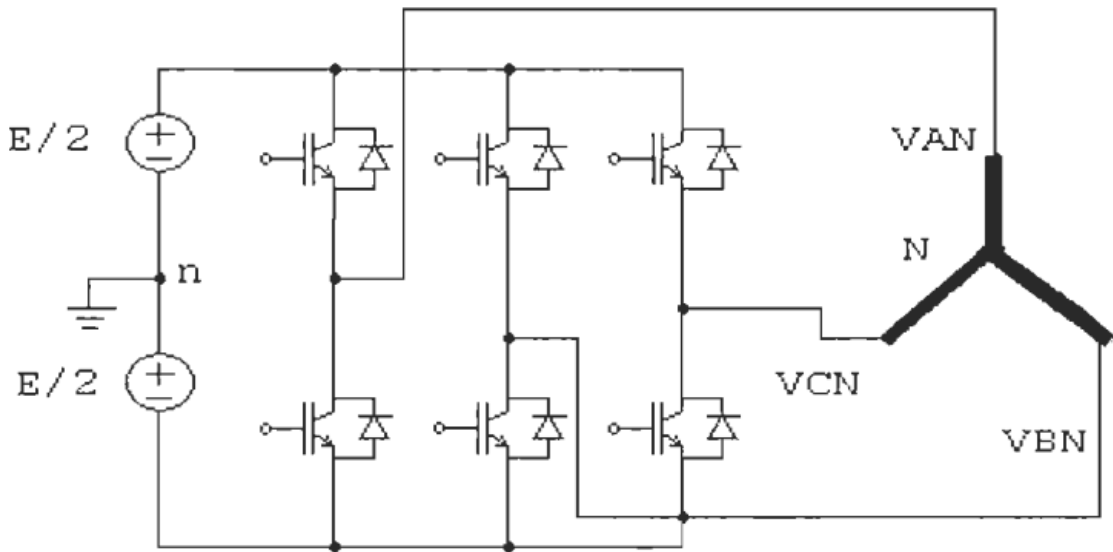


Figure III.5 Schéma de l'onduleur triphasé à deux niveaux.

La machine a été modélisée à partir des tensions simples que nous notons  $v_{an}$ ,  $v_{bn}$  et  $v_{cn}$

L'onduleur est commandé à partir des grandeurs logiques  $S_i$ . on appelle  $T_i$  et  $T_i'$  si  $s_i = 1$ , alors  $T_i$  est passant et  $T_i'$  est ouvert, les tensions composées sont obtenues à partir des sorties de l'onduleur:

Les tensions composées sont

$$\begin{cases} U_{ab} = U_{a0} - U_{b0} \\ U_{bc} = U_{b0} - U_{c0} \\ U_{ca} = U_{c0} - U_{a0} \end{cases} \quad (3-4)$$

$n$  : l'indice de point neutre

$$\begin{cases} U_{a0} = U_{an} + U_{n0} \\ U_{b0} = U_{bn} + U_{n0} \\ U_{c0} = U_{cn} + U_{n0} \end{cases} \quad (3-5)$$

$$V_{a0} + V_{b0} + V_{c0} = U_{an} + U_{bn} + U_{cn} + 3U_{n0}$$

$$\text{La charge est équilibrée donc : } U_{an} + U_{bn} + U_{cn} = 0 \quad (3-6)$$

$$U_{n0} = \frac{1}{3}(U_{a0} + U_{b0} + U_{c0}) \quad (3-7)$$

en remplaçant (3-5) dans (3-7) on obtient :

$$\begin{cases} U_{a0} = U_{an} + \frac{1}{3}(U_{a0} + U_{b0} + U_{c0}) \\ U_{b0} = U_{bn} + \frac{1}{3}(U_{a0} + U_{b0} + U_{c0}) \\ U_{c0} = U_{cn} + \frac{1}{3}(U_{a0} + U_{b0} + U_{c0}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_{an} = \frac{1}{3}(2U_{a0} - U_{b0} - U_{c0}) \\ U_{bn} = \frac{1}{3}(-U_{a0} + 2U_{b0} - U_{c0}) \\ U_{cn} = \frac{1}{3}(-U_{a0} - U_{b0} + 2U_{c0}) \end{cases} \quad (3-8)$$

L'état des interrupteurs supposés parfaits on a donc:

$$\begin{cases} V_{a0} = S_a * E \\ V_{b0} = S_b * E \\ V_{c0} = S_c * E \end{cases} \quad (3-9)$$

On peut écrire l'équation (3.8) sous la forme matricielle

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot E \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (3-10)$$

### III.4. Modèle de la pompe :

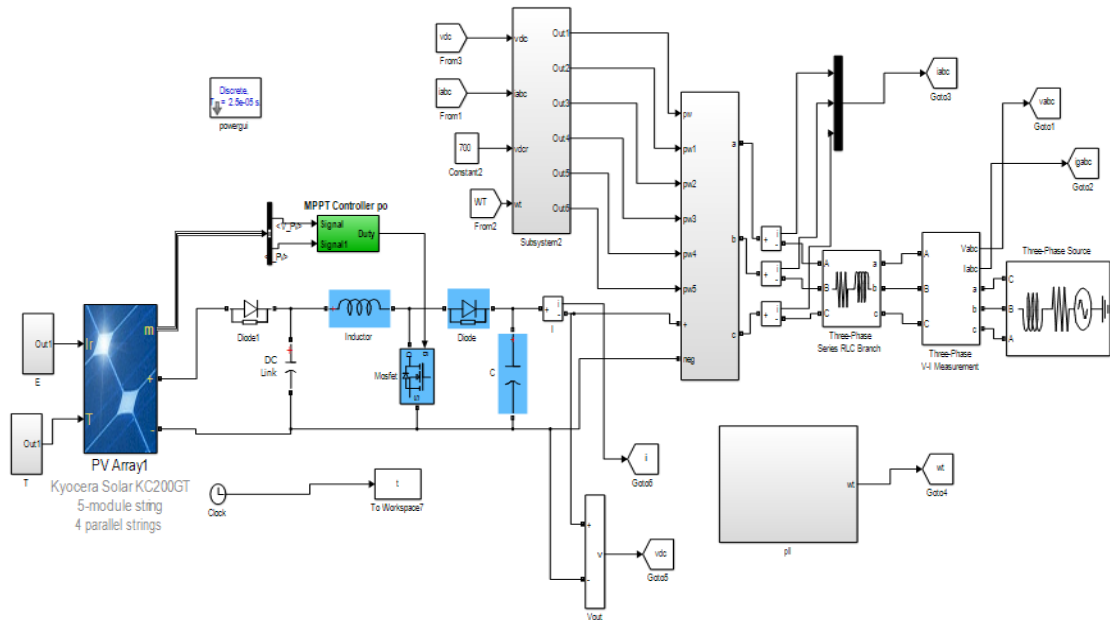
La pompe est un élément essentiel des systèmes de pompage. Dans notre travail on a utilisé une pompe centrifuge. Son couple de résistance  $C_r$  est donné par l'équation suivante :

$$C_r = k \cdot \omega m^2 \quad (3.10)$$

Où  $k$  est le coefficient de proportionnalité (Nms<sup>2</sup> / rad<sup>2</sup>).

### III.5. Système photovoltaïque connecté au réseau proposé :

Le système que nous proposons pour l'étude et la simulation est schématisé par la Figure (3.4), Le modèle se compose d'un générateur PV, 5 modules en série et 4 modules en parallèle.



**Figure III.6 :** Schéma de simulation d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique.

**- La charge :**

Nous avons choisi une charge équilibrée (RL) sur le côté (AC) Alternatif.

**- Modélisation de l'interface réseaux :**

Les charges sont les éléments consommateurs de puissance électrique dans un système. La consommation de cette puissance électrique dépend des caractéristiques de la charge. Une modélisation correcte de ces caractéristiques est indispensable pour représenter finement le comportement de la charge. La Figure (3.5) nous montre le modèle de la charge connectée à l'onduleur de tension : [37]

Il représente le réseau électrique de distribution publique d'amplitude  $V = 380 \text{ V}$  et de fréquence  $f = 50 \text{ Hz}$

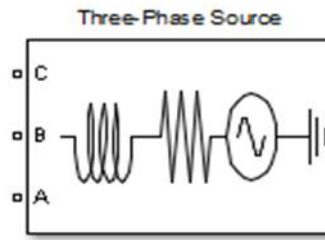


Figure III.7 Schéma de réseau électrique.

**- Convertisseur continu-Alternatif (DC-AC)**

Dans le cas de la commande MLI on fait varier l'état de l'interrupteur à une cadence qui ne dépend pas de la manière dont évoluent les grandeurs relatives aux systèmes interconnectés par le convertisseur électronique de puissance, cette cadence étant fixée essentiellement en fonction de la vitesse de commutation de l'interrupteur. Sous forme numérique ce type de commande est réalisé en fixant à l'aide de « timers » les intervalles de conduction des différents interrupteurs sur chaque période où chaque demi-période de modulation, comme le montre la figure suivante. [16]

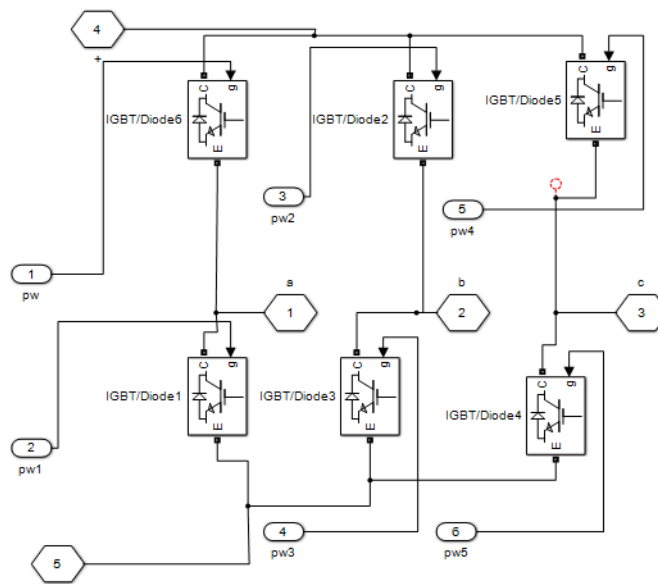


Figure III.8 Schéma de L'onduleur.

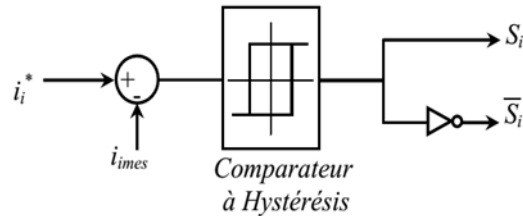
**- Commande par Hystérésis du L'onduleur de Tension**

On applique la stratégie de commande par hystérésis sur l'onduleur, avec un régulateur classique (PI) de la tension du bus continu.

**- Contrôle du courant :**

Le contrôle du courant (Current Control) est recommandé dans toutes les applications centrées autour d'un onduleur de tension, parce qu'il assure d'une part une bonne protection et stabilité, d'autre part une réponse rapide du système [18]. De plus, il autorise le contrôle de la forme d'onde du courant durant une période du réseau ; ce qui permet la compensation des perturbations dues aux transitoires de la charge, aux non linéarités et aux retards de commutation. En effet, des stratégies de commande sont appliquées pour obtenir une modulation rapide de la tension à l'entrée/sortie du convertisseur tel que les techniques MLI. Aussi, le contrôle du courant est indispensable dans certaines applications comme le redressement et le filtrage actif, où le courant doit être piloté instantanément pour imposer des puissances active et réactive données, pour minimiser les courants harmoniques et améliorer le facteur de puissance du système [19].

Le contrôle du courant par hystérésis (Hysteresis Current Control : HCC) consiste à maintenir le courant dans une bande enveloppant sa référence. Chaque violation de cette bande donne un ordre de commutation aux interrupteurs. La figure 3.7 illustre le principe de contrôle du courant par hystérésis à bande fixe à deux niveaux. La différence entre le courant de référence et celui mesuré est appliquée à l'entrée d'un comparateur à hystérésis dont la sortie fournit l'ordre de commande du bras correspondant du pont [14].



**Figure III.9** Principe de contrôle du courant par hystérésis.

Les trois courants à l'entrée du pont sont contrôlés à l'aide de trois comparateurs à hystérésis à bande fixe. L'ensemble des trois sorties de ces comparateurs détermine les ordres de commande des interrupteurs constituant le pont. En effet, la détermination des instants de commutation suit la logique suivante :

$$\begin{cases} i_i^* - i_i = \frac{\Delta I}{2} \Rightarrow S_i = 0 \\ i_i^* - i_i = -\frac{\Delta I}{2} \Rightarrow S_i = 1 \end{cases} \quad i = a, b, c \quad (3.11)$$

**- Boucle de régulation de la tension du bus continu**

Le rôle de la boucle de régulation de la tension du bus continu est de maintenir cette tension à une valeur de référence constante, La régulation de cette tension s'effectue par ajustement de l'amplitude des références des courants prélevés pour contrôler le transit de puissance active entre le réseau et le bus continu.

#### - Boucle (PLL)

Les techniques de PLL ont été utilisées pour synchroniser les convertisseurs raccordés au réseau électrique. Un PLL idéal peut fournir l'information rapide de synchronisation avec un niveau élevé d'immunité aux perturbations, aux harmoniques, aux déséquilibres et aux distorsions dans le signal d'entrée

#### -Filtre :

Le filtre élimine les harmoniques de découpage presque parfaitement et son comportement est quasiment idéal lorsqu'on travaille à vide (courant de sortie nul) et avec des signaux de fréquences voisines de la fréquence fondamentale.

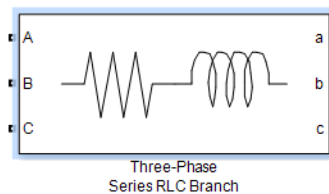


Figure III.10 : Le schéma block d'un filtre RL sur Matlab -Simulink.

### III.6 Configuration de Modèle proposé

Dans le système hybride présenté à la Figure. 3.11 la puissance fournie par chaque source est centralisée sur un bus continu. Ainsi, les générateurs fournissant du courant alternatif L'onduleur doit fournir les charges alternatives du bus DC et doit suivre le point de consigne de l'amplitude et de la fréquence.

Les avantages de cette structure sont :

Un système de commande plus simple.

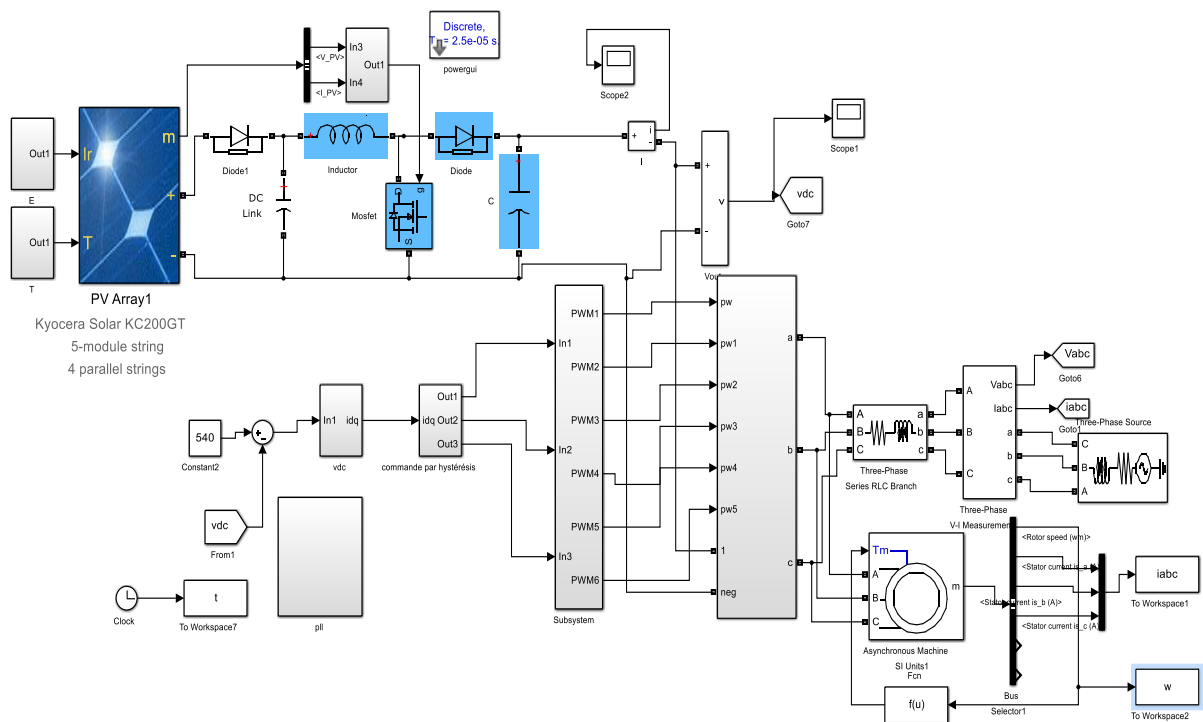
Grâce à l'onduleur, la charge peut être alimentée avec une tension et une fréquence adéquates.

La demande de charge est satisfaite sans interruption.

Les inconvénients sont :

Le rendement de l'ensemble du système est relativement faible.

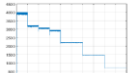
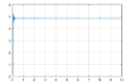
L'onduleur ne peut pas travailler en parallèle avec machine asynchrone. C'est pourquoi il doit être dimensionné de manière à ce qu'il puisse couvrir les pics de demande de la charge.

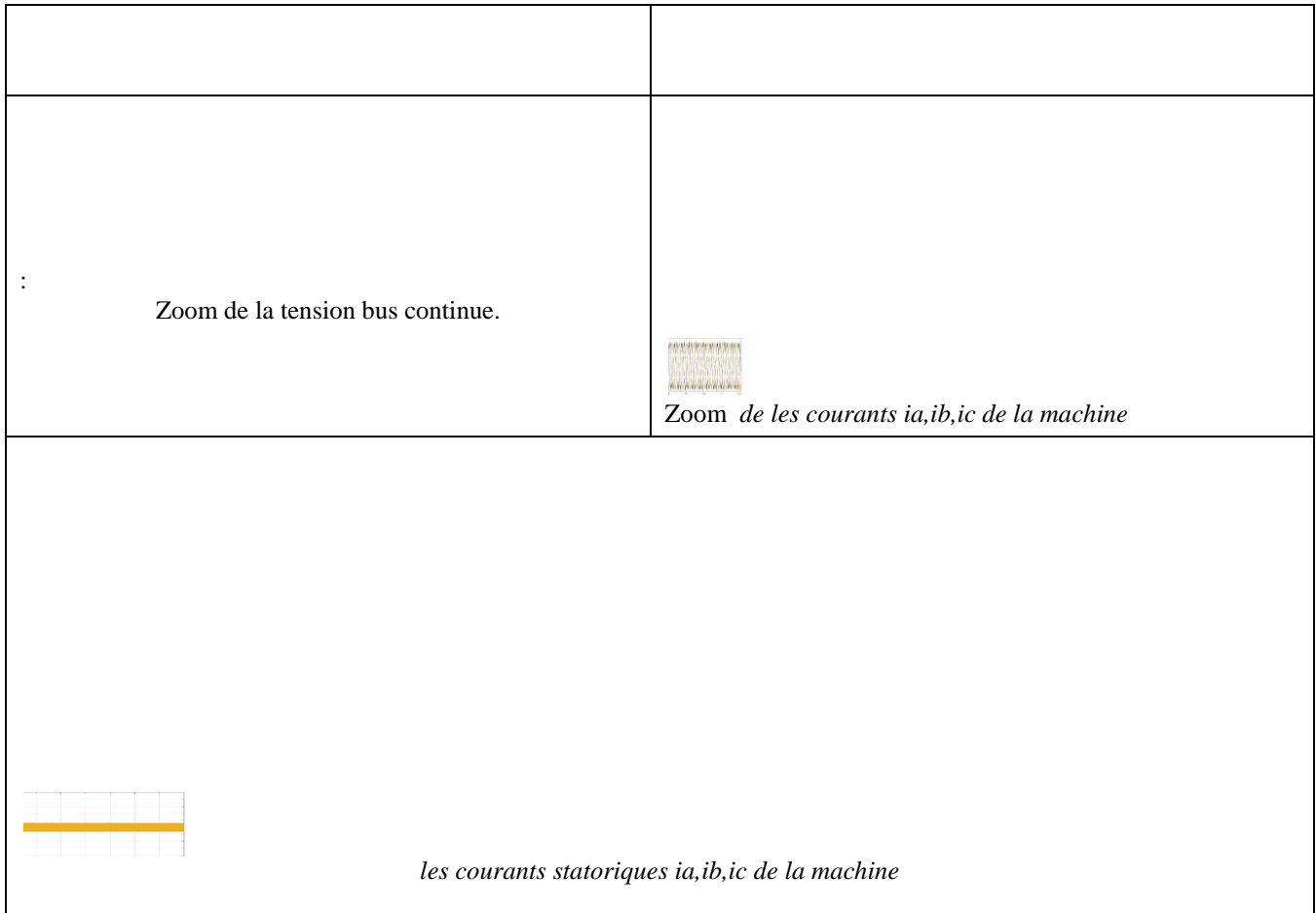


**Figure. III.11:** Conception de la simulation du système PV connexion au réseau électrique et pompage d'eau photovoltaïque sur l'environnement MATLAB Simulink.

### III.7 Les résultats de simulation de de la MAS alimenté par une système photovoltaïque:

La figure 3.13 illustre le schéma synoptique du système photovoltaïque global avec les différentes commandes utilisées. Le modèle SIMULINK représente le groupement du générateur photovoltaïque, la commande MPPT, le hacheur survolteur, l'onduleur MLI, et le moteur à induction. Le modèle est simulé à différents éclairément et différents température , avec la tension de bus continué constante .

<p><i>Variation de la température.</i></p>	<p><i>Variation d'éclairement</i></p>
<p> Puissance de PV</p>	<p><i>courant de PV.</i></p>
<p><i>Tension de PV</i></p>	<p> Couple électromagnétique</p>
<p>la tension bus continue.</p>	<p>Vitesse de rotation rad/sec</p>



**Figure III.12 résultats de simulation de système de pompage d'eau photovoltaïque**

Les résultats de simulations sont montrés par les figures suivantes

- **Interprétation :**

La variation de l'éclairement en fonction du temps n'affecte pas directement la vitesse du moteur, qui dépend plutôt de la tension optimale fournie. Cependant, cette variation d'éclairement peut avoir un impact sur les performances de la pompe, en influençant la hauteur et le débit.

Lorsque la température dépasse la valeur optimale, on observe une diminution de la puissance et de la tension du panneau photovoltaïque. Néanmoins, les valeurs de la tension de bus continu et de la vitesse du moteur restent stables et se maintiennent à des niveaux acceptables. Par conséquent, nous pouvons conclure que l'approche présentée garantit un bon fonctionnement du système de pompage PV.

Il est à noter que pour de faibles valeurs d'éclairement et des températures élevées, les points de fonctionnement s'éloignent de la puissance optimale. Malgré cela, le système continue à fonctionner correctement, et le moteur opère en mode normal.

Il est intéressant de souligner que la combinaison de modules photovoltaïques fournissant une tension élevée permet d'augmenter la vitesse de rotation de l'ensemble moteur-pompe. Cela se traduit par une augmentation du couple et de la quantité d'eau pompée.

La puissance fournie par les panneaux photovoltaïques dépend de l'irradiance solaire et de la température ambiante. Dans les cas où l'irradiance est faible et que la puissance fournie par le PV est insuffisante, il est possible de basculer le système de pompage vers l'alimentation électrique du réseau si nécessaire.

### **III.7. CONCLUSION :**

Dans ce chapitre, on a présenté un système de pompage d'eau photovoltaïque à base de moteur induction, couplé au réseau électrique. Le système consiste à utiliser une méthode de perturbation et observation à taille de pas variable pour ajuster le rapport cyclique. L'efficacité du système proposé a été étudiée dans différentes conditions de fonctionnement. Pour plus de précision, les résultats obtenus sont satisfaisants.

# **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

Notre travail a porté sur la modélisation et la commande d'un système de pompage photovoltaïque couplé au réseau. Le système proposé se compose : d'un générateur photovoltaïque commandé par un algorithme MPPT pour obtenir le point de puissance maximale, un convertisseur statique et un groupe motopompe. Le convertisseur est un onduleur triphasé qui sert à convertir le courant continu en courant alternatif pour alimenter le groupe motopompe (moteur asynchrone, pompe centrifuge).

Le travail présenté dans ce mémoire concerne les systèmes PV couplés au réseau électrique. Qui se compose essentiellement d'un générateur photovoltaïque (GPV), convertisseur (DC/DC boost), commande (MPPT), un onduleur triphasé commandé par hystérésis, et un réseau triphasé.

On a simulé ce système sous Matlab/Simulink, on a pris en compte l'influence de variation des conditions climatiques (éclairage et température variable) sur le MPPT où la puissance de fonctionnement du système est maximale.

Le schéma de commande contrôle la tension continue de système PV par un onduleur triphasé à deux niveaux connectés au réseau. La commande fournit une bonne dynamique. La réponse est particulièrement excellente et stable. La tension continue est ajustée aussi vite que possible.

Et le schéma proposé contribue à réduire la DC capacitance et améliorer la fiabilité du système ainsi que les performances MPPT.

Ce travail vise à réaliser une configuration simple et à moindre coût d'un système de pompage d'eau photovoltaïque (PV) à l'aide d'un moteur à induction. Le système PV proposé est composé de deux étages de convertisseurs dont le premier assure le point de puissance maximum en contrôlant le rapport cyclique perturbé et observer (P&O). Une commande par hystérésis proposée pour servir l'objectif de la connexion au réseau électrique. Et de faire fonctionner un moteur à induction. De plus, le schéma de contrôle proposé est modélisé et simulé en détail sous le logiciel MATLAB/Simulink pour évaluer ses performances sous des variations rapides d'éclairage et de la température. Les résultats de la simulation indiquent que la technique proposée a obtenu les meilleurs résultats en termes de temps de réponse ; pompé l'eau, les ondulations des courants de stator sont réduits.

# **Références**

## **Bibliographiques**

## Références bibliographiques

- [1] A. Betka, A. Moussi and B. Azoui, ‘Optimum design of photovoltaic pumping system’, UPEC99, Leicester UK, 1999.
- [2] M. Errouha, A. Derouich, S. Motahhir, and O. Zamzoum, “Optimal control of induction motor for photovoltaic water pumping system,” *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*, vol. 5, no. 1, 2020.
- [3] Soni, Y. P., Paliwal, P., & Kirar, M. (2019, April). Control and Coordination of grid connected PV Fed Induction Motor. In *Proceedings of the International Conference on Advances in Electronics, Electrical & Computational Intelligence (ICAEEC)*.
- [4] M. Zolfaghari, S. H. Hosseinian, H. Fathi, M. Abedi, and G. B. Gharehpetian, “A new power management scheme for parallel-connected pv systems in microgrids,” *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, Early Access, 2018.
- [5] A. Anurag, N. Deshmukh, A. Maguluri, and S. Anand, “Integrated dc/dc converter based grid-connected transformerless photovoltaic inverter with extended input voltage range,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2017.
- [6] L. Medkhel, et all , “Experimental study of temperature effects on the photovoltaic solar panels performances in Algerian desert,” *International Journal of Energetica (IJECA)*, Volume 7. Issue 1. 2022.
- [7] F Khelaifa, et all , “ Partial shading conditions for photovoltaic system using artificial neural networks technique,,” *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)* , Volume 10. Issue 5. 2022.
- [8] A, Labouret. M, Viloz. « Energie solaire photovoltaïque » le manuel du professionnel. 3eme édition Dunod, 2006
- [9] Djarallah, Mohamed, "CONTRIBUTION A L'ETUDE DES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES RESIDENTIELS COUPLES AU RESEAU ELECTRIQUE," UNIVERSITE DE BATNA Thèse de Doctorat en Science, 2008.
- [10] B. Mohammed, "Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque autonome," Centre Universitaire De Bechar Mémoire de Magister, 2007-2008.
- [11] G. MedYacine, D. belkacem, D. akram, « modélisation et commande d'un système PV connecte au réseau électrique utilisant DSTATCOM. », Mémoire Master, Université KasdiMerbah Ouargla, 2020
- [12] C. Alonso, « Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie », Mémoire pour l'habilitation à diriger les recherches, Université Paul Sabatier – Toulouse III, 12 Décembre 2003.
- [13] K. Ouabdelkader, H. Mersl, « Modélisation et Contrôle d'un Système Photovoltaïque Connecté au Réseau », Mémoire Master en Electrotechnique, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2015.
- [14] Abbassen L., « Etude de la connexion au réseau électrique d'un centrale photovoltaïque », Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2011.

- [15] S. Bellakehal, « Conception et commande des machines amants à permanents dédiées aux énergies renouvelables », Thèse doctorat, Université de Constantine ,2010.
- [16] A. MIRICKI « Etude comparative de chaîne de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance » thèse de doctorat de l'institut national de polytechnique de Toulouse France, 2005.
- [17] W. Bensaci'' Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une Commande MPPT '' Mémoire de Master Université Kasdi Merbah-Ouargla 2011/2012.
- [18] A. Meflah '' Modélisation et commande d'une chaine de pompage photovoltaïque Mémoire de Magister UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEM 2011.
- [19] Ratnakar Babu Bollipo et all,“ Critical Review on PV MPPT Techniques:Classical, Intelligent and Optimisation,” IET Renewable Power Generation, 2020, Vol. 14 Iss. 9, pp. 1433-1452.
- [20] S. Mohammed Boughazala, et all. ,“A Novel Control Technique Based on Multi-Objective Intelligent Routing Algorithms for Optimum Performances of 12/8 Switched Reluctance Motor,” International Journal on Energy Conversion (I.R.E.CON.), Vol 10, No 1 2022.
- [21] M. Zine et all,“ Coupled Indirect Torque Control and Maximum Power Point Tracking Technique for Optimal Performance of 12/8 Switched Reluctance Generator-Based Wind Turbines ,”
- [22] B N Yannick, "Modélisation des injections de puissance d'un système PV sur un Réseau public," Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'environnement,
- [23] [https : linfo-solaire. frlblog/culture-renouvelable/ systeme-photovo Itaique-classique-raccorde-au-reseau.html](https://linfo-solaire.fr/blog/culture-renouvelable/systeme-photovoItaique-classique-raccorde-au-reseau.html)
- [24] Tkouti N, "Optimisation des Systèmes Photovoltaïques Connectés au Réseau par la Logique Floue," Université Mohamed Khider-Biskra, 2004
- [25] F. Bouchtouche cherfa « Etude et réalisation d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau de distribution électrique BT ». Mémoire de magister, Ecole National Polytechnique Elharach, 2004.
- [26] Y. Pankow, « Etude de l'intégration de la production décentralisé dans un réseau basse tension ». Thèse de doctorat de l'école National supérieure d'Art et Métiers, décembre 2004

# **Les Annexes**

**Tableau 1:** Les paramètres du convertisseur électrique Boost sont donnés par le tableau suivant

c	Nom	Valeur
$L_i$	Inductance du convertisseur	4 mH
$C_i$	Capacité d'entrée	4700 uF
$C_o$	Capacité de sortie	470 UF
R	Resistance de charge	200Ω

(NS=5, NP=4).

Tableau 2: Paramètres du moteur à induction

**Tableau 2:** Paramètres de la machine asynchrone

Puissance nominale	1.5KW
Tension nominale	220V
Rendement nominal	0.78
Facteur de puissance nominal	0.8
Fréquence nominale	50 Hz
Courant nominal	6.31A
Résistance statorique	4.85 Ω
Résistance rotorique	3.805 Ω
Inductance cyclique statorique	0.274H
Inductance cyclique rotorique	0.274H
Inductance mutuelle	0.258H
Nombre de paires de pôles	2
Moment d'inertie	0.031 Kg/m <sup>2</sup>
Coefficient de frottement	0.008N.m.s/rad

## **Résumé**

L'objectif de ce travail est l'évaluation de la performance d'un générateur photovoltaïque connecté au réseau et raccordement avec un moteur asynchrone pour pompage d'eau sous différentes conditions climatiques (température et irradiation). Les variations météorologiques, provoque de perturbation du pompage de l'eau. Une solution possible consiste à utiliser un réseau électrique comme source supplémentaire. La puissance fournie par le réseau au cas où le générateur photovoltaïque ne serait pas en répondre à la demande de puissance requise.

Le système proposé permet à un consommateur d'obtenir une quantité d'eau nominale quelle que soit la durée ou les conditions climatiques.

Les résultats des simulations et des tests justifient l'adéquation du système dans différentes conditions de fonctionnement.

## **Mots de clés:**

Générateur photovoltaïque, convertisseurs DC-DC, MPPT ,onduleur,PLL, système de pompage. Machine asynchrone - Pompage d'eau.

## **Abstract:**

The objective of this work is the evaluation of the performance of a photovoltaic generator connected to the network and connection with an asynchronous motor for pumping water under different climatic conditions (temperature and irradiation). The recurrence of PV power outage causes the disturbance in water pumping. One possible solution is to use a utility grid as a backup source. The power is delivered by the grid in case the PV array is unable to meet the required power demand. The proposed system enables a consumer to get a rated quantity of water regardless of duration or the climatic condition.

Simulated and test results justify the suitability of the system under different operating conditions.

**Key Words**—PV array, MPPT ,Power Quality, , Boost Converter , inverter, PLL , Induction Motor (IM), Water Pumping.

## **الملخص**

هدف هذا العمل هو تقييم أداء موآد الطاقة الشمسية المتصل بالشبكة والمتصل بمحرك غير متزامن لضخ الماء تحت ظروف مناخية مختلفة (درجة الحرارة والإشعاع). تكرار انقطاع الطاقة الشمسية يسبب اضطراباً في ضخ الماء. إحدى الحلول الممكنة هي استخدام شبكة الكهرباء كمصدر احتياطي. يتم توفير الطاقة من قبل الشبكة في حالة عدم قدرة مجموعة الطاقة الشمسية على تلبية الطلب المطلوب من الطاقة. يمكن للنظام المقترح أن يمكن المستهلك من الحصول على كمية محددة من الماء بغض النظر عن المدة أو الظروف المناخية.

تبرير النتائج المحاكاة والاختبار يثبت ملاءمة النظام تحت ظروف التشغيل المختلفة.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، MPPT، جودة الطاقة، محول زيادة الجهد، محول عاكس، PLL، محرك الحث (IM)، ضخ الماء.