



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 : Réseaux Electrique

Par : Bouguesba Abir, Kecheha Bachira, Madjouri Naima
et Rehouma Hedi

Thème

**Simulation d'un système photovoltaïque connecte au
réseau**

Devant le jury composé de:

Mr. Mida Dris	Président
Mr. Mahni Tidjani	Examineur
Mr. SERHOUD Hicham	Encadreur

2021-2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Remerciements

Nous remercions Dieu tout puissant Pour nous accorder
la volonté et le courage réaliser ce mémoire.

Nous tenons à exprimer mon encadreur **Dr. Hicham Serhoud**
Patience et précieux conseils. Nos remerciements à nos parents pour leur soutien.

Nous tenons aussi à remercier tous nos amis
qui m'ont aidé de loin ou de près dans la réalisation de ce travail



Dédicace

Après avoir remercié dieu et le tout-puissant de nous aider à mener

à bien cette recherche l'humble, je remercie :

A qui je porte son nom avec tout la fierté,

je demande à dieu de prolonger dans votre âge

pour voir le fruit est récolté après une longue attente et restera vos mots étoiles je suis guidé par
aujourd'hui et domaine et pour toujours, Mon cher père "Bachir".

A mon ange dans la vie...Au sens de l'amour et sens de la tendresse et de la dévotion

Au sourire de la vie et au secret de l'existence à celui

qui était le secret de ma réussite et à sa tendresse, traitement chirurgical

au plus cher habayeb, ma mère bien-aimée "bouguesba bariza".

Aux cœurs purs et gentils et aux âmes innocentes aux vents de ma vie :

à mon frère "Salah Eddine" et à ma sœur "Rama Nor Elyakine".

À tous mes amis et collègues.

Abir Bouguesba



Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire de Master :
À ma mère "Aicha" et mon père "Boukhari".
À ma sœur "Zainbe"
À mes frères "Amaar, Djamal, Abasse, Younes"
À toute mes familles
À mon mari (Houcine Chtioui)
À tous mes amis et collègues.

Naima Madjouri



Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire de Master :

À ma mère et mon père.

À ma sœurs .

À mes frères .

À toute mes familles.

À mon mari .

À tous mes amis et collègues.

Rhouma hedi



Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire de Master :

À ma mère "Fatima" et mon père "Amara".

À ma sœurs "Zohra, Soumia, Sara, Kawther, Assil"

À mes frères "Abdelkader, Mohamed, Bachir, Zakaria "

À toute mes familles

À mon fiancé (Ahmed Messai Ahmed)

À tous mes amis et collègues.

Bachira Kecheha



Sommaire



Sommaire

	page
Remerciements	
Dédicace	
Sommaire.....	II
Liste des figures.....	V
Liste de tableau	VII
Liste de symboles.....	VIII
Résumé.....	X
Introduction générale.....	1
Chapitre :01 Généralité Les systèmes photovoltaïques	
1.1 Introduction.....	4
...	
1.2- Définition de l'énergie renouvelable.....	4
1.3 -L'énergie solaire.....	4
1.4 – Rayonnement solaire.....	5
1.4-1- Le rayonnement direct.....	5
1.4-2 – Le rayonnement diffus.....	5
1.4-3 - Le rayonnement réfléchi ou l'albédo sol.....	5
1.4-4-Lerayonnement global.....	6
1.5- Les panneaux solaires.....	6
1.5-1-Définition.....	6
1.5-2 – La cellule PV.....	6
1.5-3-Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque.....	6
1.6- Type et rendement des cellules photovoltaïques.....	7
1.7- Type des systèmes PV.....	9
1.7-1-Les systèmes autonomes.....	9
1.7-2- Les systèmes PV hybrides.....	9
1.7-3- Les systèmes raccordés aux réseaux.....	10
1.8-GénérateurPV.....	11
1.9- Les différents branchements des panneaux PV.....	12

1.9-1-Le branchement en série.....	12
1.9-2Le branchement en parallèle.....	13
1.10 -Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques.....	14
1.10-1 Avantages.....	14
1.10-2 Inconvénients.....	15
Conclusion.....	15

Chapitre 02 : Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque

2.1. Introduction.....	17
2.2. L'outil Matlab Simulink.....	17
2.3. Le générateur photovoltaïque « GPV »	18
2.3.1. Modélisation du système photovoltaïque.....	18
2.3.2. Caractérisation du module PV.....	20
2.3.3. Simulation du module PV.....	21
2.4. Simulation des hacheurs boost.....	24
2.5. Mise en œuvre de la commande de poursuite MPPT.....	26
2.5.1. Principe du MPPT.....	27
2.5.2. Structure et simulation de la commande MPPT numérique « P&O »	27
III.6. Conclusion.....	34

Chapitre 03 : Simulation du système photovoltaïque connectes au réseaux

3.1. Introduction	36
3.2. Système connecté au réseau	36
3.3. Avantages et inconvénients des systèmes connectés au réseau	37
3.4 La connexion via deux étages (DC/DC et DC/AC)	38
3.5 Classifications des Centrales Photovoltaïques Connectées au Réseau	38
3.5.1 Centrales de petite taille (Pw=1 à 10 KW)	38
3.5.2 Centrales de taille moyenne (Pw=10 à 100 KW)	38
3.5.3 Centrales de grande taille (Pw500 KW)	38
3.6 Structure générale d'un système photovoltaïque.....	38
3.7 Systèmes PV connecté directement au réseau	39
3.7.1 Structure à convertisseur unique	39
3.7.2 Structure avec bus à basse tension alternative	40

3.8 Problème de connexion des systèmes photovoltaïques au réseau	40
3.9 Perturbations des réseaux électriques	41
3.10. Système photovoltaïque connecté au réseau proposé	41
3.11 La charge	42
3.11.1 Modélisation de l'interface réseaux :	42
3.11.2. Convertisseur continu-Alternatif (DC-AC)	42
3.11.3. Commande par Hystérésis du L'onduleur à MLI de Tension.....	43
3.11.4. Contrôle du courant	43
3.12 Boucle de régulation de la tension du bus continu.....	44
3.12.1 Boucle (PLL)	45
3.12.2Filtre	45
3.12.3. Résultat	45
3.13. Conclusion.....	50
Conclusion générale.....	52
Références.....	54

Liste des figures

Chapiter01 :	page
Figure 1.2 : Types de rayonnements solaires reçus au sol.	6
Figure 1.3 : Schéma d'une cellule photovoltaïque.	7
Figure1.4 : Les images de différents types de la cellule photovoltaïque.	8
Figure 1.5 : Système PV autonome avec batterie.	9
Figure 1.6 : Système PV hybride.	10
Figure 1.7 : Structure d'un système PV connecté au réseau.	11
Figure 1.8 : Branchement en série des panneaux PV	12
Figure 1.9 : branchement parallèle des panneaux PV	13
Chapiter02 : Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque	
Figure 2.1 : Système photovoltaïque.	18
Figure 2.2 : Circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.	18
Figure 2.3 : schéma Bloc du module solaire dans SIMULINK.	21
Figure (2.4) : Résultats de simulation des caractéristiques (Courant –Tension) du module KC200GT	21
Figure (2.5) : Résultats de simulation des caractéristiques (puissance –tension) du GPV.	22
Figure (2.6) : Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents éclairment et une température $T=25^{\circ}\text{C}$.	23
Figure (2.7) : Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents température et un éclairment $E=1000\text{ W/m}^2$.	24
Figure.2.8 : Schéma bloc d'un convertisseur DC-DC.	25
Figure.2.9 : rapport cyclique d'un convertisseur DC-DC	25
Figure.2.10 : courant sorte d'un convertisseur DC-DC.	25
Figure.2.11 : tension de sorte d'un convertisseur DC-DC	26
Figure (2.12) : caractéristique P_{pv} (V_{pv}) d'un panneau solaire	27
Figure (2.13) : Organigramme de l'algorithme Perturbation et Observation (P&O).	28
Figure (2.14) : Schéma de simulation de l'algorithme de perturbation et de l'observation (P et O).	29

Figure (2.15) : Bloc de MPPT en SIMULINK.	30
Figure (2.16) : Résultats de simulation du	31
Figure (2.17) : Résultats de simulation des courbes de puissance pour éclairement constante.	31
Figure (2.18) : Résultats de simulation des courbes de puissance	31
Figure (2.19) : Résultats de simulation du courant.	32
Figure (2.20) : Résultats de simulation du courant.	32
Figure (2.21) : Résultats de simulation des courbes de tension de pv	32
Figure (2.22) : Résultats de simulation des courbes de tension de charge	33
Chapiter03 : Simulation du système photovoltaïque connectes au réseaux	
Figure 3.1 : Structure d'un système photovoltaïque connecté au réseau	36
Figure 3.2 : Plusieurs modules PV en série vers un seul onduleur	39
Figure 3.3 : Bus à basse tension alternative	40
Figure 3.4 : Schéma de simulation d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique	41
Figure 3.5 Schéma de réseau électrique	42
Figure 3.6 Schéma de L'onduleur	43
Figure 3.7 Principe de contrôle du courant par hystérésis.	44
Figure 3.8 : Le schéma block d'un filtre RL sur Matlab Simulink	45
Figure 3.9: variation de température	46
Figure 3.10: variation de l'éclairément	46
Figure 3.11: la tension bus continue	46
Figure 3.12: courant de PV	47
Figure 3.13 : courbe de puissance de PV	47
Figure 3.14: courbe de courant de r	48
Figure 3.15: zoom courbe de courant Ia avec la reffrance	48
Figure 3.16: courbe de tension de GPV	49
Figure 3.17 zoom courbe de tension Vabc de réseau	49

Liste de tableau :

	Page
Tableau 1-1: Les différents types des cellules avec leur rendement.	8
Tableau 2.1: Caractéristiques électriques du module PV KC200GT en condition de test standard	20

Liste de symboles

- η : 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
- λ : 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 Current).
- GPV : Générateur photovoltaïque
- PPM : Le point de puissance maximale
- DC-DC : Convertisseur continu/continu
- CPCR : Centrales Photovoltaïques Connectées au Réseau.



Résumé



Résumé :

Ce mémoire met en œuvre par simulation l'utilisation de l'énergie solaire extraite des panneaux photovoltaïques raccordé au réseau électrique via de convertisseur. La première partie est consacrée aux panneaux photovoltaïques, leurs fonctionnements, leurs caractéristiques et leur modélisation, en prenant en compte la synthèse du convertisseur élévateur et sa commande MPPT (P&O). On raccorde ce système a un réseau triphasé par un onduleur de tension commandé par hystérise pour réglage la tension de pus continu. Le régulateur PI est en effet capable de maintenir la tension du réseau dans les différents régimes de fonctionnement

Mots clés : générateur photovoltaïque, Convertisseur DC/DC, MPPT, onduleur. PLL, connecté au réseaux

المخلص :

يتم التنفيذ هذه الرسالة عن طريق محاكات استخدام الطاقة الشمسية المستخرجة من الالواح الكهروضوئية المتصلة بالشبكة الكهربية عبر المحولات . الجزء الاول مخصص للالواح الكهروضوئية وتشغيلها وخصائصها ونمذجتها مع مراعات تركيب محول التعزيز والتحكم ف (P&O) MPPT الخاص به , وهذا النظام متصل بشبكة ثلاثية الطور بجهد كهربائي . منظم PI قادر بالفعل على الحفاظ على جهد الشبكة في انظمة التشغيل المختلفة .

الكلمات المفتاحية: مولد ضوئي محول DC/DC MPPT عاكس PLL متصل بالشبكات .

Abstract:

This thesis implements by simulation the use of solar energy extracted from photovoltaic panels connected to the electrical network via converters. the first part is devoted to photovoltaic panels, their operation, their characteristics and their modeling, taking into account the synthesis of the boost converter and its MPPT (P&O) control.

This system is connected to a three-phase network by a voltage inverter controlled by hysteresis to adjust the DC voltage. the PI regulator is indeed able to maintain the network voltage in the different operating regimes.

keywords, photovoltaic generator, boost, MPPT, inverter. PLL, connected to networks.



Introduction générale



Introduction générale :

L'utilisation des énergies renouvelables connaît une croissance significative dans le monde, devant la demande croissante d'énergie électrique essentiellement pour les besoins des régions éloignées dépourvus d'électricité fiable, désertes et montagneuses. Une grande partie de l'énergie consommée provient des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon, etc...) dont l'utilisation massive peut conduire à l'épuisement de ces réserves et menace réellement l'environnement, cette menace s'est manifestée principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre. [1]

Aujourd'hui on distingue plusieurs sources d'énergies renouvelables, l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie de la biomasse, l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque. L'avantage principal de ces énergies renouvelables et que leurs utilisations ne polluent pas l'atmosphère et qu'elles ne produisent pas de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et les oxydes d'azotes qui sont responsables du réchauffement de la terre. [2]

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable permettant de produire de l'électricité par la transformation d'une partie du rayonnement solaire grâce à des modules solaires photovoltaïques, comprenant plusieurs cellules photovoltaïques reliées entre elles. Les impacts locaux du solaire sont très réduits : pas de bruit, pas de rejets et, sur le plan visuel, une relative discrétion voire pour certaines structures intégrées au bâtiment une réelle élégance. [3]

Dans ce mémoire, notre étude s'intéresse à la filière photovoltaïque et consiste essentiellement à la modélisation et le contrôle d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique

Dans le premier chapitre nous présentons la généralité sur système PV, en commençant par la cellule photovoltaïque, et le principe de fonctionnement de système PV, avec les applications et les caractéristiques électrique de système.

Dans le 2ème Chapitre nous présentons la modélisation et simulation de système PV avec la MPPT , et caractérisation du module pv, et simulation des hacheur boost ,et principe du MPPT, structure et simulation de la commande MPPT numérique « perturbation et observation » et conclusion .

Le troisième chapitre précise le raccordement réseau électrique avec système PV commande par la technique MPPT (P&O), et en terminer par la simulation avec les descriptions des résultats, et en terminer les études par une conclusion générale.



Chapitre : 01
Généralités sur les systèmes
photovoltaïques



1.1-Introduction :

Alors que les gisements d'énergies fossiles et fissiles ne seront encore plus exploitables que pendant quelques dizaines d'années, l'énergie renouvelable dont l'énergie solaire poursuivra ses bienfaits sur terre pendant encore des milliards d'années. Dans ce chapitre on va essayer de donner une idée générale sur l'énergie solaire, les différents types des systèmes photovoltaïques et quelques concepts qui vont nous aider à bien rentrer dans le thème.

1.2- Définition de l'énergie renouvelable :

Les énergies renouvelables sont toutes les énergies que la nature constitue ou reconstitue plus rapidement que l'Homme ne les utilise. Elles peuvent ainsi être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain.

Exemple :

- Vent : éolienne
- Soleil : thermique, photovoltaïque, thermodynamique.
- Chaleur terrestre : géothermie.
- Eau : hydroélectrique, marémotrice.
- Biodégradation : biomasse.
- Biocarburant.

1.3 -L'énergie solaire :

L'énergie solaire vient de la fusion nucléaire qui se produit au centre du soleil. Elle se propage dans le système solaire et dans l'univers essentiellement sous forme d'un rayonnement électromagnétique de photons et de rayonnement infrarouge. L'énergie solaire reçue en un point du globe dépend de :

La latitude, la saison et l'heure, qui influent sur la hauteur du soleil et donc sur l'énergie reçue au sol par unité de surface, ainsi que sur la nébulosité en fonction du climat local.

La distance de la terre au soleil est d'environ 150 million de kilomètres et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300000 km/h, les rayons du soleil mettent donc environ 8 minutes à

nous parvenir. La constante solaire est la densité d'énergie solaire qui atteint la frontière externe de l'atmosphère faisant face au soleil. Sa valeur est communément prise égale à 1360W/m².

Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire est réduite à 1000 W/ m² à cause de l'absorption dans l'atmosphère. Albert Einstein a découvert en travaillant sur l'effet photoélectrique que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie est portée par des particules, les photons.

L'énergie d'un photon étant donnée par la relation [4] :

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

- λ : la longueur d'onde.
- h : la constante de Planck.
- C : la vitesse de la lumière.

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

Une façon commode d'exprimer cette énergie est :

$$E = \frac{1.24}{\lambda}$$

1.4 - Rayonnement solaire :

Notre soleil est une étoile naine qui se compose de 74% d'hydrogène, 25% d'hélium et d'une fraction d'éléments plus lourds, sa température à la surface est d'environ 5530°C [5].

1.4-1- Le rayonnement direct :

Le rayonnement direct est la différence entre le rayonnement global et le rayonnement diffus.

1.4-2 - Le rayonnement diffus :

C'est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire global par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages et les aérosols.

1.4-3 – Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol : C'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige, etc....) [5].

1.4-4- Le rayonnement global :

Le rayonnement global est subdivisé en rayonnements directs, diffus et réfléti par le sol). Dans la figure ci-dessous est schématisé l'ensemble des rayonnements solaires reçus sur une surface terrestre [5].

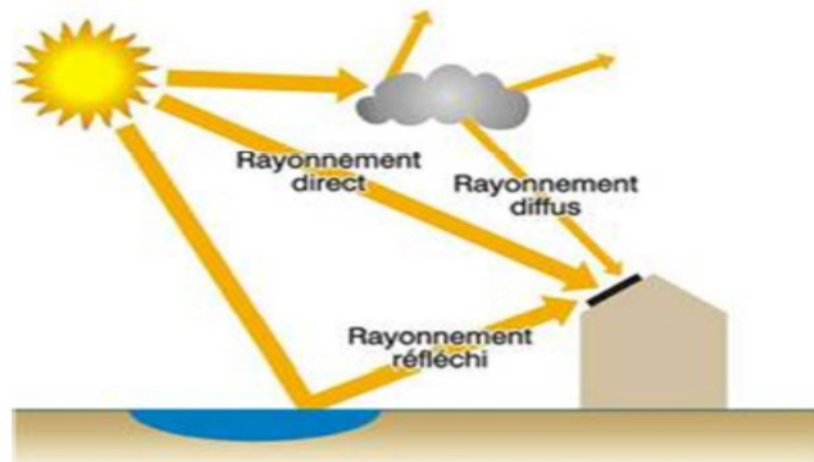


Figure 1.2 : Types de rayonnements solaires reçus au sol.

1.5- Les panneaux solaires :

1.5-1- Définition :

La cellule photovoltaïque ou encore photopile est l'élément constitutif des modules photovoltaïques. Un panneau photovoltaïque est constitué de plusieurs cellules en série ou en parallèle afin d'obtenir une tension souhaitée.

1.5-2 - La cellule PV :

La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique [6].

1.5-3-Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque :

Le principe de fonctionnement de cette cellule repose sur l'effet photovoltaïque,

En effet une cellule est constituée de deux couches minces d'un semi-conducteur, ces deux couches sont dopées différemment :

- pour la couche N, apport d'électrons périphériques
- Ces deux couches présentent ainsi une différence de potentiel. L'énergie des photons

Lumineux captés par les électrons périphériques (couche N) leur permet de franchir la barrière de potentiel et d'engendrer un courant électrique continu. Pour effectuer la collecte de ce courant, des électrodes sont déposées par sérigraphie sur les deux couches de semi-conducteur [7] pour la couche P, déficit d'électrons

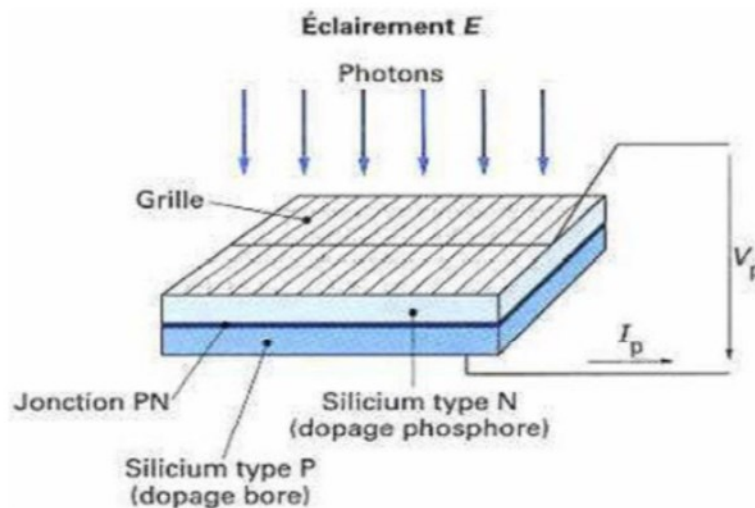


Figure 1.3 : Schéma d'une cellule photovoltaïque.

1.6- Type et rendement des cellules photovoltaïques :

Il existe différents types de cellules solaires (ou cellules photovoltaïques), et chaque type de cellules a un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible : de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent. Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle [8].

- Les cellules monocristallines : Ce sont celles qui ont le meilleur rendement mais aussi celle qui ont le coût le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée.
- Les cellules poly cristallines : Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication est moins important, cependant leur rendement est plus faible.

•Les cellules amorphes : Elles ont un faible rendement, mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.

•Rendement d'une cellule :

Le tableau suivant (1-1) présente les différents types des cellules avec leur rendement.

Tableau 1-1 : Les différents types des cellules avec leur rendement.

Technologie de cellules	Rendement en Laboratoire	Rendement production
Silicium amorphe (a-Si)	13%	5-9%
Silicium poly cristallin (p-Si)	19,8%	11 à 15 %
Silicium monocristallin (mSi)	24,7%	13 à 17%

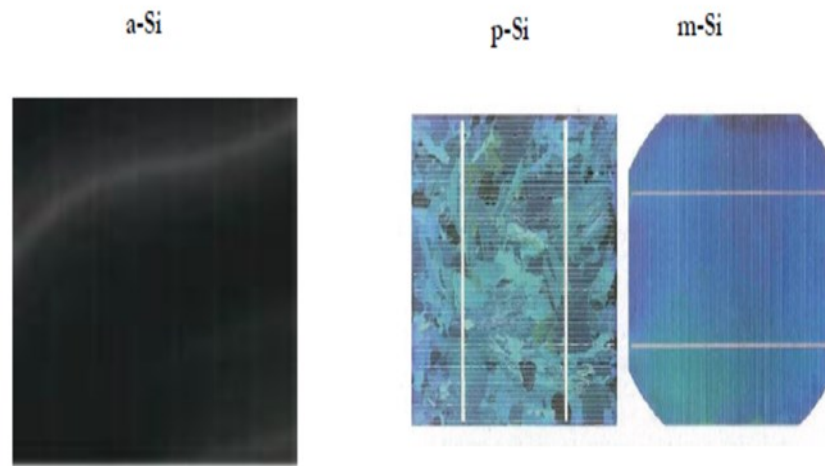


Figure1.4 : Les images de différents types de la cellule photovoltaïque.

$$\eta_{STC} = \frac{P_m}{E_{stc} \cdot S_{cellule}}$$

- ☞ η_{STC} : Le rendement de la cellule photovoltaïque.
- ☞ P_m : La puissance produite par le générateur PV.
- ☞ E_{STC} : L'éclairement absorbé par la cellule .
- ☞ $S_{cellule}$: La surface de la cellule [m²].

Ce rendement dépend plusieurs facteurs [9] :

- Réflexion à la surface.
- Température de jonction des cellules.
- Type de matériau utilisé et technique de fabrication.
- La résistance série et parallèle responsables des pertes par effet Joule.
- Absorption incomplète et excès d'énergie des photons absorbés.

1.7- Type des systèmes PV :

Selon la manière dont l'énergie est utilisée, il existe trois différents types de systèmes PV : comme les systèmes autonomes, les systèmes hybrides et les systèmes raccordés au réseau. [10]

1.7-1- Les systèmes autonomes :

Une installation PV autonome est une installation qui fonctionne indépendamment du réseau électrique ou toutes autres sources d'énergies. Cette installation est utilisée pour alimenter un ou plusieurs consommateurs situés, comme les maisons, les chalets ou les camps dans les régions éloignées ainsi qu'à des applications comme la surveillance et le pompage d'eau.

Il existe deux types de systèmes PV autonomes avec stockage et sans stockage. Le schéma général d'un système PV autonome est représenté sur la figure (1.1) [11].

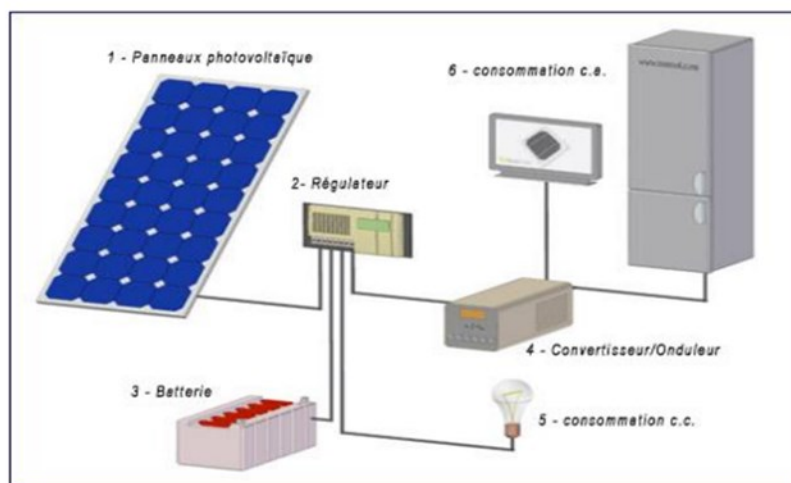


Figure 1.5 : Système PV autonome avec batterie [10].

1.7-2- Les systèmes PV hybrides :

Les systèmes PV hybrides intègrent un générateur PV et un autre générateur : éolien, groupe électrogène, système hydroélectrique et même parfois le réseau public d'électricité. Ces systèmes s'appliquent particulièrement bien à des sites éloignés où il est important d'avoir de l'électricité à tout moment, où les coûts de transport du carburant sont élevés où il n'est pas encore rentable d'utiliser le système PV seul avec les batteries [10].

Ils sont souvent utilisés pour de très nombreuses applications d'intérêt sensible et stratégique comme les relais de télécommunication, les postes frontaliers, l'habitat isolé, etc., hors réseau d'électricité conventionnelle [12]. Un système hybride est représenté par la figure (1.2).

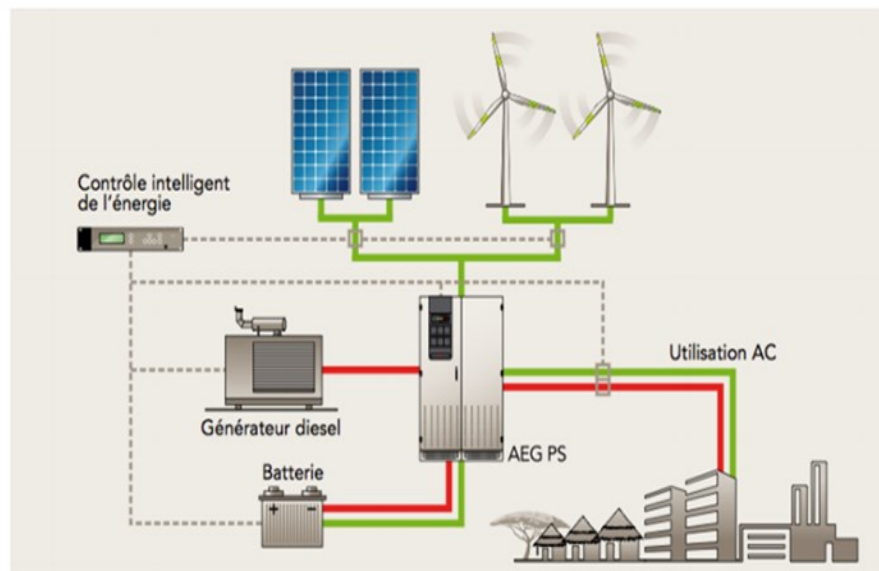


Figure 1.6 : Système PV hybride [10].

1.7-3- Les systèmes raccordés aux réseaux :

Dans ces systèmes PV, le générateur PV est couplé directement au réseau électrique. Le système PV raccordé au réseau est muni de convertisseurs de puissance pour adapter l'énergie produite par les panneaux PV. Ces convertisseurs sont composés d'un hacheur muni d'un MPPT, d'un filtre, d'un onduleur et d'une électronique appropriée pour assurer l'adaptation en amplitude et en fréquence avec le réseau. La structure d'un système PV connecté au réseau est montrée par la figure (1.3) [13].



Figure 1.7 : Structure d'un système PV connecté au réseau [10].

L'énorme avantage de cette solution est l'absence de batterie. On ne stocke plus l'énergie, on l'injecte directement dans le réseau local qui alimente les maisons de nuit ou pendant les jours sans soleil. Donc toute l'énergie est récupérée. Il y a un compteur qui tourne dans un sens pour la consommation, et un autre dans l'autre sens pour la production. Ces systèmes ne sont pas des alimentations de secours en cas de coupure du réseau, car ils ne comportent aucune réserve d'énergie [13]. Dans notre étude, on s'intéresse au fonctionnement d'un système PV connecté au réseau.

1.8- Générateur PV :

La cellule PV, l'élément primaire d'un système PV, est fabriquée la première fois par les chercheurs des laboratoires Bell, aux Etats-Unis au cours des années 1950[9]. Elle constitue un générateur de très faible puissance vis-à-vis des besoins de la plupart des applications domestiques ou industrielles. Une cellule élémentaire de quelques dizaines de centimètres carrés délivre, au maximum, quelques watts sous une tension inférieure au un volt [14].

Pour produire plus de puissance, plusieurs cellules doivent être assemblées afin de créer un module PV. Les modules PV sont aussi assemblés afin de créer un champ PV. La connexion en série des cellules permet d'augmenter facilement la tension de l'ensemble, tandis que la mise en parallèle d'accroître le courant. Le câblage série et/ou parallèle est donc utilisé pour obtenir globalement un générateur PV aux caractéristiques souhaitées. [10]

1.9- Les différents branchements des panneaux PV :

1.9-1-Le branchement en série :

✎ Association en série :

En additionnant des cellules ou des modules identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série. Les figures (7et 8) montrent l'intérêt de l'association des cellules ou modules photovoltaïques identiques en série [15] :

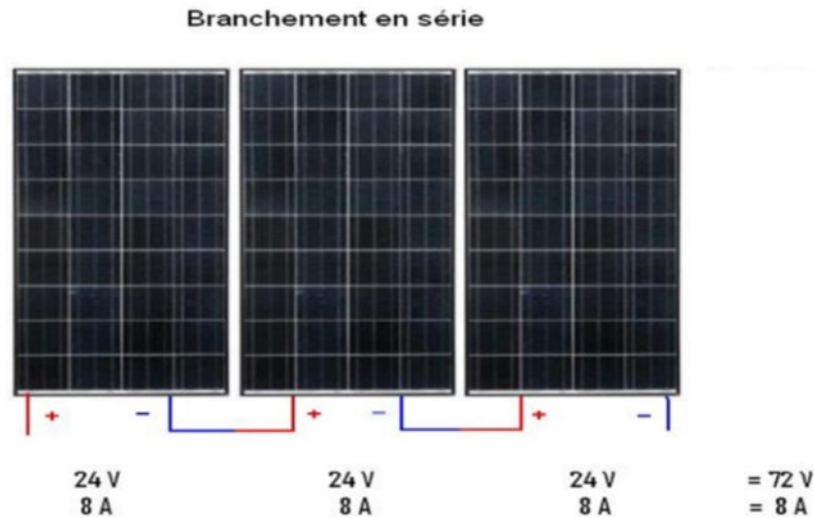


Figure 1.8 Branchement en série des panneaux PV.

A noter que, si les tensions V s'additionnent systématiquement, c'est l'intensité la plus faible A qui prime dans le cas de panneaux solaires différents.

Imaginons que sur ces 3 panneaux l'un d'eux ait une intensité de 4 Ampères, l'Ampérage total serait de 4 Ampères même si les autres sont à 8 Ampères.

Par contre si nous avons $24\text{ V} + 12\text{ V} + 10\text{ V} = 46\text{ V}$.

L'inconvénient du branchement en série c'est qu'il y a une perte de puissance si un seul des panneaux est ombragé (arbre, bâtiment, cheminée...)

Si un panneau est ombragé il va perdre en intensité et c'est cette intensité qui va déterminer celle des autres panneaux.

Puissance en plein soleil : $72 \text{ V} \times 8 \text{ A} = 576 \text{ W}$

Avec une ombre sur un panneau, supposons qu'il descende à 4 Ampères (tous les panneaux seront à 4 A)

$72 \text{ V} \times 4 \text{ A} = 288 \text{ W}$ (perte de moitié).

Conclusion il faut bien étudier l'emplacement de ses panneaux solaires.

1.9-2-Le branchement en parallèle :

En additionnant les modules identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche. Les figures (9 et 10) montrent l'intérêt de l'association des cellules ou modules photovoltaïques identiques en parallèle [15]

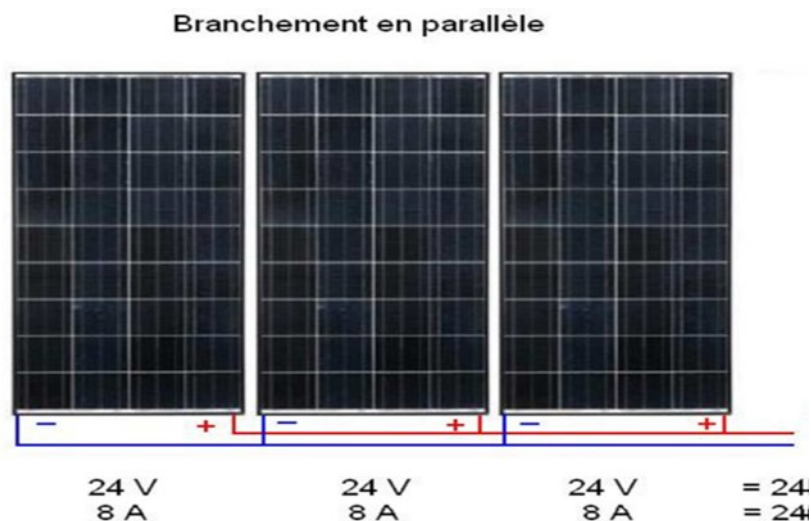


Figure 1.9 : branchement parallèle des panneaux PV.

Ce branchement n'est possible qu'avec des panneaux de mêmes tensions. Contrairement au branchement en série, il n'est pas possible d'avoir des panneaux de 24 V et un autre de 18 V par exemple (C'est théoriquement possible avec la tension la plus faible qui prime, mais il y a un risque de surtension et court-circuit !).

Dans ce branchement c'est donc l'intensité qui s'additionne ! C'est le branchement idéal lorsque l'on a besoin d'une plus grosse intensité.

C'est également le bon montage lorsqu'il peut y avoir un ombrage sur les panneaux photovoltaïques, reprenons le 1er exemple.

Puissance en plein soleil :

$24 \text{ V} \times 24 \text{ A} = 576 \text{ W}$ (exactement comme le montage en série)

Avec un ombrage et un panneau qui descend à 4 Ampères d'intensité.

Nous aurons toujours 24 V de tension et $8 \text{ A} + 8 \text{ A} + 4 \text{ A}$ d'intensité puisque dans le montage en parallèle les intensités s'additionnent alors que dans le montage en série c'est la plus petite qui prime.

$24 \text{ V} \times 20 \text{ A} = 480 \text{ W}$ (nous avions 288 W dans le montage en série).

1.10 -Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques :

Chaque système ou technologie présente des avantages et des inconvénients :

1.10-1 - Avantages :

- Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adapté à des besoins énergétiques divers.
- Les systèmes peuvent être dimensionnés par des applications de puissance allant du milliwatt au mégawatt
- Les couts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent, ni combustible, ni transport, ni personnel hautement qualifié.
- La haute fiabilité, ne comportant pas des pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées.
- Enfin, cette technologie présente les qualités sur le plan écologique car le système photovoltaïque est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu

Si ce n'est que l'occupation de l'espace pour l'installation de grande dimension.

1.10-2- Inconvénients :

- La fabrication des modules photovoltaïques relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.

- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28 %).

- L'onduleur ne donne pas l'énergie produite à 100 %.

- Enfin lorsque le stockage d'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût de générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants associés soient judicieusement choisis.

1.11 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu général sur les systèmes photovoltaïques, ainsi que sur les cellules photovoltaïques et les différents types de ces systèmes et enfin nous avons cité les avantages et les inconvénients des installations PV.



Chapitre 02 :
Modélisation et simulation d'un
système photovoltaïque



2.1. Introduction :

La modélisation est une étape fondamentale qui permet d'introduire un certain nombre de modèles puis d'évaluer la caractéristique de chaque élément de l'installation ainsi que les paramètres constitutifs. Dans un système énergétique photovoltaïque, on espère toujours travailler au voisinage du point de puissance maximale MPP.

Cette simulation digitale sert afin de comprendre le comportement opérationnel de ces composants et les interactions entre eux. Depuis la simulation de la performance d'un système, on peut tracer toutes les étapes de la conversion d'énergie et identifier en détail les pertes à travers le système.

Ce chapitre, à pour but l'étude modélisation et la simulation d'un système photovoltaïque adapté a un hacheur survolteur « boost » avec une commande MPPT numérique « perturbation et observation».

Toutes les opérations de simulation sont faites par le logiciel MATLAB 7.10.0.

2.2. L'outil Matlab / Simulink- Sim Power System:

Sim Power Système contient des bibliothèques de composants permettant de modéliser et de simuler des systèmes électroniques, mécatroniques et électriques. Il inclut des modèles de semi-conducteurs, de moteurs et des composants pour des applications comme les systèmes d'actionnement électromécanique, de réseaux intelligents et à énergie renouvelable. Vous pouvez utiliser ces composants pour évaluer les architectures de circuits analogiques, développer des systèmes mécatroniques dotés d'entraînements électriques et analyser la production, la conversion, la transmission et la consommation d'énergie électrique au niveau du réseau.

Le PV modèle de simulation utilise des équations de circuit de base de la cellule solaire PV en fonction de son comportement en tant que diode et une étude comportementale complète est réalisée dans des conditions variables d'insolation solaire, et la température, et les paramètres de modèle de diode variables, de résistance série et shunt, etc.

2.3. Le générateur photovoltaïque « GPV » :

Le système photovoltaïque est contrôlé par la commande MPPT, il est présenté à la

Figure (2.1).

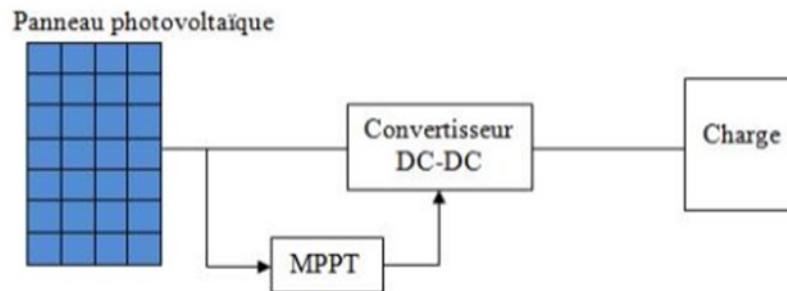


Figure 2.1 : Système photovoltaïque.

2.3.1. Modélisation du système photovoltaïque :

Le module fait intervenir un générateur de courant pour la modélisation d'une diode pour les phénomènes de polarisation de la cellule, une résistance série R_s représentant les diverses résistances de contacts et de connexions et une résistance parallèle R_p caractérisant les divers courants de fuites dus à la diode et aux effets de bords de la

Le générateur photovoltaïque est représenté par un modèle standard à une seule diode, établi par Shockley pour une seule cellule PV, et généralisé à un module PV en le considérant comme un ensemble de cellules identiques branchées en série-parallèle.

On présente le schéma du circuit électrique par la figure (III.2) :

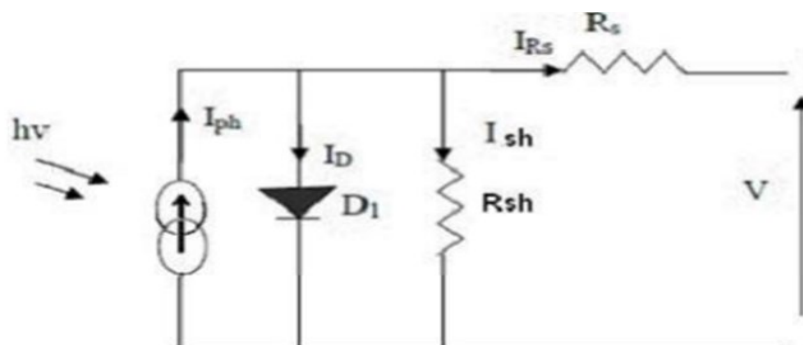


Figure 2.2 : Circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.

Dans ce cas, on a choisi un modèle simple ne nécessitant que les paramètres donnés par le fabricant, la caractéristique I-V de ce modèle est donnée par (chapitre l'équation (I.1)) :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{sat} [\exp(q(V_{pv} + (I_{pv} * R_s)) / nkt) - 1] - V_{pv} + ((I_{pv} * R_s) / R_p)$$

Où V_{pv} , I_{pv} sont la tension (V) et le courant (A) de sortie du panneau, I_{ph} est la photo courant en ampère, I_{sat} Courant dans la diode en ampère, R_s est la résistance série en ohm, R_h est la résistance shunt en ohm, q est la charge de l'électron $q=1.602.10^{19}$ coulomb, k est la constante de Boltzmann $k=1.381.10^{-23}$ J/K, n est le facteur de qualité de la diode, normalement compris entre 1 et 2.

Si l'on suppose que la résistance parallèle (shunte) est infinie ($R = \infty$), l'équation (III.1) devienne :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{sat} (\exp(((V_{pv} + R_s * I_{pv}) / nvt) - 1) \quad (2.2)$$

Où I_{pv} le courant fourni par la cellule PV et V_{pv} est la tension au bornes de la cellule PV. On peut calculer la résistance série dans le point V_{co} :

$$dI_{pv} = 0 - I_{sat} (\exp (V_{pv} + R_s * I_{pv} / nkt) (dV_{pv} + R_s * dI_{pv}) \quad (I2.3)$$

La résistance série influe largement sur la pente de la courbe des caractéristique (I-V) au

Elle peut être calculée par la formule suivante :

$$R_s = -dV_{pv} / dI_{pv} \cdot nvt / I_{sat} (\exp ((V_{pv} + r_s * I_{pv}) / nvt)) \quad (2.4)$$

L'équation de la caractéristique $I=f(V)$ (2.1) non linéaire est résolue par des méthodes d'itération simple. Généralement la méthode de Newton-Raphson est choisie pour la convergence rapide de la réponse. La méthode de Newton-Raphson est décrite comme suit :

$$X_{n+1} = X_n - \frac{f(X_n)}{f'(X_n)} \quad (2.5)$$

Où $f'(X_n)$ est la dérivée de la fonction, (X_n), X_n est la présente itération et X_{n+1} est l'itération suivante.

La réécriture de l'équation (2.5) donne la fonction suivante :

$$f(I_{pv}) = I_{cc} - I_{pv} - I_{sat} (\exp (V_{pv} + r_s * I_{pv} / nvt) - 1) = 0 \quad (2.6)$$

En remplaçant dans l'équation (2.5), on calcule le courant (I) par les itérations :

Les équations précédentes ne sont valables que pour un mode de fonctionnement optimal. Pour généraliser notre calcul pour différents éclairagements et températures, nous utilisons le modèle qui déplace la courbe de référence à de nouveaux emplacements [15].

$$I_{cc}(T) = I_{CC}(T_{ref}) \cdot [1 + \alpha (T - T_{ref})] \quad (2.8)$$

$$I_{ph} = I_{cc} \left(\frac{G}{1000} \right) \quad (2.9)$$

$$I_{sat}(T) = I_{sat}(T_{ref}) \cdot \left(\frac{T_{ref}}{T} \right)^{\frac{3}{n}} \left[\exp \left(\frac{q \cdot E_g}{n} \right) \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right] \quad (2.10)$$

Où α est le coefficient de variation du courant en fonction de la température, T_{ref} est la température de référence, 298k (25°C) et G est l'irradiation solaire.

2.3.2. Caractérisation du module PV :

Dans ce travail, nous avons simulé le module photovoltaïque KC200GT qui comporte 54 cellules solaires de silicium monocristallin de 125.125mm connectées en série.

Le module peut produire une puissance maximale de 200.watts à 32 volts. Ceci nous a permis de déterminer la puissance en fonction de la tension et le courant en fonction de la tension du module étudié pour un éclairage de **1000 W/m²**.

Les caractéristiques électriques du module Photovoltaïque KC200GT en conditions de test standards sont représentées sur le tableau (2.1).

Tableaux (2.1) : Caractéristiques électriques du module PV KC200GT en condition de test standard [17].

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

2.3.3. Simulation du module PV :

Sur la base du modèle mathématique de la cellule solaire développé dans l'outil MATLAB/ Sim Power System. Le bloc schématique de SIMULINK est montré sur la Figure (III.3).

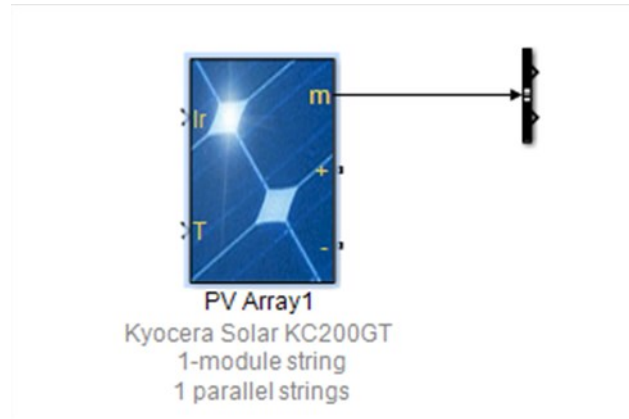


Figure 2.3 : schéma Bloc du module solaire dans SIMULINK.

La caractéristique ($I_{pv} = f(V_{pv})$) : À température et éclairement constants, et particulièrement aux conditions standards (STC) ($E = 1000 \text{ w/m}^2$. $T = 25^\circ\text{C}$). Donnée par la figure suivant :

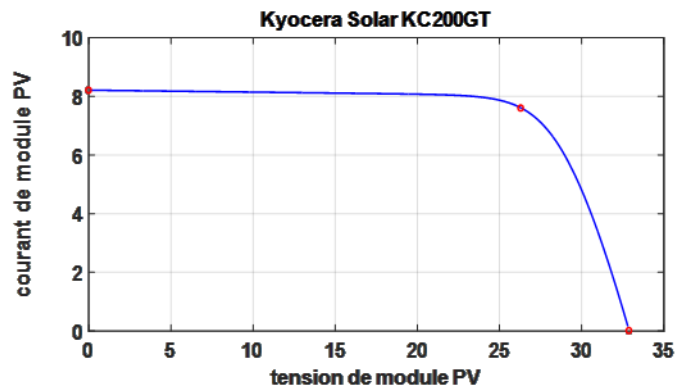


Figure 2.4 : Résultats de simulation des caractéristiques (Courant –Tension) du module
KC200GT.

La caractéristique ($P_{pv} = f(V_{pv})$) : À température et éclairement constants, et particulièrement aux conditions standards (STC) ($E = 1000 \text{ w/m}^2$, $T = 25^\circ\text{C}$), donnée par la figure (II.5).

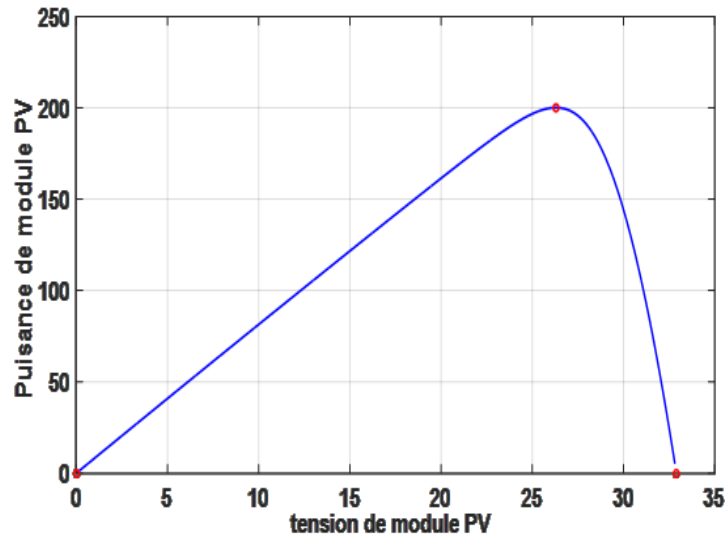


Figure 2.5 : Résultats de simulation des caractéristiques (puissance –tension) du GPV.

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^2 à 1000 W/m^2 .

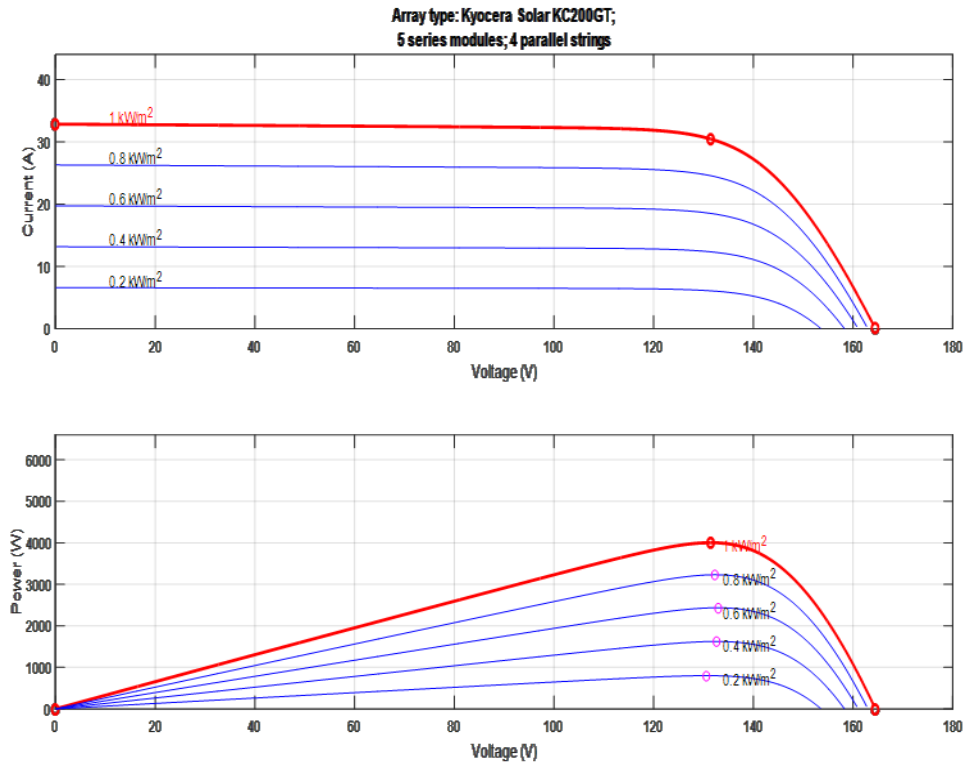


Figure (2.6) : Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents éclairement et une température $T=25^{\circ}\text{C}$.

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

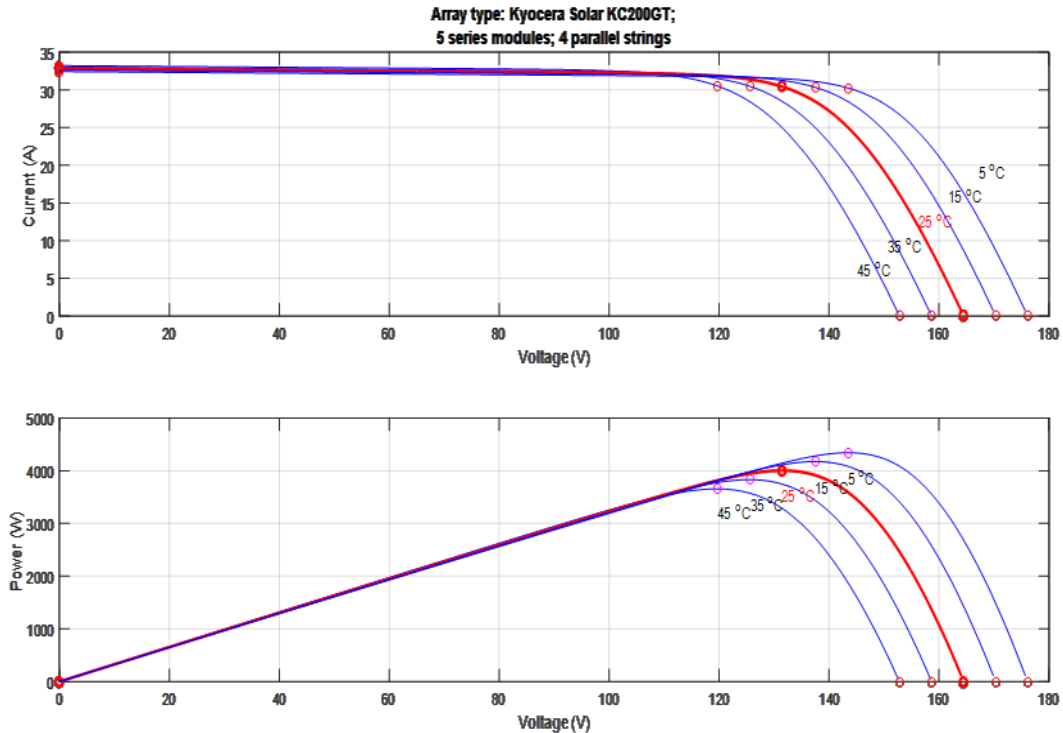


Figure 2.7 : Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents température et un éclairement $E=1000 \text{ W/m}^2$.

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 figure2.8. résultat de simulation d'un convertisseur DC-DC :

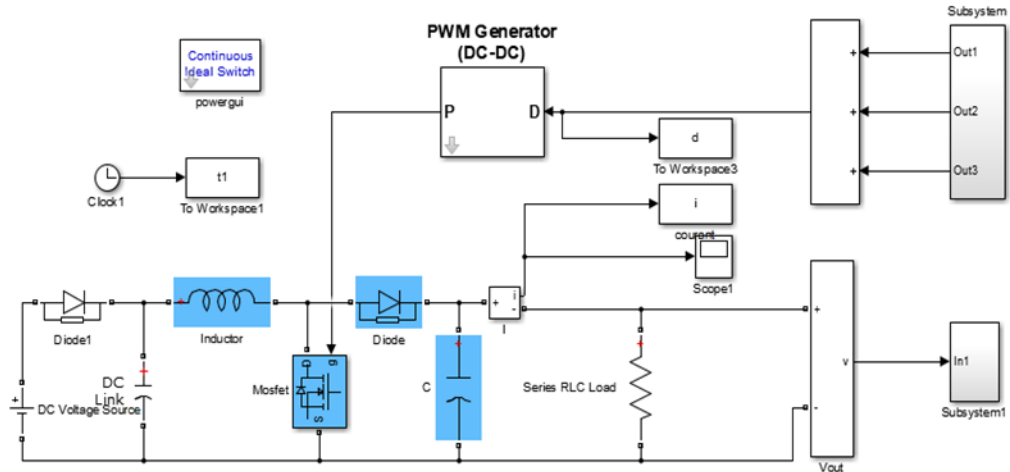


Figure.2.8 : Schéma bloc d'un convertisseur DC-DC.

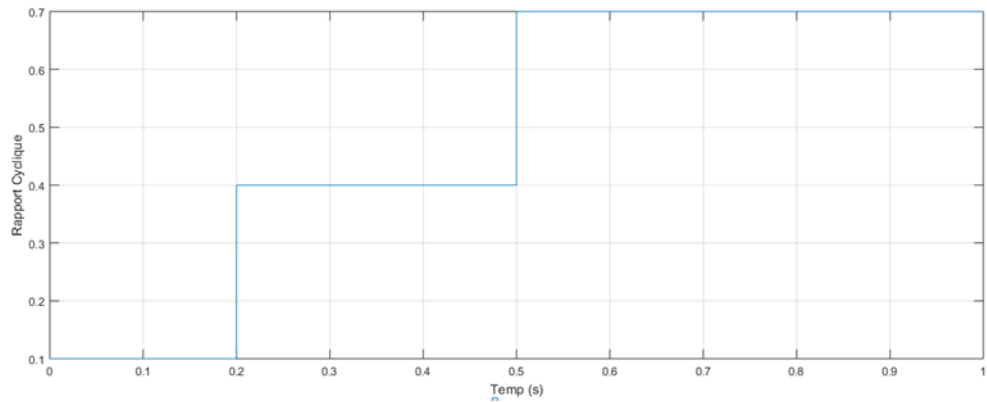


Figure.2.9 : rapport cyclique d'un convertisseur DC-DC.

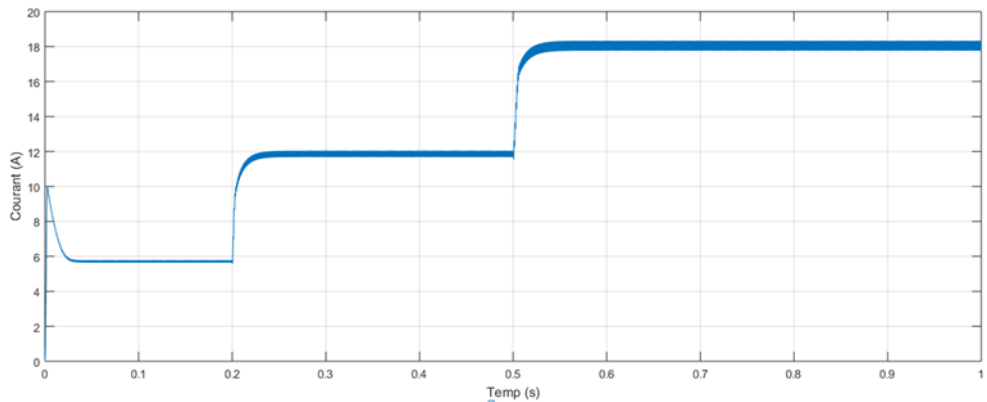


Figure.2.10 : courant sortie d'un convertisseur DC-DC.

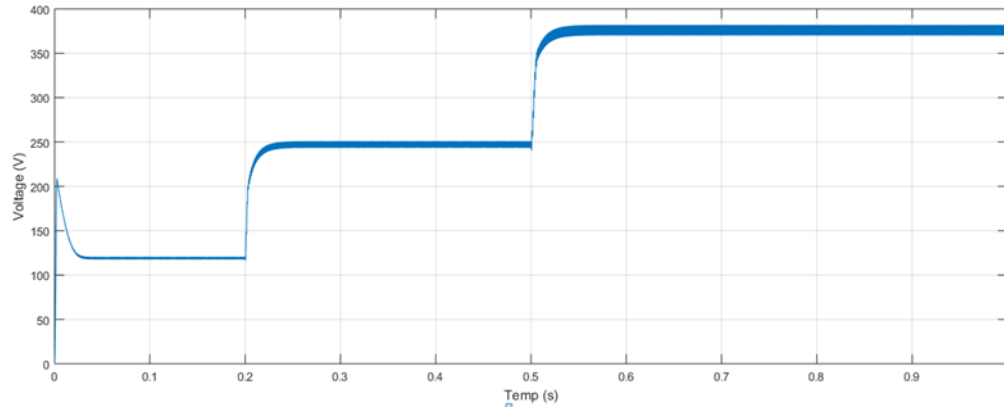


Figure.2.11 : tension de sortie d'un convertisseur DC-DC.

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.

2.5. Mise en œuvre de la commande de poursuite MPPT :

Pour avoir la meilleure connexion entre le « GPV » une source non linéaire et une charge pour produire la meilleure puissance, le Maximum Power Point Tracking (MPPT) est développé.

Il forcera le générateur à travailler à son Maximum Power Point (MPP), induisant une amélioration globale du rendement du système.

Le point de fonctionnement est déterminé par l'intersection de sa caractéristique électrique I-V avec celle de la charge. Ce point de fonctionnement varie car les conditions de travail varient ou/et la charge varie à tout moment. C'est pourquoi, souvent, on n'opère pas au MPP, et la puissance fournie à la charge est inférieure à la puissance maximale [17].

2.5.1. 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.

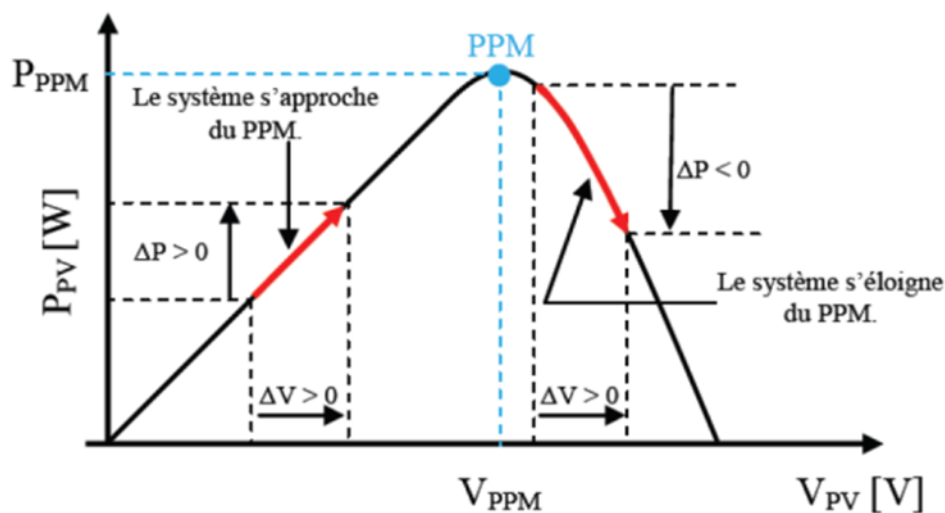


Figure 2.12 : caractéristique P_{pv} (V_{pv}) d'un panneau solaire.

2.5.2. Structure et simulation de la commande MPPT numérique « P&O » :

2.5.2.1. 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 [16].

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 [19].

La figure (2.14) montre l'organigramme de l'algorithme de P&O tel qu'il doit être implémenté dans le microprocesseur de contrôle. Le modèle Simulink est donné par la figure (2.21).

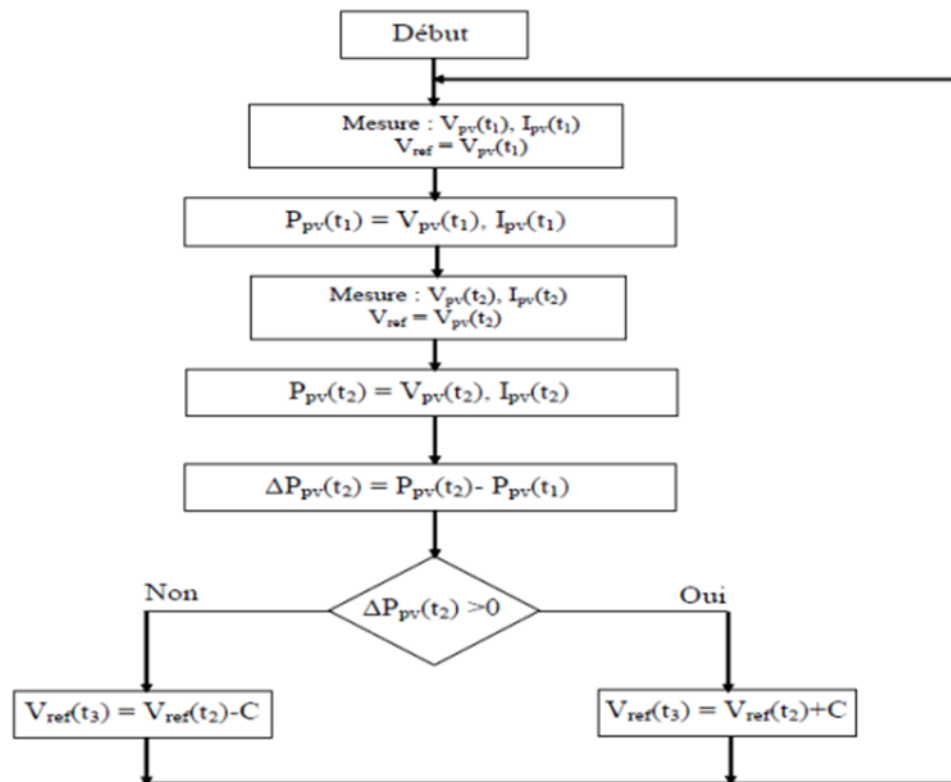


Figure 2.13 : Organigramme de l'algorithme Perturbation et Observation (P&O).

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.

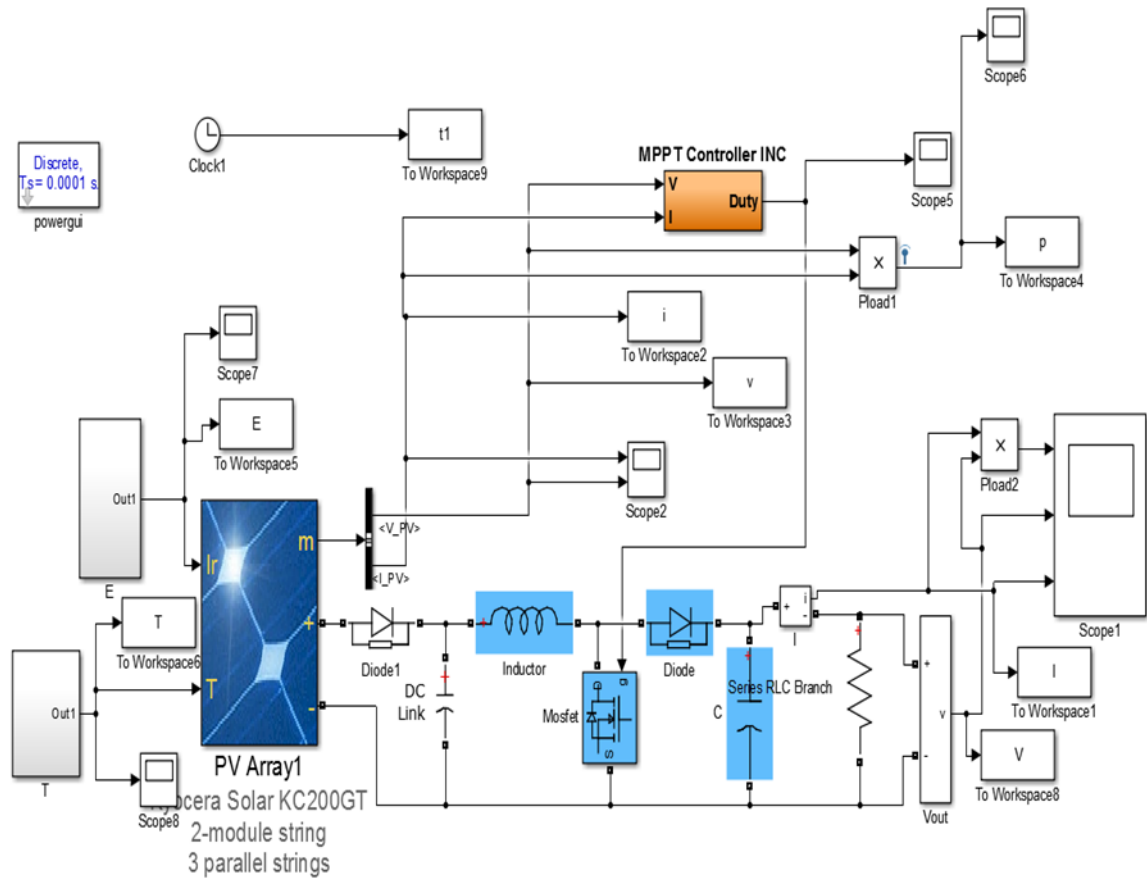


Figure 2.15 : schématique de SIMULINK du générateur photovoltaïque avec MPPT.

2.5.2.4. Résultats de simulation :

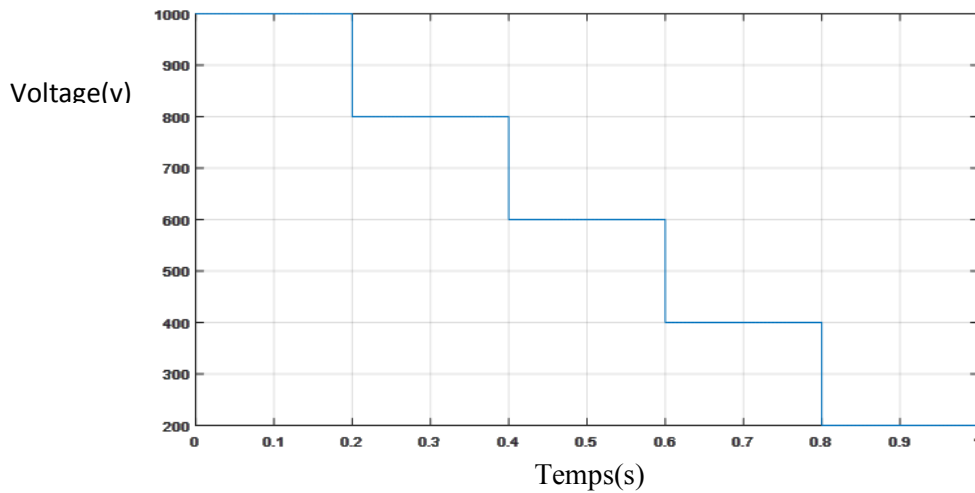


Figure 2.16 : Résultats de simulation.

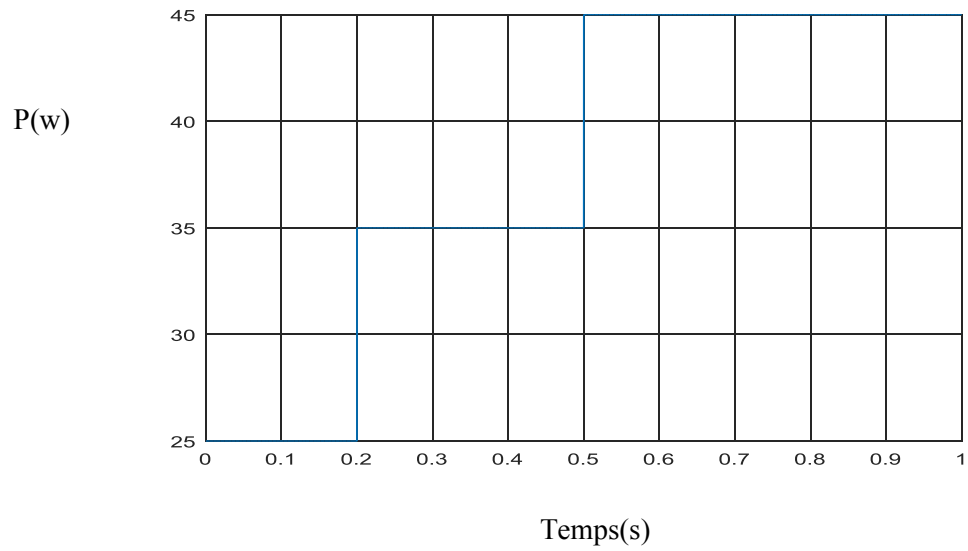


Figure 2.17: Résultats de simulation des courbes de puissance pour éclairage constante.

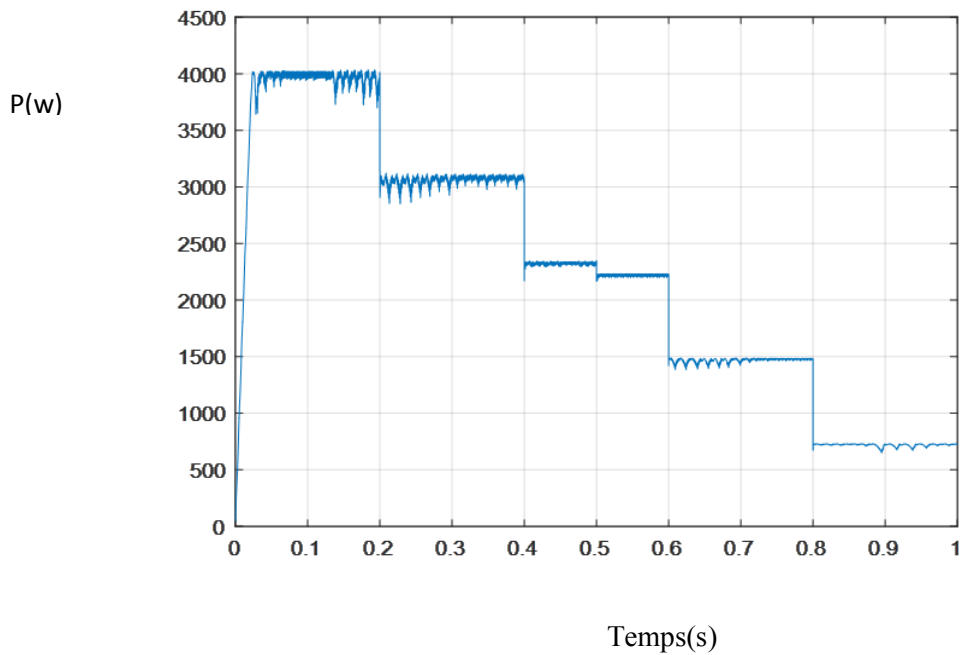


Figure 2.18 : Résultats de simulation des courbes de puissance.

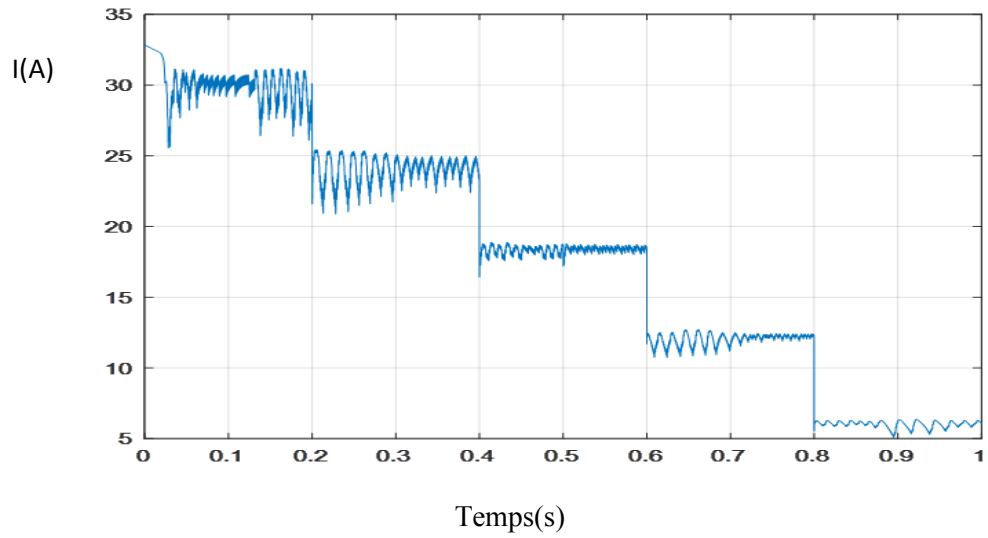


Figure 2.19 : Résultats de simulation du courant.

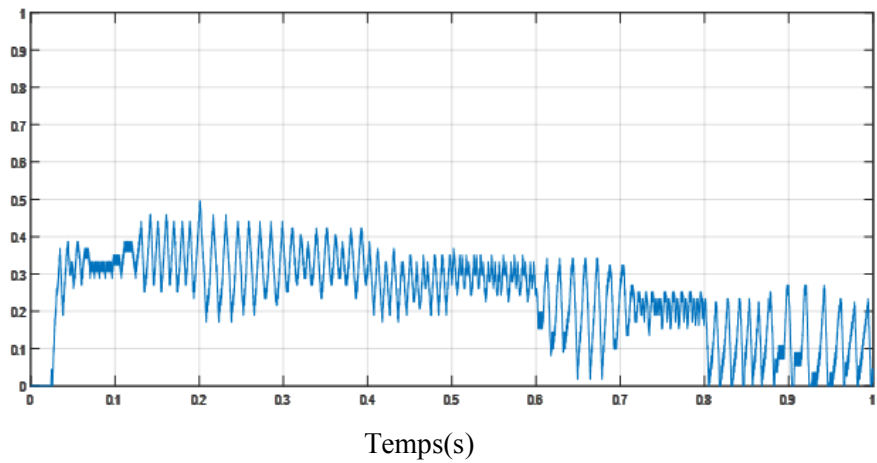


Figure 2.20 : Résultats de simulation rapport cyclique (d).

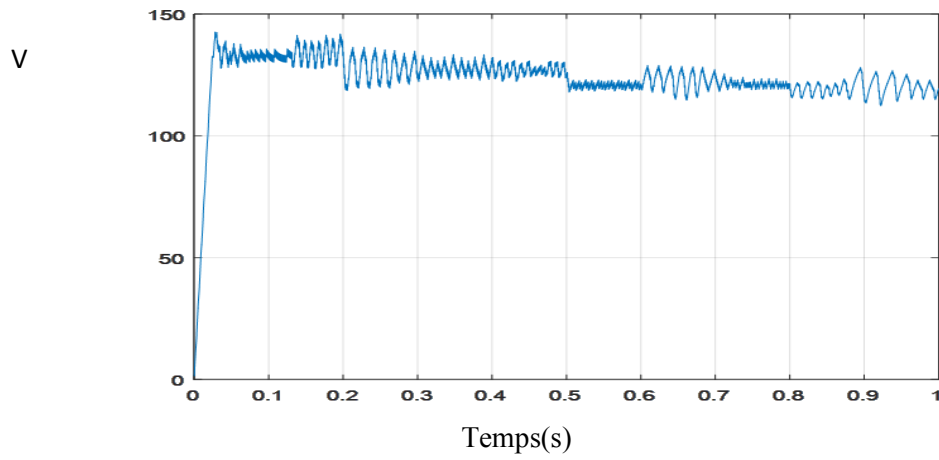


Figure 2.21 : Résultats de simulation des courbes de tension de PV.

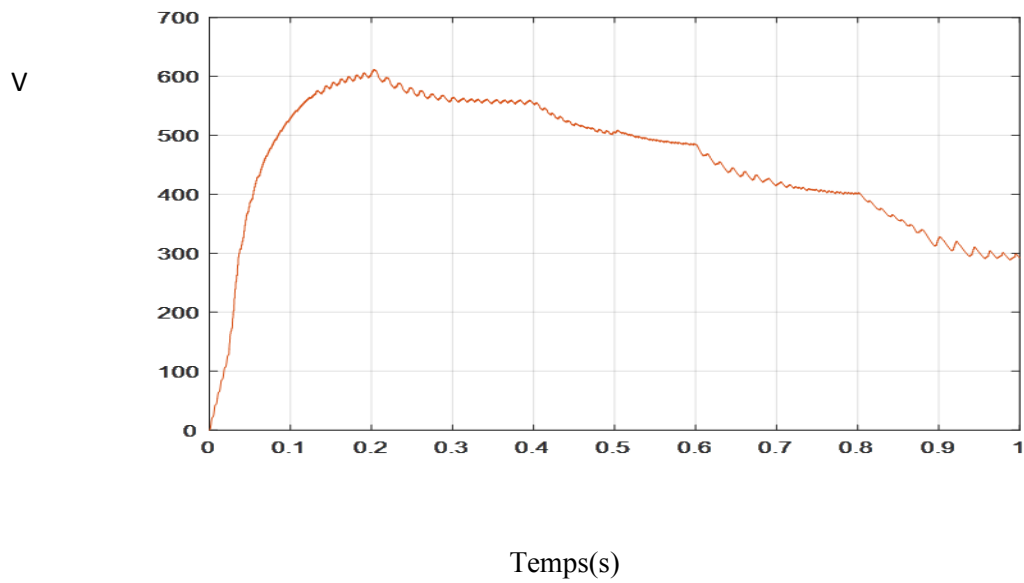


Figure 2.22 : Résultats de simulation des courbes de tension de charge.

L'énergie solaire des énergies renouvelable les plus importante, Aujourd'hui, un modèle de générateur photovoltaïque et modélisé sous Matlab/Simulink, résultat sans observé La figure (2.23) montre le rendement de l'hacheur Boost pour l'éclairement variable, la figure (2.24) montre les courbes de puissance (idéal, photovoltaïque et sortie) pour l'éclairement constant, ainsi la figure (2.25) montre les courbes de puissance (idéile, photovoltaïque et sortie) pour l'éclairement variable. Pour un système PV sans régulateur MPPT, nous remarquons que la puissance de sortie diverge par rapport à la puissance idéaile pour l'éclairement constant ou variable.

La figure (2.26) montre les résultats de simulation du rendement du hacheur pour l'éclairement variable, la figure (2.27) montre les résultats de simulation de la puissance (idéal, photovoltaïque et sortie) pour un éclairement constant, ainsi la figure (2.28) montre les résultats de simulation de la puissance (idéal, photovoltaïque et sortie) pour éclairement varriable.

Pour un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT « perturbation et obeservation », nous remarquons que la puissance de sortie suit la consinge appliqueé au régulation, cette consinge noté Pidéal, pour les deux cas d'éclairement constant ou variable.

6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons modélisé l'ensemble de la chaine de conversion sous MATLAB et l'algorithme de recherche du point de puissance maximale (MPPT) a été simulé. Il est force le générateur GPV à travailler à son point de puissance maximale (MPP) pour une amélioration globale du rendement du système de conversion électrique.



Chapitre 03 :

Simulation du système photovoltaïque

Connectes au réseau



3.1. Introduction :

La consommation énergétique mondiale augmente sans cesse associée à une réduction des ressources énergétiques fossiles. Avec l'ouverture des marchés de l'énergie électrique et les incitations étatiques, les productions décentralisées basées sur les énergies renouvelables se développent dans tous les pays. Parmi les sources renouvelables, les éoliennes et les systèmes photovoltaïques (PV) Présentent de grands intérêts.

3.2. Système connecté au réseau :

Les systèmes connectés au réseau (figure 3.2) ou « grid connected » proposées dans cette étude, c'est-à-dire le système relié en parallèle au réseau électrique public, et conçu pour injecter dans le réseau l'énergie électrique produite par les champs PV. Dans Les systèmes reliés au réseau, les consommateurs standards de puissance sont connectés au générateur via un onduleur (convertisseur CC-CA) [17]. La tâche de l'onduleur est de transformer le courant continu sortant des panneaux en courant alternatif.

Dans les systèmes connectés au réseau, c'est l'onduleur qui remplace les batteries, dans ce cas c'est l'élément de base dans ces types des systèmes.

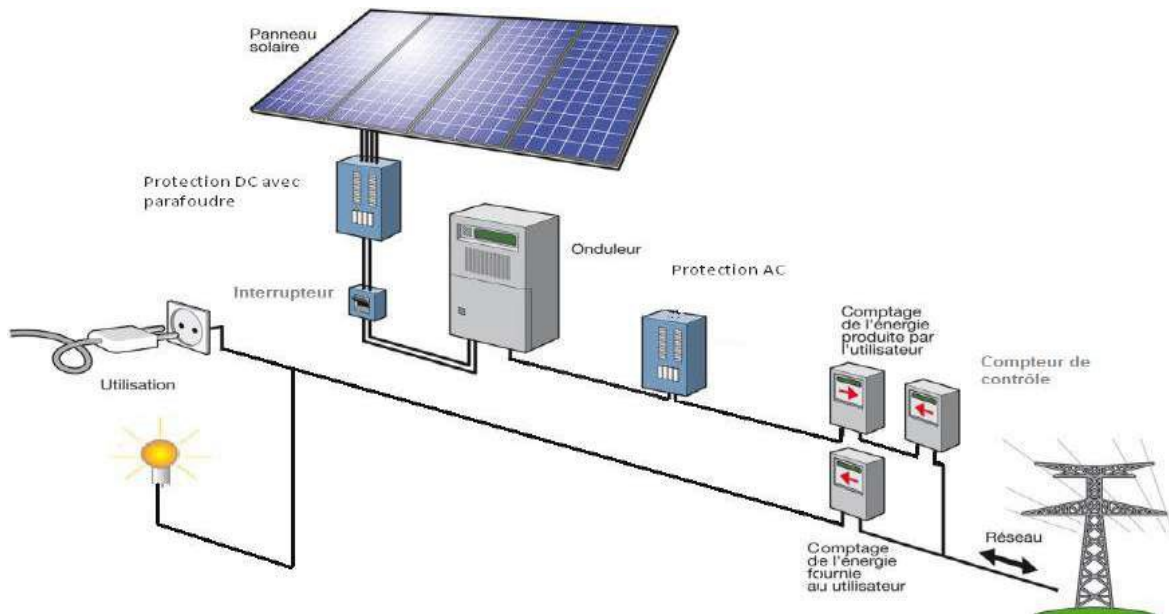


Figure 3.1 : Structure d'un système photovoltaïque connecté au réseau [18].

3.3. Avantages et inconvénients des systèmes connectés au réseau :**a- Avantages :**

- Les systèmes connectés au réseau n'ont pas besoin de stockage d'énergie et éliminent donc le maillon le plus problématique (et plus chère) d'une installation autonome. C'est en fait le réseau dans son ensemble qui sert de réservoir d'énergie.

- Pas de gaspillage - tout excédent est livré au réseau.

- On n'est pas obligé de calculer méticuleusement ses besoins en électricité, et de prévoir des niveaux de demande exceptionnellement très élevées, même si très rares.

- On peut satisfaire à une partie ou à la totalité de ses besoins.

b - Inconvénients :

Les systèmes connectés au réseau permettent aux panneaux ou module photovoltaïques de faire une percée dans nos vies, cependant.

- La consommation risque de redevenir relativement "invisible", et on pourrait retomber dans le piège de la consommation irréfléchie.

- Les contraintes électriques imposées par les sociétés d'électricité peuvent être rigoureuses, et les onduleurs synchrones doivent répondre aux exigences techniques des compagnies de production et de transport d'énergie.

- Mais le plus important, c'est la question du prix payé pour les kWh livrés au réseau ... Le coût actuel de la technologie PV est beaucoup plus élevé que celui de l'énergie traditionnelle. Il est difficile de dire combien de temps il faudra pour atteindre un niveau de prix où le kWh photovoltaïque sera compétitif avec le kWh conventionnel, issu de combustibles fossiles (pétrole, gaz ou charbon) ou fissile (nucléaire) [19].

3.4 La connexion via deux étages (DC/DC et DC/AC) :

Les convertisseurs de puissance hacheur et onduleur sont implantés pour ces raisons :

- Forcer le générateur photovoltaïque à fonctionner au point de puissance maximale.
- Produire le courant de sortie sinusoïdale et en phase avec la tension du réseau.
- Conversion de puissance avec un rendement η élevé.

3.5 Classifications des Centrales Photovoltaïques Connectées au Réseau :

Une première classification des (CPCR) en fonction de leur taille peut être faite de la manière suivante :

3.5.1 Centrales de petite taille ($P_w=1$ à 10 KW) :

Pour des applications sur les toits de maisons individuelles ou d'institutions publiques telles que les écoles, parkings, ... Elles se connectent au réseau basse tension [20].

3.5.2 Centrales de taille moyenne ($P_w=10$ à 100 KW) :

Ce type de système peut se trouver installé et intégré sur un édifice, sur un toit ou une façade. Il peut être connecté à la basse ou à la moyenne tension du réseau de distribution électrique selon sa taille [20].

3.5.3 Centrales de grande taille ($P_w=500$ KW) :

Ce sont des systèmes centralisés et sont des propriétés de compagnies d'électricité. On peut également classer ces systèmes selon qu'ils soient munis de batteries de stockage ou non [20].

3.6 Structure générale d'un système photovoltaïque

Il existe deux types de structures de système photovoltaïque [21] :

Les systèmes à connexion directe au réseau : cette installation est constituée d'un générateur photovoltaïque connecté directement, à l'aide d'un onduleur au réseau électrique.

Le système à bus continu intermédiaire : Le générateur photovoltaïque est connecté par l'intermédiaire d'un convertisseur continu-continu. Un onduleur délivre une tension modulée, celle-

ci est filtrée pour réduire le taux d'harmonique, on obtient alors en sortie de ce dispositif une tension utilisable pouvant être injectée dans le réseau.

Il existe plusieurs architectures pour les dispositifs permettant de convertir la tension continue issue du générateur photovoltaïque en une tension sinusoïdale utilisable (230V).

Dans la suite de cette partie, différents montages seront décrits, en précisant leurs avantages et inconvénients.

3.7 Systèmes PV connecté directement au réseau :

3.7.1 Structure à convertisseur unique :

Le dispositif présenté par la Figure 3.2 est le plus simple, car il comporte le moins de composants possibles. On associe plusieurs modules photovoltaïques en série pour obtenir une tension continue suffisamment grande. Cette solution est une alternative à un hacheur élévateur de tension. La tension continue obtenue alimente directement un onduleur central, qui fournit la tension sinusoïdale désirée (230 V). Il pourrait être avantageux d'insérer un transformateur pour isoler le système photovoltaïque du réseau. L'inconvénient majeur de ce dispositif est l'arrêt total et immédiat de la production d'énergie lors d'un problème survenant en amont de l'onduleur. De plus, le contrôle du point de puissance maximum de la puissance est voisin, car toutes les cellules ne délivrent pas le même courant en raison de leurs différences de structure interne et d'ensoleillement [21].

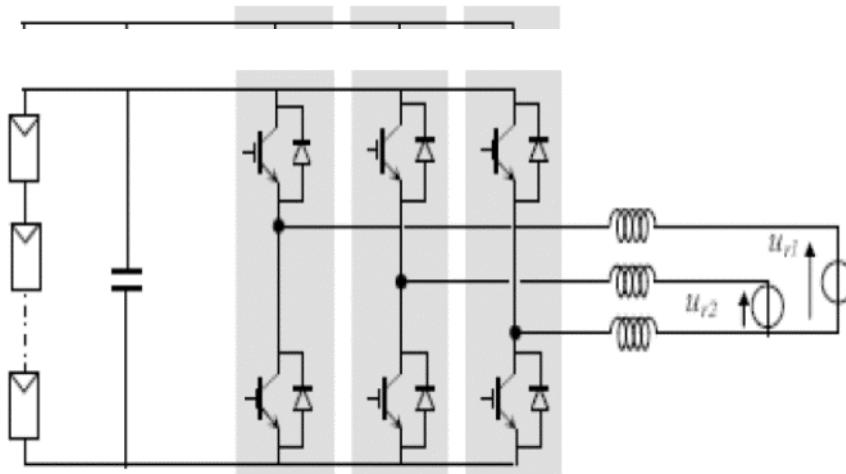


Figure 3.2 : Plusieurs modules PV en série vers un seul onduleur [21].

3.7.2 Structure avec bus à basse tension alternative :

La figure 3.3 montre un onduleur associé à un circuit de commande qui est directement connecté au module photovoltaïque. La tension en sortie de ce dernier est transformée en une tension alternative de fréquence 50 Hz. Cette tension est transportée grâce à un bus alternatif (220 V – 50 Hz, exemple du schéma) vers un transformateur central qui l'élève au niveau désiré.

Le faible niveau de tension dans le bus est l'avantage majeur de ce type de montage, puisqu'il assure la sécurité des personnels. Cependant, la distance entre le transformateur et le module doit être faible à cause du courant important qui traverse les câbles et qui génère des pertes joules. Il y a un compromis à faire au niveau de la tension du bus alternatif. D'une part, il faut que sa valeur crête soit inférieure à celle délivrée par les modules (même avec un faible ensoleillement). D'autre part, une tension faible dans ce bus diminue le rendement [22].

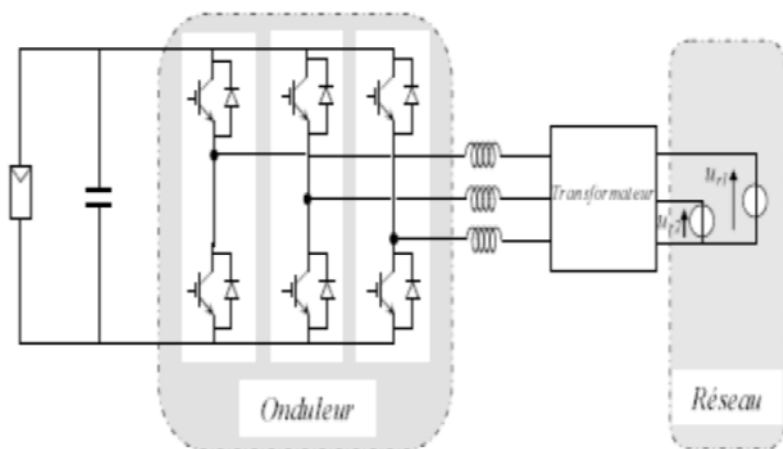


Figure 3.3 : Bus à basse tension alternative [21].

3.8 Problème de connexion des systèmes photovoltaïques au réseau :

Le débrogage de système photovoltaïque si le réseau présente une défaillance (le problème d'islanding) [22].

- La protection contre la foudre.
- La qualité de puissance fournie au réseau.

-Les effets des systèmes multiples sur une partie du réseau, en particulier monophasé non équilibré.

-Le dosage faible des flux de puissance.

-Risques techniques et financiers.

3.9 Perturbations des réseaux électriques :

L'énergie électrique est fournie sous forme de tension constituant un système sinusoïdal triphasé dont les paramètres caractéristiques sont les suivants [22] :

- ✎ La fréquence
- ✎ L'amplitude des trois tensions
- ✎ La forme d'onde qui doit être la plus proche possible d'une sinusoïde.
- ✎ La symétrie du système triphasé (égalité des modules des trois tensions, leur déphasage et l'ordre de succession des phases).

3.10. Système photovoltaïque connecté au réseau proposé :

Le système que nous proposons pour l'étude et la simulation est schématisé par la Figure (3.4)

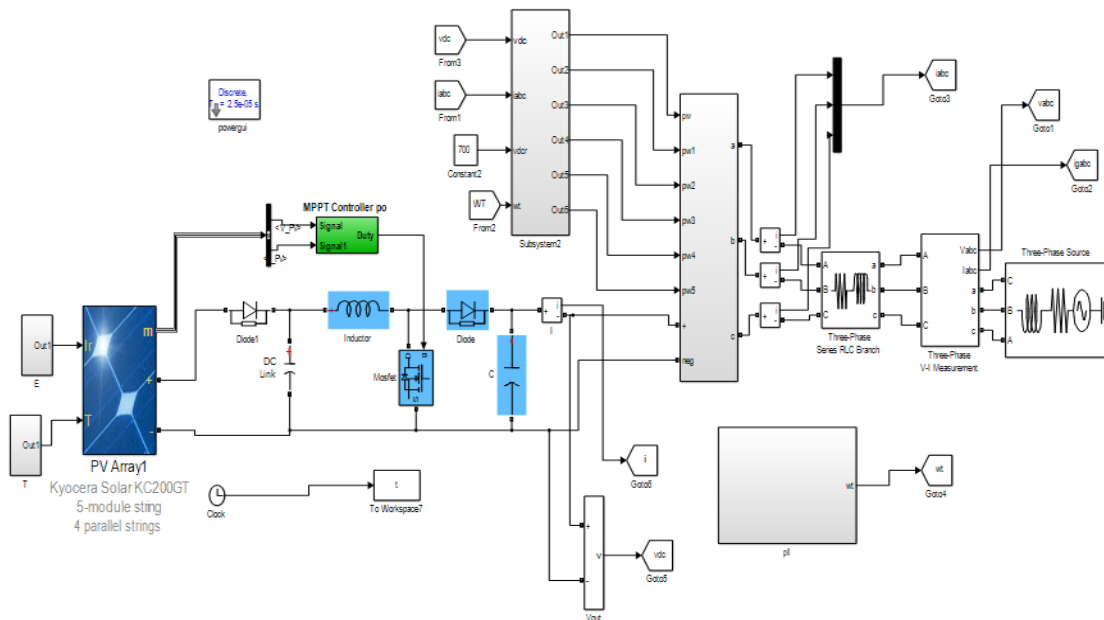


Figure 3.4 : Schéma de simulation d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique.

3.11 La charge :

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

3.11.1 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 :

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

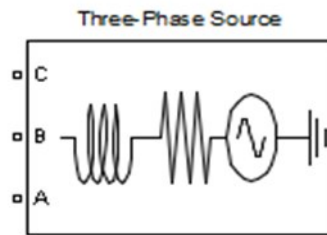


Figure 3.5 Schéma de réseau électrique.

3.11.2. 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]

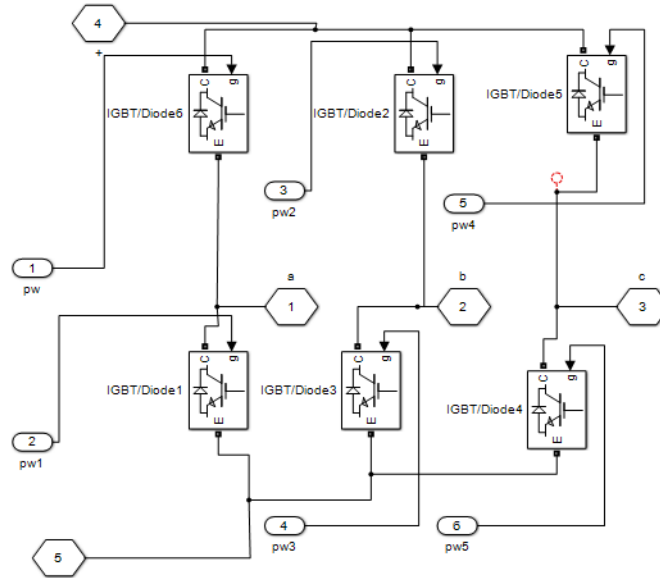


Figure 3.6 Schéma de L'onduleur.

3.11.3. Commande par Hystérésis du L'onduleur à MLI de Tension :

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

3.11.4. 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. 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.

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 .

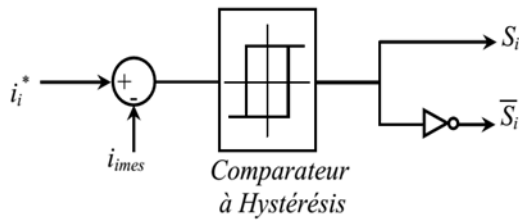


Figure 3.7 Principe de contrôle du courant par hystérésis.

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 :

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

3.12 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.

3.12.1 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

3.12.2 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.

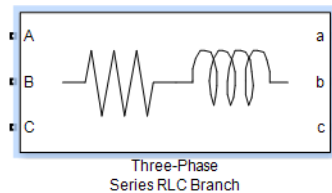


Figure 3.8 : Le schéma block d'un filtre RL sur Matlab Simulink.

3.12.3. Résultat :

Nous avons étudié l'influence des paramètres extérieurs, l'éclairage et la température sur les caractéristiques (courant-tension, puissance-tension), Les courbes de rayonnement de tempères donnée à la **Figure. 3.9-10**,

Les figures **Figure. 3.12-13-16**, représentent les courbes de courant, de tension et de puissance de la MPPT

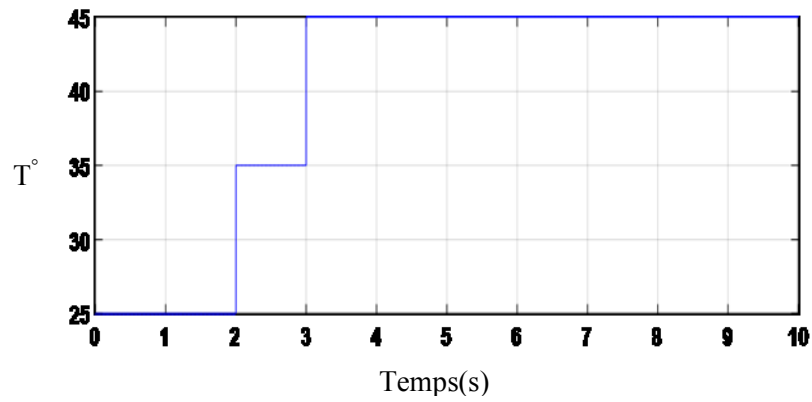


Figure 3.9: variation de température.

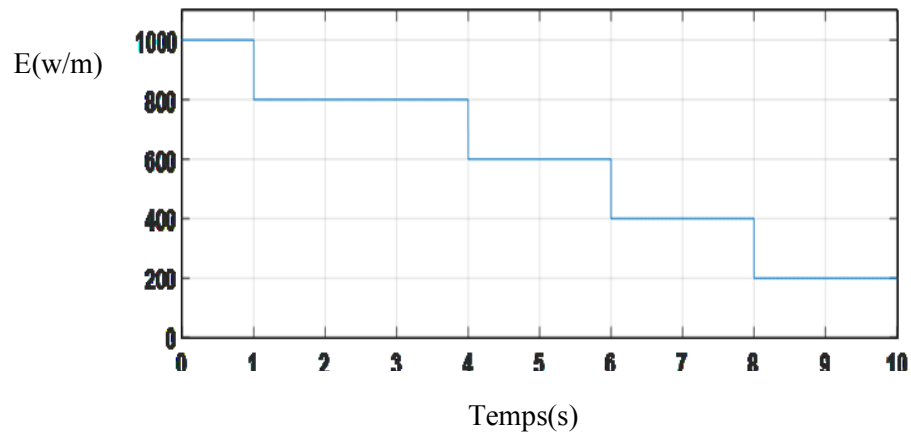


Figure 3.10: variation de l'éclairement.

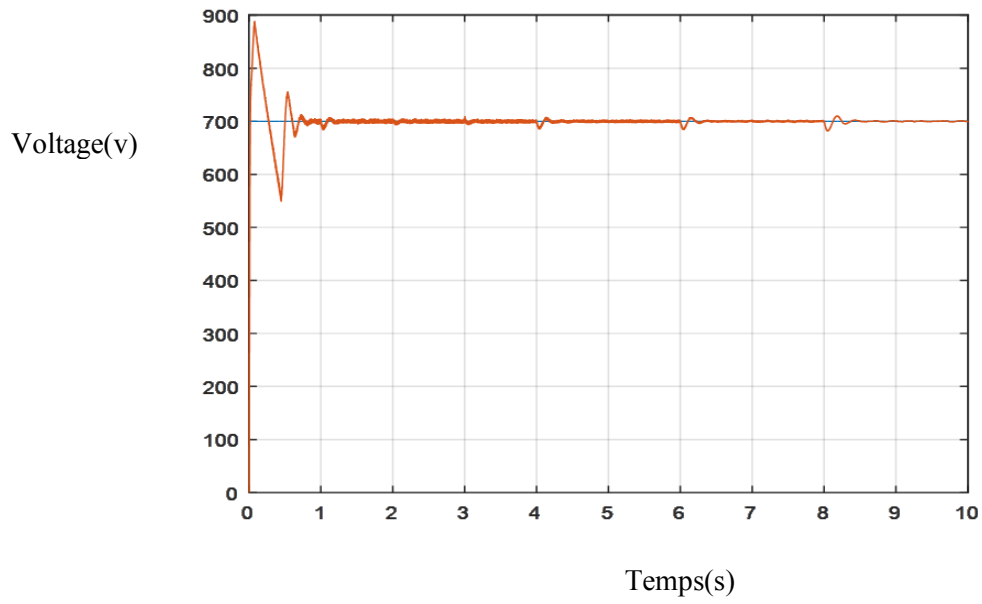


Figure 3.11: la tension bus continue.

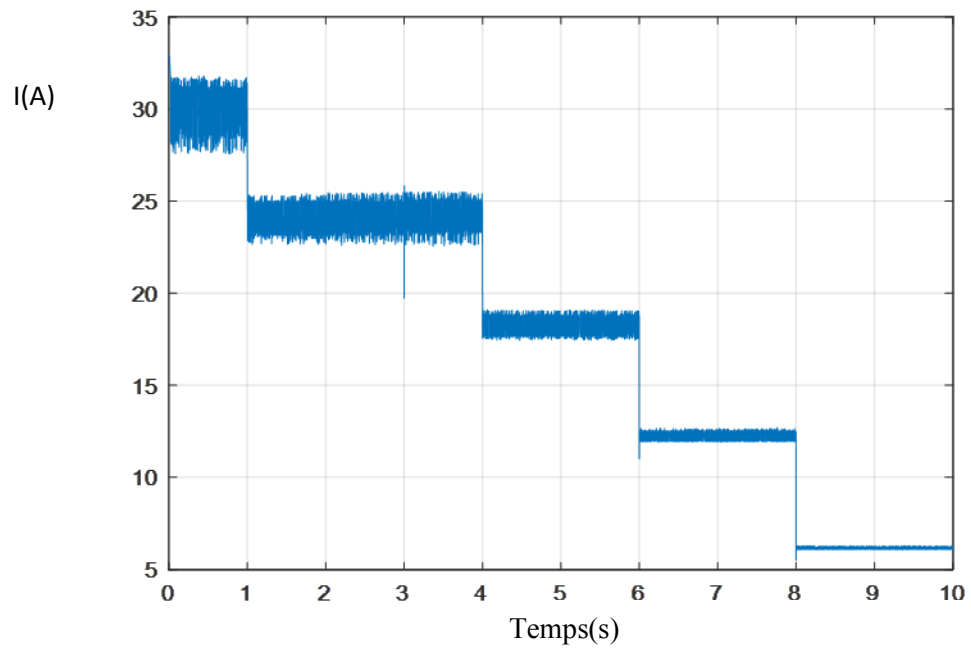


Figure 3.12: courant de PV.

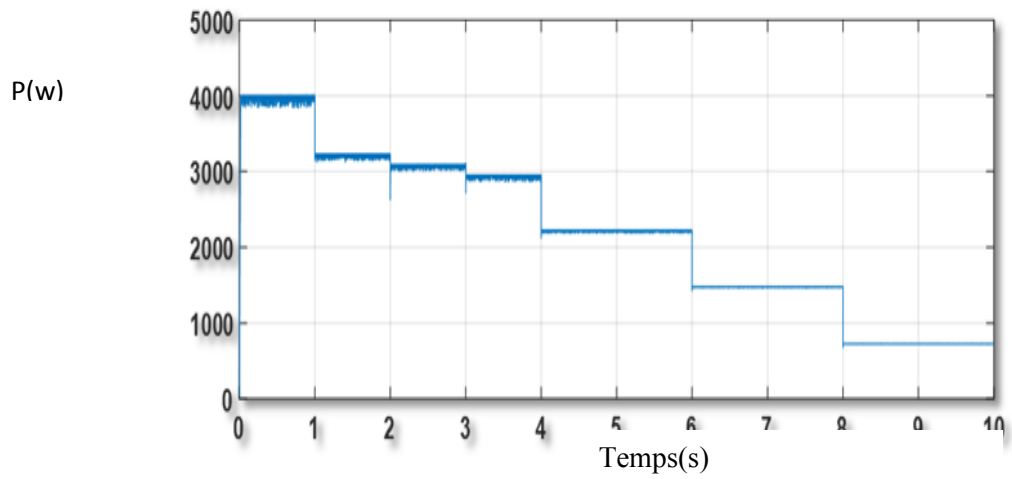


Figure 3.13 : courbe de puissance de PV.

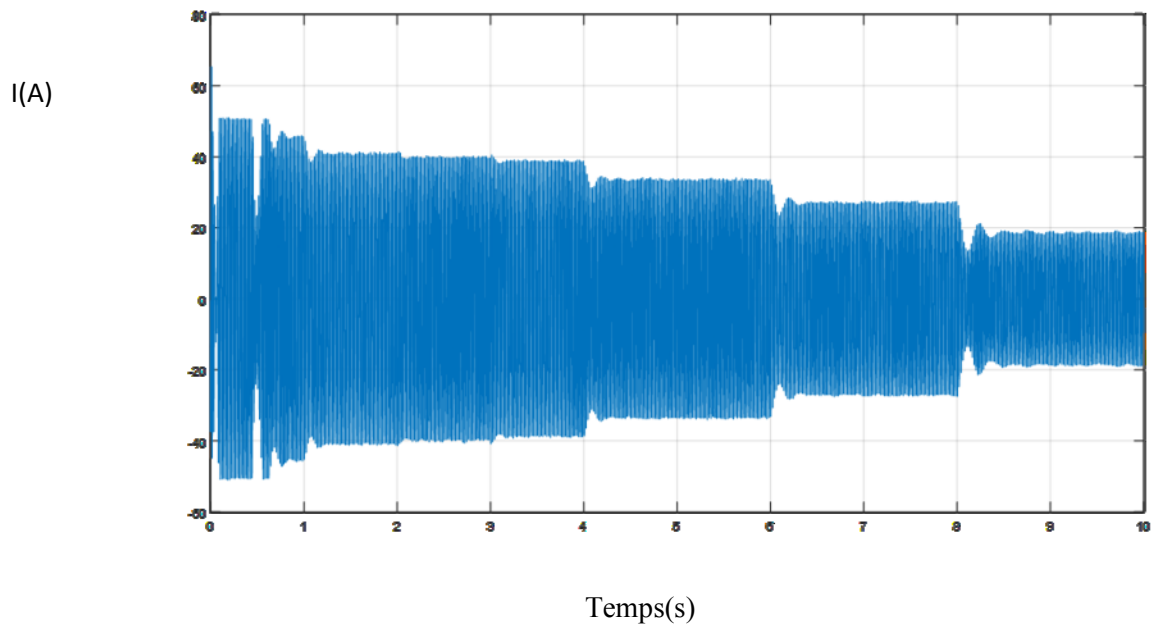


Figure 3.14: courbe de courant de réseau.

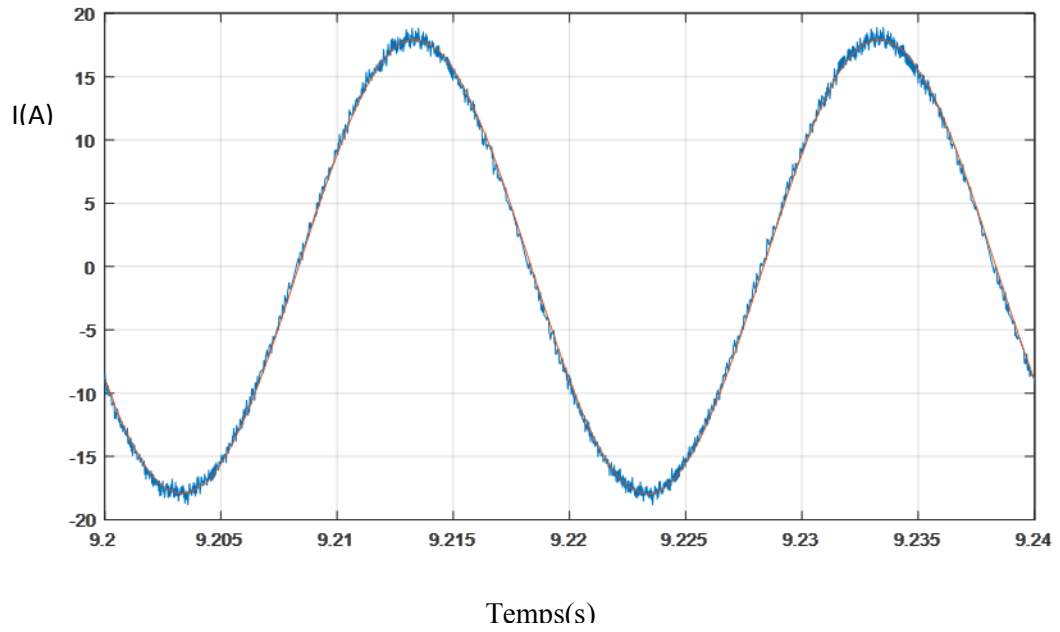


Figure 3.15: zoom courbe de courant I_a avec la reffrance.

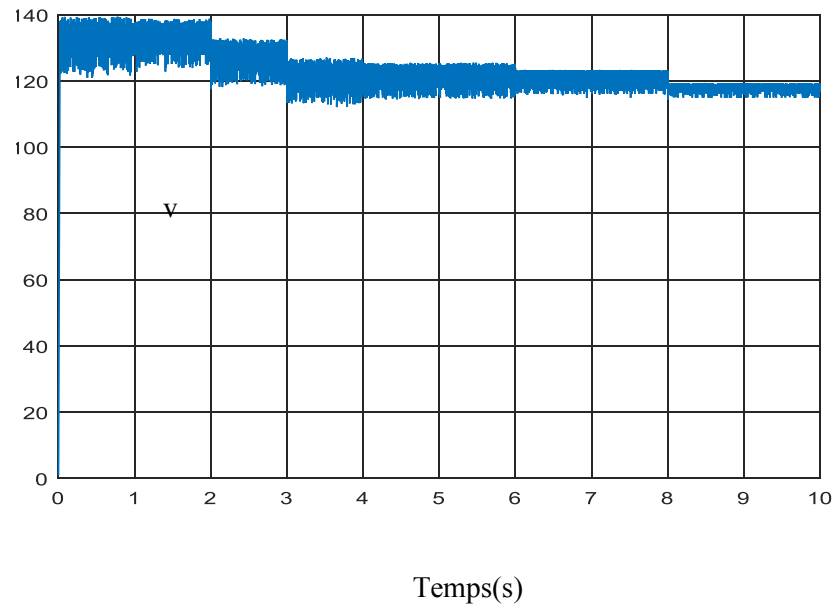


Figure 3.16: courbe de tension de GPV.

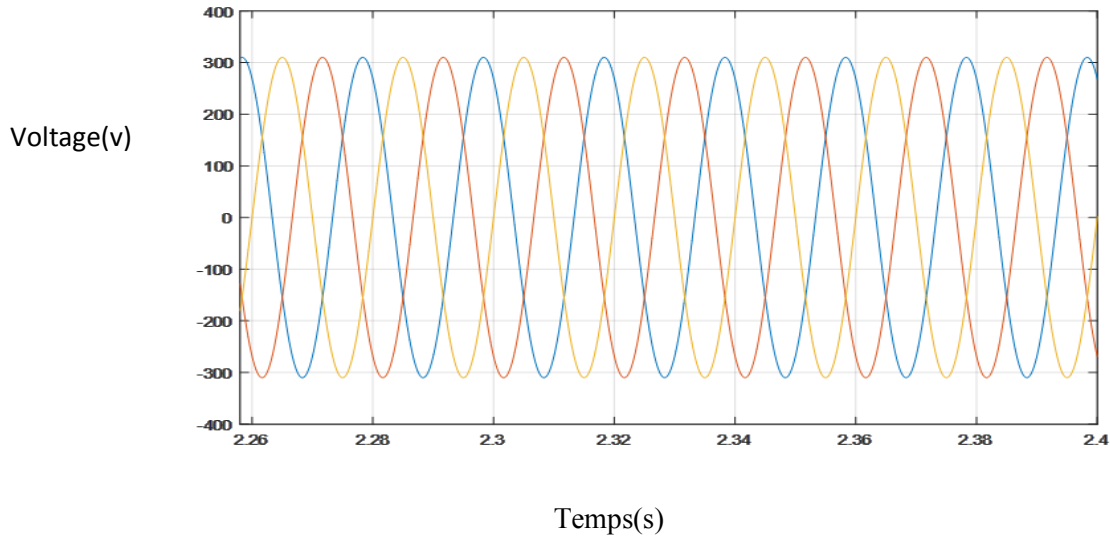


Figure 3.17 zoom courbe de tension Vabc de réseau.

Le résultat de la simulation explique que les courants de référence changent dynamiquement avec différents température et éclairement, pour règle la tension Vdc a traversé les valeurs du courant de l'onduleur par commande on hystérésis.

La PV injecté la puissance aux réseaux : transporter la puissance active vers le réseau et pas de transfert de la puissance réactive.

Le contrôle de la tension continue est essentiel pour les onduleurs, car il contribue à réduire la capacité DC et améliorer la fiabilité du système ainsi que les performances MPPT.

le schéma de contrôle par régulateur hysteresis de la tension continue pour un onduleur deux niveaux triphasés connectés au réseau est proposé, tandis que le courant alternatif est également régulé par contrôle de référence. Le schéma proposé offre à la fois de bonnes performances dynamiques et stables. La dynamique la réponse est particulièrement excellente. La tension continue est ajustée aussi vite que possible.

3.13. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les systèmes PV couplé au réseau électrique. L'étude et la simulation fait dans des environnements logiciels MATLAB/SIMULINK. Le comportement dynamique du système est étudié, montrant l'interaction entre différents paramètres de système photovoltaïque PV connecté au réseau électrique. La resulta de simulation a montré l'échange de puissance entre différents composants du système pour différents modes d'opération.



Conclusion générale



Conclusion générale

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

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.

la commande de la tension continue de système PV par un onduleur triphasé a deux niveaux connectés au réseau fournit une bonne dynamique. la réponse est particulièrement excellente et stables. La tension continue est ajusté aussi vite que possible.

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



Références



Références

- [1] : M.ZIDANE, M. MEZIANI « Etude d'une installation photovoltaïque en vue d'un pompage solaire 6M3/JOUR» Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique Université de Bejaia, 2011.
- [2] : D.BOUKHERS, « Optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au pompage», Mémoire de Magister, Université de Constantine, 2007.
- [3] : B.ESTIBALS, « Contribution à l'amélioration des chaînes de conversion photovoltaïques par l'introduction d'architectures distribuées», Diplôme de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, 2010.
- [4] Othman ben seddik. fathidjaloud. Étude et optimisation d'un Sys PV. Mémoire de Master eth. Université de Ouargla 2012.
- [5] SLAMA fateh. Modelisation d'un Sys multi générateurs PV interconnectes au réseau électrique. Magister en eth. Ufasetif.
- [6] Akassewa Tchapo SINGO, Système d'alimentation photovoltaïque avec .stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome, Université Henri Poincaré, Nancy-I, 2010.
- [7] A, Labouret. M, Viloz. « Energie solaire photovoltaïque » le manuel du professionnel.3eme édition Dunod, 2006
- [8] Djarallah, Mohamed, "CONTRIBUTION A L'ETUDE DES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES RESIDENTIELS COUPLES AU RESEAU ELECTRIQUE," UNIVERSITE DE BATNA Thèse de Doctorat en Science, 2008.
- [9] B. Mohammed, "Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque autonome," Centre Universitaire De Bechar Mémoire de Magister, 2007-2008.
- [10] G.MedYacine, D.belkacem, D.akram, « modélisation et commende d'un système PV connecte au réseau électrique utilisant DSTATCOM. » , Mémoire Master, Université KasdiMerbah Ouargla,2020

- [11] 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.
- [12] K. Ouabdelkader, H. Mersl, « Modélisation et Contrôle d'un Système Photovoltaïque Connecté au Réseau », Mémoire Master en Electrotechnique, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2015.
- [13] AbbassenL., « Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque », Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2011.
- [14] S. Bellakehal, « Conception et commande des machines amants à permanents dédiées aux énergies renouvelables », Thèse doctorat, Université de Constantine, 2010.
- [15] 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.
- [16] W. Bensaci'' Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une Commande MPPT '' Mémoire de Master Université Kasdi Merbah-Ouargla 2011/2012.
- [17] A. Meflah '' Modélisation et commande d'une chaîne de pompage photovoltaïque Mémoire de Magister UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEM 2011.
- [18] https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fcolabinno.org%2Fpost%2Fpanneaux-photovoltaiques-RivedeGier&psig=AOvVaw1hp3qYonPCc_nKSJ2dAJw&ust=1618671835521000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCJCg592Eg_ACFQAAAAAdAAAAABAD
- [19] [https : linfo-solaire. frlblog/culture-renouvelable/ systeme-photovoltaïque-classique-raccorde-au-reseau.html](https://linfo-solaire.fr/blog/culture-renouvelable/systeme-photovoltaïque-classique-raccorde-au-reseau.html)
- [20] Tkouti N, "Optimisation des Systèmes Photovoltaïques Connectés au Réseau par la Logique Floue," Université Mohamed Khider-Biskra, 2004
- [21] 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.
- [22] Y. Pankow, « Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension ». Thèse de doctorat de l'école National supérieure d'Art et Métiers, décembre 2004