



N° d'ordre:
N° de série:



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

Faculté de Sciences et de La Technologies Filière: Genie Electrique
Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

En: Machines Electriques

Par: Mahboub Abd Elhakim

Thème

**Commande par mode glissant d'un photovoltaïques
connecté au réseau**

Devant le jury composé de:

Mr. KAID IMAD EDDINE	Dr	Président
Mr. TOMI DJAFER	Dr	Examineur
Mr. SERHOUD Hicham	Dr	Encadreur

2023-2024



REMERCIEMENT

Je remercie Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné de la volonté, du courage et un leadership fort. Je remercie également ma mère et mon épouse qui m'ont encouragé à réaliser cette thèse.

Je tiens à exprimer ma gratitude à mon superviseur, le Dr Hicham Sarhoud, pour sa patience et ses précieux conseils.

Merci à nos parents pour leur soutien.

*Nous tenons également à remercier tous nos amis
Qui m'a aidé directement ou indirectement à réaliser ce travail*

DÉDICACE

Après avoir remercié Dieu Tout-Puissant de nous avoir aidé à conduire

Bonne chance dans cette humble recherche, je remercie :

dont je porte le nom avec fierté

Je demande à Dieu de prolonger ta vie

*De voir les fruits récoltés après une longue attente, et vos paroles resteront une étoile qui
me guide aujourd'hui et à travers le monde et pour toujours, mon cher père Messaoud,
que Dieu ait pitié de lui.*

A mon ange dans la vie...dans le sens de l'amour, de la tendresse et de la sincérité...

Au sourire de la vie et au secret de l'existence pour soi

Quel est le secret de ma réussite et de la douceur de mon traitement chirurgical ?

À mes chers amis, ma mère bien-aimée, « Tita Forkia ».

Aux cœurs bons et purs et aux âmes innocentes dans les vents de ma vie :

*À ma femme, Saida, et à mes enfants, Rim Al-Wejdane, Ahmed Raid, Radjiat Al-
Rahman, Mohamed Radjeh et Rital el-Qur'an.*

À tous mes frères, sœurs, amis et collègues.

Mahboub Abd Elhakim

SOMMAIRE

Sommaire

Remerciements	
Dédicace	
Sommaire.....	II
Liste des figures.....	V
Liste de tableau	VII
Liste de symboles.....	VIII
Résumé.....	X
Introduction générale.....	1
Chapitre 01: Généralités sur les systèmes photovoltaïques.....	4
I.1. Introduction :.....	4
I.2 Historique :.....	4
I.3. Rayonnement solaire:.....	5
I.4. Potentiel solaire en Algérie :.....	6
I.5.Générateur PV:.....	7
I.6.Modélisation d'une cellule PV:.....	8
I.7.Miseen parallèle / série :.....	10
I.8.Simulation du générateur PV	11
I.9.Conclusion:.....	15
Chapitre 02 :Technique de recherche de MPPT.....	17
II.1 Introduction:.....	17
II.2 Convertisseur DC/DC:.....	17
II.3. Généralité MPPT:	18
II.4 Classification Des Commandes MPPT.....	20
II.4.1Classification Des Commandes MPPT Selon Les Paramètres D'entrée:	20
A - Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS:.....	20
B - Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur : .	20
II.4.2Classification Des Commandes MPPT Selon Le Type De Recherche:	21
A- MPPT Indirect:.....	21
B- MPPT Direct :	21
II.5.les différents algorithmes de contrôle:	22

II.5.1-Méthode de perturbation et d'observation(P&O):.....	22
II.5.2Algorithme d'incrémentation de l'inductance:.....	24
II.6.Commande avec correcteur (PI):	27
II.7. Simulation des méthodes MPPT :.....	28
II.7.1. Bloc du système avec MPPT :.....	29
II.7.2.Simulation Méthode de perturbe et observe (P&O) :.....	29
II.7.3.Simulation Algorithme d'incrémentation de l'inductance:	33
II.8. Résultat des simulations :.....	33
Chapitre 03 : Commande par mode glissant d'un système photovoltaïques connecter ou Réseau..	38
III.1. Introduction :	38
III.2. Système connecté au réseau :	38
III.3. Avantages et inconvénients des systèmes connectés au réseau :.....	39
a- Avantages :	39
b - Inconvénients :	39
III.4. La connexion via deux étages (DC/DC et DC/AC) :.....	39
III.5 Classifications des Centrales Photovoltaïques Connectées au Réseau :.....	40
III.5.1 Centrales de petite taille ($P_w=1$ à 10 KW) :	40
III.5.2 Centrales de taille moyenne ($P_w=10$ à 100 KW) :	40
III.5.3 Centrales de grande taille (P_w500 KW) :	40
III.6 Structure générale d'un système photovoltaïque.....	40
III.7 Systèmes PV connecté directement au réseau :.....	40
III.7.1 Structure à convertisseur unique :.....	40
III.7.2 Structure avec bus à basse tension alternative :.....	41
III.8 .Problème de connexion des systèmes photovoltaïques au réseau :	42
III.9. Perturbations des réseaux électriques :	42
III.10. Système photovoltaïque connecté au réseau proposé :.....	43
III.11.La charge :	43
III.11.1 Modélisation de l'interface réseaux :	43
III.11.2. Convertisseur continu-Alternatif (DC-AC)	44
III.11.3. Commande par Hystérésis du L'onduleur à MLI de Tension.....	45
III.11.4. Contrôle du courant :	45
III.12. Boucle (PLL):	46
III.13.Filtre :	46

III.14.Commande par mode glissant d'un système photovoltaïques connecter ou Réseau :.....	47
III.14.1.Contrôle en mode coulissant de l'onduleur triphasé:	47
III.14.2.Application à l'onduleur	48
III.15.Résultat des simulations :	51
III.16.Conclusion	57
Conclusion générale:	59
Références	61

LISTE DES FIGURE

Chapiter01 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques	page
Figure I.1 : Normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil, notion de la convention AM	6
Figure I.2 : Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011). [4].	7
Figure (1.3): Schéma électrique équivalent d'une cellule solaire idéale	9
Figure(1.4): Schéma électrique équivalent d'une cellule solaire réelle	9
Figure(1.5): Schéma de simulation du module PV de type «KC200GT»	12
Figure (1.6) : Effet de l'éclairement sur la caractéristique Courant-Tension	12
Figure (1.7) : Effet de l'éclairement sur la caractéristique Puissance-Tension	13
Figure(1.8) : Effet de la température sur la caractéristique Courant-Tension	14
Figure (1.9) : Effet de la température sur la caractéristique Puissance-Tension	14
Figure(1.10):Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_s cellules en série	15
Chapiter02 : Technique de recherche de MPPT	
Figure II.1 : Convertisseur DC/DC [20]	17
Figure II.2 : Chaîne de conversion d'énergie solaire	19
Figure II.3 : Principe de la commande MPPT.	19
Figure II.4 : La courbe de puissance-Tension de panneau solaire	22
Figure II.5 : Organigramme de la méthode de perturbation et d'observation	23
Figure II.6: Trajectoire par Incrémentation de Conductance	25
Figure (II.7):Algorithme d'incrémentement du conductance	26
Figure II.8 : Zones de travail	27
Figure.II.9 : Zones de travail	28
Figure.II.10 : Schéma de simulation de l'algorithme de perturbation et de l'observation (P et O).	28
Figure.II.11 : Schématique de SIMULINK du générateur photovoltaïque avec MPPT.	29
Figure.II.12 : Variation de l'éclairement.	30
Figure II.13 : Variation de la température	30
Figure II.14 : Résultats de simulation des courbes de puissance	31
Figure II.15 : Résultats de simulation du courant.	31
Figure II.16 : Résultats de simulation rapport cyclique (d).	32
Figure II.17 : Résultats de simulation des courbes de tension de PV	32
Figure II.18 : Résultats de simulation des courbes de tension de charge.	33
Figure (II.19) :Variation de éclairement	34
Figure (II.20) :Variation de la température	34
Figure (II.21) : Tension du PV	35
Figure (II.22) : Courant de sortie PV	35
Figure (II.23) : Puissance d'un système PV.	36
Chapiter03 : Commande par mode glissant d'un système photovoltaïques connecter ou Réseau	
Figure III.1 : Schéma d'un système connecté au réseau	38
Figure III.2 : Plusieurs modules PV en série vers un seul onduleur	41

Figure III.3: Bus à basse tension alternative	42
Figure III.4 : Schéma de simulation d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique.	43
Figure III.5 : Schéma de réseau électrique.	44
Figure III.6 : Schéma de L'onduleur	44
Figure III.7: Principe de contrôle du courant par hystérésis	45
Figure III.8 : Le schéma block d'un filtre RL sur Matlab -Simulink.	46
Figure III.9. Diagramme de stratégie de contrôle	47
Figure III.10. Schéma de simulation de la commande par mode glissant de l'onduleur de tension	50
Figure III-11: Signale de température	51
Figure III-12: Signale d'irradiation	51
Figure III-13: Tension et courant du PV	52
Figure III-14 Tension aux bornes du condensateur et sa référence	52
Figure III-15 Puissance générée par PV	53
Figure III-16: Zoom courant à la sortie de l'onduleur	54
Figure III-17: Caractéristique de la tension et de la puissance du PV	55
Figure III-18: Caractéristique de la puissance active P et de la puissance réactive Q injecter dans le réseau.	55
Figure III-19: Zoom phase de tension du réseau et courant	56

LISTE DES TABLEAUX

Les Tableaus	page
Tableau (I.1): Caractéristiques électriques du module PV «KC200GT»	11
Tableau(II.1): Les paramètres du convertisseur	31

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 Curent).

GPV : Générateur photovoltaïque

PPM : Le point de puissance maximale

DC-DC : Convertisseur continu/continu

CPCR : Centrales Photovoltaïques Connectées au Réseau.

SMC_S : Commande par mode glissant

RÉSUMÉ

Résumé :

Ce mémoire met en œuvre par simulation un contrôleur mode glissant autour de l'onduleur connecté au réseau pour contrôler l'injection de courants qui conduisent à contrôler les puissances active et réactive demandées par le réseau. 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 et IC). On raccorde ce système à un réseau triphasé par un onduleur de tension commandé par mode glissant pour régler la tension de bus continu. Le régulateur mode glissant est en effet capable de maintenir la tension du réseau dans les différents régimes de fonctionnement.

Mots clés : mode glissant ; générateur photovoltaïque, Convertisseur DC/DC, MPPT, onduleur. PLL, connecté aux réseaux

الملخص :

يتم تنفيذ هذه الرسالة عن طريق محاكاة استخدام الطاقة الشمسية المستخرجة من الألواح الكهروضوئية المتصلة بالشبكة الكهربائية عبر المحولات. الجزء الأول مخصص للألواح الكهروضوئية وتشغيلها وخصائصها ونمذجتها مع مراعاة تركيب محول التعزيز والتحكم ف (P&O) MPPT الخاص به، وهذا النظام متصل بشبكة ثلاثية الطور بجهد كهربائي. العاكس يتحكم فيه لضبط الجهد المستمر باستعمال منظم انزلاقي قادر بالفعل على الحفاظ على جهد الشبكة في أنظمة التشغيل المختلفة.

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

Abstract:

This memory implements by simulation of a sliding mode controller around the inverter connected to the network to control the injected currents which lead to controlling the active and reactive powers requested by the network. The first part is dedicated to photovoltaic panels, their operations, their characteristics and their modeling, taking into account the synthesis of the boost converter and its MPPT control (P&O). This system is connected to a three-phase network by a voltage inverter controlled by sliding mode to adjust the continuous voltage. The sliding mode regulator is in fact capable of maintaining the network voltage in the different operating regimes.

keywords, sliding controller ; photovoltaic generator; boost; MPPT, inverter. PLL, Grid connected systems

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Avec les inquiétudes croissantes concernant le réchauffement climatique et plus encore depuis la dernière flambée des prix du pétrole qui va cesser d'augmenter, les énergies renouvelables, longtemps considérées comme un cours complémentaire utile.

Aujourd'hui, le pétrole et le gaz sont encore relativement bon marché. Avec la rareté des matières premières, le prix des énergies fossiles va continuer à augmenter.

Dans le même temps, le prix des énergies renouvelables devrait diminution principalement due aux progrès technologiques et production en plus grandes séries. C'est pourquoi le système photovoltaïque dispose d'un grand avenir radieux dans les années à venir. Le réseau PV-

les systèmes connectés sont devenus l'un des plus importants applications de l'énergie solaire

Stratégie de contrôle différente pour le réseau triphasé connecté à Les modules photovoltaïques ont été largement traités dans le domaine spécialisé littérature ces dernières années . Néanmoins, une bonne intégration des moyens ou grands PV système dans le réseau peut donc nécessiter des fonctionnalité de l'onduleur, telle que le contrôle du réactif pouvoir. De plus, l'augmentation de la taille moyenne d'un PV système peut conduire à de nouvelles stratégies telles que l'élimination du Convertisseur DC-DC qui est généralement placé entre le PV générateur et onduleur, et déplacer le MPPT vers l'onduleur, ce qui conduit à une simplicité accrue, une efficacité globale et un réduction des coûts. Ces deux caractéristiques sont présentes dans les trois inverseur de phase présenté ici, avec l'ajout d'un Algorithme P&O MPPT.

Le présent article se concentre ensuite sur le problème de contrôler la production d'énergie photovoltaïque triphasée connectée au réseau systèmes. Les objectifs du contrôle sont de trois ordres :

- (i) global stabilité asymptotique de l'ensemble du système de contrôle en boucle fermée .
- (ii) réalisation du MPPT pour le générateur photovoltaïque.
- (iii) assurer une connexion au réseau avec un facteur de puissance (PF) unitaire.

Ces objectifs devraient être atteints malgré les conditions climatiques les variables (température et rayonnement) changent. A cette fin, le contrôleur non linéaire est développé à l'aide de la conception Lyapunov technique.

Une analyse théorique est développée pour montrer que le contrôleur atteint effectivement ses objectifs, ce qui est confirmé par simulation. L'article est organisé comme suit : la grille en trois phases Le système PV connecté est décrit et modélisé dans la section II. La section III est consacrée à la conception et à l'analyse du contrôleur. les performances de suivi du contrôleur sont illustrées par des chiffres simulation dans la section IV.[1]

- ✓ Dans le premier chapitre, nous présentons quelques généralités sur l'énergie solaire et les systèmes photovoltaïques.
- ✓ Dans le 2ème Chapitre nous présentons la modélisation et simulation de système PV avec la MPPT. par la technique MPPT (P&O) et par la méthode incrément conductance
- ✓ Dans le 3ème chapitre précise le raccordement réseau électrique avec système PV commande par mode glissant , 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

Chapitre : 01 Généralités sur les systèmes photovoltaïques

I.1. Introduction :

Le soleil est une source d'énergie inépuisable pouvant satisfaire nos besoins en consommation énergétique. Alors, il est possible de mettre au profit de la population sa diffusion sur l'ensemble de la planète, en extrayant son énergie importante grâce à l'utilisation des cellules photovoltaïques. Le nom Photovoltaïque vient du Grec, il est composé de deux parties : **Photos** : Lumière ; **Volt** : Unité de tension électrique, du nom Alessandro Volta . L'effet photovoltaïque fut découvert en 1839 par le physicien Alexandre Edmond Becquerel. La première vraie cellule photovoltaïque fut développée au début de l'année 1954.[2]

Un système photovoltaïque comporte un ensemble d'organes distincts ou de sous-systèmes en relation entre eux, représentent un processus énergétique complexe. L'élément de base est le système de captation puis l'ensemble de conditionnement de l'énergie électrique produite aux spécifications des récepteurs. Cet ensemble groupe tous les équipements entre le système de conversion d'énergie solaire (champ photovoltaïque) et la charge finale.

La gamme de puissance admise pour les systèmes photovoltaïques ne possède théoriquement pas de borne. Elle s'étend donc de systèmes comportant une installation de modules photovoltaïque de quelque dizaine de watts à des systèmes de puissances plus importantes de plusieurs kilowatts à des mégawatts. Les systèmes photovoltaïques ne contiennent aucune pièce mobile. Ils sont fiables, requièrent peu d'entretien, silencieux, ne produisent aucune émission de polluants et ce sont des systèmes modulaires[3]

I.2 Historique :

Les systèmes photovoltaïques sont utilisés depuis 45 ans. Les applications ont commencé avec le programme spatial pour la transmission radio des satellites. Elles se sont poursuivies avec les balises en mer et l'équipement de sites isolés dans tous les pays du Chapitre I Généralités sur les systèmes photovoltaïques monde, en utilisant les batteries pour stocker l'énergie électrique pendant les heures sans soleil [Bendjellouli, 2009].

Les dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque sont mentionnées ci-dessous [Dang, 2009] :

- **1839** - Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est

l'effet photovoltaïque.

- **1875** - Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, l

e phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

- **1954** - Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites. Ces chercheurs ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés". C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs.

- **1958** - Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

- **1973** - La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.

- **1983** - La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 km en Australie.[3]

I.3. Rayonnement solaire:

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet à l'infrarouge. Pour caractériser le spectre solaire en termes d'énergie émise, on utilise la notion AM pour « Air Mass ». Dans l'espace hors atmosphère terrestre (AM0), l'énergie transportée par le rayonnement solaire sur une distance soleil-terre est de l'ordre de $1350 W/m^2$ (Figure I.1). En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire subit une diminution et une modification de son spectre dû aux phénomènes d'absorption et de diffusion dans les gaz. Sa valeur est de l'ordre de $1000 W/m^2$ au niveau du sol, à 90° d'inclinaison (AM1) .[3]

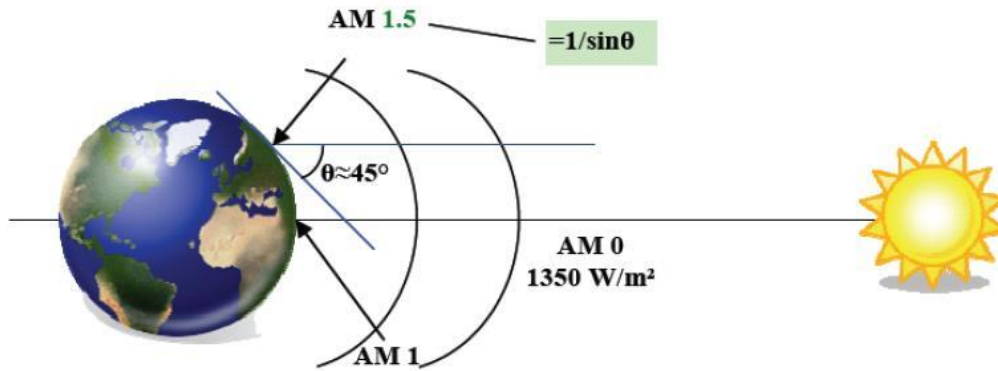


Figure I.1 : Normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil, notion de la convention AM

Du point de vue énergétique, le rayonnement électromagnétique solaire est constitué de photons de longueur d'onde λ transportant une énergie donnée par la relation :

$$E = h \cdot c / \lambda \quad (\text{I. 1})$$

Avec :

- E : Énergie en J ;
- h : constante de Plank ($h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$) ;
- c : vitesse de la lumière ($c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) ;
- λ : longueur d'onde souvent exprimée en micromètre.

I.4. Potentiel solaire en Algérie :

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m^2 est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de $1700 \text{ KWh/m}^2 / \text{an}$ au nord et $2263 \text{ KWh/m}^2 / \text{an}$ au sud du pays.[3]

Vue de sa localisation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaire les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).

L'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1m^2 soit près de 3 KWh/m^2 au nord et dépasse $5,6\text{ KWh/m}^2$ au Grand Sud.

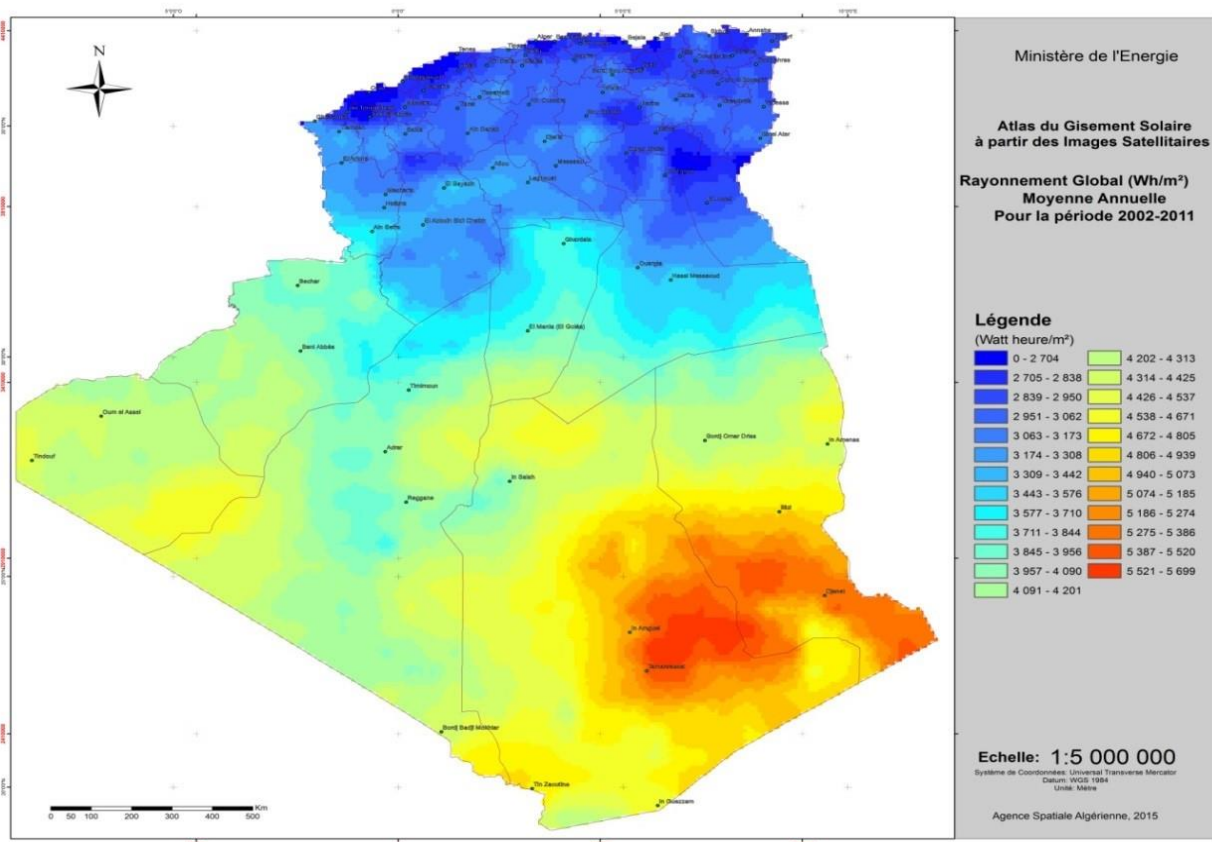


Figure I.2 – Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011). [4]

I.5. 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[5]. 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 [6].

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.

I.6.Modélisation d'une cellule PV:

La photopile est une composante semi-conducteur qui délivre un courant en excitant ce dernier par des photons, donc en première approximation on a une source de courant, qui est court-circuitée par une diode (car la photopile est une jonction p-n). Le schéma de circuit équivalent d'une cellule PV idéale est représenté par le schéma suivant figure (1.5) [7].

Selon la loi des nœuds, l'équation caractéristique d'une cellule solaire idéale est de la forme:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (1.1)$$

Où I_{ph} est le photo-courant qui est constant pour un ensoleillement donné et la diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique Courant-Tension est donnée par la relation :

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{v_{pv}}{nV_t}} - 1 \right) \quad (1.2)$$

Où I_{pv} est le courant fourni par la cellule lorsqu'elle fonctionne en générateur, V_{pv} est la tension aux bornes de cette même cellule, I_0 est le courant de saturation, $V_t = \frac{KT}{q}$ est le potentielle thermique, K est la constante de Boltzmann $K = 1.38. 10^{-23} J/k$, q est la charge électrique élémentaire d'électron

$q = 1.6. 10^{-19} C$, n est le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < n < 2$) et T est la température effective des cellules en Kelvin (K). Alors, nous pouvons décrire le modèle mathématique de la cellule PV par [8]:

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{v_{pv}}{nV_t}} - 1 \right) \quad (1.3)$$

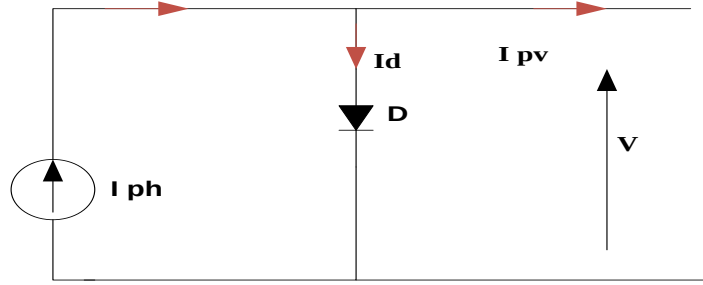
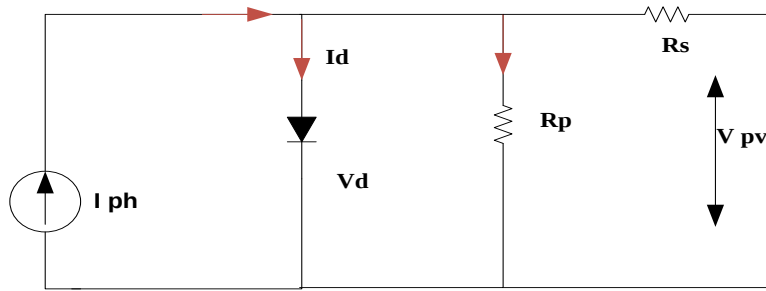


Figure (1.3): Schéma électrique équivalent d'une cellule solaire idéale

Réellement il existe plusieurs influences des résistances parasites dans la production de l'énergie électrique, et la cellule PV est représentée généralement par le schéma représenté par la figure (1.4).



Figure(1.4): Schéma électrique équivalent d'une cellule solaire réelle

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 shunt R_{ph} caractérisant unecourant de fuite entre la drille supérieure le contact arrière que est généralement très supérieure à R_s [9].

Le modèle mathématique pour la caractéristique Courant-Tension d'une cellule PV est donné par:

$$I_{PV} = I_{ph} - I_0 \left[e^{\exp\left(\frac{V_{PV} + (I_{PV} * R_s)}{nV_t}\right)} - 1 \right] - \frac{V_{PV} + (I_{PV} * R_s)}{R_{ph}} \quad (1.4)$$

Une cellule PV seule ne peut pas fournir suffisamment de puissance afin d'alimenter une charge ou le réseau électrique. Il convient donc d'associer ces cellules entres elles dans le but de fournir plus de puissance. Donc, Le modèle développé pour une cellule PV, peut être entendu au cas du raccordement des cellules en séries et en parallèle afin d'obtenir le modèle d'un module PV. Une association en série

augmentera la tension de sortie du panneau solaire tandis qu'une association en parallèles augmentera le courant fournit à la charge.

I.7.Miseen parallèle / série :

- Une association de N_s cellules PV en série permet d'augmenter la tension du GPV. Alor, Les cellules PV sont traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation (1.5) résume les caractéristiques électriques d'une association série de N_s cellules PV[10].

$$\begin{cases} V_{coNs} = N_s \cdot V_{co} \\ I_{coNs} = I_{cc} \end{cases} \quad (1.5)$$

Où V_{coNs} est la tension de circuit ouvert de la mise en série, I_{ccNs} est le courant de court-circuit de la mise en série, V_{co} est la tension de circuit ouvert d'une cellule PV et I_{cc} est le courant de court-circuit d'une cellule PV.

- D'autre part, une association parallèle de N_p cellules PV est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants. L'équation (1.6) résume à son tour les caractéristiques électriques d'une association parallèle de N_p cellules PV [10].

$$\begin{cases} V_{coNp} = V_{co} \\ I_{coNp} = N_p \cdot I_{cc} \end{cases} \quad (1.6)$$

Où V_{coNp} est la tension de circuit ouvert de la mise en parallèle, I_{ccNp} est le courant de court-circuit de la mise en parallèle, V_{co} est la tension de circuit ouvert d'une cellule PV et I_{cc} est le courant de court-circuit d'une cellule PV.

- La puissance du générateur PV sera optimale si chaque cellule fonctionne à sa puissance maximale notée P_{max} . Cette puissance est le maximum d'une caractéristique Puissance-Tension du générateur PV, et correspond au produit d'une tension optimale notée V_{op} et d'un courant optimal noté V_{op} [11].

I.8.Simulation du générateur PV

Pour réaliser la modélisation d'un module photovoltaïque, nous avons utilisé le langage MATLAB-SIMULINK comme outil de test et de simulation. Nous faisons une simulation des différents effets sur les caractéristiques Courant-Tension et Puissance-Tension telle que, l'influence de l'éclairement et de la température ainsi la mise en série et/ou parallèle des modules PV.

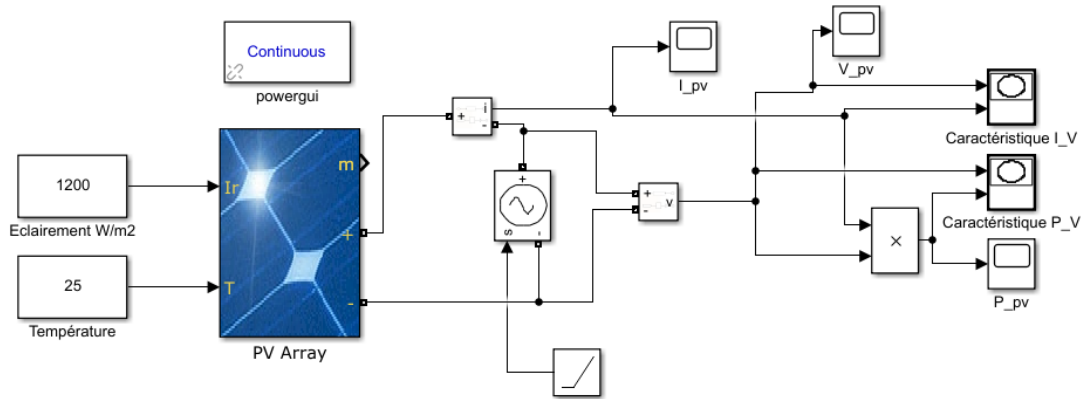
Pour cela, nous avons choisi le module photovoltaïque «1Soltech 1STH -215-P» constitué de 60 cellules photovoltaïques élémentaires en silicium monocristallin en séries. Il peut délivrer dans les conditions standards de test (CST) et une puissance maximale de 213.15 W, un courant optimal de 7.61A sous une tension optimale de 26.V.

Les caractéristiques électriques du module solaire «KC200GT» utilisé dans ce travail sont donnés dans le tableau (1.1)

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

Tableau (I.1): Caractéristiques électriques du module PV «KC200GT»

- Le schéma de simulation du générateur PV composé d'un module PV de type «KC200GT» en l'environnement MATLAB-Simulink est représenté par la figure suivante:



Figure(1.5): Schéma de simulation du module PV de type «KC200GT»

- ✓ Pour constater l'influence des conditions externes de l'éclairement et de la température sur les caractéristiques Courant –Tension et Puissance-Tension du générateur PV, nous avons adopté la méthode suivante :
- ✓ Pour visualiser l'influence de l'éclairement, on a fixé la température à $T=25^{\circ}$ et on a fait varier l'éclairement dans une gamme de $[400, 1000]W/m^2$.

Les caractéristiques Courant –Tension et Puissance-Tension sont données par la figure (I.6) et la figure (I.7).

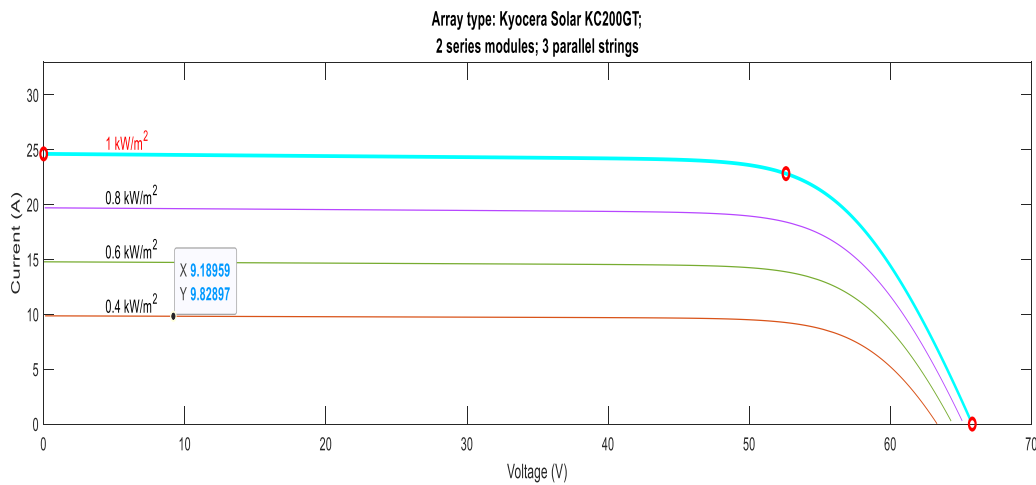


Figure (1.6) : Effet de l'éclairement sur la caractéristique Courant-Tension

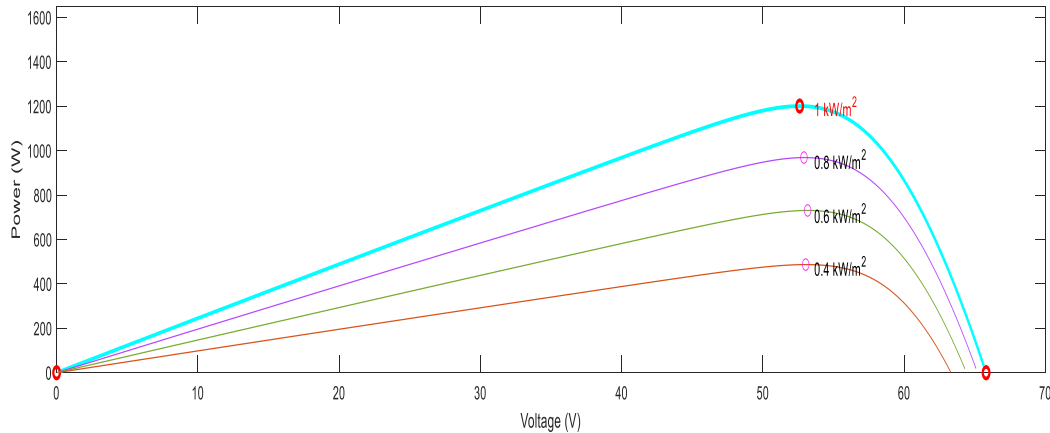
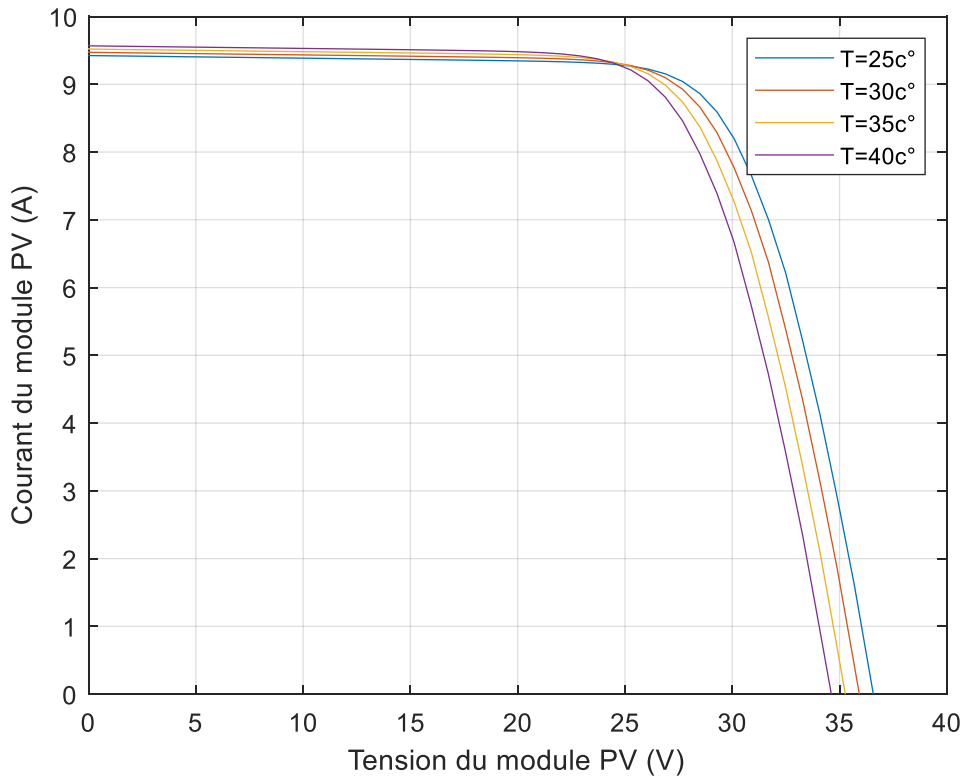


Figure (1.7) : Effet de l'éclairement sur la caractéristique Puissance-Tension

- ✓ On Remarque que la valeur du courant de court –circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement, par contre la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, elle reste quasiment identique même à faible éclairement.
- ✓ Pour un éclairement constant $E=1000\text{W/m}^2$, on varie la température afin de voir l'influence de celui-ci par rapport aux caractéristiques du générateur PV. En faisant varier la température ambiante entre 25°C et 45°C avec un pas de 5°C . Les caractéristiques Courant –Tension et Puissance-Tension sont données par les deux figures (I.8) et (I.9).
- ✓ On remarque que l'augmentation de la température fait diminuer la tension du circuit ouvert de générateur PV, contrairement au courant de court-circuit qui reste constant. La puissance du générateur PV est diminuée aussi pour une augmentation de la température.



Figure(1.8) : Effet de la température sur la caractéristique Courant-Tension

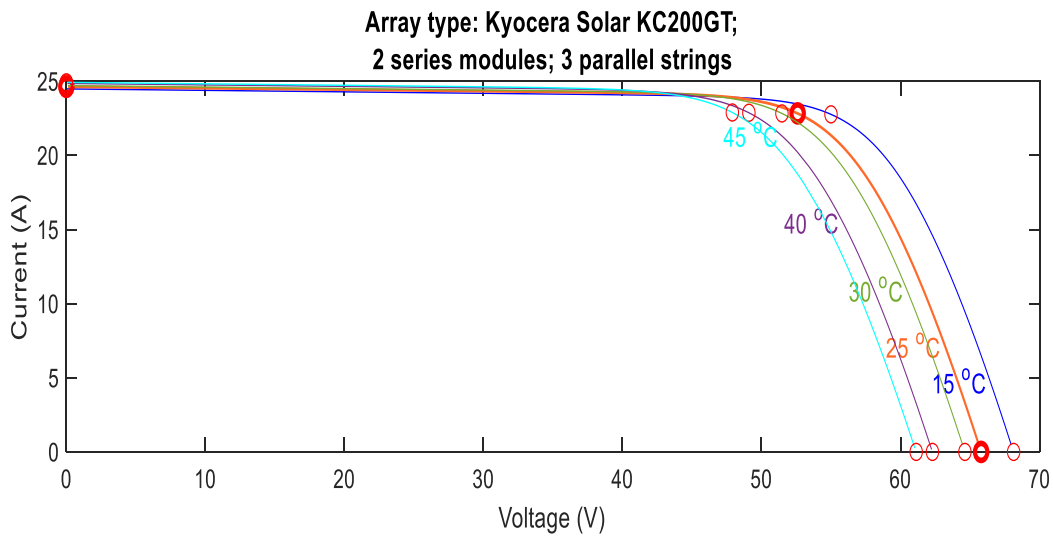
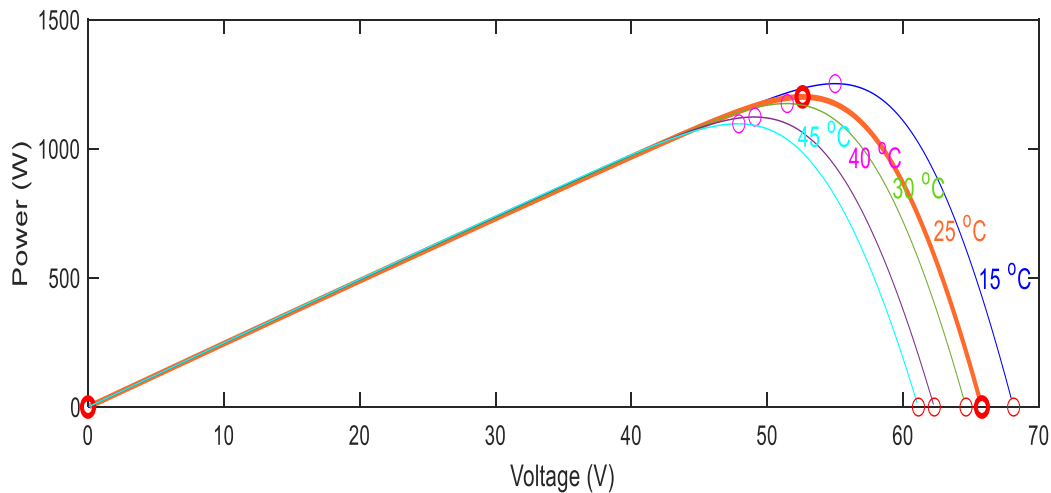


Figure (1.9) : Effet de la température sur la caractéristique Puissance-Tension

A partir des deux figures (1.7) et (1.9), on peut observer que la caractéristique P_{pv} (V_{pv}) change considérablement avec la variation du niveau d'ensoleillement ; alors que le changement est assez négligeable lors de la variation de la température. Ceci s'explique par le fait que le courant varie

considérablement avec la variation de l'irradiation ; alors que la tension varie peu. Par contre, cette dernière varie beaucoup, quand la température varie.

- ✓ Pour montrer l'effet de la mise en série et/ou en parallèle sur les caractéristiques Courant-Tension du générateur PV, nous avons simulé le générateur PV pour les différents cas des nombres de modules en série et/ou en parallèle. Les figures (I.10), montrent l'effet de la mise en série des modules PV pour un nombre de modules de 1, 3 et 5, la mise en parallèle des modules PV pour un nombre de modules de 1, 3 et 5 et la mise en série/parallèle. On remarque que l'association de N_s modules PV en série permet d'augmenter la tension du générateur PV. Ainsi que l'association de N_p modules PV en parallèle permet d'augmenter le courant du générateur PV.



Figure(1.10):Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_s cellules en série

I.9.Conclusion:

Dans ce premier chapitre, nous avons exposé les différents types existants des systèmes PV. Ensuite, nous avons présenté le générateur PV, sa modélisation et la mise en série/parallèle des cellules et modules PV. Nous avons terminé par une simulation d'un générateur PV composé d'un module PV de type «1Soltech 1STH -215-P» et nous avons montré l'influence de l'éclairement et la température sur ses caractéristiques, ainsi la mise en série et en parallèle.

Dans le chapitre suivant, on présentera une étude de modélisation des différents éléments du système PV. On modélisera les convertisseurs DC-DC(hacheurs) et leurs commandes MPPT pour chercher le point où la puissance du générateur PV est maximale.

Chapitre 02 :
Technique de recherche de
MPPT

Chapitre 02 : Technique de recherche de MPPT

II.1 Introduction:

Un générateur photovoltaïque peut fonctionner dans une large gamme de tension et de courant de sortes mais il ne peut délivrer une puissance maximale que pour des valeurs particulières du courant et de la tension. En effet la caractéristique $I(V)$ du générateur dépend de l'éclairement solaire et de la température. Ces Variations climatiques entraînent la fluctuation du point de puissance maximale. A cause de cette fluctuation, on intercale souvent entre le générateur et le récepteur un ou plusieurs convertisseurs statiques commandes permettant de rattraper à chaque fois le point de puissance maximale. Ces convertisseurs connus sous le nom de MPPT (maximum power point tracking) assurent le couplage entre le générateur PV et le récepteur en forçant le premier à délivrer sa puissance maximale[18]

II.2 Convertisseur DC/DC:

Les transformateurs de tension DC-DC sont utilisés lorsque la tension du système ne correspond pas aux besoins des consommateurs. Par exemple, en cas d'utilisation d'un éclairage 12V dans un système 24V ou 48V.

Les convertisseurs DC/DC sont utilisés, selon le modèle, soit pour élever, soit pour abaisser une tension continue (DC). Ils s'assurent également que tout vos équipement DC dispose d'une alimentation d'énergie stable. La plupart de nos convertisseurs sont isolés électriquement.[19]

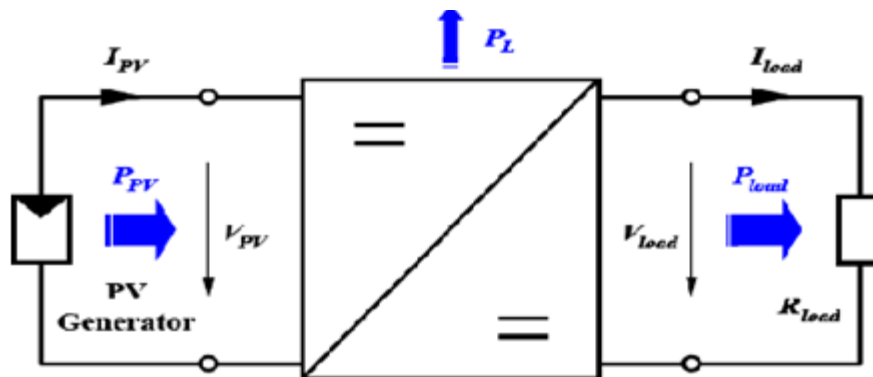


Figure II.1: Convertisseur DC/DC [20]

Les convertisseurs DC/DC assurent une tension continue réglée. L'utilisation de convertisseurs permet d'éviter les perturbations de votre application. Vous réactivez les tensions, de sorte que la charge est toujours alimentée en tension continue réglée, même avec des câbles très

longs. Les convertisseurs DC/DC adaptent le niveau de tension et assurent la mise en place de systèmes d'alimentation indépendants, grâce à l'isolation galvanique.[21]

Il y a un plusieurs topologies des convertisseurs DC-DC. Elles sont classées par catégorie, selon que la topologie isolée ou non isolée. Les topologies isolées emploient un transformateur d'isolement fonctionnant à haute fréquence. Elles sont très employées souvent dans les alimentations à découpage. Les topologies les plus connues dans la majorité des applications sont le Fly back, en demi-point et en pont complet. Dans les applications photovoltaïques (PV), les systèmes de couplage avec le réseau électrique emploient souvent ces types de topologies quand l'isolement électrique est préféré pour des raisons de sûreté. Les topologies non isolées ne comportent pas de transformateurs d'isolement. Elles sont généralement utilisées dans l'entraînement des moteurs à courant continu.

- Abaisseurs (Buck).
- Élévateurs (Boost).
- Élévateurs - Abaisseurs (Buck-Boost).

La topologie Buck est employée pour les faibles tensions. Dans les applications PV, le convertisseur Buck est habituellement employé come chargeur de batteries et dans des systèmes de pompage de l'eau.

La topologie Boost est employée pour augmenter la tension. Les systèmes de production de l'énergie emploient un convertisseur Boost pour augmenter la tension de sortie au niveau de service avant l'étage de l'onduleur. Puis, il y a des topologies capables d'augmenter et de diminuer la tension tel que le Buck-Boost, le Cuk, et le Sepic.

Où α désigne le rapport cyclique du convertisseur et K le rapport de transformation du transformateur d'isolement.[22]

II.3. Généralité MPPT:

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un GPV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quel que soit les conditions météorologiques (température et irradiation), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (VPPM et IPPM). La chaîne

de conversion photovoltaïque sera optimisée à travers un convertisseur statique (CS) commandé par une MPPT . Il peut être représenté par le schéma de la Figure II.2

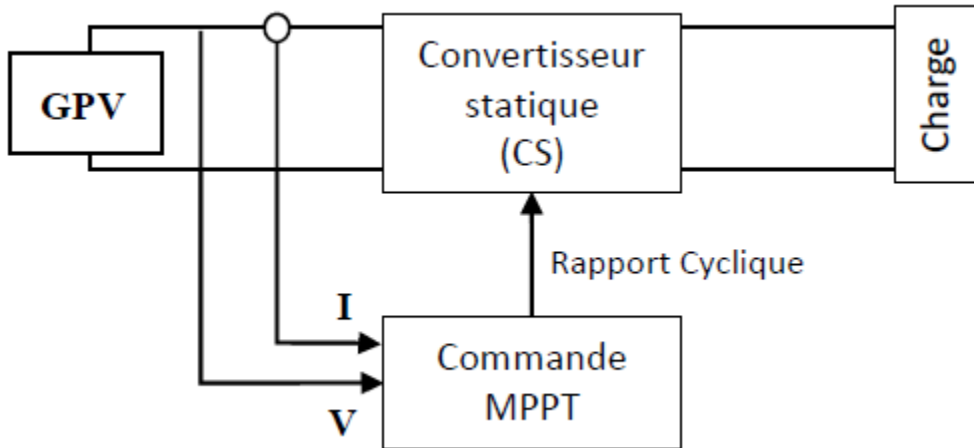


Figure II.2 Chaîne de conversion d'énergie solaire

comprenant un panneau photovoltaïque, un convertisseur BOOST, une commande MPPT et une charge.

La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique (CS), à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir. L'algorithme

MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le MPP. En général, il est basé sur la variation du rapport cyclique du CS en fonction de l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à se placer sur le MPP.

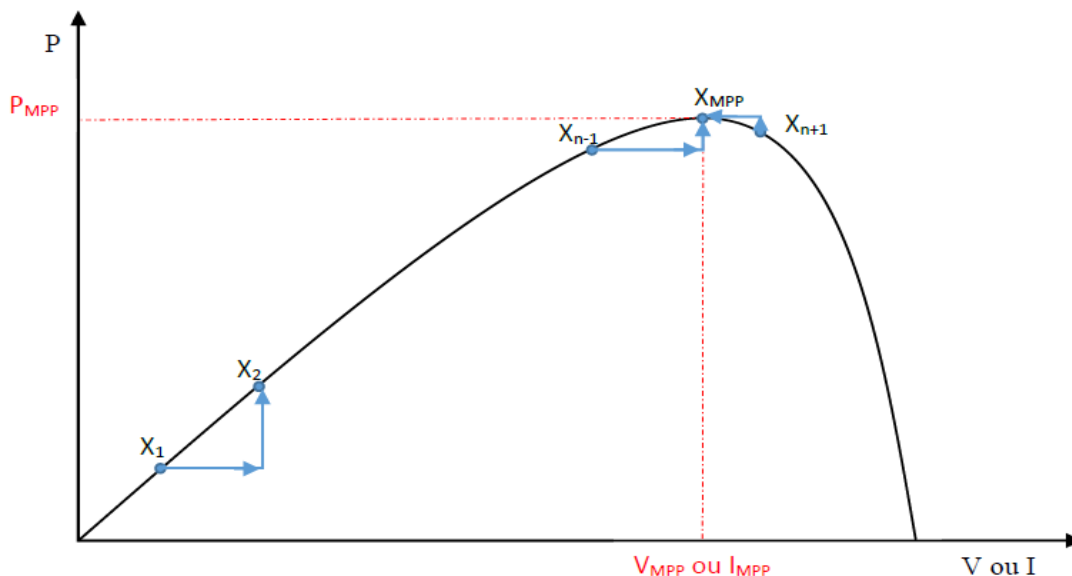


Figure II.3: Principe de la commande MPPT

II.4 Classification Des Commandes MPPT

Nous pouvons classer d'une manière générale les commandes MPPT selon le type d'implémentation électronique : analogique, numérique ou mixte. Il est cependant plus intéressant de les classer selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande MPPT .

II.4.1 Classification Des Commandes MPPT Selon Les Paramètres D'entrée:

A - Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS:

Il y a un certain nombre de commandes MPPT qui effectue une recherche du PPM selon l'évolution de la puissance fournie par le GPV. Comme la méthode de Perturbe & Observe, les algorithmes d'incrément de conductance qui utilisent la valeur de la puissance fournie par le GPV pour l'application d'une action de contrôle adéquate pour le suivi du PPM ou bien Les commandes qui sont basé sur des relations de proportionnalité entre les paramètres optimaux caractérisant le point de puissance maximal (VOPT et IOPT) et les paramètres caractéristiques du module PV (VOC et ICC). Notamment, les MPPT inspirées des réseaux de neurones. Dans ces commandes, soit on fait appel à des systèmes à mémoires informatiques importantes ayant stocké tous les cas possibles, soit les commandes sont encore une fois de plus approximatives. Toutes ces commandes ont comme avantages leurs précisions et leur rapidité de réaction .

B - Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur :

Dans la littérature, il existe également des algorithmes basés sur les paramètres de sortie des CS. Par exemple Les commandes MPPT basées sur la maximisation du courant de sortie qui sont principalement utilisées quand la charge est une batterie.

Dans tous les systèmes utilisant les paramètres de sortie, une approximation de Pmax est faite à travers le rendement du convertisseur. En somme, plus l'étage de conversion est bon, plus cette approximation est valable. Par contre, en général, tous les systèmes avec un seul capteur sont par essence, non précis. La plupart de ces systèmes ont été conçus à l'origine pour le spatial [29].

II.4.2 Classification Des Commandes MPPT Selon Le Type De Recherche:

A- MPPT Indirect:

Ce type de commandes MPPT utilise le lien existant entre les variables mesurées (I_{sc} ou V_{oc}), qui peuvent être facilement déterminées, et la position approximative du MPP. Il compte aussi les commandes se basant sur une estimation du point de fonctionnement du GPV réalisée à partir d'un modèle paramétrique défini au préalable. Il existe aussi des commandes qui établissent une poursuite de la tension optimale en prenant en compte uniquement les variations de la température des cellules donnée par un capteur. Ces commandes ont l'avantage d'être simples à réaliser. Elles sont plutôt destinées à des systèmes peu coûteux et peu précis devant fonctionner dans des zones géographiques où il y a peu de changements climatiques

B- MPPT Direct :

Ce type de commande MPPT détermine le point de fonctionnement optimal (MPP) à partir des courants, tensions ou puissances mesurés dans le système. Il peut donc réagir à des changements imprévisibles du fonctionnement du GPV. Généralement, ces procédures sont basées sur un algorithme de recherche, avec lequel le maximum de la courbe de puissance est déterminé sans interruption du fonctionnement. Pour cela, la tension du point de fonctionnement est incrémentée dans des intervalles réguliers. Si la puissance de sortie est plus grande, alors la direction de recherche est maintenue pour l'étape suivante, sinon elle sera inversée. Le point de fonctionnement réel oscille alors autour du MPP.

Ce principe de base peut être préservé par d'autres algorithmes contre des erreurs d'interprétation. Ces erreurs peuvent survenir, par exemple, à cause d'une mauvaise direction de recherche, résultant d'une hausse de puissance qui est due à une augmentation rapide du niveau de rayonnement.

La détermination de la valeur de la puissance du générateur PV, indispensable pour la recherche du MPP, nécessite la mesure de la tension et du courant du générateur, ainsi que la multiplication de ces deux variables.

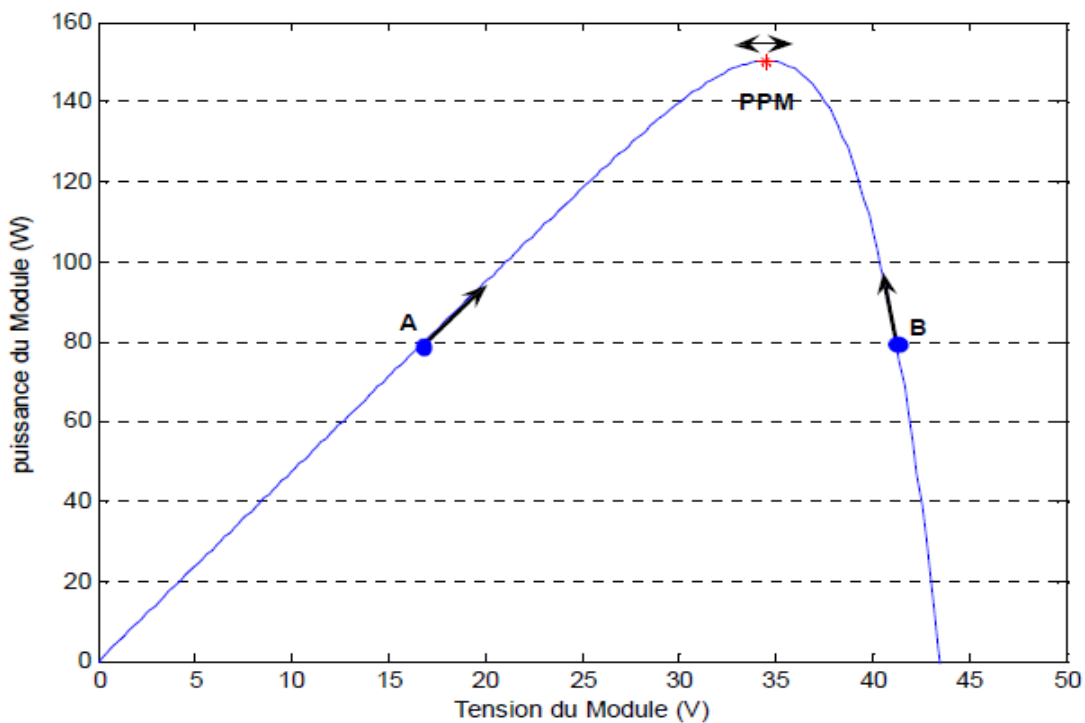
D'autres algorithmes se basent sur l'introduction de variations sinusoïdales en petit signal sur la fréquence de découpage du convertisseur pour comparer la composante alternative et la composante continue de la tension du GPV et pour ainsi placer le point de fonctionnement du GPV le plus près possible du MPP. L'avantage de ce type de commandes est leurs précisions et leur rapidité de réaction.[23]

II.5.les différents algorithmes de contrôle:

Diverses publications sur les commandes assurant un fonctionnement de type commande MPPT apparaissent régulièrement dans la littérature depuis 1968, date de publication de la première loi de commande de ce genre, adaptée à une source d'énergie renouvelable de type photovoltaïque. Etant donné le grand nombre de publications dans ce domaine, nous avons fait une classification des différentes MPPT existantes en les regroupant selon leur principe de base. La classification, en plus du principe, s'est effectuée selon des critères comme la précision de la recherche ou sa rapidité pour en faire une évaluation comparative. Seuls les algorithmes qui nous semblent décrire une méthode de recherche spécifique sont reportés dans ce manuscrit et brièvement analysés.[25]

II.5.1-Méthode de perturbation et d'observation(P&O):

La méthode de perturbation et observation (P&O) est une approche largement répandue dans la recherche de MPPT, parce qu'elle est simple et exige seulement des mesures de tension et de courant du PV, VPV et IPV respectivement, elle peut dépister le point maximum de puissance même lors des variations de l'éclairement et la température. Le principe de cet algorithme est d'effectuer une perturbation sur la tension et le courant du panneau PV, suite on a calcule la puissance fournie par ce panneau PV à l'instant k $P_{pv}(k)$, puis on la compare à la précédente instant $P_{pv}(k-1)$. En va avoir par suivant le figure (II.4) que représente la puissance fournie par ce panneau PV para pore la tension du module.[24]

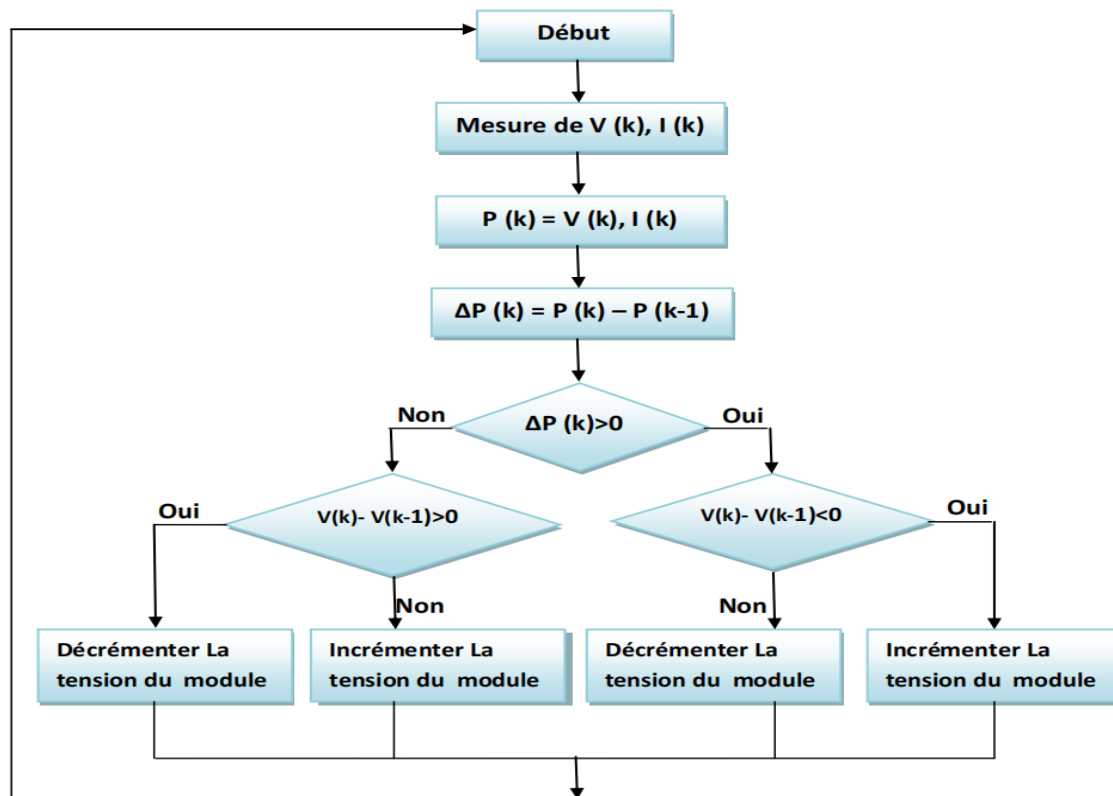


FigureII.4: la courbe de puissance-Tension de panneau solaire

Lorsque le point de puissance maximale est atteint, V_{pv} oscille autour de la valeur optimale

V_{op} . Ceci cause une perte de puissance qui augmente avec le pas de l'incrément de la perturbation. On cas du le pas d'incrément est grande, l'algorithme du MPPT répond rapidement aux changements soudains des conditions de fonctionnement.

D'un autre côté si le pas est petit, les pertes lors des conditions de changements atmosphériques lents ou stables, seront inférieures mais le système ne pourra pas répondre rapidement aux changements rapides de la température ou de l'éclairement. Le pas idéal est déterminé expérimentalement en fonction des besoins



FigureII.5: Organigramme de la méthode de perturbation et d'observation

Si une augmentation de l'ensoleillement, on aura donc une augmentation à la puissance du panneau. L'algorithme précédent réagit comme si cette augmentation est produite par l'effet de perturbation précédente, alors il continue dans la même direction qui est une

mauvaise direction, ce que l'éloigne du vrai point de puissance maximale. Ceci cause un retard de réponse lors des changements soudains de fonctionnement et des pertes de puissance. Pour remédier à l'inconvénient majeur de la déviation de cette méthode lors de la recherche du MPP durant l'augmentation rapide des niveaux d'insolation, une version améliorée de cet algorithme est proposée, où on introduit une nouvelle condition dans la branche « Oui » de condition $\Delta P(k) > 0$ dans la structure de l'organigramme de l'algorithme de P&O.[24]

II.5.2 Algorithme d'incrément de l'inductance:

Algorithme d'incrément de la conductance (IncCond), Cette technique est basée sur la connaissance de la variation de conductance du GPV et des conséquences sur la position du point de fonctionnement par rapport à un PPM. Ainsi, la conductance du module photovoltaïque est définie par le rapport entre le courant et la tension du GPV comme indiqué ci-dessous :

$$G = \frac{I_{pv}}{V_{pv}} \quad (2.1)$$

Donc une variation élémentaire (incrément) de conductance peut être définie par :

$$dG = \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \quad (2.2)$$

D'autre part, l'évolution de la puissance du GPV par rapport à la tension donne la position du point de fonctionnement par rapport au PPM. Lorsque la dérivée de puissance est nulle, cela signifie que l'on est sur le PPM, si elle est positive le point d'opération se trouve à gauche du maximum, lorsqu'elle est négative, on se situe à droite. La figure (II.6) permet d'écrire les conditions suivantes

: Si $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} > 0$, le point de fonctionnement est à gauche du PPM.

Si $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} < 0$, le point de fonctionnement est à droite du PPM.

Si $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = 0$, le point de fonctionnement est sur le PPM.

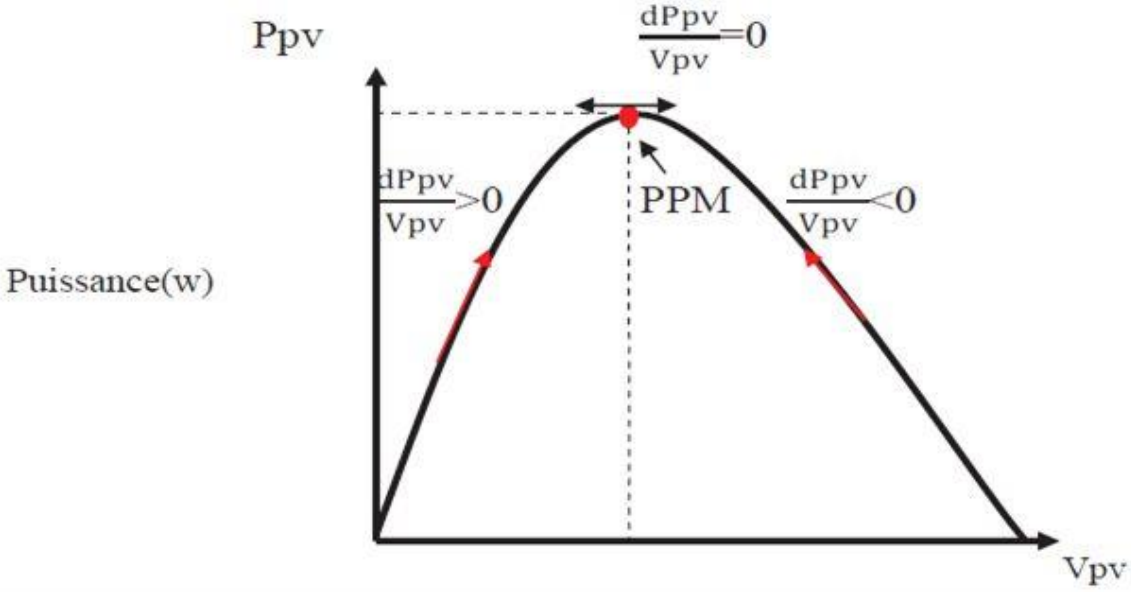


Figure II.6 : Trajectoire par Incrémentation de Conductance

Le lien entre la conductance et la dérivée de la puissance ($\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}}$) peut être décrit par l'équation suivante :

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = I_{pv} + V_{pv} \cdot \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \quad (2.3)$$

D'où, on peut alors écrire de nouvelles conditions sur la variation de conductance

Si $\frac{\Delta I_{pv}}{\Delta V_{pv}} > -\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$, le point de fonctionnement est à gauche du PPM.

Si $\frac{\Delta I_{pv}}{\Delta V_{pv}} < -\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$, le point de fonctionnement est à droite du PPM.

Si $\frac{\Delta I_{pv}}{\Delta V_{pv}} = -\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$, le point de fonctionnement est sur le PPM.

Le maximum de puissance peut être alors traqué en effectuant des comparaisons à chaque instant de la valeur de la conductance ($\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$), avec celle de l'incrément de conductance $\frac{\Delta I_{pv}}{\Delta V_{pv}}$, comme l'illustre l'algorithme de la figure (II.6). V_r correspond à la tension de référence et force le GPV à fonctionner à cette valeur. Si on est au PPM, alors la tension V_r correspond bien à la tension optimale V_{ppm} .

Une fois le PPM atteint, le point de fonctionnement peut être maintenu sur cette position jusqu'à la détection d'une variation de ΔI_{pv} . Cela indique alors un changement de conditions climatiques,

donc un nouveau PPM à rechercher. Pour cela, l'algorithme incrémente ou décrémente la valeur de V_r jusqu'à atteindre le PPM. Le schéma de principe de cette méthode est illustré sur la figure (II.7) [26]:

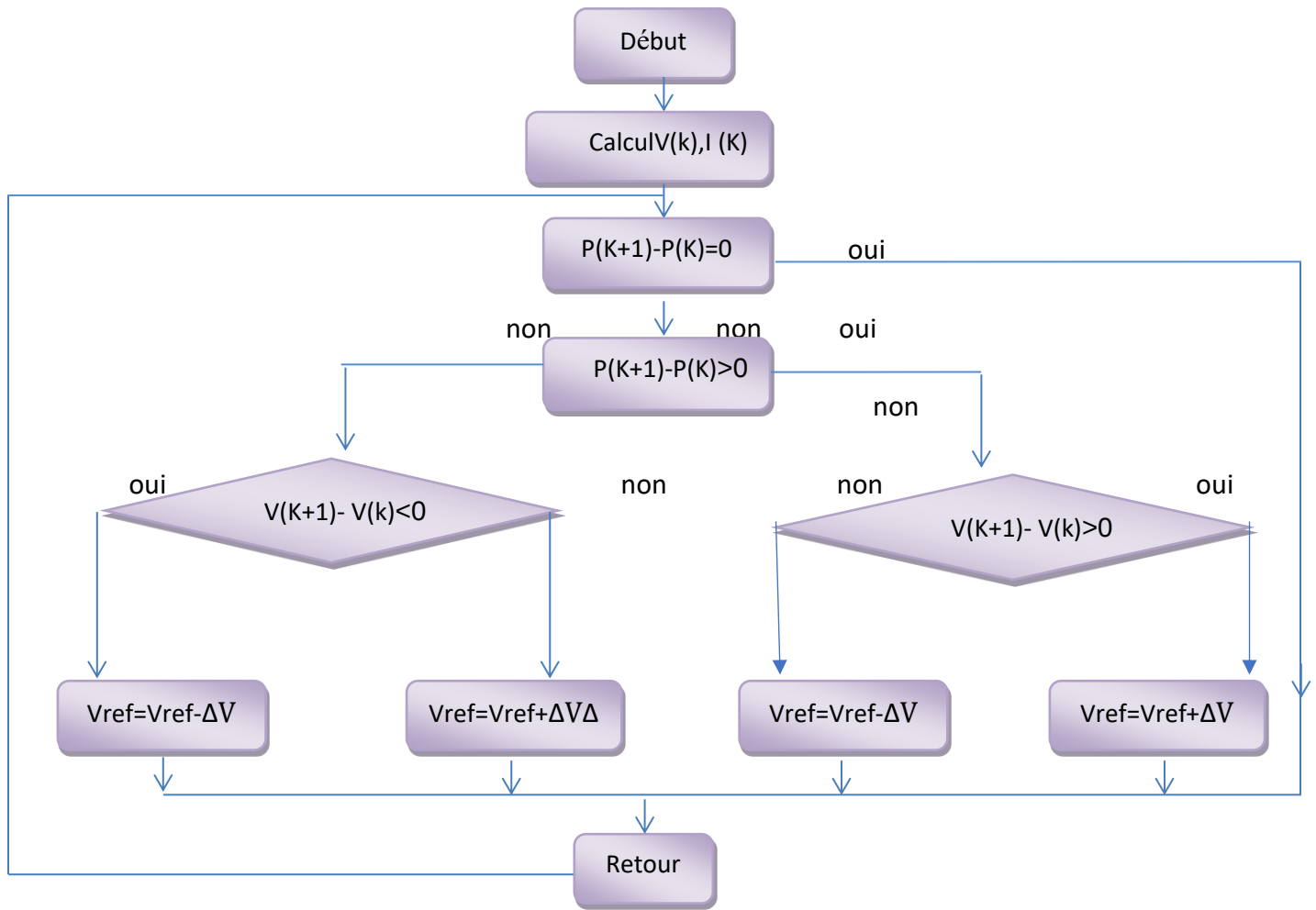


Figure (II.7): Algorithme d'incrément de la conductance

II.6. Commande avec correcteur (PI):

Pour régler la tension d'entrée du convertisseur on a introduit le correcteur proportionnel et intégral (PI), Sa tâche est de réduire l'erreur au minimum entre V_{ref} et la tension mesurée par l'ajustage du rapport cyclique. Le système contrôlé doit être linéaire, Une linéarisation de la courbe, sera effectuée comme le montre la figure II.8, A la suite de linéarisation, la zone de travail est divisée en trois parties, Chaque région aura différents paramètres de commande.

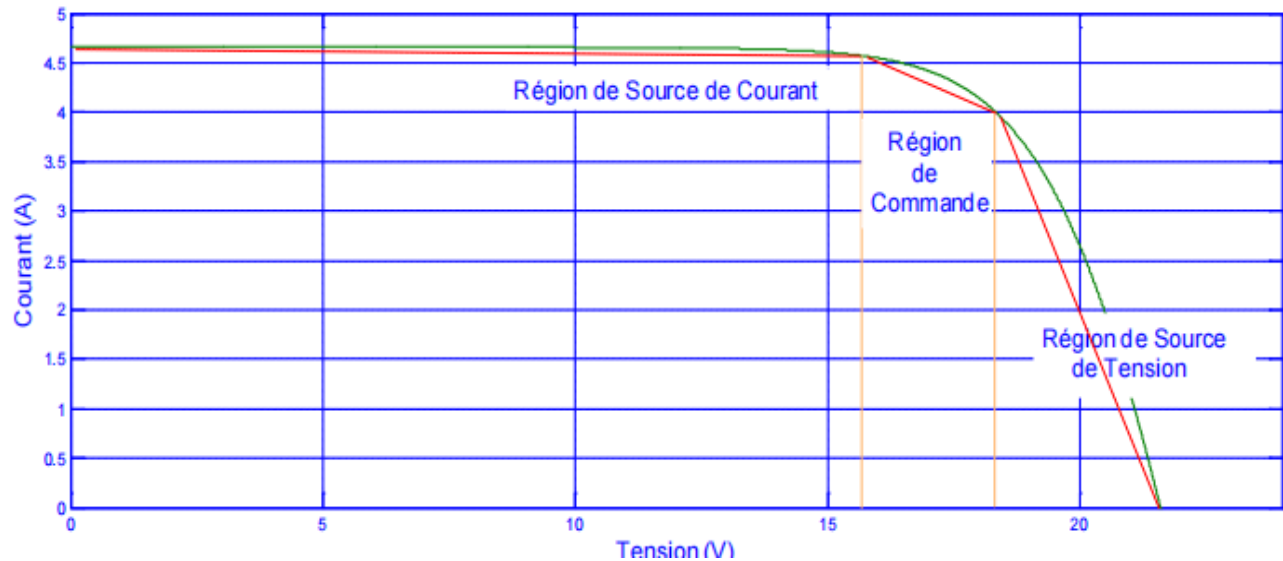


Figure II.8: zones de travail

L'algorithme MPPT PI besoin d'une méthode pour séparer la région de commande, la région de source de courant, et la région de source de tension, de telle sorte que l'action de la commande donnée peut être ajustée, cette méthode est donnée par Equation suivante:

$$C = Pa \left| \frac{dp}{dv} \right| \quad (2.4)$$

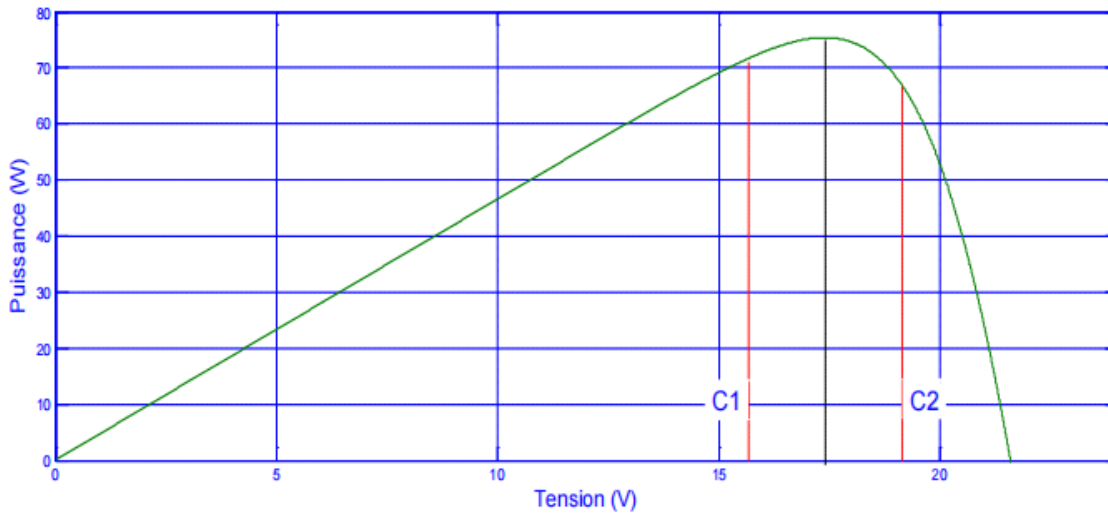


Figure II.9: zones de travail

II.7. Simulation des méthodes MPPT :

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

La figure (II.10) illustre le bloc schématique de SIMULINK de la commande de poursuite MPPT :

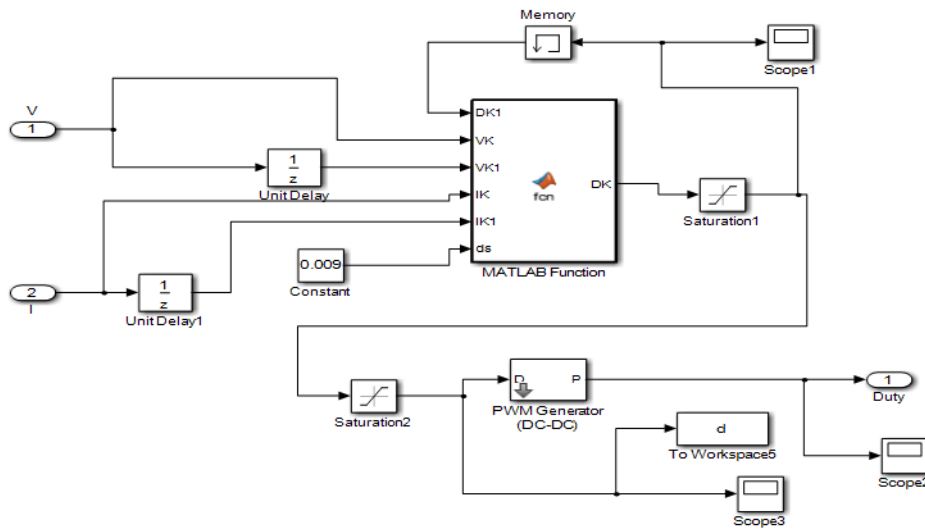


Figure II.10 : Schéma de simulation de l'algorithme de perturbation et de l'observation (P et O).

II.7.1. Bloc du système avec MPPT :

La simulation du schéma général avec la méthode P&O s'illustre comme suit :

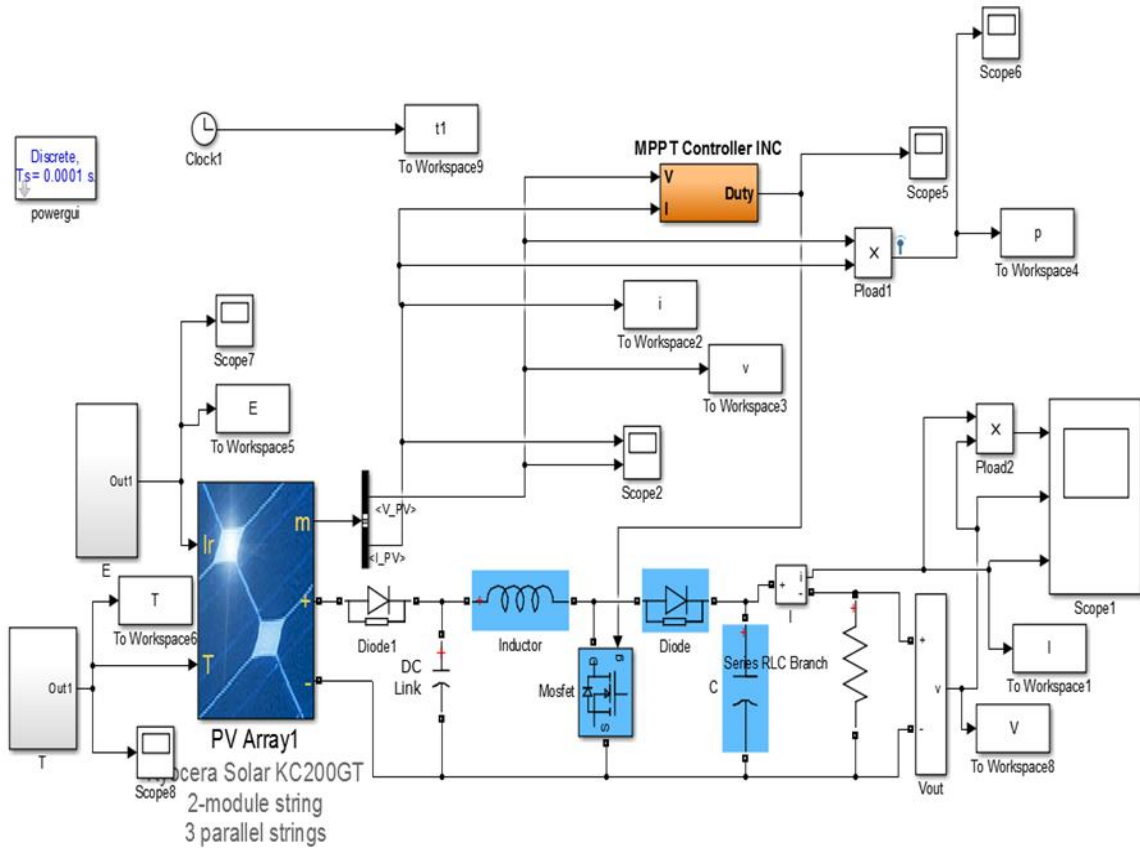


Figure II.11 : Schéma SIMULINK pour la commande MPPT avec méthode P&O

II.7.2.Simulation Méthode de perturbe et observe (P&O) :

Pour l'éclairement de (800-1000-600-400-200 W/m²) et la température variable (25-35-45)

Et les paramètres du convertisseur électrique Boost sont donnés par le tableau suivant :

Paramètre	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

Tableau(II.1):Les paramètres du convertisseur.

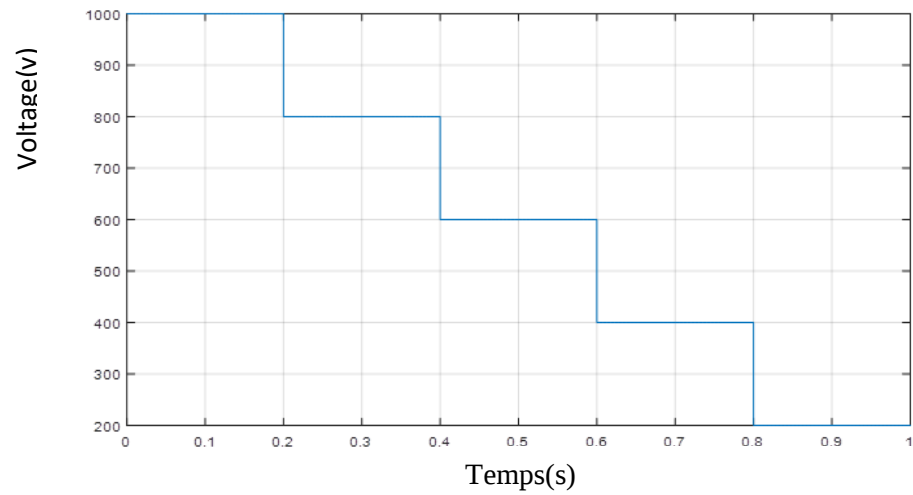


Figure II.12: Variation de l'éclairement.

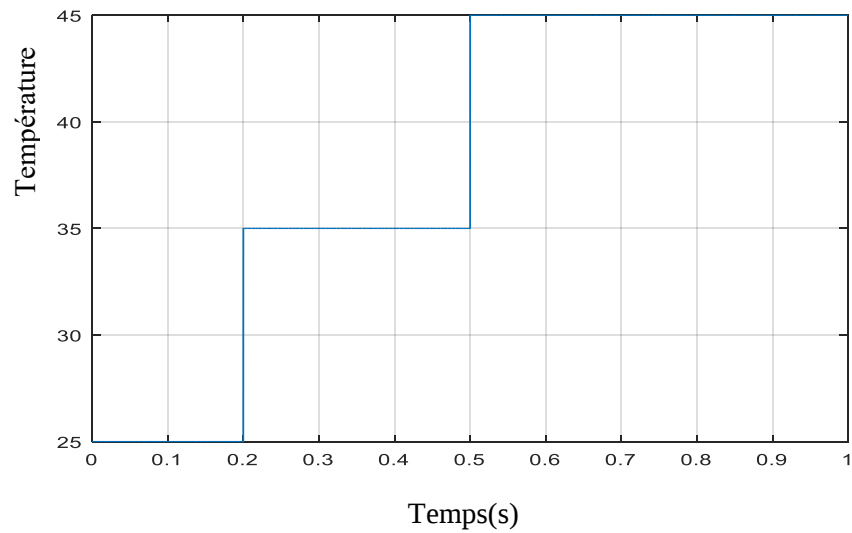


Figure II.13: Variation de la température

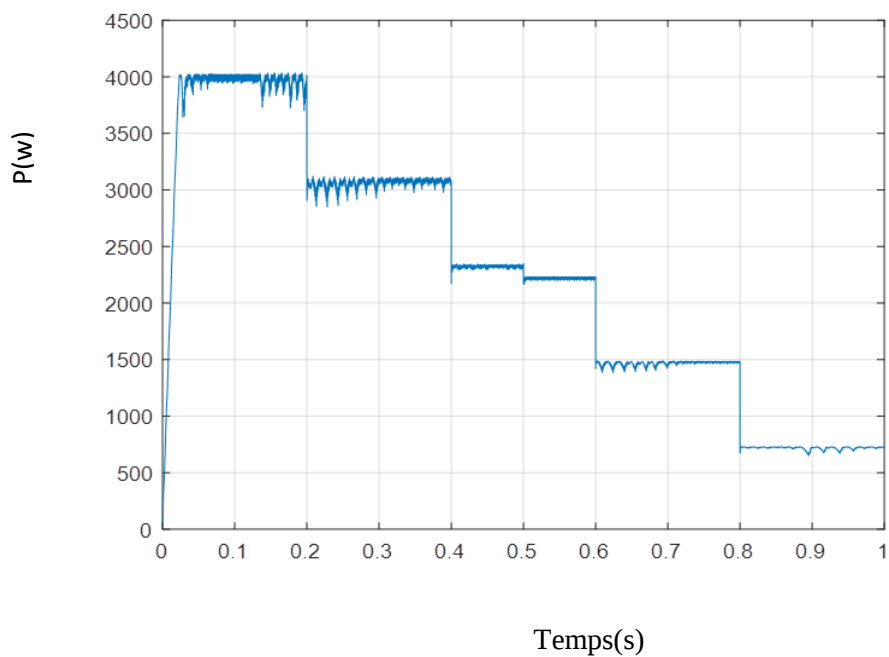


Figure II.14 : Résultats de simulation des courbes de puissance.

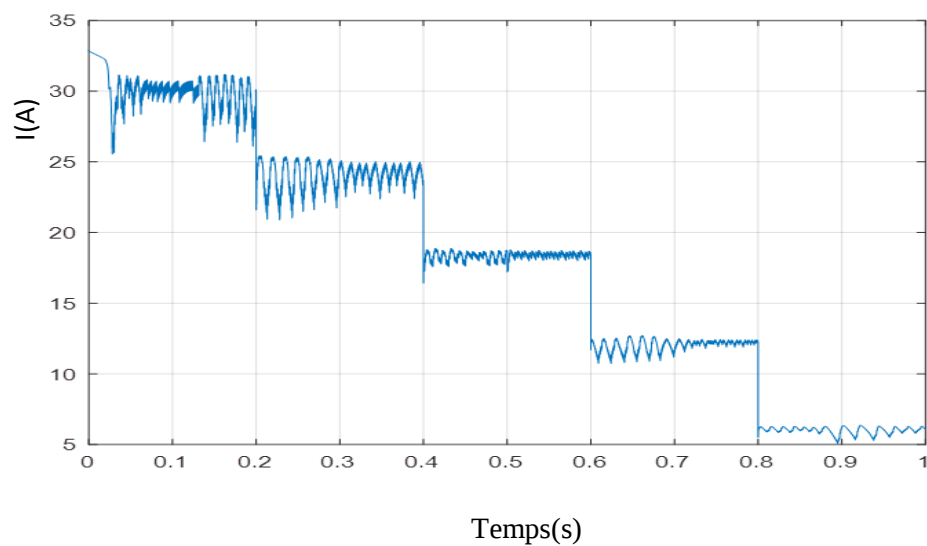


Figure II.15 : Résultats de simulation du courant.

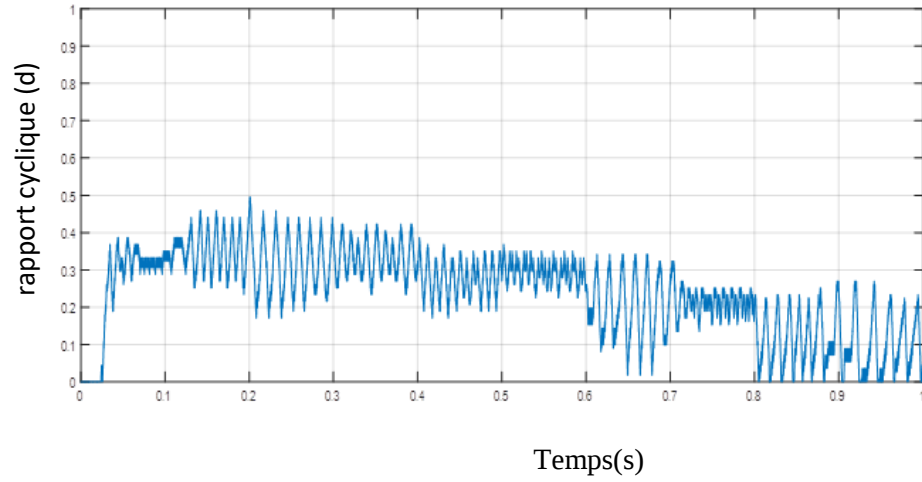


Figure II.16 : Résultats de simulation rapport cyclique (d).

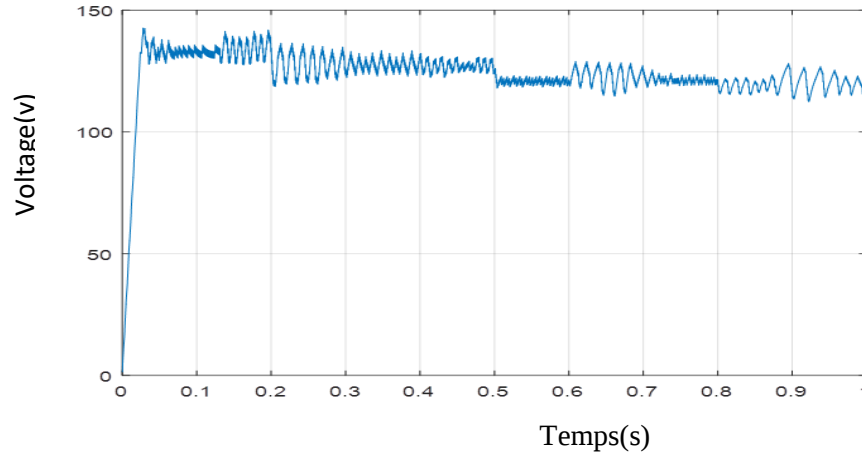


Figure II.17 : Résultats de simulation des courbes de tension de PV.

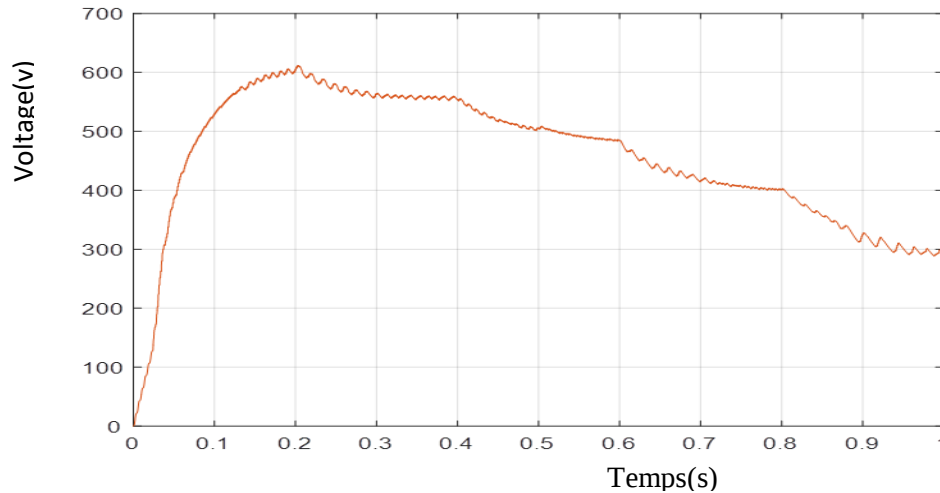


Figure II.18 : Résultats de simulation des courbes de tension de charge.

D'après les résultats de simulation obtenus, on remarque que le contrôleur MPPT par la méthode P&O à des meilleures performances comme le montre la figure (II.14), avec petit des oscillations dans le régime permanent, et un temps de réponse plus rapide. La puissance au niveau de la charge oscille autour de la valeur maximale du panneau.

II.7.3.Simulation Algorithme d'incrémentation de l'inductance:

L'algorithme de l'incrémentation de conductance (INC) est une technique MPPT classique qui utilise deux sondes pour la mesure de la tension V de fonctionnement et du courant I du module PV. Cette méthode repose sur le fait que la dérivée de la puissance P de sortie par rapport à la tension V du module PV est égale à zéro au point de puissance maximale (MPP).

II.8. Résultat des simulations :

La figure suivante présente allure de puissance en fonction de tension d'un système photovoltaïque (6 panneau 1200w) commandé par un contrôleur IC dans une température et éclairagements variable.

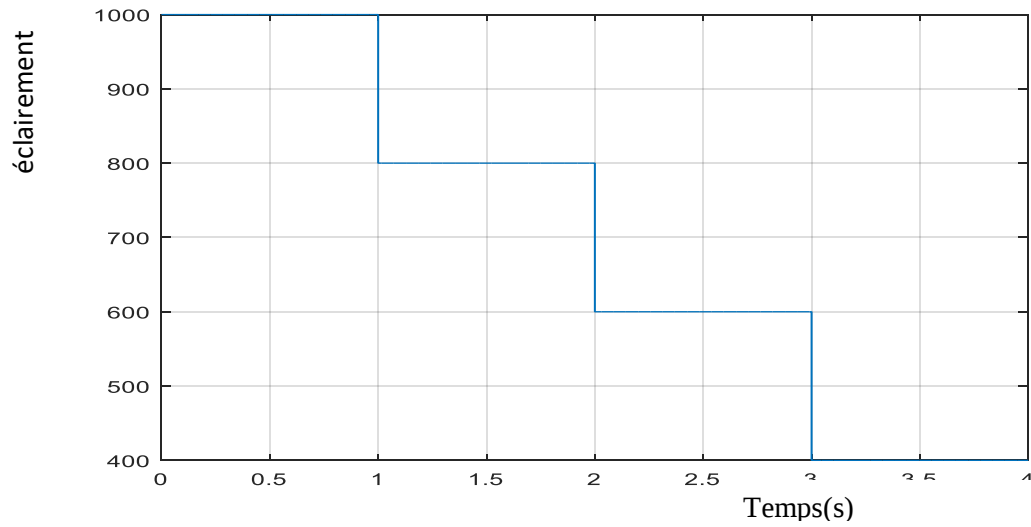


Figure (II.19) : Variation de éclairement .

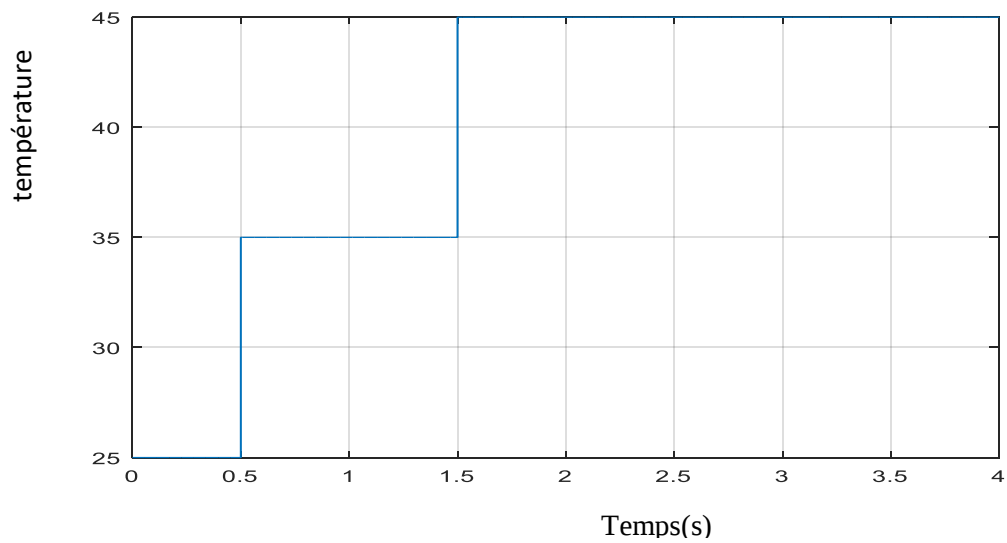


Figure (II.20) : Variation de la température.

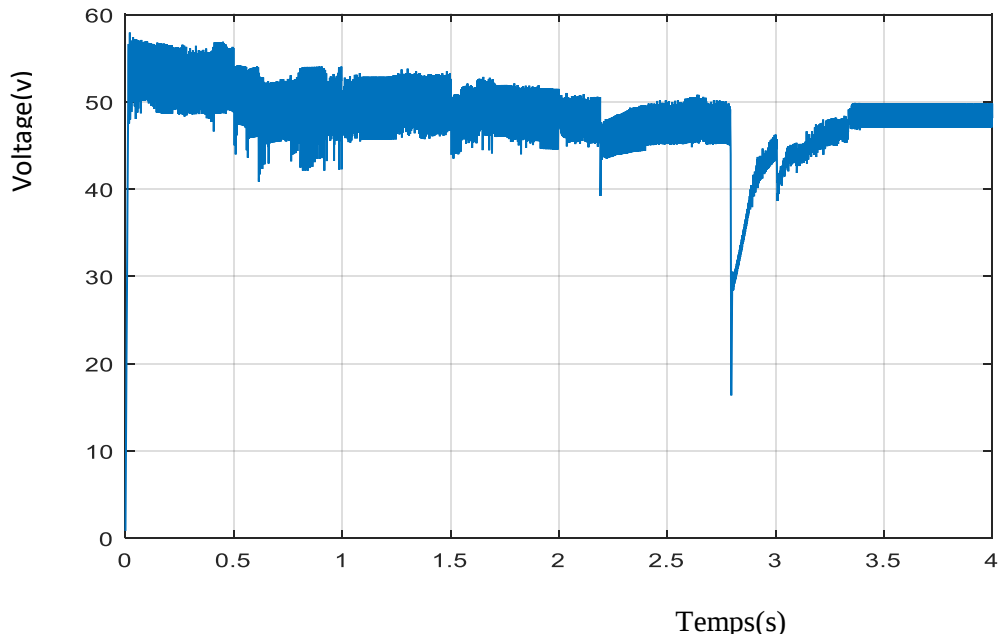


Figure (II.21) : Tension du PV.

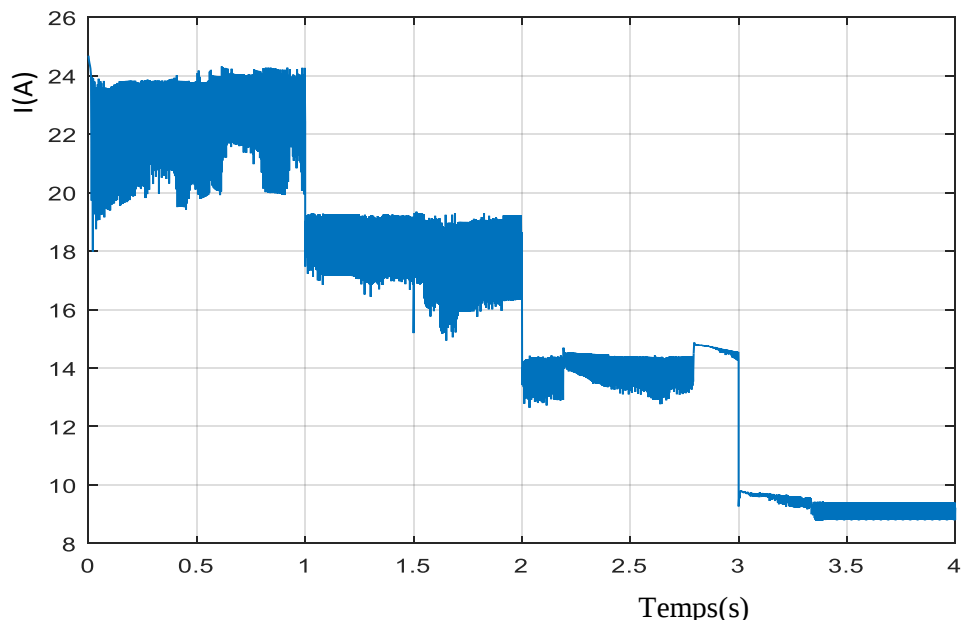


Figure (II.22) : Courant de sortie PV.

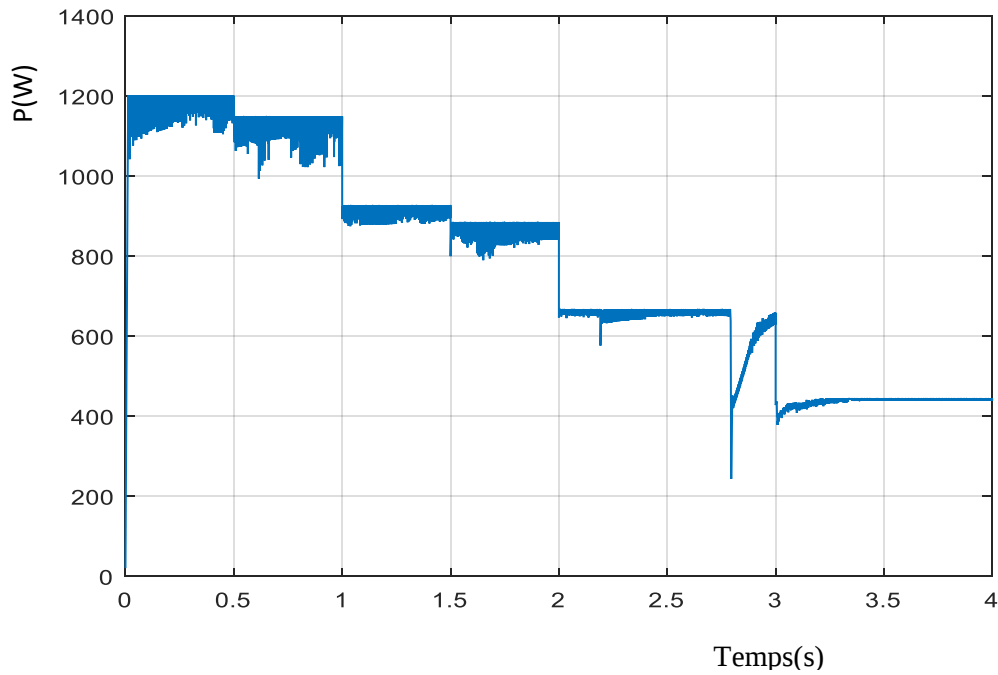


Figure (II.23) : Puissance d'un système PV.

II.9 Conclusion :

Ce chapitre, présente la modélisation et la simulation de l'ensemble composé de :générateur photovoltaïque, hacheurs (survolteur) et les commandes MPP. Il est force le générateur GPV à travailler à son point de puissance maximale (MPP), conclure une amélioration globale du rendement du système de conversion électrique. Le chapitre suivant présente la connexion d'un PV au réseau électrique.

Chapitre 03 :

Commande par mode glissant

d'un système photovoltaïques

connecter ou Réseau

Chapitre 03 : Commande par mode glissant d'un système photovoltaïques connecter ou Réseau

III.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.

III.2. Système connecté au réseau :

Les systèmes connectés au réseau (figure III.1) 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). La tâche de l'onduleur est de transformer le courant continu sortant des panneaux en courant alternatif.[27]

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.

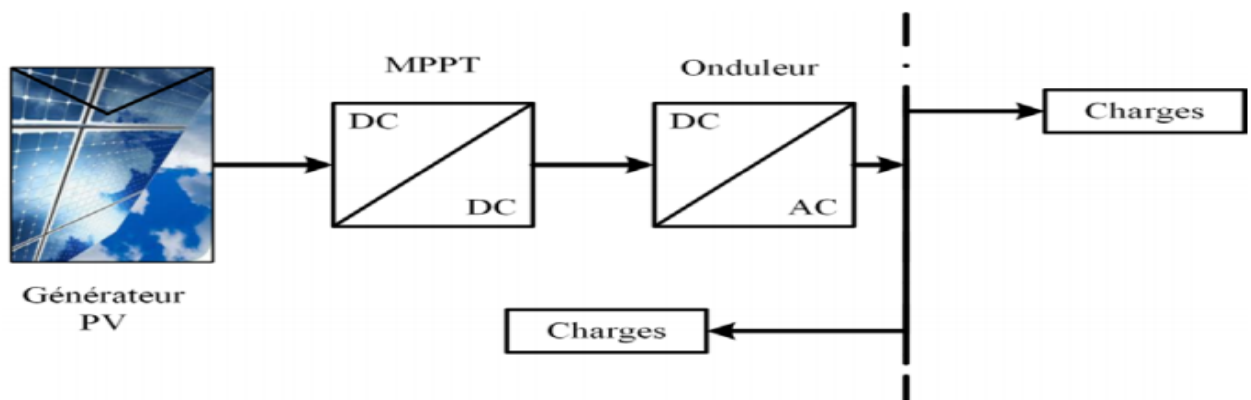


Figure III.1 : Schéma d'un système connecté au réseau [17].

III.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) .

III.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.

III.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 :

III.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 [27].

III.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 [19].

III.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 [27].

III.6 Structure générale d'un système photovoltaïque

Il existe deux types de structures de système photovoltaïque :

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.

III.7 Systèmes PV connecté directement au réseau :

III.7.1 Structure à convertisseur unique :

Le dispositif présenté par la Figure (III.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 [20].

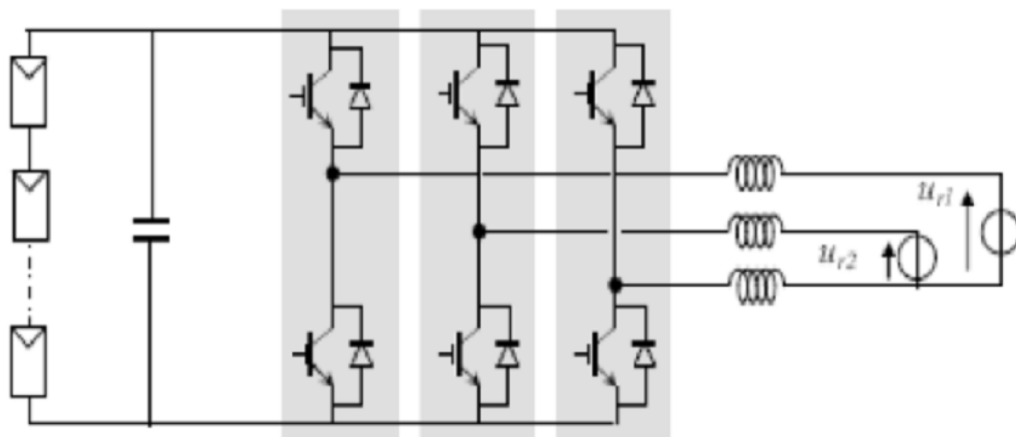


Figure III.2 : Plusieurs modules PV en série vers un seul onduleur [20].

III.7.2 Structure avec bus à basse tension alternative :

La figure (III.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 [21].

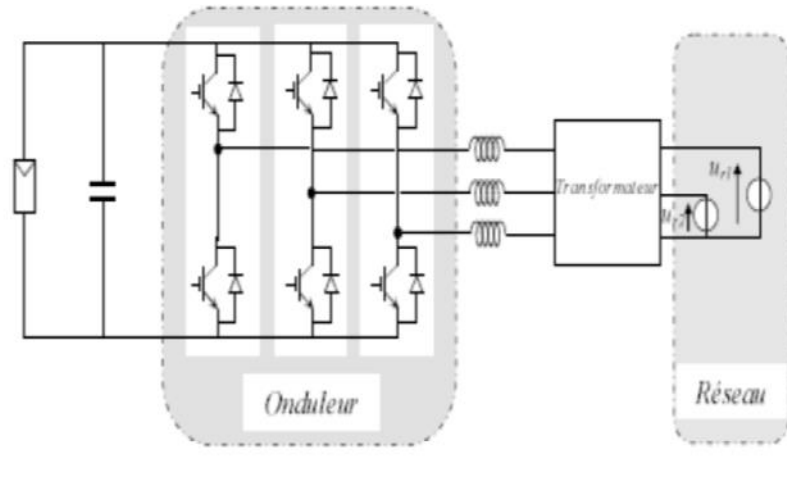


Figure III.3 : Bus à basse tension alternative [20].

III.8 .Problème de connexion des systèmes photovoltaïques au réseau :

Le débrogage de système photovoltaïque si le réseau présente une défaillance (le problème d'islanding) [21].

- 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.

III.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 [21] :

- ✎ 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).

III.10. Système photovoltaïque connecté au réseau proposé :

Le système que nous proposons pour l'étude et la simulation est schématisé par la Figure (III.4) sous Matlab/Simulink est utilisé pour effectuer la simulation numérique des opérations du système d'onduleur triphasé lié au réseau avec le contrôleur dérivé. Le contrôle discontinu gagne k_1 ,

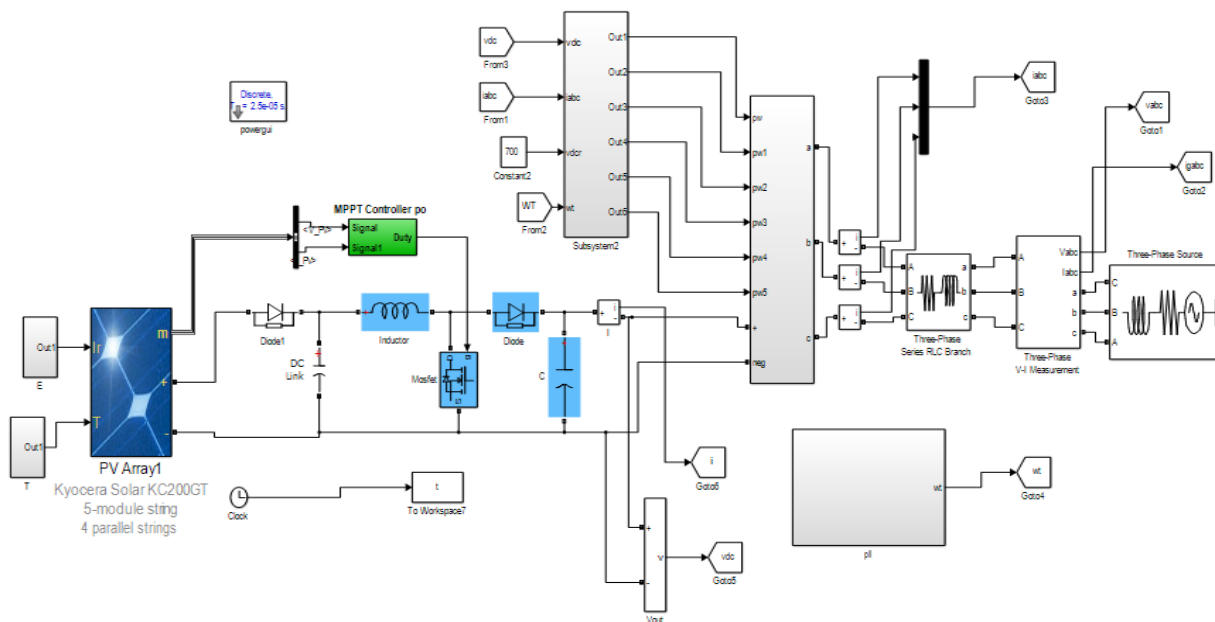


Figure III.4 : Schéma de simulation d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique.

III.11.La charge :

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

III.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 (III.5) nous montre le modèle de la charge connectée à l'onduleur de tension : [27]

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

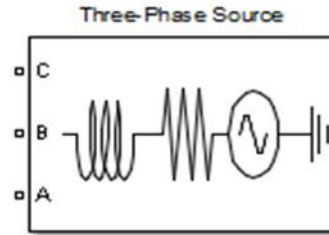


Figure III.5 Schéma de réseau électrique.

III.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]

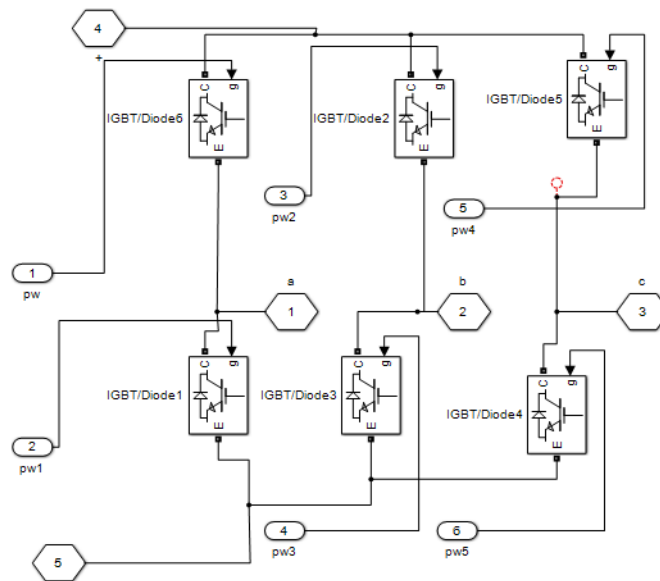


Figure III.6 Schéma de L'onduleur.

III.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.

III.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 [27].

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 (III.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 [27].

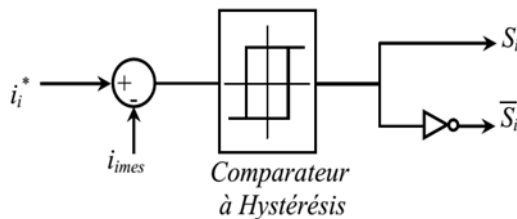


Figure III.7 Principe de contrôle du courant par hystérésis.

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 :

$$\left\{ \begin{array}{l} i - i = \frac{\Delta I}{2} \implies Si = 0 \\ i - i1 = \frac{\Delta I}{2} \implies Si = 1 \end{array} \right. \quad i = a, b, c \quad \left\{ \begin{array}{l} i_i^* - i_i = \frac{\Delta I}{2} \implies S_i = 0 \\ i_i^* - i_i = -\frac{\Delta I}{2} \implies S_i = 1 \end{array} \right. \quad i = a, b, c$$

III.12. 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

III.13. 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.

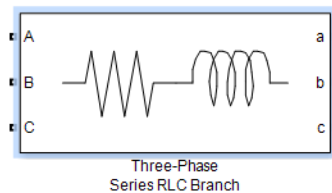


Figure III.8 : Le schéma block d'un filtre RL sur Matlab -Simulink.

III.14. Commande par mode glissant d'un système photovoltaïques connecter au Réseau :

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[28].

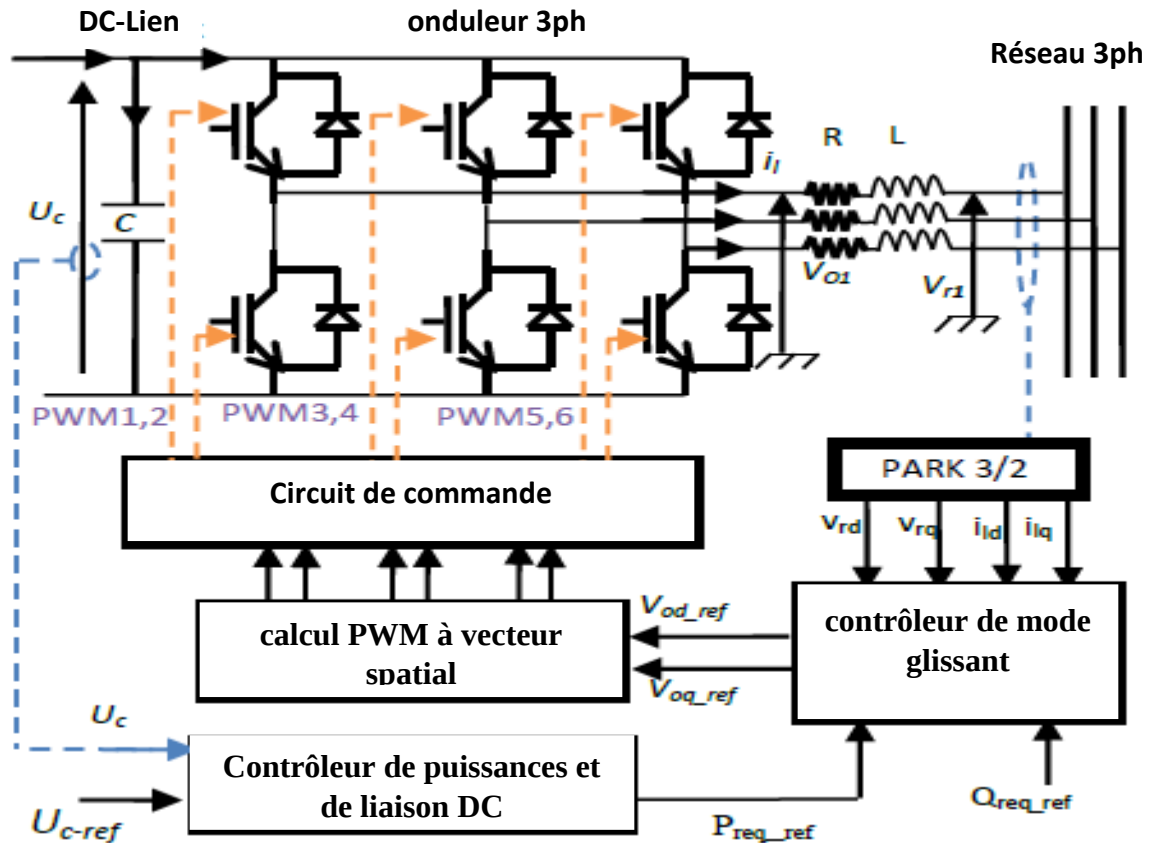


Figure III.9. Diagramme de stratégie de contrôle.

III.14.1. Contrôle en mode coulissant de l'onduleur triphasé:

Le contrôleur coulissant nécessite la connaissance du coulissement surface, la condition de convergence et la loi de commande[28].

La forme générale de la surface de glissement est donnée dans:

$$S(x) = \left(\frac{\partial}{\partial x} + \lambda_x \right)^{r-1} e(x) \quad (3.1)$$

Avec:

$$e(x) = x_{ref} - x$$

λ_x est une constante positive qui interprète la bande passante de le contrôle souhaité.

r : est un nombre de fois qu'il faut dériver le variables de sortie pour révéler la commande.

:

$S(x) = 0$ Une équation différentielle linéaire dont le seul la solution est $e(x) = 0$

La forme générale du contrôleur coulissant est $U = U_{eq} + U_{nl}$. U_{eq} et U_{nl} sont respectivement le contrôleur équivalent qui est la solution de l'équation $S(x) = 0$ et la partie non linéaire.

Qui peut être interprétée comme la valeur de dépassement du contrôleur qui permet de maintenir l'état du système sur le surface de glissement [28]. La commande non linéaire (U_{nl}) est donnée garantir l'attractivité de la variable à contrôler vers la surface de glissement et pour satisfaire la condition de convergence. La fonction la plus simple est sous forme de relais. Il est donné par $U_{nl} = k \cdot \text{signe}(S(x))$ avec K est une constante positive [28].

III.14.2. Application à l'onduleur

Le vecteur de contrôle est réalisé par le modèle du filtre ligne RL. Ce modèle est donné, en axe Park dq-, par :

$$\begin{cases} V_{od} = Ri_{Id} + L \frac{di_{Id}}{dt} - L\omega_s i_{Iq} + V_{rd} \\ V_{oq} = Ri_{Iq} + L \frac{di_{Iq}}{dt} + L\omega_s i_{Id} + V_{rq} \end{cases} \quad (3.2)$$

.

Avec V_{od} et V_{oq} sont les tensions de sortie de l'onduleur dans l'axe dq ; V_{rd} et V_{rq} sont les tensions de grille en axe dq ; R et L sont respectivement la résistance et l'inductance du filtre ω_s est la fréquence des courants injectés. Le vecteur de contrôle $U = [V_{od-ref} \ V_{oq-ref}]^T$ est donné par l'inversion directe de l'équation.

Cela s'exprime ainsi :

$$\begin{cases} V_{od-ref} = V_{Id-ref} - L\omega_s i_{Iq} + V_{rd} \\ V_{oq-ref} = V_{Iq-ref} + L\omega_s i_{Id} + V_{rq} \end{cases} \quad (3.3)$$

La sortie est le vecteur courants $I_l = [i_{Id} \ i_{Iq}]^T$ S_1 et S_2 constituent respectivement les surfaces de glissement des variables de sortie

i_{Id} et i_{Iq} . Ils représentent les erreurs du direct et courants quadratiques.

Ils s'expriment ainsi :

$$\begin{cases} S_1 = i_{ld-ref} - i_{ld} \\ S_2 = i_{lq-ref} - i_{lq} \end{cases} \quad (3.4)$$

En utilisant les équations du système (03), la première dérivation de Éq. 04 donne :

$$\begin{cases} S'_1 = i'_{ld-ref} + \frac{1}{L} [R_{ild} - L\omega_s i_{lq} + V_{rd}] - \frac{1}{L} V_{od} \\ S'_2 = i'_{lq-ref} + \frac{1}{L} [R_{ilq} - L\omega_s i_{ld} + V_{rq}] - \frac{1}{L} V_{oq} \end{cases} \quad (3.5)$$

Le degré relatif du système est égal à 1 car la commande apparaît dans la première dérivation des variables à contrôler.

La solution de l'équation $S' = 0$ conduit à l'équivalent contrôleur (Ueq). Son expression est donnée par

$$\begin{cases} i'_{ld-ref} = \frac{1}{L} [R_{ild} - L\omega_s i_{lq} + V_{rd} - V_{od}] \\ i'_{lq-ref} = \frac{1}{L} [R_{ilq} - L\omega_s i_{ld} + V_{rq} - V_{oq}] \end{cases} \quad (3.6)$$

La partie non linéaire du contrôleur coulissant est donnée par :

$$\begin{cases} i_{ld-nl} = K_d \text{sing} S_1 \\ i_{lq-nl} = K_q \text{sing} S_2 \end{cases} \quad (3.7)$$

Un choix possible de la structure d'un contrôleur de mode glissant est : Où

$$\begin{cases} i_{ld} = i'_{ld-ref} + K_d \text{sing} S_1 \\ i_{lq} = i'_{lq-ref} + K_q \text{sing} S_2 \end{cases} \quad (3.8)$$

Avec puissance reactive nulle le courant dans le référentiel de Park sur l'axe $q = 0$

Donc Imposer la composante directe de courant égale à zéro. $i_q = 0$, Le schéma de la commande par mode glissant donne comme suit

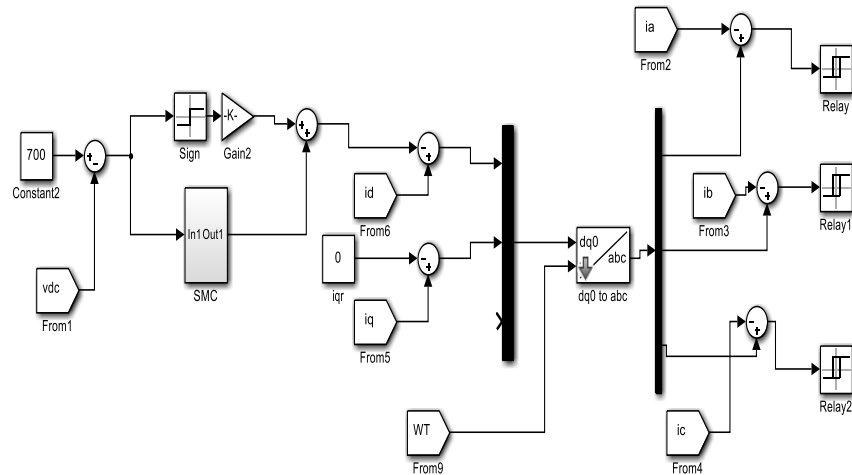


Figure III.10. Schéma de simulation de la commande par mode glissant de l'onduleur de tension

Le schéma bloc de simulation de l'ensemble du système représenté par la figure III-5 est constitué par les différents blocs suivantes:

Générateur photovoltaïque : qui joue le rôle d'une source de tension continue qui est formé par des modules avec un nombre $N_s = 5$ en série et $N_p = 4$ parallèle, pour avoir une capacité de puissance nominale 12 kW.

Convertisseur Boost (DC- DC) : C'est un étage d'adaptation entre le GPY et l'onduleur qui dispose d'un algorithme de commande MPPT type P&O, ce qui permet de placer automatiquement le point de fonctionnement du GPY au point de puissance maximale MPP, ainsi il augmente la tension d'entrée à une valeur désirée.

Bloc de régulation de la tension continue V de : La régulation de la tension du bus continu Vde porte l'information relative à l'écoulement de puissance entre le générateur photovoltaïque, le réseau électrique et la charge. Un régulateur à structure variable est utilisé dans la boucle de régulation de la tension afin de réduire les fluctuations de la tension aux bornes du condensateur Cde et de la maintenir à sa valeur référence Vde-ret.

Le réseau électrique : représente le réseau électrique de distribution, modélisé par une source de tension triphasée parfaitement sinusoïdale (f.e.m) et en série avec des impédances interne (R_s, L_s) caractérisant l'impédance de court-circuit du réseau

III.15. Résultat des simulations :

Dans cette partie, nous allons étudier le comportement dynamique et la robustesse de commande de l'ensemble du système proposé lors d'une variation de l'ensoleillement et nous allons effectuer la simulation de l'ensemble du système photovoltaïque connecté au réseau électrique, de telle sorte de faire fonctionner le système simultanément comme une source d'énergie (injection de puissance active renouvelable au réseau électrique).

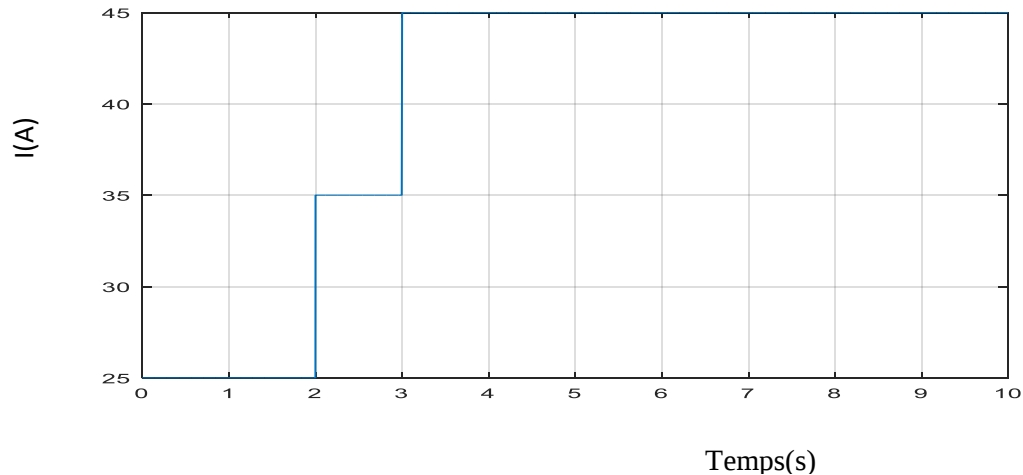


Figure III-11: Signal de température

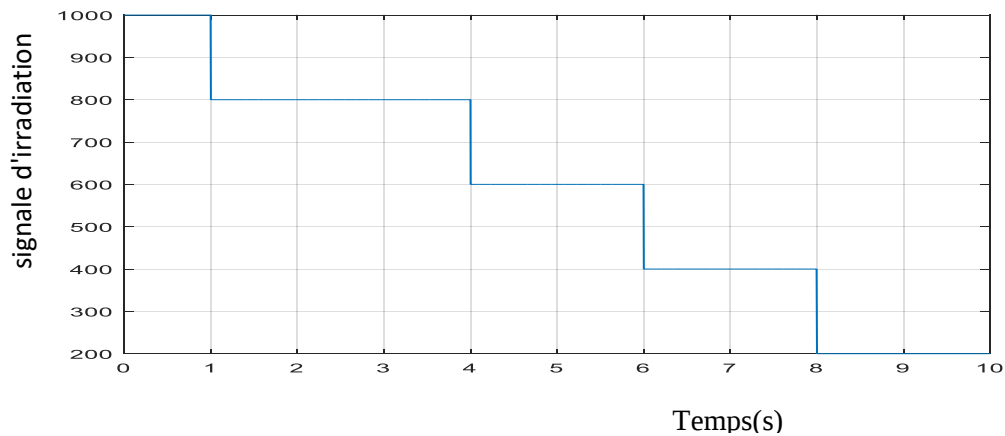


Figure III-12: Signal d'irradiation

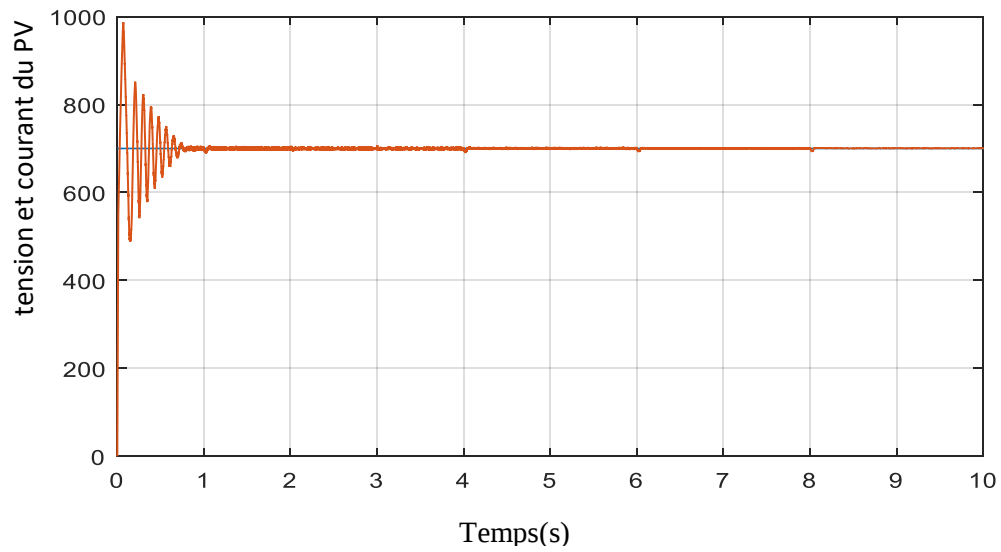


Figure III-13: Tension et courant du PV

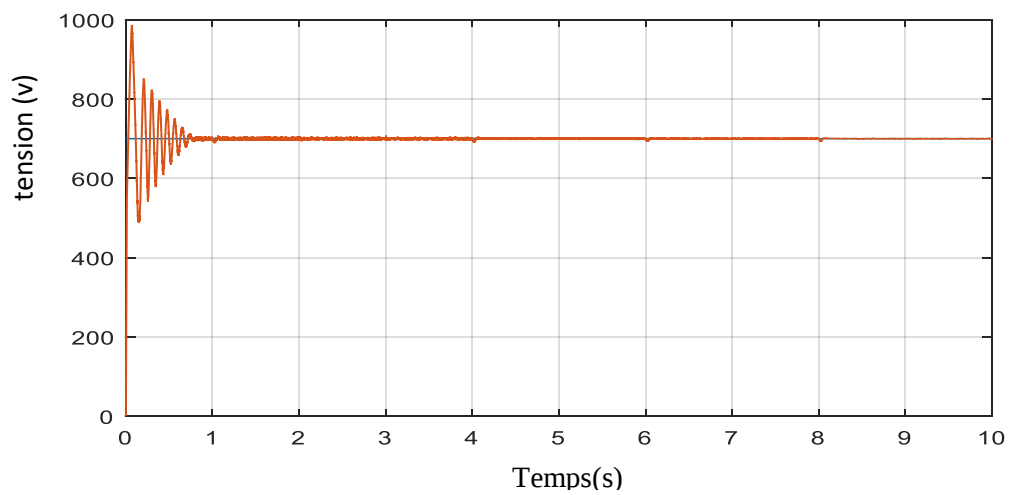


Figure III-14 : Tension aux bornes du condensateur et sa référence

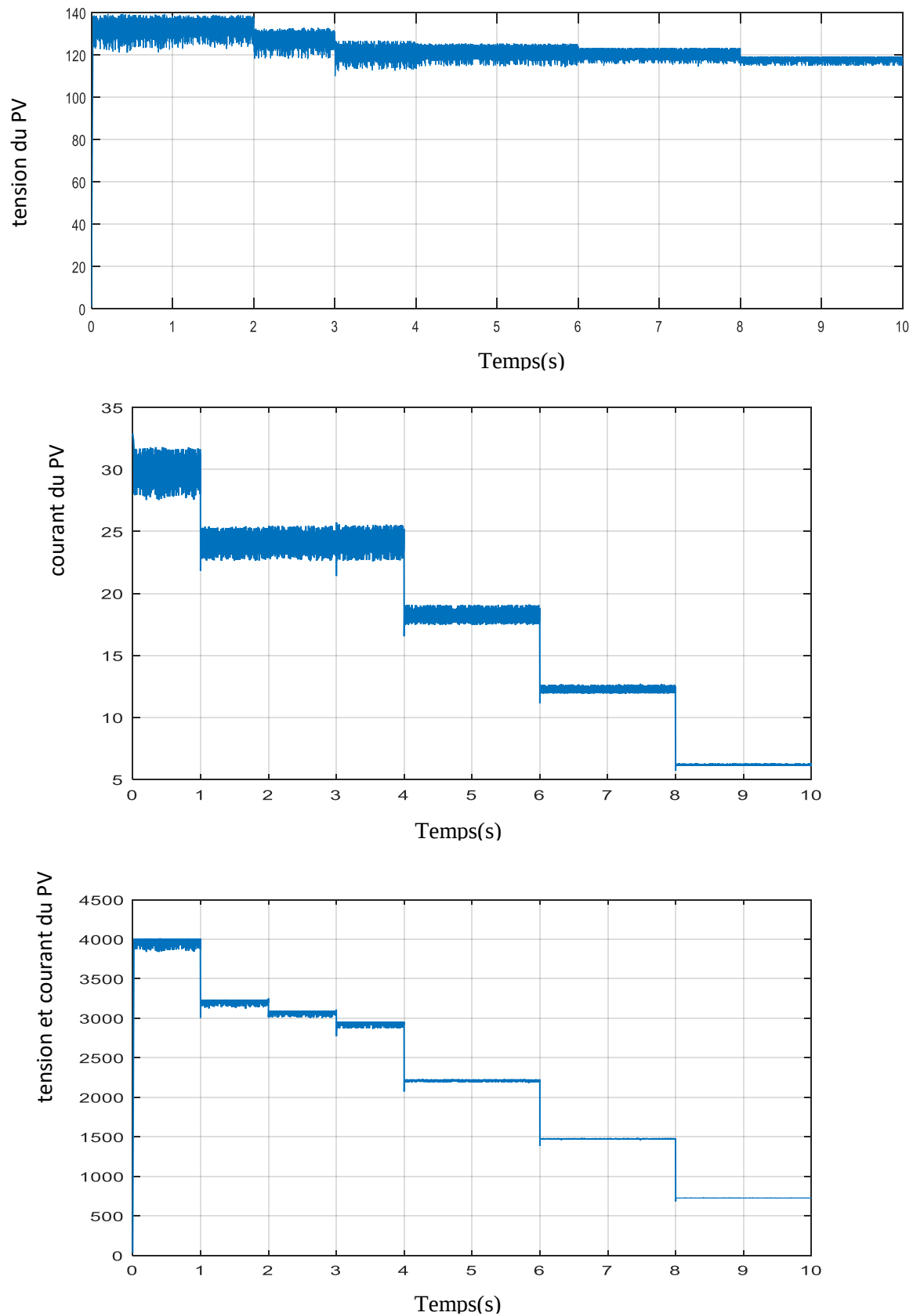


Figure III-15 Puissance générée par PV

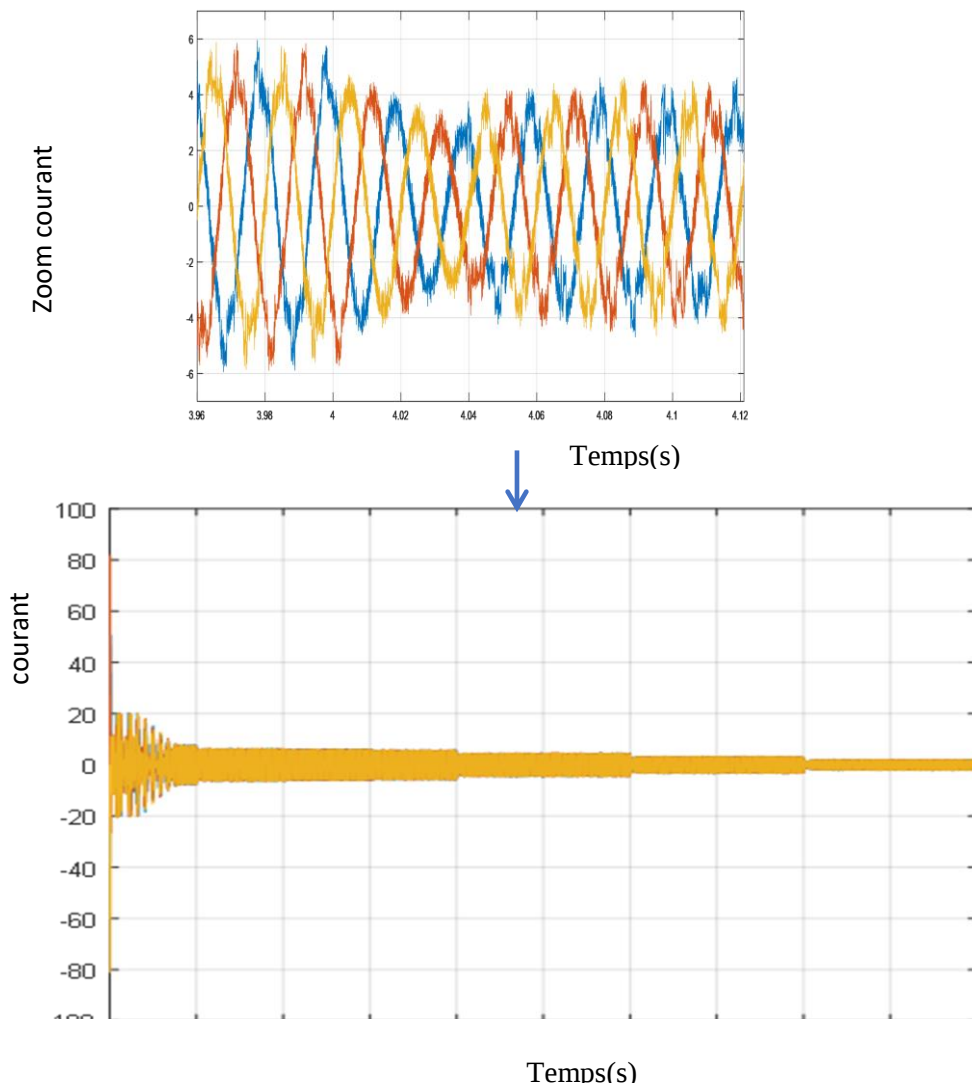


Figure III-16: Zoom courant à la sortie de l'onduleur

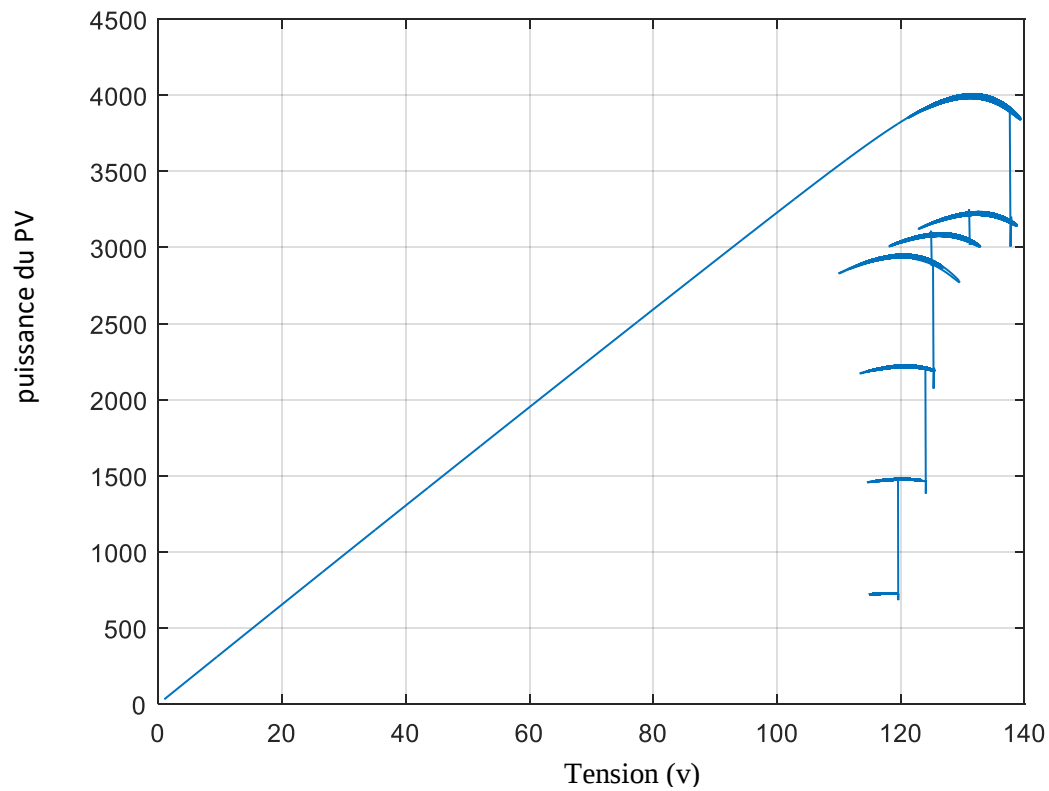


Figure III-17: Caractéristique de la tension et de la puissance du PV

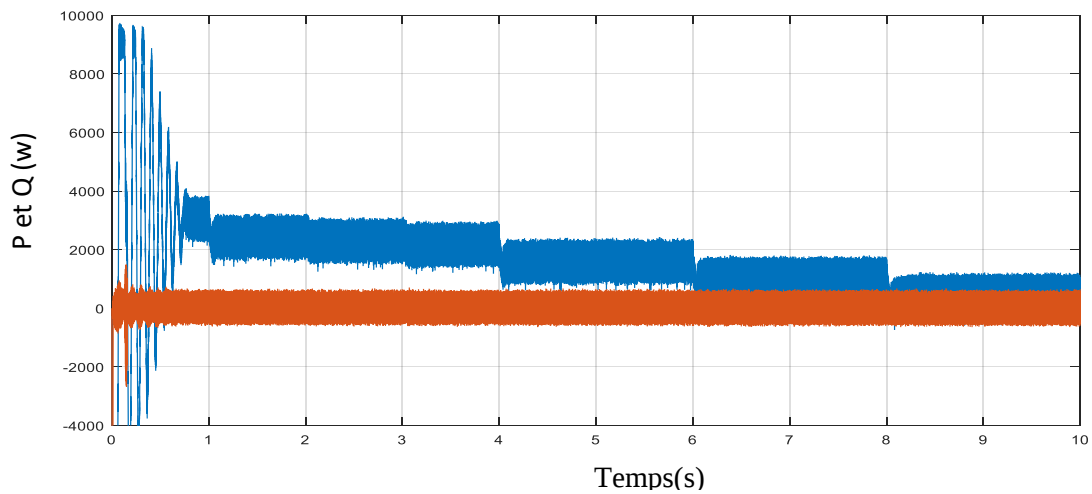


Figure III-18: Caractéristique de la puissance active P et de la puissance réactive Q injecter dans le réseau.

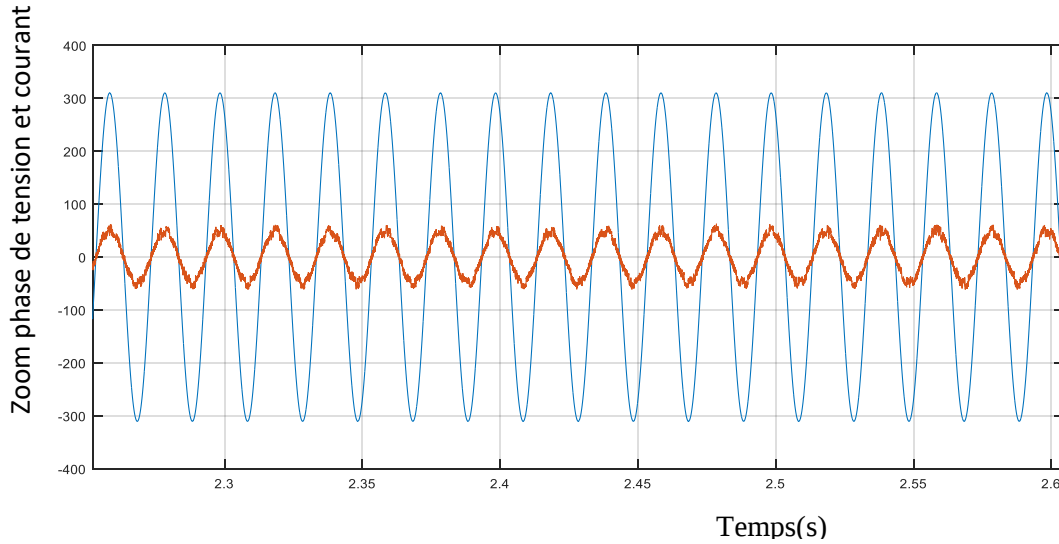


Figure III-19: Zoom phase de tension du réseau et courant

D'après les résultats de simulations obtenus de l'ensemble du système, on constate que on peut constater que la variation de l'ensoleillement ne provoque aucune perturbation au niveau des tensions de réseau. Par contre, le courant de réseau diminuée lorsque l'irradiation solaire diminuée on peut conclure que la diminution de la puissance engendrée par GPV lors de variation de l'irradiation, le réseau électrique couvre et fournit le manque de puissance active demandée par la charge.

Le courant et la tension de réseau sont parfaitement en phase durant toutes les variations

Le courant de réseau reste quasi sinusoïdal et équilibré durant toutes les variations.

La tension du Bus continu (Vdc) est maintenue constante et suit parfaitement sa référence (Vdc-ref = 700V) après un transitoire de l'ordre 0.7s, et tout cela grâce au mode glissant.

On peut conclure que les résultats de simulation obtenus sont très satisfaisants et montrent bien le bon fonctionnement et l'efficacité de l'ensemble du système proposé. Donc, nous avons réussies d'atteindre nos objectifs de l'étude qui sont l'injection de puissance produite par le GPV dans le réseau.

III.16.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le système PV directement connecté au réseau par l'intermédiaire d'un onduleur et hacheur élévateur sous le logiciel du Matlab Simulink. Les résultats de la simulation montrent le bon fonctionnement et la robustesse de la commande mode glissant. Cette commande est contrôlée par une tension du bus continue de référence d'où son intérêt sur le plan technique et financier. On obtient également un courant acceptable de bonne qualité exigences de la connexion à un réseau de distribution.

Conclusion générale

Conclusion générale:

Dans ce projet on s'est intéressé à l'étude d'un système photovoltaïque connecté à un réseau électrique de distribution avec réglage de puissance. Les recherches présentées ont permis d'effectuer la conception d'une commande adéquate de l'onduleur triphasé tout en assurant un contrôle sur la puissance (active et réactive). Le premier et le deuxième chapitres ont posé les bases sur la présentation d'un panneau photovoltaïque, le hacheur boost et la commande MPPT. Nous avons vu par la suite qu'il existe plusieurs types de commande MPPT.

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), commande (MPPT), un onduleur triphasé commandé par régulateur mode glissant, 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 contrôlé 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 le DC capacitance et améliorer la fiabilité du système ainsi que les performances MPPT.

Références

Références

- [1] YAHYA, Abdelhafid, EL FADIL, Hassan, GUERRERO, Josep M., *et al.* Three-phase grid-connected of photovoltaic generator using nonlinear control. In : *2014 IEEE Conference on Control Applications (CCA)*. IEEE, 2014. p. 879-884.
- [2] Rachida Ghernoug, Maroua Sadallah , Nour El Houda Dhou, «Commande MPPT par la logique floue pour les systèmes Photovoltaïques», mémoire de master, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued ,2021
- [3] BOUCHAMA Messaoud , LAOUAR Mohammed Islam «Commande par mode glissant des systèmes photovoltaïques», Université Mohammed Seddik Benyahia – Jijel,2018
- [4] <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie>.
- [6] https://www.photovoltaique.guidenr.fr/informations_techniques/propriete-electrique-module-photovoltaique/definition-rayonnement.php.
- [7] <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/8867/4/INFORMATION%20Chapitre%20I%20cor2.pdf>.
- [8] <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/panneaux-solaires-photovoltaiques>.
- [9] <https://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/effet-photovoltaique.html>.
- [10] <https://www.calculeo.fr/eco-travaux/panneaux-solaires-photovoltaiques/les-capteurs-solaires>.
- [11] https://fr.wikipedia.org/wiki/Capteur_solaire_thermique.
- [12] https://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Capteur_solaire_plan.
- [13] <http://www.foad.uadb.edu.sn/mod/book/tool/print/index.php?id=2440>.
- [14] <https://energieplus-lesite.be/theories/photovoltaique6/caracteristiques-electriques-des-cellules-et-des-modules-photovoltaiques/>.
- [15] <https://www.oreilly.com/library/view/les-installations-photovoltaiques/9782212161755/annex2.html>.
- [16] <https://services.totalenergies.fr/particuliers/energies-habitat/solaire/mieux-comprendre-energie-solaire>.
- [17] <https://www.lepanneausolaire.net/les-atouts-inconvenients-l-energie-solaire.php>.
- [18] CHERKI Mohamed Souheil «Etude et comparaison des algorithmes MPPT dans les systèmes photovoltaïques», Ecole Nationale Polytechnique– Alger,2013
- [19] <https://enerplus-dz.com/convertisseurs-dc-dc/>.
- [20] <https://energie28.blogspot.com/2016/11/convertisseur-dc-dc-hacheur.html>.

- [21] <https://www.phoenixcontact.com/fr-ma/produits/convertisseurs-dc-dc-et-onduleurs-dc-ac/convertisseurs-dc-dc#ex-content-transclusion-snippet--421>.
- [22] <http://dspace.univtiaret.dz/bitstream/123456789/11620/4/chapitre%20II%20corrig%C3%A9.pdf>
- [23] HAKOUMI Ahmed «Commande MPPT et contrôle d'un système photovoltaïque 3KW par la logique floue», Université Ahmed Draia Adrar,2019.
- [24] Sedrati youcef «implémentation de l'algorithme P&O pour un système photovoltaïque», Université de Kasdi Merbah Ouargla,2016
- [25] BENBOUHANI SALAH «Contrôle et adaptation d'un système PV par la commande MPPT», Université D'ADRAR,2015
- [26] Chebhi Chems Eddine,« Maximisation de la production d'un système photovoltaïque à base de commande MPPT», Université BADJI MOKHTAR- ANNABA
- [27] Bouguesba Abir ,« Simulation d'un système photovoltaïque connecte au réseau», Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
- [28] YOUNSI, Sami et HAMROUNI, Nejib. Control of grid connected three-phase inverter for hybrid renewable systems using sliding mode controller. International journal of advanced computer science and applications, 2018, vol. 9, no 11