

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Présenté par :

BENKHETTOU djemaa

KADIRE aziza

Thème:

**Amélioration Energétique d'un système de
pompage photovoltaïque**

Soutenu publiquement

Le : 26/06/2018

Devant le jury :

Enseignante : Belkebir Amel

MAA

Président

UKM Ouargla

Enseignant : Dja four Ahmed

MCA

Encadreur/rapporteur

UKM Ouargla

Enseignante :bouteille Halima

Doctorant

Co-encadreur

UKM Ouargla

Enseignant : Taibi Djamel

MAA

Examineur

UKM Ouargla

Année universitaire 2017/2018

Dédicace

A Ma mère, symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Et en souvenir de mon père, avec amour et gratitude.

A tous mes frères et Mes chères Sœurs amine ,ibtissam.

A tous ma famille : en particulier, mon grand père, ma tante khadíja.

A tous mes amies : rania , fedwa , mohammed, zohir.

A tous les personnes de promotion Master ESC qui me donnent le courage.

Sans oublier Et mon binôme « KH .aziza »

A tous ceux et celles qui m'ont aidé de loin de près, Je dédie modeste travail

« B .Djemâa »



Dédicaces

*Surtout, je remercie Dieu pour
Donne-moi du courage et de la patience pour y arriver
Ce travail malgré toutes les difficultés que j'ai rencontrées.*

Je dédie cet humble travail:

*À mon cher père, Dieu les sauve
Protège de leur soutien moral et financier
Encouragement et sacrifices.*

*À mes frères Bashir Mohammed Khaled
Mes soeurs Ibtisam Fayrouz est salima chère*

Pour toutes les familles Khadir

Pour mes chers amis

Pour tout ce que j'aime et qui m'aime

À tous mes camarades de classe surtout mes collègues en génie électrique.

« K .AZIZA »

Remerciements

Avant tout nous tenons nos remerciements à notre dieu après nous avons donné la force et le courage. En conséquence, nous aimerions remercier Dr. Djafour Ahmed et Boutelli halima notre promoteur qui a fourni D'énormes efforts, à travers ses conseils et ses conseils Encouragez-le. Nous voudrions également remercier les messieurs Les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont donné Accepter de siéger à notre défense. Nos chaleureux remerciements à M. D. TABI, Professeur adjoints à l'Université de Ouargla Accepter d'être évaluateurs pour ce travail. Et tous les professeurs du Département de génie Électricien Pour tous ceux qui étaient à la fois ou pour tous Une partie de ce travail. Nos chaleureux remerciements à tous De près et de loin contribué à Atteindre cette mémoire.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
<u>CHAPITRE I : Systèmes de Pompage Photovoltaïque</u>	
I.1. Introduction.....	3
I.2 Energie solaire photovoltaïque.....	3
I.2.1 Définition.....	3
I. 3 le principe de conversion photovoltaïque	4
I.4 Cellule photovoltaïque	4
I.5 .Rendement d'une cellule solaire	4
I .6 Module photovoltaïque	5
I.7 Champ photovoltaïque	5
I.8 Système photovoltaïque	6
I.9 Applications des systèmes photovoltaïques.....	7
I.9.1 Systèmes autonomes	7
I.9.2 Systèmes hybrides	7
I.9.3 : Systèmes couplés au réseau	8
I.9.4 Systèmes fonctionnant au fil du soleil (Pompage photovoltaïque)	8
I.9.4.1 : Configuration typique d'un système de pompage photovoltaïque	9
I.9.4.1.1 : Systèmes de petite puissance (50-400W).....	9
I.9.4.1.2 : Les systèmes de moyenne puissance (400-1500 W)	10
I.9.4.2 Technologie des moteurs	11
I.9.4.2.1 Moteur à courant continu	11
I.9.4.2.3 Moteur a courant alternatif	12
I.10 : Constitution d'un système de pompage photovoltaïque	13
I.10.1.Générateur photovoltaïque.....	13
I.10.2.Moteur d'entraînement.....	14
I.10.3. Pompe de refoulement.....	14

I.10.4Circuit hydraulique.....	14
I.11.CONCLUSION.....	15

Chapitre II : Modélisation et simulation du système de pompage photovoltaïque

II. 1 Introduction	16
II.2 Modélisation du système de pompage photovoltaïque	16
II.2.1 Modèle électrique d'un générateur photovoltaïque	17
II.2.2 Résultats de simulation	21
II.2.2.1 Caractéristiques des panneaux.....	21
II.2.2.2 Influence de l'éclairement.....	22
II.2.2. 2.1. Influence de la température T_c	22
II.2.2.2.2 Influence de l'irradiation	22
II.2.3 Rendement.....	23
II.2.4 Facteur de forme	23
II.3 Modélisation et commande du Moteur à courant continu	24
II.3.1 Moteur à courant continu	24
II.3. 2Définition	24
II.3.3 Principe de fonctionnement de Moteurs.....	24
II.3.4. Les différents types de moteurs à courant continu.....	25
II.3.5 .1 Modèle mathématique du MCC	25
II 3.5.2 La Force Électromotrice.....	26
II. 3.5.3 L'Équation Mécanique du Mouvement	26
II.3.5.3.1 Couple Électromagnétique.....	26
II.4 la pompe centrifuge	26
II .5 Modélisation de la pompe centrifuge.....	28
II.5.1Pertes de charges linéaires	28
II.5.2Pertes de charges singulières (locales).....	28
II.5.3 Variation des caractéristiques.	30
II.5.4 Calcul de puissance.....	30
II .6 Principe	30
II.6.1 Principe de l'étude.....	31

Sommaire

II .6.2 Résolution de l'équation caractéristique I(V)	32
II.7 Conclusion	32

Chapitre III: Adaptation le système pompage photovoltaïque

III.1.Introduction	33
III .2. Dimensionnement du système pompage photovoltaïque.....	33
III.2.1.Dimensionnement du générateur photovoltaïque	33
III.3.Couplage direct	34
III.3.1. Simulation de couplage direct	35
III.3.1.1.Résultats de simulation	38
III. 3.1.2. Caractéristique de couplage direct entre, motopompe et générateur PV	38
III.3.1.3. la puissance absorbée de groupe motopompe	39
III .3.1.4. le débit de la pompe en fonction de l'éclairement	40
III.3.1.5. rendement de générateur et de motopompe en fonction de l'éclairement	41
III.3.1.6. Le rendement d'adaptation en fonction de l'éclairement	41
III. 3.2 Exemple d'application à Ouargla	41
III. 3.3. Résultats de simulation.....	42
1. Caractéristiques tension courant de couplage direct	43
2. La puissance absorbée par la motopompe.....	44
3. Le débit pompé.....	44
4. Rendement de générateur.....	45
5. Rendement d'adaptation.....	45
6. Volume d'eau pompé.....	46
III. 4 : Conclusion	46
Conclusion générale.....	47

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1: Description d'une photopile ou cellule photovoltaïque.....	4
Figure I.2 : : cellules photovoltaïques	5
Figure I.3: Module photovoltaïques	6
Figure I.4 : Champ photovoltaïques	6
Figure I.5: Structure d'une cellule photovoltaïque.....	6
Figure I.6 : Système hybride.....	7
Figure I.7 : Système PV couplés aux réseaux.....	8
Figure I.8 : Les éléments d'une installation de pompage photovoltaïque.....	9
Figure I.9: Systèmes de petite puissance.....	10
Figure I.10: Les systèmes de moyenne puissance.....	11

Chapitre II :

Figure I II.1 : Schéma idéale d'une cellule photovoltaïque.....	16
Figure II .2 : Schéma d'un générateur photovoltaïque modèle simplifié à une diode	17
Figure II.3 : schéma équivalent à deux diodes.....	18
Figure II.4 : schéma équivalent à une diode sans résistance shunt.....	19
Figure II.5 : Caractéristique I-V et P-V d'une cellule photovoltaïque.....	21
Figure II.6: Caractéristique I-V et P-V d'une cellule photovoltaïque.....	22
Figure II.7: Caractéristique I-V et P-V d'une cellule photovoltaïque.....	23
Figure II.8 : Moteur à courant continu.....	24
Figure II .9: Principes d'une machine a courant continu	24

Liste des figures et des Tableau

Figure II.10 : Schéma de principe d'un moteur	25
Figure II.11 : Schéma d'une pompe centrifuge.....	27
Figure II.12 : Schéma d'une pompe volumétrique.....	27
Figure II.13 : Pompes de surface	28
Figure II.14 : Pompe immergée.....	28
Figure II.15 : Connexion GVP-MOTEUR.....	31
<u>Chapitre III:</u>	
Figure III.1 : Couplage direct d'un système de pompage PV.....	34
Figure III.2 : Organigramme de système pompage photovoltaïque.....	36
Figure III .3 caractéristique de tension –courant de couplage direct.....	38
Figure III .4 la puissance absrobée de groupe motopompe	39
Figure III .5 : Courbe du débit d'eau pompé en fonction de l'ensoleillement.....	39
Figure III : 6 Le rendement en fonction de l'ensoleillement de générateur.....	40
Figure III.7 : Le rendement en fonction de l'ensoleillement de groupe motopompe.....	40
Figure III.8 : Le rendement d'adaptation en fonction de l'ensoleillement.....	41
FigureIII.9 :L'allure de la température variable T pour une journée.....	42
Figure III.10 :L'allure de l'ensoleillement variable E pour une journée.....	42
Figure III .11 : caractéristique de tension –courant de couplage direct.....	43
Figure III.12 :le caractéristique de puissance absrobé en fonction de temps.....	44
Figure III .13 : Courbe du débit d'eau pompé en fonction de temps.....	44
Figure III.14 : Le rendement en fonction de temps de générateur.....	45
Figure III.15 : Le rendement d'adaptation en fonction de temps.....	45
Figure III.16 : le volume d'eau en fonction de temps.....	46

Liste des Tableau

Chapitre I :

Tableau.I.1 : résume les avantages et les inconvénients des moteurs mentionner.....13

Chapitre II :

Tableau.II. 1 : Paramètres du panneau photovoltaïque20

Liste des notations et symboles

PV : photovoltaïques.

GPV : générateur photovoltaïque.

I_{ph} : Photo courant ou courant généré par l'éclairement (A).

I_d : Courant de polarisation de la jonction PN de la diode.

R_s : Résistance série (Ω).

R_{sh}: Résistance shunt (Ω).

k : Constante de Boltzmann ($k = 1,38.10^{-23}$ (SI)).

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

V_{oc} : Tension de circuit ouvert (V).

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

A: surface effective de générateur en m^2

I_{GPV} : le courant et du générateur photovoltaïque

V_{GPV} : la tension du générateur photovoltaïque

E_{ref} : l'ensoleillement dans les conditions standards de fonctionnement

E : l'ensoleillement dans les conditions dans les conditions quelconques.

T_{ref} : la température dans les conditions standards de fonctionnement

T : la température dans les conditions quelconques.

ΔV_{pv} : Représente la variation de la tension par rapport à l'ensoleillement et à la température.

ΔI_{pv} : Représente la variation du courant par rapport à l'ensoleillement et à la température.

ΔT_k : Représente la variation de la température.

α : Coefficient d'incrémentation du courant quand la température augmente (par rapport aux conditions standards de fonctionnements).

β : Coefficient d'incrémentation de la tension quand la température augmente (par rapport aux conditions standards de fonctionnements).

I_{pv} : Courant photovoltaïque

DC : Courant continu (direct curent).

AC : Courant alternatif (alternatif curent).

N_s : Nombre de module en série.

N_p : Nombre de module en parallèle

MCC: moteurs courant continu à aimant permanent

V : valeurs la tension de la machine

I : le courant de la machine

Liste des notations et symboles

R : valeur la résistance de la machine

E : la force électromotrice

K_{sp}, K_{tp}; les constantes du moteur en N.:m/A

W_m : est la vitesse angulaire de moteur en rad/s;

C_e: est le couple électromagnétique développé en N/m ;

C_r: est le couple de charge en N/m ;

H_s : la hauteur statique

H_d : la hauteur dynamique

f : Coefficient de pertes de charges linéaires.

D : Diamètre de la tuyauterie (m).

L : Longueur de la conduite en (m).

g : Accélération de la pesanteur 9.81 (m/s²).

A : Section de conduite en (m)²

Q : débit de l'écoulement en(m³/h)

v : Vitesse moyenne du fluide (m/s) qui est donnée par :

K_i: Coefficient de pertes de charges locales

ΔH₁: Pertes de charges linéaires

ΔH₂ : Pertes de charges singulières

P : Puissance mécanique

ρ : La masse volumique de l'eau (=1000Kg au m³).

r: le rapport de vitesse moteur -pompe

Introduction générale

Introduction générale

Les gisements des ressources énergétiques d'origines fossiles, même si elles offrent une alternative à court/moyen terme, posent quant à elles de réels problèmes environnementaux (émissions de gaz, traitement des déchets radioactifs, démantèlement des centrales nucléaires).

L'énergie éolienne, solaire, thermique et géothermique, marémotrice, hydroélectrique de petite envergure, la biomasse et la cogénération sont autant de formes d'exploitation du potentiel des énergies renouvelables éparpillées sur différents sites. [1]

Parmi ces différents moyens de générer de l'électricité, l'énergie solaire photovoltaïque est la plus utilisée. Elle présente l'avantage de s'intégrer facilement à l'habitat (façades de bâtiments, toits). L'absence de pièces mécaniques mouvantes réduit l'entretien de ces systèmes à un minimum et leur fiabilité (durée de vie d'environ 25 ans) a rapidement favorisé leur utilisation dans différentes applications.

L'énergie solaire est disponible partout sur la planète en des degrés divers et elle est entièrement renouvelable. Son apport est variable, au gré des jours et des saisons, mais elle est relativement prévisible. Sa puissance maximale est de $1kW/m^2$, et même si elle est relativement diluée, son apport énergétique annuel pourrait répondre des milliers de fois à la consommation énergétique de la plupart des pays.

Le pompage photovoltaïque est très utilisé dans les régions rurales isolées, et représente une solution quand le réseau est absent, dans ce contexte vient s'insérer ce travail qui est une contribution à l'améliorer le rendement d'un système de pompage photovoltaïque, pour se faire on a organisé le mémoire en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre on va présenter des sources d'énergie renouvelables existant dans le monde, nous donnons aussi des définitions sur les sources d'énergie renouvelables et quelques notions sur l'énergie solaire.

Dans le deuxième chapitre on va présenter quelques généralités sur la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique via les cellules photovoltaïques telles que leurs regroupements (séries, parallèles) donnent un panneau photovoltaïque, aussi nous présentons quelques notions sur les systèmes fonctionnant au fil du soleil (Pompage photovoltaïque utilisés dans notre mémoire, la machine à courant continu et aussi la pompe centrifuge).

Introduction générale

Dans le troisième chapitre nous abordons la modélisation de chaque composant de la chaîne de conversion photovoltaïque à partir des modèles existants dans la littérature. Cette modélisation est une étape essentielle qui permet par la suite d'évaluer la caractéristique du panneau photovoltaïque en fonction des conditions climatiques ainsi que les autres éléments de système.

Dans le quatrième chapitre et vu la nature variable de la source renouvelable présentée dans ce travail le problème qui se pose est généralement une exploitation non optimale du système, alors l'adaptation est nécessaire pour maximiser le rendement du système d'une part et pour réduire le coût du système d'autre part. Pour parvenir à cet objectif, Nous avons appliqué une méthode de changement de rapport de vitesse entre la pompe et le moteur et on observe une influence sur le système et sa contribution à l'amélioration des performances du système. Finalement, nous avons terminé notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités sur les Systèmes de Pompage Photovoltaïque

I.1. Introduction :

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

L'énergie solaire ne nécessite aucun apport extérieur de combustible ; de plus, le générateur lui-même ne contient aucune pièce mobile et ne requiert donc pratiquement pas d'entretien. Par conséquent, les coûts récurrents d'opération et de maintenance sont relativement faibles. Pour ces raisons, cette source d'énergie convient particulièrement bien pour les utilisations en milieu rural où les populations sont réparties dans de petites communautés et où la demande énergétique est relativement faible. Son utilisation au niveau du pompage s'est répandue rapidement dans les régions rurales des pays en développement et dans les zones hors-réseaux des pays plus industrialisés

Dans ce chapitre, on fait en premier lieu une généralité sur l'énergie solaire son utilisation et les caractéristiques principales du générateur photovoltaïque. En second lieu il expose en générale le fonctionnement et spécifications des systèmes de pompage photovoltaïque, les différents systèmes de pompes existants, sans stockage d'énergie électrique et avec batterie et rappelle les éléments qui constituent le système.

I.2.2. Energie solaire photovoltaïque :

I.2.2.1. Définition :

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) provient de la conversion directe de l'énergie provenant de photons, compris dans le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en énergie électrique. Elle utilise pour ce faire des modules photovoltaïques composés de cellules ou de photopiles fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes du visible qui réalisent cette transformation d'énergie.

L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique statique courant-tension $I(V)$ non linéaire et présentant un point de puissance maximale (PPM). Cette caractéristique dépend du niveau de rayonnement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble. [2]

I. 3 .le principe de conversion photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière.

Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type N et dopée de type P.

Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau N diffusent dans le matériau P.

La zone initialement dopée N devient chargée positivement, et la zone initialement dopée P chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone N et les trous vers la zone P.

Une jonction (dite P-N) est formée [3]. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones N et P, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi un pair électron - trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel le courant électrique circule [4 ,5].

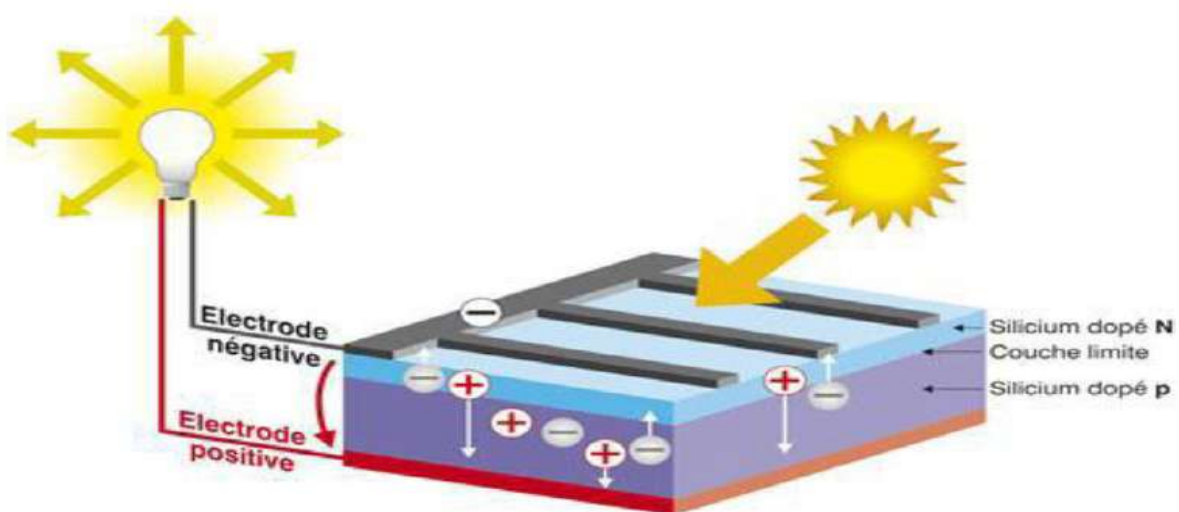


Figure I.1: Description d'une photopile ou cellule photovoltaïque

I.4 Cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est une composante optoélectronique qui transforme directement la lumière solaire en électricité, a été découverte par E. Becquerel en 1839. Une cellule photovoltaïque est constituée par un matériau semi-conducteur de type P-N. La taille de chaque cellule est de quelques centimètres carrés. La figure (I.2) représente un échantillon schématique d'une configuration de la cellule photovoltaïque [6].

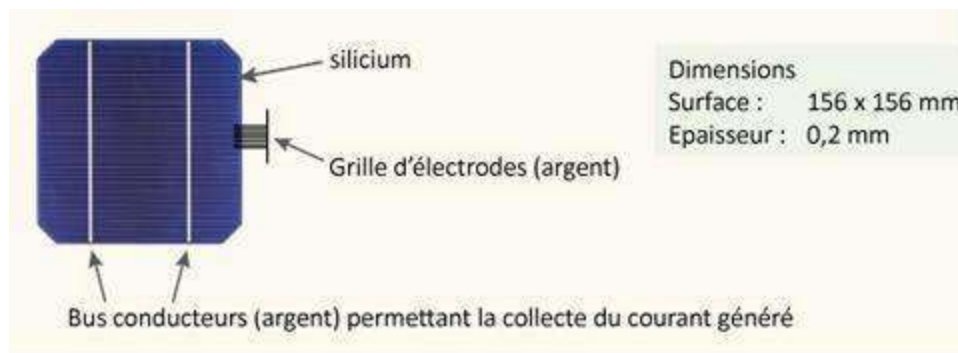


Figure (I 2) : Cellule photovoltaïque

II.5 .Rendement d'une cellule solaire :

Le rendement est donné par le rapport de la puissance électrique maximale générée à la puissance du rayonnement solaire incident [9].

• Le rendement d'une cellule :

$$\eta_c = \frac{P_s}{P_e} \quad (\text{II .1})$$

$$P_s : \text{Puissance à la sortie du champ photovoltaïque, donnée par : } P_s = V * I. \quad (\text{II .2})$$

$$P_e : \text{Puissance d'entrée du champ PV, donnée par: } P_e = E * S. \quad (\text{II.3})$$

I.6 Module photovoltaïque

Le composant le plus important de toute installation PV est le module photovoltaïque, qui se compose de cellules solaires interconnectées. Ces modules sont raccordés entre eux pour former des champs de manière à pouvoir satisfaire différents niveaux de besoins en énergie. La figure (I.3) représente un module photovoltaïque.

Des modules de plus en plus puissants sont disponibles sur le marché, en particulier pour la connexion du réseau, mais il y'a tout de même une limite liée au poids et à la manipulation. [6]



Figure (I 3) : Module photovoltaïque.

I.7 Champ photovoltaïque

Le champ photovoltaïque se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le module PV avec un angle d'inclinaison spécifique. La figure (1.4) représente un champ photovoltaïque. [6]



Figure (I 4) : Champ photovoltaïque

I.8 .Système photovoltaïque :

Un système photovoltaïque est un système d'alimentation électrique, constitué principalement d'un générateur photovoltaïque composé d'un seul ou plusieurs panneaux solaires, d'un ensemble de batteries pour le stockage d'énergie électrique, d'un ou de plusieurs convertisseurs pour fournir les tensions d'alimentation adéquates.

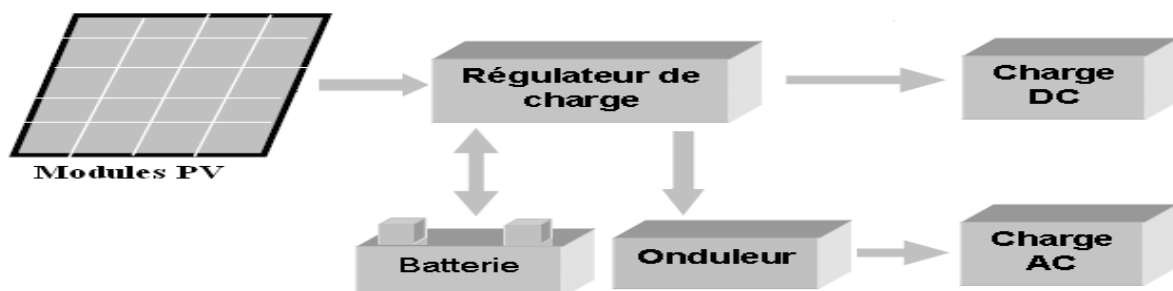


Figure I.5: Structure d'un système PV autonome.

I.9.Applications des systèmes photovoltaïques :

Les principales applications des systèmes photovoltaïques sont énumérées ci-après. [7]

I.9.1 Systèmes autonomes :

Une installation photovoltaïque autonome est une installation qui fonctionne indépendamment du réseau électrique ou toutes autres sources d'énergies. Dans la majorité des cas, ce système est utilisé dans les sites isolés. Une tel installation doit être capable de fournir de l'énergie, y compris lorsqu'il n'y a pas de soleil (la nuit ou en cas de mauvais temps). Il faut donc qu'une partie de la production journalière des modules photovoltaïques soit stockée dans des batteries. Cette installation se compose d'un ou plusieurs modules photovoltaïques, d'un régulateur de charge, d'une ou plusieurs batteries et éventuellement d'un onduleur.

I.9.2 .Systèmes hybrides :

Les systèmes hybrides consistent en l'association de deux ou plusieurs technologies complémentaires de manière à accroître la fourniture d'énergie. Les sources d'énergie comme le soleil et le vent ne délivrent pas une puissance constante, et leur combinaison peut permettre de parvenir à une production électrique plus continue dans le temps. Les systèmes hybrides fonctionnent tels que, les batteries sont chargées par les panneaux solaires (le jour) et par le générateur éolien (lorsqu'il y'a du vent).

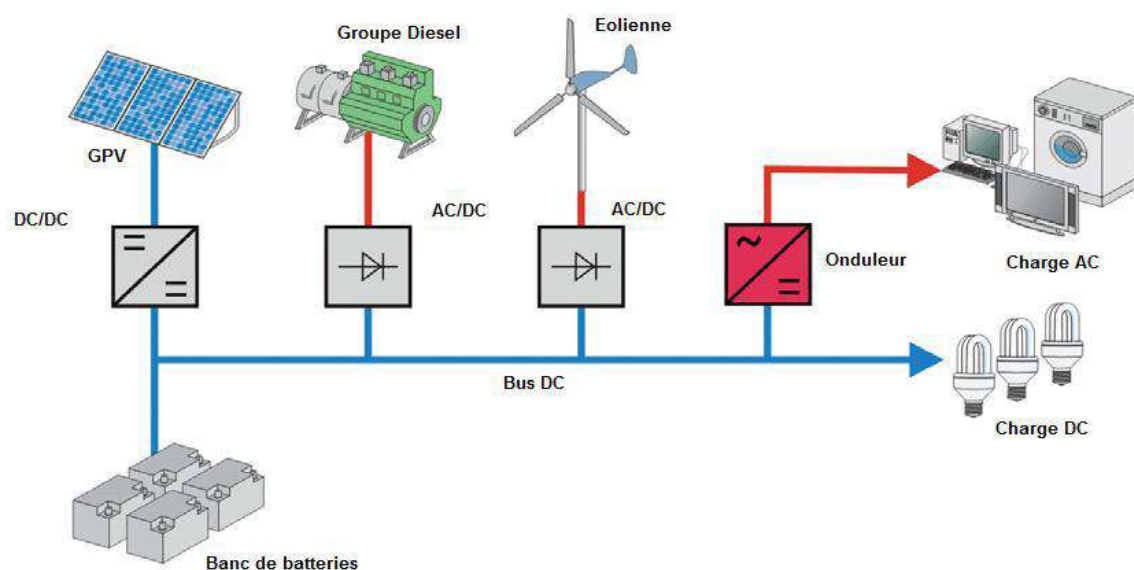


Figure I.6: Système hybride

I.9.3 : Systèmes couplés au réseau :

Les installations raccordées au réseau électrique (ou reliées à une centrale de distribution) constituent généralement une solution optimale pour la production de l'électricité solaire, tant en termes d'énergie que de coûts. Ces installations se composent de modules photovoltaïques interconnectés, d'un (ou plusieurs) onduleur(s) raccordée au réseau électrique. L'onduleur convertit le courant continu généré par les modules photovoltaïques et produit un courant alternatif conforme au réseau électrique. La figure (I.7) illustre le principe d'un système photovoltaïque connecté au réseau.

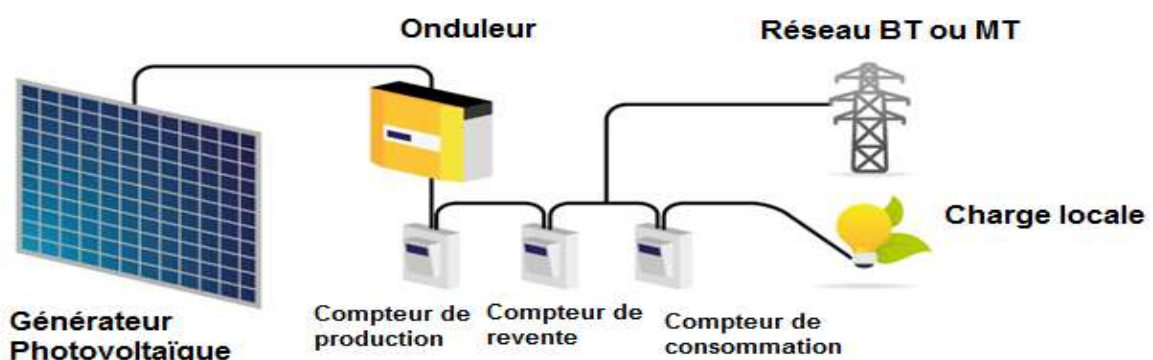


Figure I.7 : Système PV couplés aux réseaux.

I.9.4 Systèmes fonctionnant au fil du soleil (Pompage photovoltaïque) :

Dans les régions éloignées, désertiques ou montagneuses, l'alimentation en eau potable et d'irrigation reste toujours le souci quotidien des populations. Le pompage d'eau à l'aide de l'énergie solaire photovoltaïque est une solution bien adaptée pour ces régions. En effet, la majorité de ces régions sont très ensoleillées et cette énergie a l'avantage d'être présente et propre contrairement à l'énergie conventionnelle qui présente les contraintes de l'éloignement du réseau électrique et les contraintes du transport du combustible et les entretiens périodiques pour les moteurs diesels. Généralement, les systèmes de pompage photovoltaïque sont constitués d'un générateur photovoltaïque, un convertisseur du courant électrique qui peut être un convertisseur DC/AC pour un moteur à courant alternatif ou un convertisseur DC/DC pour un moteur à courant continu et d'un groupe motopompe. Ces systèmes fonctionnent au fil du soleil sans stockage électrochimique. L'eau ainsi pompée peut être utilisée directement ou stockée dans un réservoir pour des utilisations ultérieures. Ce type de stockage de l'eau est la solution la plus adoptée par rapport au stockage électrochimique dans des batteries. Le

générateur photovoltaïque est responsable de la conversion instantanée de l'énergie solaire en énergie électrique grâce à l'effet photovoltaïque. Le générateur photovoltaïque est constitué de plusieurs modules photovoltaïques reliés en série et en parallèle selon la puissance requise. La figure (I.8) présente les différents éléments constitutifs d'une installation solaire de pompage d'eau.

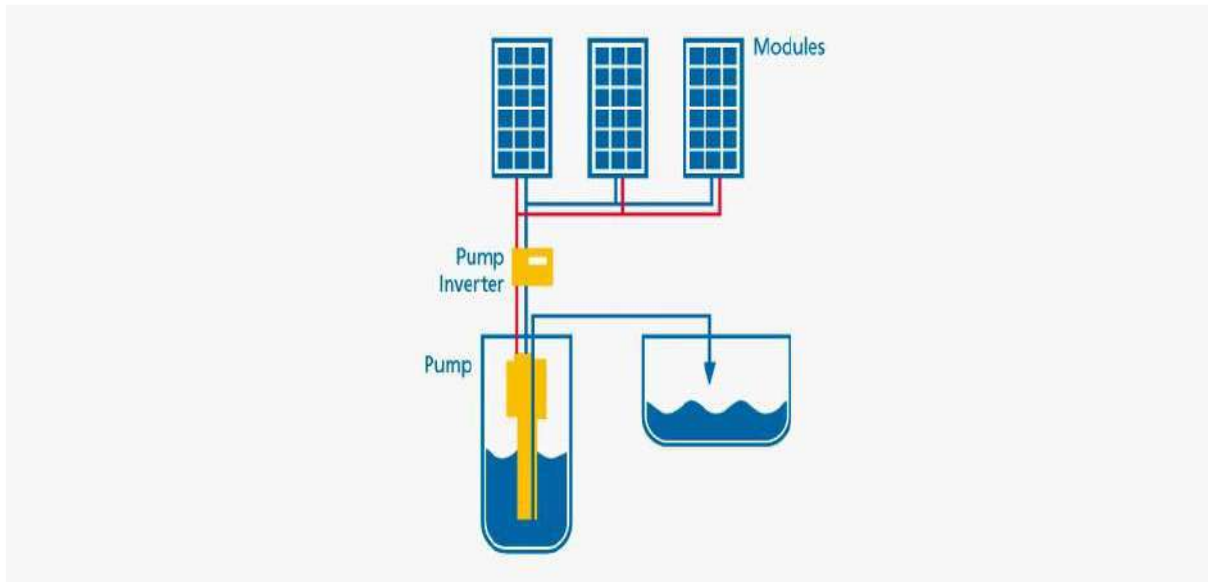


Figure I.8 : Les éléments d'une installation de pompage photovoltaïque.

I.9.4.1 : Configuration typique d'un système de pompage photovoltaïque :

Les éléments d'un système de pompage photovoltaïque doivent être conçus pour fonctionner comme un seul ensemble pour la maximisation des performances globales du système. Différentes solutions peuvent être adoptées pour pomper un certain volume d'eau à une certaine hauteur en fonction des plages de puissance nécessaire dans une application spécifique. Bien que les pompes sont installées en surface ou bien flottante, la configuration la plus commune est une pompe immergée installée dans un puits de forage.

La configuration d'un système de pompage PV est déterminée par la définition du type de générateur photovoltaïque, le type de pompe et de type moteur; ainsi que le type de conditionnement de puissance. On peut distinguer les types de systèmes de pompage photovoltaïques suivants: [7]

I.9.4.1.1 : Systèmes de petite puissance (50-400W) :

Dans ce type de systèmes, il est utilisé principalement un moteur à courant continu entraînant une pompe centrifuge ou à déplacement positif. Entre le générateur PV et le

moteur/pompe on intercale un convertisseur DC/DC pour améliorer son adaptation. Les applications de cette configuration est généralement destinée au pompage des volumes d'eau pouvant atteindre jusqu'à 150m³/Jour.

Les principaux constituants de ces systèmes sont:

- Le Générateur photovoltaïque.
- le convertisseur DC/DC (facultatif).
- Moteur à courant continu.
- Pompe
- Entrepôt de stockage (facultatif).

La figure(I.9) montre le schéma simplifié d'un système de pompage utilisant le moteur à courant continu. Le couplage est direct (sans stockage électrique) avec optimisation de générateur par un hacheur adaptateur de puissance commandé par son rapport cyclique. L'installation ainsi définie nécessite une électronique relativement simple mais présente l'inconvénient du moteur à courant continu: un entretien régulier.

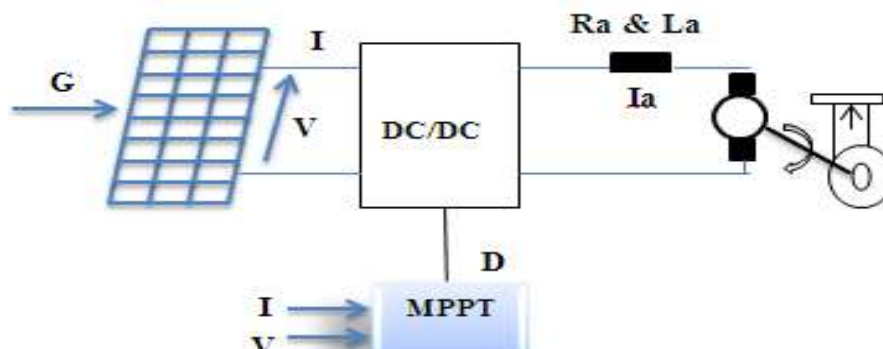


Figure I.9: Systèmes de petite puissance.

I.9.4.1.2 : Les systèmes de moyenne puissance (400-1500 W) :

Il est composé essentiellement d'une pompe immergée centrifuge entraînée par un moteur à induction à courant alternatif via un convertisseur DC/AC triphasé travaillant à fréquence variable, comme le montre la figure (I.12). Un convertisseur DC/DC est généralement intercalé entre le générateur PV et le convertisseur DC/AC pour l'adaptation d'impédance et la recherche du point de puissance maximale (MPPT). Ces types de systèmes sont caractérisés par leur haute fiabilité ainsi que de leur large utilisation depuis les premières installations de

pompage photovoltaïque. Les volumes d'eau pouvant être pompés varie entre 150 jusqu'à 1500 m³/Jour.

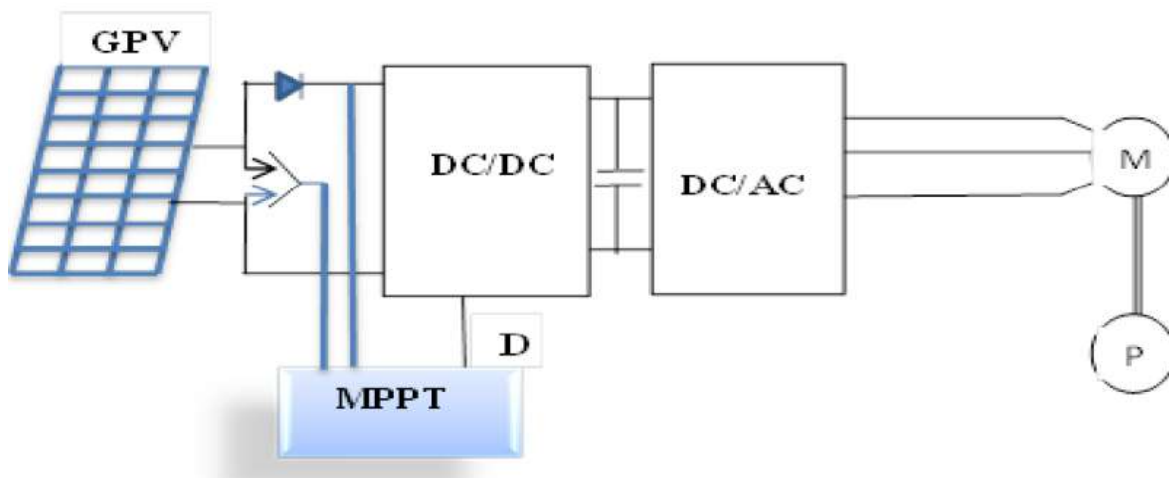


Figure I.10: Les systèmes de moyenne puissance.

Les éléments clés de ces types de systèmes sont :

- Générateur photovoltaïque
- Le convertisseur DC/DC (MPPT).
- Le convertisseur DC/ AC.
- Moteur AC.
- Pompe immergée.
- Entrepôt de stockage (facultatif).

I.9.4.2 .Technologie des moteurs :

On ce qui concerne la technologie des moteur, il y a trois types de moteur actuellement utilisés pour des applications de pompage photovoltaïques :

- Moteur à courant continue
- Moteur à courant continu à aimant permanent sans balais.
- Moteur à courant alternatif.

I.9.4.2.1 Moteur à courant continu :

En termes de simplicité le moteur à courant continu est une option attractive parce que le générateur photovoltaïque produit du courant continu, et moins d'équipement spécialisé sont nécessaire pour traitement de puissance.

Pour un moteur à courant continu conventionnel les pertes d'énergie qui se produisant dans les enroulements est élevé, par conséquence le rendement global est faible. Si des aimants

permanents sont utilisés pour produire le champ magnétique, aucune puissance ne sera consommée dans les bobines d'excitation et par conséquent des rendements plus élevés seront obtenus. Cette augmentation de rendement est très appropriée aux systèmes de pompage photovoltaïques. Le problème avec le moteur à courant continu c'est qu'il a besoin des balais pour la commutation. Les balais se détériorent avec le temps et doivent être remplacés après approximativement 1000 heures de l'opération, ce qui est très inconfortable parce que ceci signifie un supplément l'entretien et des coûts.

Plusieurs travaux ont été réalisés dont on peut citer quelques-uns: Appel Baum et Sarm ont examiné le démarrage d'un moteur à courant continu couplé avec une pompe et alimenté par des modules photovoltaïques avec et sans suiveur de point de puissance maximum. Alghuwainem a étudié le fonctionnement, en régime permanent, du moteur à excitation séparé avec un convertisseur élévateur fonctionnant comme un suiveur de point de puissance maximal (MPPT).

Le moteur à courant continu sans balais nécessite une excitation avec un onduleur triphasé de fréquence et amplitude variable. L'onduleur est généralement pour assurer la commutation électronique et la régulation du courant.

Parmi les moteurs à courant continu, seuls les moteurs à aimants permanents sont utilisés pour des applications de pompage solaire.

I.9.4.2.3 Moteur a courant alternatif :

Les moteurs a courant alternatif comme le moteur asynchrone ; sont des moteurs sans balais avec un rotor de construction robuste qui permet le fonctionnement fiable et sans entretien. La simplicité de la construction du rotor a également comme conséquence la base du prix du moteur et un rapport puissance /poids plus élevé.

Ce type de moteur à courant alternatif tourne à une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme et sa vitesse est déterminée par la fréquence de source d'alimentation et le nombre de pôles du stator. Donc une gamme de variation de la vitesse du moteur asynchrone et seulement possible lorsque la fréquence de la source d'alimentation est possible. Cela signifie que l'utilisation du moteur asynchrone dans les applications photovoltaïque de pompage nécessite un circuit électronique de commande à fréquence variable (onduleur) pour commander la vitesse, et ceci ajoute un coût de plus au système. L'inclusion de l'onduleur dans le système permet des performances excellentes à la vitesse de rotation du moteur.

Le tableau 1.1 présente quelques avantages et inconvénients des moteurs électriques :

Tableau 1.1 : résume les avantages et les inconvénients des moteurs mentionner ci-dessus :

Type de moteurs	Les avantages	Les inconvenants
Moteur à courant continu sans balais	-Un bon rendement -Ne demande pas de maintenance	-La commutation électronique ajoute des dépenses de plus et avec le risque de défaillance
Moteur à courant continu	-Simple et efficace pour les faibles charges -Ne nécessitant pas un circuit de commande compliqué	-Les balais doivent être Remplacé périodiquement
Moteur à courant alternative	- De larges gammes disponibles pour de larges gammes de charge -Moins cher que le moteur à courant continu	-Moins efficace que le moteur à courant continu -Nécessités un onduleur

I.10 .Constitution d'un système de pompage photovoltaïque

Le pompage de l'eau est l'une des applications les plus courantes utilisant l'énergie solaire pour l'irrigation ou l'alimentation en eau potable ; ses performances dépendent des caractéristiques du site (ensoleillement, température), du rendement des modules mais aussi des caractéristiques des autres équipements (Moteur, pompe,...)

I .10 .1 . Générateur photovoltaïque :

Le générateur photovoltaïque représente la source de l'énergie électrique actionnant le moteur pompe. Il est constitué d'un ensemble de modules rangés sous forme de panneaux, les modules utilisés sont de type poly cristallin, dont les caractéristiques sont données dans l'annexe A. La structure topologique du générateur est composée d'un nombre de modules séries N_s et d'un nombre de modules parallèles N_p

En fonction de la puissance désirée, les panneaux eux-mêmes peuvent être assemblés pour constituer le champ (générateur) photovoltaïque. Le point de fonctionnement du générateur photovoltaïque est caractérisé par :

$$I_{GPV} = N_p * I_{PV} \quad (I.4)$$

$$V_{GPV} = N_s * V_{PV} \quad (I.5)$$

I_{GPV} , V_{GPV} est le courant et la tension du générateur photovoltaïque et N_p , N_s sont les nombres des modules en parallèle et en série.

I. 10 .2. Moteur d'entraînement :

Le choix du type du moteur dépend de plusieurs facteurs tels que fiabilité, support technique, prix, ...etc.

- un moteur à courant continu est généralement plus efficace est plus facile à utiliser avec un système photovoltaïque (pas besoin d'onduleurs).

-Un moteur à courant alternatif est moins cher et plus facile à le trouver sur le marché, mais Il exige l'utilisation d'un onduleur pour fonctionner avec une alimentation photovoltaïque.

Dans ce mémoire on a utilisé un moteur à courant continu à aimant permanent qui est de plus en plus utilisé dans diverses applications telles que la traction électrique, formage, usinage, robotique et le pompage photovoltaïque, grâce au développement de l'électronique de puissance et des matériaux magnétiques et aussi à l'avantage des aimants permanent qui ont remplacés le rotor bobiné.

I.10 .3 .Pompe de refoulement :

Le MCCAP (Moteur à courant continu à Aimant Permanent) est couplé avec une pompe centrifuge car ce type de pompe offre une adaptation convenable aux systèmes PV, et qui sont actuellement les plus utilisées pour les problèmes d'élévation d'eau.

I .10 .4 . Circuit hydraulique :

Dans un système de pompage le niveau d'eau à l'intérieur du puits ne reste pas constant, il change selon la quantité d'eau pompée. La différence entre le niveau d'eau statique est le niveau d'eau instantanée affecté par le pompage (niveau dynamique) s'appelle la hauteur dynamique.

Le système hydraulique est constitué deux réservoirs.

I. 11. CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons présenté le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque, ainsi que les différentes configurations des systèmes photovoltaïque. Et enfin on a présenté le système de pompage photovoltaïque étudié dans ce mémoire qui est constitué d'un ensemble d'éléments se trouvant en interaction ; à savoir les panneaux photovoltaïques, le moteur à courant continu à aimant permanent, la pompe centrifuge et le circuit hydraulique.

Chapitre II

Modélisation et simulation de système pompage photovoltaïque

II. 1 .Introduction :

Après avoir étudié et citer les différents composants du système de pompage photovoltaïque, nous procédons à la modélisation du système.

La modélisation est une étape fondamentale qui permet d'introduire un certain nombre de modèles puis d'évaluer la caractéristique de chaque élément de l'installation ainsi que les paramètres constitutants.

Dans ce chapitre, nous représenterons les modèles mathématiques des différents éléments de notre système qui comporte (panneaux PV, machine à courant continu MCC et la pompe centrifuge).

II.2 Modélisation du système de pompage photovoltaïque :

II.2.1 Modèle électrique d'un générateur photovoltaïque :

Les équations mathématiques développées pour la modélisation de la performance des générateurs PV sont basées sur les caractéristiques courant-tension et puissance.

Dans la littérature on trouve de nombreux modèles mathématiques pour représenter le comportement fortement non linéaire d'une cellule photovoltaïque. [8]

Parmi ces modèles on trouve :

- **Le modèle à une diode idéalisée :** c'est le modèle le plus simplifié ,La photopile est un composant semi-conducteur qui délivre un courant en excitant ce dernier par des photons, donc en première approximation on a une source de courant, qui est court-circuitée par une diode (car la photopile est une jonction p-n), la valeur de la résistance R_s étant généralement très grande, elle est donc souvent supposée infinie (négligée), la valeur de la résistance R_s étant petite elle est supposé être nul ($R_s=0$).

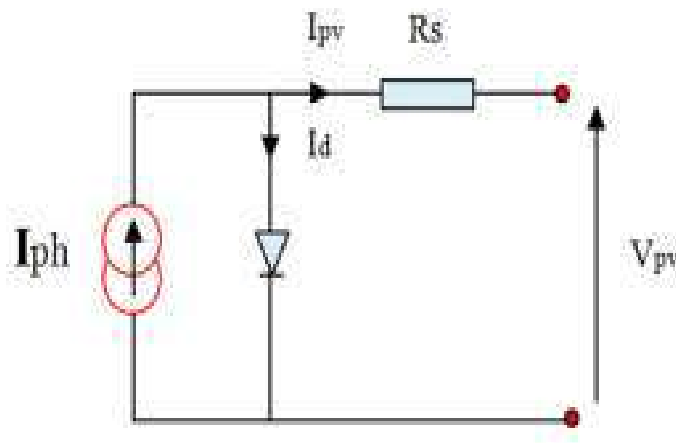


Figure II .1 : Schéma idéale d'une cellule photovoltaïque.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_D \quad (II .1)$$

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot v}{A \cdot kT}} - 1 \right) \quad (\text{II.2})$$

I_{ph} : est photo-courant PV

I_D : courant de la diode.

I_0 : courant de saturation de diode .

- **Le modèle Réel** : C'est le modèle le plus classique dans la littérature, il fait intervenir un générateur de courant pour la modélisation du flux lumineux incident, pour tenir compte des chutes de tension dans les zone P et N, on doit ajouter une résistance série R_s dans le modèle idéalisé et pour le courant de fuite, une résistance parallèle R_{sh} et une diode pour les phénomènes physique de polarisation .

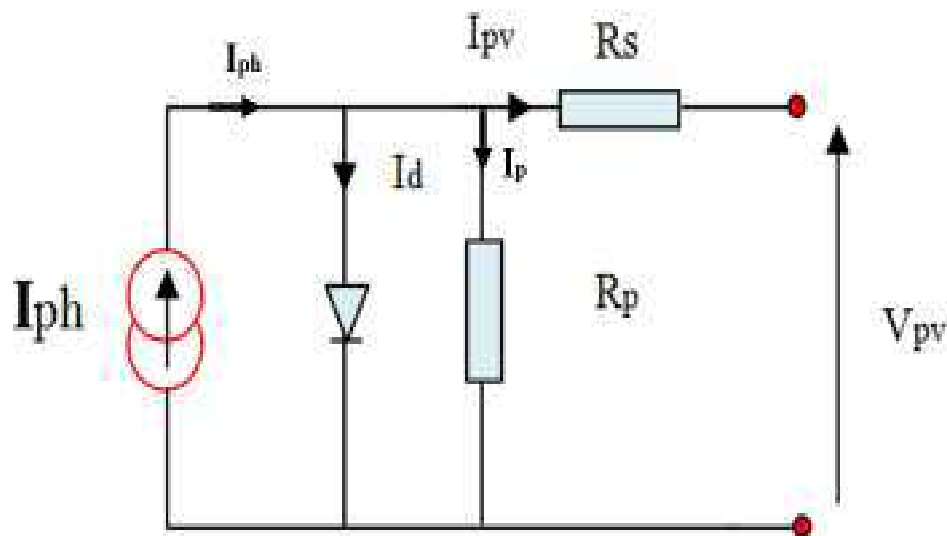


Figure II .2 : Schéma d'un générateur photovoltaïque modèle simplifié à une diode.

Le courant de la diode est donné par :

$$I_d = I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot v}{A \cdot kT}} - 1 \right) \quad (\text{II.3})$$

Le courant généré par la cellule PV est donné par la loi des mailles

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (\text{II.4})$$

$$= I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot v}{A \cdot kT}} - 1 \right) - \left(\frac{v + R_s I}{R_{sh}} \right) \quad (\text{II.5})$$

- **Le modèle à deux diodes** : une diode supplémentaire mise en parallèle avec la diode du modèle précédent, permettant de reproduire des effets chimiques de recombinaison d'électrons

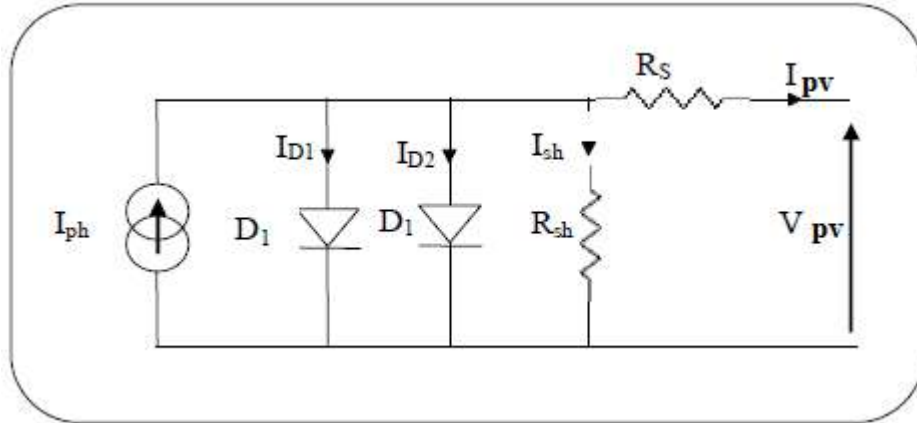


Figure II.3 : Schéma équivalent à deux diodes

Le courant généré par la cellule PV est donné par la loi des mailles :

$$I_{pv} = I_{ph} - (I_{D1} + I_{D2}) - I_{sh} \quad (\text{II.6})$$

$$I_{D1} = I_{01} \times (e^{\frac{q.v}{A.KT}} - 1) \quad (\text{II.7})$$

$$I_{D2} = I_{02} \times (e^{\frac{q.v}{A.KT}} - 1) \quad (\text{II.8})$$

Avec : I_{01} , I_{02} : courant de saturation des diodes .

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{01}(e^{\frac{q.v}{A.KT}} - 1) - I_{02} \times (e^{\frac{q.v}{A.KT}} - 1) - \left(\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}}\right) \quad (\text{II.9})$$

Pour trouver le modèle du générateur photovoltaïque, il faut tout d'abord retrouver le circuit électrique équivalent à cette source. De nombreux modèles mathématiques ont été proposés pour simuler la caractéristique courant-tension d'une cellule solaire (ou d'un panneau). [8]

Ces modèles se différencient par la procédure de calcul, la précision et le nombre de paramètres intervenants dans le calcul de cette caractéristique.

Nous avons choisi un modèle simplifié, qui est un modèle à cinq paramètres [I_{sc} , V_{oc} , I_{pv_ref} , R_s , V_{pv_ref}], qui tient compte de la variation du courant et de la tension du panneau photovoltaïque en fonction des conditions climatiques. Ce modèle est caractérisé par son schéma équivalent Figure II.4:

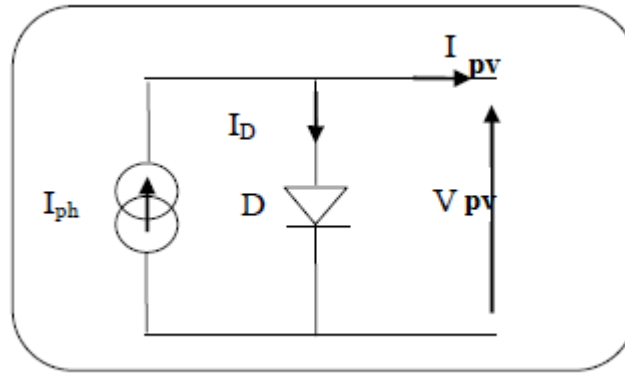


Figure II.4 : Schéma équivalent à une diode sans résistance shunt

D'après la Figure II.4, le courant du générateur photovoltaïque sous les conditions standards de fonctionnement, est donné par l'équation (II.10) :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_D \quad (\text{II.10})$$

L'expression (II.10) s'écrit aussi de cette manière :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot v - R_s \cdot I}{A \cdot K T}} \right) - 1 \quad (\text{II.11})$$

Le courant I_{ph} est assimilé au courant I_{cc} avec $V_{pv} = 0$, courant de court-circuit.

$$I_{ph} = \left(I_{sc} + \alpha(T - T_{ref}) \right) * \frac{E}{E_{ref}} \quad (\text{II.12})$$

Il est à noter que l'équation (II.11) est applicable que pour un niveau d'ensoleillement E_{ref} et de température particulière ($E_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2, T_{ref} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$). Relatifs aux conditions standards de fonctionnement (STC). Quand l'ensoleillement et la température varient, les paramètres du module photovoltaïque changent suivant ces équations : [9]

$$\Delta T_k = T - T_{kref} \quad (\text{II.13})$$

$$\Delta I_{pv} = \alpha \cdot \left(\frac{E}{E_{ref}} \right) \cdot \Delta T_k + \left(\frac{E}{E_{ref}} \right) - 1 \cdot I_{sc ref} \quad (\text{II.14})$$

$$\Delta V_{pv} = -\beta \Delta T_k - R_s \cdot \Delta I_{pv} \quad (\text{II.15})$$

Avec : E_{ref} et E : Représentent respectivement, l'ensoleillement dans les conditions standards de fonctionnement et dans les conditions quelconques.

T_{ref} et T : Représentent respectivement, la température dans les conditions standards de fonctionnement et dans les conditions quelconques.

ΔV_{pv} : Représente la variation de la tension par rapport à l'ensoleillement et à la température.

ΔI_{pv} : Représente la variation du courant par rapport à l'ensoleillement et à la température.

ΔT_k : Représente la variation de la température.

α : Coefficient d'incrémentation du courant quand la température augmente (par rapport aux conditions standards de fonctionnements).

β : Coefficient d'incrémentation de la tension quand la température augmente (par rapport aux conditions standards de fonctionnements).

Les nouvelles valeurs de la tension circuit ouvert et du courant photon sont données par

$$V_{co} = (\Delta V_{pv} + V_{coref}) \quad (\text{II.16})$$

$$I_{ph} = (\Delta I_{pv} + I_{sc_ref}) \quad (\text{II.17})$$

V_{co_ref} , la tension de circuit ouvert.

I_{sc_ref} , le courant de court-circuit.

Les nouvelles valeurs de la tension et du courant photovoltaïque sont données par :

$$V_{pv, nov} = V_{pv_ref} + \Delta V_{pv} \quad (\text{II.18})$$

$$I_{pv, nov} = I_{pv_ref} + \Delta I_{pv} \quad (\text{II.19})$$

Les paramètres (I_{sc} , V_{oc} , I_{pv_ref} , V_{pv_ref}) du module sous les conditions standard de fonctionnement c'est-à-dire ($E_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$, $T_{ref} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$) sont fournis par le constructeur de panneaux photovoltaïques.

La valeur de courant de saturation est donnée par l'équation suivante :

$$I_s = (I_{ph} - I_{pv, nov}) * (\exp(-((V_{pv, nov} + R_s * I_{pv, nov}) / v_{th}))) \quad (\text{II.20})$$

Avec:

v_{th} , v_{tref} : la tension thermique de jonction.

$$v_{th} = ((V_{t_ref} * T_k(i)) / (T_k_ref)) \quad (\text{II.21})$$

$$V_{t_ref} = (a * n_s * k * T_k_ref) / q \quad (\text{II.22})$$

Chaque groupe de panneau est une association série-parallèle de N_s , N_p cellule élémentaires.

Si toutes les cellules sont identiques et fonctionnent dans les mêmes conditions, nous obtenons un GPV, selon les besoins des applications visées.

Le constructeur de panneaux photovoltaïques fournit les paramètres du panneau (I_{sc} , V_{oc} , I_{pvref} , V_{pvref}) sous les conditions standard de fonctionnement (une insolation de 1000 W/m^2 et une température de 25°C , AM 1.5). Le tableau II.1 montre les données d'un panneau solaire de (TE 500 CR+ /55), qui sont utilisées pour la simulation du panneau photovoltaïque.

Tableau II. 1 : Paramètres du panneau photovoltaïque

Paramètres	valeurs
Puissance maximale du panneau P_m	54.3 W
Courant au point de puissance maximale I_m	3.10 A

Tension au point de puissance maximale V_m	17.5 V
Courant de court-circuit ICC	3.5 A
Tension en circuit ouvert V_{oc}	21,7 V
Coefficient d'incrémentatation du courant I_{cc} (α)	1.1 mA/°C
Coefficient d'incrémentatation de la tension V_{oc} (β)	- 75mV/°C

II.2.2 Résultats de simulation :

Pour tracer la caractéristique (I-V) par le modèle étudié nous avons simulé en utilisant le modèle mathématique, déjà décrit et les paramètres du tableau II.1.

La caractéristique (I-V) pour un module est décrite par l'équation non linéaire :

$$V_{GPV} = V_{th} \cdot \log\left(\frac{I_{ph} - I}{I_s} + 1\right) - R_s \cdot I \quad (\text{II.23})$$

V_{GPV} : le tension de générateur

II.2.2.1 Caractéristiques des panneaux :

La Figures II.5 donne les caractéristiques $I_{pv}(V_{pv})$ et $P_{pv}(V_{pv})$ pour les conditions climatiques standard ($E = 1000 \text{ W/m}^2, T = 25 \text{ °C}$)

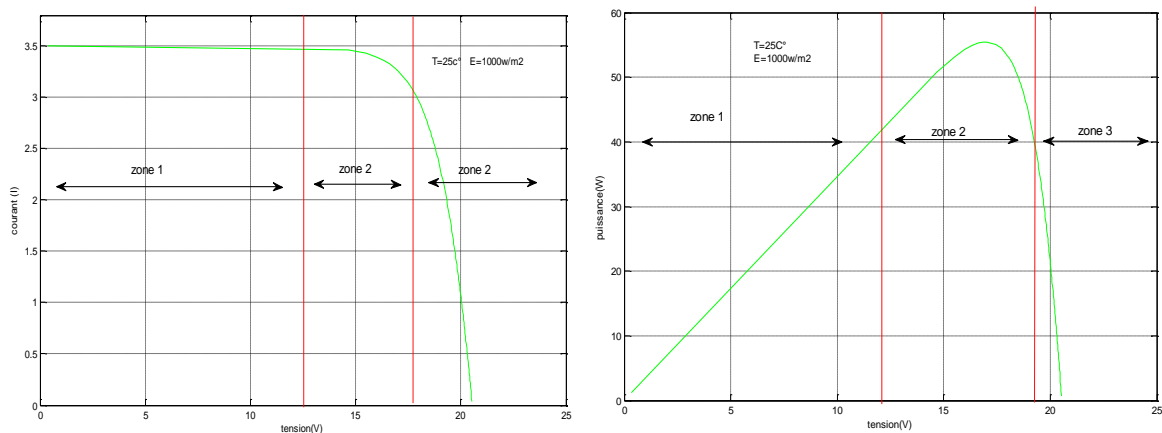


Figure II.5 : Caractéristique I-V et P-V d'une cellule photovoltaïque.

La caractéristique se divise en trois parties :

- **La zone 1** : où la cellule se comporte comme un générateur de courant I_{sc} proportionnel à l'éclairement.
- **La zone 3** : où la cellule se comporte comme un générateur de tension V_{co} .
- **La zone 2** : la région intermédiaire entre les deux zones précédentes, représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.

II.2.2.2 Influence de l'éclairement :

II.2.2.2.1 Influence de la température T_c :

Les caractéristiques électriques d'une cellule PV dépend de la température de jonction au niveau de la surface exposée. La Figure II.6 donne l'allure générale des caractéristiques électriques d'un générateur photovoltaïque pour différentes valeurs de températures et un éclairement constant.

On remarque que l'augmentation de la température entraîne une diminution nette de la tension de circuit ouvert et une augmentation du courant de court-circuit, ainsi qu'une diminution de la puissance maximale donc Le courant dépend de la température et la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert.

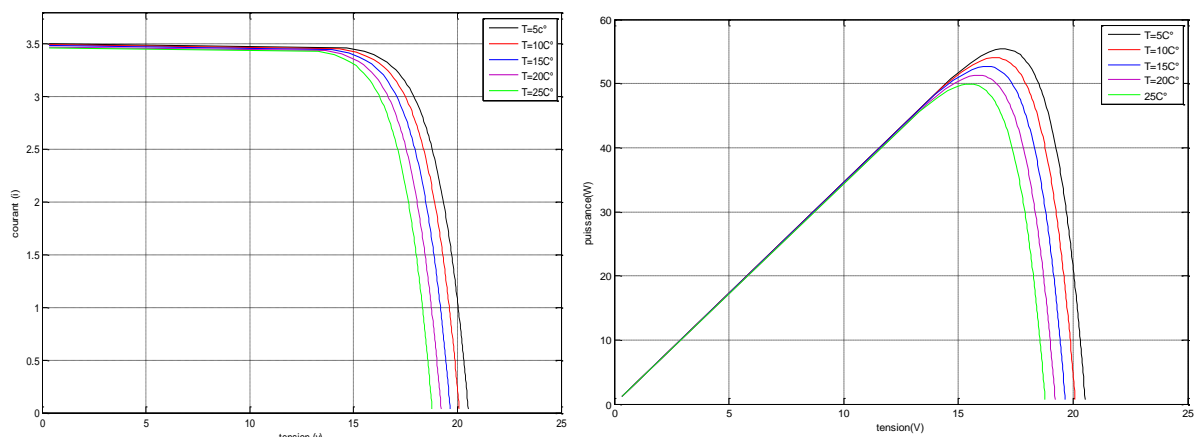


Figure II.6- : Caractéristique I-V et P-V d'une cellule photovoltaïque

II.2.2.2.2 Influence de l'irradiation :

La Figure II.7 représente les caractéristiques (P-V) et (I-V) pour différentes valeurs de l'éclairement, à une température constante :

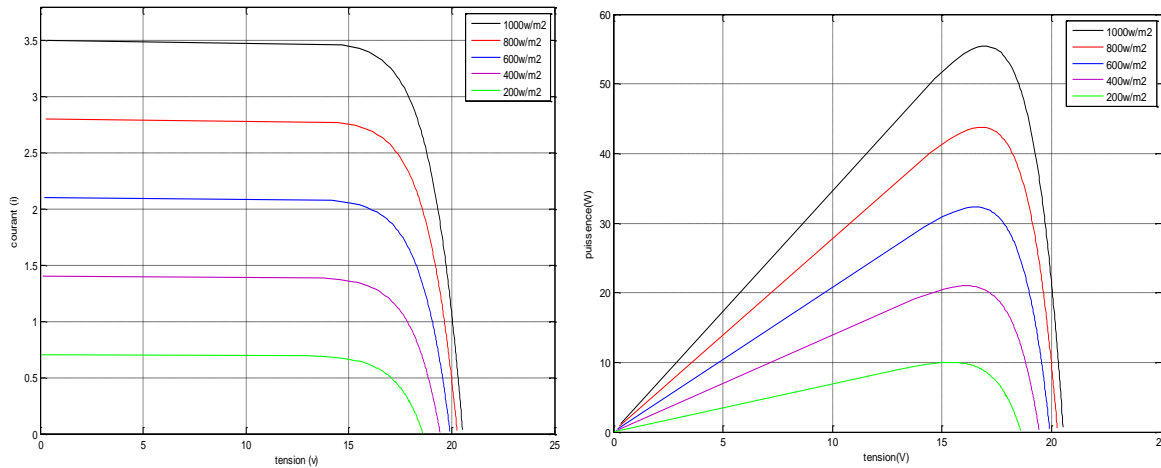


Figure II.7- : Caractéristique I-V et P-V d'une cellule photovoltaïque

On remarque que le courant subit une variation importante, mais par contre la tension varie légèrement, par conséquent la variation de PPM proportion ne nullement à l'éclairement.

II.2.3 Rendement :

Le rendement d'un générateur PV est défini comme étant le rapport entre la puissance électrique fournie (puissance que l'on peut extraire au point optimum) à la puissance du rayonnement d'incident [1]:

$$\eta_{pv} = \frac{I.V}{E.A} \quad (\text{II.24})$$

Où A : surface effective de générateur en m^2 .

II.2.4 Facteur de forme :

On identifié le facteur de forme, par le rapport de la puissance maximum au produit de courant de court-circuit et de la tension du circuit ouvert [1] :

$$FF = \frac{I_{op}.V_{op}}{I_{sc}.V_{oc}} \quad (\text{II.25})$$

II.3 Modélisation du Moteur à courant continu :

II.3.1 Moteur à courant continu :

De nos jours les moteurs à aimant permanent à courant continu (MCC) sont de plus en plus populaires. Le moteur à courant continu est ainsi devenu la solution idéale pour les applications d'aujourd'hui, de plus en plus exigeantes en termes de durée de vie et de fiabilité, d'encombrement et de poids, de consommation électrique (rendement), de faible niveau sonore et de variation de débit (asservissement)[9]

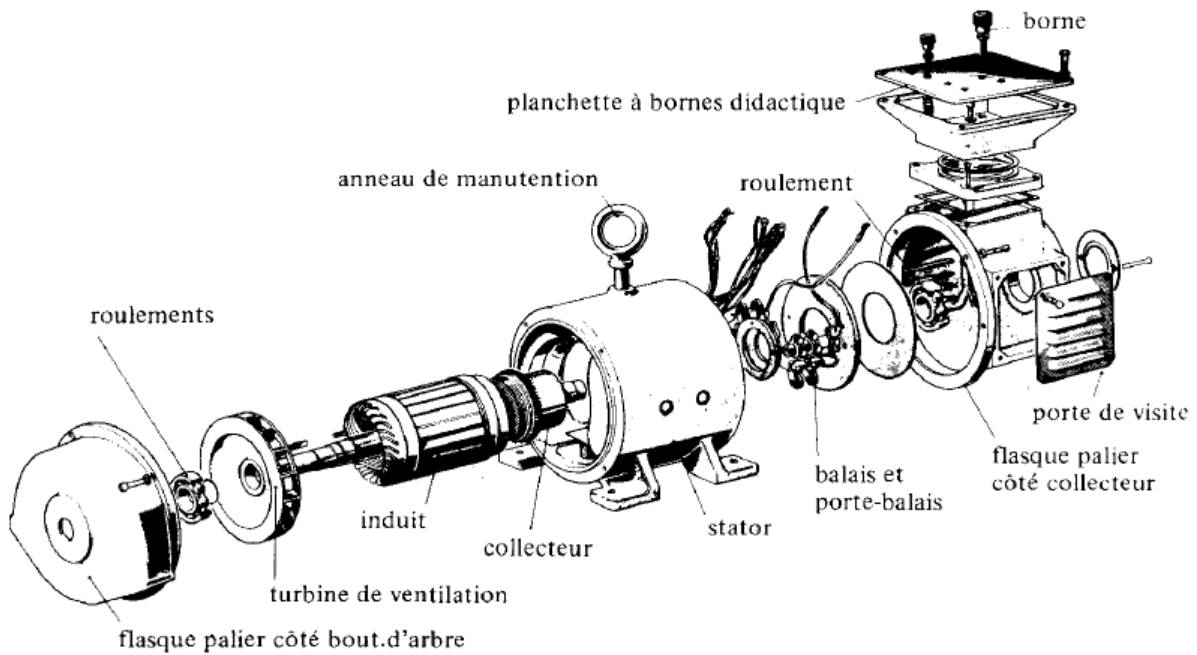


Figure II.8 Moteur à courant continu.

II.3. Définition :

Les machines à courant continu sont de types réversibles car le transfert d'énergie est bidirectionnel comme indiqué sur la figure : [10]

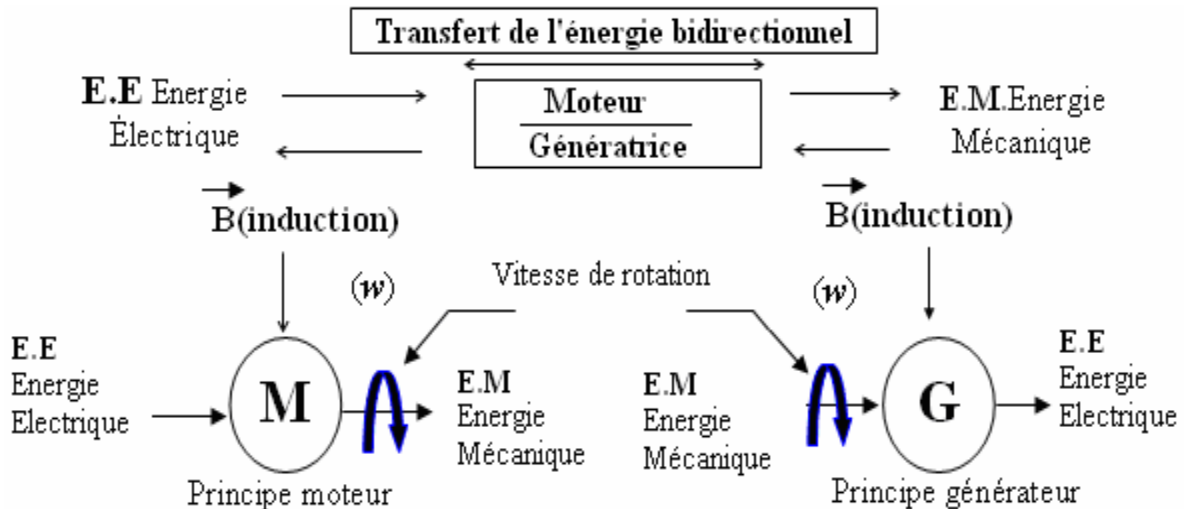


Figure. II.9 : Principes d'une machine a courant continu

II.3.3 Principe de fonctionnement de Moteurs :

- Le courant d'excitation (J) traversant les bobines inductrices qui sont portées par les noyaux polaires créent dans l'entrefer « d », un champ magnétique d'induction « B ».
- Les lignes de champ se referment d'une part par le fer de l'induit et d'autre part par la culasse et le fer des noyaux polaires.

- Le système « balais-collecteur » ou commutateur tournant permet à chaque instant d'additionner toutes les FEM de même signe et d'obtenir une FEM redressée qui est unidirectionnelle.
- Comme on vient de le présenter plus haut, donc le bobinage induit d'une machine à courant continu qui est tournant dans le champ d'induction « B », produit par les bobines inductrices, est le siège de 'F.E.M alternatives'.

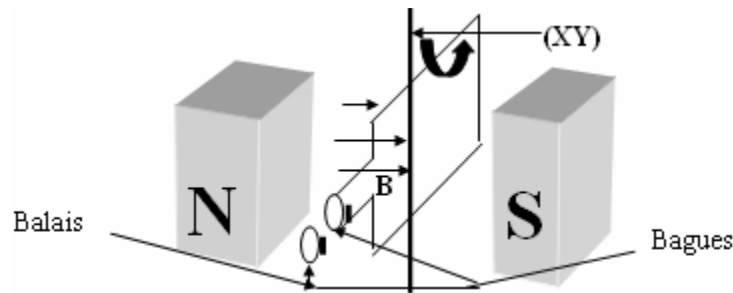


Figure II.10: Schéma de principe d'un moteur.

II.3.4. Les différents types de moteurs à courant continu:

Il y a différents modèles de machine à courant continu MCC :

- **MCC à excitation séparée** : L'inducteur et l'induit sont alimentés séparément, l'inducteur comporte beaucoup de spires de faibles sections.
- **MCC à excitation série** : L'inducteur de ce moteur est en série avec l'induit, Le courant d'induit est également le courant d'excitation.
- **MCC à excitation shunt** : L'inducteur de ce moteur est en parallèle avec l'induit, La tension d'induit est également la tension d'excitation.
- **MCC à excitation composée** : On trouve une partie des enroulements inducteurs en série et une partie en parallèle.

II.3.5 .1 Modèle mathématique du MCC :

Les Équations Électriques qui régissent le fonctionnement du moteur CC sont données par les équations suivantes en régime permanent :[11]

$$V = R \cdot I + E \quad (\text{II .26})$$

Où V , I et R sont des valeurs représentant la tension, le courant et R est la valeur de la résistance de la machine

II 3.5.2 La Force Électromotrice

La force électromotrice induite est déterminée par la position angulaire de l'aimant, c'est à dire du rotor

$$E = K_{sp} \cdot w \quad (\text{II.27})$$

E est la force électromotrice

K_{sp} : La constante du moteur

II.3.5.3 L'Équation Mécanique du Mouvement :

Le modèle mécanique du moteur BLDC est donné par l'équation

$$C_e = C_r - f \cdot w \quad (\text{II.28})$$

W est la vitesse angulaire en rad/s ;

C_e : est le couple électromagnétique développé en N/m ;

C_r : est le couple de charge en N/m ;

f : est le coefficient de frottement en $N.(m/rad).s^{-1}$

II.3.5.3.1 Couple Électromagnétique

Le couple électromagnétique développé par le moteur MCC est donné par :

$$C_e = k_{tp} \cdot I \quad (\text{II.29})$$

II.4 la pompe centrifuge :

Les pompes centrifuges utilisent les variations de vitesse du fluide pompé pour obtenir un accroissement de pression. L'énergie mécanique du moteur est transmise au fluide.

La vitesse donnée au fluide va fournir une énergie cinétique à celui-ci. L'énergie cinétique est ensuite transformée en énergie de pression. [12].

Classification selon la conception de la pompe :

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. Il existe deux types de pompes : les pompes centrifuges et les pompes volumétrique.

- a) Pompe centrifuge :** La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou à ailettes. L'eau qui rente au centre de la pompe sera poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages.

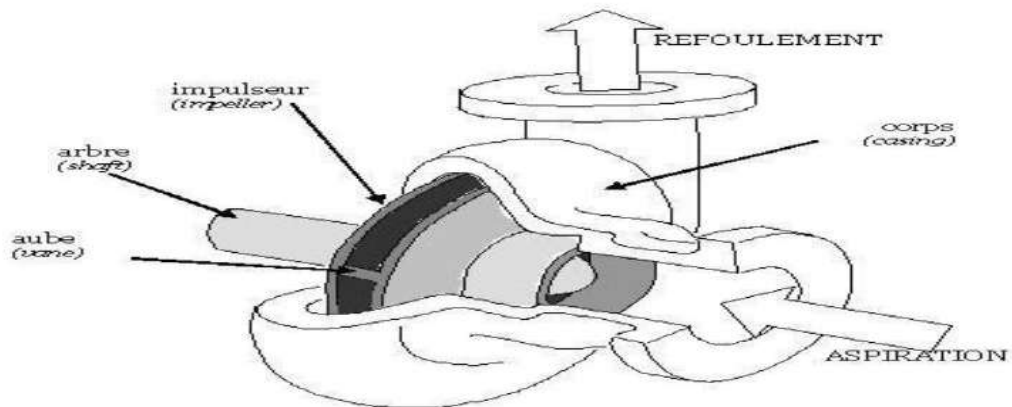


Figure II.11: Schéma d'une pompe centrifuge.

b) Pompe volumétrique :

La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va et vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement. Une pompe volumétrique comporte toujours une pièce mobile dans une pièce creuse qui déplace le liquide en variant le volume contenu dans la pièce creuse. Le principal intérêt des pompes volumétriques est de pouvoir véhiculer un fluide sous de très fortes pressions.

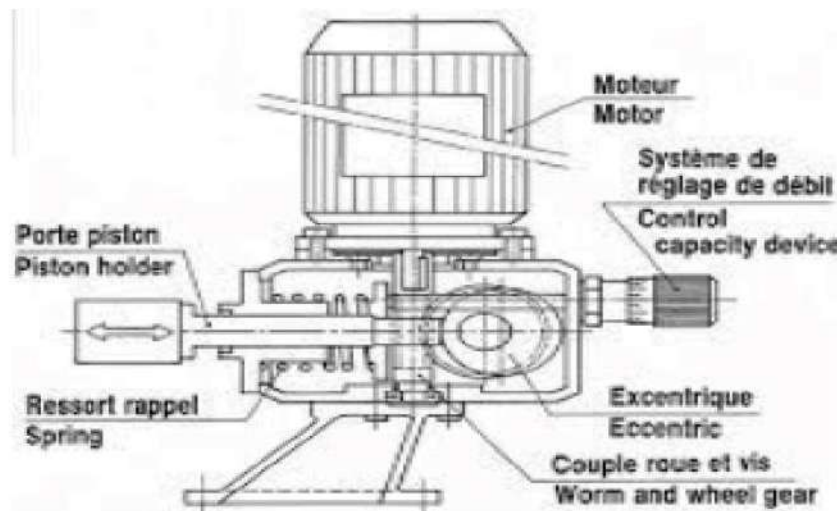


Figure II.12: Schéma d'une pompe volumétrique

- **Classification selon la position de pompe :** En fonction de l'emplacement physique de la pompe, nous distinguons : Les pompes de surface, et les pompes immergées. [13]

- a) **Pompes de surface** : Le terme surface définit la position d'une pompe par rapport au liquide à pomper. Elle est dite pompe de surface, car prévue pour être posée en dehors du liquide à aspirer.

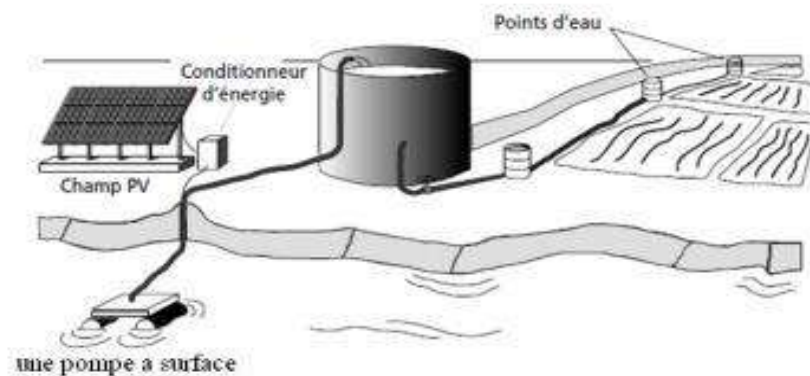


Figure II.13: Pompes de surface.

- b) **Pompes immergées** :

Les pompes de refoulement sont immergées dans l'eau et ont soit leur moteur immergé avec la pompe (pompe monobloc), soit le moteur en surface. La transmission de puissance se fait alors par un long arbre reliant la pompe au moteur.

Dans les deux cas, une conduite de refoulement après la pompe permet des élévations de plusieurs dizaines de mètres, selon la puissance du moteur.

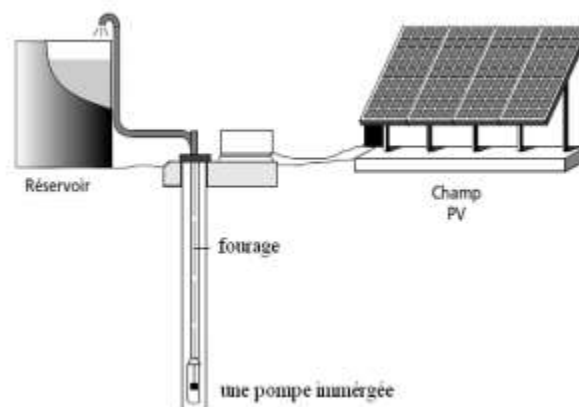


Figure II.14 : Pompe immergée

II.5 Modélisation de la pompe centrifuge :

Le fonctionnement d'une pompe centrifuge met en jeu 3 paramètres, la hauteur, le débit et la vitesse ayant pour équation :

$$f(H, Q, \omega) = 0 \quad (\text{II.30})$$

Pour résoudre ce système d'équation, on considère l'un des 3 paramètres constant, en générale c'est la vitesse qui est constante

La hauteur totale du pompage est la somme de la hauteur statique et la hauteur dynamique.

$$H = H_s + H_d \quad (\text{II.31})$$

H : Hauteur totale du pompage.

H_s : Hauteur statique qui est la distance entre le niveau statique de l'eau dans le puit jusqu'au le point le plus élevées auquel on doit pomper l'eau.

H_d : le niveau dynamique est la somme de pertes linéaires et singulières, ces pertes sont :

II-5-1-Pertes de charges linéaires :

Se sont des pertes d'eau dans la tuyauterie est donnée par la formule suivante [14] :

$$\Delta H_1 = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2 \cdot g} = f \cdot \frac{L \cdot Q^2}{2 \cdot g \cdot D \cdot A^2 \cdot 3600^2} \quad (\text{II.32})$$

f : Coefficient de pertes de charges linéaires.

D : Diamètre de la tuyauterie (m).

L : Longueur de la conduite en (m).

g : Accélération de la pesanteur 9.81 (m/s²).

A : Section de conduite en (m)²

Q : débit de l'écoulement en(m³/h)

v : Vitesse moyenne du fluide (m/s)

On remarque que les pertes de charges linéaires sont proportionnelles à la longueur de canalisation, ces pertes diminuent quand on augmente le diamètre de la canalisation.

II.5.2 Pertes de charges singulières (locales) :

Sont dues essentiellement aux divers changements de section est donnée par l'expression suivante: [15]

$$\Delta H_2 = \sum \frac{K_i \cdot v}{2g} = \sum \left(\frac{K_i}{2 \cdot g \cdot A^2 \cdot 3600} \right) \cdot Q \quad (\text{II.33})$$

K_i: Coefficient de pertes de charges locales

La hauteur dynamique est la somme des deux pertes

$$H_d = \Delta H_1 + \Delta H_2 \quad (\text{II.34})$$

$$H_d = \left[f \cdot \frac{L}{2 \cdot g \cdot D \cdot A^2 \cdot 3600^2} \cdot Q^2 + \sum \left(\frac{K_i}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \right) \cdot Q \right] \quad (\text{II.35})$$

Alors la relation de hauteur totale il peut être écrite par l'équation suivante :

$$H = Hs + \Delta H1 + \Delta H2 \quad (\text{II.36})$$

Nous obtenons l'équation de 2^{ème} ordre suivante :

$$-H + Hs + \Delta H1 + \Delta H2 = 0 \quad (\text{II.37})$$

La résolution de l'équation (III.35) donne la valeur de débit Q

II.5.3 Variation des caractéristiques :

Une pompe tournant à différente vitesse de rotation a des courbes caractéristique différentes .ces courbes sont reliées par la loi de similitude

Si pour une vitesse de rotation N_1 , les valeurs Q_1, H_1 et P_{P1} sont connues ,pour une nouvelle vitesse N_2 , ces valeur deviendront :

$$Q_2 = (N_1/N_2) \cdot Q_1 \quad (\text{II.38})$$

$$H_2 = (N_1/N_2)^2 \cdot H_1 \quad (\text{II.39})$$

$$P_{P2} = (N_1/N_2)^3 \cdot P_{P1} \quad (\text{II.40})$$

II.5.4 Calcul de puissance

Une pompe est une machine qui fournit de l'énergie à un fluide en vue de son déplacement d'un point à un autre. L'expression générale de la puissance hydraulique est donnée comme suit :

$$P_{yh} = g \cdot Q \cdot H \cdot \rho / 3600 \quad (\text{II.41})$$

P_{yh} : Puissance hydraulique

ρ : La masse volumique de l'eau (=1000Kg au m³).

Dans ce mémoire on a utilisé un couplage direct car il est la méthode la plus simple et la moins chère pour la conversion de l'énergie solaire en énergie hydraulique est d'alimenter un moteur électrique directement à partir d'un générateur photovoltaïque.

II .6 Principe de couplage :

Dans un système électromécanique formé par le GVP-MOTEUR charge mécanique (pompe), le point fonctionnement est déterminé par le relevé des paramètres de ces trois éléments constituant le système.

Ce point de fonctionnement est localisé dans les plans :

Plan électrique I-V (source solaire)

Plan mécanique C_e - ω (pompe)

Plan électromécanique ω -I

La connexion directe GPV-MOTUR à aiment permanent entrainant une pompe est présenté par le schéma suivant:

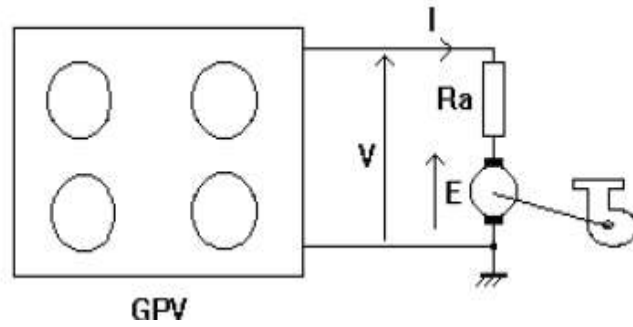


Figure II.15 : Connexion GVP-MOTEUR

Quand le groupe motopompe est alimenté par le GPV on aura les égalités suivantes :

$$V_{GPV} = V_m \quad (\text{II.42})$$

$$I_{GPV} = I_m \quad (\text{II.43})$$

$$C_e = C_r \quad (\text{II.44})$$

II.6.1 Principe de l'étude :

La caractéristique (I-V) du générateur photovoltaïque est décrite par l'équation non linéaire donnée par :

$$V_{GPV} = V_{th} \cdot \log\left(\frac{I_{ph} - I}{I_s} + 1\right) - R_s \cdot I \quad (\text{II.45})$$

Avec : V_{th} , I_{ph} , I_s et R_s , respectivement la tension thermique, le photo-courant, le courant de saturation et la résistance série de module.

La tension V_{th} , la résistance série R_s sont respectivement identifiées par les équations suivantes :

$$V_{th} = n s \cdot k \cdot \frac{T}{q} \quad (\text{II.46})$$

Avec : n , s , k , q , respectivement le nombre des cellules en série dans le module, le facteur d'idéalité ($1 < n < 2$) pour une cellule, constante de Boltzmann, la charge de l'électron

La tension de la motopompe est régie par l'équation :

$$V_m = (K_{sp} \cdot \omega_m)^2 \cdot \sqrt{\frac{K_{tp} \cdot I}{C_r \cdot r^3}} + R_a \cdot I \quad (\text{II.47})$$

K_{pt} et K_{sp} sont constantes du moteur en N.m/A

r : le rapport de vitesse moteur - pompe

Nous remplaçons les équations (III.45) et (III.47) dans la relation (III.42), nous obtenons l'équation suivante :

$$V_{th} \cdot \log\left(\frac{I_{ph} - I}{I_s} + 1\right) - R_s \cdot I = (K_{sp} \cdot \omega_m)^2 \cdot \sqrt{\frac{K_{tp} \cdot I}{C_r \cdot r^3}} + R_a \cdot I \quad (\text{II.48})$$

Alors :

$$F(I) = V_{th} \cdot \log\left(\frac{I_{ph} - I}{I_s} + 1\right) - R_s \cdot I - (K_{sp} \cdot \omega_m)^2 \cdot \sqrt{\frac{K_{tp} \cdot I}{C_r \cdot r^3}} - R_a \cdot I \quad (\text{II.49})$$

II.6.2 Résolution de l'équation F(I) :

La méthode de Newton-Raphson est l'une des méthodes les plus utilisées pour la résolution des équations non linéaires, car la solution de l'équation non linéaire par cette méthode converge rapidement [16].

La méthode de Newton est définie par :

$$\mathbf{X}_{n+1} = \mathbf{X}_n - \frac{f(\mathbf{X}_n)}{f'(\mathbf{X}_n)} \quad (\text{II.50})$$

Où :

$f'(x)$: est la dérivée de la fonction $f(x)=0$.

Avec : x_n : est la valeur présente et x_{n+1} : est la valeur suivante.

II.7 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté des différents modèles (à une seule exponentielle et celui en double exponentielle) caractérisant les cellules photovoltaïques, ce qui nous a permis de modéliser et simuler le modèle en une seule exponentielle (sans la résistance shunt) en fonction de l'éclairement et la température

Aussi nous avons abordé le système Motopompe, en commençant par la modélisation de la MCC en se basant sur les équations électriques et mécaniques qui régissent le comportement de la machine.

Pour la deuxième partie de ce chapitre nous avons reporté le principe et les différents types des pompes, ainsi qu'une modélisation et simulation de la pompe centrifuge en tenant compte des pertes de charges linéaires et singulières.

Chapitre III

Adaptation le système pompage photovoltaïque

III.1.Introduction :

La qualité de l'adaptation de la charge (motopompe) dans les systèmes de pompage photovoltaïque(PV) détermine la qualité des performances du système et le degré de l'utilisation du générateur photovoltaïque. Dans le système adapté la caractéristique de fonctionnement de moto pompe se rapproche, si elle n'est pas confondue avec la courbe de puissance maximale de générateur PV. Dans ce chapitre nous allons étudier par simulation un système de pompage d'eau entraîné par un moteur à courant continu à aimant permanent, notre analyse est basée sur les performances simulées d'une pompe centrifuge et d'un moteur à courant continu à aimant permanent avec des caractéristiques choisis. Les données d'ensoleillement horaires utilisé sont obtenues à partir des données mesurées à l'université d'Ouargla pour une journée ensoleillée dans le moi de mai.

III .2. Dimensionnement du système pompage photovoltaïque

Selon le choix de la puissance de moto- pompe et pour avoir la quantité d'eau pompée pour un éclairage et une température donnée, on peut dimensionner le générateur photovoltaïque par le choix de la meilleure combinaison entre les modules.

III.2.1.Dimensionnement du générateur photovoltaïque

Le choix du nombre N_s , N_p doit garantir en même temps deux exigences :

- Le courant absorbé ne doit pas dépasser 5% du courant nominal genèses sous risque d'une désaimantation des aimants permanents (influence de la réaction d'induit).
- Vu les contraintes mécanique, la vitesse d'entraînement à son tour ne doit pas subir un dépassement considérable de la vitesse nominale.

$$N_s = V_m / V \quad (III.1)$$

$$N_p = I_m / I \quad (III .2)$$

Avec :

- N_s : nombre de module en série.
- N_p : nombre de module en parallèle.
- I_m et I sont les courants de fonctionnement du champ et du module photovoltaïque respectivement.
- V_m et V sont les tensions de fonctionnement du champ et du module photovoltaïque respectivement.

Dans notre travail, nous avons pris les conditions dans la région de Ouargla est $800W / m^2$ comme valeur moyenne pour L'ensoleillement.

Donc le nombre de module en série est $N_s=6$ et le nombre de module en parallèle est $N_p=13$.

III.3.Couplage direct :

Dans cette étude on a utilisé le couplage direct d'un générateur photovoltaïque avec une groupe motopompe qui débite dans un conduit d'eau pour lever l'eau a un réservoir, Pour les systèmes de pompages photovoltaïques fonctionnent au fil du soleil, le stockage de l'eau dans les réservoirs est la solution la plus adoptée par rapport au stockage électrochimique dans les batteries. Ce couplage est illustré dans la figure (III.1) :

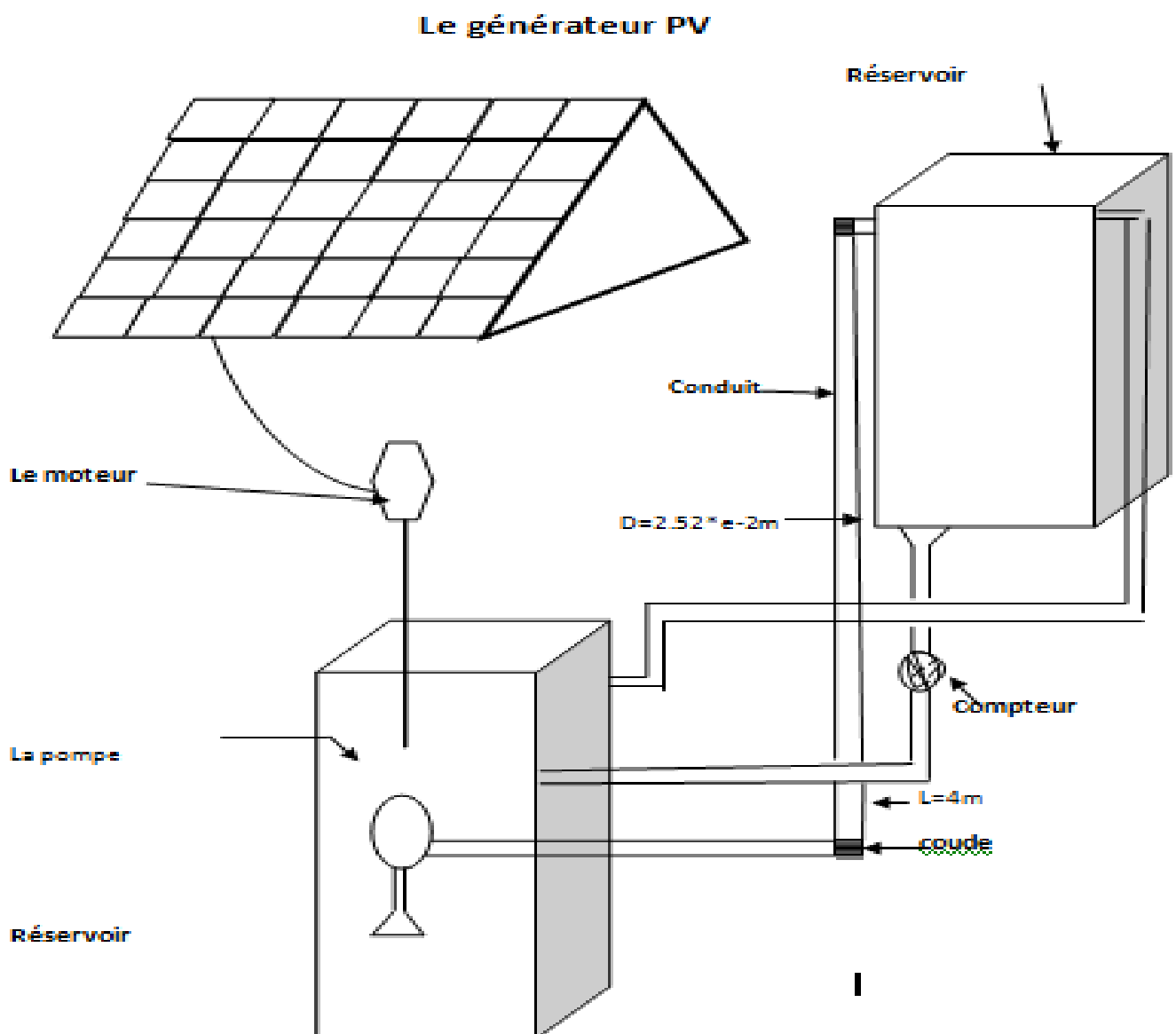


Figure III.1 : Couplage direct d'un système de pompage PV

Le générateur photovoltaïque alimente le MCC mais la puissance de sortie du GPV n'est pas constante parce que elle variée en fonction deux facteurs, l'éclairement (E) et la température (T), pour cela la vitesse de moteur ne peut être stable. Donc le moteur tourne à une vitesse pour chaque valeur de couple (E et T). Pour ajuster la position de la caractéristique (I-V) de groupe motopompe dans le plan de la caractéristique (I-V) de générateur, dans notre étude nous essayons d'adapté le système par la variation de rapport vitesse entre moteur et pompe et voir son effet sur les points de fonctionnement et la performance du système.

La relation du rapport de vitesse entre le moteur et pompe et d'écrite par l'équation suivante :

$$W_p = r * W_m \quad (III.3)$$

$$W_m = (V_m - R * I) / K_{sp} \quad (III.4)$$

r : le rapport de vitesse.

W_p : la vitesse de pompe.

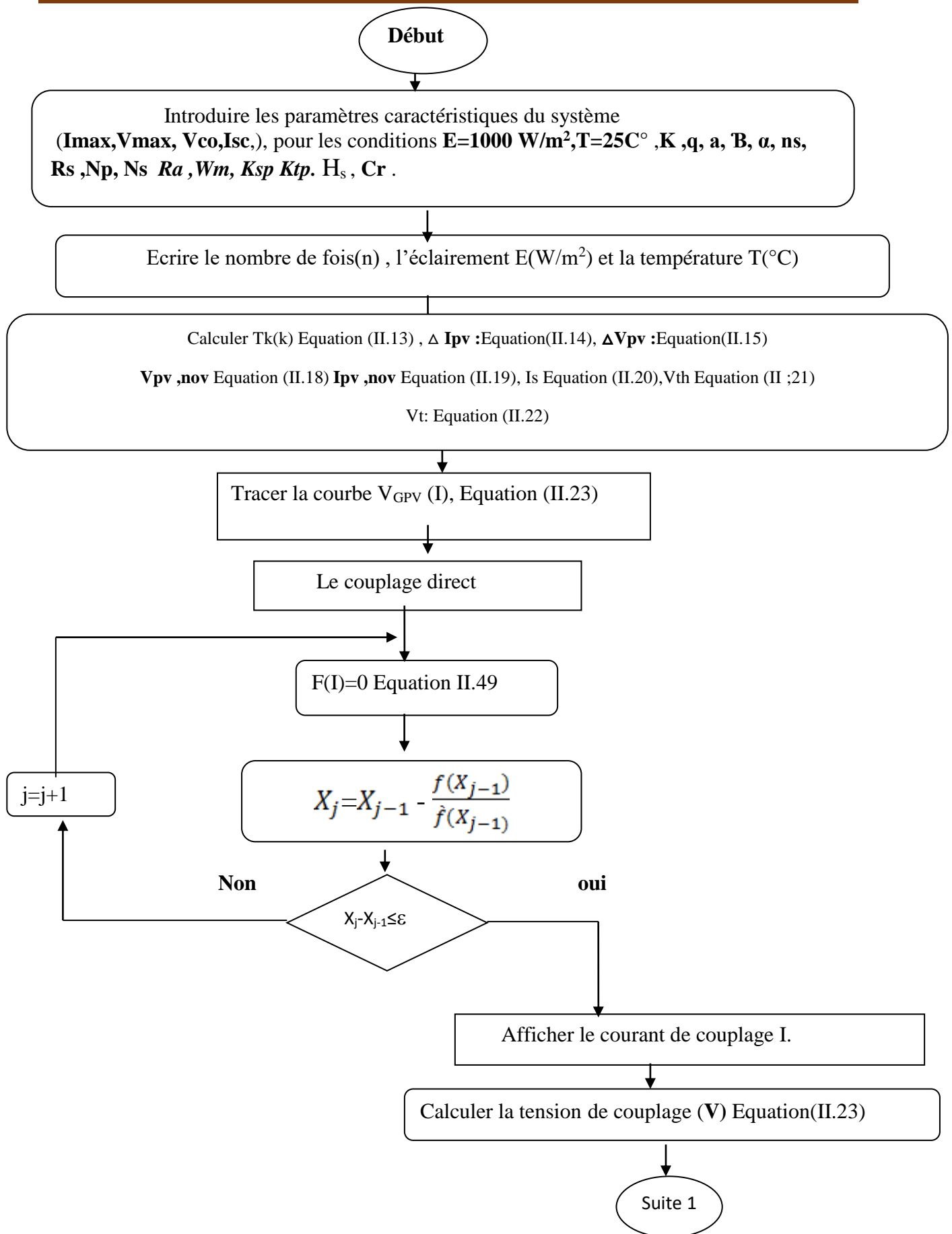
W_m : la vitesse de moteur

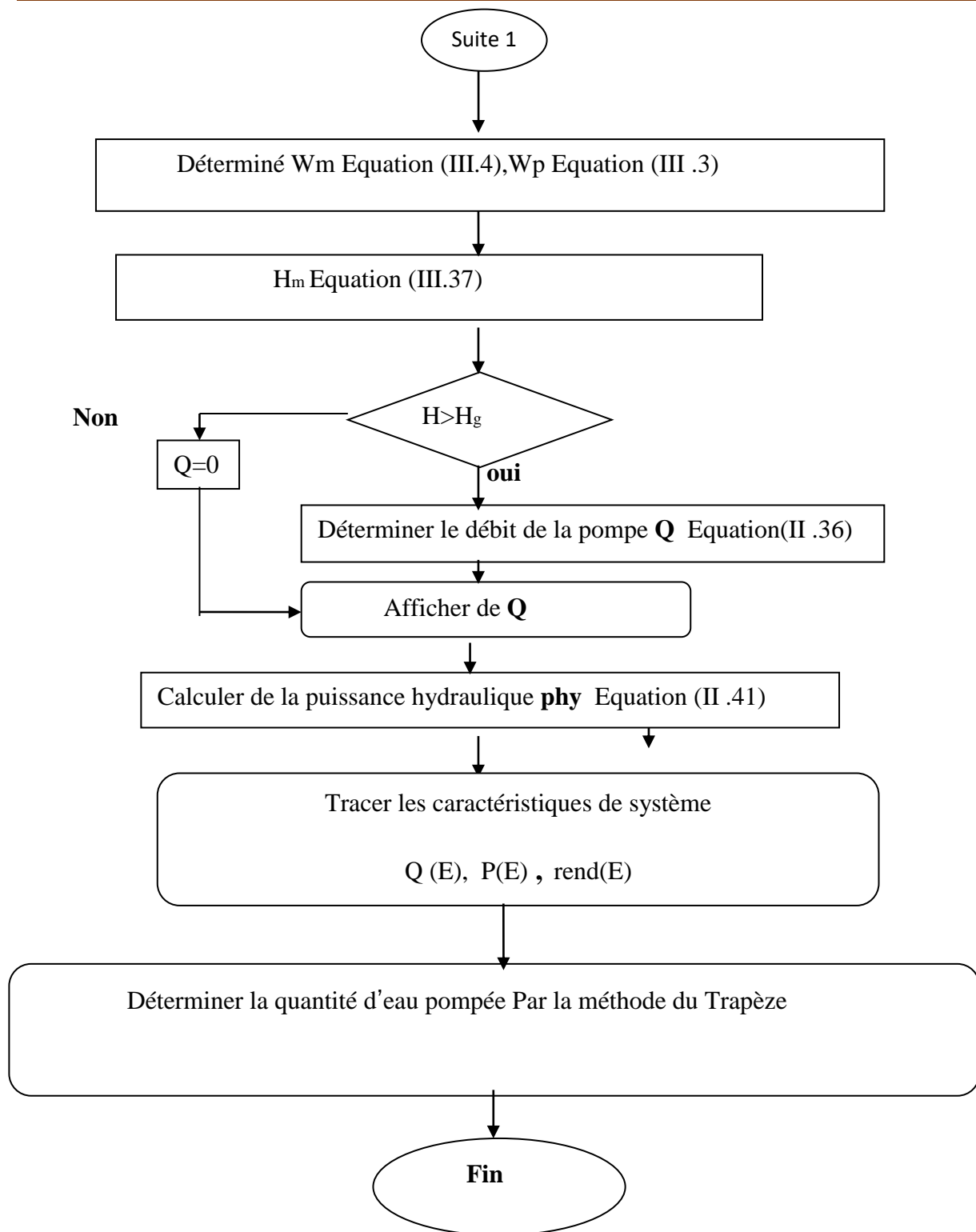
Le point de fonctionnement du système sera obtenu par l'intersection de la caractéristique du GPV, ($I_{GPV} - V_{GPV}$) et la caractéristique ($I_{mot} - V_{mot}$)

Quand le groupe moteur-pompe est alimenté par le GPV le doit vérifier les équations (III.42, III.43, III.44) présentés dans le chapitre III.

3.1. Simulation de couplage direct

Pour simuler le fonctionnement de système nous avons réalisé un organigramme de calcul, figure(III.2),



**Figure III.2** : Organigramme de simulation de couplage directe

III.3.1.Résultats de simulation :

Suite à l'exécution de notre organigramme sous MATLAB, et avec les différentes valeurs de rapport r , $r=1$; $r=1.2$; $r=1.4$; $r=1.6$, $r=1.8$ et $r=1.9$ nous avons trouvé les résultats suivantes.

III. 3.1.1. Caractéristique de couplage direct entre, motopompe et générateur PV :

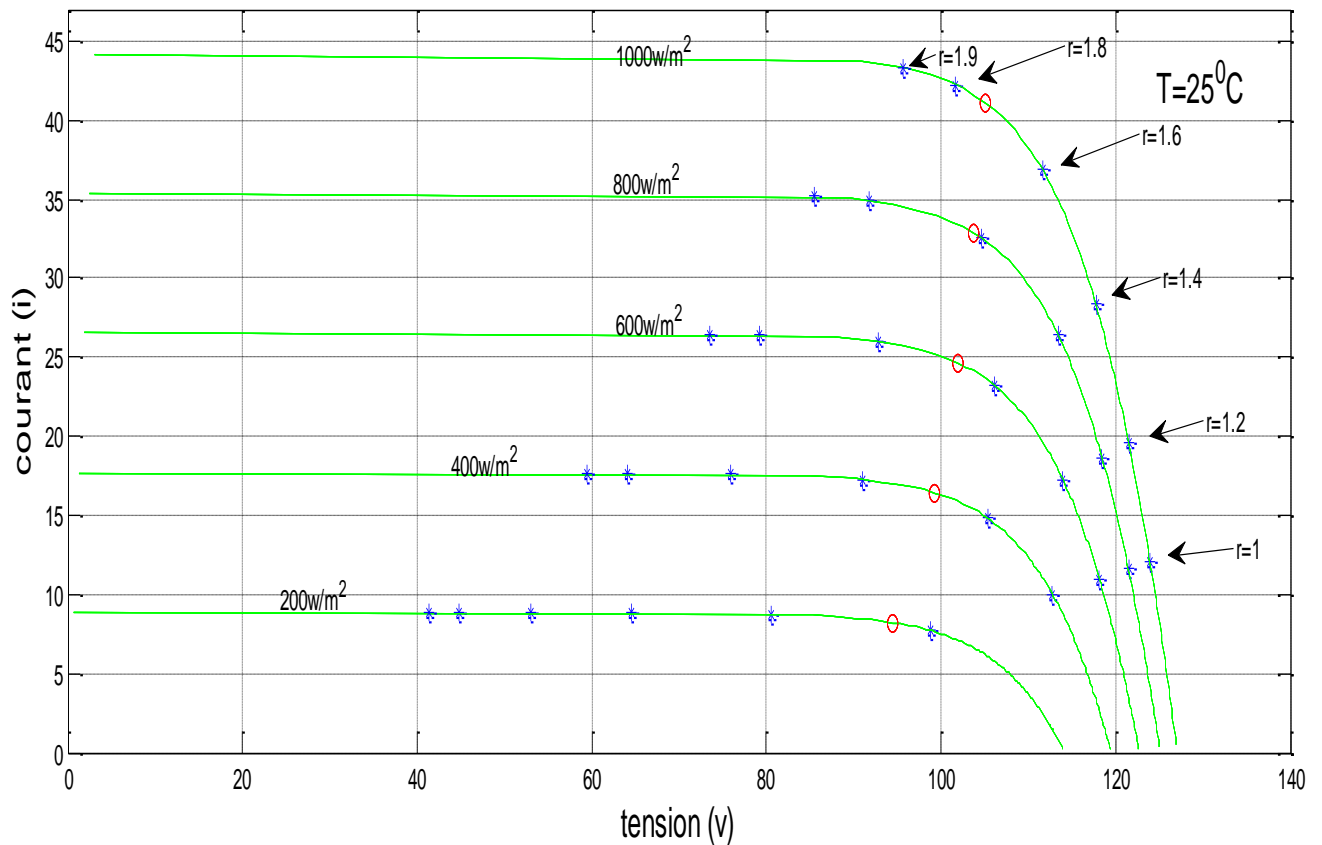


Figure III .3 : caractéristique (tension –courant) de couplage direct.

Dans ce cas, où le rapport égale 1, la figure (III.3) représente la caractéristique du système pompage photovoltaïque en couplage direct pour des différents éclairements et une température constante (25°C), on remarque à travers ces courbes les points de fonctionnements sont loin des points de puissance maximaux pour les valeurs d'éclairements faibles, moyennes et fortes .

Par contre dans les cas $r=1.2$, 1.4 , 1.6 on a remarqué que les points de fonctionnements sont plus proche des points de puissance maximaux et dans le cas $r=1.6$ le générateur photovoltaïque fournit approximativement sa puissance maximale pour l'éclairement $800(\text{w}/\text{m}^2)$.tends que les cas où $r=1.8$ et 1.9 on a remarqué que les points de fonctionnements s'éloignent de nouveau des points de puissance maximaux. Voir la figure (III.3).

III.3.1.2. la puissance absorbée de groupe motopompe :

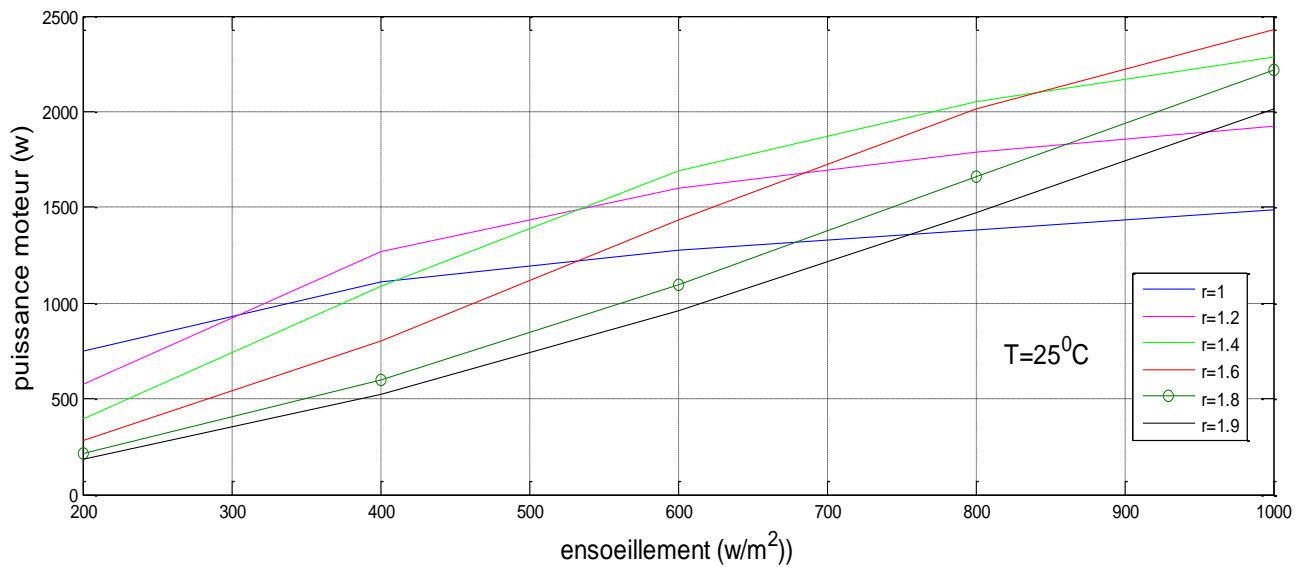


Figure III .4 : la puissance absorbée de groupe motopompe .

La Figure(III.4) représente les caractéristiques (P-E) pour les différentes valeurs de l'éclairement, à une température constante, on remarque que la puissance absorbée augmente avec l'augmentation de l'éclairement. Nous remarquons aussi une amélioration de la valeur absorbée de la puissance quand le rapport de vitesse moteur-pompe augmente mais dans le cas $r=1.8$ ou supérieure la puissance ne suit pas la même progression.

III .3.1.3. le débit de la pompe en fonction de l'eclaircement :

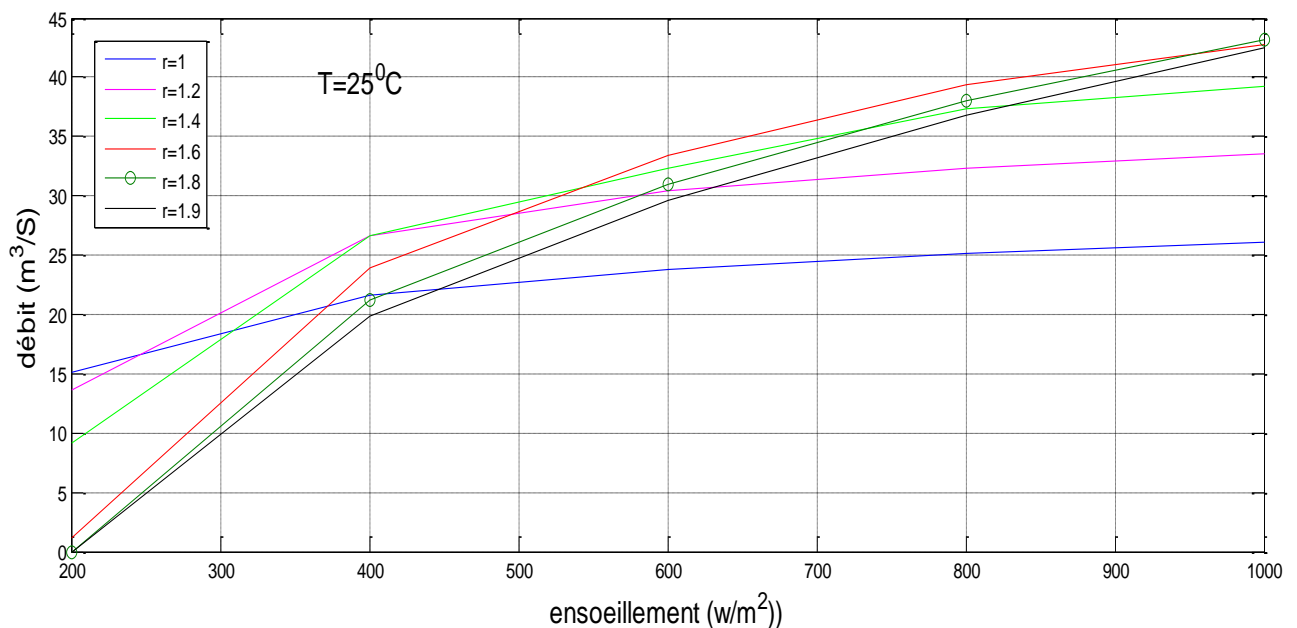


Figure III .5: Courbe du débit d'eau pompé en fonction de l'ensoleillement.

La figure (III.5) représente les caractéristiques de débit en fonction d'ensoleillement quand la puissance du moteur atteint une valeur suffisante pour pomper de l'eau, la pompe commence à refouler l'eau aspirée à partir du réservoir. Le pompage d'eau débute pour un ensoleillement supérieur à 200 W/m² avec les rapports de vitesse $r=1.6$, $r=1.8$ et $r=1.9$.

III.3.1.3. rendement de générateur et de motopompe en fonction de l'éclairement :

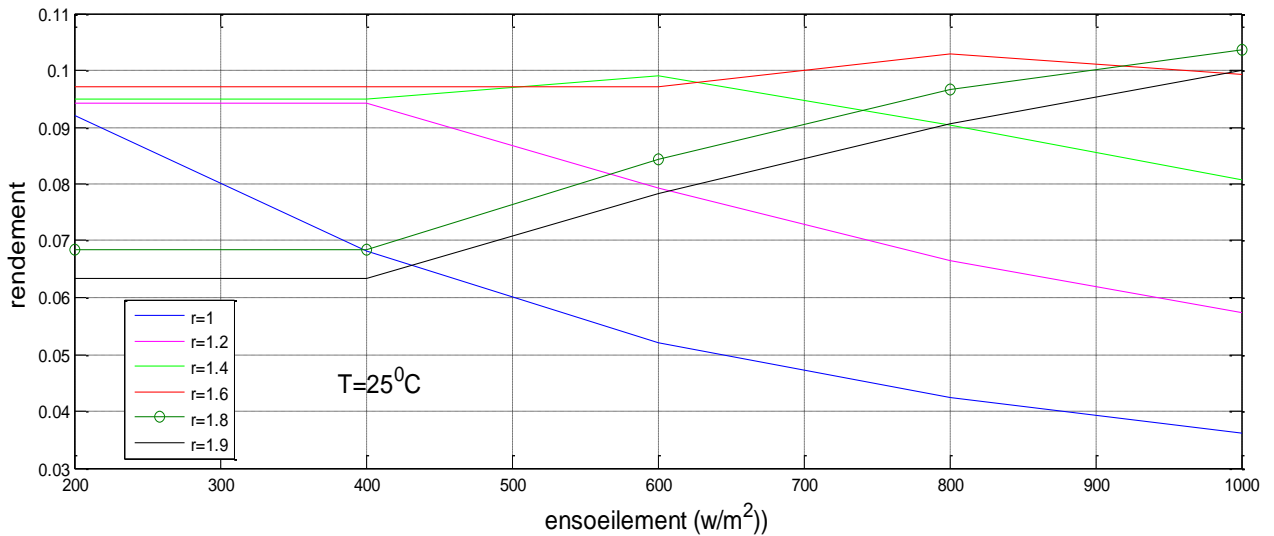


Figure III.6 : Le rendement de générateur en fonction de l'ensoleillement.

La figure (III .6) représente l'allure des caractéristiques du rendement de générateur, nous voyant l'amélioration du Le rendement de générateur avec les éclaircements allant de 400W/m² à 1000W /m² avec toutes les valeurs de rapport de vitesses $r=1.9$, $r=1.8$ pour les autres rapports nous remarquons une diminution sauf pour le cas de $r=1.6$ le rendement est presque constante.

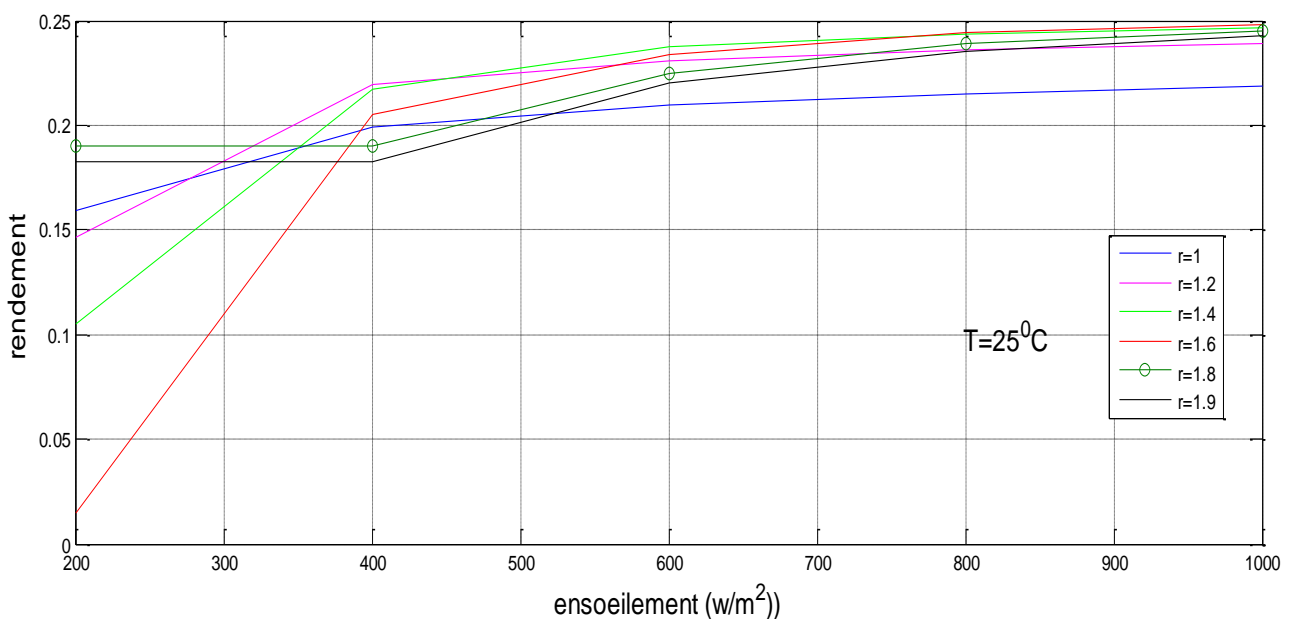


Figure III.7 : Le rendement de motopompe en fonction de l'ensoleillement

Le figure (III.7) représente l'allure des caractéristiques du rendement de moto pompe, on note l'amélioration de ce rendement et qui devient presque constant pour les éclairements allant de 400W/m² à 1000W/m² avec tous les valeurs de rapport de vitesse moteur –pompe atteignant ainsi un maximum avec le rapport $r=1.6$ par rapport au couplage direct avec les autres rapports.

III.3.1.3. Le rendement d'adaptation en fonction de l'éclairement :

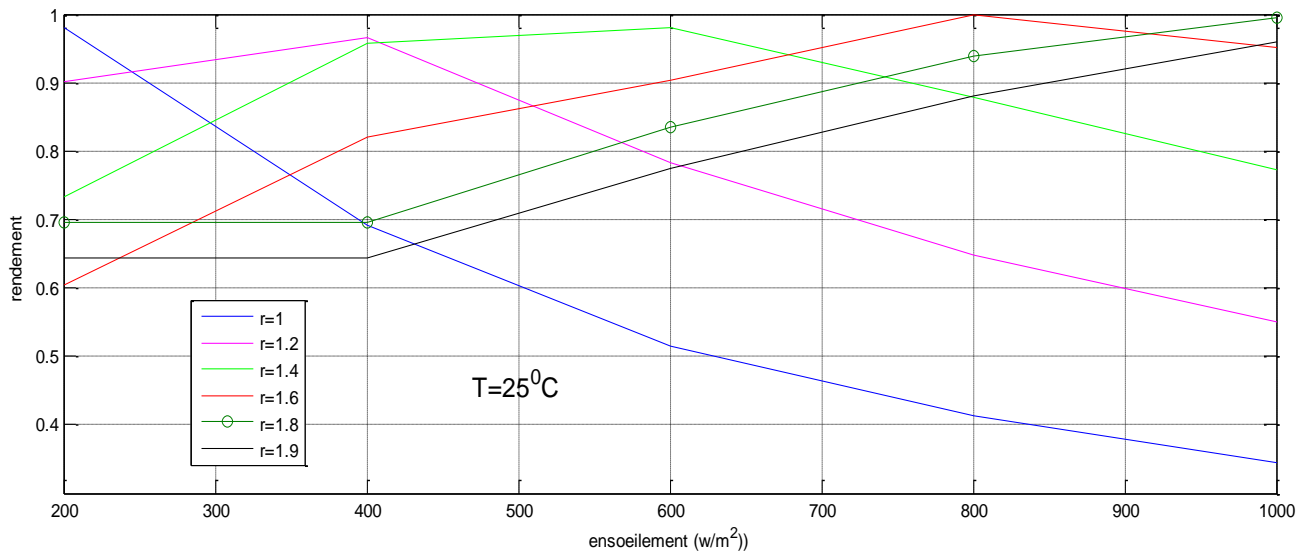


Figure III .8 : Le rendement d'adaptation en fonction de l'ensoleillement.

La figure III.8 représente la caractéristique du rendement d'adaptation il montre le degré d'amélioration de la performance de système, on remarque que l'évolution de cette rendement suit presque la même allure que celle de rendement de générateur.

III. 3.2 Exemple d'application à Ouargla :

Dans cette partie nous avons étudié et simulé le couplage direct le système pompage photovoltaïque par l'utilisation des valeurs réels expérimentales des éclairements et des températures mesurés dans le site de Ouargla, les valeurs ont été prises en une journée ensoleillée dans le mois de mai.

Les figures (III.9 ,III.10) montrent les valeurs de luminosité et les températures quotidiennes à la surface des panneaux solaires

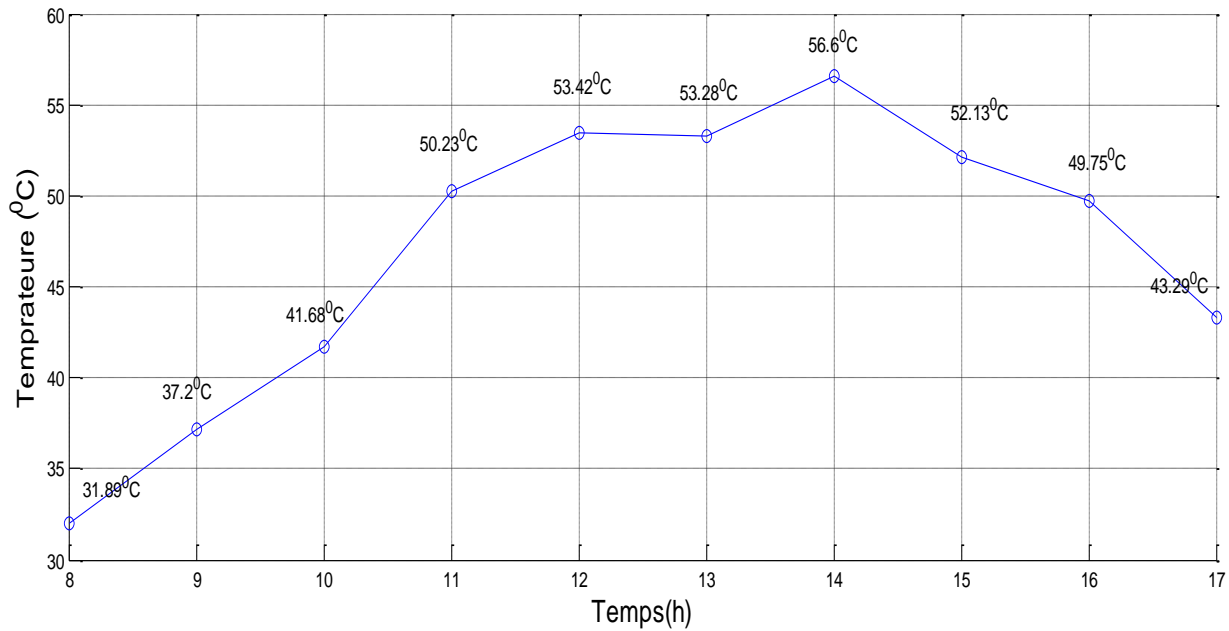


Figure III.9 : L'allure de la température T pour une journée.

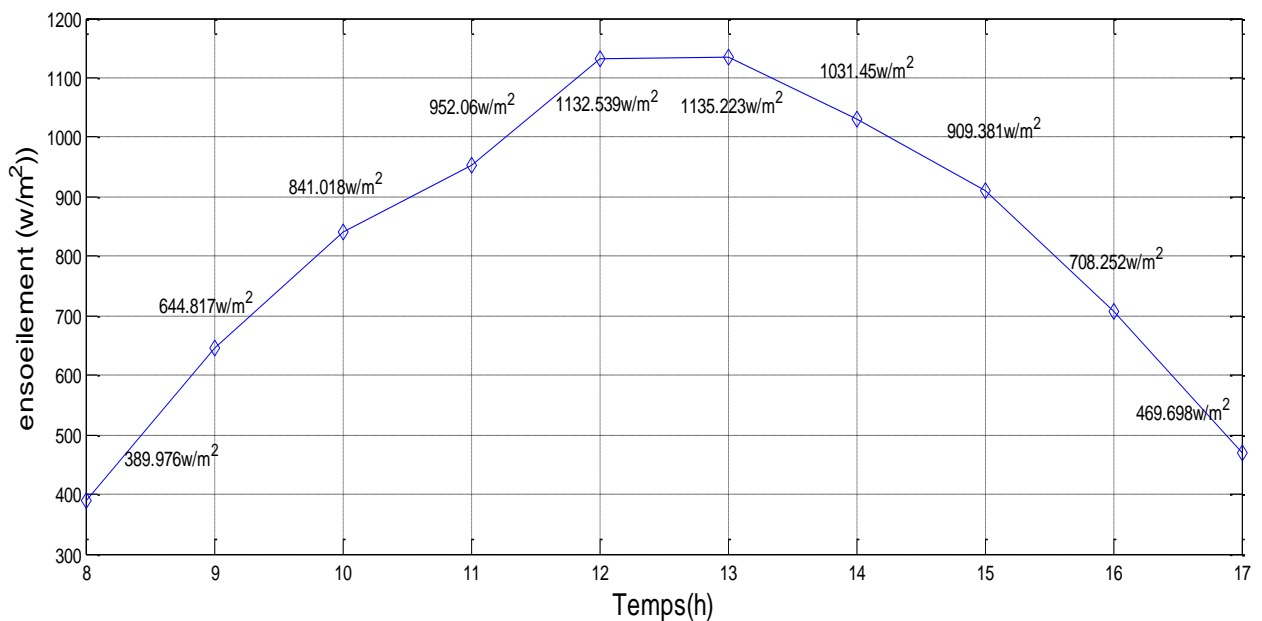


Figure III.10 : L'allure de l'ensoleillement E pour une journée.

III. 3.3. Résultats de simulation

Suit a l'exécution de notre organigramme sous Matlab avec l'utilisation des données de températures et des éclairements précédentes (fig III.9, III.10), nous avons trouvé les résultats suivants :

1. Caractéristiques tension courant de couplage direct :

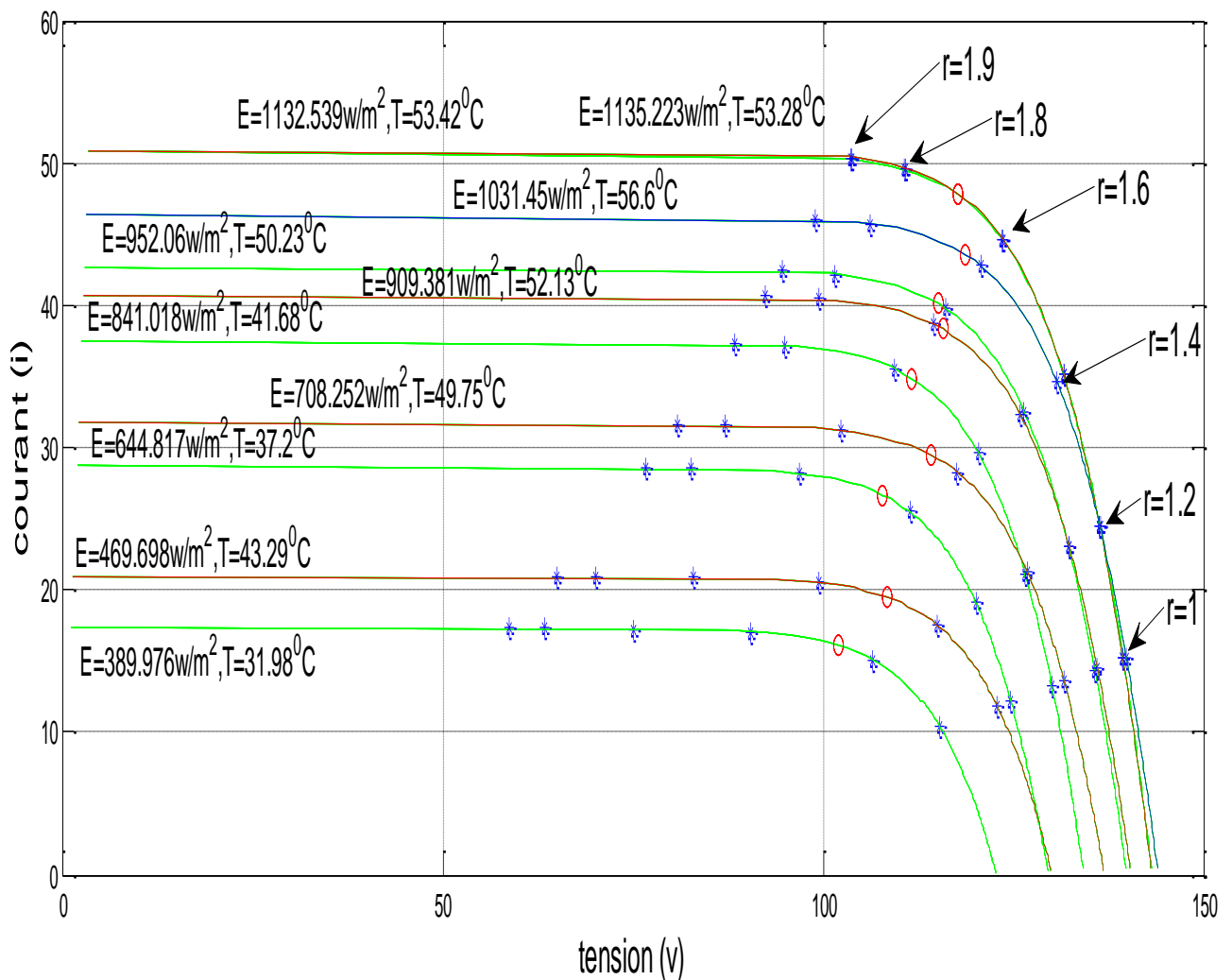


Figure III .11: caractéristique tension –courant de couplage direct.

Les caractéristiques courant-tension d'un générateur photovoltaïque sont non linéaires et dépendent de l'ensoleillement et la température des cellules solaires. Les points d'intersections entre les caractéristiques courant-tension du générateur photovoltaïque et la caractéristique de la charge représente les points de fonctionnement. Comme on le constate sur la figure III.11, ces points sont écartés des points maximum dans la plus part du temps

On remarque aussi que le générateur photovoltaïque fournit approximativement sa puissance maximale pour un ensoleillement supérieur à 800w/m² dans le cas de $r = 1.6$.

2. La puissance absorbée par la motopompe

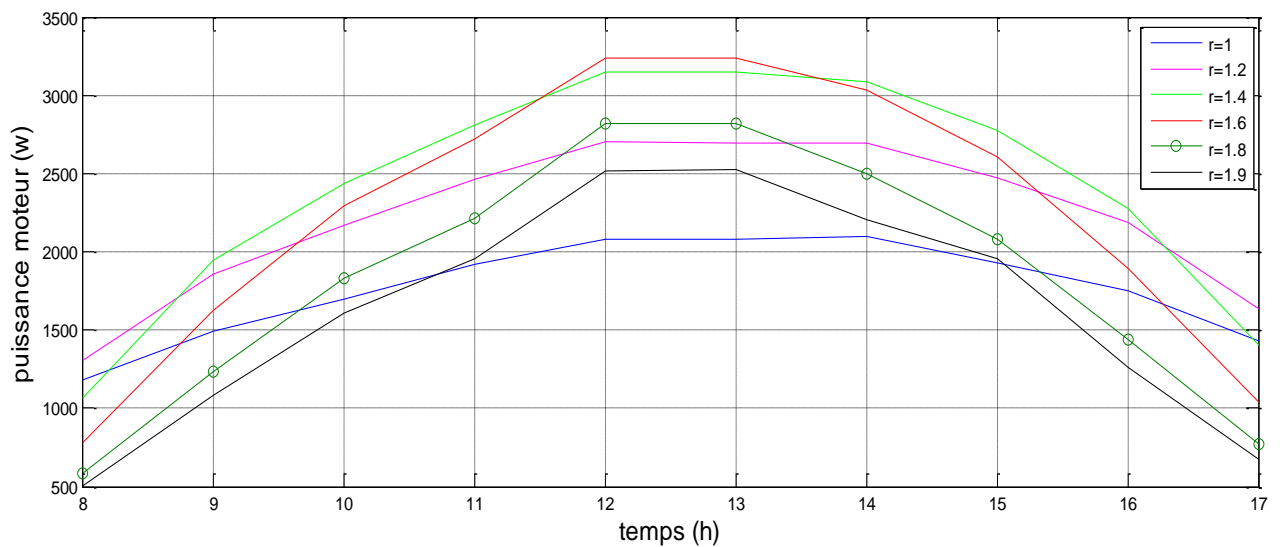


Figure III.12 : la caractéristique de puissance absorbée en fonction de temps.

La Figure (III.12) présente la puissance extraite du générateur PV, on remarque que cette puissance évolue au cours de la journée et prend des valeurs meilleures avec le rapport $r=1.6$ entre 12h et 13h.

3. Le débit pompé

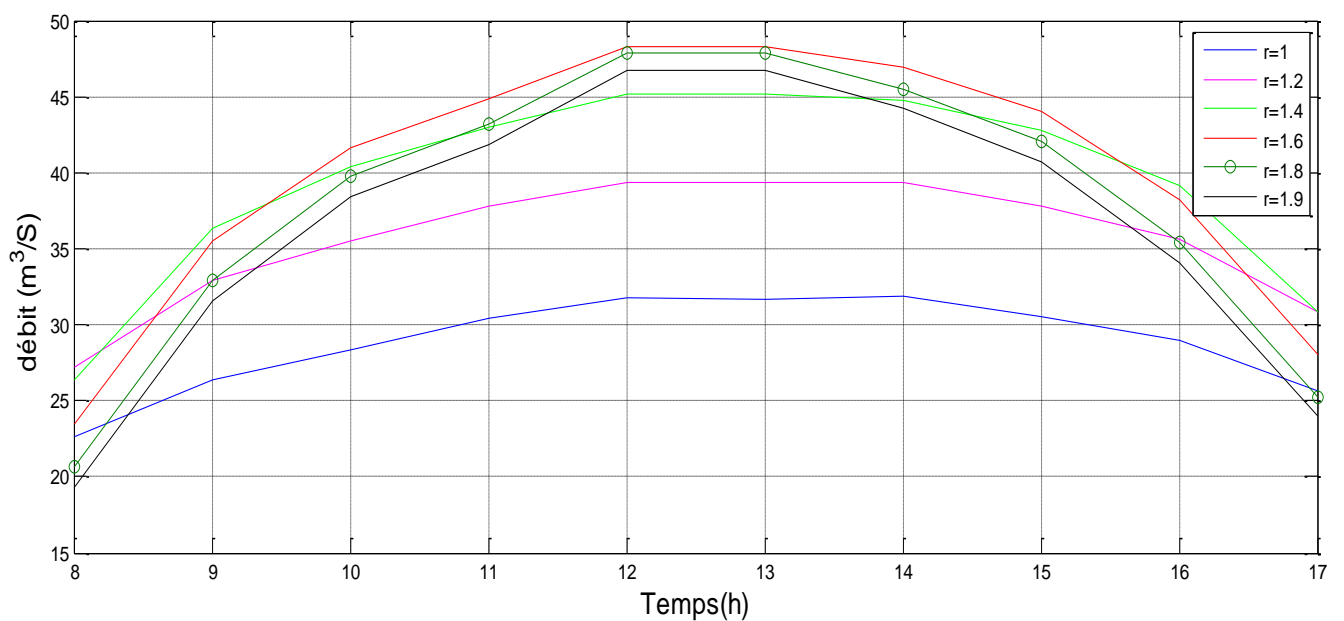


Figure III.13: Courbe du débit d'eau pompé en fonction de temps.

La figure III.13 montre les valeurs de débit d'eau en fonction de temps nous remarquons que ce débit prend des valeurs meilleures avec le rapport $r=1.6$ entre 9h30 et 15h30.

4. Rendement de générateur

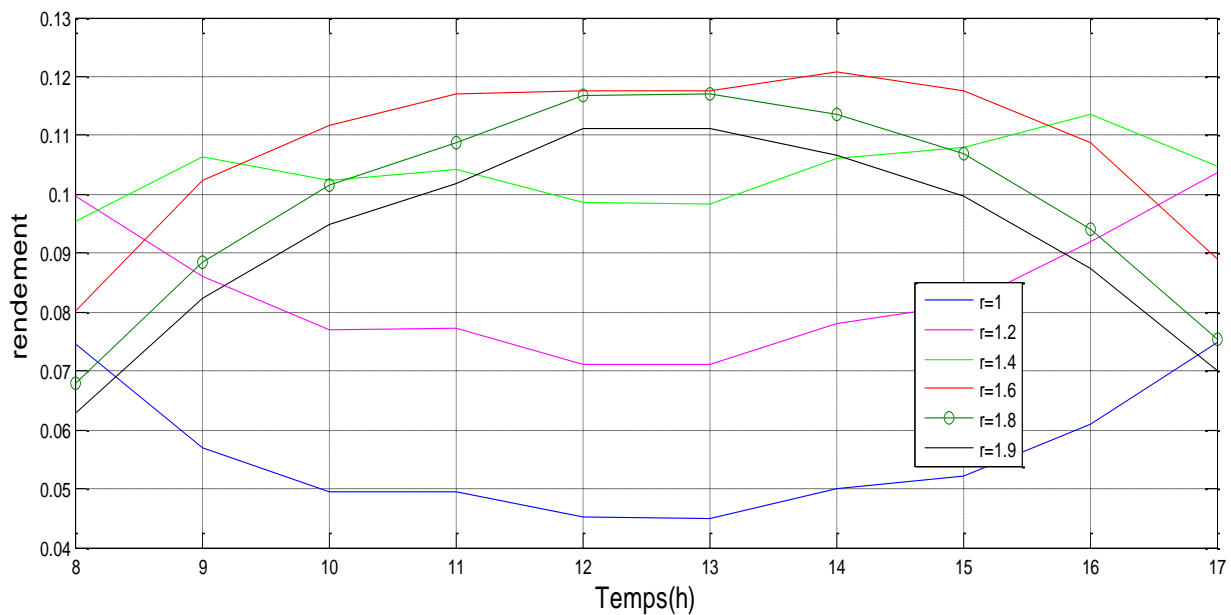


Figure III.14 : Le rendement de générateur en fonction de temps.

5. Rendement d'adaptation

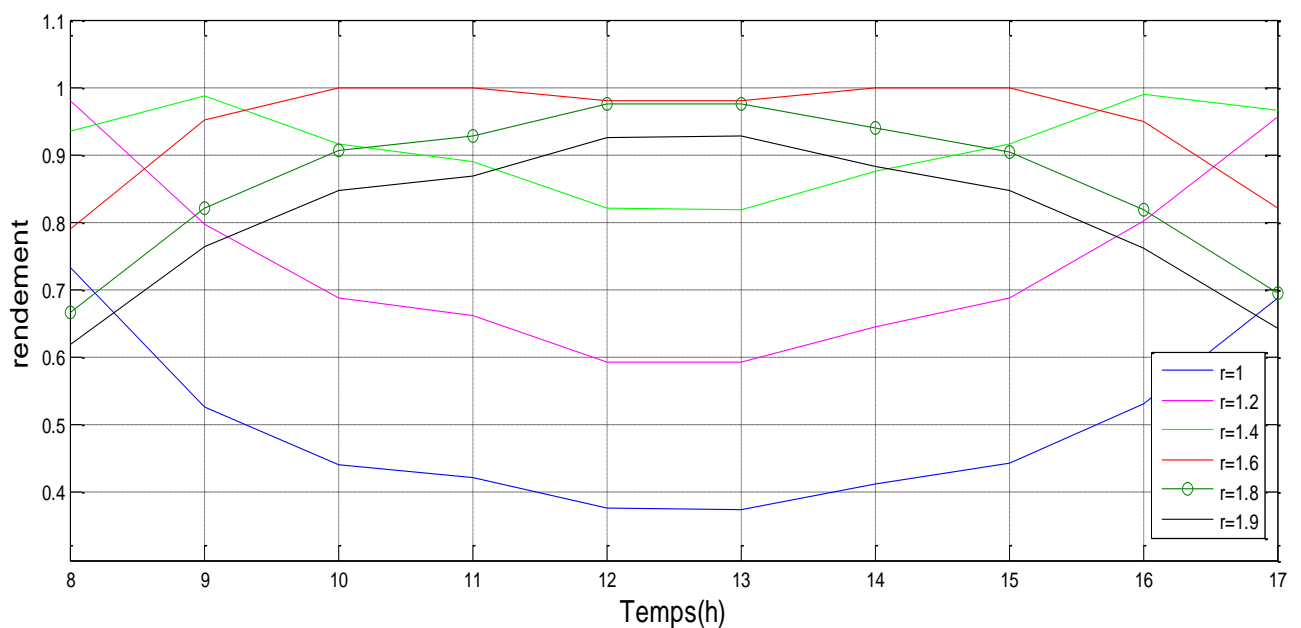


Figure III.15 : Le rendement d'adaptation en fonction de temps.

Les figures (III.14) (III.15) représentent les allures des caractéristiques du rendement d'adaptation et de générateur on remarque que ces rendements prennent des valeurs meilleures entre 9h30 et 15h30 avec le rapport 1.6.

6. Volume d'eau pompé

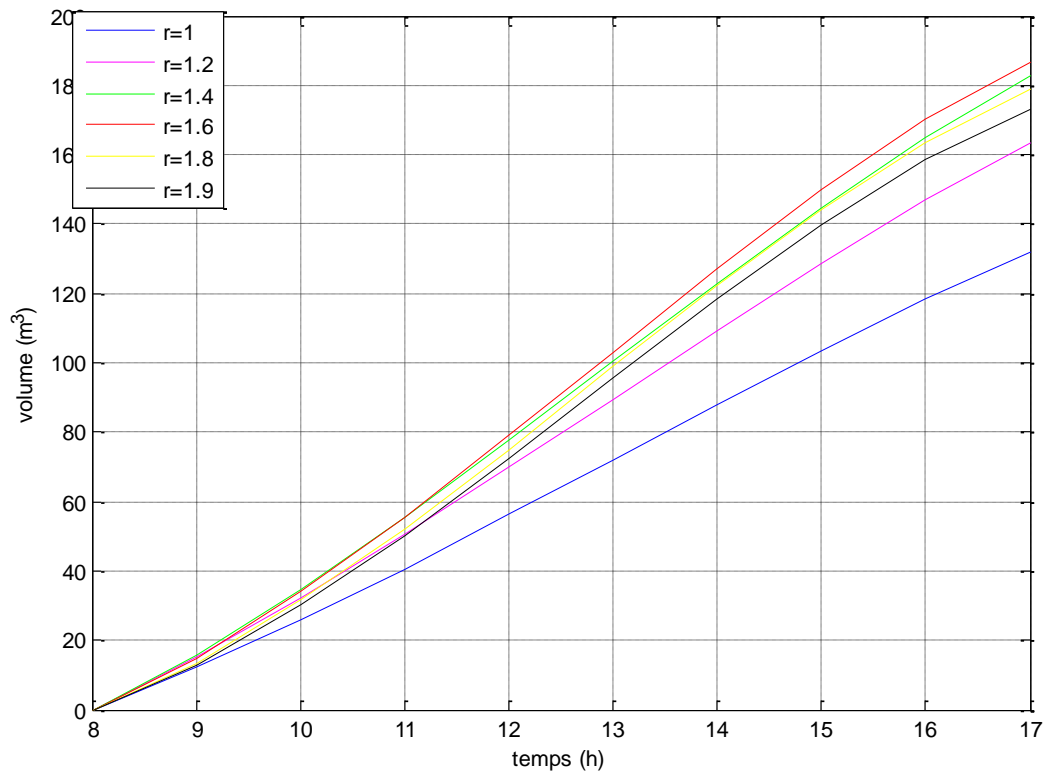


Figure III. 16 : le volume d'eau en fonction de temps.

La Figure (III.16) présente la caractéristique de volume en fonction de temps, on remarque que le meilleur volume de pompage c'est dans le cas $r=1.6$.

III. 4 : Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté une application sur le système de pompage photovoltaïque. Après la détermination du profile de charge en utilisant les données météorologiques du site Ouargla à partir pour une journée ensoleillée les résultats obtenus montrent l'efficacité des variations de vitesses entre la pompe et le moteur, ce critère qui peut être utilisé pour améliorer les performances de l'installation.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le présent travail a porté sur la modélisation et la simulation des systèmes de pompage photovoltaïque. Ces systèmes se présentent comme une solution idéale pour l'alimentation en eau pour les régions isolées.

Dans cette étude, nous avons présenté les modèles mathématiques qui régissent le fonctionnement de chaque composante du système globale à savoir : le générateur photovoltaïque, le groupe motopompe.

Afin d'avoir un meilleur rendement du GPV, nous avons procédé à une étude comparative de changement de rapport de vitesse entre la pompe et le moteur d'entraînement, les résultats obtenus montrent l'efficacité des variations de vitesses entre la pompe et le moteur, ce critère peut être utilisé pour améliorer les performances de l'installation, tout en gardant le système simple et peu encombré et à prix raisonnable.

Le choix de l'augmentation de l'adaptation du système de pompage par une solution mécanique ou avec une autre solution électrique, ce fera par une comparaison de la complexité du système dans les deux cas et le prix économique de chaque solution.

Quant aux perspectives que nous proposons, pour la poursuite de ce modeste travail, nous espérons développer des systèmes électriques simples et ceux-ci le changement de la vitesse automatiquement en fonction de l'évolution de l'éclairement et de la température.

Bibliographiques

- [1] S.Bensmail, «*Contribution à La Modélisation Et à l'Optimisation Des Systèmes Photovoltaïques*», thèse de magister, Université A.MIRA-BEJAIA Faculté de Technologie Département de Génie Electrique, Année 2011/2012.
- [2] BOUZID Kheir eddine « Etude et Réalisation d'un système photovoltaïque à base d'une carte Arduino uno », Mémoire Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016.
- [3] Hallou Solaire, « La fabrication des cellules photovoltaïques », fiche technique.
- [4] J. Royer, T. Djiako, E. Schiller, B. Sada Sy, « *Le pompage photovoltaïque* », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, IEPF/Université d'Ottawa/EIER/CREPA. Canada, 1998.
- [5] Anne Labouret, Pascal Cumunel, « Cellules solaires Les bases de l'énergie photovoltaïque » Dunod, 5e édition, 2010.
- [6] Florent Monestier, « *Amélioration de l'absorption photonique dans les cellules photovoltaïques organiques* », thèse de Doctorat, Université de Marseille, Avr 2008.
- [7] S. Singer, and A. Braunstein, « *A general model of maximum power point tracking* » Proceedings of MELECON 85, IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, Madrid, Spain pp 147-151.
- [8] D.P. Hohm, M.E. Ropp « *Comparative study of maximum power point tracking algorithms*, *Progress in Photovoltaic Research and Applications vol* » article pp. 47–62 140, Nov 2003.
- [9] : Gernigon Véronique, « *Utilisation de copolymères à blocs dans les cellules solaires organiques morphologie, transport de charges et conversion photovoltaïque* », thèse de Doctorat, Université de Strasbourg, 04/01/2012.
- [10] : DAOUD Amine « Contrôle de la Puissance d'un Générateur Photovoltaïque pour le Pompage Solaire » Thèse de Doctorat Es-Sciences, Université d'Oran Mohamed Boudiaf, 17/09/2013.
- [11] KY. Thierry, S. Maurice « *Système Photovoltaïque : Dimensionnement pour pompage d'eau, pour une irrigation goutte-à-goutte* » ; Mémoire de DEA en Physique Appliquée
- [12] X. Liu, L.A.C. Lopes « *An improved perturbation and observation maximum power point tracking algorithm for PV arrays* », article, Power Electronics Specialists Conference, 2004, PESC 04.2004, IEEE 35th Annual vol. 3, 2004, pp. 2005–2010.

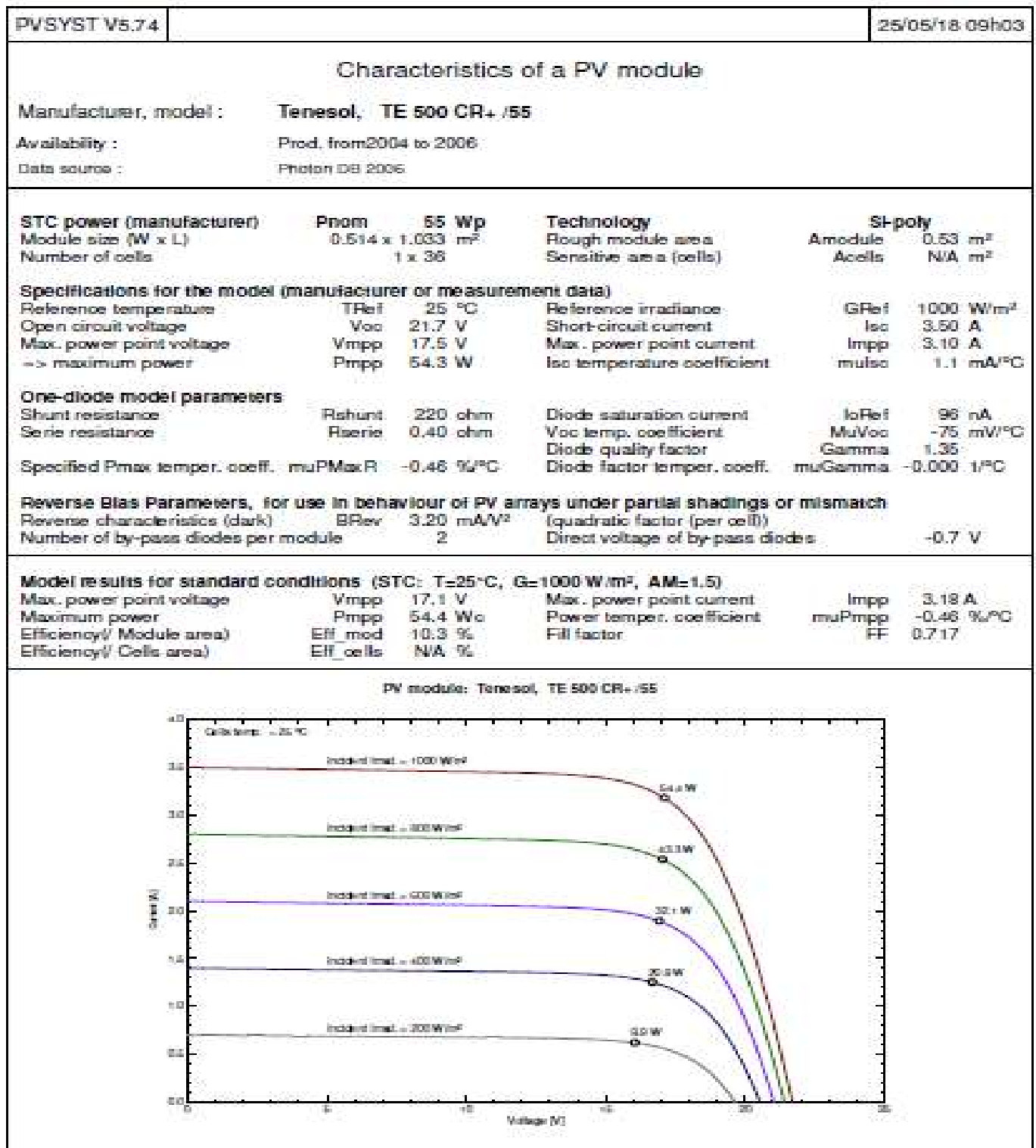
[13] Aoufi saliha, «*Modélisation et commande d'un système de pompage photovoltaïque* », thèse magister, Université ERHAT ABBAS-SETIF-1 Faculté de Technologie Département de Génie Electrique, Sep 2014.

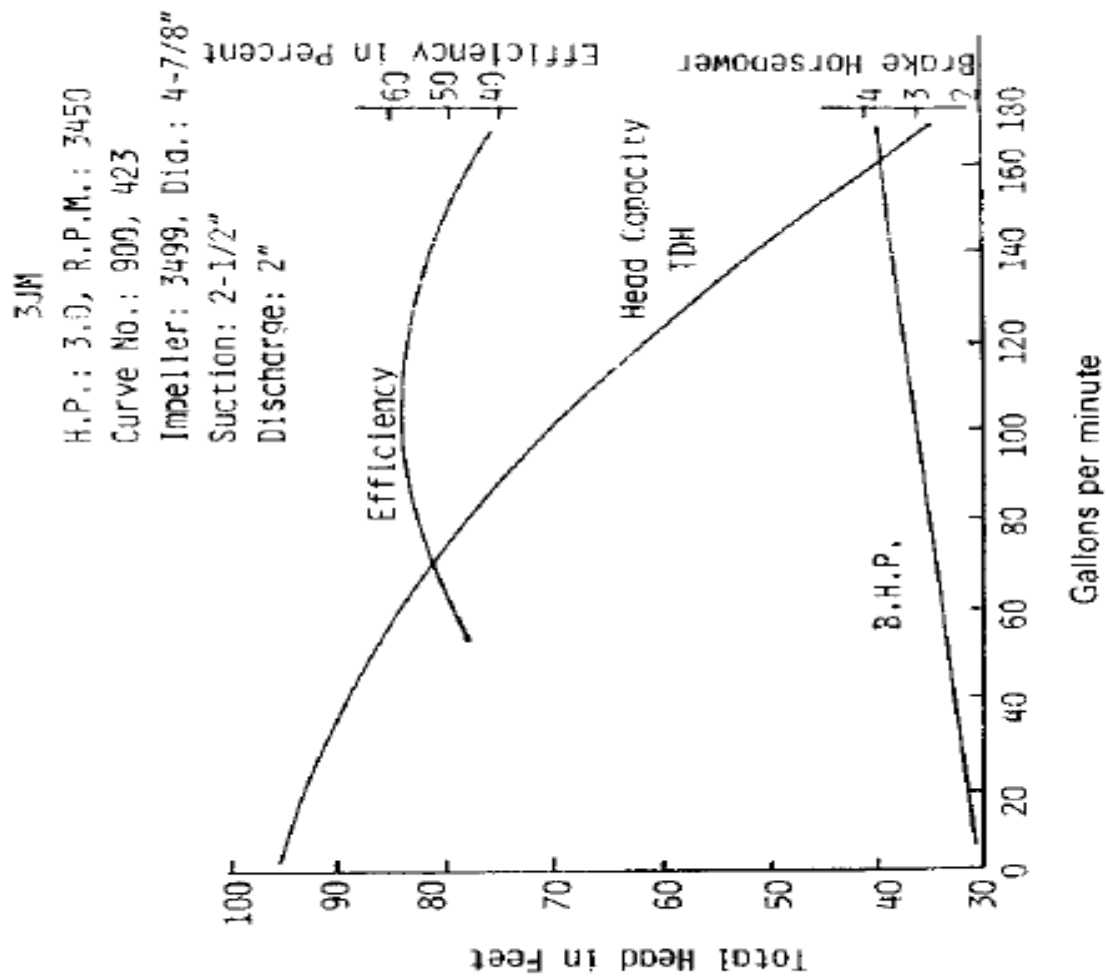
[14] Ammar, Mahjoubi, Fethi, Mechlouch Ridha, Ammar, Ben Brahim «*Dimensionnement d'une installation solaire de pompage d'eau pour l'irrigation goutte à goutte au climat de Médenine Tunisie* », article, Revue des Régions Arides, 2009 .

[15] C. Hsuan Chang, Y. Kai Chen, «*A fuzzy-logic-controlled single-stage converter for PV-powered lighting system applications*», article, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2000.

[16] A. Betka «*Optimisation d'un Système de Pompage Photovoltaïque au Fil du Soleil*», thèse de magister, Université de Biskra, 1997.

Annexe A:





Annexe B:

Caractéristique de moteur DC	Unité	Définition
Ia	32A	courant d'armature de moteur
Va	115V	Tension de moteur
Ra	0.17Ω	résistance de circuit d'armature de moteur
ω_n	361rad/sec	vitesse d'axe de moteur
Jm	0.002N.m	moment d'inertie du groupe
Ksp	0.386	constantes de moteur
Kst	0.458	

Caractéristique de Pompe centrifuge	Unité	Définition
Q	$1.13 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$	Débit d'eau
Hm	6m	Hauteur manométrique totale
ω_n	361rad/sec	vitesse de la pompe centrifuge
Cr	7.21N.m	couple résistant de la pompe centrifuge
Hg	2.1m	hauteur géométrique
g	9,81m ² / s	Accélération de la pesanteur
ρ	1000kg /m ³	Masse volumique de l'eau
P_{ab}	2610w	puissance absorbée de la pompe centrifuge
D	$2.52 \cdot 10^{-2} \text{ m}$	Le diametre de la conduite
L	4m	La longueur totale de conduites

Tableaux:les valeurs de (ki) dans une installation hydraulique

Accessoires	ki
Coude à 90°	1.13
Convergent	0.166
Divergent	0.166

