

شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): غيتاوي تهامي

المشرف مذكرة الماستر.

الموسومة بـ: Commande non linéaire d'un système de pompe photovoltaïque installée dans un site saharien.

من إنجاز الطالب(ة): كرواح خولة

و الطالب(ة): قندور نور الهدى

كلية: العلوم والتكنولوجيا

القسم: العلوم والتكنولوجيا

التخصص: تحكم كهربائي

تاريخ تقييم / مناقشة: 20/06/2021

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها. و بإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والإلكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

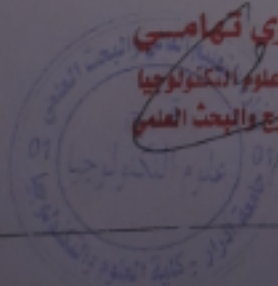
ادرار في: 2021/06/24

مساعد رئيس القسم:

د. غيتاوي تهامي

مساعد رئيس قسم علوم التكنولوجيا

مكلف بها بعد التخرج والبحث العلمي





République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Ahmed Draïa
Faculté Science et de la Technologie
Département Sciences et de la Technologies



MÉMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE MASTER
SPÉCIALITÉ : ÉLECTROTEQNIQUE
OPTION : COMMANDE ELECTRIQUE

Thème :

**Commande non linéaire d'un système de pompage photovoltaïque
installé dans un site saharien**

Soutenir le : jun2021

Présenté par :

- KERFOUH KHAOULA
- GUENDOUZ NOUR EL HOUDA

Devant le jury composé de :

Encadreur : Dr. GHAITAOUI TOUHAMI	MCA	UNV D'ADRAR
Co-encadreur : Mr.O.OULAD ALI	MAA	UNV D'ADRAR
Examineur : Dr.HARROUZ ABDELKADER	MCA	UNV D'ADRAR
Examineur : Mr.DAHBI HASSAN	MAA	UNV D'ADRAR

Année Universitaire 2020/2021

Remerciement

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné courage, patience et force durant toutes ces années d'étude et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé.

Nous tenons à exprimer notre remerciement et notre gratitude à notre encadreur : DR. GHAITAOUI TOUHAMI pour la Confiance qu'il nous a prodigué pour la direction de ce travail, sans cesser de nous encourager et de nous pousser vers les horizons de recherche scientifique.

Nous remercierons profondément Mr. O. OULLED ALI pour son aide, ses conseils et pour le temps qu'il nous a consacré.

Nos remerciements au département de Science et Technologie de l'université d'Adrar et à tous les enseignants qui nous enseignés durant les années du cursus.

Nos remerciements sont également adressés aux membres de jury qui ont accepté de juger ce travail.

Enfin nous remercions aussi toutes les nos familles et les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la rédaction de

Ce travail spécifiquement à Dr. NSAI BIA Amar Docteur dans l'Unité de recherche d'énergies renouvelables au milieu saharienne- ADRAR.

Dédicaces

Je dédie ce travail à ma chère moi qui a été patiente et qui a souffert pour atteindre son but.

Je dédie également ce travail à ma chère amie Khaoula, qui m'a porté tout au long de la période de travail

Nour el houda

Dédicace

Tout d'abord, je remercie mon dieu Allah pour le courage de faire ce travail et le compléter.

*Je dédie ce travail à ma famille, Mes très chers parents
Qui n'ont jamais cessé d'être à l'écoute et pour tous leurs
sacrifices*

*Mon frère Mohamed qui m'a encouragé au cours de mon
étude.*

A mon binôme nour el houda.

A tous mes amis et collègues.

*A tous ceux qui ont participés de près ou de loin pour la
réalisation de ce travail et ceux qui m'espèrent la réussite.*

Et à tous ceux qui leurs revient du droit

Khaoula

Résumé

Dans ce mémoire, nous nous sommes concentrés sur l'amélioration des performances et de l'efficacité des systèmes photovoltaïques. L'objectif principal est d'étudier et comparer les performances des différentes méthodes MPPT et de trouver la méthode la plus efficace (en terme de rapidité de convergence vers le point MPP avec des oscillations réduites) permettant ainsi d'extraire la puissance maximale fournie par le générateur photovoltaïque. Nous avons appliqué une commande non linéaire à base de logique floue à un système de pompage photovoltaïque. Le contrôleur floue a été utilisé pour l'optimisation de l'énergie photovoltaïque et pour la commande du convertisseur DC /DC afin de contrôler la charge (pompe) de notre système.

Les résultats de simulation sont obtenus avec l'utilisation du programme MATLAB Simulink.

Mots clés : Commande ; Puissance ; MPPT ; systèmes PV ; pompage photovoltaïque ; énergie électrique ; convertisseur.

ملخص

في هذه الرسالة، ركزنا على تحسين أداء وكفاءة الأنظمة الكهروضوئية. الهدف الرئيسي هو دراسة ومقارنة أداء طرق MPPT المختلفة وإيجاد الطريقة الأكثر فعالية (من حيث سرعة التقارب نحو نقطة MPP مع التذبذبات المنخفضة)، مما يجعل من الممكن استخراج أقصى طاقة توفرها الخلايا الكهروضوئية مولد كهرباء. طبقنا تحكماً منطقياً غير خطي ضبابياً على نظام ضخ ضوئي. تم استخدام وحدة التحكم الغامضة لتحسين الطاقة الكهروضوئية وللتحكم في محول DC / DC للتحكم في الحمل (المضخة) لنظامنا.

تم الحصول على نتائج المحاكاة باستخدام برنامج MATLAB Simulink.

الكلمات الرئيسية: ترتيب؛ قوة؛ MPPT. أنظمة الكهروضوئية ضخ الكهروضوئية طاقة كهربائية؛ محول. كلمات مفتاحية: قيادة؛ قوة؛ MPPT. أنظمة الكهروضوئية الضخ الكهروضوئي، الطاقة الكهربائية؛ محول.

Abstract

In this thesis, we have focused on improving the performance and efficiency of photovoltaic systems. The main objective is to study and compare the performances of the different MPPT methods and to find the most efficient method (in terms of speed of convergence towards the MPP point with reduced oscillations) thus making it possible to extract the maximum power supplied by the photovoltaic generator. We applied a nonlinear fuzzy logic control to a photovoltaic pumping system. The fuzzy controller was used for optimization of photovoltaic energy and for controlling the DC / DC converter to control the load (pump) of our system.

Simulation results are obtained using the MATLAB Simulink program.

Keywords: Order; Power; MPPT; PV systems; photovoltaic pumping; electric energy; converter.

Sommaire

Liste des figures	
Liste des symboles	
Introduction générale.....	I

Chapitre I : Etat de l'art sur système de pompage photovoltaïque

I.1 Introduction	1
I.2 la source solaire	1
I.2.1 spectre de rayonnement solaire.....	2
I.2.2 Différents types de rayonnement	3
I.2.2.1 Rayonnement direct	3
I.2.2.2 Rayonnement diffus	3
I.2.2.3 Albédo	3
I.2.2.4 Rayonnement global	3
I.3 le système de pompage photovoltaïque	4
I.3.1 méthode de pompage	4
I.3.1.1 pompage au fil de soleil	4
I.3.1.2 pompage avec les batteries	4
I.3.2 les différents composants d'un système de pompage photovoltaïque	5
I.4 le générateur photovoltaïque	5
I.4.1 la cellule photovoltaïque	6
I.4.2. historique photovoltaïque	6
I.4.3. structure physique.....	7
I.4.4. le fonctionnement.....	7
I.4.5. schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque	8
I.4.5.1 association en série	9
I.4.5.2 Association en parallèle	9
I.4.5.3 Association série-parallèle.....	10
I.4.6. le module photovoltaïque	10
I.4.6.1. caractéristique d'un module photovoltaïque	11

I.4.6.2. fonctionnement d'un générateur photovoltaïque à sa puissance maximale	12
I.5. le convertisseur statique.....	12
I.5.1. les hacheurs	13
I.5.1.1. hacheur série	13
I.5.1.2 hacheur parallèle.....	14
I.5.1.3.hacheur mix.....	14
I.6. les moteurs d'entraînement	15
I.6.1. moteur synchrone	15
I.6.2. moteur asynchrone.....	15
I.6.3. moteur a courant continue	16
I.7. les différents types de pompage	16
I.7.1. pompage centrifuge	17
I.7.1.1. principe de fonctionnement	17
I.7.2. pompage volémitrique.....	17
I.7.2.1. Principe de fonctionnement	18
I.8. choix de la structure à étudié	18
I.9. conclusion	20
 <i>Chapitre II : modélisation de la chaine de système pompage photovoltaïque</i> 	
II.1. Introduction	22
II.2. Modélisation du générateur photovoltaïque.....	23
II.3. Modélisation du hacheur survolteur	25
II.4. Les onduleurs.....	26
II.4.1. les onduleurs triphasé.....	26

II.4.1.1. Modélisation d'un onduleur triphasé.....	27
II.5. modélisation de la machine asynchrone	29
II.5.1 Hypothèses de travail.....	29
II .6. Modélisation de la pompe centrifuge.....	31
II.6.1. Données de base.....	31
II.6.2. Débit	31
II.6.3 Hauteur manométrique totale	31
II.6.4. Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire.....	31
II.7 La commande MPPT.....	32
II.7.1 Méthode de perturbation et d'observation (P&O)	33
II.7.2 Méthode à base de logique floue.....	35
II.8 Conclusion.....	36

Chapitre III : Simulation de commande de système photovoltaïque

III.1 Introduction	38
III.2 Simulation des performances du module ET-P650250ww	38
III.2.1 L'influence de la température et les irradiations sur le panneau.....	40
III.3 Simulation du générateur PV et le convertisseur (boost) avec Mppt.....	41
III.3.1 La commande P&O	41
III.3.2 la commande non linéaire (logique floue)	47
➤ Effet du changement simultané de l'ensoleillement	49
➤ Effet du changement simultané de la température.....	51
III.4 comparaison entre les deux méthodes	54
III.5 Conclusion.....	54

**Chapitre IV : Simulation d'une commande non linéaire de système pompage
photovoltaïque par « CLF »**

IV.1 Introduction	56
IV.2 Les étapes de dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque.....	56
IV.2.1 Evaluation des besoins en eau.....	56
IV.2.2 Calcule de l'énergie quotidienne requise	57
IV.2.3 choix des composants de système	57
IV.2.3.1 Dimensionnement de la pompe centrifuge.....	57
IV.2.3.2 Dimensionnement du champ photovoltaïque	58
IV.3 Convertisseur statique l'onduleur (DC/AC)	59
IV.3.1 schéma block d'un onduleur triphasé simple commandé par MLI	59
IV.4 résultat de simulation de système PV avec la pompe	62
IV.5 conclusion	68
Conclusion générale	70
Référence bibliographies.....	72

Liste des figures

Liste des figures

N° de figures	Titres	pages
Chapitre I		
Figure I.1	des panneaux photovoltaïques	2
Figure I.2	spectre de rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère	3
Figure I.3	Énergie solaire photovoltaïque	4
Figure I.4	Un système de pompage photovoltaïque	6
Figure I.5	Représentation schématique d'une pile solaire à jonction PN standard.	8
Figure I.6	Schéma d'une cellule photovoltaïque	9
Figure I.7	Caractéristique résultante d'un groupement en série de ns cellules identiques	10
Figure I.8	Caractéristique résultante d'un groupement constitué de N_p cellules identiques en parallèle	10
Figure I.9	la caractéristique résultante obtenue en association en parallèles/série	11
Figure I.10	Schéma d'un panneau photovoltaïque	11
Figure I.11	Caractéristiques type d'un générateur photovoltaïque	12
Figure I.12	Convertisseur DC-DC	14
Figure I.13	schéma d'un convertisseur Buck	14
Figure I.14	schéma d'un convertisseur BOOST	15
Figure I.15	Schéma de principe d'un convertisseur dévolteur-survolteur	15
Figure I.16	Illustration d'une centrifuge à turbine	18
Figure I.17	Pompe volumétrique rotative à palette	18
Chapitre II		
Figure II.1	Schéma synoptique d'un système de pompage photovoltaïque	22
Figure II.2	Circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.	23

Figure II.3	Schéma électrique de hacheur survolteur de tension (boost).	25
Figure II.4	schéma de principe d'un onduleur triphasé alimenté à partir des panneaux solaires (schéma pour la modélisation)	27
Figure II.5	Les différents systèmes d'axes utilisés	31
Figure II.6	schéma de la commande MPPT	33
Figure II.7	Le fonctionnement de l'algorithme PO	34
Figure II.8	Organigramme de la méthode Perturbation et Observation.	34
Figure II.9	Les commandes MPPT basées sur le principe de la logique floue (a)exemple de structure de base de la commande floue. (b) exemple d'une table de vérité pour une commande logique floue	35

Chapitre III

Figure III.1	Schéma synoptique du système photovoltaïque avec la commande Mppt	38
Figure III.2	Schéma bloc du générateur photovoltaïque sous Matlab/Simulink.	39
Figure III.3	caractéristique $I = f(V)$, $P = f(V)$ du module à $G=1000W/m^2$ et $T=25^{\circ}C$.	39
Figure III.4	Influence de température	40
Figure III.5	Influence de l'irradiation	41
Figure III.6	Schéma bloc d'un système photovoltaïque contrôlé par la commande MPPT «P&O » (a). Paramètres de la charge RLC(b)	42
Figure III.7	Schéma block d'un convertisseur survolteur (BOOST).	42
Figure III.8	algorithme de la commande mppt	43
Figure III.9	Signal commande DC/DC (gâchette- d'hacheur).	43
Figure III.10	Résultats de simulation de la tension (entrée / sortie) du hacheur survolteur	44
Figure III.11	Résultats de simulation de la Puissance (entrée / sortie) du hacheur survolteur	44
Figure III.12	Variations simultanée de l'ensoleillement variable et température constant.	45
Figure III.13	puissance de sortie boost et du générateur photovoltaïque	45
Figure III.14	tension de sortie boost et du générateur photovoltaïque	45

	Schéma bloc d'un système photovoltaïque contrôlé par la commande	46
Figure III.15	MPPT « fuzzy Logic»	
Figure III.16	tension de sortie DC/DC et de PV contrôlée par la commande MPPT « fuzzy Logic».	46
Figure III.17	puissance de sortie DC/DC et de PV contrôlée par la commande MPPT « fuzzy Logic»	47
Figure III.18	Variations simultanée de l'ensoleillement variable et température constant	47
Figure III.19	Tension de sortie du système photovoltaïque (PV, boost)	48
Figure III.20	puissance de sortie du système photovoltaïque (PV, boost)	48
Figure III.21	Variations simultanée de l'ensoleillement fixe et température variable	49
Figure III.22	Puissance de sortie du convertisseur boost (DC/DC)	49
Figure III.23	Tension de sortie du convertisseur DC/DC (boost)	49
Figure III.24	courant de sortie du boost	50
Figure III.25	puissance de sorite convertisseur boost (PO et CLF)	50
Chapitre IV		
Figure IV.1	Chaine de pompage photovoltaïque	52
Figure IV.2	Schéma de principe du système de pompage d'eau	54
Figure IV.3	les caractéristique I-V et P-V de système	55
Figure IV.4	schéma block d'onduleur triphasé	55
Figure IV.5	schéma block de la commande MLI	56
Figure IV.6	tension de l'entrée d'onduleur	56
Figure IV.7	tension de sortie d'onduleur	57
Figure IV.8	schéma block de filtre	57
Figure IV.9	sortie de filtre	58
Figure IV.10	schéma global de chien pompage photovoltaïque à commande non linéaire	59
Figure IV.11	schéma block de groupe motopompe	59
Figure IV.12	schéma de pompe Hydraulique Pompe 3000 PSI et sa paramètre	60

Figure IV.13	représenté le moteur et se paramètre	60
Figure IV.14	le courant satorique	61
Figure IV.15	vitesse de rotor	61
Figure IV.16	couple électromagnétique	62
Figure IV.17	puissance mécanique	62
Figure IV.18	ouverture de soupape (valve opening)	63
Figure IV.19	le débit (flow rate)	63
Figure IV.20	la pression (pressure)	64

Nomenclature

Nomenclature

R : Résistance rotorique (Ω).

R_s : Résistance statorique (Ω).

T_{STc} : Température dans les conditions standards ($^{\circ}\text{C}$).

V_{dc} : Tension à l'entrée de l'onduleur (V).

α_{cc} : Coefficient d'incrémentation du courant I_{cc} ($\text{mA}/^{\circ}\text{C}$).

T : Couple résistant (N.m).

E_{ele} : Energie électrique requis par la pompe (W).

E_{ph} : L'énergie du photon (ev).

G_{STc} : Ensoleillement dans les conditions standards (W/m^2).

H : Hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée et le plan d'utilisation (m).

I_{cc} : Courant de court-circuit (A).

I : Courant de polarisation de la jonction PN de la diode (A).

I_{mp} : Courant au point de Puissance maximale (A).

I_{ph} : Courant produit par la photopile (A).

I_p : Courant photovoltaïque (A).

I : Courant de saturation de la diode ou courant à l'obscurité(A).

I_{sab} : Courants des phases statotiques (A).

K : Constante de la canalisation.

L, L_r : Inductances propres statoriques et rotoriques de la machine asynchrone (H).

N : Nombre de module en parallèle.

N_{pv} : Nombre de panneaux nécessaire.

N_s : Nombre de module en série.

P_{mpp} : Pertes de charge produites par le frottement d'eau sur les parois des conduites(m).

P : Puissance crête (W).

P_{pv} : : Puissance photovoltaïque (W).

R_s : Résistance série (Ω).

R : Résistance shunt (Ω).

T_c : Température dans les conditions quelconque ($^{\circ}\text{C}$).

T_{em} : Couple électromagnétique (N.m).

V_{mpp} : Tension au point de Puissance maximale (V).

V_o : Tension de circuit ouvert (V).

V_{pv} : Tension photovoltaïque (V).

α : Rapport cyclique.

A: Coefficient d'idéalité de la diode.

C: Vitesse de la lumière (m/s).

D: Diamètre des canalisations (m).

F.E.M: La force électromotrice (V).

FF: Facteur de forme.

g: Accélération de la pesanteur (9.81 m/s^2).

G: Ensoleillement (W/m^2).

h: Constante de Planck.

HMT: Hauteur manométrique totale atteinte par la pompe (m).

J: Inertie de la machine (Kg.m^2).

k: Constante de Boltzmann ($k = 1,38.10^{-23} \text{ J/K}$).

L: Longueur des canalisations (m).

M: Inductance mutuelle maximale entre une phase de stator et une phase de rotor (H).

P: Nombre de paires de pôles.

q: Charge de l'électron ($q = 1,602.10^{-19} \text{ C}$).

Q: Débit d'eau pompé (m^3/s).

ϵ : Coefficient d'amortissement

σ : Coefficient de dispersion de Blondel.

Pv= photovoltaïque

CLF=contrôle logique floue

Lf= logique floue

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

L'Algérie dispose d'un des gisements solaire les plus élevés au monde. L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m^2 est de l'ordre de 5 KWh sur la majorité du territoire national, soit près de $1700\text{KWh}/\text{m}^2$ /an au Nord et $2263\text{ kWh}/\text{m}^2$ /an au Sud du pays. L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non polluante, et son utilisation offre un approvisionnement en énergie inépuisable. Etant donné que l'approvisionnement en eau pour les besoins domestiques et d'irrigation reste le souci quotidien des habitants des zones enclavées et sahariennes, les systèmes de pompage photovoltaïque sont particulièrement bien adaptés pour l'alimentation en eau à partir des puits ou des forages. Le pompage photovoltaïque est l'une des applications de l'énergie solaire photovoltaïque dans les sites isolées. Cette technologie est en développement et caractérisée par un coût graduellement en baisse. La première génération des systèmes de pompage solaires utilisée des moteurs à courant continu à aimant permanent, surtout pour les applications à des basses et moyennes hauteurs. Ces dernières années, le moteur asynchrone est de plus en plus utilisé pour les applications de pompage solaire à cause de sa simplicité, sa robustesse et sa fiabilité (cout & rendement). La chaine de pompage étudiée dans notre cas, dotée d'une commande MPPT utilise un moteur asynchrone, entraînant une pompe centrifuge. [5]

La commande du système de pompage photovoltaïque fera l'objet de notre travail. Le plan de travail adopté se présente comme suit :

Dans le premier chapitre, nous donnons des généralités sur les systèmes photovoltaïques. En présentant dans un premier temps l'énergie photovoltaïque, l'effet photovoltaïque et le générateur photovoltaïques.

Deuxième chapitre la modélisation de chaque élément constituant le système à savoir le générateur photovoltaïque, les convertisseurs statiques, le moteur asynchrone à cage d'écureuil et la pompe centrifuge.

Troisième chapitre, on travaille la simulation de générateur photovoltaïque raccordé avec un convertisseur statique DC/DC (boost) commandé par l'MPPT (linéaire P&O et non linéaire FLC) dans les différentes conditions climatique saharien. Une étude comparative entre deux méthodes MPPT sera présentée pour tester leurs performances et faire le choix sur la technique adapté.

Quatrième chapitre sera consacré au dimensionnement et à la commande du système de pompage photovoltaïque. Dans cette partie on remplace le régulateur linéaire par un régulateur non linéaire (CLF).

Introduction générale

Les résultats de simulation nous ont permis de faire une comparaison entre les deux méthodes étudiés sous différentes conditions climatiques saharienne.

Nous avons terminé ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I

État de l'art de système pompage photovoltaïque

1) introduction :

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois les besoins énergétiques que l'humanité consomme. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit le maximum de cette gratuite énergie. [1]

Dans ce chapitre, nous découvrons la généralité de l'énergie solaire, puis nous nous référons aux différents types de pompage existants. Dans cette section, nous déterminons également les composants d'un système de pompage photovoltaïque. Enfin, nous faisons une sélection sur chaque élément du système.

2) la source solaire :

L'énergie solaire est une source qui dépend du soleil. Celle-ci permet de fabriquer de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil [1].



Figure I.1 : des panneaux photovoltaïques [1].

L'énergie solaire est propre, n'émet pas de gaz sa matière première le soleil. Elle se situe de plus de 150 millions de kilomètres de la ville, elle est gratuite, inépuisable et disponible partout dans le monde [1]. Le soleil transforme chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'hélium. Le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement. L'énergie émise par seconde par le Soleil est donc d'environ $3,85.10^{26}$ W.

Cependant seule une infime partie de cette puissance est reçue par la Terre, environ deux milliards de fois moins, ce qui donne un chiffre qui reste fort respectable (environ $1,9.10^{17}$ W). L'énergie solaire reçue par unité de surface perpendiculaire aux rayons solaires et pour

une distance Terre-Soleil égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire, qui est estimée à $1\,367\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ [2].

I.2.1) spectre de rayonnement solaire :

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

La figure (I.2) suivante montre spectre de rayonnement solaire :

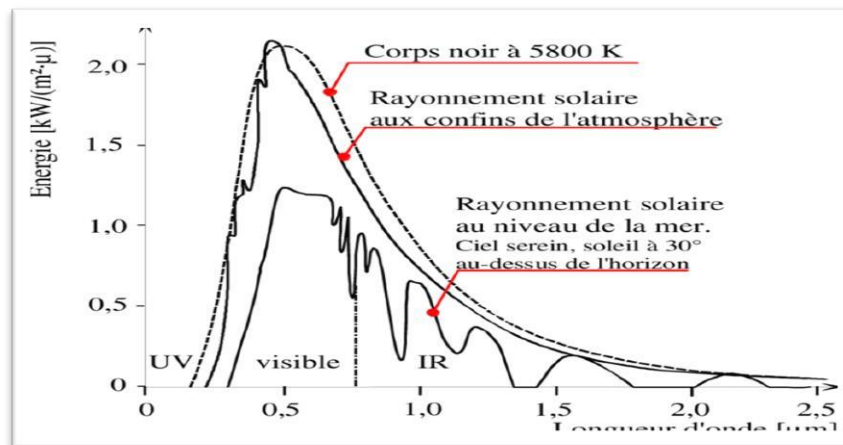


Figure I.2 : spectre de rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère [5].

I.2.2) Les différents types de rayonnement

I.2.2.1) Le rayonnement direct :

Le rayonnement direct est le rayonnement solaire atteignant directement la surface terrestre depuis le soleil. Il dépend de l'épaisseur de l'atmosphère que la radiation solaire doit traverser et de l'inclinaison des rayons par rapport au sol [6].

Le pyrhéliomètre est l'instrument qui permet de mesurer l'intensité du rayonnement direct. Le pyrhéliomètre doit être muni d'un dispositif chargé de l'orienter en permanence vers le soleil [6].

I.2.2.2) Le rayonnement diffus :

Le rayonnement diffus se manifeste lorsque le rayonnement solaire direct se disperse dans les nuages et les particules atmosphériques. Le rayonnement diffus résulte de la diffraction de la lumière par les nuages et les molécules diverses en suspension dans l'atmosphère, et de sa réfraction par le sol. Il s'agit donc d'un rayonnement qui ne suit pas une direction définie par le soleil en direction du point d'observation à la surface de la Terre [7].

I.2.2.3) L'albédo :

L'albédo du système Terre-atmosphère est la fraction de l'énergie solaire qui est réfléchiée vers l'espace. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé. Les éléments qui contribuent le plus à l'albédo de la Terre sont les nuages, les surfaces de neige et de glace et les aérosols. [8].

I.2.2.4) Le rayonnement global

Le rayonnement global est l'énergie rayonnante totale du soleil, qui atteint une surface horizontale à la surface de la Terre au cours d'une unité de temps précise. Il est d'environ 1.000 W/m^2 pour un rayonnement solaire vertical [9] figure (I.3) :

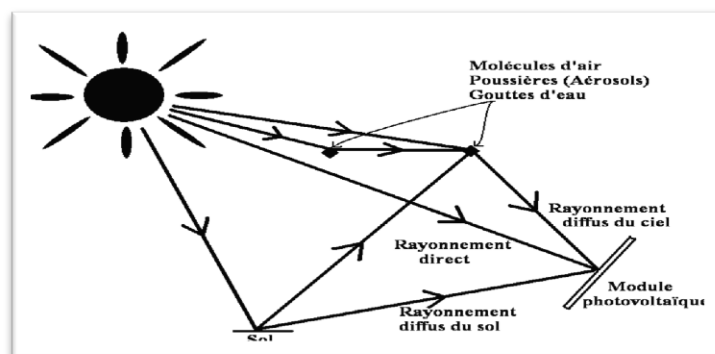


Figure I.3 : Énergie solaire photovoltaïque [10].

I.3) Les systèmes de pompage photovoltaïque :

Face à la demande croissante d'énergie électrique, il s'agit principalement de répondre aux besoins des zones reculées, arides et montagneuses ; les systèmes photovoltaïques, en particulier les systèmes de pompage d'eau, ont commencé à trouver d'énormes applications. Selon le mode de fonctionnement de l'installation [11].

I.3.1) les méthodes de pompages

Dans cette partie, nous présenterons différentes méthodes Les pompes à eau photovoltaïques et comment les stéréotypes de «l'eau solaire» comprennent Utiliser l'énergie solaire pour produire de l'électricité grâce à des panneaux photovoltaïques Fournissez de l'eau à la pompe électrique pour vous assurer que l'eau est déshydratée [13].

Le plus couramment utilisé dans les zones rurales où il n'y a pas de service de réseau, L'énergie solaire est une alternative à l'énergie «thermique» depuis plusieurs années (Produit par le générateur) pour faire fonctionner les systèmes de Pompage [12]. Il existe deux modes de pompage :

- Pompage avec stockage électrochimique.
- Fumer le soleil.

I.3.1.1) Le pompage avec stockage électrochimique (batteries) :

Très souvent, le pompage photovoltaïque ne correspond pas aux heures d'ensoleillement où nécessite une intensité régulière, ce qui implique un stockage. Cependant, le stockage en photovoltaïque apparaît actuellement comme le maillon faible et le plus coûteux. Lorsqu'un stockage de l'eau avec un réservoir n'est pas possible, l'installation de pompage photovoltaïque peut fonctionner sur batteries [13].

I.3.1.2) Le pompage au fil de soleil :

Pour éviter un coût supplémentaire de l'installation, la plus part des systèmes de pompage photovoltaïque fonctionnent au ' fil du soleil 'où le moteur d'entraînement est directement couplé au générateur sans stockage d'énergie (la puissance électrique fournie au récepteur est fonction de la puissance d'éclairage) [13]. Cet arrangement est bien adapté aux charges non critiques telles que les pompes, qui ne nécessitent pas une opération continue durant toute la journée, aussi, les horaires de cette production ne sont pas compatibles avec les horaires de la majorité des activités agricoles. (Elles commencent généralement à débiter vers 8h et Fonctionnent à leur maximum de 11h à 13h et s'arrêtent vers 17h, soit environ 8 heures de fonctionnement par jour) [14].

I.3.3) Les différents composants d'un système de pompage photovoltaïque :

Du point de vue de la conception, le système de pompe illustré dans la figure ci-dessus est composé généralement des éléments suivants [15] :

- Générateur photovoltaïque, composé de modules photovoltaïques ; lui-même composé de cellules photovoltaïques
- Équipement électronique de puissance (système de commutation, onduleur, hacheur, etc.)
- Le groupe motopompe est divisé en deux parties : le moteur et la pompe centrifuge générale ou pompe volumétrique.

D'autres éléments peuvent être associés à ce système et dépendent de sa technologie Design, avec ou sans rangement.

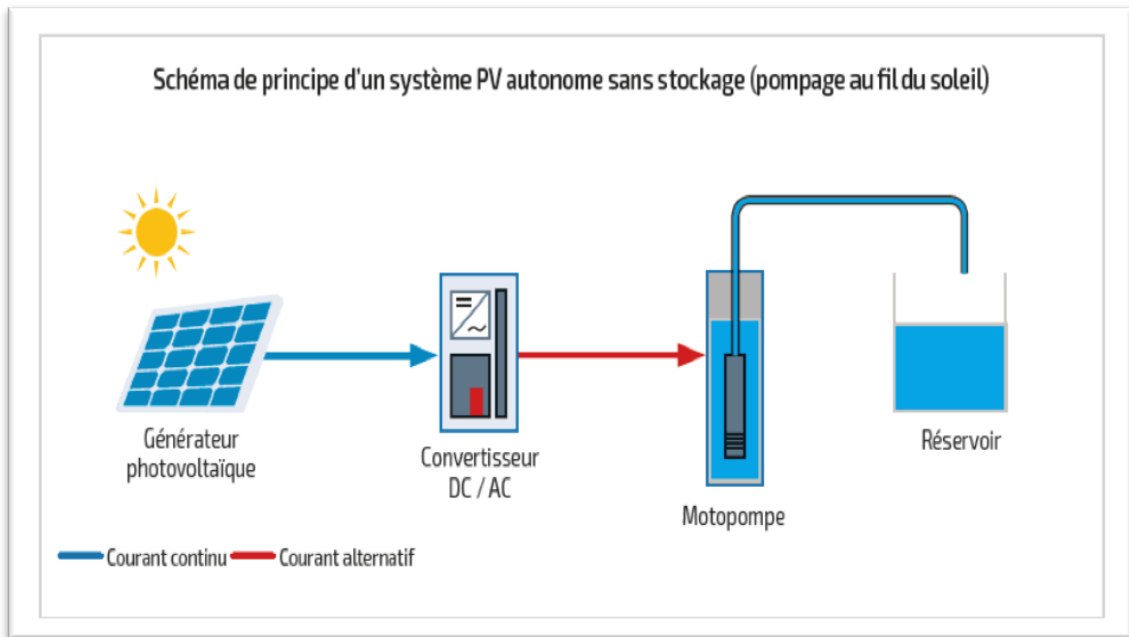


Figure I.4: système de pompage photovoltaïque [16].

I.4) Le générateur photovoltaïque :

Afin d'obtenir une puissance plus élevée, plusieurs modules doivent être combinés en série et en parallèle. Dans certaines applications, un ou plusieurs modules de dizaines d'unités peuvent être utilisés. Pour des usages plus importants, regroupez les générateurs photovoltaïques dans des zones de plusieurs modules (des centaines) [17].

La courbe de fonctionnement I-V de la connexion série-parallèle du module solaire aura un mode de fonctionnement similaire à la courbe de batterie de base, mais changera le rapport sur les deux axes. Les performances du générateur photovoltaïque sont déterminées par ces courbes [18].

I.4. 1) La cellule photovoltaïque :

Les cellules photovoltaïques ou panneaux solaires sont des composants photovoltaïques capables de convertir directement la lumière du soleil en énergie électrique grâce à un processus appelé «effet photovoltaïque», découvert par E. Becquerel en 1839[17].

Ils sont produits à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est-à-dire qu'ils ont des propriétés entre les conducteurs et les isolants. La taille de chaque unité Les formes allant de quelques centimètres carrés à 100 cm² ou plus sont rondes, carrées ou dérivées de ces deux formes géométriques [18].

1.4.2 Historique des cellules photovoltaïques :

Le physicien français Edmond Becquerel (Edmond Becquerel) a décrit pour la première fois l'effet photovoltaïque en 1839, et Einstein a expliqué son mécanisme en 1912, mais il est resté

la curiosité de la communauté scientifique jusqu'aux années 1950. Dès les années 1870, Heinrich Hertz a étudié cet effet dans des solides comme le sélénium. Le rendement en sélénium est d'environ 1%, il a donc été rapidement utilisé comme compteur de sélénium par les photographes [17].

L'équipe des Bell Labs a fait des progrès rapides dans les années 50. Ils ont utilisé le procédé d'étirage Czochralski pour fabriquer la première cellule de silicium cristallin avec un rendement de 4%. L'industrie des semi-conducteurs est un contributeur majeur au développement des cellules solaires. Après tout, une cellule solaire typique est juste une grande diode de silicium, et la surface de la diode de silicium est l'endroit où toute la tranche de silicium est déposée. La taille des cellules photovoltaïques s'accompagne également de l'augmentation de la taille des plaquettes dans l'industrie des circuits intégrés, de 5,08 cm au début des années 1970, à 7,62 cm à la fin des années 1970, et à 10,16 cm au début des années 1980, avant d'être libérée par l'EPA. . Trouvé la croissance d'un lingot polycristallin parallélépipédique, le côté du lingot est de 10 cm de plaquettes carrées, maintenant il atteint généralement 12,5 à 15 cm de côté [19].

I.4.3. Structure physique :

Les batteries sont constituées de matériaux semi-conducteurs qui absorbent l'énergie lumineuse et la convertissent directement en courant électrique. Le semi-conducteur est un matériau avec une concentration de charge libre inférieure à celle des métaux. Pour que les électrons (bande de valence) combinés à leurs atomes soient librement libérés dans le semi-conducteur et participent à la conduction du courant électrique, l'énergie minimale doit leur être fournie pour atteindre un niveau d'énergie plus élevé (bande de conduction) [20].

La cellule la plus commune d'aujourd'hui est une cellule simple au silicium de jonction PN avec un rendement qui arrive jusqu'à environ 17%. Ce matériau semi-conducteur comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p (Figure I.5). Les contacts de la face éclairée de la cellule ont la structure d'une grille afin de n'occulter qu'une faible partie de la surface (5 à 10%). La face arrière peut être entièrement métallisée [21].

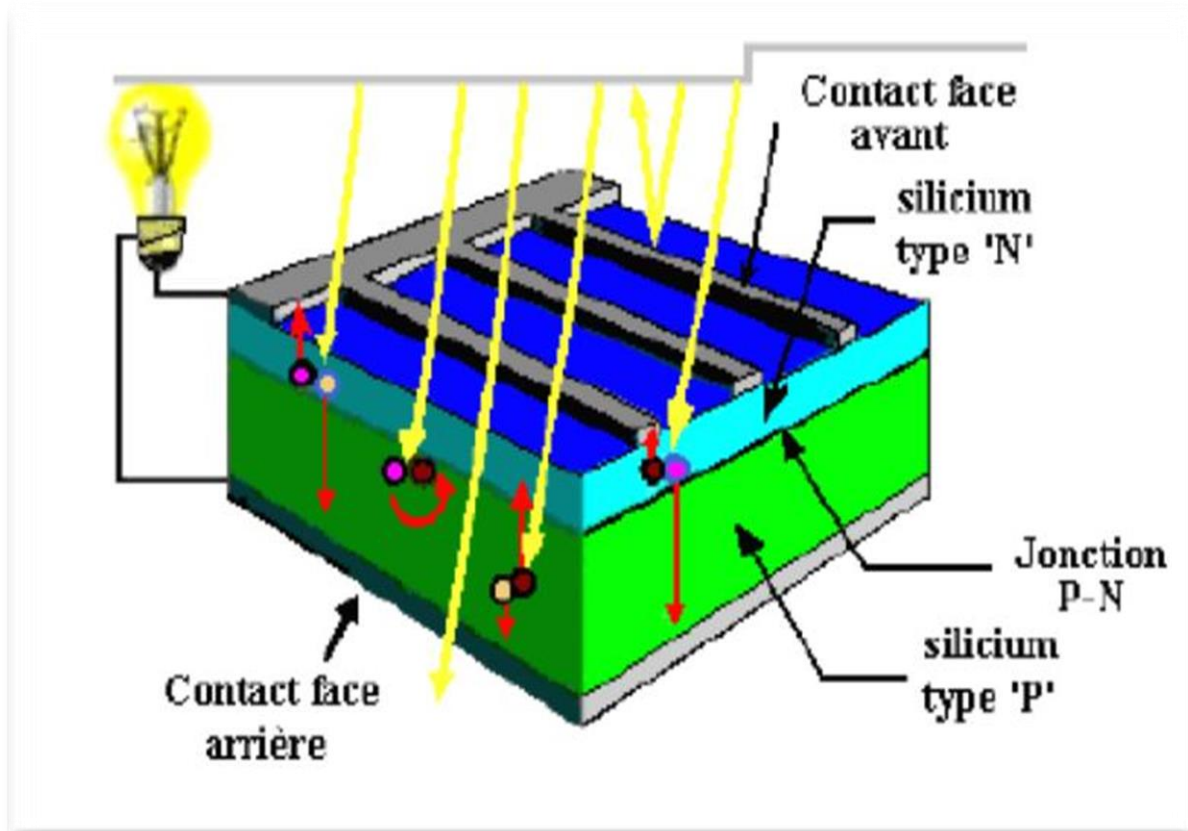


Figure I.5 : Représentation schématique d'une pile solaire à jonction PN standard [20].

I.4.4) Principe de fonctionnement :

La cellule solaire est formée par une jonction PN. Lors de l'irradiation de la surface libre, les photons d'énergie supérieure à la bande interdite E_g exciteront les paires électron-trou dans la région quasi-neutre P et diffuseront et atteindront la charge de la région spatiale. Ils sont accélérés par le champ électrique interne et ils passent la zone de transition. Ce La région N reçoit des électrons et est chargée négativement ; la région P reçoit des trous et est chargée positivement. Si nous connectons le côté de la jonction à la charge R_c , le courant I la Traversant et présentant une différence de potentiel : Cette différence de potentiel peut être mesurée entre la connexion de la borne positive et la borne négative de la batterie. La tension ainsi générée peut varier de 0,3V à 0,7V, en fonction des matériaux utilisés et de leur disposition, ainsi que de la température et du vieillissement de la batterie [21].

I.4.5) Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque :

Une cellule solaire peut être schématisée comme suit :

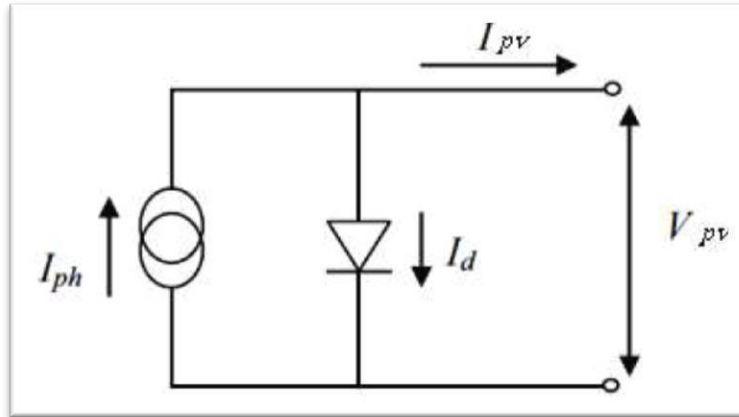


Figure I.6 : schéma d'une cellule photovoltaïque

Pour la cellule idéale on peut écrire :

$$I = I_{ph} - I_d$$

I = Courant disponible

V = Tension aux bornes de la jonction

I_{ph} = Courant produit par la photopile, ce courant est proportionnel au flux lumineux

I_d = Courant de la jonction

Le schéma de principe d'une cellule solaire idéale est le suivant :

- La cellule solaire possède en fait une résistance série (R_s) et une résistance shunt ou shunt (R_{sh}), ces résistances auront un certain impact sur les caractéristiques I-V de la cellule solaire :
- La résistance série est la résistance interne de la batterie ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact de la grille du collecteur et de la résistivité de la grille.
- La résistance de shunt est causée par le courant de fuite à la jonction et dépend de la façon dont la méthode est mise en œuvre.

I.4.5.1) Association en série :

En regroupement en série, les cellules sont traversées par le même courant, et les fonctionnalités obtenues en ajoutant des groupes de séquences (indice s), La tension à un courant donné. La figure ci-dessus montre les caractéristiques résultantes (I_{cc} , V_{co}) Il est obtenu en connectant ns batteries identiques en série [23].

$$V_{co}(\text{module}) = ns \cdot V_{co}(\text{cellule})$$

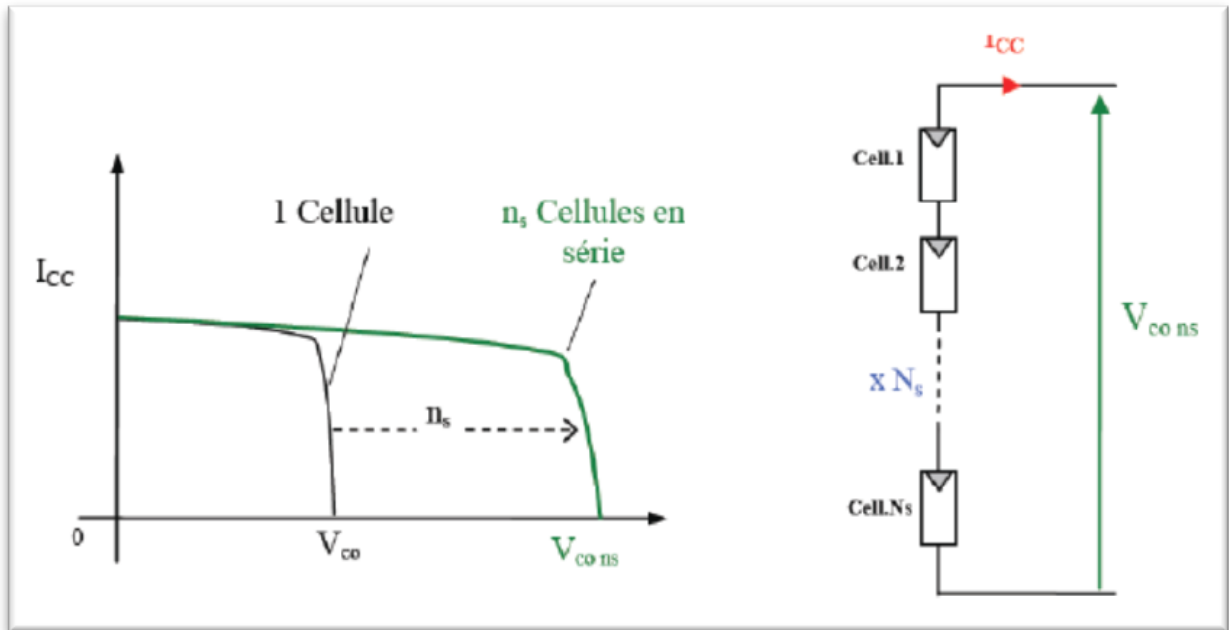


Figure I.7 : Caractéristique résultante d'un groupement en série de n_s cellules identiques [24].

I.4.5.2 Association de cellules photovoltaïques en parallèle :

Les propriétés du groupement parallèle de cellules sont Regroupement de séries. Par conséquent, dans un groupe de batteries parallèles, Les cellules sont soumises à la même tension, la dernière caractéristique du groupement est Obtenue en additionnant les courants à une tension donnée [25].

La figure(I.8) ci-dessus montre la caractéristique résultante obtenue en associant en parallèle (indice N_p) cellules identiques :

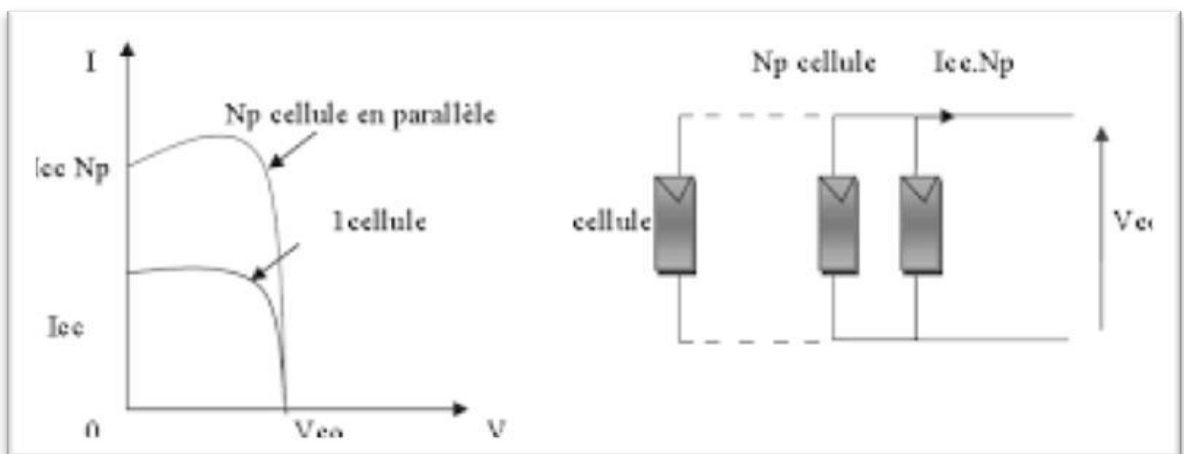


Figure I.8 : Caractéristique résultante d'un groupement constitué de N_p cellules identiques en parallèle [26].

I.4.5.3 Association en série/parallèle :

Selon l'association en série et en parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court-circuit total et de la tension à vide totale sont données par les relations suivantes :

$$I_{spcc} = n_p * I_{cc} \quad \text{et} \quad I_{spco} = n_s * V_{co}$$

n_p : nombre de cellule en parallèle.

n_s : nombre de cellule en série.

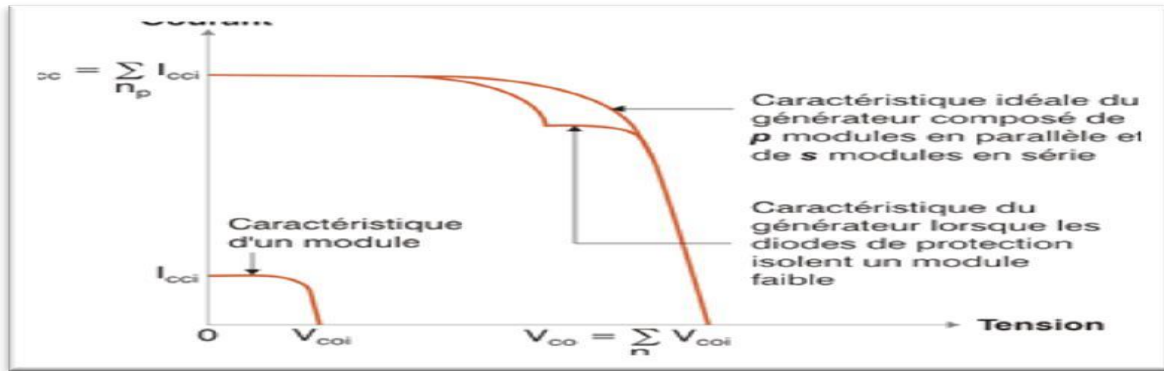


Figure I.9 : la caractéristique résultante obtenue en association en parallèles/série

I.4.6) Le module photovoltaïque :

La puissance disponible aux bornes d'une batterie d'unité est très faible, il est donc nécessaire de combiner plusieurs batteries en série et en parallèle pour augmenter la puissance et rendre la puissance compatible avec les équipements électriques conventionnels. De plus, la vulnérabilité fragile et corrosive des cellules nécessite la protection de leur environnement et de celles-ci. Il est généralement encapsulé sous verre ou composé de plastique. Composition du module Châssis rigide pouvant également être utilisé pour la fixation (le plus courant est l'aluminium), l'ensemble est appelé module photovoltaïque [28].

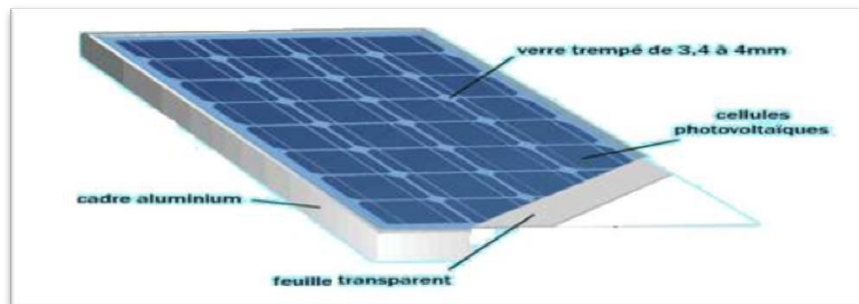


Figure I.10 : Schéma d'un panneau photovoltaïque [29].

I.4.6.1) Caractéristiques d'un module photovoltaïque [30]

- Puissance de crête P_m : la puissance maximale que le module peut fournir Dans des conditions standard (25°C et 1000 W / m^2 de lumière).

- Caractéristiques I / V : la courbe représente le courant I en sortie dans le module fonctionnel La tension aux bornes.
- Tension à vide V_{co} : la tension aux bornes du module lorsqu'il n'y a pas de courant, utilisée pour Éclairage «plein de soleil».
- Courant de court-circuit I_{cc} : le courant fourni par le module de court-circuit pour Éclairage «plein de soleil».
- Point de travail optimal (V_m, I_m) : lorsque la puissance de crête est maximale En Plein soleil.
- Rendement : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation.
- Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule.
- $FF = \frac{V_m * I_m}{V_{co} * I_{cc}}$

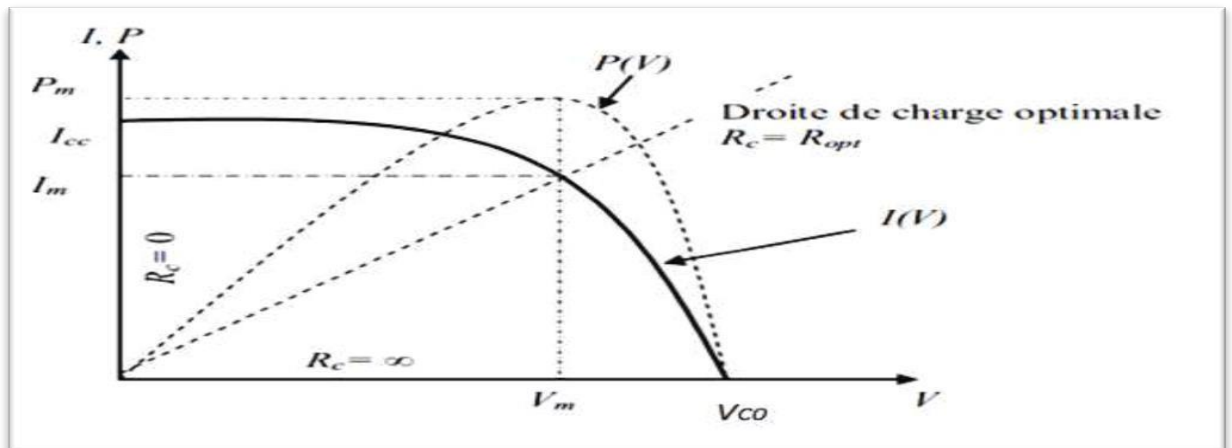


Figure I.11 : Caractéristiques type d'un générateur photovoltaïque [30].

Les modules photovoltaïques font partie intégrante de tout système photovoltaïque et peuvent être connectés en série pour augmenter sa tension de fonctionnement, et connectés en parallèle pour augmenter son courant. Ce groupe est appelé champs «module photovoltaïque» Pour chaque panneau, la sortie peut être égale au nombre de modules, ce qui permet de se connecter entre les modules pour obtenir la meilleure puissance de sortie [30].

I.4.6.2) Fonctionnement d'un générateur photovoltaïque à sa puissance maximale :

La conception globale d'un système photovoltaïque optimisé est par nature difficile : à la source, pour les générateurs photovoltaïques, la quantité d'énergie produite varie fortement avec la température et l'éclairement, et le comportement de la charge varie également avec la température. Consommation, qui est généralement difficile à prévoir. En fait, dans ces

conditions changeantes, la puissance extractible est variable. Il faut donc adapter le système d'exploitation pour en extraire le maximum de puissance possible : c'est la naissance de l'idée de MPPT (Maximum Power Point Tracking) [31]. La méthode MPPT est basée sur l'utilisation d'algorithmes de recherche, contrairement au contrôle de tension fixe, l'algorithme peut estimer la valeur maximale de la courbe de puissance sans interrompre le fonctionnement normal du panneau photovoltaïque. La puissance maximale est obtenue grâce au contrôle de la puissance active, qui force la dérivée de la puissance par rapport au temps à être nulle. MPPT n'est pas basé sur une valeur de référence prédéterminée, mais sur une recherche d'une valeur de référence pour atteindre la puissance maximale. Caractéristique $I = f(V)$. Veuillez noter que MPPT joue un rôle très important car il maximise le rendement et réduit le coût autant que possible. Après une bonne optimisation, MPPT peut extraire 97% de la puissance PV [32].

Parmi les solutions MPPT actuellement disponibles La méthode d'interférence et d'observation (P&O) sur le marché, la méthode algorithmique de logique floue d'augmentation de la conductance ... etc. [31]

I.5) convertisseur statique :

Un convertisseur statique est un système utilisé pour adapter l'alimentation à un récepteur donné par conversion. Le premier convertisseur de puissance était constitué d'un moteur à couplage mécanique, avec l'apparition de semi-conducteurs, d'électronique de puissance, de diodes, de transistors et de thyristors ... les systèmes de conversion sont devenus plus courants et plus complexes, et aucune machine tournante n'était nécessaire. C'est l'ère des convertisseurs statiques [32].

Nous concentrerons ce chapitre sur les différents types de convertisseurs statiques utilisables dans les systèmes photovoltaïques.

I.5.1) Les Hacheurs :

La figure (I.12) montre la représentation d'un convertisseur DC/DC, qui peut être utilisé comme interface entre la source et la charge [33].

Le rôle du convertisseur DC/DC (dans le cadre du PV) est de faire l'adaptation entre la source (GPV) et la charge pour un transfert de puissance maximal. Ceci est fait en maintenant la puissance fournie sur ou assez proche du MPP pour n'importe quelles conditions de fonctionnement (rayonnement, température, caractéristique de charge, etc.) [32].

Il existe plusieurs types des convertisseurs DC-DC. Parmi les quels, on présente le principe des trois types de convertisseur à découpage (dévolteur, survolteur et mixte), utilisés

fréquemment dans les systèmes photovoltaïques pour générer les tensions et les courants souhaités ainsi que pour l'adaptation des panneaux solaires avec les différentes charges [33].

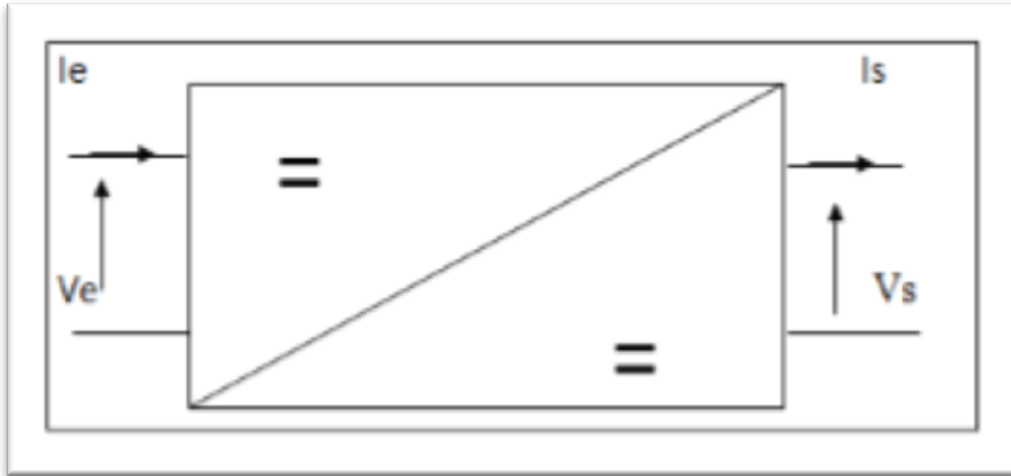


Figure I.12 : Convertisseur DC-DC

Ce chapitre étudiera deux types de hacheurs.

I.5.1.1) Hacheur série (Buck) :

Le convertisseur dévolteur peut être souvent trouvé dans la littérature sous le nom de hacheur Buck ou hacheur série.

Son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie inférieure, où le rapport de conversion $M = \frac{V_0}{V_i}$ change avec le rapport cyclique du commutateur [34].

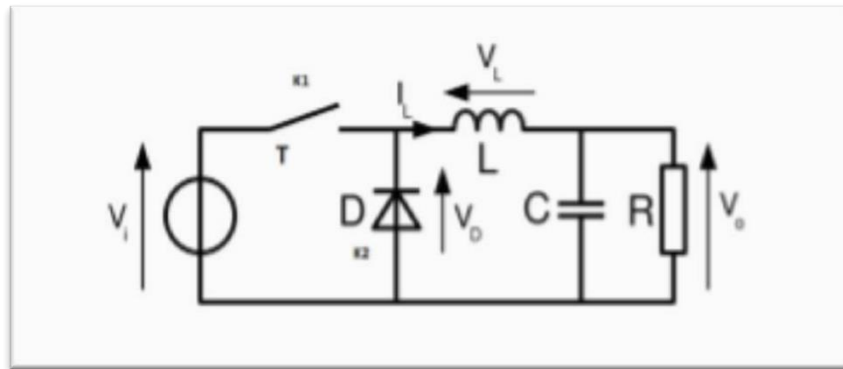


Figure I.13 : schéma d'un convertisseur Buck [33].

I.5.1.2) Hacheur parallèle (BOOST) :

Ce dernier est un convertisseur survolteur, connu aussi sous le nom de « Boost » ou hacheur parallèle, son schéma de principe de base est celui de la (figure I.14). Son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie supérieure [34].

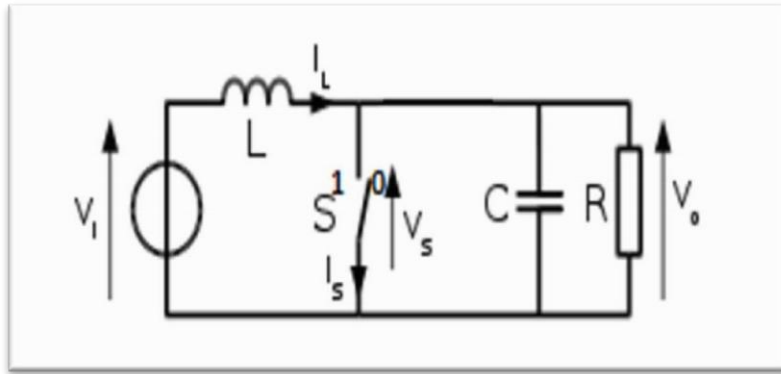


Figure I.14: schéma d'un convertisseur BOOST [34].

Le hachoir a trois composants :

Une inductance L , une capacité C et un interrupteur S qui peut prendre deux états 1 et 0

I.5.1.3) hacheur mixte :

Le convertisseur dévolteur-survolteur combine les propriétés des deux convertisseurs précédents, il est utilisé comme un transformateur idéal de n'importe quelle tension d'entrée pour n'importe quelle tension de sortie désirée [35]. Son schéma de base est illustré par la figure (I.15) :

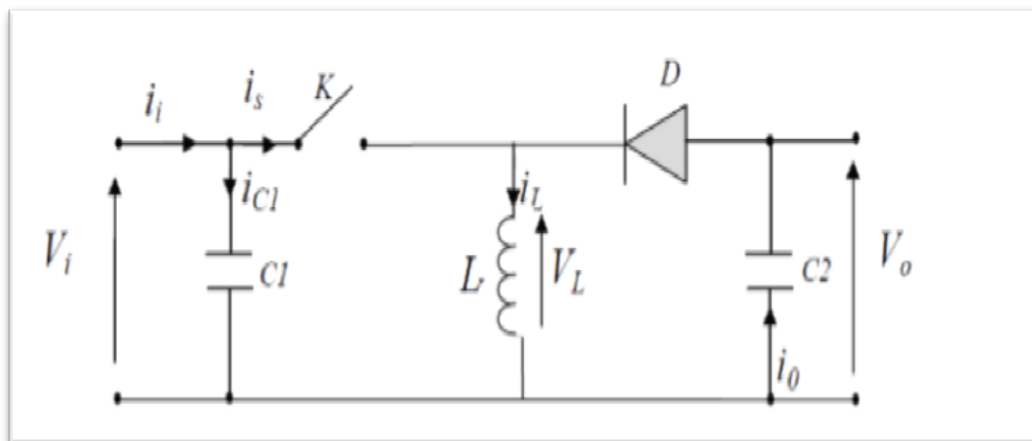


Figure I.15 : Schéma de principe d'un convertisseur dévolteur-survolteur

I.6) Les moteurs d'entraînement :

Pour que les pompes fonctionnent, elles ont besoin d'énergie mécanique, à savoir Fournis par un moteur qui convertit l'énergie électrique en énergie mécanique, ces les moteurs peuvent être à courant continu ou à courant alternatif [35].

I.6.1) Le moteur synchrone :

Le terme moteur synchrone comprend toutes les vitesses L'arbre de sortie est égal à la vitesse de rotation du champ tournant, ils ont du travail Plus précisément, par exemple, là où une

rotation uniforme est essentielle. Ça présente Excellentes caractéristiques, quelle que soit la charge, fonctionnement à vitesse constante. Fournir de la puissance réactive afin d'améliorer le facteur de puissance installation. Il peut résister à des chutes de tension relativement importantes, grâce à la possibilité de surexcitation sans calage. Par contre, l'inconvénient des moteurs synchrones est qu'ils sont difficiles à démarrer [35], [36].

I.6.2) Le moteur asynchrone :

Les moteurs asynchrones ont été largement utilisés dans les applications de masse Longue durée de vie, généralement limitée, a priori économique (fabrication simple) Par le roulement. Ils sont évidemment amusants quand ils peuvent travailler directement à partir de celui-ci Depuis le réseau de sauvegarde. L'alimentation monophasée est la seule source d'alimentation fréquemment utilisée, et Moteur asynchrone monophasé à couple de démarrage nul, il faut trouver Solutions pour la production de moteurs asynchrones biphasés de base Simplex. Il existe deux séries de solutions : Ceux qui ont des boucles de déphasage et ceux Biphase avec condensateur de déphasage [35]. Dans tous les cas, le circuit magnétique est feuilleté (Habituellement 0,5 mm ou plus), la cage est en fonte d'aluminium (sauf pour le moteur) Pompe submersible (en cuivre), la tige est généralement inclinée ou en Chevrons pour réduire les vibrations causées par les changements de résistance magnétique locale (comme chevrons Élimine la force axiale due à l'inclinaison. Parce que leur couple de démarrage est suffisant Bas, ces moteurs sont généralement utilisés pour les ventilateurs et les pompes [37].

I.6.3) Moteur à courant continu :

L'un des principaux inconvénients des systèmes photovoltaïques est la pénurie permanente d'énergie solaire pour diverses raisons. Nous représentons la contribution périodique de l'énergie solaire (jour / nuit, alternance été / hiver) et des effets météorologiques aléatoires, subordonnés à la durée de l'ensoleillement aux différentes saisons (la position du soleil par rapport au zénith), etc. Il existe de nombreux types de moteurs (moteurs à cage, rotors bobinés, aimants permanents ...), mais le plus ancien et le plus couramment utilisé dans les systèmes de pompage est un moteur à courant continu. Afin d'être le plus adapté à l'utilisation du photovoltaïque, il a été continuellement amélioré pour améliorer ses performances [36].

I.7) Les différents types de pompes :

Une pompe est un appareil qui crée une différence de pression entre les tuyaux Entrée et sortie. En fonction des conditions d'utilisation, ces machines interagissent avec le fluide, énergie potentielle (en augmentant la pression aval) ou énergie La dynamique est obtenue en déplaçant des fluides. Par conséquent, nous souhaitons peut-être augmenter le trafic (Augmentation de l'énergie cinétique) ou / et augmentation de la pression (augmentation de

l'énergie Potentiel) pour les fluides gazeux, liquides, visqueux, extrêmement visqueux, c'est pourquoi La variété de pompes est très grande. Les pompes sont généralement classées selon leur principe de fonctionnement, ou Le déplacement positif ou le type centrifuge, dépend également de l'emplacement physique de la pompe Concernant le pompage de l'eau : pompe d'aspiration et pompe de refoulement [38], [39]. La pompe d'aspiration doit être remplie d'eau, c'est-à-dire la partie en amont de la pompe d'aspiration. La pompe doit être remplie d'eau pour commencer à aspirer de l'eau. La pompe de pression est Immersée dans l'eau et son moteur (pompe unitaire), c'est-à-dire le moteur en surface. C'Ensuite, la puissance est transmise en connectant la pompe à l'arbre long du moteur électrique. À l'intérieur Dans les deux cas, la conduite de refoulement après que la pompe le permet est augmentée en fonction de la puissance Moteur 39].

I.7.1) Les pompes centrifuges :

Les pompes centrifuges font partie de la série de pompes turbo, La caractéristique de la pompe centrifuge est de convertir l'énergie mécanique du moteur Il y a d'abord l'énergie cinétique, puis l'énergie de pression [36], [40].

I.7.1.1) Principe de fonctionnement :

La pompe centrifuge se compose de [41] :

- Roue à aubes qui tourne autour de son axe
- Distributeur sur l'axe de roue
- Les collecteurs avec des sections transversales croissantes ont une forme en spirale appelée volute.

Le liquide atteint l'axe de l'appareil par le distributeur et la force centrifuge. Saillant vers l'extérieur de la turbine. Il a gagné beaucoup d'énergie cinétique et s'est transformé L'énergie de pression dans le collecteur avec une section transversale croissante. Utiliser un diffuseur La périphérie extérieure de la roue mobile (roue à aubes fixe) peut réduire les pertes énergie.



Figure I.16 : Illustration d'une centrifuge à turbine [42].

I.7.2) Les pompes volumétriques :

Ce sont des pistons, des membranes, des plongeurs ... et des pompes rotatives Tels que des vis, des engrenages, des aubes, des pompes péristaltiques. Ils transfèrent de l'énergie Les caractéristiques dynamiques du moteur en mouvement alternatif permettent au fluide de Surmonter la gravité Alternativement connecté au changement continu de l'orifice d'aspiration et du volume de l'orifice d'aspiration Sortie de décharge [44], [42].

I.7.2.1) Principe de fonctionnement :

La pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe complètement enfermé à l'intérieur Les éléments mobiles strictement ajustés s'en éloignent. Leurs opérations sont basées sur Lors de l'exécution d'un mouvement périodique, une certaine quantité de liquide entre Compartiment, puis revenez à l'emplacement d'origine à la fin. Le mouvement permet le mouvement du liquide Entre l'orifice d'aspiration et l'orifice d'échappement. La particularité de la pompe Leur étanchéité est due à l'isolation interne entre les trous Entrée et sortie, le débit de la pompe peut être prédit Précision [41], [45].

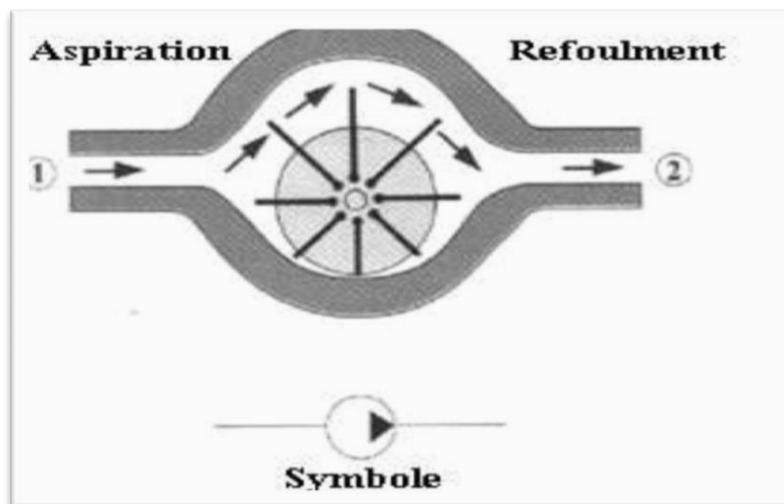


Figure I.17: Pompe volumétrique rotative à palette [42].

I.8) Choix de la structure a étudié :

Compte tenu du surcoût du système de batterie, la solution : entretien et utilisation de la batterie 3 à 5 ans plus tard, la batterie doit être remplacée Aujourd'hui, il est préférable de se prélasser au soleil. Les systèmes photovoltaïques sont généralement utilisés sur plusieurs panneaux connectés en série pour avoir un niveau de tension suffisamment élevé. Le hacheur de suralimentation permet d'augmenter la tension fournie par les modules photovoltaïques, réduisant ainsi les modules photovoltaïques nécessaires pour atteindre le niveau de tension requis. Par rapport à d'autres types de centrifugeuses, les systèmes centrifuges présentent d'innombrables avantages pour le pompage : petite taille, service relativement silencieux,

facile à utiliser et peuvent être utilisés avec tous les types de moteurs du marché. Il convient à tous les problèmes de manipulation de liquides, car des conditions d'utilisation spécifiques peuvent répondre à des exigences d'installation spécifiques. Tous ces avantages nous ont incités à le choisir comme pompe système, pompe centrifuge [41]. Pour le moteur électrique, nous choisissons d'utiliser un moteur asynchrone car bien qu'il s'agisse d'une configuration standard, il est plus adapté aux systèmes de pompes photovoltaïques, est peu coûteux et ne nécessite pas d'entretien suffisant [45]. Afin de s'adapter à la tension à la borne de sortie du générateur photovoltaïque et à la tension d'alimentation du moteur asynchrone, nous avons choisi un hacheur de surtension. Des travaux de pompage photovoltaïque ont été menés. Dans ce qui suit, nous présenterons certains d'entre eux : la conception et l'analyse de simulation du fonctionnement électrique du système. Le photovoltaïque (PV) est ajusté par contrôle analogique (contrôle MPPT) pour garantir que la puissance maximale fournie par le générateur PV est en continu fourni [46]. Déterminez la taille du système de pompe à eau photovoltaïque grâce à des analyses et des méthodes graphiques. Ils sont principalement basés sur l'évaluation de la demande en eau, le calcul de l'énergie hydrique requise et la détermination du choix de l'énergie solaire disponible et des composants [47]. Des modèles de systèmes de pompage solaire photovoltaïque peuvent continuer à être utilisés, y compris des générateurs photovoltaïques avec des convertisseurs de puissance électroniques. Meilleur point de fonctionnement, ce composant peut alimenter la pompe centrifuge du moteur à courant continu [48]. Les performances de la structure de pompage composée d'un moteur asynchrone et d'une pompe centrifuge sont étudiées et deux stratégies de contrôle sont mises en œuvre. Le premier est basé sur la régulation du courant photovoltaïque, qui peut garantir que le hacheur de suralimentation est contrôlé par le générateur photovoltaïque fonctionnant à la puissance maximale. La deuxième stratégie consiste à contrôler le fonctionnement du moteur asynchrone entraînant la pompe centrifuge par contrôle vectoriel du sens d'écoulement du rotor [49]. Trouvez plusieurs façons de trouver la puissance maximale du système photovoltaïque, ce qui peut améliorer le rendement électrique global du système photovoltaïque [50]. Comparaison entre le système de couplage direct et MPPT. Une étude technico-économique a été menée pour prévoir le coût du système à installer [51]. Le modèle proposé pour la modélisation des systèmes de pompage photovoltaïque et l'évolution des émissions de CO₂ repose sur la relation directe entre le débit (Q) et la puissance (P) [52].

I.9) Conclusion :

Cette recherche bibliographique fait l'objet d'une préface, où nous avons présenté des généralités sur le système de pompage photovoltaïque, ainsi les différents composants de ce système, elle nous a permis aussi de faire le choix sur chacun des composants de notre système de pompage photovoltaïque. Cette partie s'avère nécessaire pour la suite de notre travail. La modélisation de chaque constituant du système de pompage photovoltaïque, ainsi la simulation du système global sous l'environnement Matlab /Simulink fera l'objet des chapitres suivants.

Chapitre II

Modélisation de chaîne de système pompage photovoltaïque

Chapitre I

Modélisation de la chaîne de système pompage photovoltaïque

II.1) introduction :

Après avoir défini les différents composants du système de pompage photovoltaïque, nous procédons à la modélisation de ces éléments dans ce présent chapitre. Cette modélisation consiste à établir les équations mathématiques qui régissent le fonctionnement des éléments de système (figure II.1) afin de les simuler sous le logiciel (Matlab/Simulink)[54].

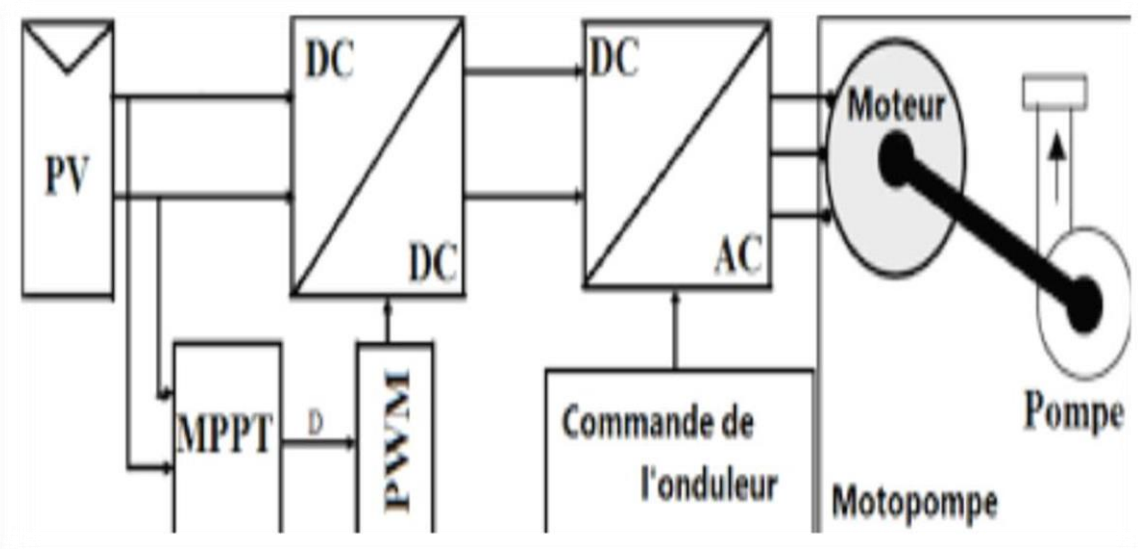


Figure II.1 : Schéma synoptique d'un système de pompage photovoltaïque [54].

Le système de pompage photovoltaïque est constitué de (figure II.1) :

- ✓ Le panneau photovoltaïque est composé de 4 modules (Sun Power SPR-305-WHT) parallèle et 10 module connecté en série. Le module photovoltaïque se compose de 60 cellules photovoltaïques de base. Sous la tension optimale de 37,44 V, il peut fournir 250 W de puissance et 8,14 A de courant dans des conditions de test standard (STC).
- ✓ Le quadripôle adaptatif est un convertisseur d'énergie de type hacheur survolteur
- ✓ La commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) basée sur le réseau neuronal artificiel peut automatiquement changer le cycle de service α à une valeur appropriée pour maximiser en permanence la puissance de sortie du panneau PV [54].
- ✓ Une pompe électrique composée d'un moteur monophasé d'une puissance de 5,5kW W, d'une tension de 220 V, et d'une pompe centrifuge à trois roues d'une hauteur maximale de 60.5 m et d'un débit maximal de $18\text{m}^3/\text{h}$ [55]

II.2) Modélisation du générateur photovoltaïque :

Afin de trouver le modèle de générateur, son circuit équivalent doit être utilisé; de nombreux modèles mathématiques de générateurs photovoltaïques ont été développés pour exprimer leur très fort comportement non linéaire, qui est produit par le comportement de la jonction semi-conductrice, qui est à la base de ses réalisations [55].

Le générateur photovoltaïque est représenté par un modèle à diode unique établi par Shockley pour une seule cellule PV et généralisé aux modules PV en le traitant comme un ensemble de cellules identiques connectées en série-parallèle [56].

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

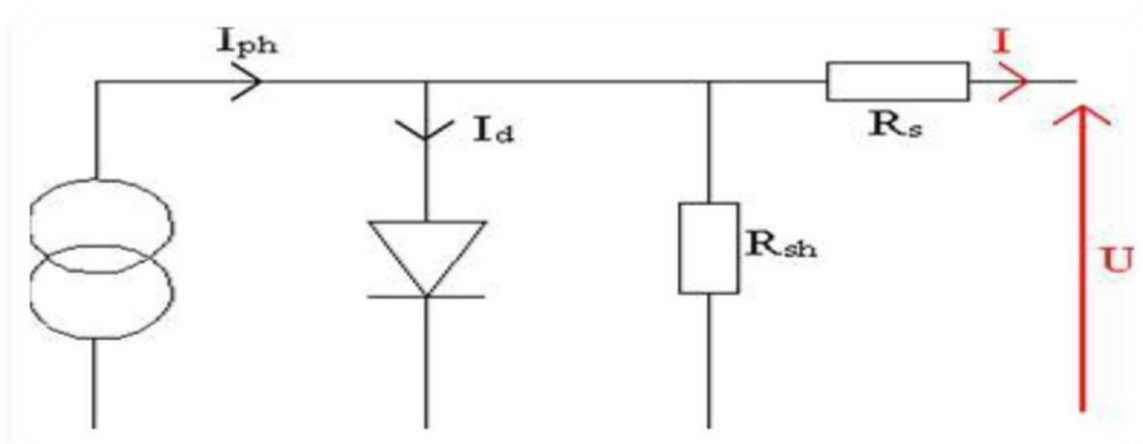


Figure II.2 : Circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque [56].

Les caractéristiques électriques de ce panneau photovoltaïque sont données dans le tableau suivant :

Grandeur	Valeur
éclairage standard, G	1000W/m ₂
Température standard, T	25°C
Puissance maximale P _{max} d'un module	250 W
Tension optimale (V _{opt})	30.71V
Courant courant optimal (I _{opt})	8.14V
Nombre de cellule par module	60
Courant de saturation I _{sat}	9.6514e ⁻¹¹
Le photo-courant I _{ph}	8.8196
Nombre de modules en série	10
Nombre de modules en parallèle	4

Tableau (II.1) : Caractéristiques du système photovoltaïque panneau ET SOLOR

P660250ww

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 :

$$I_{pv} = I_{pv} - I_{sat} = \left[e^{\frac{e(v + I_{pv} R_s)}{nkt-1}} - \frac{v+1-R_s}{R_{sh}} \right] \quad (II.1)$$

Si l'on suppose que la résistance (shunte) est très grande (R_{sh}) on obtient de l'équation :

$$I_{pv} = I_{pv} - I_{sat} \left[e^{\frac{e(v + I_{pv} R_s)}{nkt-1}} \right] \quad (II.2)$$

I_{pv} = est le courant fourni par la cellule PV.

v_{pv} = est la tension au bornes de la cellule PV.

On peut calculer la résistance série dans le point v_{co} :

$$dI_{pv} = 0 - I_{sat} \left(\exp \frac{e(v + I_{pv} R_s)}{nkt-1} \right) \quad (II.3)$$

La résistance série à un grand influence sur la pente de la courbe des caractéristique (IV) auprès de V_{co} . Elle peut être calculée par l'équation(II.4) :

$$R_s = \frac{dV_{pv}}{dI_{pv}} = \frac{nVT}{I_{sat} \left[e^{\frac{e(v + I_{pv} R_s)}{nkt-1}} \right]} \quad (II.4)$$

L'équation de la caractéristique $I=f(V)$ (IV.1) non linéaire est résolue par des méthodes d'itération simple. Généralement la méthode de Newton-Raphson qui est choisie pour sa convergence rapide. La méthode de Newton-Raphson est comme suit :

$$X_{n+1} = X_n - \frac{f(X_n)}{f'(X_n)} \quad (II.5)$$

Où $f'(X_n)$ est la dérivée de fonction(X_n)

X_n est la présente itération.

X_{n+1} est l'itération suivante.

La réécriture de l'équation (II.5) donne la fonction suivante :

$$I_{pv} = I_{cc} - I_{pv} - I_{sat} \left(e^{\frac{e(v + I_{pv} R_s)}{nkt-1}} - 1 \right) \quad (II.6)$$

En remplaçant dans l'équation (II.4), on calcule le courant (I) par les itérations :

$$I_{n+1} = I_n \frac{I_{cc} - I_{pv} - I_{sat} \left(e^{\frac{e(v + I_{pv} R_s)}{nkt-1}} - 1 \right) - I_n}{-1 - I_{sat} \left(\frac{R_s}{nVT} e^{\frac{e(v + I_{pv} R_s)}{nkt-1}} - 1 \right)} \quad (II.7)$$

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 [56].

$$I_{cc}(T) = I_{cc}(T_{ref}) * [1 + \alpha (T - T_{ref})] \quad (II.8)$$

$$I_{ph} = I_{cc} \left(\frac{c}{1000} \right) \quad (II.9)$$

$$I_{sat}(T) = I_{sat}(T_{ref}) * \left(\frac{T_{ref}}{T}\right)^{\alpha} \left[\exp\left(\frac{q * Eg}{nk}\right) * \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right] \quad (\text{II.10})$$

Où α est le coefficient de variation du courant en fonction de la température.

T_{ref} est la température de référence, 298k (25°C).

G est l'irradiation solaire [56].

II.3) Modélisation du hacheur survolteur :

C'est un convertisseur DC / DC parallèle inséré entre des générateurs photovoltaïques GPV et le reste de la chaîne de transformation. Il est caractérisé par un rapport cyclique ($0 < d < 1$) Nous pouvons utiliser la valeur moyenne de l'entrée pour représenter la valeur moyenne de la sortie. Le schéma électrique du hacheur de suralimentation est illustré sur la figure [57].

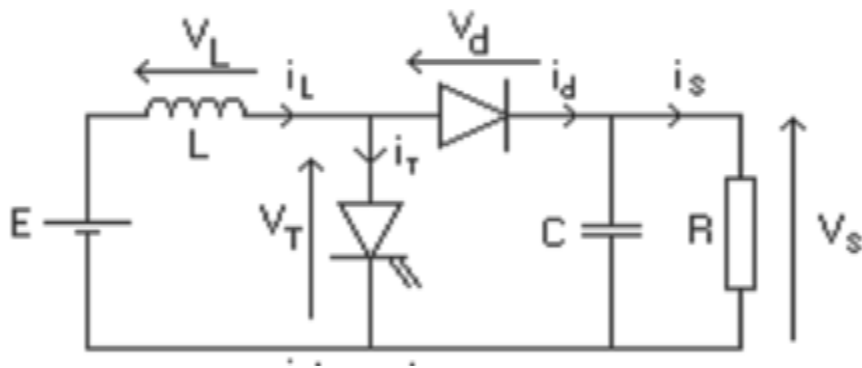


Figure (II.3) : Schéma électrique de hacheur survolteur de tension (boost)[57].

Pour la recherche en mode continu, veuillez remplacer la dérivée de la variable dynamique, Dans le système d'équations, avant sa moyenne.

Le système d'équations devient :

$$I_L = I_e$$

$$I_s = (1-d) I_L$$

$$(II.11)$$

$$V_e = (1-d)$$

Alors, les grandeurs électriques de sorties (V_s et I_s) dans le hacheur survolteur sont liées à celle d'entrées (V_{pv} et I_{pv}) en fonction du rapport cyclique D du signal qui commande l'interrupteur du convertisseur par le système d'équations :

$$V_s = \frac{V_e}{1-D} = \frac{V_{pv}}{1-D} \quad (\text{II.12})$$

$$I_s = (1-D) I_e = (1-D) I_{pv}$$

A partir le système d'équations, on peut déduire la sortie du Panneau PV en fonction de α et R_s :

$$R_{pv} = \frac{V_{pv} - (1-d)V_s}{I_{pv} * I_s / (1-D)} = R_s(1-d)^2 \quad (\text{II.13})$$

$$\frac{R_{pv}}{R_s} = (1-d)^2 \Rightarrow D = 1 - \sqrt{\frac{R_{pv}}{R_s}} \quad (\text{II.14})$$

Puisque le rapport α est vérifié l'inégalité $0 < d < 1$, le convertisseur ne joue le rôle d'un élévateur que si la charge R_s remplit la condition suivante :

$$R_s > R_{pv} \quad (\text{II.15})$$

Dans les conditions optimales et pour une charge R_s donnée, la résistance interne du panneau ($R_{pv} = R_{opt}$) et le rapport cyclique ($D = D_{opt}$) obéissent donc à l'équation :

$$R_{opt} = (1 - D_{opt})^2 \cdot R_s \quad (\text{II.16})$$

Grandeur	Valeurs
Condensateur c1	$90e^{-5}$
Condensateur c2	$3e^{-1}$
Inductance	$5.2e^{-3}H$

Tableau(II.2) : caractéristiques électriques de convertisseur survolteur [57].

II.4) Les onduleurs :

Les onduleurs sont des circuits statiques qui transforment une puissance électrique sous forme continue en une puissance sous forme alternative [58].

II.4.1) Onduleur triphasé :

Ce type d'onduleur est généralement recommandé pour des applications de grande puissance. La structure de tel convertisseur se fait par l'association, en parallèle, de trois onduleurs monophasés en demi pont (ou en pont) donnant trois tensions de sortie déphasées de 120° degrés, l'une par rapport à l'autre [58].

II.4.1.1) Modélisation d'un onduleur triphasé :

L'objectif de la modélisation est de trouver une relation entre les grandeurs de commande et les grandeurs électriques de la partie alternative et continue de l'onduleur [58].

Pour un onduleur triphasé, les commandes des interrupteurs d'un bras sont complémentaires. Pour chaque bras, il y'a donc deux états indépendantes. Ces deux états peuvent être considérés comme une grandeur booléenne [59] :

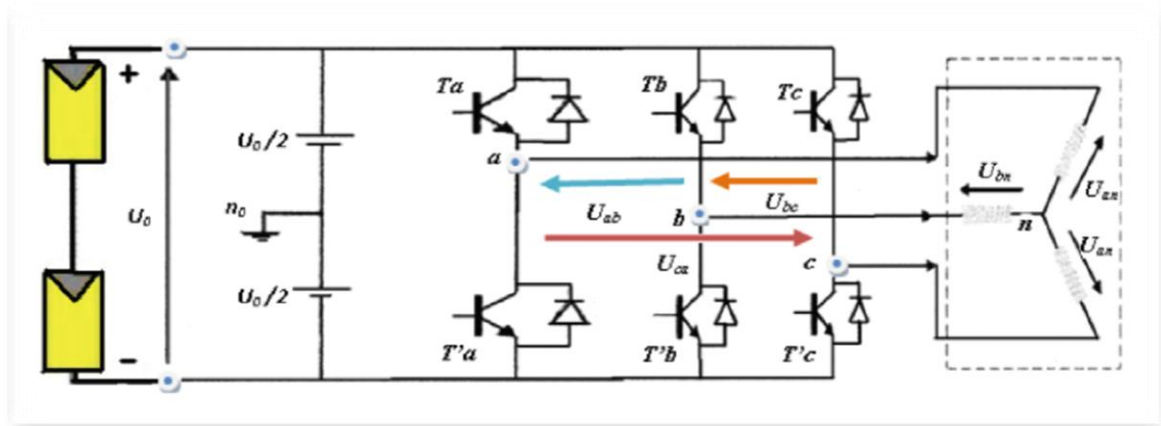


Figure II.4 : schéma de principe d'un onduleur triphasé alimenté à partir des panneaux solaires (schéma pour la modélisation) [59].

Les états des deux interrupteurs de chaque bras doivent être complémentaires ; l'un étant ON, l'autre OFF

Pour simplifier l'étude, on suppose que :

- La commutation des interrupteurs est instantanée.
- La chute de tension aux bornes des interrupteurs est négligeable.
- La charge triphasée est équilibrée, couplée en étoile avec le neutre isolé.

De la figure (II.4) on remarque qu'il ya deux types de tensions à étudier dans cette modélisation :

- Tensions composées (U_{ab} , U_{bc} , U_{ca})
- Tensions simple (U_{an} , U_{bn} , U_{cn})

Pour les tensions composées on a :

$$\begin{bmatrix} U_{ab} = U_{an0} - U_{bn0} \\ U_{bc} = U_{bn0} - U_{cn0} \\ U_{ca} = U_{cn0} - U_{an0} \end{bmatrix} \quad (\text{II. 17})$$

U_{an0} , U_{bn0} , U_{cn0} peuvent être considérées comme des tensions d'entrée à l'onduleur (tensions continues).

$$\begin{cases} U_{an0} = U_{an} - U_{n0} \\ U_{bn0} = U_{bn} - U_{n0} \\ U_{cn0} = U_{cn} - U_{n0} \end{cases} \quad (\text{II.18})$$

U_{an} , U_{bn} , U_{cn} sont les tensions simples de la machine et U_{n0} est la tension fictive entre le neutre de la machine et le point fictif d'indice "o".

Sachant que la charge est équilibrée et le neutre isolé alors :

$$U_{an} + U_{bn} + U_{cn} = 0 \quad (\text{II.19})$$

$$U_{n0} = \frac{1}{3} (U_{an0} + U_{bn0} + U_{cn0}) \quad (\text{II.20})$$

En remplaçant (II.18) dans (II.20) on obtient :

$$\begin{cases} U_{an} = \frac{2}{3} U_{an0} - \frac{1}{3} U_{n0} \\ U_{bn} = \frac{2}{3} U_{bn0} + \frac{1}{3} U_{n0} \\ U_{cn} = \frac{2}{3} U_{cn0} - \frac{1}{3} U_{n0} \end{cases} \quad (\text{II.21})$$

Donc, l'onduleur de tension peut être modélisé par une matrice [T] assurant le passage continu alternatif. [Matrice de transfert T]

$$[U_{AC}] = [T] \cdot [U_{AC}] \quad (\text{II.22})$$

Tel que :

$$[U_{AC}] = [U_b; U_{cn}] \quad (\text{II.23})$$

$$[U_{DC}] = [U_{an0}; U_{cn0}] \quad (\text{II.24})$$

$$[U_{DC}] = U_{n0} (S_a, S_b, S_b) \quad (\text{II.25})$$

Avec la matrice de transfert T :

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{2}{3} \end{bmatrix} \quad (\text{II.26})$$

Donc :

$$[U_{AC}] = U_{n0} \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{2}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Sa \\ Sb \\ Sc \end{bmatrix} \quad (\text{II.27})$$

II.5) Modélisation de la machine asynchrone :

Recherche sur le fonctionnement des moteurs asynchrones (en tant que moteurs électriques ou générateurs), Il faut un modèle mathématique. Ce modèle mathématique est La représentation de la machine réelle dans la simulation permet de restituer l'image observée à travers l'expérience, ce qui fournit une aide évidente pour résoudre des problèmes techniques [57].

La modélisation analytique classique du moteur asynchrone est réalisée dans les conditions suivantes : Les hypothèses simplifiées sont résumées comme suit :

II.5.1) Hypothèses de travail :

Le stator d'un moteur asynchrone comporte trois enroulements supposés être couplés en étoile Il n'y a pas de neutralité. Pour un rotor lisse, qu'il soit de type cage ou à enroulement, il peut être modifié des trois manières suivante Le même enroulement, tel que le stator, est décalé spatialement de 120 °. L'enroulement du rotor est court-circuité et la tension à ses bornes est nulle. Les exposants S et r sont respectivement liés au stator et au rotor [57]. Pour l'équation, nous supposons également que la distribution des enroulements est lorsqu'une force électromotrice est fournie par un courant sinusoïdal, elle est sinusoïdale. Nous On supposera également que nous travaillons dans un système non saturé. Nous avons négligé Hystérésis, changements caractéristiques dus à l'échauffement, aux courants de Foucault et aux effets cutanés. Enfin, comme le point neutre n'est pas nul, l'état unipolaire est nul lié [58]. Ces choix signifient :

Le flux magnétique est additif, l'inductance spécifique est constante, il y a un changement Courbe sinusoïdale de l'inductance mutuelle entre les enroulements du stator et du rotor Une fonction de l'angle électrique de son axe magnétique [59].

Les équations matricielles pour les bobinages statoriques et rotoriques s'écrivent sous la forme suivante :

$$[V_{sabc}] = [[R_s] - [I_{sabc}] + \frac{d[Q_{sabc}]}{dt}] \quad (II.28)$$

$$[V_{rabc}] = [[R_r] - [I_{rabc}] + \frac{d[Q_{rabc}]}{dt}] \quad (II.29)$$

Où R est la résistance de bobinage, i, v et \mathcal{Q} représente respectivement le courant dans le bobinage, la tension à ses bornes et le flux le traversant.

Pour le couple électromagnétique il s'écrit :

$$T_m = \frac{1}{2} [i_{sabc}, i_{rabc}] \cdot \left(\frac{d}{dt} [Q_{sabc}, Q_{rabc}] \right) \quad (II.30)$$

Les flux de la machine peuvent s'exprimer en fonction des inductances de la manière suivante :

$$[Q_{sabc}] = [L_s] \cdot [i_{sabc}] + [M_{sr}(\theta)] \cdot [i_{rabc}] \quad (II.31)$$

$$[Q_{rabc}] = [L_r] \cdot [i_{rabc}] + [M_{sr}(\theta)] \cdot [i_{sabc}] \quad (II.32)$$

En notant que les dérivées de $[L_r]$ et de $[L_s]$ par rapport à la position rotorique θ sont nulles, il vient immédiatement :

$$T_m = [I_s]^T \cdot \left(\frac{d}{dt} [M_{sr}] \right) \cdot [i_{rabc}] \quad (II.33)$$

Afin de simplifier la formulation de l'équation différentielle de commande du moteur, il est nécessaire de changer les coordonnées des grandeurs triphasées. Constante d'inductance mutuelle, utilisant généralement la transformation de Park [59].

Par conséquent, cette transformation permet de transférer les valeurs de courant, de tension et des flux des trois bobines du stator (repère a, bs, cs) et des trois bobines du rotor (repère a br, cr) à la repère valeur liée au champ tournant (repère dq)[60].

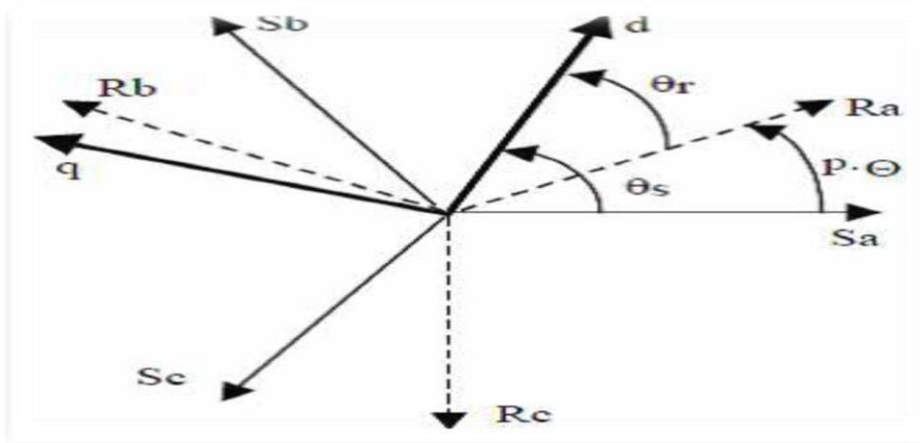


Figure II.5 : Les différents systèmes d'axes utilisés [60]

En choisissant un repère dqo diphasé, l'axe d peut être repéré par :

θ_s = L'angle électrique par rapport à l'axe de la phase « a » du stator.

θ_r = L'angle électrique par rapport à l'axe de la phase « a » du rotor.

$\frac{d\theta_s}{dt} = \omega_s$: Pulsation des grandeurs statoriques.

$\frac{d\theta_r}{dt} = \omega_r$: Pulsation des grandeurs rotoriques.

A chaque instant, ces deux angles sont liés par la relation suivante :

$$\theta = p ; \Delta = \theta_s - \theta_r \quad (\text{II.34})$$

Où Δ est la position mécanique de l'axe rotorique par rapport à l'axe statorique,

P = nombre de paires de pôles

θ = étant l'angle électrique entre l'axe rotorique et l'axe statorique

On peut écrire aussi en régime permanent :

$$\omega_s = p \cdot \Omega = \omega \quad (\text{II.35})$$

Avec :

ω = La pulsation mécanique

Ω = est la vitesse mécanique.

II.6) Modélisation de la pompe centrifuge :

II.6.1) Données de base :

Les données suivantes seront nécessaires pour dimensionner la pompe et ses composants.

Nous donnerons une définition des données utilisées en pompage en général [61].

II.6.2) Débit :

Le débit d'eau de la pompe fait référence à la quantité d'eau que la pompe peut fournir dans un certain laps de temps. L'intervalle de temps donné. Le débit est donné sous forme de litres par heure (l / h) ou de mètres cubes par seconde (m³ / s) [59].

II.6.3) Hauteur manométrique totale :

La hauteur manométrique totale (HMT) est la différence de pression en mètre de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement [61].

II.6.4) Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire :

Le calcul de l'énergie hydraulique requise nous a permis de déterminer la taille de la pompe. Pour déterminer sa taille, les deux facteurs suivants doivent être pris en compte :

- La quantité d'eau requise.
- La hauteur que doit convaincre la pompe.
- La puissance hydraulique nécessaire pour faire déplacer l'eau d'un point à un autre est donnée par :

$$p_h = g \cdot h \cdot Q \cdot \rho \quad (\text{II.36})$$

- Ph est la puissance communiquée au fluide par la pompe (W).
- g est l'accélération de la pesanteur (9.81 m/s²).
- H est la hauteur manométrique totale atteinte par la pompe (m).
- Q est le débit volumique (m³/s).
- ρ est la masse volumique d'eau (1000Kg/m³).

Pour implémenter le modèle, nous utilisons l'équation de similarité suivante :

$$H_{(T)} = H_m \cdot \left(\frac{N(t)}{Nm}\right)^2$$

$$Q_{(T)} = Q_m \cdot \left(\frac{N(t)}{Nm}\right)$$

- H(t) est la hauteur instantanée (m).
- Hm est la hauteur maximale (35 m).
- (t) est la vitesse instantané (tr/min).
- Nm est la vitesse maximale (2800 tr/min).
- Q(t) est le débit instantané (m³/s).
- Qm est le débit maximal (0.001 m³/s).

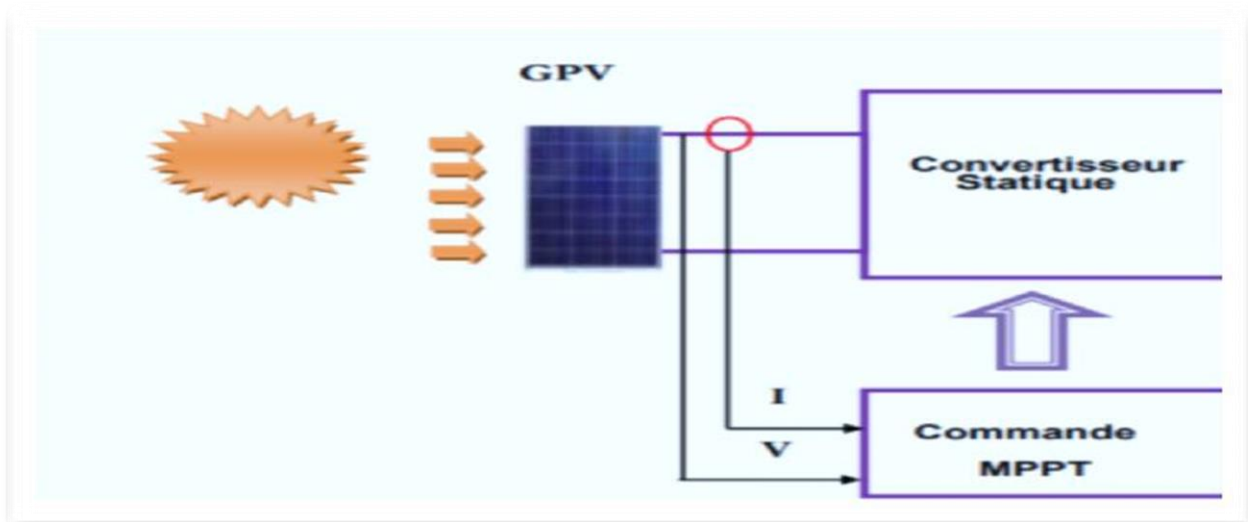
II.7) La commande MPPT :

La commande MPPT « Maximum Power Point Tracking » est une méthode permet au générateur PV de travailler à sa puissance maximale quel que soit les conditions météorologiques

d'irradiations et de température Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique α d'un convertisseur DC-DC à la valeur adéquate de manière à maximiser continuellement la puissance à la sortie du panneau PV[61]. Les hacheurs sont utilisés comme interface de puissance à contrôler par le régulateur MPPT, afin d'adapter la tension de sortie du hacheur à la tension requise par la charge. A partir de cette règle et selon le type de contrôleur, on peut raisonner sur plusieurs et différentes méthodes, afin d'extraire le maximum de puissance d'un panneau solaire [60]. Le rendement du point de fonctionnement (η_{MPPT}), permet de mesurer l'efficacité de la commande qui a en charge le contrôle du convertisseur de puissance.

$$\eta_{MPPT} = \frac{P_{pv}}{P_{mpp}} \quad (\text{II.37})$$

Les performances d'une commande MPPT ne se résument pas à ce seul paramètre (η_{MPPT}). D'autres critères utilisés pour évaluer la qualité de ce type de commande tels que les capteurs nécessaires, la complexité, le coût, la portée de l'efficacité, la vitesse de convergence, le suivi correct lors de l'irradiation et / ou le changement de température et le matériel nécessaire pour la mise en œuvre [61].



figureII.6 : schéma de la commande MPPT [61].

II.7.1) Méthode de perturbation et d'observation (P&O) :

La méthode de perturbation et d'observation est une méthode itérative majeure. C'est très courant dans la recherche MPPT car c'est si simple qu'il suffit de mesurer. Il s'agit respectivement de la tension et du courant du panneau photovoltaïque V_{PV} et I_{PV} . Elle peut être utilisée pour déduire le point de puissance maximale et la température. Comme son

nom l'indique, la méthode P&O est adaptée aux perturbations ici Augmentation ou diminution de la tension VPV] et observation de son influence Modification de la puissance de sortie du générateur PV. La figure (II.7) montre l'Algorithme P&O. À chaque cycle, mesurez VPV et Ipv pour calculer Ppv (k). Cette valeur de Ppv (k) est comparée à la valeur Ppv (k-1) calculée au cycle précédent. Au cas où la puissance de sortie augmente, le sens de réglage Vpv est le même que la période précédente. Si la puissance de sortie diminue, Vpv s'ajustera dans la direction opposée. Dans le cycle précédent, Vpv est donc perturbé à chaque cycle MPPT [62].

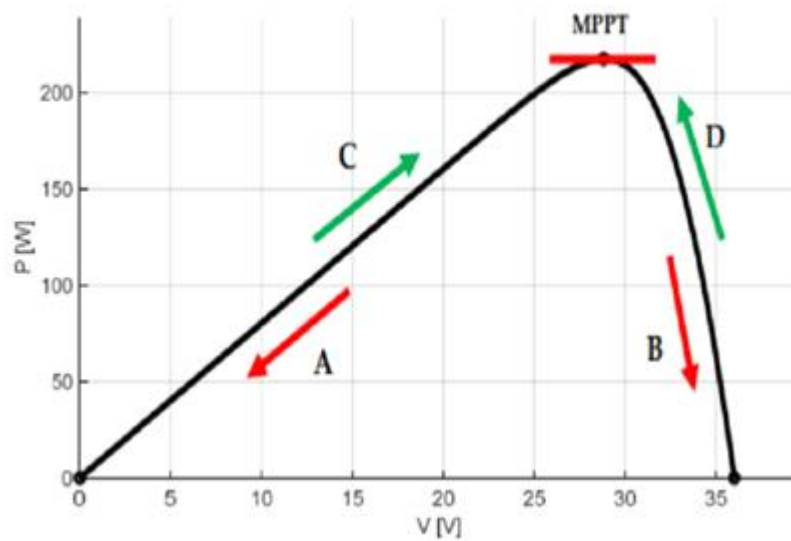


Figure II.7 : Le fonctionnement de l'algorithme P&O

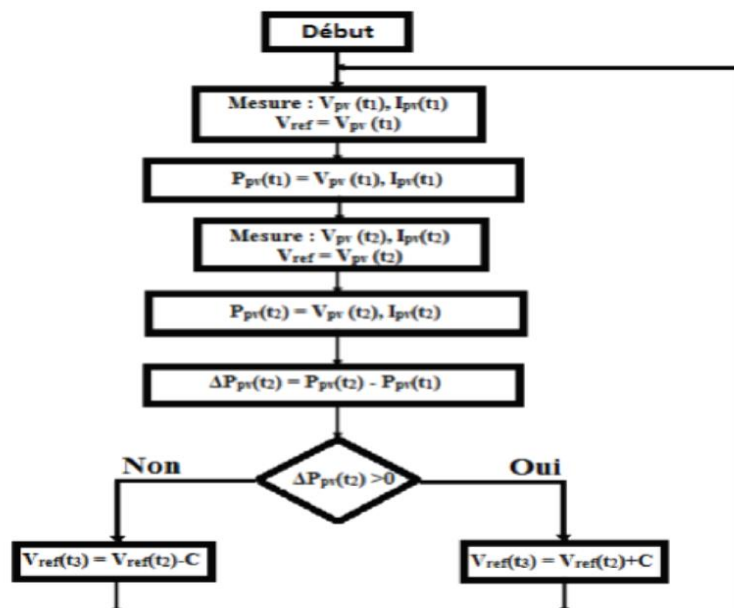


Figure II.8 : Organigramme de la méthode Perturbation et Observation [59].

II.7.2) Commandes MPPT basées sur le principe de la logique floue (FLC)

Les commandes basées sur la logique floue sont utilisées dans les systèmes de poursuite de point à maximum de puissance, cette commande offre l'avantage d'être une commande robuste et qui ne nécessite pas la connaissance exacte du modèle mathématique du système [63]. De plus, elles peuvent traiter des non linéarités, le fonctionnement de cet algorithme se fait en trois étapes :

- La fuzzification :

Permet la conversion des variables physiques d'entrée en ensembles flous. Durant cette étape, les variables d'entrées numériques sont converties en variable linguistique pouvant prendre les cinq valeurs suivantes : NB (Negative Big), NS (Negative Small), ZE (Zero), PS (Positive Small), PB (Positive Big). Par l'utilisation de la structure de base de la commande logique floue. Comme illustre la figure (II.9.a). Les paramètres d'entrées E et ΔE sont liés aux équations suivantes [61] :

$$E = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \quad (\text{II.38})$$

$$\Delta E = E(k) - E(k-1) \quad (\text{II.39})$$

L'inférence :

Dans l'étape d'inférence, on prend des décisions à partir des variables d'entrées E et ΔE sur le variable de sortie $\Delta \alpha$ à l'aide de tableau de règles d'inférence représenté dans la figure (II.9.b) [16]. En effet, on établit des relations logiques entre les entrées et la sortie tout en définissant les règles d'appartenance. Par la suite, on dresse le tableau de règles d'inférence [61].

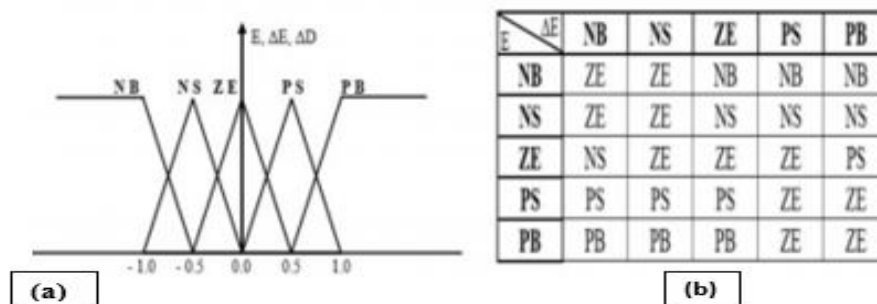


Figure II.9 : Commandes MPPT basées sur le principe de la logique floue (a) exemple de structure de base de la commande floue. (b) exemple d'une table de vérité pour une commande logique floue

- La Défuzzification :

Cette étape ne s'applique qu'à la variable de sortie $\Delta\alpha$. Durant cette étape, $\Delta\alpha$ sera convertir d'une variable linguistique à une variable numérique afin de pouvoir piloter le convertisseur de puissance pour atteindre le PPM. [64] Cette commande présente les meilleures performances en termes de précision et de rapidité de recouvrement de PPM. Mais l'inconvénient de cette commande est que sa précision est liée à la complexité de la table de vérité employée donc la nécessité du choix obligatoire d'un microcontrôleur ayant une grande capacité de calculs cela entraîne obligatoirement une consommation énergétique non négligeable liée au microprocesseur ainsi qu'un surcoût [63] [64].

II. 8) Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté le modèle des différents éléments du système Pompage photovoltaïque. Pour les générateurs photovoltaïques, nous avons proposé un modèle mathématique qui considère l'influence de différents paramètres météorologiques. Nous avons brièvement décrit le modèle de convertisseur statique (hacheur) En même temps, considérant que leurs composants sont parfaits et que la commutation des bras est Après l'achèvement immédiat, nous sommes Moteurs asynchrones et pompes centrifuges, qui nous permettront d'étudier le contrôle des systèmes de pompes photovoltaïques dans les prochains chapitres.

Chapitre III

Commande et simulation de système photovoltaïque

III.1) Introduction

Comme nous l'avons vu dans chapitre II, la puissance fournie par les générateurs photovoltaïques varie. Cela dépend fortement de l'éclairement et de la température. Pour le fonctionnement du générateur Plus fréquent dans le meilleur régime le hacheur (DC/DC) est utilisé dans la partie contrôle de l'installation photovoltaïque, à travers Par l'effet de la commande MPPT sur le rapport cyclique α du convertisseur figure (III.1), on peut Ajuster la tension de sortie du générateur pour extraire le point de puissance maximum. Dans ce chapitre, nous nous intéressons à deux méthodes de recherche de points puissance maximum :

- Méthode classique de Perturbation et d'Observation (P&O).
- Méthode non linéaire du contrôleur par l'intelligence artificiel (logique floue). Dans cette partie, nous ferons également une étude comparative pour tester Les performances de chaque méthode.

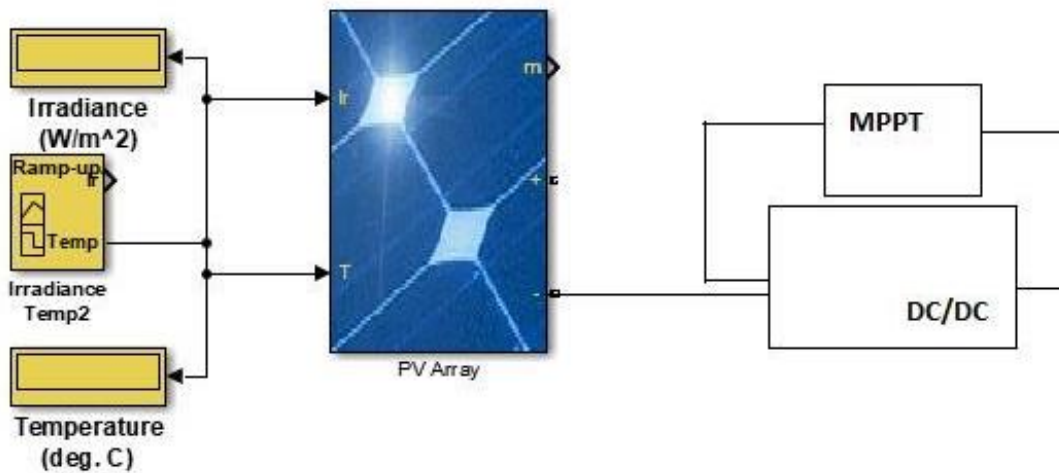


Figure III.1 : Schéma synoptique du système photovoltaïque avec la commande Mppt. [1]

III.2) Simulation des performances du module ET-P650250ww [67]

Le module photovoltaïque **ET-P650250ww**, utilisé dans les installations solaires, est constitué de 60 cellules en silicium Monocristalline. Ce module peut produire une puissance maximale de 250 Watts à 30Volts. Pour simuler le comportement du générateur (PV), nous avons simulé le modèle présenté au chapitre II Ceci nous a permis de déterminer l'allure des caractéristiques électriques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ de ce dernier dans les conditions standard du test ($G=1000W/m^2$ et $T=25^{\circ}C$).

Le bloc SIMULINK du modèle de générateur photovoltaïque (PV) est représenté par la (figure III.2) :

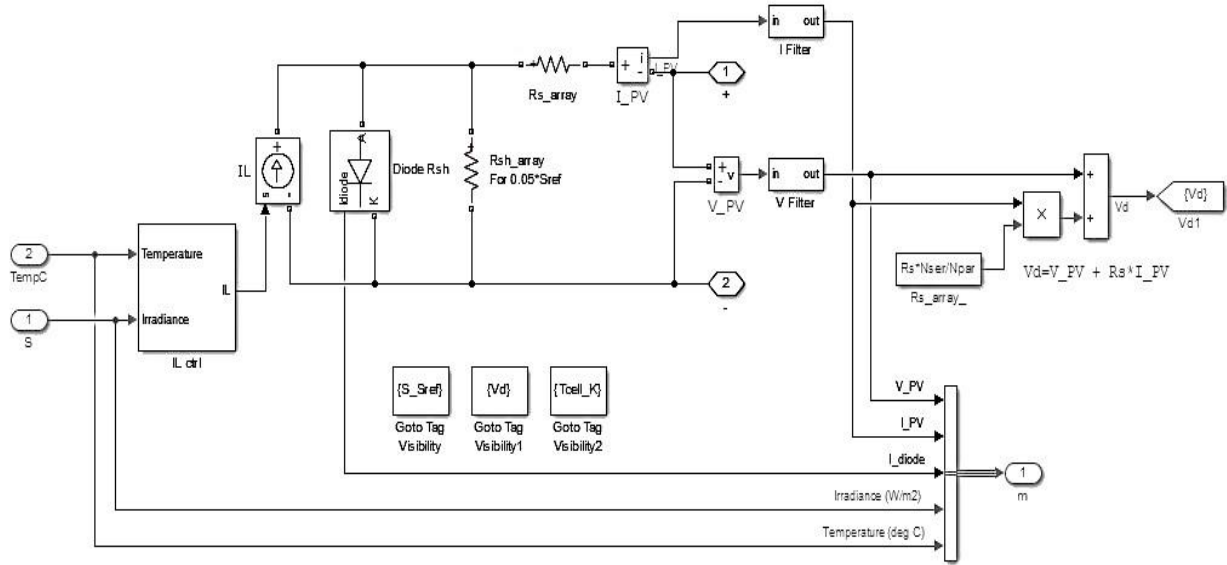


Figure III.2 : Schéma bloc du générateur photovoltaïque sous Matlab/Simulink.

La simulation du modèle photovoltaïque **ET-P650250ww** sous MATLAB-SIMULINK dans les conditions standard du test ($G=1000\text{W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$), nous a permis de tracer les graphes des (figures III.3).

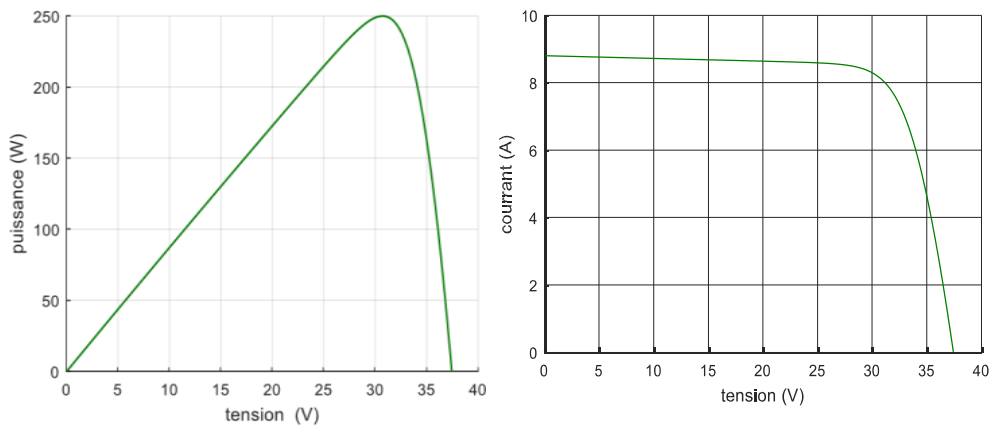


Figure III.3 : caractéristique $I = f(V)$, $P = f(V)$ du module à $G=1000\text{W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$.

En effet, le module photovoltaïque **ET-P650250ww**, utilisé dans les installations solaires, avec une tension du circuit ouvert $V_{co}=37.44\text{ V}$ et un courant de court-circuit $I_{cc}=8.14\text{ A}$ peut produire une puissance maximale $P_{mpp}=250\text{ W}$ à une tension à puissance maximal $V_{mpp}=30.71\text{ V}$ et à un courant à puissance maximal $I_{mpp}= 8.8\text{A}$.

III.2.1) L'influence de la température et les irradiations sur le panneau

a) Influence de température

La forme des courbes caractéristique I-V et P-V peuvent être modifiés sous l'effet de la température. Les Figures (III.4) illustrent les variations des courbes caractéristiques lorsqu'il y a changement de la température absorbé par Le PV.

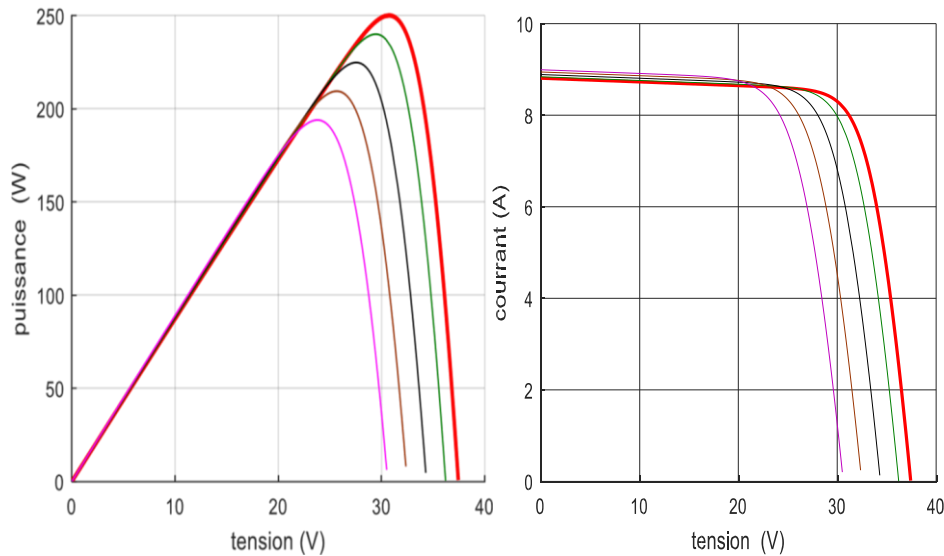


Figure III.4 : Influence de température

b) Influence des irradiations

Les graphes suivants représentent les caractéristiques I(V) et P(V) respectivement d'un générateur photovoltaïque pour une température constante ($T=25^{\circ}\text{C}$) et un ensoleillement variable. Il est clair 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, mais reste quasiment identique même à faible éclairement. Ceci implique donc que :

- La puissance optimale de la cellule (P_{max}) est pratiquement proportionnelle à l'éclairement.
- Les points de puissance maximale se situent à peu près à la même tension.

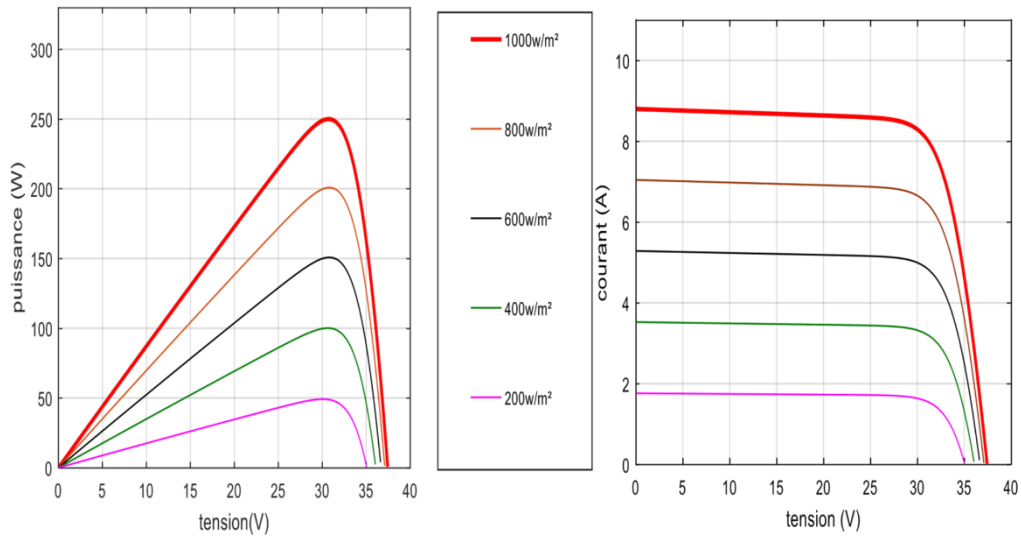


Figure III.5 : Influence de l'irradiation

III.3) Simulation du générateur PV et le convertisseur (boost) avec Mppt

Dans ce qui précède, nous avons décrit le fonctionnement des convertisseurs BOOST (Voir le chapitre II). Le convertisseur BOOST approprié à notre système photovoltaïque est commandé par le contrôleur (MPPT). [Figure III.6]

Le convertisseur BOOST est généralement employé pour obtenir une tension sortie plus élevée. Pour montrer le comportement du convertisseur statique survolteur (BOOST), nous avons utilisé SIMULINK .Ce dernier intègre les composants de l'électronique de puissance (résistances, condensateurs, inductances, diodes...etc.) ce qui facilite la simulation du système. La (figure III.7) illustre le bloc schématique de SIMULINK du convertisseur statique (BOOST).

III.3.1) La commande P&O

Nous avons utilisé l'algorithme de poursuite du point de puissance maximale (PPM) le plus utilisé, et comme son nom l'indique il est basé sur la perturbation du système par l'augmentation ou la diminution de la tension de référence, 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 (D).

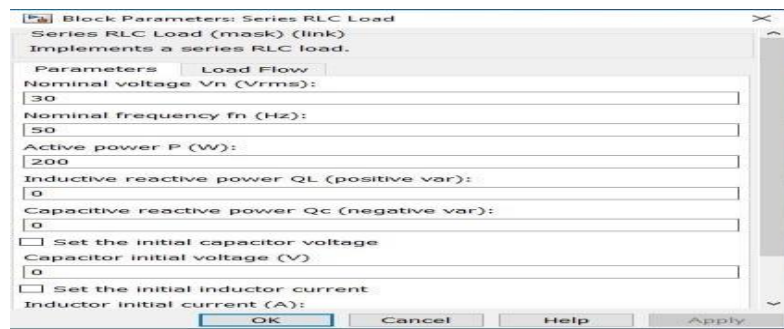
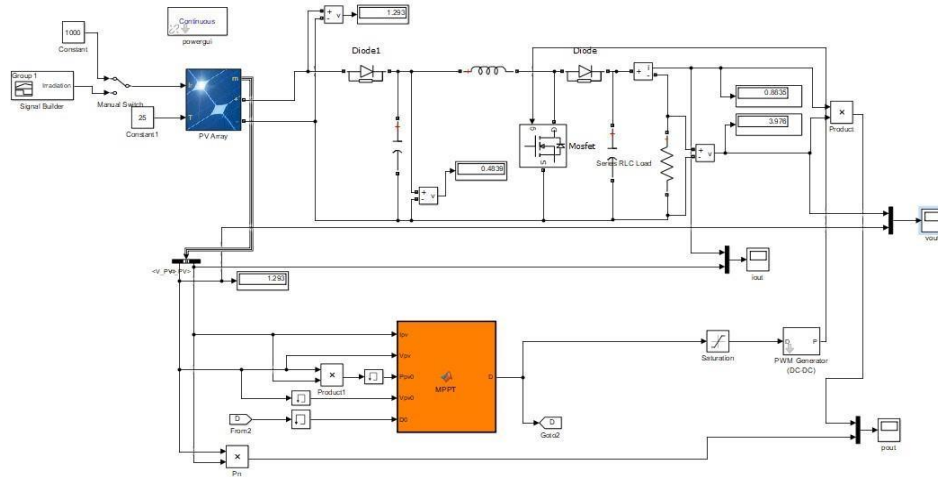


Figure III.6 : Schéma bloc d'un système photovoltaïque contrôlé par la commande MPPT «P&O », Paramètres de la charge RLC.

Le schéma block du hacheur parallèle (boost) donné par la figure ce-dessus, les paramètres de cet convertisseur représenté dans le tableau (II.2) chapitre II.

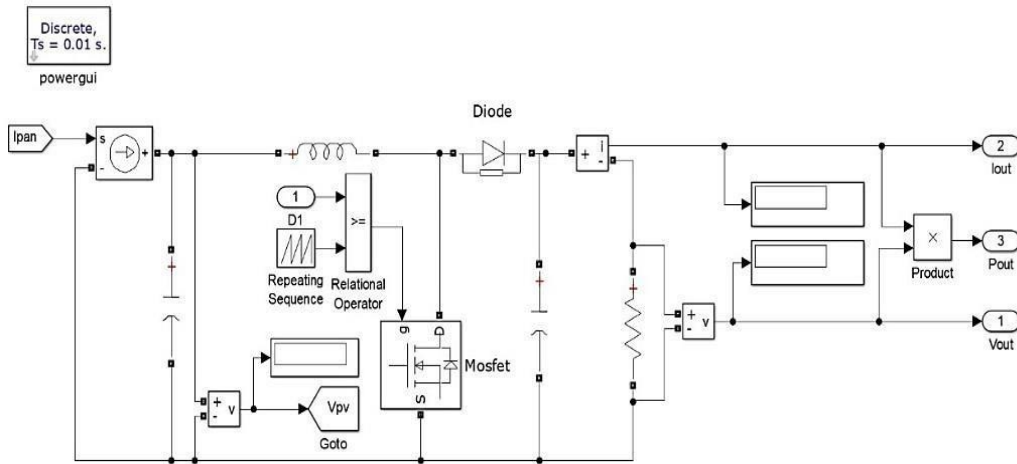


Figure III.7 : Schéma block d'un convertisseur survolteur (BOOST).

La Figure III.8 montre l'Algorithme de commande mppt utilise :


```

function [D,dp_dv] = MPPT(Ipv,Vpv,Ppv0,Vpv0,D0)
Inc_D = 0.658;
Ppv = Vpv*Ipv;
Delta_Ppv = Ppv-Ppv0 ;
Delta_Vpv = Vpv - Vpv0 ;
dp_dv = Delta_Ppv/Delta_Vpv ;
if dp_dv > 0
    D = D0 - Inc_D ;
elseif dp_dv < 0
    D = D0 + Inc_D ;
else
    D = D0;
end

if D >0.9
    D = 0.9 ;
elseif D < 0
    D = 0 ;
else
    D = D ;
end

```

Figure III.8 : algorithme de la commande mppt

a) Caractéristique électrique de système Photovoltaïque

Les résultats de simulation du convertisseur survolteur représentent par les (figures III.10 et III.11). Ces figures représentent le rapport cyclique (d) de commande sur la gâchette Figure (III.9) ainsi la tension d'entrée et de sortie du hacheur survolteur.

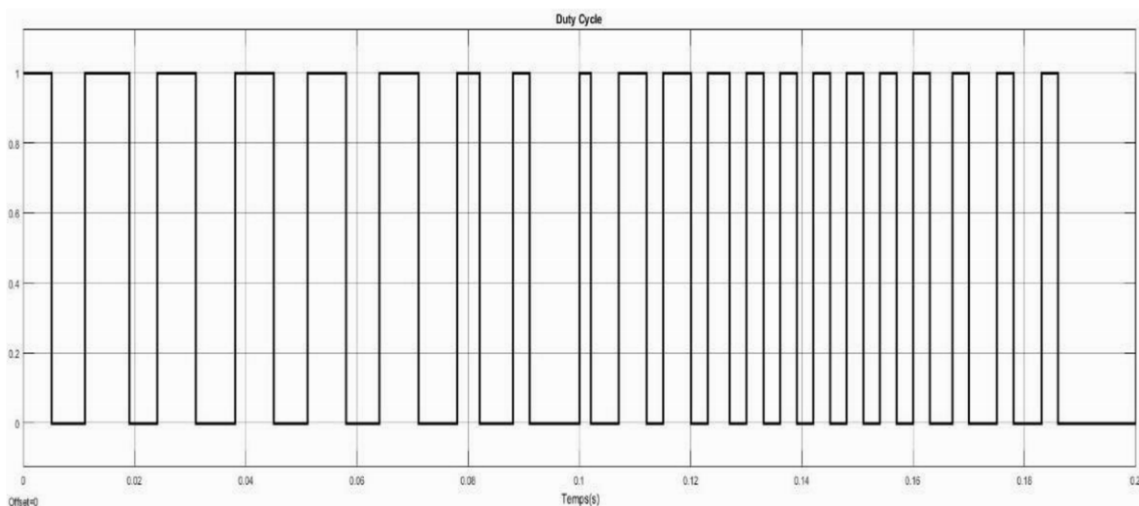


Figure III.9 : Signal commande DC/DC (gâchette- d'hacheur).

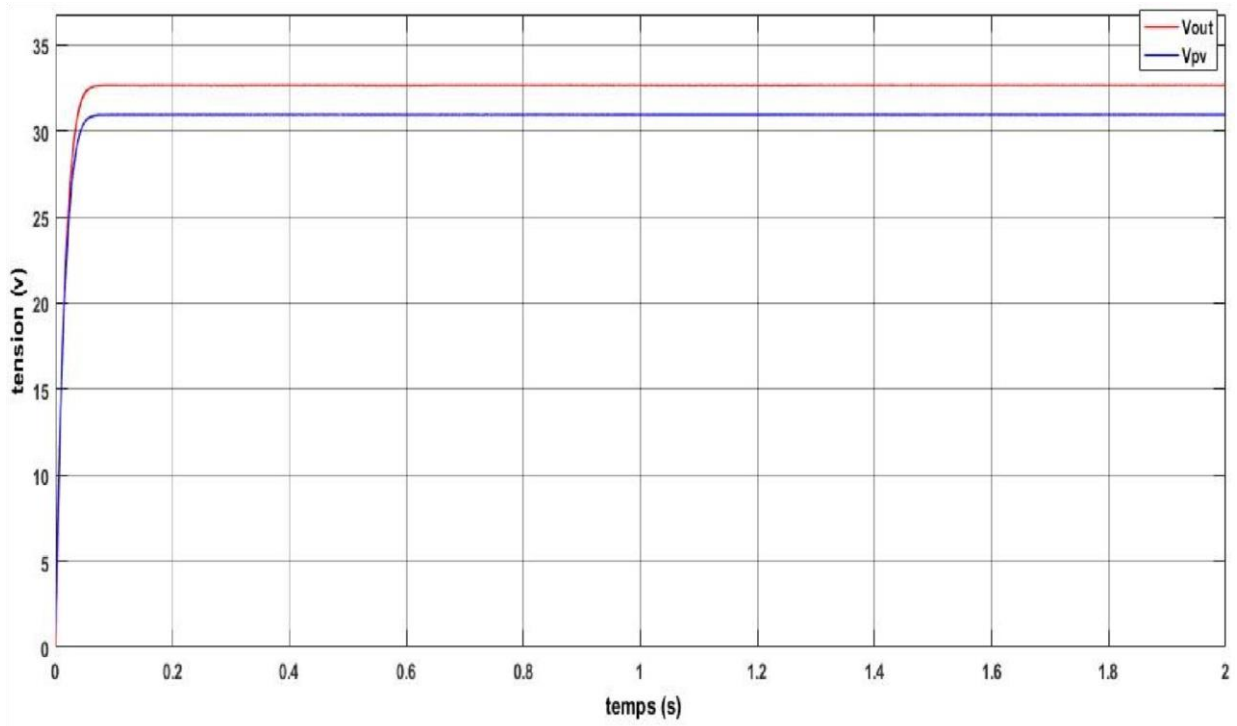


Figure III.10 : Résultats de simulation de la tension (entrée / sortie) du hacheur survolteur

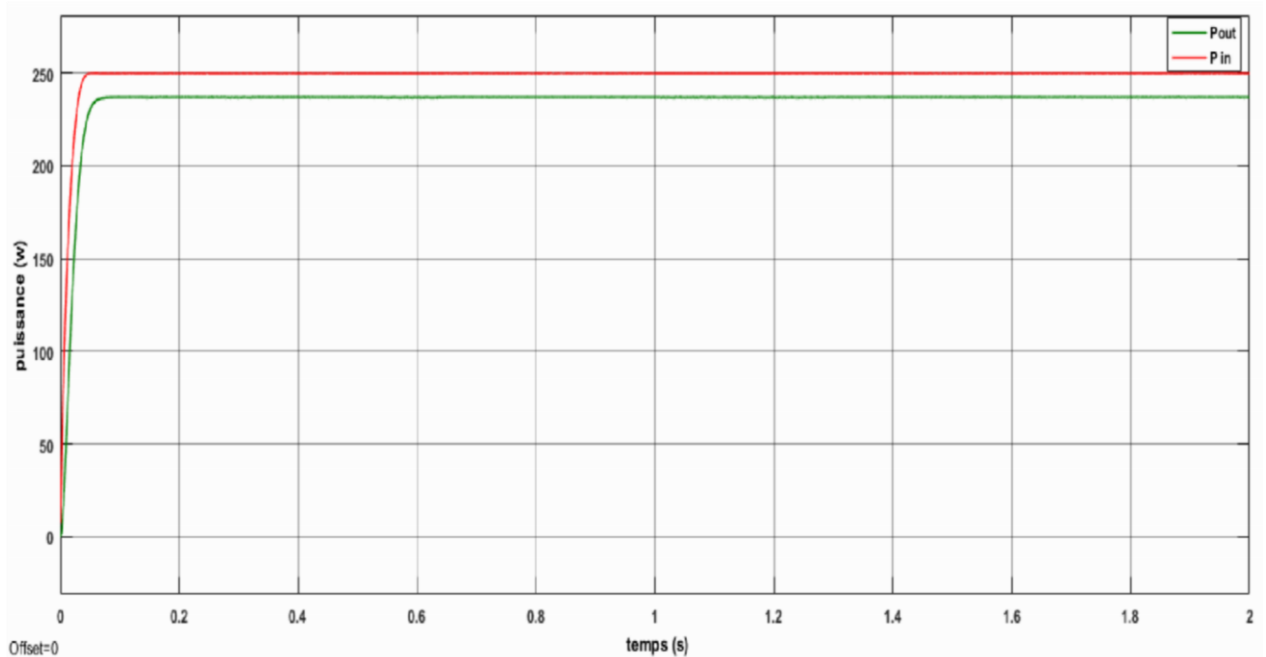


Figure III.11 : Résultats de simulation de la Puissance (entrée / sortie) du hacheur survolteur

b) Effet du changement simultané de l'ensoleillement

Le but est étudié les performances du système PV à une puissance maximale avec la méthode P&O on a appliqué un ensoleillement variable qui diminue de 850W/m^2 à 560W/m^2 puis augment vers 1000W/m^2 , une température fixée à 25°C (figure III.12).

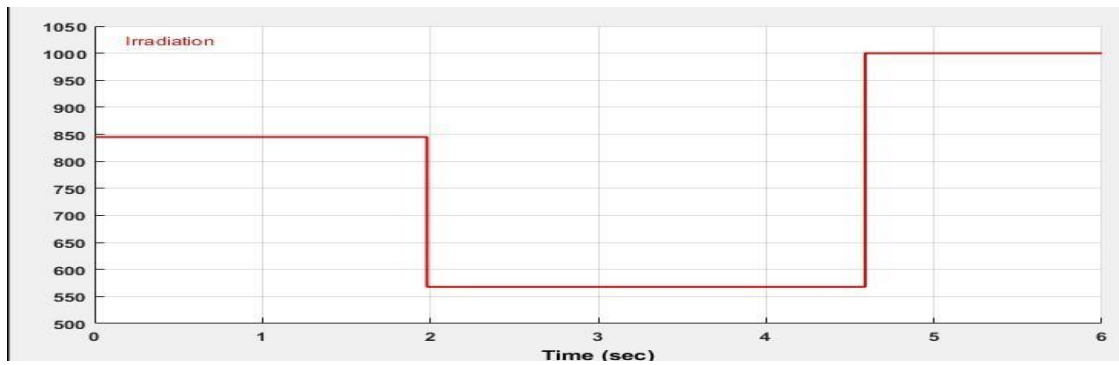


Figure III.12 : Variations simultanée de l'ensoleillement variable et température constant.

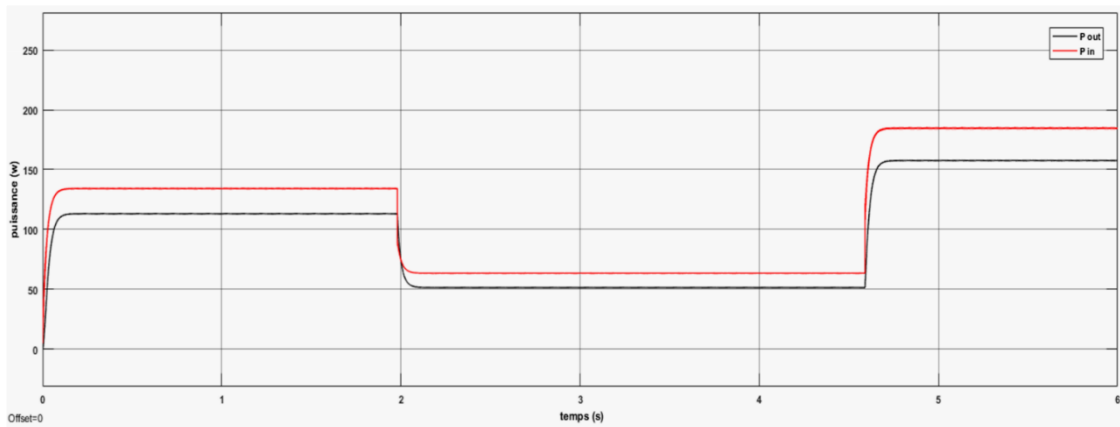


Figure III.13 : puissance de sortie boost et du générateur photovoltaïque

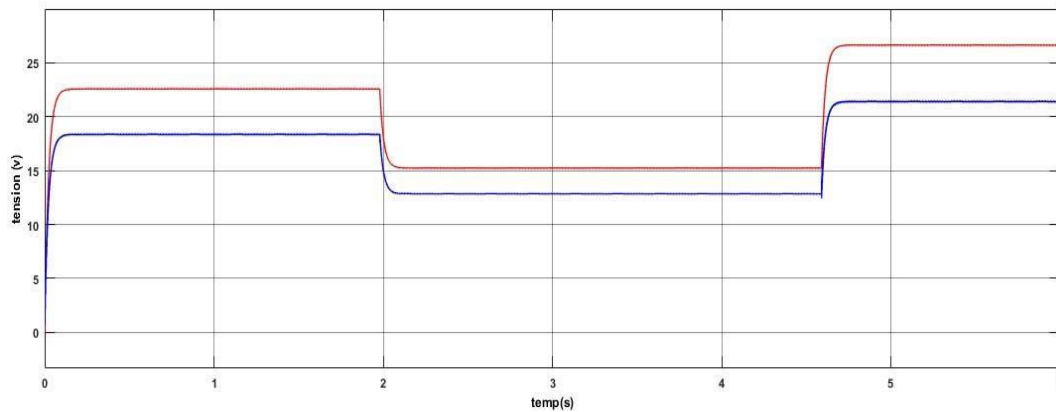


Figure III.14 : tension de sortie boost et du générateur photovoltaïque

On remarque à partir de la figure (III.13) que la puissance maximale du système PV subit une diminution lorsque l'éclairement diminue et l'inverse donc la commande P&O fonctionne correctement.

III.3.2) la commande non linéaire (logique floue)

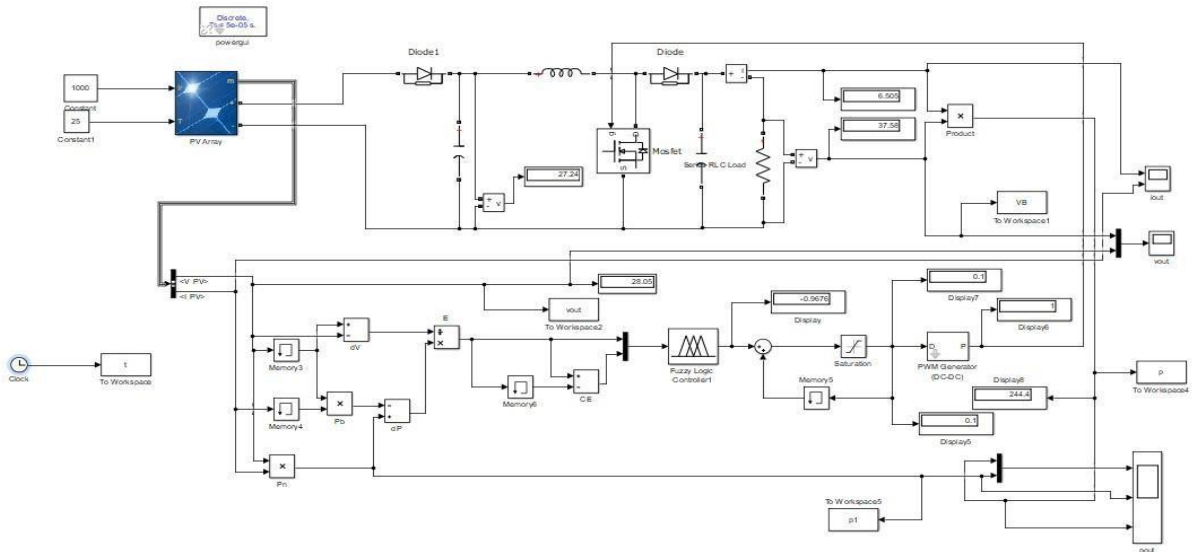


Figure III.15 : Schéma bloc d'un système photovoltaïque contrôlé par la commande MPPT « fuzzy Logic»

Résultats de simulation

a) Dans les conditions initiales(STC)

Les figures (III.16), (III.17) présentent les puissances du system photovoltaïque (Ppv), (P boost) et les tensions de system photovoltaïque (Vpv, boost) commandé par logique flou (CLF).dans les conditions normal (25°C, 1000w/m²).

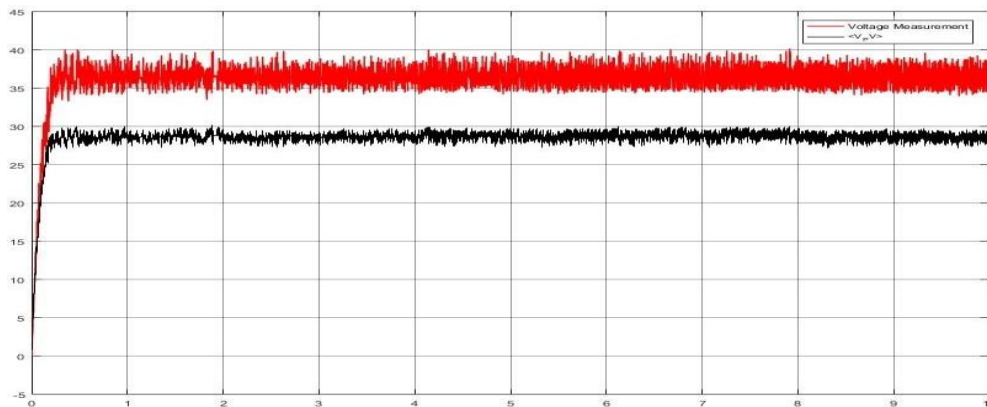


Figure III.16 : tension de sortie DC/DC et de PV contrôlée par la commande MPPT « fuzzy Logic»

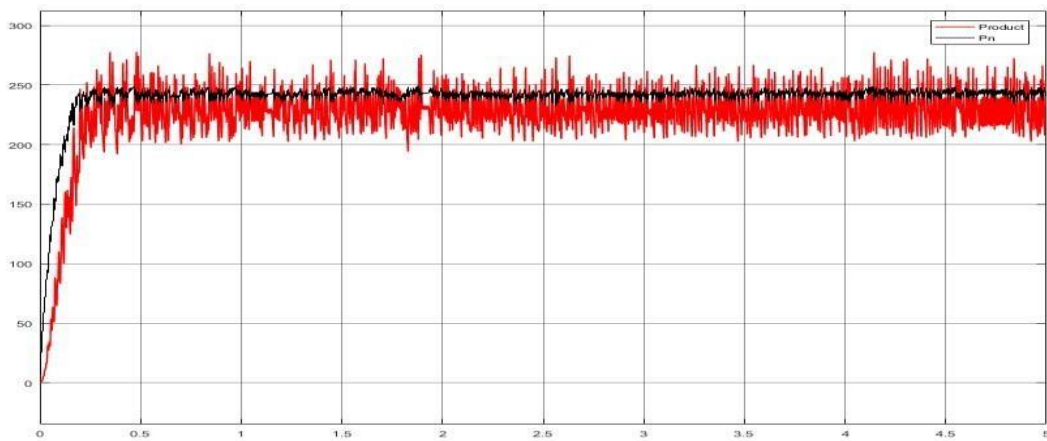


Figure III.16 : tension de sortie DC/DC et de PV contrôlée par la commande MPPT « fuzzy Logic»

a) effet de l'éclairement

Cette fois on fixe la température à (25 °C) et on va varier d'éclairement solaire la figure (III.18).

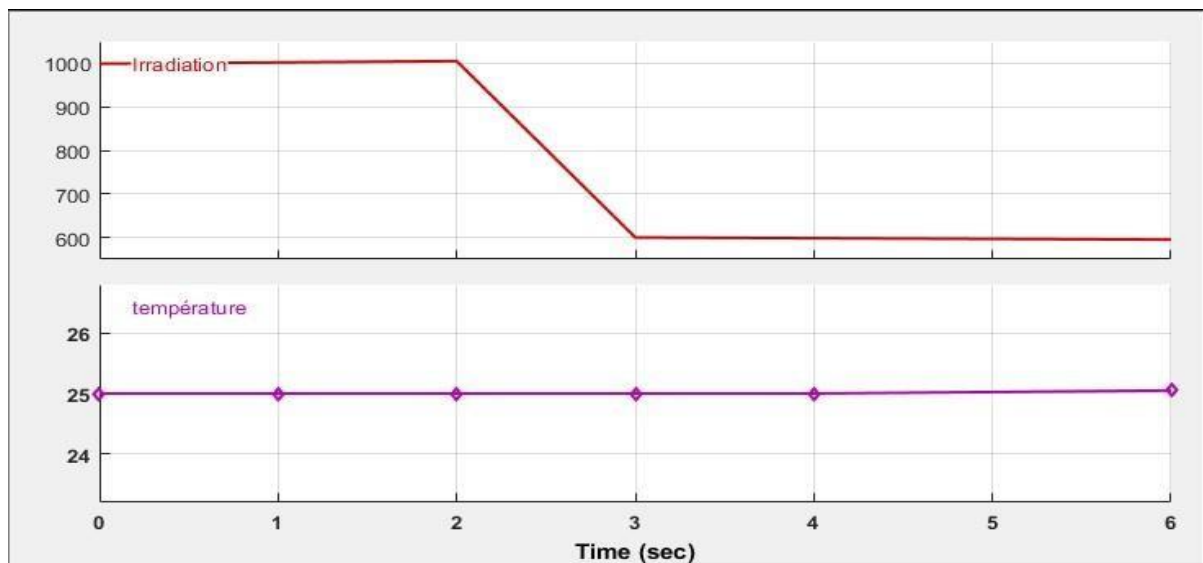


Figure III.18 : Variations simultanée de l'ensoleillement variable et température constant

Les caractéristiques de tension, puissance en fonction de temps sont représenté dans les figures (III.19, III.20).

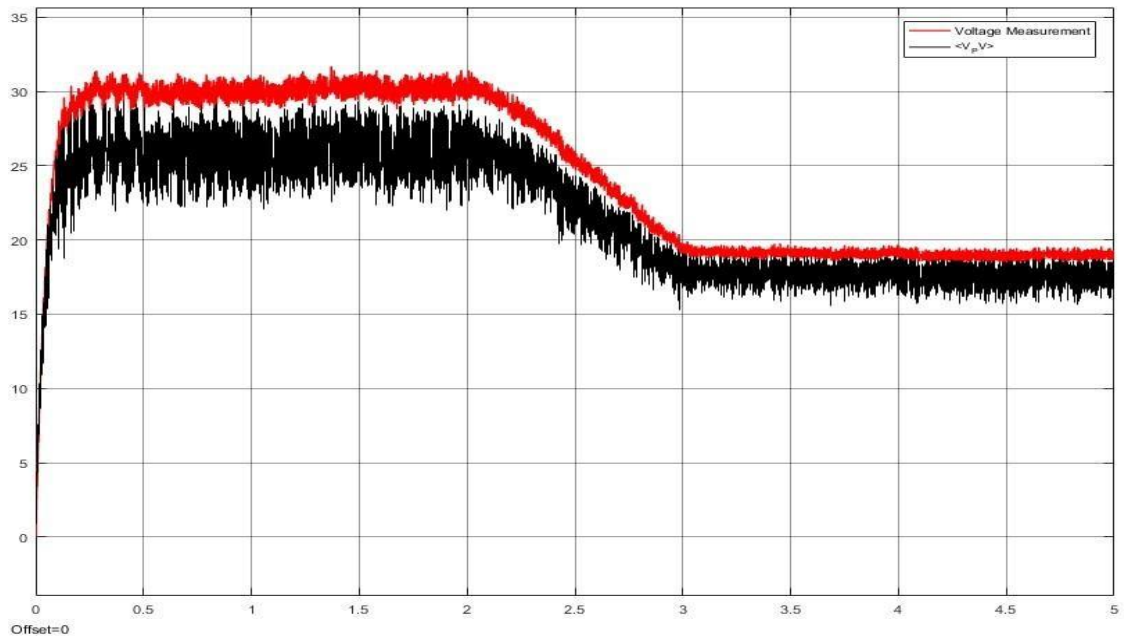


Figure III.19 : Tension de sortie du système photovoltaïque (PV, boost)

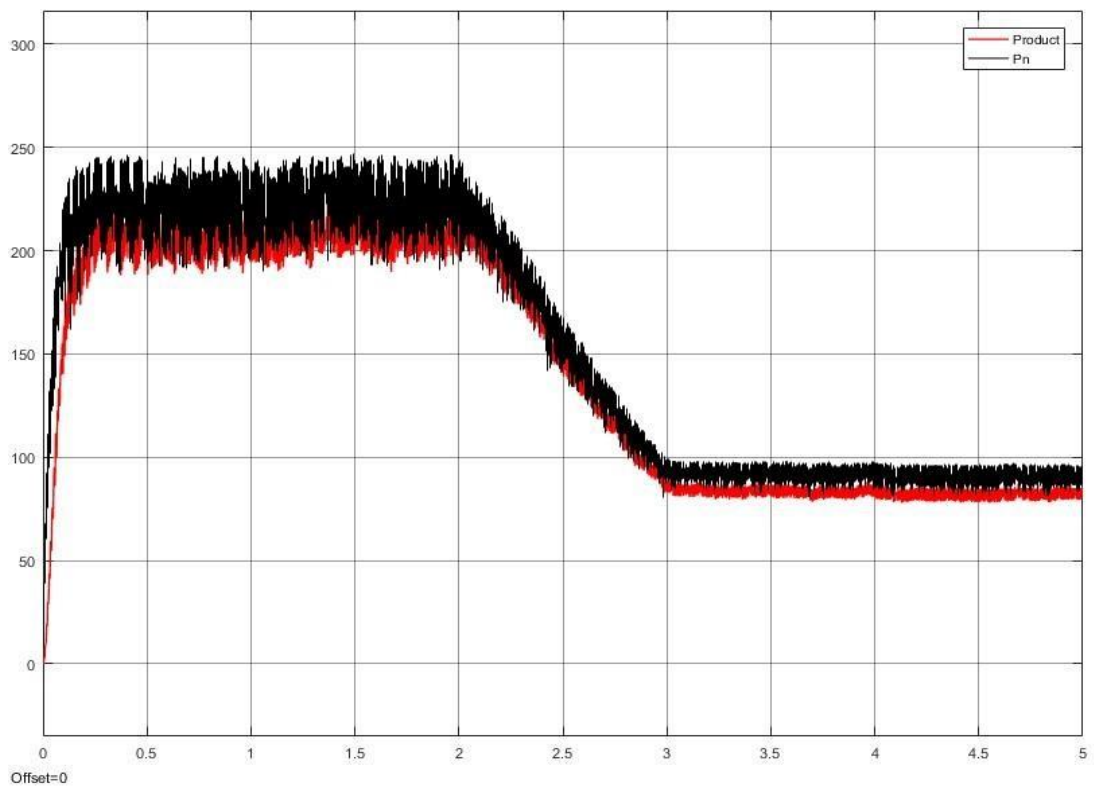


Figure III.20 : puissance de sortie du système photovoltaïque (PV, boost)

Ces graphiques ont signalé que notre commande MPPT(FLC) à un fonctionnement correcte.

b) Effet du changement de la température

Pour avoir l'effet de la température sur notre système installé dans un site saharien, nous avons appliqué une température variable entre [25°C jusqu'à 80°C] avec un ensoleillement constant (figure III.21). Les figures (III.22 III.23 III.24) présentent les résultats.

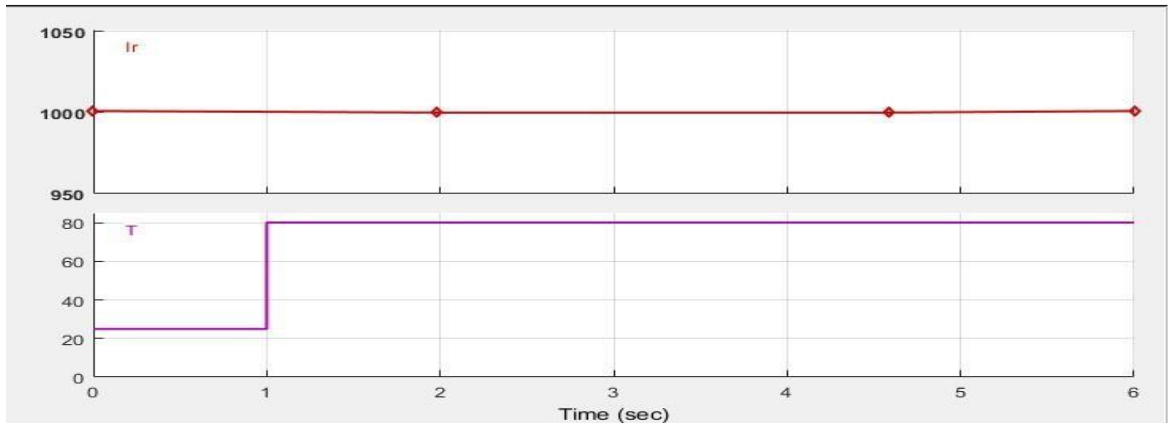


Figure III.21 : Variations simultanée de l'ensoleillement fixe et température variable

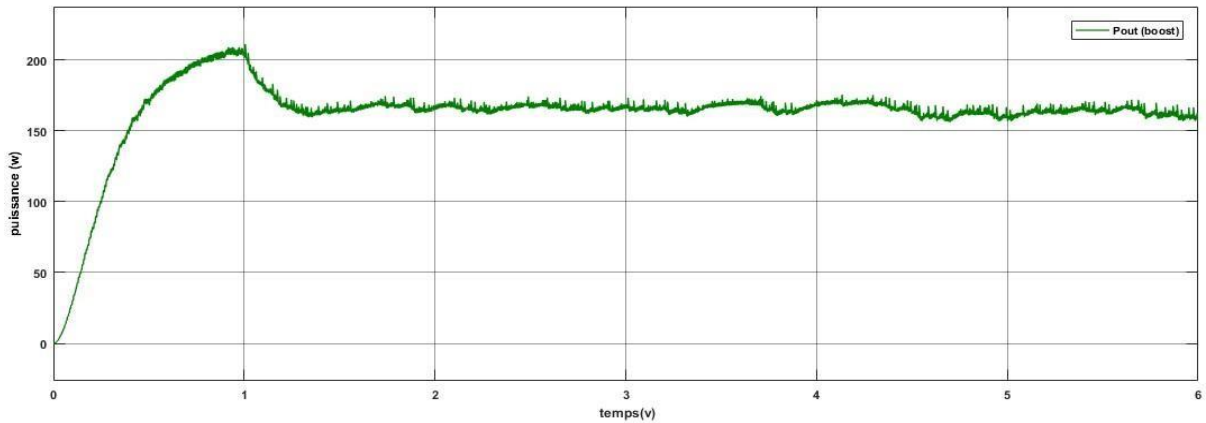


Figure III.22 : Puissance de sortie du convertisseur boost (DC/DC)

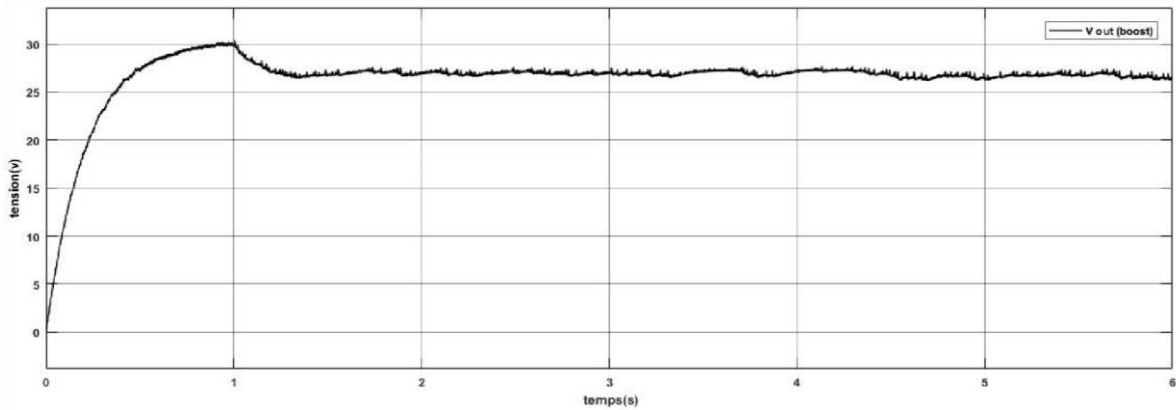


Figure III.23 : Tension de sortie du convertisseur DC/DC (boost)

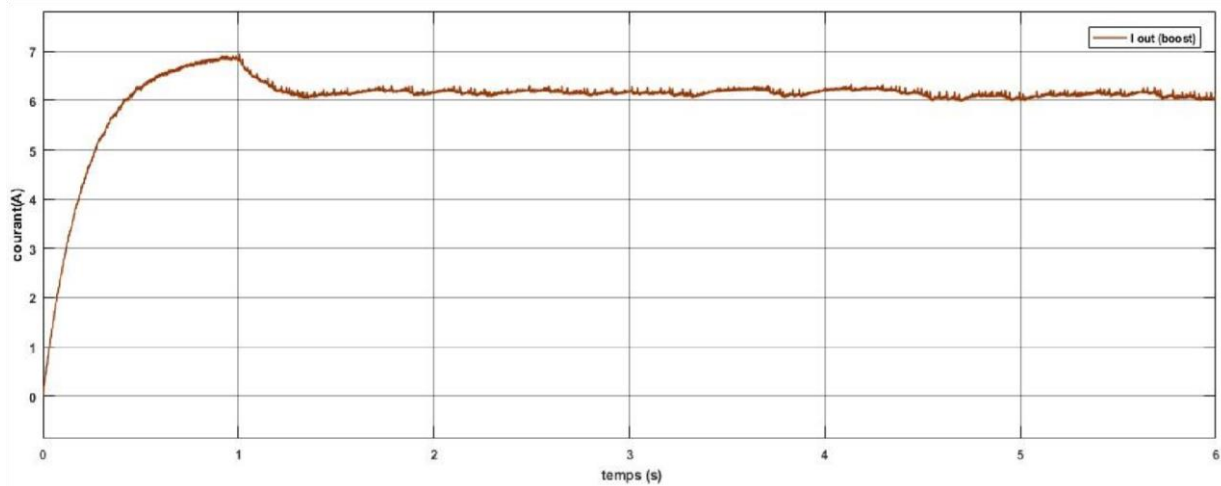


Figure III.24 : courant de sortie du boost

Interprétation des résultats

Les figures (III.22 III.23 III.24) représentent les caractéristiques d'un panneau photovoltaïque vis-à-vis des variations de température à un éclairement constant. On remarque que le courant ne varie que très peu en fonction de l'éclairement, contrairement à la tension et la puissance qui diminue fortement avec la température.

III.4) Comparaison entre les deux méthodes

D'après les résultats, nous voyons que les performances de la méthode du contrôleur à logique floue (FFL) sont meilleures que celles de la méthode d'interférence et d'observation. Utilisez le contrôleur à logique floue (CLF) pour représenter les caractéristiques des générateurs photovoltaïques P_{pv} (V_{pv}) et I_{pv} (V_{pv}), qui sont utilisés pour modifier le niveau de rayonnement ($T_c = 25^\circ$) et la température ($G = 1000W / m^2$).

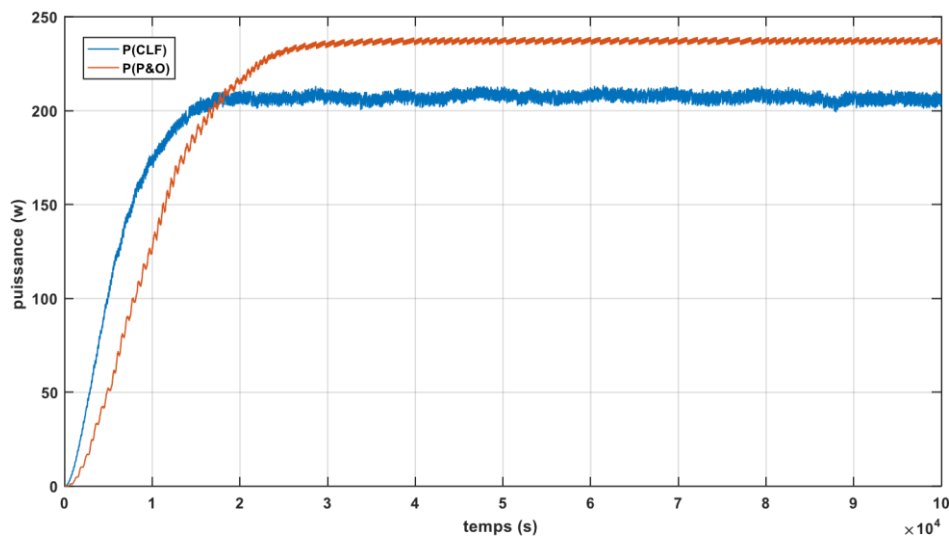


Figure III.25 : puissance de sortie convertisseur boost (PO et CLF)

III.5) Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté deux méthodes de la commande MPPT, an suite nous avons fait une étude comparative entre la Perturbation et observation et la méthode CLF (Contrôle fuzzy logique). D'après les constatations on obtenue des performances meilleurs que celle de la méthode P&O. pour cela on va choisi la méthode CLF pour faire l'étude sur le système global.

Chapitre IV

Simulation d'une commande non linéaire de système pompage photovoltaïque par « CLF »

IV.1) Introduction :

Pour la conception d'un système du pompage photovoltaïque une étude dimensionnelle est nécessaire ainsi l'application d'une commande pour le bon fonctionnement du système du pompage photovoltaïque. Dans notre étude, la pompe utilisée est du type centrifuge entraînée par un moteur asynchrone triphasé qui est alimenté par un onduleur triphasé. La chaîne de pompage photovoltaïque étudiée est composée d'un générateur photovoltaïque, d'un convertisseur DC-DC boost de sa commande MPPT, d'un onduleur et d'une pompe centrifuge entraînée par un moteur asynchrone triphasé comme l'indique la figure(VI.1).ainsi que le nombre de panneaux nécessaires connectés en série et en parallèle, pour satisfaire les besoins quotidiens en eau demandés.

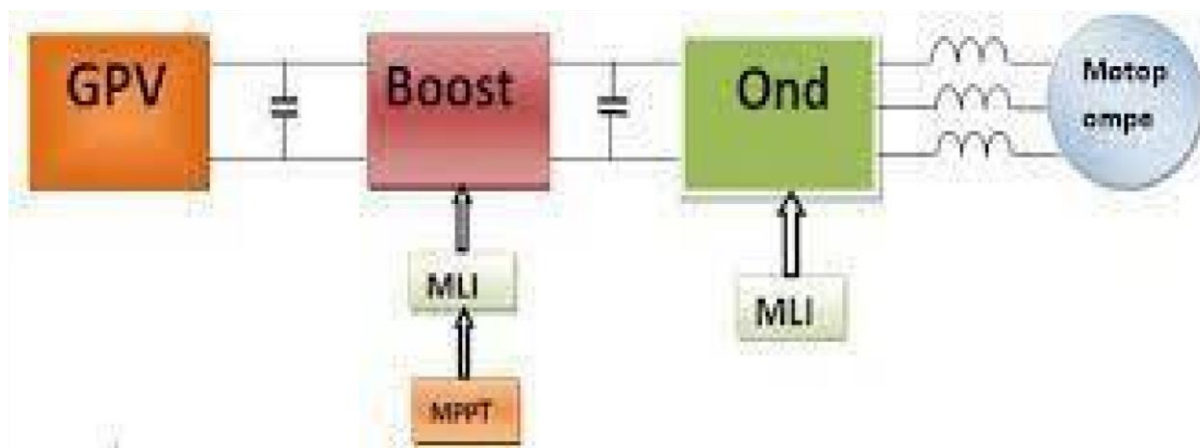


Figure VI.1 : Chaîne de pompage photovoltaïque

IV.2) Les étapes de dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque [64] □

Évaluer les besoins en eau.

- Calculus l'énergie hydraulique requise.
- Détermine l'énergie solaire disponible.
- Sélection des composants.

IV.2.1) Evaluation des besoins en eau [65]

La première étape à suivre lors d'un dimensionnement d'une installation du pompage Photovoltaïque est l'estimation des besoins en eau .Dans le cas de l'irrigation elle dépendant principalement de type de culture des facteurs météorologiques, la méthode d'irrigation et saison de l'année considérée pour cette application [60].

IV.2.2) Calcul de l'énergie quotidienne requise

L'énergie nécessaire pour élever une certaine quantité d'eau à une certaine hauteur calculez l'heure de la journée en fonction du débit requis et des données HMT exprimé en wattheures. Le calcul est fonction de la constante hydraulique (CH) et est Inversement proportionnel à l'efficacité du groupe motopompe utilisé[62].

Énergie requise pour la pompe :

$$E_{ele} = \frac{Ch \cdot Q \cdot HMT}{R_p}$$

Où

E_{ele} = Habituellement exprimé en kWh.

Q = Débit journalier (m³/jour).

HMT = Hauteur manométrique

R_p = En général le rendement des groupes motopompes est de 30% à 45%, selon le type de pompe et de moteur.

$$CH = \frac{g \cdot \varrho}{3600} = 2.725$$

g = Constante de la gravité (9,81 m/s²).

ϱ = La densité de l'eau (1000 kg/m³).

IV.2.3) Choix des composants de système

IV.2.3.1) Dimensionnement de la pompe centrifuge

Comme nous avons besoin d'une pompe submersible qui fournira 18 m³ /h à un réservoir d'eau avec TDH 60,5 m et 7,5 CV, la pompe Grundfos SP 17-8—12AB6908, qui utilise les courbes de performance de Grundfos (comme le montre la figure 2), a été choisie. Cette pompe de forage submersible convient au pompage d'eau propre et peut être installé verticalement ou horizontalement. Tous ses composants en acier sont en acier inoxydable, EN 1.4301 (AISI 304), qui garantit une haute résistance à la corrosion. La pompe aussi est homologuée pour l'eau potable et est équipé d'un moteur MS6000 de 5,5 kW avec pare-sable, joint d'arbre mécanique, paliers lisses lubrifiés à l'eau et diaphragme à compensation de volume. Le moteur est un moteur submersible de type canné qui offre une bonne stabilité mécanique et un rendement élevé, et convient aux températures jusqu'à 40°C [61].

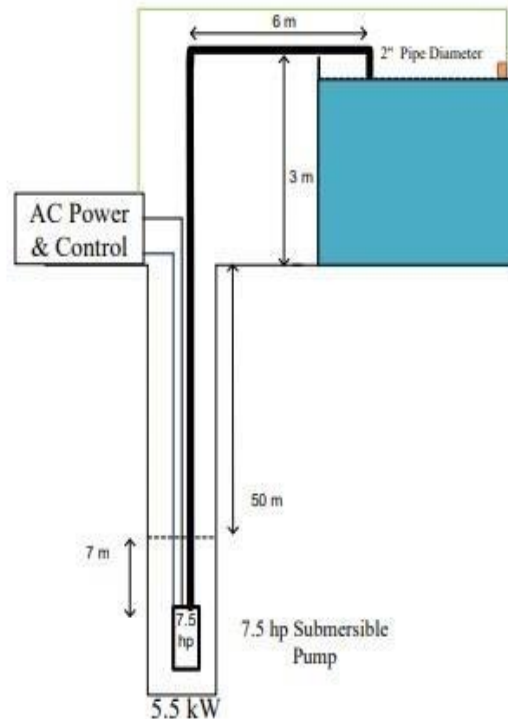


Figure VI.2 : Schéma de principe du système de pompage d'eau

$$E_{ele} = \frac{CH.Q.HMT}{\eta}$$

$$E_{ele} = 5500 \text{ (Wh / Jour)}.$$

IV.2.3.2) Dimensionnement du champ photovoltaïque

D'après les calculs nous avons choisi un système PV de 10KW.

Pour des panneaux de type « ET-P650250ww » $I_{opt}=8.8 \text{ A}$; $V_{opt}=37.44 \text{ V}$

Donc le nombre de panneaux utiliser égale 40 la puissance photovoltaïque totale sera égale :

$$P_{pv_{tot}} = 250 * 40 = 10000 \text{ W}.$$

Vue que les caractéristique du moteur asynchrone utiliser les Panneaux doivent être branchés mixte (10 en séries et 4 en paires).

La tension à la sortie de générateur photovoltaïque totale sera :

$$P_{pv_{tot}} = N_{pv} * V_{opt}$$

$$P_{pv_{tot}} = 10 * 37.44$$

$$\text{Pour à la sortie de générateur photovoltaïque totale sera : } I_{pv_{tot}} = \frac{P_c}{V_{max}} = \frac{10000}{374.4} = 32.7 \text{ A}$$

La figure (VI.3) suivent représenté les caractéristiques I-V et P-V de système PV

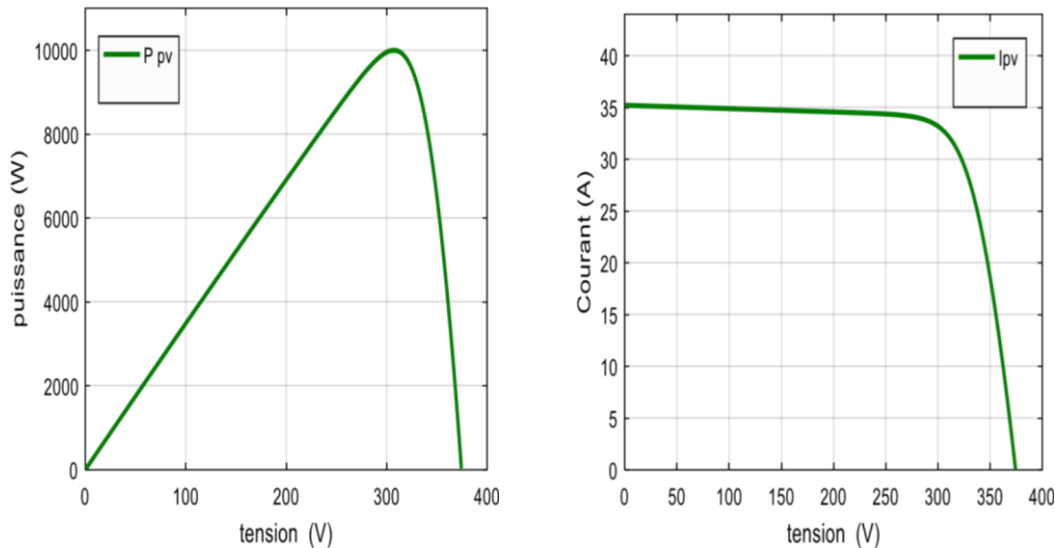


Figure VI.3 : les caractéristique I-V et P-V de système

IV.3) Convertisseur statique l'onduleur (DC/AC)

Le but de l'onduleur est de produire une sortie CA (tension, courant) D'une source à sens unique. En inversant périodiquement la connexion Source de charge. Ces fonctions ne peuvent être exécutées qu'à des fréquences élevées Interrupteur statique c'est-à-dire Un appareil électronique qui peut être allumé et éteint selon les commandes.

IV.3.1) schéma block d'un onduleur triphasé simple commandé par MLI

La figure (IV.3) ci-dessous présente un onduleur triphasé a commandé par la commande MLI figure (IV.4)

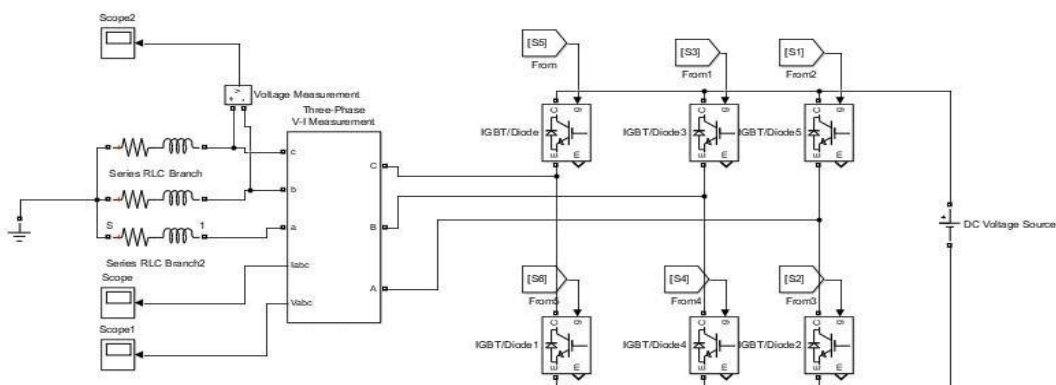


Figure IV.4 : schéma block d'onduleur triphasé

□ La commande MLI

L'objectif de la commande est de générer les ordres d'ouverture et de fermeture des interrupteurs de sorte que la tension créée par l'onduleur soit la plus proche de la tension de référence. Pour cela on utilise la commande MLI Figure (IV.5).

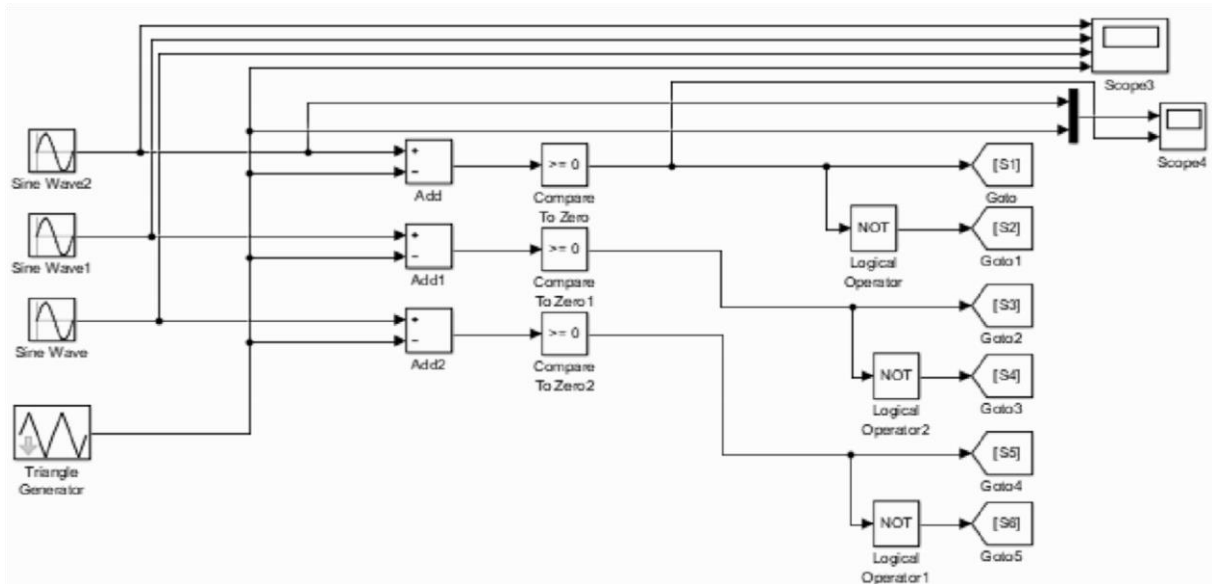


figure IV.5 : schéma block de la commande MLI

En considérant le système de tension triphasé équilibré et sinusoïdal (figure II - 6) :

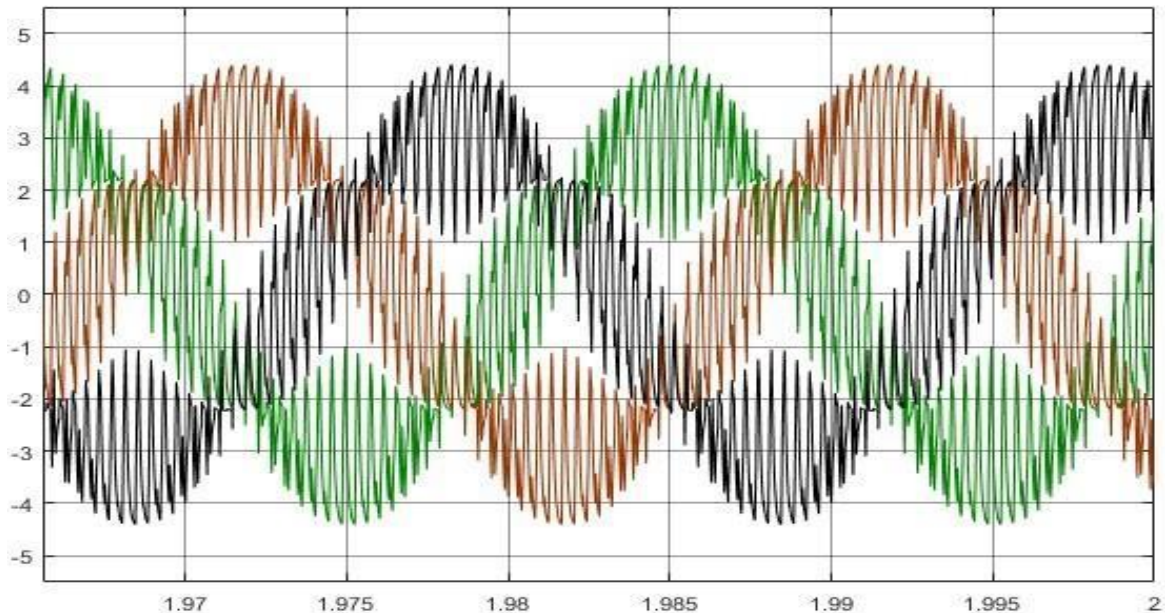


Figure IV.6 : tension triphasé l'entrée onduleur MLI

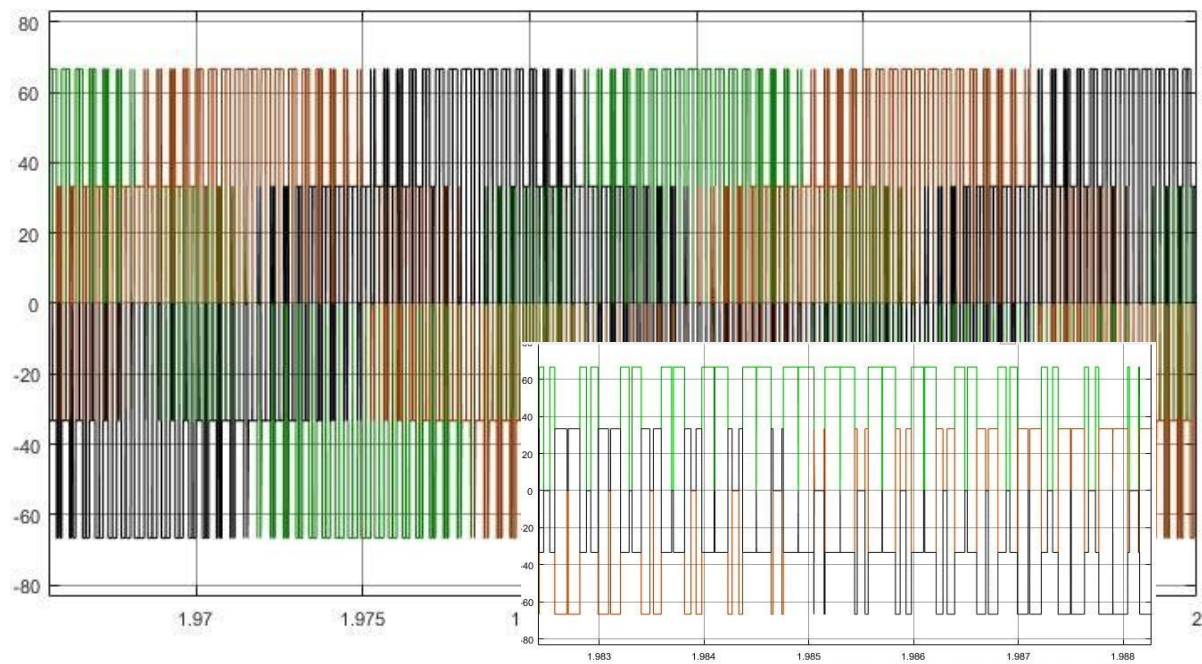


Figure IV.7 : tension de sortie d'onduleur

On utilise un filtre pour obtenir signal sinusoïdale la figure (IV.8)

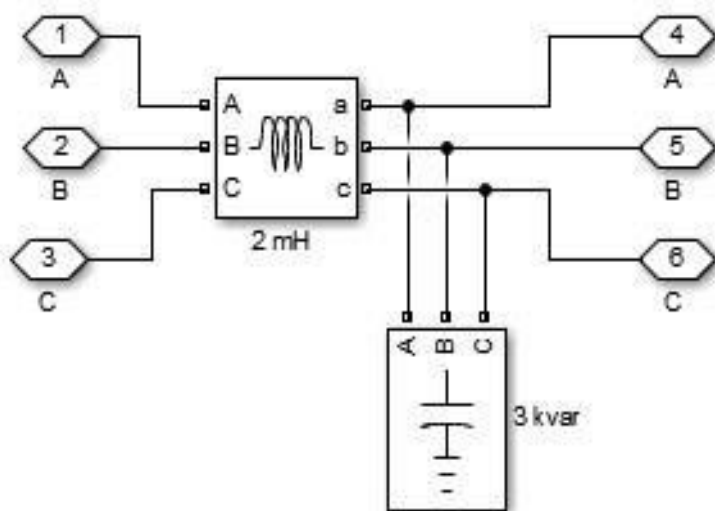


Figure IV.8 : schéma block de filtre

Après l'utilisation de filtre le signal de sortie est exposé dans la figure (IV.9)

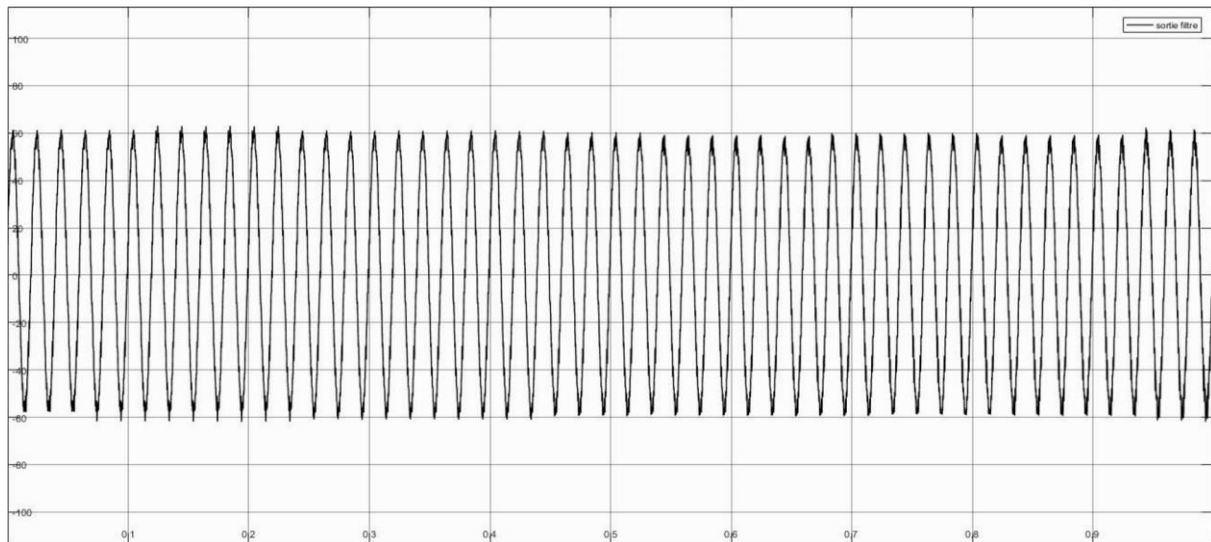


Figure IV.9 : sortie de filtre

IV .4) résultat de simulation de système PV avec la pompe

La figure (IV.10) actualité un générateur PV en même temps que un convertisseur ordonné par la commande non linéaire « MPPT » et un onduleur MLI qu'est raccordé par une charge (pompe)

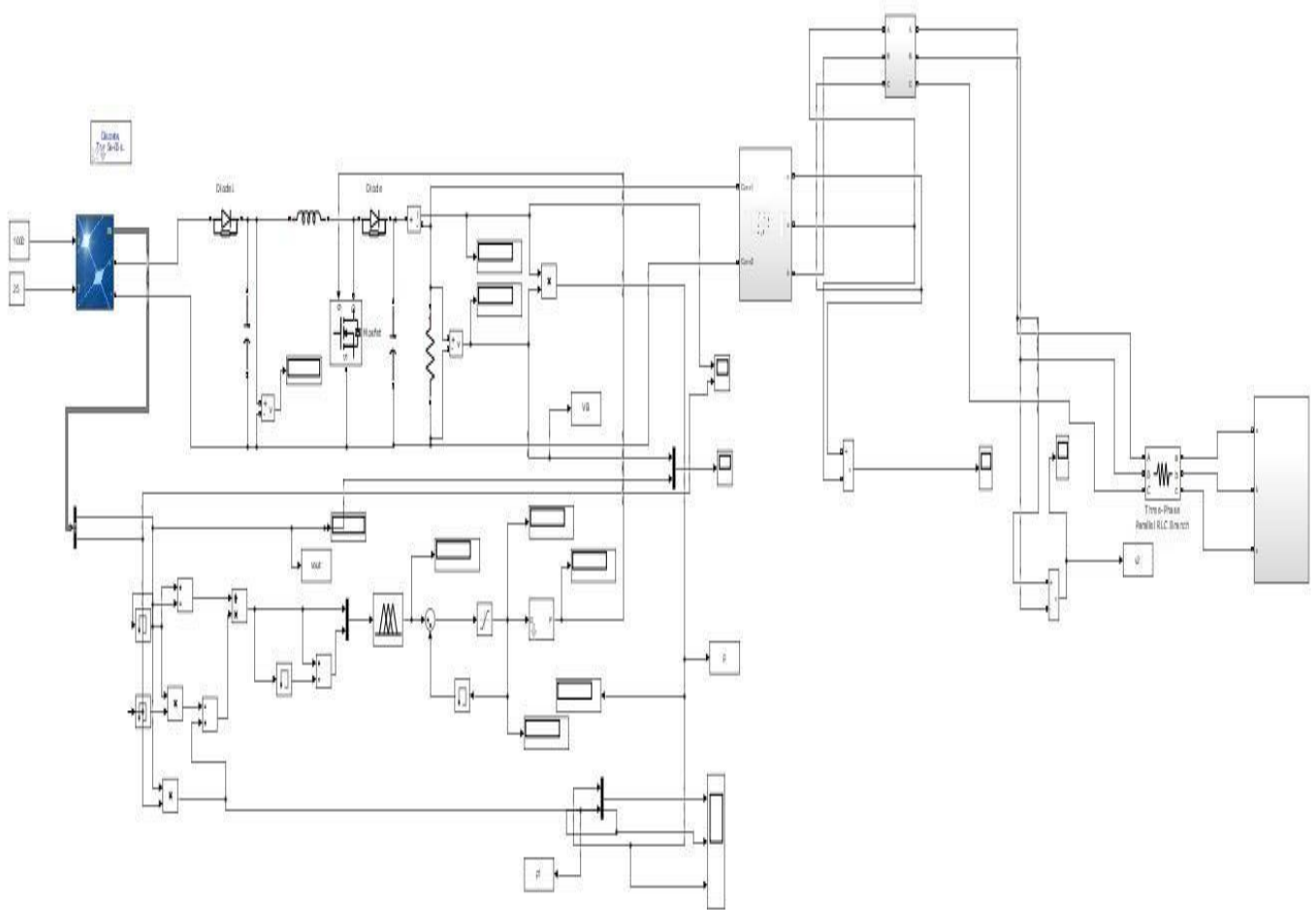
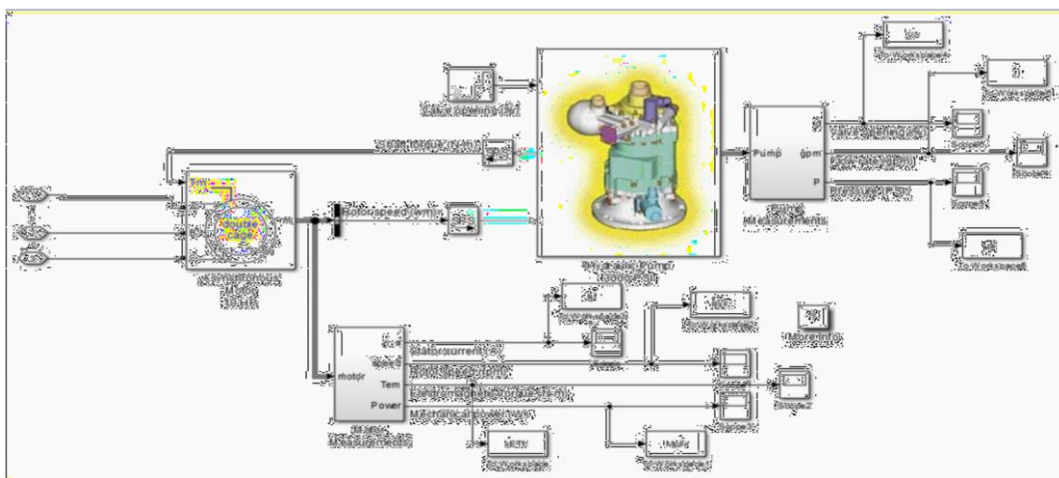


Figure IV.10 : schéma global de chien pompage photovoltaïque à commande non linéaire

1-Les schémas block de groupe motopompe on va utiliser le groupe motopompe qu'sont disponible dans le navigateur de bibliothèque MATLAB la figure (IV.11)



FigureIV.11 : schéma block de groupe motopompe

2- schéma block de pompe la figure(IV.12) découvre le block Simulink de pompe et son paramètre

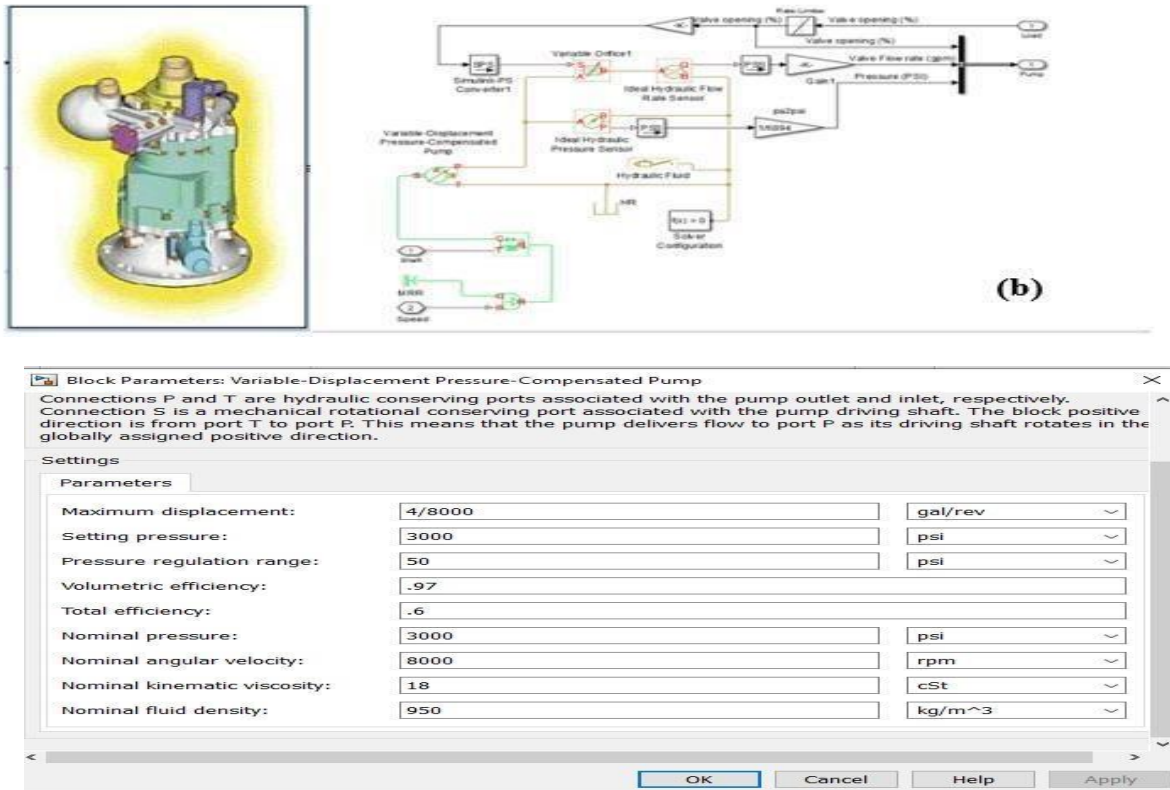


Figure IV.12 : schéma de pompe Hydraulique Pompe 3000 PSI et sa paramètre

2- schéma de moteur la figure IV.13 réalité un machine asynchrone (moteur 10HP) et les paramètres nécessaires

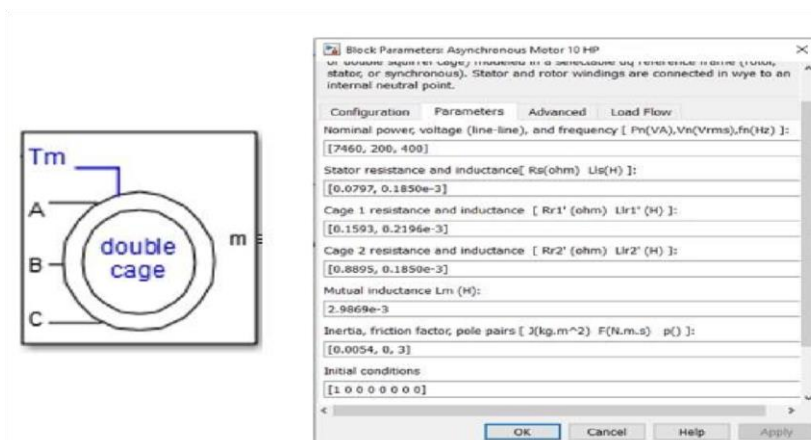


Figure IV.13 : représenté le moteur et se paramètre

a) Résultats de simulation

1. Les courbes de moteur Le courant statorique : la figure(IV.14) montre un courant de charge triphasé stabilisé à environ 23 A.

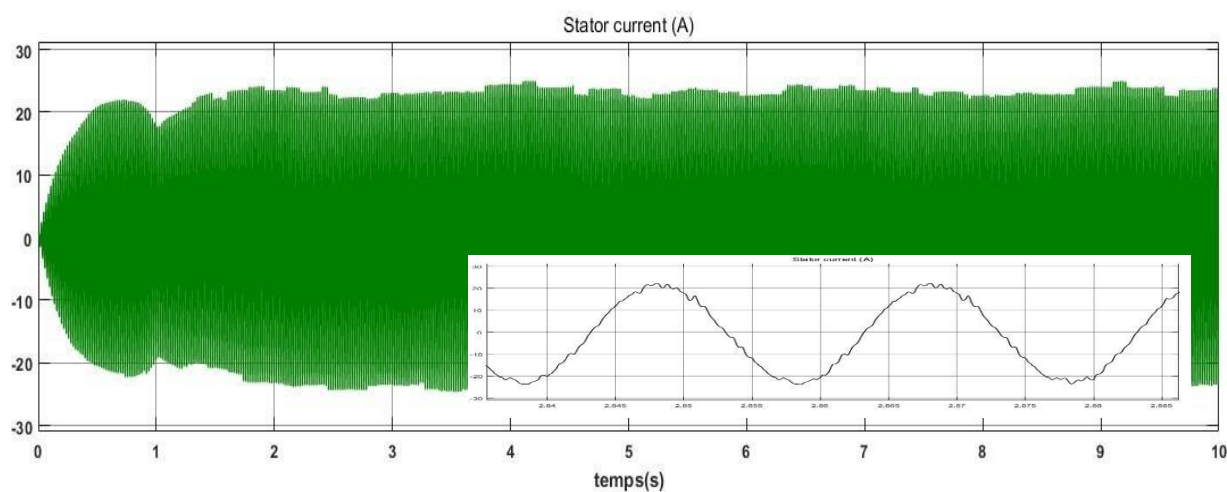


Figure IV.14 : Le courant statorique

2- La vitesse rotor

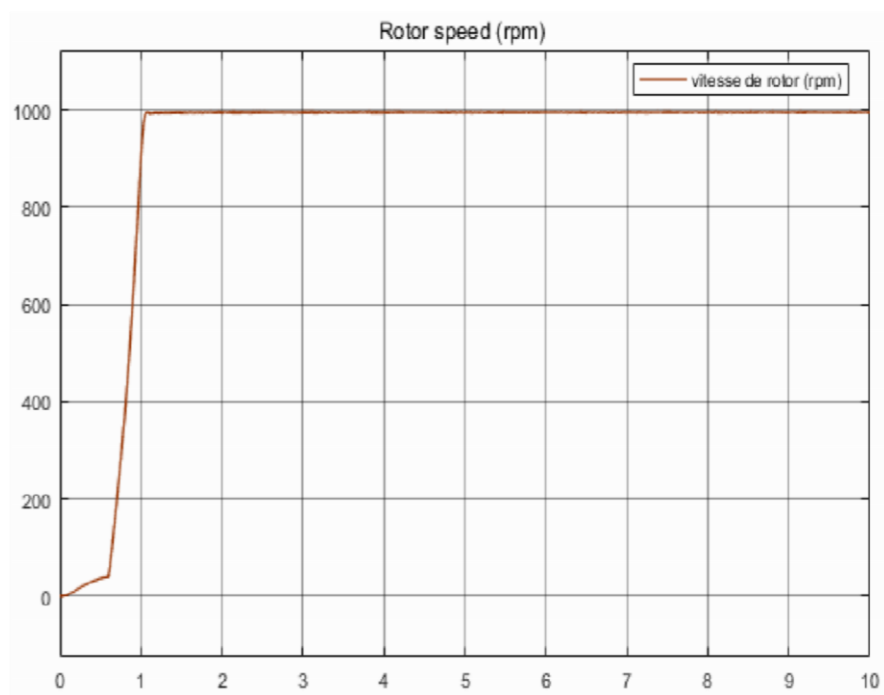


Figure IV.15 : vitesse de rotor

3. Le Couple Électromagnétique

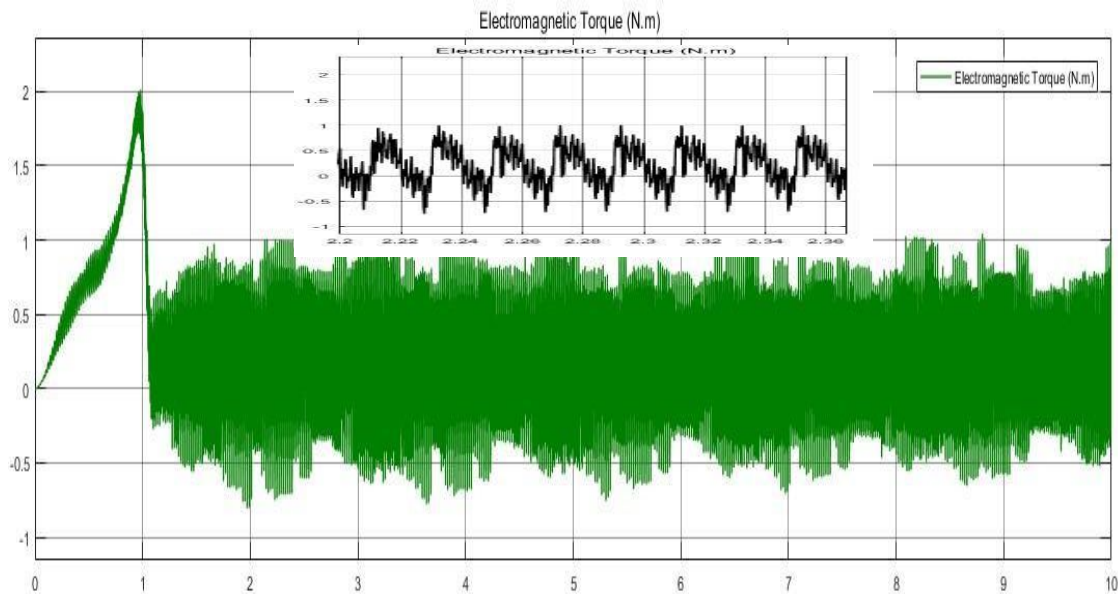


Figure IV.16 : Couple électromagnétique

4. Puissance mécanique

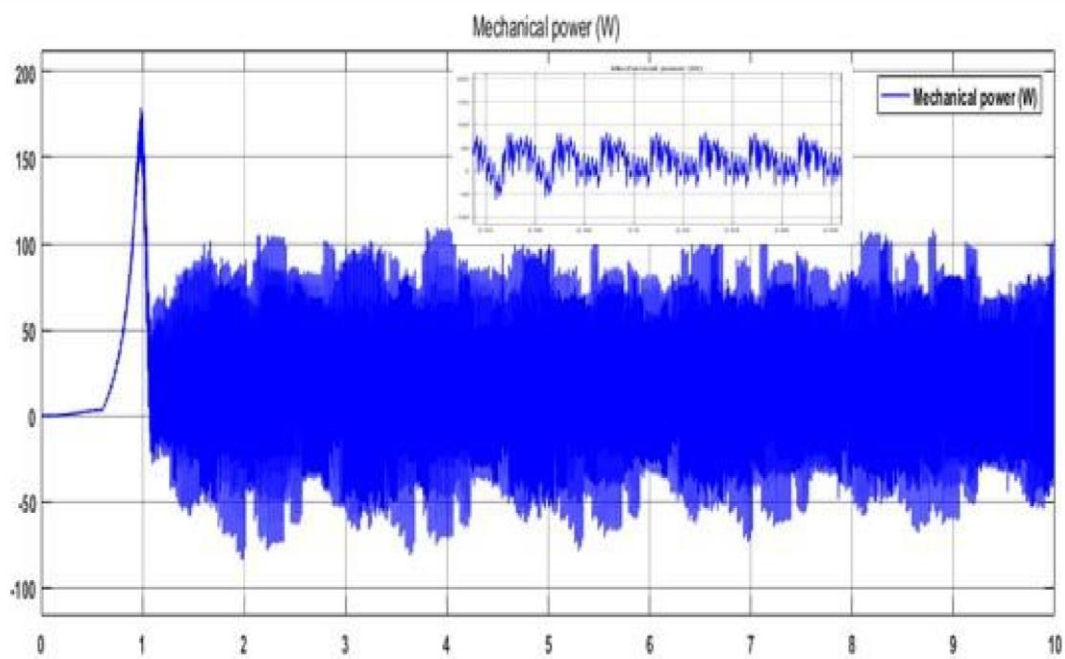


Figure IV.17 : puissance mécanique

b) Les courbes de pompe :

1. Ouverture de soupape

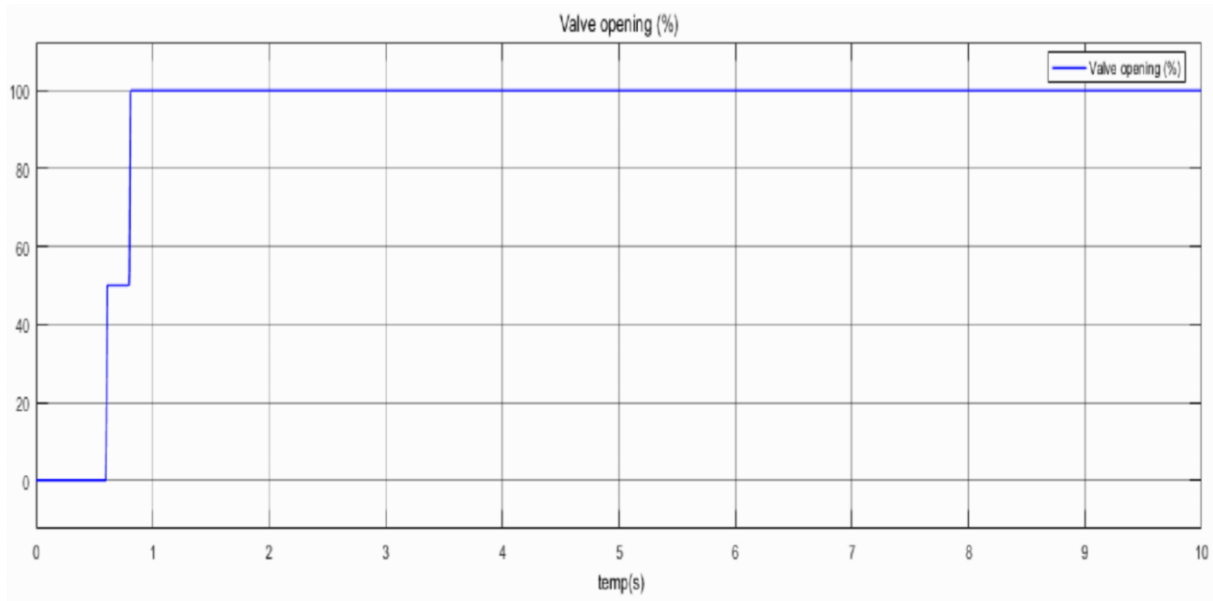


Figure IV.18 : ouverture de soupape (valve opening)

2. Le débit

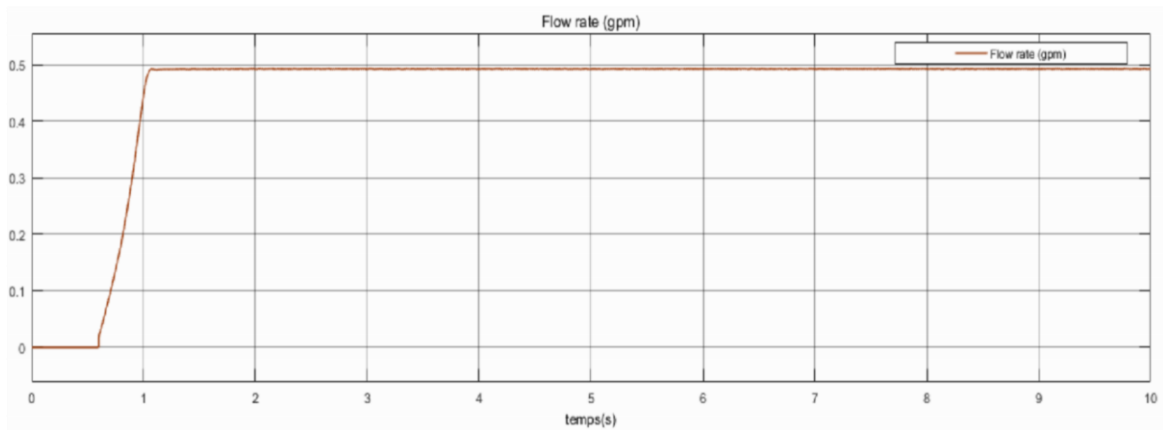


Figure IV.19 : le débit (flow rate)

La figure IV.15 montre le débit de la pompe dans les différentes unités de [gpm] en fonction du temps. Les deux courbes montrent que la pompe commence à refouler l'eau après presque

1,35 s. Le débit de la pompe est de $5,4 \times 10^{-3}$ [m³/sec] et 325 [lpm]

3- La Pression

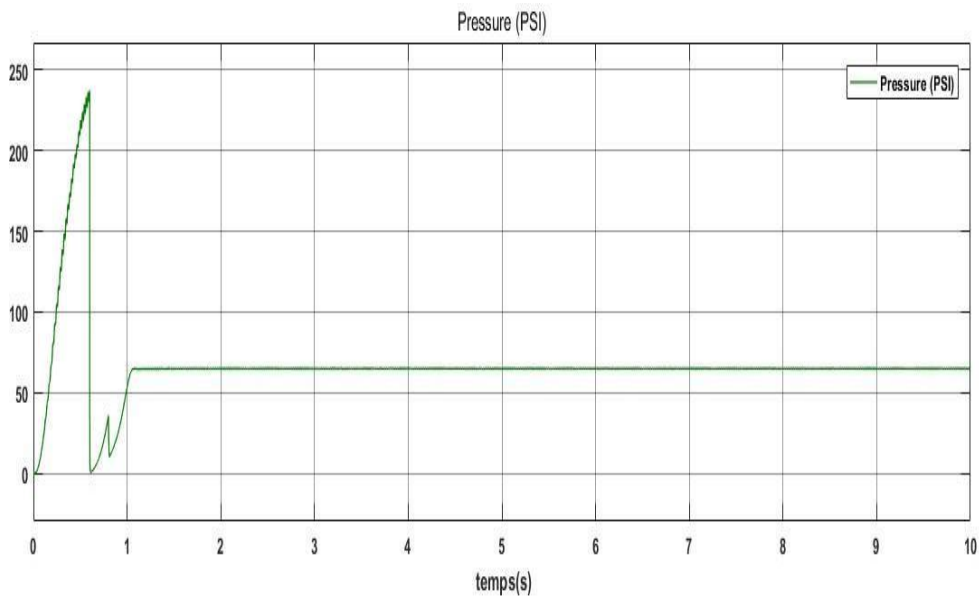


Figure IV.20 : la pression (pression)

IV.5) Conclusion :

Après le choix du contrôleur flou pour l'optimisation de l'énergie photovoltaïque appliqué au système de pompage dans le chapitre précédent. Nous avons présenté dans ce chapitre un dimensionnement du système de pompage, ensuite nous avons appliqué la commande non linéaire MPPT. Après avoir testé plusieurs régulateurs, nous avons opté pour un régulateur PID flou car il présente les meilleures performances. Les performances du système de pompage photovoltaïque ont été testées et représentées pour différent profil d'ensoleillement et de températures.

Conclusion générale

Conclusion générale

A l'ère du développement durable, la technologie photovoltaïque a montré son grand potentiel en tant que source d'énergie renouvelable. L'objectif de cet article est d'améliorer les performances et l'efficacité des systèmes photovoltaïques. L'objectif principal est de mener une étude comparative entre plusieurs méthodes MPPT et de trouver la méthode la plus efficace pour extraire le maximum de puissance disponible du générateur photovoltaïque.

Pour atteindre cet objectif, Dans un premier temps, nous avons présenté le rayonnement solaire et la conversion du rayonnement solaire par effet PV, ainsi le générateur PV et sa modélisation. Cette modélisation a été ensuite appuyée par simulation du modèle d'un panneau photovoltaïque de type **ET-P650250ww** qui fournit une puissance maximale de **250 W** sous des conditions atmosphériques standards. Cette simulation nous a permis d'une part de valider le modèle du panneau **ET-P650250ww** et d'autre part d'étudier l'effet du changement des conditions climatiques (ensoleillement et température) sur les caractéristiques électriques (I-V et P-V) du panneau .

Puis nous avons étudié un seul type de convertisseur (boost) pour faire ce travail. Après avoir abordé le problème de poursuite du point de puissance maximale dans les systèmes de conversion photovoltaïques alors, nous avons présenté la commande MPPT et ces quelque défèrent méthodes qui ont été proposées. Dans un deuxième temps, nous présentons l'étude et la simulation des différents composants du système PV : le GPV, les convertisseurs, la charge.

Cependant on a montré, par simulation, que l'algorithme CFL donne des résultats meilleurs que le P&O. On a montré aussi que l'algorithme CFL qui est basé sur la relation entre la charge, la tension, et la puissance du GPV donne une bonne performance en termes de rapidité de convergence et stabilité autour du MPP avec les deux types de convertisseurs.

Comme perspective nous sommes intéressés par les points suivants :

- L'énergie photovoltaïque est une excellente source d'énergie alternative, car il n'y a pas de pollution générée pendant qu'elle est utilisée.
- Les installations photovoltaïques sont facilement modulables. Il est assez facile d'augmenter ou de diminuer la taille de l'installation
- L'énergie photovoltaïque est silencieuse. Pas de nuisance sonore
- Une installation photovoltaïque peut s'implanter n'importe où dès qu'il y a un ensoleillement suffisant. C'est donc un réel avantage pour les endroits très isolés qui ont ainsi accès à l'électricité.
- il serait intéressant de faire l'optimisation de l'énergie photovoltaïque en utilisant d'autres techniques, comme les réseaux de neurones,...etc.

Une validation par moyens expérimentaux du système de pompage photovoltaïque étudié est souhaitable.

Référence bibliographies

Référence bibliographique

- [1]:L.Boudrahem , L. Djouadi " Commande non linéaire d'un système de pompage photovoltaïque" ,mémoire de mastère, Université Abderrahmane Mira de Bejaia ,2012.
- [2]:B. Mhenna ,G. Ferhat «Alimentation d'un moteur à courant continu par une source photovoltaïque », Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou 2018.
- [3]: P. Bessemoulin, J. Olivieri « Rayonnement solaire et sa composante ultraviolette » la Météorologie série 8 - N° 31, page 42-59 , septembre 2000.
- [5]: L.BOUDRAHEM , L. DJOUADI " Commande non linéaire d'un système de pompage photovoltaïque" ,mémoire de mastère, Université Abderrahmane Mira de Bejaia ,2012.
- [6]: P. Bessemoulin, J. Olivieri « Rayonnement solaire et sa composante ultraviolette »la Météorologie série 8 - N° 31, page 42-59, septembre 2000
- [7]: La, Merad. L. Merad. T, Boussoukaia. B, Bouyoucefa « Automatisation d'une installation solaire à base d'un microprocesseur » Article, laboratoire de matériaux et des énergies renouvelables, Université Abou Baker Belkaid Tlemcen, 2010
- [8]: La, Merad. L. Merad. T, Boussoukaia. B, Bouyoucefa « Automatisation d'une installation solaire à base d'un microprocesseur » Article, laboratoire de matériaux et des énergies renouvelables, Université Abou Baker Belkaid Tlemcen, 2010.
- [9]: La, Merad. L. Merad. T, Boussoukaia. B, Bouyoucefa « Automatisation d'une installation solaire à base d'un microprocesseur » Article, laboratoire de matériaux et des énergies renouvelables, Université Abou Baker Belkaid Tlemcen, 2010.
- [10]: <https://www.ssf-asso.org/> , le système de pompage photovoltaïque ,consulté en 2019..
- [11]: Y. Pankow, « Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension. Application au générateur photovoltaïque », Thèse de Doctorat de L'Ecole Doctorale de L'ENSAM ED432, 2004.
- [12): A. C. Pastor,«Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques », Institut National de Science Appliquée de Toulouse Thèse de doctorat.
- [13]: A. RICAUD. Photopiles solaires - de la physique de la conversion photovoltaïque aux filières, matériaux et procédés. Edition ISBN, 1997.
- [14]: J .Royer, T. Djiako, E. Schiler et B. Sadasy, «*Le pompage photovoltaïque*» université d'ottawa ,1998.
- [15]: L. Debou, D. Maghribi « Commande d'un système hybride (photovoltaïqueéolienne) de production d'énergie », Mémoire de Master, Université de Bejaïa 2009.

- [16]: Site : <http://www.economiedenergie.fr/Schema-d-un-module-photovoltaïque-popup-htm> , consulté en 2012.
- [17]: N. AIT KHELIFA « Modélisation d'un système de pompage photovoltaïque utilisant un moteur synchrone à commutation naturelle », Mémoire de Maste2, Université de Bejaïa, 2011.
- [18]: <https://www.researchgate.net/> , Caractéristique résultante d'un groupement en série de ns cellules identiques .
- [19]: A. Hadj Arab, M. Benghanem et A. Gharbi, « Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque », Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19 – 26.
- [20]:[https://www.researchgate.net/51Caractéristique résultante d'un groupement constitué de Np cellules identiques en parallèle.consult2](https://www.researchgate.net/51Caractéristique_résultante_d’un_groupement_constitué_de_Np_cellules_identiques_en_parallèle.consult2) en 2015.
- [21]:S.ABOUDA. «*Contribution à la commande des systèmes Photovoltaïque* » Thèse. Université de Reims Champagne-ardenne.2015
- [22]: J. Royer, J. Djiako, E. Schiller Et B. Sada « Le Pompage Photovoltaïque » Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens IEPF/Université d'Ottawa/ EIER/ CREPA, 1998.
- [23]: J. Royer, J. Djiako, E. Schiller Et B. Sada « Le Pompage Photovoltaïque » Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens IEPF/Université d'Ottawa/ EIER/ CREPA, 1998.
- [24]: A. Boussekine, N. Guermouche « Contribution à l'étude des systèmes de pompage photovoltaïque », Mémoire de Master, Université de Bejaïa 2010.
- [25]: B. Mehimmedetsi « l'application du formalisme Bond Graph à une chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque », Mémoire de Magister, Université de Mentourie de Constantine 2007.
- [26]:https://www.researchgate.net/publication/37410194_Thermique_du_Batiment_-_Tout_le_confort_avec_peu_d'energie_Polycopie_Section_Genie_Civil_4eme_annee ,le spectre de rayonnement solaire, consulté en 2016.
- [27]: <https://www.edfenr.com> , le rayonnement direct ,consulté en 2018.
- [28]:<https://www.edfenr.com>,le rayonnement diffus .consulté en 2018.
- [29]:<https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/climatologie-albedo-1023> ,albedo,consulté en 2018.
- [30]:<https://perso.uclouvain.be/> ,le Énergie solaire photovoltaïque ,consulté en 2011.
- [31] : <http://www.abcclim.net/moteur-asynchrone-triphas.html>

- [32]: Antonio Luque and Steven «Hegedus, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering», John Wiley & Sons Ltd, 2003
- [33]: N. Abouchabana, « Etude d'une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT », Mémoire de Magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2009.
- [34] Site : beams.ulb.ac.be/beams/teaching/elec-h.../CHAP2-ELEC-H-300.pdf, «Chap. 2 : Les Machines électriques – Généralités », Consulté en 2012.
- [35] : B. Mehimmedetsi «l'application du formalisme Bond Graph à une chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque », Mémoire de Magister, Université de Mentourie de Constantine 2007.
- [36] B. Multon, H. Ben Ahmed, N. Bernard, P. Cavarec « Les moteurs électriques pour applications de grande série », Revue 3EI page1-10, École Normale Supérieure de Cachan, France, 2000.
- [37] Site : www.wontu.fr/COURS/CHAP-5_POMPES.pdf, «MECA-FLU V : LES POMPES cours CIRA 1ère année », Consulté en 2012.
- [38] J. Royer, J. Djiako, E. Schiller Et B. Sada « Le Pompage Photovoltaïque » Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens IEPF/Université d'Ottawa/ EIER/ CREPA, 1998.
- [39] Site : [www.watersanitationhygiene.org/.../EH.../Pumps%20\(ACF\)](http://www.watersanitationhygiene.org/.../EH.../Pumps%20(ACF)), « Le pompage »Consulté en 2012.
- [40] N. Ait Khelifa « Modélisation d'un système de pompage photovoltaïque utilisant un moteur synchrone à commutation naturelle », Mémoire de Master, Université de Bejaia 2011.
- [41] Site : webmaster@memoireonline.com « La pompe solaire : Dimensionnement d'une station de pompage en zone maraîcher », Consulté en 2012.
- [42] R. Mokni, N. Amaimia «FNEBTP / CSNER installation et maintenance des Systèmes de Pompage Photovoltaïques », Formation sur les systèmes de pompage photovoltaïques, 2011.
- [43] Site : www.wontu.fr/COURS/CHAP-5_POMPES.pdf, «MECA-FLU V : LES POMPES cours CIRA 1ère année », Consulté en 2012.
- [44] Site : www.mecaniqueindustrielle.com/html/body_volumetrique.html, « pompe volumétrique », Consulté en 2012.
- [45] : A. Kanta « Développement d'un système expert basé sur l'intelligence artificielle de pour la prédiction et le contrôle du procédé de rojection plasma », Thèse de Doctorat, Université de Franche –Comté et, Université de technologie de Belfort-Montbiard, 2007.

- [46] : H. Arab, M. Benghanem Et A. Gharbi « Dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque », Revue des énergies renouvelables. Vol. 8, pages 19 – 26, 2005.
- [47] R. Chenni, L. Zarour, E. Matagne et T. Kerbache « Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque », Sciences et Technologie, Vol. N°26, page 49-54, décembre 2007.
- [48] R. Chenni «Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque dans un village solaire », Thèse de Doctorat, Université Mentouri de Constantine, 2007.
- [49] K. Djermouni « Etude d'algorithmes MPPT appliqués aux systèmes de pompage photovoltaïque », Mémoire de Master, Université de Bejaïa 2009.
- [50] M.N. Mansouri, N. Ghanmi et M.F. Mimouni «Commande et analyse des performances d'une station de pompage photovoltaïque fonctionnant en régime optimal » Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°1 page 1-17, 2008.
- [51] A. Boussekine, N. Guermouche « Contribution à l'étude des systèmes de pompage photovoltaïque », Mémoire de Master, Université de Bejaïa 2010.
- [52] S. Ould-Amrouche, D. Rekioua, A. Hamidat «Modelling photovoltaic water pumping systems and evaluation of their CO2 emissions mitigation potential» Applied Energy Elsevier Science, Vol 87, pp. 3451–3459, Elsevier Science2010.
- [53]: F. Gacem, « Simulation des systèmes de pompage photovoltaïque destinés pour l'alimentation en eau potable ». Mémoire de magister, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Saad Dahleb de Blida, 2008.
- [54]: I. Hadj Mohammed, « Modélisation du générateur photovoltaïque ». Mémoire demagister, Département d'électronique. Ecole Nationale Polytechnique, 2003.
- [55] : C. Serir, « Optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque ». Mémoire deMagister, Université de Bejaia, 2012.
- [56]: A.Zerga «Optimisation du rendement d'une cellule solaire à base de silicium monocristallin de type n-p» Mémoire de Magister, Tlemcen-1998.
- [57] : A. Labouret, M. Villoz, «Energie solaire photovoltaïque (Le manuel du professionnel)», édition DUNOD, Paris (France), août 2003.
- [58]: Z. Bendjellouli « Contribution à la modélisation d'une cellule solaire»mémoire de magister universite de Bechar, 2009.
- [59]: M. El Ouariachi, T. Mrabti, M.F. Yaden, and K. Kassmi, « Analysis, Optimization and Modelling of Electrical Energies Produced by the Photovoltaic Panels and Systems », 18th Mediterranean Conference On Control and Automation (MED), IEEE, 23-25 June, 2010, pp.1614 – 1619, Marrakech, Morocco, 2010.

- [60]:M.F. Shraif, « Optimisation et Mesure de Chaîne de Conversion d'Énergie Photovoltaïque en Énergie Électrique », Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 2002.
- [61]: A.B.G. Bahgat, N.H. Helwa, G.E. Ahmad and E.T. El Shenawy, « Maximum Power Point Tracking Controller for PV Systems Using Neural Networks », *Renewable Energy*, Vol.30,N°8, pp. 1257 – 1268, 2005.
- [62]: V. Salas, E.Ol'as, A. Barrado, A. La' zaro « Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic system », *Solar Energy Materials & Solar Cells* n°90 (2006), pp. 1555–1578.
- [63] : M.A.S. Masoum, et al. «Optimal power point tracking of photovoltaic system under all operating conditions », 17th Congress of the World Energy Council, Houston, TX, 1998.
- [64]: J.J. Schoeman, J.D. van Wyk «A simplified maximal power controller for terrestrial photovoltaic panel arrays », *IEEE Power Electronics Specialists Conference. PESC '82 Record*. New York, NY, 1982, pp. 361–367.