

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 :

DEKHIL Amar et SIBOUKEUR Abderrezzak

Thème:

Etude d'un système de pompage photovoltaïque

Soutenu publiquement

Le:

Devant le jury :

M^r LOUAZEN Lakhdar

MCA

Président

UKM Ouargla

M^r DJAFOUR Ahmed

PROFESSEUR

Encadreur/rapporteur

UKM Ouargla

M^r BENMIR Abdelkader

MCB

Examineur

UKM Ouargla

M^rGOUGUI Abdelmoumen

DOCTEUR

CO-ENCADREUR

UKM Ouargla

Année universitaire 2021/2022

Remerciements

A l'occasion de la réduction de ce mémoire de fin d'études je tiens particulièrement à remercier ALLAH de m'avoir accordé la foi, le courage, la volonté pour élaborer ce travail.

En guise de reconnaissance, je tiens à témoigner mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribués de près ou de loin au bon déroulement de mon stage de fin d'étude et à l'élaboration de ce modeste travail.

Nos vifs remerciements et nos profondes gratitudes s'adressent à tous nos professeurs du département de génie Électrique et évidemment toute notre infinie gratitude va à notre encadreur le professeur DJAFOUR Ahmed et à notre Co-encadreur le docteur GOUGUI Abdelmoumen pour leurs encadrements et leurs conseils précieux.

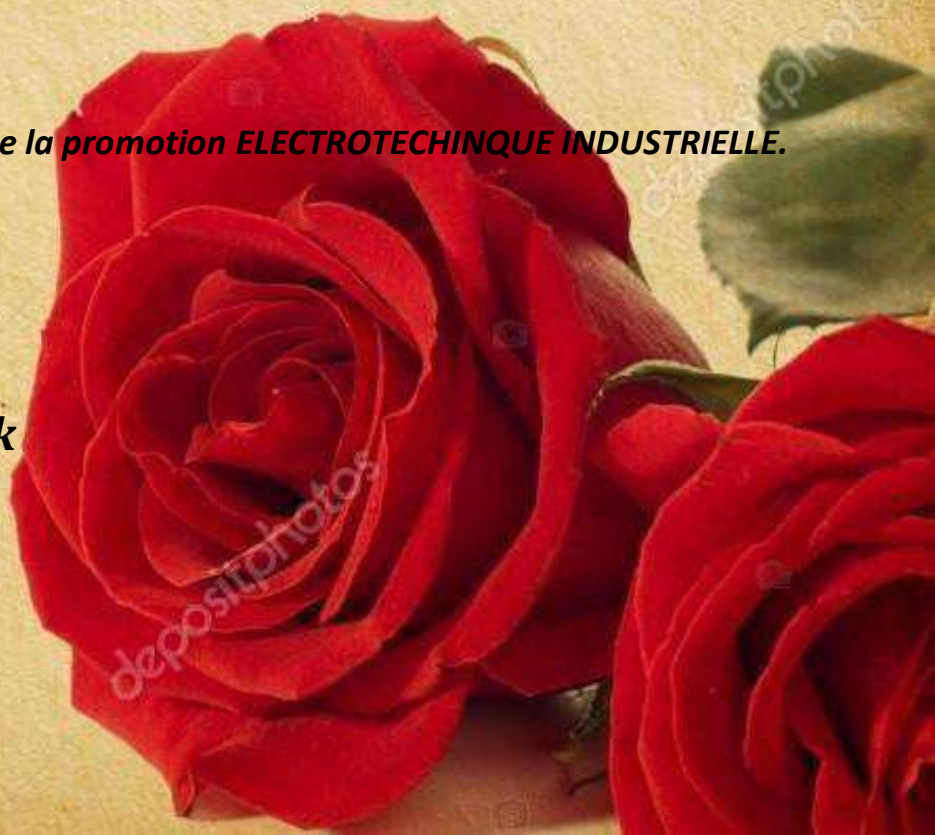
Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.

Dans l'impossibilité de citer tous les noms, nos sincères remerciements vont à tous ceux et celles, qui de près ou de loin, ont permis par leurs conseils et leurs compétences la réalisation de ce mémoire.

En particulier tous nos collègues de la promotion ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE.

SIBOUKEUR Abderrezzak

DEKHIL Amar



Dédicaces

Je dédie ce travail:

À ma mère, à ma mère, à ma mère

À mon père

À mes frères et mes sœurs

À toute la famille SIBOUKEUR

À mes amis et collègues

À tous mes enseignants et enseignantes depuis le primaire

À toute âme modeste ayant soif de science et de savoir

SIBOUKEUR Abderrezzak



Dédicaces

Je dédie ce travail:

À ma mère, à ma mère, à ma mère

À mon père

À mes frères et mes sœurs

À toute la famille DEKHIL

À mes amis et collègues

À tous mes enseignants et enseignantes depuis le primaire

À toute âme modeste ayant soif de science et de savoir

DEKHIL Amar



Résumé

المخلص :

الماء والطاقة عنصران من أهم العناصر الأساسية وضرورية للحياة. تتطلب الحاجة المتزايدة للطاقة ، جنبًا إلى جنب مع الاستنزاف الحتمي لمصادر الطاقة التقليدية لأجل هذا البحث عن مصادر طاقة بديلة ، مثل الطاقات المتجددة. نظرًا لمزاياها العديدة تستخدم الطاقة الشمسية على نطاق واسع.

العمل المقدم في هذه المذكرة هو نتيجة دراسة تقنية- اقتصادية وتحديد ابعاد لنظام ضخ كهروضوئي مخصص للسقي في منطقة صحراوية (ورقلة).

لتحقيق هذا العمل ، قمنا باختيار تكوين نظام الضخ الكهروضوئي يعمل خلال تواجد الشمس ويقوم بتخزين المياه في الخزان مما يضمن إمدادات شبكة السقي في الاوقات الليلية ، بعد هذا قمنا بتقدير تكاليف هذا التركيب .ثم مقارنة مع تكاليف الشبكة الكهربائية.

فوجدنا أن استخدام هذه الطاقة الناتجة من النظام الكهروضوئي لهذه المناطق هو مكسب لتنمية قطاع الزراعة في الصحراء الجزائرية.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية ، الضخ الكهروضوئية ، تحديد الابعاد ، تقدير التكلفة ، السقي.

Résumé :

L'eau et l'énergie sont deux des éléments les plus fondamentaux et les plus nécessaires à la vie. Le besoin croissant d'énergie, combiné à l'inévitable épuisement des sources d'énergie traditionnelles, nécessite la recherche de sources d'énergie alternatives, telles que les énergies renouvelables. En raison de ses nombreux avantages, l'énergie solaire est largement utilisée.

Le travail présenté dans ce mémoire est le résultat d'une étude de technico-économique et dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque destiné à l'irrigation dans une région saharienne (Ouargla).

Pour la réalisation de ce travail nous avons choisi la configuration de système de pompage photovoltaïque au fil du soleil, avec le stockage de l'eau.

Puis nous avons estimé les coûts totale de notre installation, suivi d'une comparaison avec le réseau électrique.

Enfinement à partir de ce travail nous avons constaté que l'utilisation de cette énergie obtenu par le système photovoltaïque pour ces zones est un gain pour le développement agriculture

Mots clés : Energie solaire, pompage photovoltaïque, dimensionnement, évaluation de cout, l'irrigation.

Summary:

Water and energy are two of the most fundamental and necessary elements for life. The growing need for energy, combined with the inevitable depletion of traditional energy sources, requires the search for alternative energy sources, such as renewable energies. Due to its many advantages, solar energy is widely used.

The presented work in this dissertation is the result of a technical-economic study and sizing of a photovoltaic pumping system intended for irrigation in a Saharan region (Ouargla).

For the realization of this work we chose the configuration of photovoltaic pumping system during the sun, with the storage of water.

Then we estimated the total costs of our installation, followed by a comparison with the electrical network.

Finally from this work we found that the use of this energy obtained by the photovoltaic system for these areas is a gain for agricultural development.

Keywords: Solar energy, photovoltaic pumping, sizing, cost evaluation, irrigation.

Sommaire

Sommaire

REMERCIEMENTS	
DÉDICACES	
RÉSUMÉ	
SOMMAIRE	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES ABRÉVIATIONS	
INTRODUCTION GENERALE	
CHAPITRE I : SYSTEME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE	
I.1 Introduction	3
I.2 Définition de l'énergie renouvelable	
I.3 Energie Solaire Photovoltaïque	
I.3.1 Définition	
I.4 Principe de conversion photovoltaïque	4
I.5 Cellule photovoltaïque	
I.6 Rendement d'une cellule solaire	5
I.6.1 Cellules monocristallines	
I.6.2 Cellules poly cristallines	
I.6.3 Cellules amorphes	
I.7 Module photovoltaïque	7
I.8 Champ Photovoltaïque	
I.9 Système Photovoltaïque	
I.10 Applications des systèmes photovoltaïques	8
I.10.1 Systèmes autonomes	
I.10.2 Système hybrides	
I.10.3 Systèmes couplés au réseau	9
I.10.4 Systèmes fonctionnant au fil du soleil (Pompage Photovoltaïque)	
I. 11 Moteur d'entraînement	10
I.12 Pompe de refoulement	
I.13 Circuit hydraulique	11
I.14 Stockage d'énergie	
I.14.1 Stockage sous forme d'énergie mécanique	

Sommaire

I.14.2 Stockage sous forme d'énergie électrochimique	
I.14.3 Stockage sous forme électromagnétique	12
I. 15 Conclusion	13
CHAPITRE II: MODÉLISATION DE SYSTEME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE	
II.1 Introduction	
II.2 Modèle électrique d'un générateur photovoltaïque	15
II.2.1 Modèle idéal d'une cellule photovoltaïque	
II.2.2 Modèle réelle d'une cellule photovoltaïque	16
II.3 Résultats de simulation	
II.3.1 Caractéristiques des panneaux	19
II.3.2 Simulation du module PV	20
II.3.2.1 Influence de l'éclairement	21
II.3.2.1.1 Effet de l'éclairement sur les caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$	
II.3.2.2 Influence de la température T_c	22
II.3 Rendement	
II.4 Facteur de forme	23
II.5 Différents types des pompes utilisent dans système pompage photovoltaïque	
II.5.1 Types de pompes	24
II.5.2 Caractéristiques d'une pompe volumétrique	
II.5.2.1 Caractéristiques débit- vitesse	25
II.5.2.2 Caractéristique puissance- vitesse	
II.5.2.3 Caractéristiques débit- hauteur	
II.6 Pompe centrifuge	26
II.6.1 Principe de fonctionnement	
II.6.2 Constitution de la pompe centrifuge	27
II.7 Modélisation de la pompe centrifuge	
II.7.1 Pertes de charges linéaires	28
II.7.2 Pertes de charges singulières (locales)	
II.7.3 Variation des caractéristiques	
II.7.3.1 Caractéristique Hauteur-Débit $H(Q)$	29
II.7.3.2 Caractéristique du couple	

Sommaire

II.7.3.3 Caractéristique de la puissance	31	
II.7.4 Calcul de puissance	32	
II.8 Conception de différent système de pompage photovoltaïque		
II.9 Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque	34	
II.9.1 Méthode simple de dimensionnement		
II.9.1.1 Evaluation des besoins en eau		
II.9.1.2 Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire		34
II.9.1.3 Détermination de l'énergie solaire disponible		37
II.9.1.4 Inclinaison du générateur photovoltaïque		
II.9.1.5 Mois de dimensionnement		
II.9.1.6 Dimensionnement du générateur photovoltaïque		38
II.9.1.7 Dimensionnement du moteur		39
II.9.1.8 Dimensionnement de la pompe immergée		
II.9.1.9 Dimensionnement des tuyauteries		40
II.10 Méthode graphique		41
II.11 Conclusion		43
<i>CHAPITRE III: DIMENSIONNEMENT DE SYSTEME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE AU FIL DU SOLEIL</i>		
III.1 Introduction	45	
III.2 Situation géographique		
III.3 Milieu physique		
III.3.1 Climatologie	45	
III.3.1.1 Température		
III.3.1.2 Précipitations	46	
III.3.1.3 Vents		
III.3.1.4 Evaporation	47	
III.4 Caractéristiques techniques de forage utilisé dans la région d'Ouargla		
III.5 Rayonnement solaire	47	
III.6 Dimensionnement du système de pompage photovoltaïque au fil du soleil	48	
III.6.1 Méthodes de dimensionnement		
III.6.1.1 Méthode du mois le plus défavorable		
III.6.1.2 Méthode de la moyenne annuelle		
III.6.1.3 Méthode mois par mois		

Sommaire

III.6. Composant du système de pompage photovoltaïque au fil du soleil	49
III.7 Estimation des besoins en eau	
III. 8 Étape de dimensionnement du système de pompage au fil du soleil	
III.8.1 Estimation de nombre d'heure de fonctionnement à ensoleillement maximal	50
III.8.2 Calcul du débit horaire et secondaire	
III.8.3 Calcul du diamètre de la tuyauterie	
III.8.4 Calcul vitesse moyenne du fluide	51
III.8.5 Calcul niveau dynamique	
III.8.6 Calcul de la hauteur magnétométrique(HMT)	
III.8.7 Choix de la pompe immergé	
III.8.8 Choix de l'onduleur	52
III.8.10 Calcul de l'énergie hydraulique	
III.8.9 Capacité de réservoir du système	
III.8.11 Calcul de la puissance électrique crête du générateur photovoltaïque	53
III.8.12 Nombres de module	
III.8.13 Nombre de module en série	
III.8.14 Nombre de module en parallèle	54
III.9 Comparaison entre les méthodes de dimension	
III.10 Évaluation financier et rentabilité du système	56
III.10.1 Coût de l'installation avec réalisation d'un 1km de réseau MT (Sone gaz)	
III.10.2 Coût d'une installation alimenté par un système PV	
III.10.3 Résultats de comparaison du cout de l'installation	61
III.10.3.1 Dans le cas du réseau	
III.10.3.2 Dans le cas de pompage photovoltaïque	
III.11 Conclusion	62
CONCLUSION GENERALE	
REFERANCES BIBLIOGRAPHIES	

*Liste des
figures*

**CHAPITRE I : SYSTEME DE POMPAGE
PHOTOVOLTAIQUE**

Figure. I .1 : L'énergie Solaire	3
Figure I.2 : Structure de base d'une cellule solaire	4
Figure I.3 : Cellule Monocristalline	5
Figure I.4 : Cellule Poly cristalline	
Figure I.5 : Cellule Amorphe	6
Figure .I.6 : Module Photovoltaïque	
Figure. I.7 : Champ Photovoltaïque composé de N strings en parallèle	
Figure .I.8 :Système Photovoltaïque	7
Figure I.9: Installation de système autonome	8
Figure I.10: Installation de système hybride	
Figure I.11 : Installation de système couplée au réseau	9
Figure I.12: Eléments d'une installation de pompage photovoltaïque	
Figure I.13:Générateur photovoltaïque	10
Figure I.14: Pompe centrifuge et la pompe volumétrique	
Figure I.15: Diagramme des batteries à circulation	11
Figure I .16 Et.17: Stockage supra conducteur Et Banc de super capacités	12

CHAPITRE II: MODÉLISATION DE SYSTEME DE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE

Figure II.1 : Circuit équivalent d'une cellule idéale	15
Figure II.2 Circuit équivalent d'une cellule réelle	17
Figure II.3: Module PV poly cristalline NeMo ® 54 P	19
Figure II.4 : Effet de l'éclairement sur les caractéristique $I=f(V)$	21
Figure II.5 :Effet de l'éclairement sur les caractéristique $P=f(V)$	22
Figure II.6 :Influence de la température sur les caractéristiques $I=f(V)$	
Figure II.7 :Influence de la température sur les caractéristique $P=f(V)$	23
Figure II.8 : Caractéristiques débit-vitesse d'une pompe volumétrique	25
Figure II.9 : Caractéristiques débit-hauteur d'une pompe volumétrique	26
Figure II.10 : Schéma de principe d'une pompe centrifuge.	27
Figure II.11:Hauteur manométrique total	30
Figure II.12: Convertisseurs statiques	
Figure II.13: Système de pompage utilisant le moteur à courant continu	

	33
Figure II.14: Système de pompage utilisant le moteur à courant alternatif	34
Figure II.15 : Diagramme pour déterminer la taille du générateur photovoltaïque nécessaire pour couvrir une demande d'énergie hydraulique	41
Figure II.16: Diagramme pour déterminer le débit crête de la pompe	42

***CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DE SYSTEME DE
POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE AU FIL DU SOLEIL***

Figure III.1 : Volumes journaliers des besoins d'eaux	49
---	-----------

*Liste des
tableaux*

CHAPITRE II: Modélisation de système de pompage photovoltaïque

Tableau II.1: Caractéristiques électriques du Module PV poly cristallin NeMo ® 54 P	19
--	-----------

Tableau II.2: Coefficient K_{ac} pour différents types d'accessoires dans la tuyauterie	36
---	-----------

**CHAPITRE III : Dimensionnement de système de pompage photovoltaïque au
fil du soleil**

Tableau III.1: Température moyenne mensuelle à Ouargla	46
--	-----------

Tableau III.2: Précipitations moyennes mensuelles à Ouargla	46
---	-----------

Tableau III.3: Vitesse moyenne mensuelle des vents à Ouargla	46
--	-----------

Tableau III.4: Evaporation mensuelle moyenne à Ouargla	47
--	-----------

Tableau III.5 : Valeurs de l'irradiation globale journalière mensuelle pour une inclinaison optimale	48
---	-----------

Tableau III .6 : Résultats de dimensionnement de système pour chaque mois et par les trois méthodes.	54
---	-----------

Tableau III.7 : Résultats de dimensionnement de système pour chaque mois et par les trois méthodes.	54
--	-----------

Tableau III.8 : Représentée les choix des pompes	55
--	-----------

Tableau III.9 : Caractéristiques électriques de l'onduleur	56
--	-----------

Tableau III.10: Prix des composants du réseau électrique	57
--	-----------

Tableau III.11 : Prix d'une installation de système classique (Réseau électrique)	59
---	-----------

Tableau III.12 : Prix d'une installation de système photovoltaïque de pompage d'eau au fil du soleil	60
---	-----------

Tableau III.13:Résultats de comparaison des prix	61
--	-----------

*Liste des
abréviations*

LISTE DES NOTATIONS ET ABRÉVIATION

PV	Photovoltaïques.
GPV	Générateur Photovoltaïque.
I	Courant délivré par la cellule (A)
I_{cc}	Courant de court-circuit (A)
I_D	Courant dans la diode (A)
vt	<i>Potential thermique.</i>
K	Constant de Boltzmann est égale à $1.38e^{-38}$ J/K
A	Facteur d'idéalité de la jonction
Tj	Température de jonction (°C)
Is	Courant de saturation de la diode (A)
Q	Charge de l'électron est égale à $1.610e^{-19}$
Vcc	Tension délivré par la cellule (V)
V	Tension aux bornes de la diode (V)
Iph	Courant photonique
Iph	Calcul dans les conditions nominales (25°C et 1000 W/m ²)
Ki	Rapport entre le courant de court-circuit et le coefficient de température (0.0017 A/K)
Tref	Température de référence, égale à 25°C
Tcc	Courant de court-circuit
Is	Courant de saturation exprimé
Eg	Energie de gap du semi-conducteur utilisé ($E_g \approx 1.1$ ev) pour le silicium poly cristallin à 25°C
Irs	Courant de saturation inverse
Rs	Résistance série représentant les diverses résistances de
T	Température effective des cellules en kelvin (k)
Vcell	Tension aux bornes de cette même cellule.
Q	Charge de l'électron, elle est égale à $1,6 \times 10^{-19}$ C
K	Constante de Boltzmann, elle est égale à $1,3805 \times 10^{-23}$ j/K
A	Facteur d'idéalité, égale à 1,6
Ipv	Courant fourni par cellule lorsqu' elle fonctionne en générateur.
T	Température effective des cellules en kelvin (k)
Vcell	Tension aux bornes de cette même cellule.

Rsh	Résistance shunt caractéristique les courants de fuite de la jonction.
Rs	Résistance série représentant les diverses résistances de
S	Surface de la cellule photovoltaïque (m ²)
Pi	Puissance d'éclairement reçue par unité de surface (W)
Pmax	Puissance maximale (W).
Imp	Courant à la puissance maximale de fonctionnement de la cellule photovoltaïque (A)
Vmp	Tension à la puissance maximale de
k_qk_h	Constantes données de la pompe.
W	Vitesse de la pompe.
H	Hauteur totale du pompage.
HS	Hauteur statique qui est la distance entre le niveau statique de l'eau dans le puits jusqu'au le point le plus élevées auquel on doit pomper l'eau.
Hd	Somme de pertes linéaires et singulières.
λ	Coefficient de pertes de charges linéaires.
D	Diamètre de la tuyauterie (m).
L	Longueur de la tuyauterie (m).
g	Accélération de la pesanteur (m/s ²).
V	Vitesse moyenne de fluide (m/s).
Q	Débit (m ³ /s)
ε	Coefficient de pertes de charges locales La hauteur dynamique est la somme des deux Pertes
Kfr	Constante de la canalisation
h	Hauteur(m)
ω	Vitesse de rotation (rad/s)
Q	Débit (m ³ /s)
Hg	Hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation (Hr + Nd).
λ	Coefficient de pertes de charges linéaires.
d	Diamètre de la tuyauterie (m).
L	Longueur de la tuyauterie (m).
g	Accélération de la pesanteur (m/s ²).

ε	Coefficient des pertes de charges locales.
Kr	Coefficients de proportionnalité [Nm/rads].
Cs	Couple statique.
ω_r	Vitesse de rotation du moteur.
ρ	Masse volumique de l'eau étant de 1000kg/m ³
g	Accélération de la pesanteur (9,81m/s ²).
Q	Débit d'eau.
HMT	Hauteur manométrique totale.
η_p	Rendement de la pompe.
Pm	Puissance mécanique du moteur.
ρ	Masse volumique de l'eau étant de(1000Kg/m ³)
Eh	Energie hydraulique (Wh/jour)
h	Hauteur totale (m)
V_a	Volume d'eau (m ³ /jour)
P_a	Densité de l'eau (1000 kg/m ³)
g	Accélération de la pesanteur (9,81m/s ²)
h_s	Niveau statique (m)
Q_p	Débit d'essai (m ³ /h)
h_d	Niveau dynamique (m)
Q_A	Débit apparent (m ³ /h)
f	Coefficient de friction des parois de la tuyauterie
V	Vitesse moyenne du fluide (m/s)
L	Longueur de la tuyauterie (m) D : diamètre de la tuyauterie (m)
g	accélération de la pesanteur (m/s ²)
K_{ac}	Coefficient dépendant du type d'accessoire.
p_p	Puissance de sortie sous CSM (W)
η_g	Rendement du générateur à la température de référence (25 °C)
A	Surface active du générateur (m ²)
G_{ce}	Éclairement dans les CSM (1000 W/m ²)
η_{pv}	Rendement moyen journalier du générateur dans les conditions d'exploitation
G_{dm}(β)	Irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison β (kWh/m ² /jour).

E_h	Énergie hydraulique moyenne mensuelle (kWh)
η_{MB}	Rendement du sous-système moteur-pompe.
P_h	Puissance hydraulique nécessaire (W)
g	Accélération de la pesanteur (9.81m/s ²)
h	Hauteur manométrique totale (m)
η_{MB}	Rendement crête du sous-système moteur-pompe.
D	Diamètre de la tuyauterie (m)
K	Coefficient qui varie de 0,75 à 1,40
Q	Débit crête de la pompe (m ³ /s)

Introduction
générale

Introduction générale

L'Algérie vaste pays avec de potentialités naturelles importantes (gisement solaire importante des terres fertiles et riches en eau, nappes fossiles non renouvelables), faiblement exploitées. Notre pays a fourni des grands efforts pour développer les régions arides et éloignées. Le développement socio-économique de ces régions est très lié à deux facteurs essentiels, le premier est la disponibilité de l'eau et le deuxième est l'alimenter en électricité ou en fuel des pompes pour permettre l'utilisation de l'eau des puits ou des nappes souterraines. Pour ces raisons nous pouvons dire que l'Algérie présente toutes les caractéristiques d'un pays fortement demandeur des technologies d'exploitation de l'énergie solaire photovoltaïque pour le bien être de développement des régions éloignées.

L'une des applications de l'énergie solaire est le système de pompage photovoltaïque, qui est le plus répandu dans les régions éloignées et isolées.

L'eau est la source de vie pour les humains, les animaux et les plantes, comme l'a dit Dieu Tout-Puissant dans son Noble Livre, "Et nous avons fait de l'eau tout être vivant." Dieu le Grand croyait, et avec la demande croissante, en particulier dans les régions reculées, afin de subvenir à leurs besoins quotidiens et aux besoins de leurs investisseurs (agricoles par exemple), mais il y a un problème dans L'absence du réseau électrique national à proximité de leurs investisseurs pour extraire les eaux souterraines et répondre à leurs besoins, L'investisseur est confus quant aux solutions qui lui conviennent le mieux en termes de coût du matériel : soit il paye les frais de transport de l'électricité nationale à son investisseur, soit il a recours à l'installation d'un système d'énergie solaire.

Dans ce travail nous présentons une étude sur un système qui utilise l'énergie solaire photovoltaïque pour pomper l'eau pour l'irrigation avec une évaluation du coût de cette application. Pour ce faire, nous avons organisé notre mémoire en trois chapitres. Le premier chapitre présent en général le principe de la conversion photovoltaïque, les différentes topologies des systèmes photovoltaïques et de système de pompage photovoltaïque. Le deuxième chapitre contient la modélisation du générateur photovoltaïque et de la pompe centrale. Dans le troisième chapitre, une application numérique est présentée sur le dimensionnement du système pour la zone étudiée (Ouargla) et l'évaluation du coût total du système ainsi que une comparaison de point de vue coût avec une source traditionnelle d'alimentation de système de pompage qui est le réseau électrique. Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I
Systeme de
pompage
photovoltaïque

I.1 Introduction

L'énergie renouvelable, telle que l'énergie photovoltaïque, est la plus répandue dans le monde, elle est également respectueuse de l'environnement et s'appuie sur des technologies modernes et efficaces, sur lesquelles tout le monde parie comme une source alternative d'énergie conventionnelle dans un avenir proche. La principale préoccupation des chercheurs pour une utilisation optimale des énergies renouvelables.

L'objectif de ce chapitre est de donner un aperçu des composants des systèmes de pompage photovoltaïques.

I.2 Définition de l'énergie renouvelable

Le terme énergie renouvelable exprime une énergie issue de processus naturels, sans intervention humaine, et constamment renouvelée. Il existe plusieurs types de nature dans la nature, comme la lumière du soleil, la géothermie, le vent... L'un des avantages les plus importants de l'énergie renouvelable est qu'elle est imperméable et gratuite, en plus d'être une énergie propre [1].

I.3 Energie Solaire Photovoltaïque

I.3.1 Définition

L'énergie solaire photovoltaïque : C'est l'énergie électrique qui provient de la conversion directe de la lumière du soleil en électricité grâce à des panneaux solaires photovoltaïques, et elle est également renouvelable car sa source est le soleil, qui est une source inépuisable à l'échelle du temps humain.



Figure. I.1 : L'énergie Solaire [2]

I.4 Principe de conversion photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule.

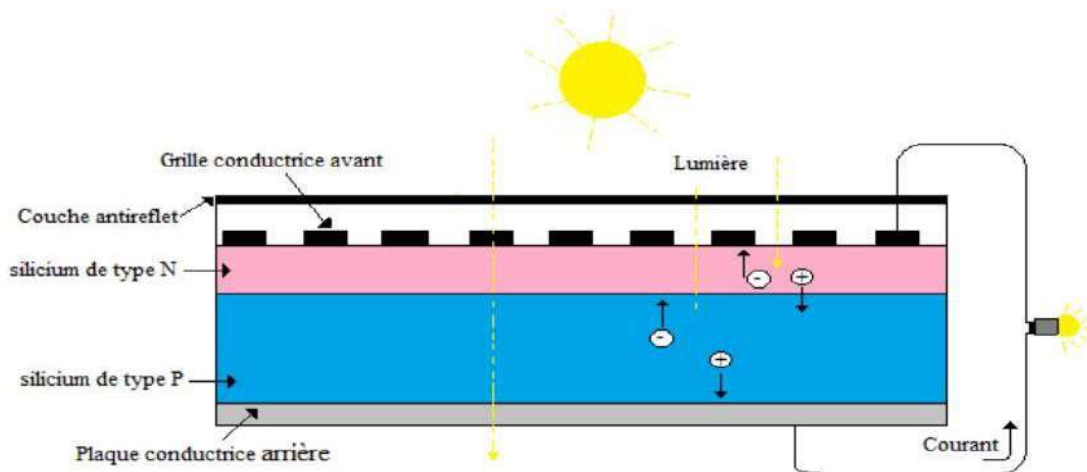


Figure I.2 : Structure de base d'une cellule solaire [3]

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au Bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore), créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par les semi-conducteurs, ils transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons (charges N) et des trous (charges P) créent alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connections des bornes positive et négative de la cellule. La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul, cette tension est nommée tension de circuit ouvert VOC. Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées ; il est appelé courant de court-circuit ISC et dépend fortement du niveau d'éclairement [3].

I.5 Cellule photovoltaïque

Une cellule solaire photovoltaïque est une plaquette de silicium (semi-conducteur), Capable de convertir directement la lumière en électricité. Cet effet est appelé l'effet Photovoltaïque. Il existe trois types principaux de cellules [4].

I.6 Rendement d'une cellule solaire

Il en existe de nombreuses espèces, dont nous citons les trois plus répandues dans le monde, qui sont représentées dans ce qui suit :

I.6.1 Cellules monocristallines

Elles ont le meilleur rendement (de 12 à 18% voir jusqu'à 24.7 % en laboratoire). Cependant, elles coûtent trop chers due à leur fabrication complexe [6].

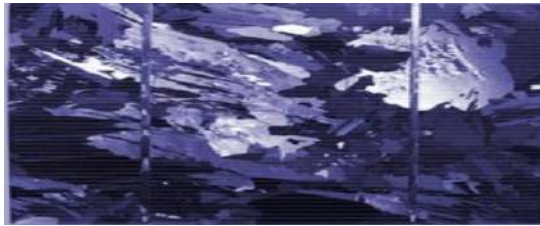


Figure I.3 : Cellule Monocristalline [5]

I.6.2 Cellules poly cristallines

Leur conception est plus facile et leur coût de fabrication est moins important. Cependant leur rendement est plus faible : de 11% à 15% jusqu'à 19.8% en laboratoire) [6].

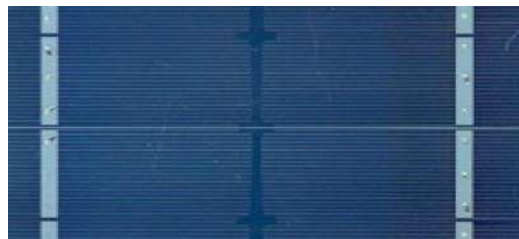


Figure I.4 : Cellule Poly cristalline [5]

I.6.3 Cellules amorphes

Elles ont un faible rendement (5% à 8%, 13% en laboratoire), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé [6].

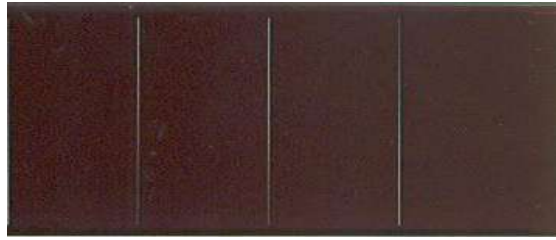


Figure I.5 : Cellule Amorphe [5]

I.7 Module photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est l'élément de base d'un système PV. En raison des limites de sortie de 0,5-0,6 V et la limitation de taille de quelques centimètres carrés, 36 cellules (ou plus) sont reliées en série sur un panneau afin de fournir la puissance requise et sont connus en tant que module PV [7].

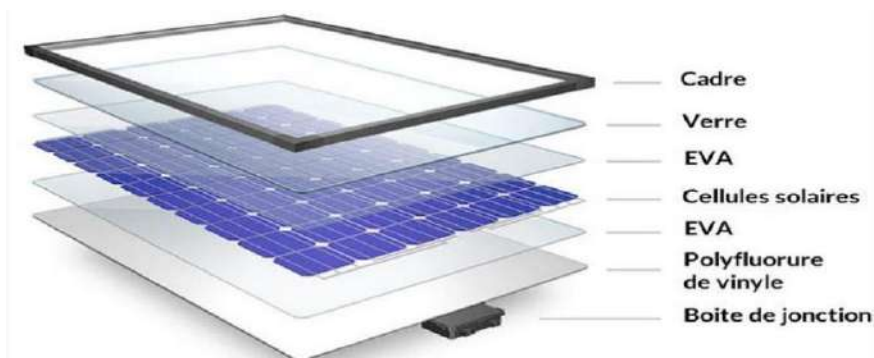


Figure I.6 : Module Photovoltaïque [8]

I. 8 Champ Photovoltaïque

Il est constitué de N string connectés en parallèle comme indiquée dans la **Figure. I.7**.

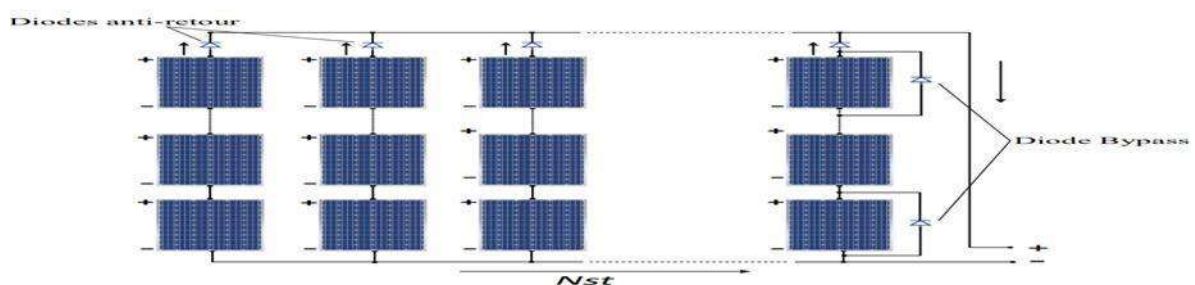


Figure. I.7 : Champ Photovoltaïque composé de N strings en parallèle [9]

I.9 Système Photovoltaïque

Un système photovoltaïque est un ensemble de composants permettant de produire de l'électricité, à partir d'une source d'énergie solaire.

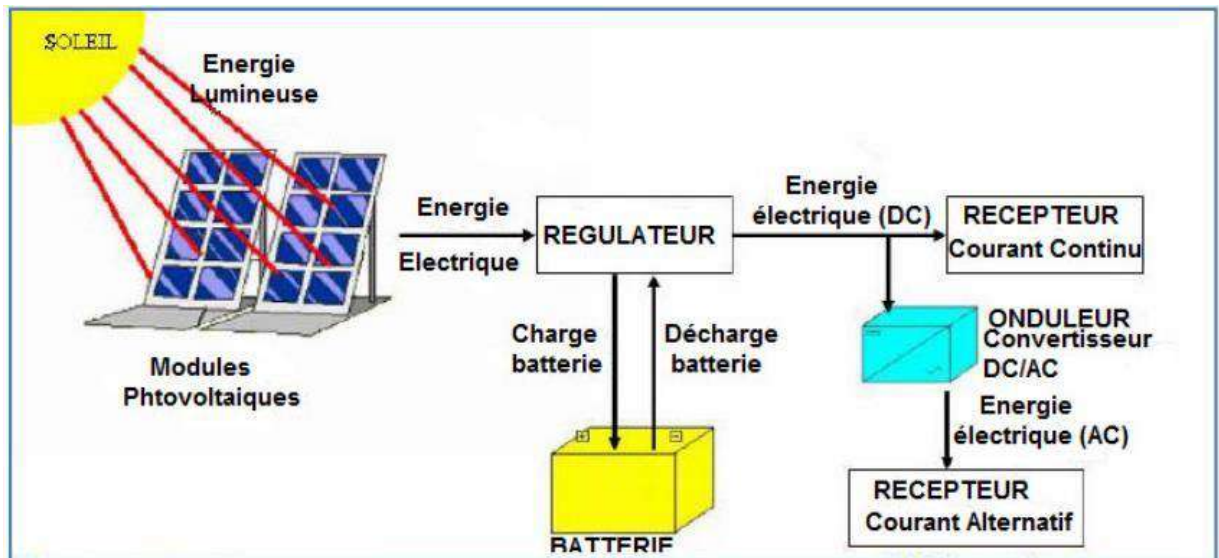


Figure .I.8 Système Photovoltaïque [10]

I.10 Applications des systèmes photovoltaïques

I.10.1 Systèmes autonomes

Autonomes ou « stand-alone », ces installations isolées ne sont pas connectées au réseau, mais elles doivent assurer la couverture de la demande de la charge en tout temps. Le système photovoltaïque autonome permet de fournir du courant électrique à des endroits où il n'y a pas de réseau. Donc l'énergie produite est utilisée immédiatement (pompage, l'éclairage, etc....) ou stockée dans des batteries pour une utilisation [11].

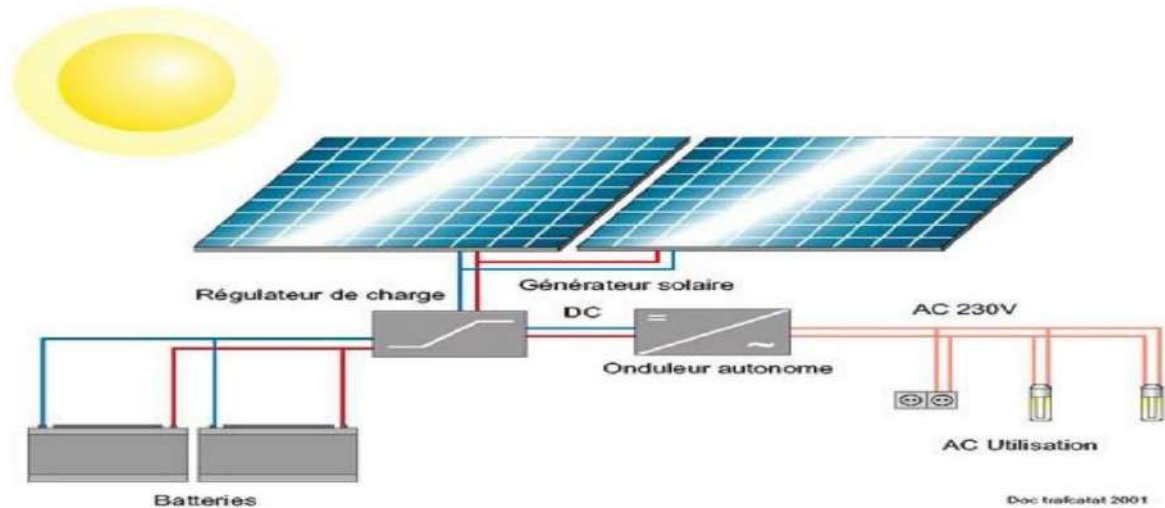


Figure I.9 : Installation de système autonome [9]

I.10.2 Système hybrides

Les systèmes d'énergie solaire hybride sont des systèmes d'énergie hybride qui combinent L'énergie solaire d'un système photovoltaïque avec une autre source d'énergie génératrice. Les systèmes hybrides solaires comprennent les systèmes éoliens-solaires. La combinaison de l'éolien et du solaire a l'avantage que les deux sources se complètent, car les pics de fonctionnement de chaque système se produisent à des moments différents de la journée et de l'année. La production d'électricité d'un tel système hybride est plus constante et fluctue moins que celle de chacun des deux sous-systèmes composants.

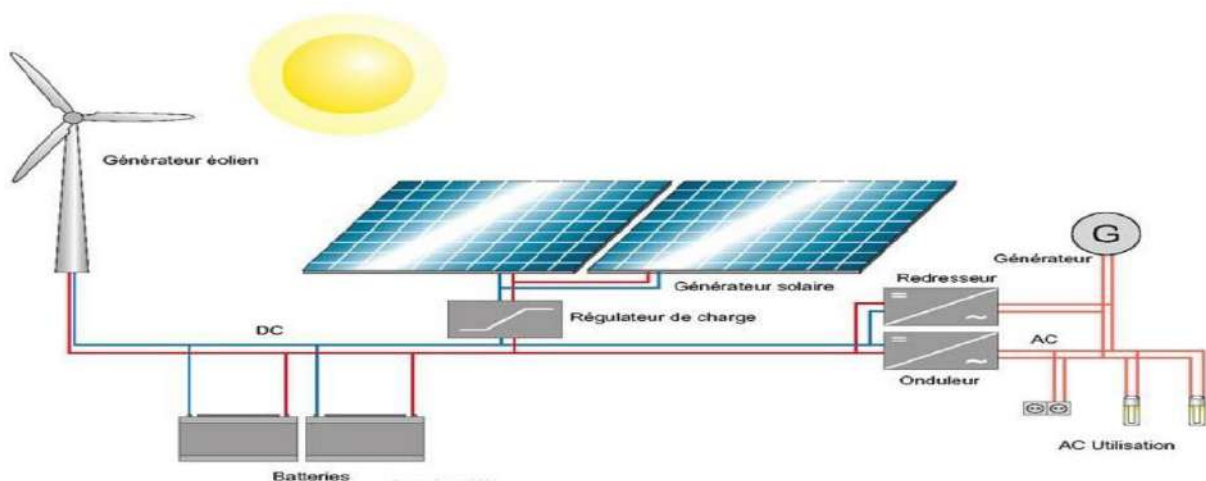


Figure I.10 : Installation de système hybride [9]

I.10.3 Systèmes couplés au réseau

Les systèmes photovoltaïques connectés au réseau ou interactifs avec le service public sont conçus pour fonctionner en parallèle et être interconnectés avec le réseau électrique.

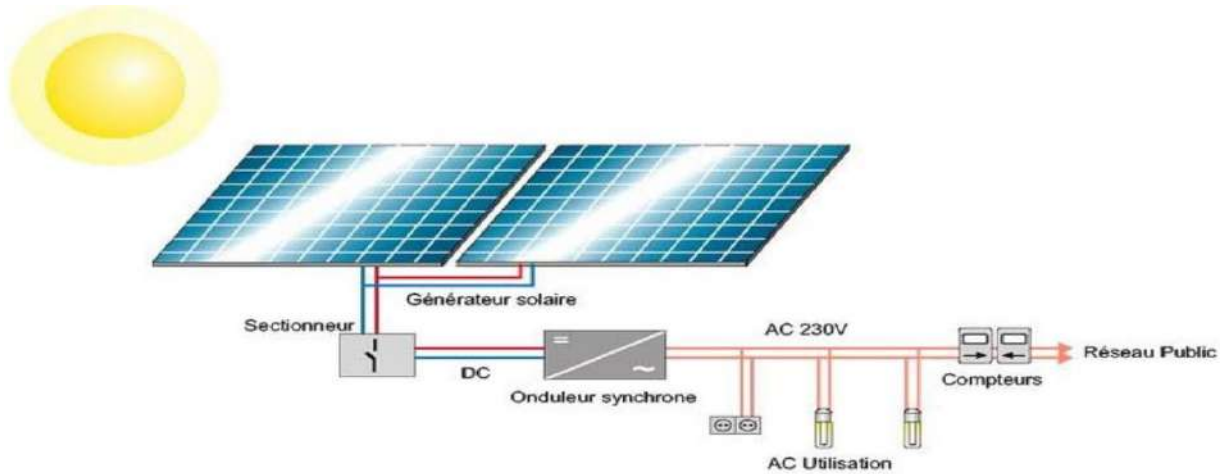


Figure I.11 : Installation de système couplée au réseau [9]

I.10.4 Systèmes fonctionnant au fil du soleil (Pompage Photovoltaïque)

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. Le générateur photovoltaïque est responsable de la conversion instantanée de l'énergie solaire en énergie électrique grâce à l'effet photovoltaïque [12].

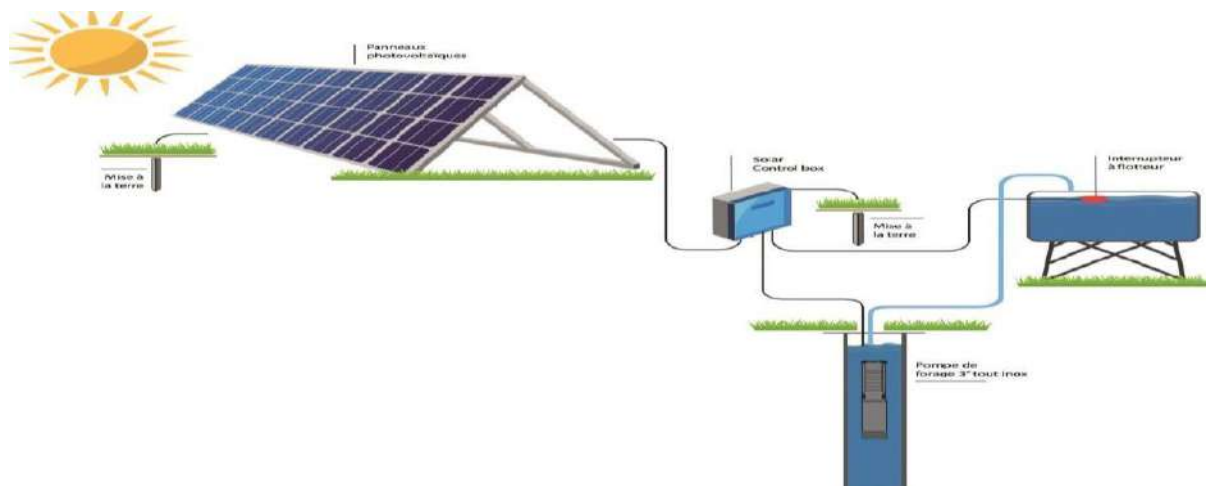


Figure I.12: Eléments d'une installation de pompage photovoltaïque [20]

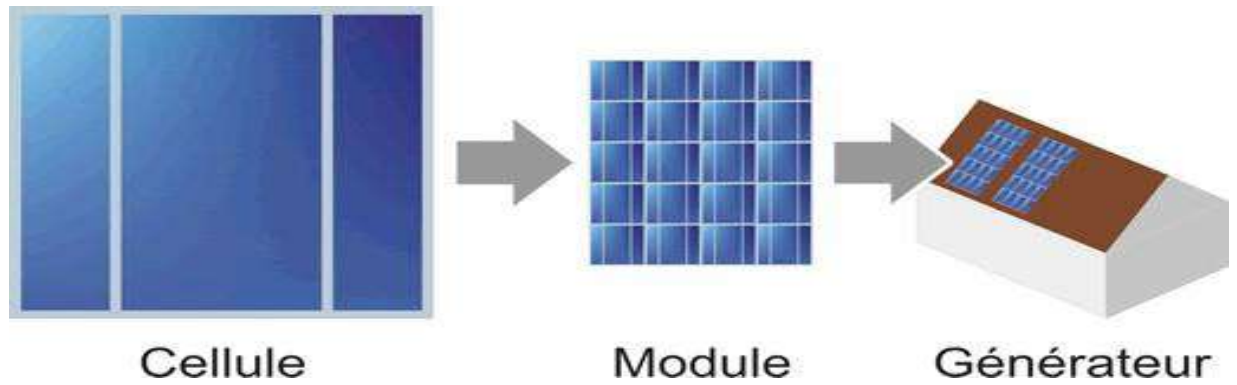


Figure I.17: Générateur photovoltaïque [23]

I. 11 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 [17].

I.12 Pompe de refoulement

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. Il existe deux grands types de pompes : les pompes centrifuges et les pompes volumétriques. Ces dernières conviennent pour élever des faibles débits d'eau à des pressions élevées [18].



Figure I.18: Pompe centrifuge et la pompe volumétrique [24][25]

I.13 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.14 Stockage d'énergie

L'électricité n'est pas une forme d'énergie facile à stocker. De plus, la plage d'utilisation des systèmes électriques est aujourd'hui très large. Dressons un inventaire des situations que l'on peut communément rencontrer [15].

I.14.1 Stockage sous forme d'énergie mécanique

Leur principe de base est simple. Toute masse en mouvement acquiert de l'énergie cinétique. Dans un environnement particulier, cette énergie peut être conservée et restituée en fonction de la demande.

I.14.2 Stockage sous forme d'énergie électrochimique

Elles sont actuellement le symbole du stockage de l'énergie électrique. Les technologies utilisées dans ce stockage : batteries électrochimique et batteries à circulation.

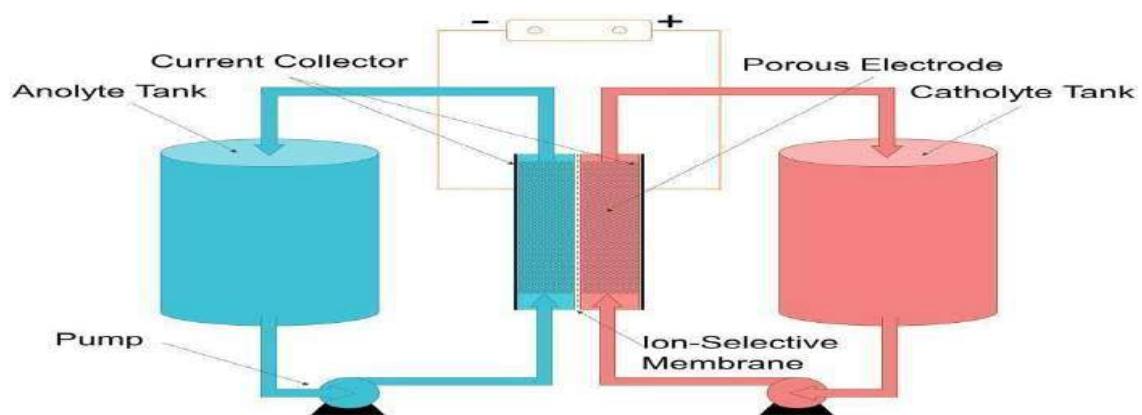


Figure I.19: Diagramme des batteries à circulation [22]

I.14.3 Stockage sous forme électromagnétique

Ces systèmes stockent de l'énergie dans le champ magnétique créé par un courant continu parcourant une bobine .Les technologies utilisées dans ce stockage : super condensateur et supra conducteurs.



Figure I .20: Stockage supra conducteur Et Banc de super capacités [15]

I. 15 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique à l'aide de cellules photovoltaïques, ainsi que les nombreuses topologies des systèmes photovoltaïques. Enfin, nous avons présenté le système de pompage photovoltaïque étudié. Dans ce mémoire, qui est constitué d'un ensemble d'éléments interconnectés; Des panneaux solaires, un moteur à courant continu et un moteur à courant permanent sont autant d'éléments à connaître. Une pompe centrifugeuse et un circuit hydraulique.

Chapitre II
Modélisation de
système de
pompage
photovoltaïque

II.1 Introduction

Dans nos jours, la demande d'eau est de plus en plus très importante, en particulier dans les zones rurales et les sites isolés où l'accès à l'énergie classique est difficile voir pratiquement impossible. Ce phénomène a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des générateurs photovoltaïques comme nouvelle source d'énergie. La réalisation d'un système de pompage photovoltaïque autonome, fiable et à bon rendement, constitue une solution pratique et économique au problème du manque d'eau, en particulier, dans les régions désertiques. En effet, un système photovoltaïque devient intéressant lorsqu'il est facile à installer, avec une autonomie acceptable et une excellente fiabilité de service.

Ce chapitre traite la modélisation de générateur photovoltaïque et pompe centrifuge, et les éléments théoriques permettant de dimensionner les stations de pompage courantes.

II.2 Modèle électrique d'un générateur photovoltaïque

II.2.1 Modèle idéal d'une cellule photovoltaïque

Dans le cas idéal, la cellule d'une jonction PN soumise à l'éclairement photovoltaïque connecté à une charge peut être schématisée par un générateur de courant I_{cc} en parallèle avec une diode délivrant un courant selon la figure [26].

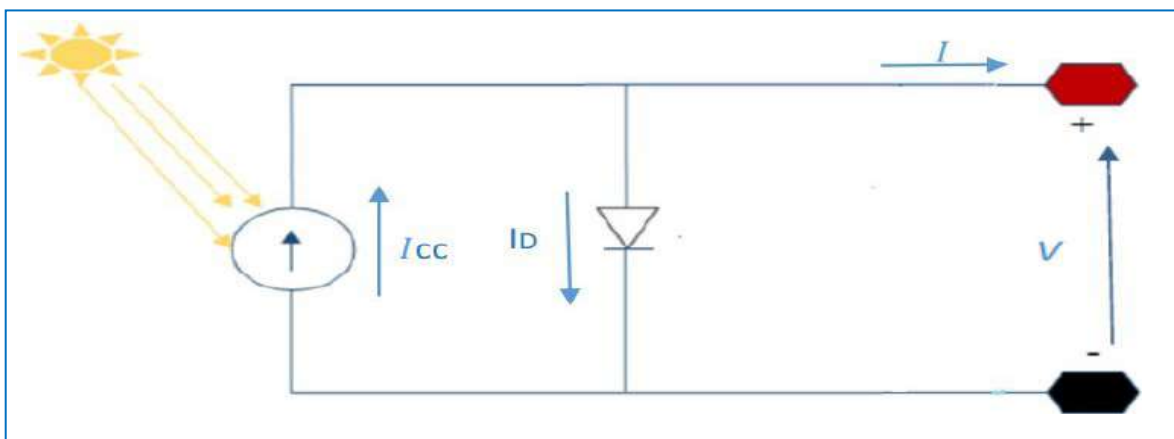


Figure II.1 : Circuit équivalent d'une cellule idéale [27]

$$I = I_{cc} - I_D \quad (II.1)$$

Avec:

- I : courant délivré par la cellule (A)
- I_{cc} : courant de court-circuit (A)
- I_D : courant dans la diode (A)

La caractéristique courant et tension d'une diode est une caractéristique non linéaire donnée par la relation :

$$I_D = I_s \times \left(\exp\left(\frac{V}{V_t}\right) - 1 \right) \quad (II.2)$$

$$I = I_{cc} - I_D = I_{cc} - I_s \times \left(\exp\left(\frac{V}{V_t}\right) - 1 \right) \quad (II.3)$$

$v_t = (K.T_j/q)$: potential thermique.

K : la constante de Boltzmann est égale à $1.38e^{-38}$ J/K

A : le facteur d'idéalité de la jonction

T_j : la température de jonction ($^{\circ}\text{C}$)

I_s : le courant de saturation de la diode (A)

Q : la charge de l'électron est égale à $1.610e^{-19}$

V_{cc} : tension délivré par la cellule (V)

V : la tension aux bornes de la diode (V)

II.2.2 Modèle réelle d'une cellule photovoltaïque

Le schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réelle tient compte d'effets résistifs parasites dues à la fabrication et représenté sur la figure (II.2) Ce schéma équivalent est constitué d'une diode (d) caractérisant la jonction, une source de courant (I_{cc}) caractérisant le photo-courant, une résistance série (R_s) représentant les pertes par effet Joule, et une résistance shunte (R_{sh}) caractérisant un courant de fuite entre la grille supérieure et le contact arrière qui est généralement très supérieure à (R_s). Ce modèle est container cinq paramètres, ces paramètres sont : Le photo-courant (I_{cc}), le courant de saturation (I_0), le facteur d'idéalité de la jonction (A), la résistance série (R_s) et la résistance shunt (R_{sh}).

Le modèle à cinq paramètres offre un bon compromis entre simplicité et précision. Ces équations permettent de décrire la caractéristique courante tension de la cellule et du module en donnant les expressions des différents courant [28].

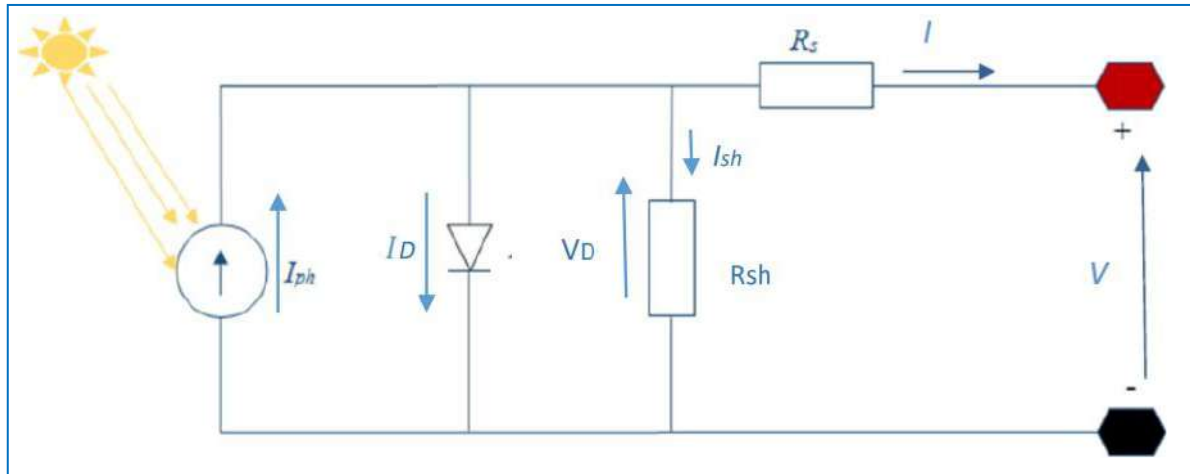


Figure II.2 : Circuit équivalent d'une cellule réelle [27]

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad (II.4)$$

Avec:

$$I_{sh} = \frac{VD}{Rsh} = \frac{(V + Rs \times Ish)}{(Rsh)} \quad (II.5)$$

D'ou l'équation du courant qui est donnée par l'expression suivant :

$$I = I_{ph} - I_p - I_D - I_S$$

$$I = I_p - I_s * \left(\exp\left(\frac{VD}{vt}\right) - 1 \right) - \frac{(V + Rs * I)}{(Rsh)} \quad (II.6)$$

Avec :

I_{ph} : le courant photonique,

Il dépend de la température et de l'ensoleillement comme montré dans l'équation qui suit :

$$I_p = I_{cc} + K_i * (T - T_{ref}) * (E/1000) \quad (II.7)$$

K_i : est le rapport entre le courant de court-circuit et le coefficient de température (0.0017A/K)

T_{ref} : température de référence, égale à 25°C

T_{cc} : courant de court-circuit

I_s : est le courant de saturation exprimé :

$$I_s = I_{rs} * (T/T_{ref})^3 * (exp^{(q*Eg)/(A*u*K) * ((1/T_{ref}) - (1/T))}) \quad (II.8)$$

E_g : l'énergie de gap du semi-conducteur utilisé ($E_g \approx 1.1$ eV) pour le silicium poly cristallin à 25°C

I_{rs} : le courant de saturation inverse, il est donné par :

$$I_{rs} = \frac{I_{cc}}{(exp^{(q*V_{oc})/(K*A*T)} - 1)} \quad (II.9)$$

Q : La charge de l'électron, elle est égale à $1,6 * 10^{-19}C$

K : constante de Boltzmann, elle est égale à $1,3805 * 10^{-23}j/K$

A : Facteur d'idéalité, égale à 1,6

Si on veut calculer la tension de court-circuit on résout l'équation :

$$V_{oc} = ((K * T)/(q)) * (ln\left(\left(\frac{I_{cc}}{I_s}\right) - 1\right)) \quad (II.10)$$

Ainsi l'équation globale modélisant le générateur photovoltaïque est la suivante :

$$I_{pv} = \frac{N_p * I_p - N_p * I_o (exp^{(q(V_{cell} + R_s * I_{cell}) / (N_s * A * K * T))} - 1) - N_p ((V_{cell} + R_s * I_{cell}))}{(R_{sh})} \quad (II.11)$$

I_{pv} : est le courant fourni par cellule lorsqu'elle fonctionne en générateur.

T : est la température effective des cellules en kelvin (k)

V_{cell} : est la tension aux bornes de cette même cellule.

R_{sh} : est la résistance shunt caractéristique des courants de fuite de la jonction.

R_s : est la résistance série représentant les diverses résistances de

Contacts et de connexions.

II.3 Résultats de simulation

II.3.1 Caractéristiques des panneaux

Pour faire la modélisation et la simulation de notre système PV, le module PV a tombé sur le Module PV poly cristallin NeMo ® 54 P qui comporte 54 cellules solaires de silicium poly cristallin de 1481*991 *38 mm connectées en série a été sélectionner. [9]

Le Module PV poly cristallin NeMo ® 54 P peut produire une puissance maximale de 220 watts à 27.54 volts. Ceci nous a permis de déterminer la puissance en fonction de la tension et le courant en fonction de la tension du module étudié pour un éclairement de 1000 W/m².

Les caractéristiques électriques du module Photovoltaïque Module PV poly cristallin NeMo ® 54 Pen conditions de test standards sont représentées sur le tableau (II.1).



Figure II.3: Module PV poly cristalline NeMo ® 54 P.

Tableau II.1: Caractéristiques électriques du Module PV poly cristallin NeMo ® 54 P

	classes de performance standard		
Puissance maximal PMPP	W _p	220 STC	155 NOCT
Tolerance maximal guarantee	W	4,99+/-0	
Garantie de performance de 25 ans		10ans 90 %, 25 ans 80%	
Efficacité du module STC	%	15,0	
Edition noir *		disponible sur demande	
Courant de court-circuit ISC	A	8,62 STC	7,02 NOCT
Tension en circuit ouvert UOC	V	33,77 STC	30,41 NOCT
Tension à charge maximale UMPP	V	27,54 STC	23,40 NOCT
Courant à charge maximale IMPP	A	8,08 STC	6,62 NOCT
Tension maximale du système VDC	V	1000	
Alimentation en courant inverse IR	A	15,0	
Coefficient de température ISC	%/K	0,05	
Coefficient de température COV	%/K	-0,32	
Coefficient de performance P maximum	%/K	-0,42	
Charge de neige certifiée	Pa	5400	
Cellules		54 cellules poly cristallines 6" à haut rendement, 3 barres omnibus, 3 diodes de dérivation	
Cadre		Cadre en aluminium anodisé argent de 38 mm	
Coffret solaire		Coupleur de câble mâle +/- 4 mm² TycoSolarlok, classe de protection IP65 (niveau d'inflammabilité 5 VA)	
Dimensions du module L x H x P	mm	991 x 1481 x 38	
Poids du module	kg	16,3	
Certificat TÜV		CEI 61215 ; CEI 61730 ; CEI 62716 ; Certificat d'inspection en usine	

II.3.2 Simulation du module PV :

Premièrement on a simulée le comportement électrique module photovoltaïque

Module PV poly cristallin NeMo ® 54 P, ce module fournit une puissance maximum 220W [9].

II.3.2.1 Influence de l'éclairement

II.3.2.1.1 Effet de l'éclairement sur les caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$

On fixe la température ambiante ($T = 25^{\circ}\text{C}$) et on fait varier l'éclairement de « G » en (W/m^2), les courbes de variation du courant par rapport la tension pour chaque éclairement sont montré dans la figure II.4. D'après la figure on constate que le changement de l'éclairement n'a pas un grand impacte sure la tension du circuit ouvert. Par contre le courant varie.

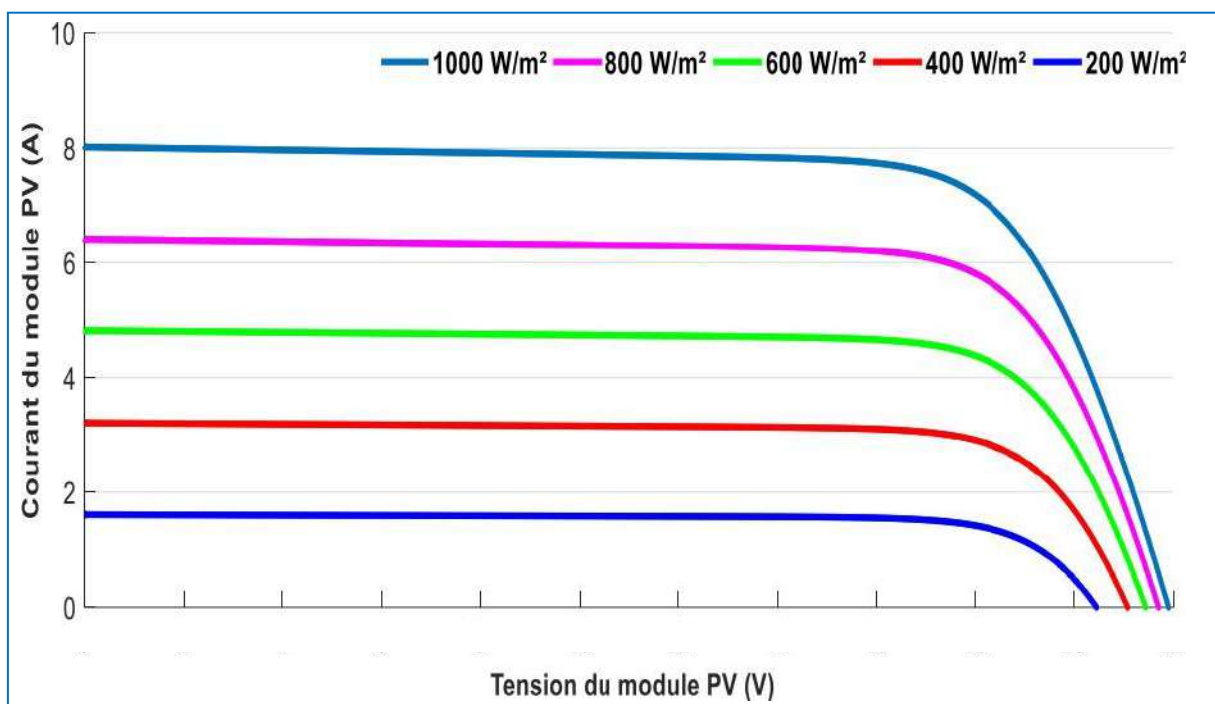


Figure II.4 : Effet de l'éclairement sur les caractéristique $I=f(V)$.

La figure (II.5) montre les courbes de variation de puissance en fonction de la tension d'entrée pour tout éclairage. Nous notons que l'éclairage a un effet marqué sur la force, à dans notre cas, au contraire, nous n'avons pratiquement pas vu le changement de la tension de court-circuit par rapport à Changement d'éclairage.

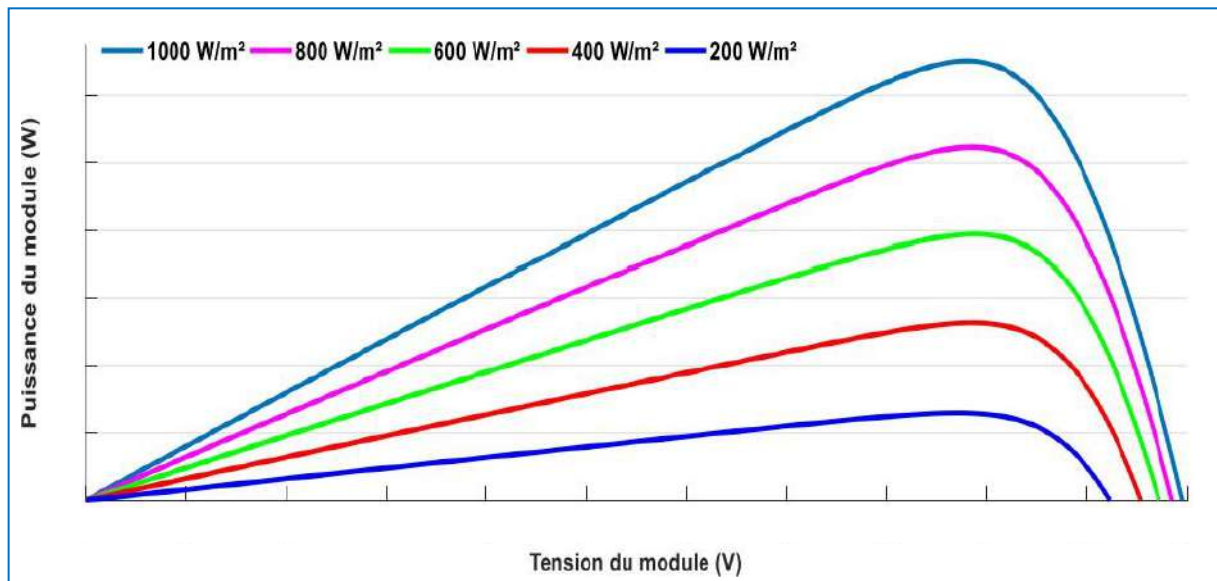


Figure II.5 : Effet de l'éclairement sur les caractéristique $P=f(V)$.

II.3.2.2 Influence de la température T_c

L'éclairement est constant ($G = 1000 \text{ W/m}^2$) et la température varie de 0°C à 95°C . Nous notons sur la figure (II.5) que pour chaque augmentation de température, il y a une diminution de la tension de circuit ouvert du GPV, contrairement à celle du courant de court-circuit qui augmente mais dans des proportions légèrement avec la température du module PV.

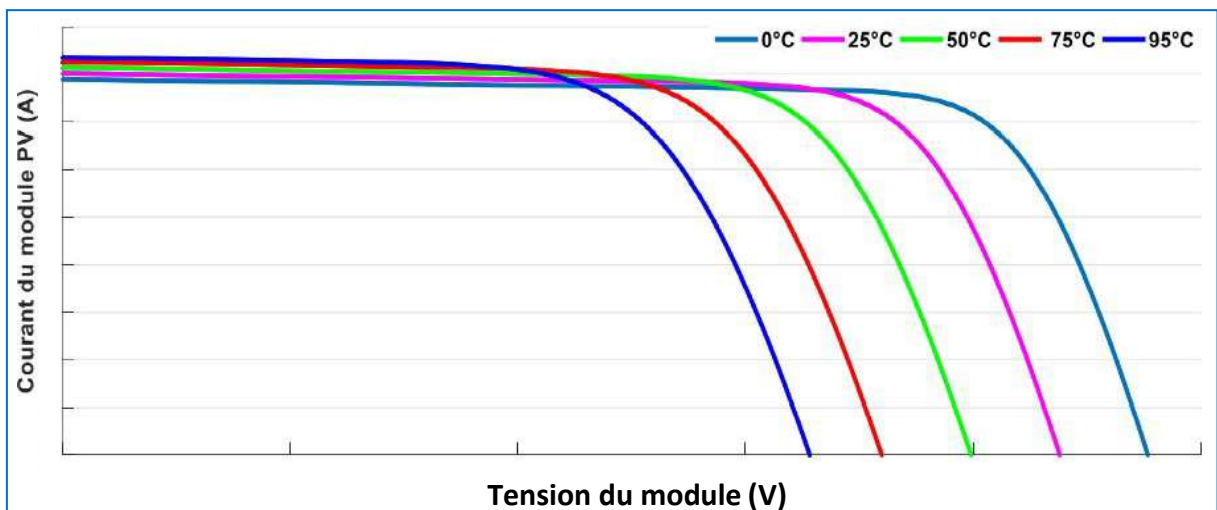


Figure II.6 : Influence de la température sur les caractéristiques $I=f(V)$.

Selon la figure (II. 6), l'effet de l'augmentation de la température sur la propriété $P = f(V)$ réduit la puissance maximale et la tension en circuit ouvert du GPV.

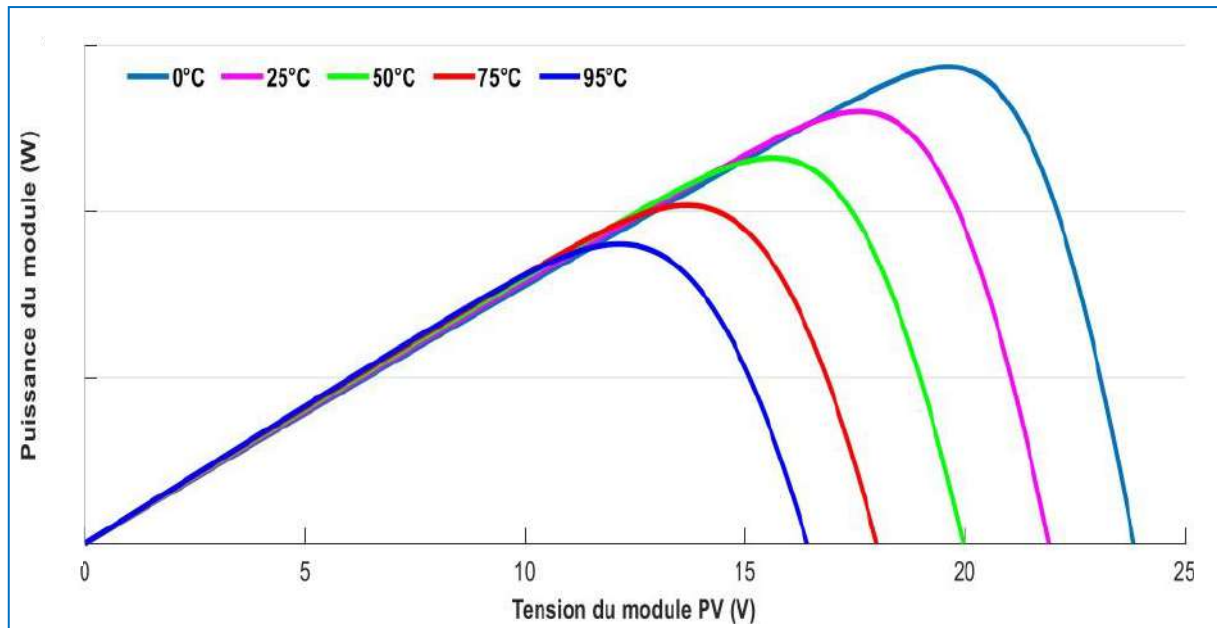


Figure II.7 : Influence de la température sur les caractéristique $P=f(V)$.

II.3 Rendement

C'est la valeur de la puissance maximale produite par le panneau solaire divisée par la puissance qu'il reçoit du soleil, que l'on obtient en multipliant la valeur du rayonnement solaire et la surface du panneau photovoltaïque, l'unité de rendement du panneau solaire est donnée en pourcentage.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_i * S} = \frac{V_{max} * I_{max}}{P_i * S} = \frac{FF * V_{co} * I_{cc}}{P_i * S} \quad (II.12)$$

S : La surface de la cellule photovoltaïque (m²)

P_i : La puissance d'éclairement reçue par unité de surface (W)

II.4 Facteur de forme

C'est un paramètre important, son utilisation c'est à partir de la caractéristique I(V) pour qualifier la qualité d'une cellule ou d'un générateur photovoltaïque, et représente aussi Le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule notée P_{max} et la puissance formée par le rectangle ($I_{cc} \times V_{co}$).

Quand la puissance exploitable sera grande donc le facteur est grand. L'objet qui fait compromis technologie pour atteindre le plus possible les caractéristiques idéales c'est des meilleures cellules. Ce facteur est défini par la relation suivante:

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} * V_{co}} = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{I_{cc} * V_{co}} \quad (II.13)$$

P_{max} : La puissance maximale (W).

I_{mp} : Le courant à la puissance maximal de fonctionnement de la cellule photovoltaïque(A)

V_{mp} : La tension à la puissance maximale de fonctionnement de la cellule photovoltaïque (V)
[2].

II.5 Différents types des pompes utilisent dans système pompage photovoltaïque

Une pompe est une machine servant à véhiculer un fluide qui peut être de l'eau ou quelconque (pétrole, huile...) en l'aspirant pour le refouler à une certaine pression.

Pour pomper l'eau avec un système photovoltaïque, deux techniques sont possibles :

Dans la première technique, l'énergie solaire est consommée en « temps réel » ; On parle alors d'un « pompage au fil du soleil ». Cette solution nécessite un stockage de l'eau dans un réservoir (l'eau pompée pendant la journée est stockée afin d'être utilisée plus tard, le soir par exemple) [35] [36] [3].

La deuxième méthode consiste à utiliser un stockage de l'énergie, cette fois-ci, via des batteries. L'énergie stockée dans la journée peut être utilisée plus tard pour pomper l'eau.

Les critères qui guident le choix d'une pompe sont les suivants:

- La nature du liquide pompé, viscosité, température, présence de corps solides.
- Le débit et la pression souhaités.
- L'énergie consommée.

II.5.1 Types de pompes

Les pompes à eau sont habituellement classées selon leur principe de fonctionnement, soit de type volumétrique ou centrifuge. On distingue également deux autres types de pompes en fonction de l'emplacement physique de la pompe par rapport à l'eau pompée: la pompe à aspiration et la pompe à refoulement.

La hauteur d'aspiration de n'importe quelle pompe est limitée à une valeur théorique de 9,8 mètres (pression atmosphérique en mètres d'eau) et dans la pratique à 6 ou 7 mètres

La pompe volumétrique :

Une pompe volumétrique est une pompe dans laquelle l'écoulement du liquide est en proportion constant avec le déplacement d'un organe mobile du corps de la pompe. Les pompes volumétriques sont deux sortes

- Les pompes volumétriques alternatives.
- Les pompes rotatives.

II.5.2 Caractéristiques d'une pompe volumétrique

II.5.2.1 Caractéristiques (débit- vitesse)

Le débit d'eau d'une pompe volumétrique est proportionnel à la vitesse du moteur. Mais son couple varie essentiellement en fonction de la hauteur manométrique totale (HMT) et il est pratiquement constant en fonction de la vitesse de rotation du moteur. Le couple de démarrage est donc pratiquement indépendant du débit et sera proportionnel à la HMT. La puissance consommée sera proportionnelle à la vitesse.

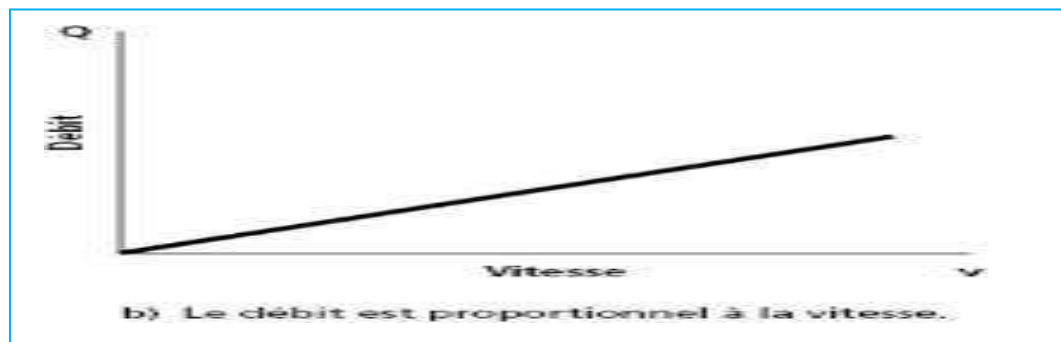


Figure II.8 : Caractéristiques débit-vitesse d'une pompe volumétrique. [36]

II.5.2.2 Caractéristique (puissance- vitesse)

La puissance consommée sera proportionnelle à la vitesse. C'est pourquoi ces pompes sont habituellement utilisées pour les puits et les forages à grandes profondeurs et à petits débits d'eau. On les utilise parfois comme pompes de surface lorsque le couple est lent et irrégulier

et que le débit demandé est faible, par exemple pour les pompes à main et les pompes éoliennes multiples

II.5.2.3 Caractéristiques (débit- hauteur)

Le débit Q de la pompe volumétrique est donné par :

$$Q = k_q w + k_h H_m \quad (II.14)$$

Ou :

W : la vitesse de la pompe.

$k_q k_h$: Constantes données de la pompe.

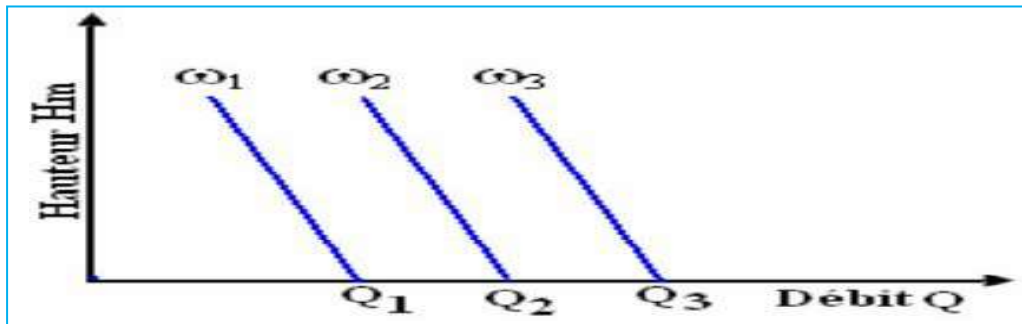


Figure II.9 : Caractéristiques débit-hauteur d'une pompe volumétrique. [36]

II.6 La pompe centrifuge

Les pompes centrifuges sont couramment utilisées car elles nécessitent moins de couple pour démarrer et produisent plus de charge que les autres pompes dynamiques à vitesse variable. De plus, de leur simplicité et de leur faible coût, ils se caractérisent par leur faible entretien. Les pompes centrifuges sont disponibles pour différents débits et profondeurs.

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou d'ailettes. L'eau entre au centre de la pompe est poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages. Ces pompes incluent les pompes submersibles avec moteur de surface ou submergé, les pompes flottantes et les pompes rotatives à aspiration [33], [34].

II.6.1 Principe de fonctionnement

On peut décomposer le fonctionnement en deux étapes :

- L'aspiration :

Le liquide est aspiré au centre du rotor par une ouverture appelée distributeur dont le rôle est de conduire le fluide depuis la conduite d'aspiration jusqu'à la section d'entrée du rotor.

La pompe étant amorcée, c'est à dire pleine de liquide, la vitesse du fluide qui entre dans la roue augmente et par conséquent la pression dans l'ouïe diminue et engendre ainsi une aspiration et maintient l'amorçage.

- L'accélération :

Le rotor transforme l'énergie mécanique appliquée à l'arbre de la machine en énergie cinétique. A la sortie du rotor, le fluide se trouve projeté dans la volute dont le but est de collecter le fluide et de qui ramener dans la section de sortie. La section offerte au liquide étant de plus en plus grande, son énergie cinétique se transforme en énergie de pression. [36].

II.6.2 Constitution de la pompe centrifuge

Les pompes centrifuges sont essentiellement constituées d'une pièce en rotation le rotor appelée aussi roue ou hélice qui tourne dans un carter appelée corps de pompe ou volute.

Ces machines comprennent donc:

- un distributeur (arrivée du liquide)
- l'ouïe d'aspiration
- le corps de la pompe ou volute
- le refoulement qui va s'élargir
- l'ouïe de refoulement

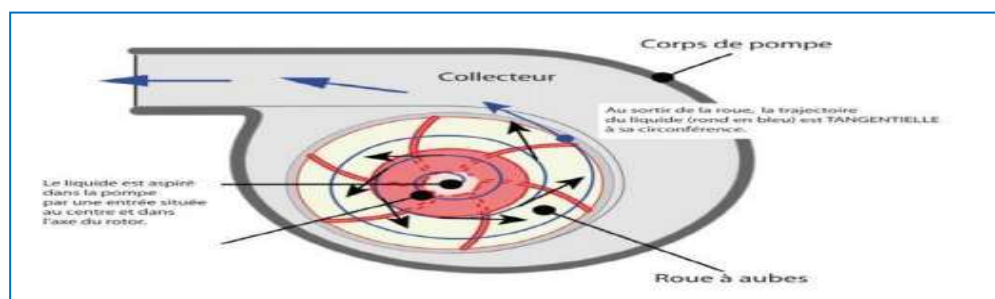


Figure II.10 : Schéma de principe d'une pompe centrifuge.

II.7 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 :

$$f(H, Q, W) = 0 \quad (II.14)$$

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 [35], [3], [27].

$$H = [H_s + H_d] \quad (II.15)$$

H : Hauteur totale du pompage.

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

H_d : est la somme de pertes linéaires et singulières.

Ces pertes sont :

II.7.1 Pertes de charges linéaires

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

$$\Delta H_1 = [(\lambda * L * V^2) / (g * D^2)] \quad (II.16)$$

λ : Coefficient de pertes de charges linéaires.

D : Diamètre de la tuyauterie (m).

L : Longueur de la tuyauterie (m).

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

V : Vitesse moyenne de fluide (m/s).

Qui est donnée par :

$$V = [(4 * Q) / (\pi * D^2)] \quad (II.17)$$

Q : débit (m³/s)

$$\Delta H_2 = [(\lambda * 8 * Q^2) / (D^4 * \pi * g)] \quad (II.18)$$

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.7.2 Pertes de charges singulières (locales)

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

$$\Delta H_2 = [(\varepsilon * 8 * Q^2) / (\pi^4 * D^4 * g)] \quad (II.19)$$

ε : Coefficient de pertes de charges locales La hauteur dynamique est la somme des deux Pertes.

$$H_d = [\Delta H_1 + \Delta H_2] \quad (II.20)$$

$$H_d = \left(\frac{\lambda * L}{D}\right) * \left(\frac{8 * Q^2}{\pi^4 * D^4 * g}\right) = K_{fr} * Q^2 \quad (II.21)$$

K_{fr} : Constante de la canalisation.

La hauteur totale de pompe est :

$$H = H_s + K_{fr} * Q^2 \quad (II.22)$$

II.7.3 Variation des caractéristiques

II.7.3.1 Caractéristique Hauteur-Débit H(Q)

La courbe hauteur débit, exprime les variations des différentes hauteurs de relèvement en fonction du débit. Dans cette application, elle est caractérisée par un modèle qui sert à déterminer la dépendance de la hauteur manométrique totale en fonction du débit Q. En prenant comme paramètre la vitesse de rotation de moteur, le modèle utilisé est identifié par l'expression de « Peleider-Peterman » [34].

La caractéristique Hauteur-Débit d'une pompe centrifuge est obtenue faisant appel aux lois de similitude. L'expression analytique peut être approximativement décrite par la forme quadratique :

$$h = a^0 \omega^2 - a^1 \omega - a^2 Q^2 \quad (II.23)$$

h : Hauteur(m)

ω : Vitesse de rotation (rad/s)

Q : Débit (m³/s)

Un cas particulier de cette équation se présente lorsque la quantité d'eau est nulle, cela se manifeste par le phénomène de « barbotage » qui se traduit par la hauteur de barbotage H^1 . L'équation précédente devient comme suit :

$$H^1 = a^0 \omega^2 \quad (II.24)$$

La hauteur manométrique totale (HMT) d'une pompe est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Cette hauteur peut être calculée comme suit :

$$HMT = H_g + \Delta H \quad (II.25)$$

H_g : Hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation ($H_r + N_d$).

Pour une pompe de surface sur un plan d'eau, H_g sera choisi en fonction de la hauteur de la pompe à son niveau le plus bas.

➤ **Niveau statique:**

Le niveau statique (N_s) d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau avant pompage.

➤ **Niveau dynamique:**

Le niveau dynamique (N_d) d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné.

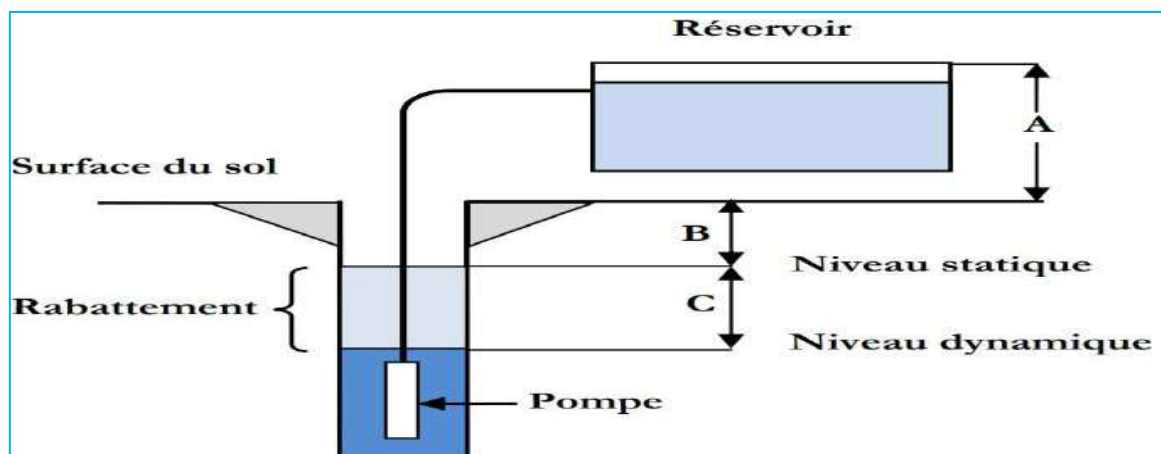


Figure II.11:Hauteur manométrique total. [33]

Pour le calcul de la hauteur manométrique totale HMT, le niveau dynamique est calculé pour un débit moyen. La différence entre le niveau dynamique et le niveau statique est appelée rabattement.

ΔH : Pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites. Ces pertes sont fonction de la distance des conduites (d), de leur diamètre et du débit de la pompe (Q) et s'expriment en mètres d'eau.

$$\Delta H = \left(\frac{\lambda}{d} + \varepsilon \right) * \left(\frac{8 * L^2}{\pi^2 * d^4 * g} \right) \quad (II.26)$$

Avec :

λ : Coefficient de pertes de charges linéaires.

d : Diamètre de la tuyauterie (m).

L : Longueur de la tuyauterie (m).

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

ε : Coefficient des pertes de charges locales.

II.7.3.2 Caractéristique du couple

Le couple du moteur augmente très rapidement en fonction de cette vitesse et la hauteur de refoulement est fonction du carré de la vitesse du moteur. La vitesse de rotation du moteur devra donc être très rapide pour assurer un bon débit. [34] Parce que le couple de démarrage est limité au couple de frottement de la pompe à vitesse nulle (qui est plus important qu'en rotation), la pompe requiert une vitesse minimale à une HMT donnée pour obtenir un débit de départ non nul. Donc la pompe centrifuge oppose un couple résistant C_r :

$$C_r = K_r * \omega_r + C_s \quad (II.27)$$

Avec :

- K_r : coefficients de proportionnalité [Nm/rads].
- C_s : le couple statique.
- ω_r : La vitesse de rotation du moteur.

II.7.3.3 Caractéristique de la 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 [34] :

$$P = \rho * g * Q * HMT \quad (II.28)$$

Où :

- ρ : La masse volumique de l'eau étant de 1000 kg/m^3
- g : Accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}$).
- Q : Débit d'eau (m^3/s)
- HMT : Hauteur manométrique totale(m).

II.7.4 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 [3] :

$$P = \rho * g * Q * HMT \quad (II.29)$$

L'autre expression à considérer est celle de la puissance absorbée par une pompe, c'est à dire la puissance nécessaire pour son entraînement mécanique, qui est exprimé par la relation suivante :

$$P_m = \frac{9.81 * \rho * Q * HMT}{\eta_p} \quad (II.30)$$

Ou :

η_p : Le rendement de la pompe.

P_m : puissance mécanique du moteur.

ρ : La masse volumique de l'eau étant de (1000Kg/m³)

II.8 Conception de différent système de pompage photovoltaïque

Le système de pompage solaire est constitué généralement par:

- Le générateur photovoltaïque.
- Le groupe moteur-pompe.
- l'électronique de commande et de contrôle.
- La partie stockage.

Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons: stockage d'énergie électrique ou stockage d'eau. Cette dernière méthode est souvent adoptée car il est plus pratique de stocker l'eau dans des réservoirs que l'énergie électrique dans des accumulateurs lourds coûteux et fragiles, de plus le rendement énergétique est meilleure quand il n'y a pas d'accumulateurs.

L'énergie fournie par le générateur photovoltaïque est une énergie chère malgré l'abaissement du coût du watt-crête. Il est donc nécessaire de faire fonctionner ces générateurs à leur puissance optimale. L'approche du problème consiste à intercaler entre le générateur et le récepteur un convertisseur statique (hacheur ou onduleur) pour effectuer le transfert optimal de puissance. La commande du convertisseur se fait par variation d'un paramètre de contrôle; rapport cyclique pour le hacheur et fréquence pour l'onduleur [31].

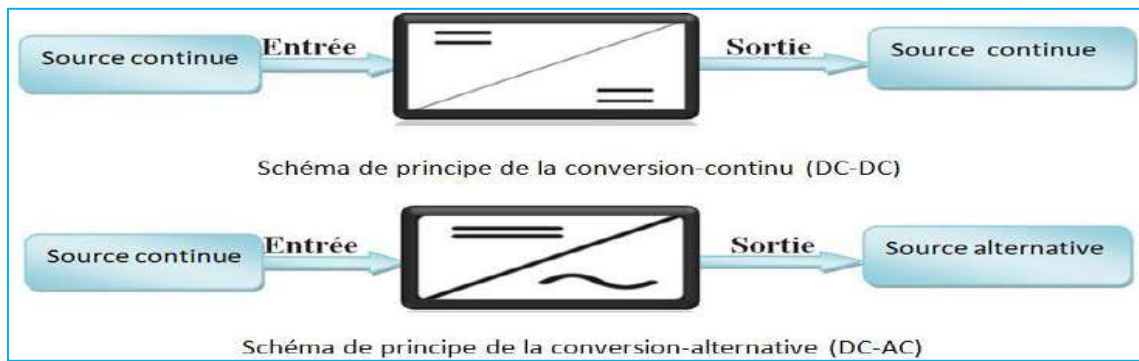


Figure II.12: les convertisseurs statiques.

Deux méthodes d'optimisation sont utilisées, la première résulte du fait que la tension permettant d'extraire le maximum de puissance des photopiles est en première approximation constante: le point de fonctionnement des photopiles est asservi à cette tension optimale. La deuxième méthode considère le générateur photovoltaïque comme un dipôle sans caractéristiques particulières. Une recherche extrême est effectuée en agissant sur un Paramètre de contrôle du convertisseur.

La figure II.11 montre le schéma simplifié d'un système de pompage utilisant le moteur à courant continu. Le couplage est direct (sans stockage électrique) avec optimisation du 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.

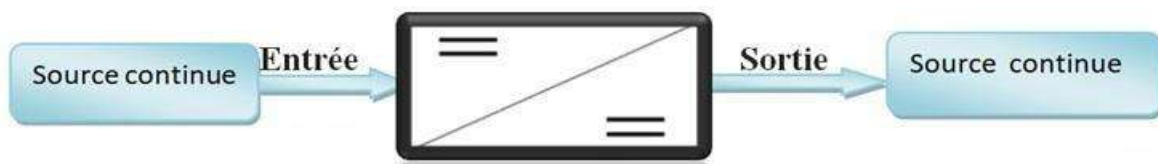


Figure II.13: Système de pompage utilisant le moteur à courant continu.

De ce fait l'utilisation d'un moteur asynchrone (à courant alternatif triphasé) plus robuste moins cher et sans entretien devient une solution plus économique et plus pratique même au prix d'un circuit électronique de commande plus complexe.

L'utilisation d'un moteur asynchrone augmente ainsi l'autonomie et la fiabilité de l'installation. Le moteur est alimenté par un onduleur (convertisseur DC/AC) qui assure l'optimisation du générateur (Figure II.12).



Figure II.14: Système de pompe utilisant le moteur à courant alternatif.

II.9 Dimensionnement de systèmes de pompe photovoltaïque

On présente deux méthodes de dimensionnement de systèmes de pompe photovoltaïque, une méthode analytique et une méthode graphique.

II.9.1 Méthode simple de dimensionnement

Les différentes étapes pour le dimensionnement d'un système de pompe sont :

- Evaluation des besoins en eau
- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire
- Détermination de l'énergie solaire disponible
- Choix des composants.

II.9.1.1 Evaluation des besoins en eau

La détermination des besoins en eau pour la consommation d'une population donnée dépend essentiellement de son mode de vie.

Les besoins en eau que l'on estime nécessaires pour les zones rurales des pays pauvres sont de l'ordre de 20 litres par personne et 30 litres par tête de bétail. Les besoins d'eau pour l'irrigation dépendent du type de culture, des facteurs météorologiques comme la température, l'humidité, la vitesse du vent, l'évapotranspiration du sol, la saison de l'année considérée et de la méthode d'irrigation. Cependant, il est important de se baser sur la pratique et l'expérience locale. La capacité du réservoir sera déterminée selon les besoins en eau journalières et l'autonomie requise du système.

II.9.1.2 Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire

Une fois définies les besoins nécessaires en volume d'eau pour chaque mois de l'année et les caractéristiques du puits, nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle nécessaire à partir de la relation [32]:

$$E = \frac{g * p_a * V_a * h}{3600} \quad (II.31)$$

Où :

Eh : énergie hydraulique (Wh/jour)

h : hauteur totale (m)

V_a : Volume d'eau (m³/jour)

P_a : Densité de l'eau (1000 kg/m³)

g : accélération de la pesanteur (9,81m/s²)

Durant le processus de pompage, le niveau d'eau à l'intérieur du puits tend à baisser, jusqu'à ce que la vitesse avec laquelle la régénération du puits arrive à équilibrer la quantité pour que l'on puisse pomper l'eau de nouveau. L'abaissement du niveau d'eau dans le puits dépend d'un certain nombre de facteurs, comme le type et la perméabilité du sol et l'épaisseur de l'aquifère.

La hauteur totale de pompage est la somme de la hauteur statique et de la hauteur dynamique :

$$h = h_s + h_d \quad (II.32)$$

Dans le cas de puits qui présentent des variations importantes du niveau d'eau en fonction du débit, on peut ajouter un terme correctif et cette équation devient :

$$h = h_s + h_d + \left(\frac{h_d - h_s}{Q_p} \right) * Q_A \quad (II.33)$$

Où :

h_s : Niveau statique (m)

Q_p : Débit d'essai (m^3/h)

h_d : Niveau dynamique (m)

Q_A : Débit apparent (m^3/h)

La hauteur statique (h_s) est la distance entre le niveau statique de l'eau dans le puits jusqu'au point le plus élevé auquel on doit pomper l'eau.

La hauteur dynamique (h_d) représente les pertes d'eau dans la tuyauterie. La formule de Darcy-Weisbach permet le calcul de la hauteur dynamique :

$$h_d = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (II.34)$$

Où :

f : coefficient de friction des parois de la tuyauterie

V: vitesse moyenne du fluide (m/s)

L : longueur de la tuyauterie (m) D : diamètre de la tuyauterie (m)

g : accélération de la pesanteur (m/s^2)

Dans le cas où le système de tuyauterie aurait un autre type d'accessoires (vannes, coudes, téés, jonctions, ...), nous pouvons calculer les pertes de charge dans chaque élément additionnel comme :

$$h_d = K_{ac} * \frac{V^2}{2g} \quad (II.35)$$

Où :

K_{ac} : est un coefficient dépendant du type d'accessoire.

Dans le tableau 1, on donne une série de valeurs de K_{ac} pour différents accessoires.

Tableau II.2: Coefficient K_{ac} pour différents types d'accessoires dans la tuyauterie

Accessoire	Coefficient K_{ac}
Jonction du réservoir à tuyauterie connexion au ras de la paroi	0,5
Jonction de tuyauterie au réservoir	1,0
Coud 45°	0,35 à 0,45
Coud 90°	0,50 à 0,75
Tés	1,50 à 2,0
Vanes de contrôle (ouverte)	3,0

Une autre méthode pour tenir compte des accessoires du circuit est d'ajouter à la longueur réelle de la tuyauterie (seulement pour effet de calcul) des longueurs de tubes de même diamètres que le conducteur en étude, capables de causer les mêmes pertes de charge occasionnés par les pièces qu'elles substituent. De cette façon, n'importe quel accessoire peut être substitué par une longueur fictive. En général, on recommande que la hauteur dynamique ne dépasse pas 10 % de la hauteur totale de pompage.

II.9.1.3 Détermination de l'énergie solaire disponible

La méthode de dimensionnement utilisée est basée sur les calculs des valeurs moyennes journalières mensuelles de l'irradiation solaire disponible et de l'énergie hydraulique nécessaire.

II.9.1.4 Inclinaison du générateur photovoltaïque

L'inclinaison β des modules photovoltaïques (PV) par rapport au plan horizontal doit se faire de manière à optimiser le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire.

II.9.1.5 Mois de dimensionnement

Le mois de dimensionnement sera le mois le plus défavorable, c'est-à-dire celui dont le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire soit minimum.

Comme idée de principe, à chaque inclinaison β , correspond un mois le plus défavorable.

Le mois de dimensionnement à l'inclinaison optimale sera précisément celui qui présente le plus petit rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique. L'irradiation solaire $G_{dm}(\beta)$ et l'énergie hydraulique nécessaire E_h correspondante à ce mois serviront pour le choix des composantes du système.

II.9.1.6 Dimensionnement du générateur photovoltaïque

La puissance de sortie d'un générateur photovoltaïque sous les conditions standards de mesure, CSM, (éclairage $G_{ce} = 1000 \text{ W/m}^2$ et température de cellule $T_c = 25 \text{ °C}$)

Est:

$$p_p = \eta_g * A * G_{ce} \quad (II.36)$$

Où :

p_p : Puissance de sortie sous CSM (W)

η_g : Rendement du générateur à la température de référence (25 °C)

A : Surface active du générateur (m^2)

G_{ce} : Éclairement dans les CSM (1000 W/m^2)

L'énergie électrique journalière, E_e , est donnée par :

$$E_e = \eta_{pV} * A * G_{dm}(\beta) \quad (II.37)$$

Où :

η_{pV} : Rendement moyen journalier du générateur dans les conditions d'exploitation

$G_{dm}(\beta)$: irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison β ($\text{kWh/m}^2/\text{jour}$).

Le rendement η_{pV} peut être calculé à l'aide de l'expression :

$$\eta_{pV} = F_m [1 - \gamma(T_c - T_{c,ref})] \eta_g \quad (II.38)$$

Où :

F_m : Facteur de couplage, défini comme le rapport entre l'énergie électrique générée sous les

conditions d'exploitation et l'énergie électrique qui se générerait si le système travaillait au point de puissance maximum.

γ : Coefficient de température des cellules. γ prend des valeurs entre 0,004 et 0,005 /°C pour des modules au silicium mono et poly cristallin, et entre 0,001 et 0,002 pour des modules au silicium amorphe.

T_c : Température moyenne journalière des cellules durant les heures d'ensoleillement.

L'énergie électrique nécessaire est liée avec l'énergie hydraulique par l'expression

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{MP}} \quad (II.39)$$

Où :

E_h : Énergie hydraulique moyenne mensuelle (kWh)

η_{MB} : Rendement du sous-système moteur-pompe.

En substituant les équations (37), (38) et (39) dans (36), nous obtenons pour la puissance crête du générateur :

$$P_p = \frac{G_{ce}}{F_m [1 - \gamma(T_c - T_{c,ref})] G_{dm(\beta)}} \cdot \frac{E_h}{\eta_{MB}} \quad (II.40)$$

II.9.1.7 Dimensionnement du moteur

Le moteur doit être capable de supporter la puissance crête du générateur photovoltaïque.

II.9.1.8 Dimensionnement de la pompe

Le débit crête Q (m³/h) est calculé par la relation :

$$Q = \frac{3.6 P_h}{gh} \quad (II.41)$$

Où :

P_h : Puissance hydraulique nécessaire (W)

g : accélération de la pesanteur (9.81m/s²)

h : hauteur manométrique totale (m)

La puissance hydraulique crête (P_h) nécessaire en fonction de la puissance électrique crête fournie par le générateur photovoltaïque (P_e) est donnée par :

$$p_h = p_e \eta_{MB} \quad (II.42)$$

Où :

η_{MB} : Rendement crête du sous-système moteur-pompe.

II.9.1.9 Dimensionnement des tuyauteries

Le diamètre des tuyauteries peut être estimé en utilisant des tableaux ou des graphes qui expriment les pertes par frottements en fonction du débit pour chaque diamètre de la tuyauterie. En pratique, il se présente le problème de fixer la hauteur dynamique h_d pour des considérations économiques. En effet, si nous augmentons le diamètre D de la tuyauterie, h_d diminue. Economiquement parlant, une augmentation de D suppose une augmentation des dépenses d'installation, mais en même temps une diminution des pertes d'énergie. Le diamètre le plus économique sera celui qui réduit au minimum la somme des coûts de la tuyauterie et de l'énergie perdue par frottements. Il est possible d'obtenir analytiquement les diamètres des tuyauteries de pompage qui s'approximent à ceux qui minimisent les coûts des installations par la formule de Bresse [32]:

$$D = K\sqrt{Q} \quad (II.43)$$

D : diamètre de la tuyauterie (m)

K : coefficient qui varie de 0,75 à 1,40

Q : débit crête de la pompe (m^3/s)

L'équation de continuité est:

$$Q = \frac{\pi * D^2}{4} V \quad (II.44)$$

Choisir la valeur K équivaut à fixer la vitesse moyenne du fluide(v). Enfin en substituant dans l'équation de continuité la valeur de Q prise de la formule de Bresse, nous avons :

$$V = \frac{4}{\pi * K^2} \tag{II.45}$$

Quelque soit la formule employée, les diamètres obtenus diffèrent fréquemment des diamètres commerciaux. Il suffit de prendre la valeur du diamètre commercial le plus proche .

II.10 Méthode graphique

En se basant sur les équations intérieures, nous pouvons représenter un diagramme qui nous permet de déterminer d’une manière approximée la taille du générateur photovoltaïque pour une demande connue d’énergie hydraulique pour le mois de dimensionnement. La méthode permet le calcul de la puissance crête à l’aide de tracé de droites dans le diagramme cité, en reliant les différentes valeurs d’énergie hydraulique et électrique avec les valeurs de rendements du sous-système moteur-pompe et l’irradiation moyenne journalière, que nous supposons connues (Figure II.15).

Le point de départ est l’axe OB, où on choisit la valeur correspondante à l’énergie hydraulique requise (en kWh/jour). Si nous traçons une ligne horizontale qui passe cette valeur, l’intersection avec celle qui correspond au rendement du sous-système moteur-pompe.

La projection de ce point d’intersection sur l’axe OC, nous donne la valeur correspondante de l’énergie électrique requise. Si nous prolongeons cette nouvelle valeur vers le haut du diagramme, nous obtiendrons de nouveaux points d’intersection avec les droites qui représentent les différentes valeurs moyennes journalières de l’irradiation. En choisissant la droite appropriée à l’irradiation solaire du mois de dimensionnement, on obtient par projection sur l’axe OA la valeur correspondante de la puissance crête du générateur photovoltaïque. En utilisant aussi un autre diagramme, nous pouvons déterminer graphiquement le débit de la pompe (l/s) à partir de la puissance du générateur (Figure II.16).

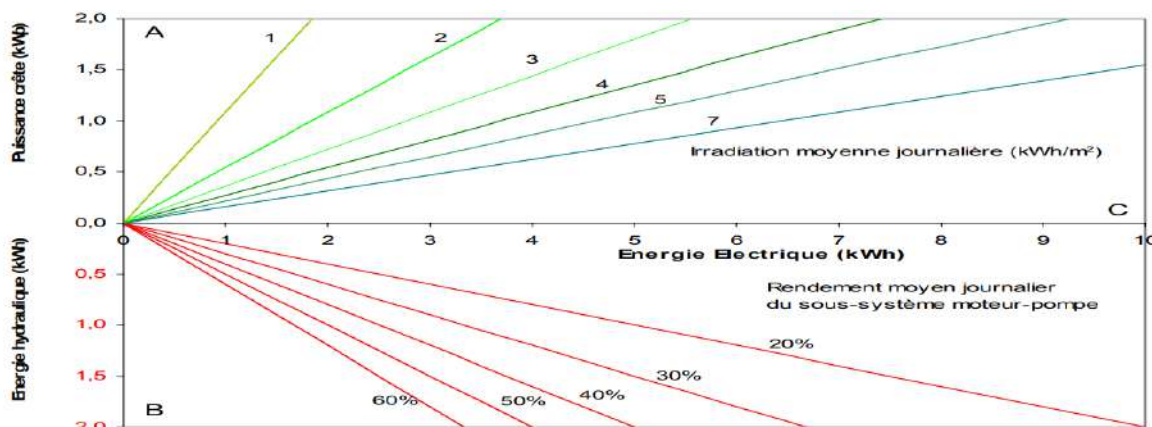


Figure II.15 : Diagramme pour déterminer la taille du générateur photovoltaïque nécessaire pour couvrir une demande d'énergie hydraulique.

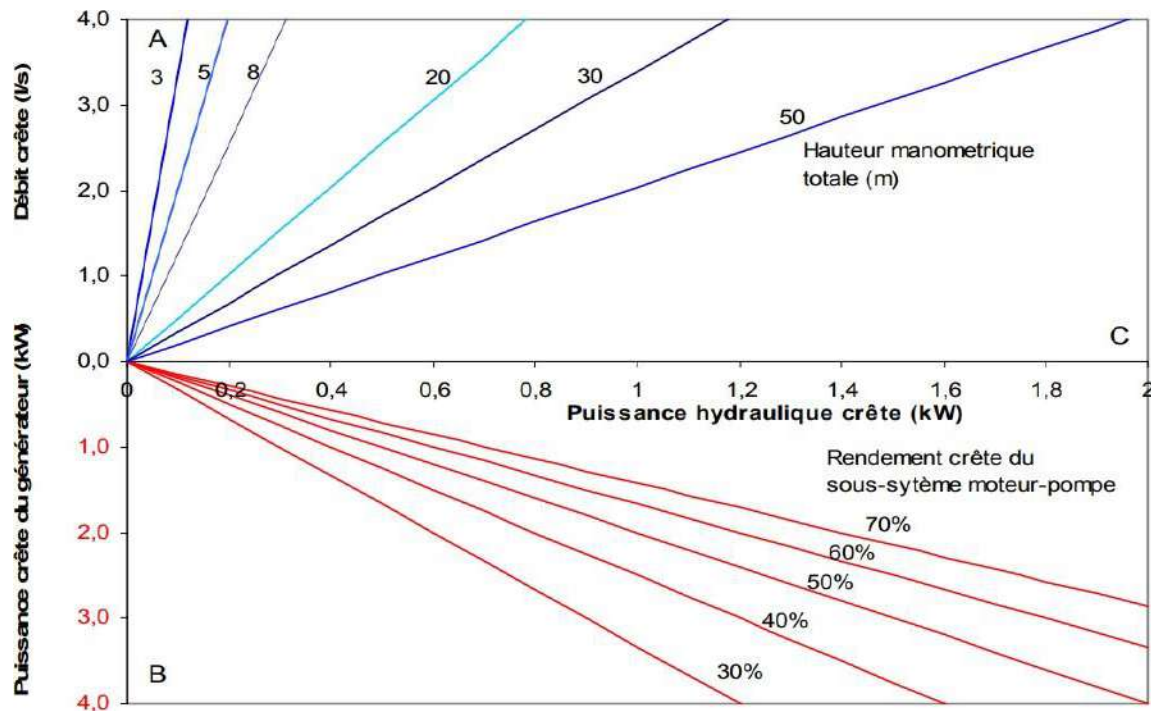


Figure II.16: Diagramme pour déterminer le débit crête de la pompe.

II.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé de nombreuses choses importantes et nécessaires dans ce système de pompage photovoltaïque, compris le modèle photovoltaïque, les simulations de panneaux photovoltaïques et les types de pompage utilisés. Vous conclurez également que le système le plus approprié pour nous dans ce cas est le système de pompage photovoltaïque avec stockage d'eau dans la citerne du fait de son efficacité et de son coût.

Nous avons également fourni des définitions importantes et nécessaires pour comprendre l'étude scientifique présentée dans le chapitre suivant.

Chapitre III
Dimensionnement
de système de
pompage
photovoltaïque au
fil du soleil

III.1 Introduction

L'utilisation de l'énergie soleil pour le pompage de l'eau est particulièrement bien adaptée aux zones arides. Ces dernières reçoivent en général un fort ensoleillement et l'eau qui fait cruellement défaut dans ces régions se trouve stockée dans des nappes souterraines. En effet la réalisation de systèmes de pompage fiables et à bon rendement constitue une solution pratique et économiques au problème du manque d'eau de surface dans les régions désertiques.

Nous avons présenté dans ce chapitre, une application de dimensionnée par trois méthode sur un système de pompage photovoltaïque, répondant à des besoins locaux dans la région de Ouargla. Nous faisons remarquer que souvent, le souci d'investissement est prioritaire à l'efficacité du système. Pour cela nous allons étudier aussi la rentabilité de l'installation.

III.2 Situation géographique

L'exploitation est située au Nord de la ville d'Ouargla, à 3 kilomètres environ du centre-ville d'Ouargla. Ses coordonnées sont les suivantes: Ses coordonnées sont les suivantes:

- Latitude : 31°,57' Nord
- Longitude : 5°,20' Est
- Les altitudes sont comprises entre 132,5(m).

III.3 Milieu physique

III.3.1 Climatologie

Le climat d'Ouargla est caractérisé par un climat saharien avec des températures élevées, de faibles précipitations et une forte évaporation [6].

III.3.1.1 Température

Ouargla est une ville du Sud du territoire national dont le climat est saharien, désertique et sec. Les températures moyennes à travers la Wilaya sont de 45° (max) en été et de 10° (min) en hiver (Tableau III.1) [35].

Tableau III.1: Température moyenne mensuelle à Ouargla [35]

Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Été			Moyenne
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	
max C°	42	31	24	19	20	23	23	31	36	43	45	44	31,75
min C°	29	21	15	12	10	12	14	20	26	32	33	33	21,41

III.3.1.2 Précipitations

Les précipitations annuelles moyennes sont de 15 mm. Avec 95 mm, janvier est le mois le plus pluvieux (Tableau III.2) [35].

Tableau III.2: Précipitations moyennes mensuelles à Ouargla [35]

Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
Moyenne (mm)	24,1	0,7	00	11	95	10	30	5,2	12	0,5	00	00

III.3.1.3 Vents

Les vents sont généralement légers et variables, avec un long cycle saisonnier. Les vents dominants viennent du sud et du sud-ouest (Tableau III.3) [35].

Tableau III.3: Vitesse moyenne mensuelle des vents à Ouargla [35]

Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
Vitesse (m/s)	5	4,7	5	4,8	5,5	5,8	6,6	7,2	6,3	6,3	5	4,7

III.3.1.4 Evaporation

La situation géographique d’Ouargla dans la région saharienne provoque une évaporation intense en été, allant de 266 mm en juin à 45 mm en janvier, avec une moyenne annuelle de 161,9 mm (Tableau III.4) [33].

Tableau III.4: Evaporation mensuelle moyenne à Ouargla [33]

Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
Evaporation (mm)	385,05	269,85	163,53	119,73	128,59	156,12	231,11	313,69	408,89	474,97	595,8	493,94

III.4 Caractéristiques techniques de forage utilisé dans la région d’Ouargla

Le forage qui a été choisi est le forage (Sonal gaz) caractérisée par :

- Nom de FORAGE:D 7 F 11
- Année de FORAGE:2003
- Nappe capté : Moi Pliocène du Complexe Terminal.
- Constitution de la zone productive : sable moyen avec passage de sable fin.
- Profondeur de puits est : 161(m).
- Niveau statique: 33, 6 (m).
- Débit Max: 10 (l/s).
- Débit exploité: 9 (l/s).
- le rabattement : $R_m=42,90(m)$

III.5 Rayonnement solaire

Le tableau ci-après donne les valeurs de rayonnement global journalier calculées sur la moyenne mensuelle pour des rayons incidents [37].

Tableau III.5 : Valeurs de l'irradiation globale journalière mensuelle pour une inclinaison optimale [37]

Seasons	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
Irradiation (kWh/m²/jour)	6.014	5.994	6.209	5.271	6.157	6.347	6.092	6.454	6.501	6.953	7.162	6.777

III.6. Dimensionnement du système de pompage photovoltaïque au fil du soleil

Cette étude de dimensionnement permet de savoir les caractéristiques nominales des composants nécessaires pour la réalisation du système de pompage au fil du soleil.

III.6.1 Méthodes de dimensionnement

Nous effectuons le dimensionner notre système suivant les trois méthodes:

III.6.1.1 Méthode du mois le plus défavorable

Dans cette méthode, on estime l'énergie récupérable pour une période critique d'un mois, appelé le mois le plus défavorable. Ce mois correspond au mois ayant une irradiation la plus faible de l'année (Décembre pour Ouargla, l'irradiation égale à 5.271kWh /m²/jour).

III.6.1.2 Méthode de la moyenne annuelle

Cette méthode consiste à considérer l'irradiation moyenne de l'année entière (Pour Ouargla, l'irradiation moyenne annuelle est égale à 6.327 (kWh /m²/jour).

III.6.1.3 Méthode mois par mois

Cette méthode est basée sur le choix du mois ou le rayonnement et le plus forte par rapport ou autre mois car d'après l'observation des données des volumes d'eau demandé par notre périmètre que nous voulons irrigué nous remarquons qu'il a une corrélation entre les volumes d'eau demandé et le rayonnement solaire des mois considéré, pour notre cas le mois de juillet pour la région de Ouargla, l'irradiation égale à 7.162(kWh/m²/jour) et le volume d'eau demandé est de 65.76 (m³/jour).

III.6.2 Composant du système de pompage photovoltaïque au fil du soleil

- Le réservoir d'eau
- Le groupe moteur-pompe
- L'onduleur
- Le générateur photovoltaïque

III.7 Estimation des besoins en eau

Dans le sous-sol de la vallée d'Ouargla, il existe trois grands ensembles aquifères qui, du haut vers le bas, sont : La nappe phréatique, le Complexe Terminale le Continental Intercalaire dite aussi nappe de l'Albien fortement artésienne [6].

Dans notre cas nous commençons par l'estimation des besoins mensuels journaliers en eau pour un hectare des palmiers à Ouargla. La figure ci-après nous présentons les valeurs des besoins en eau d'un hectare de palmier sur une ferme située à périmètres d'Ouargla:[33]

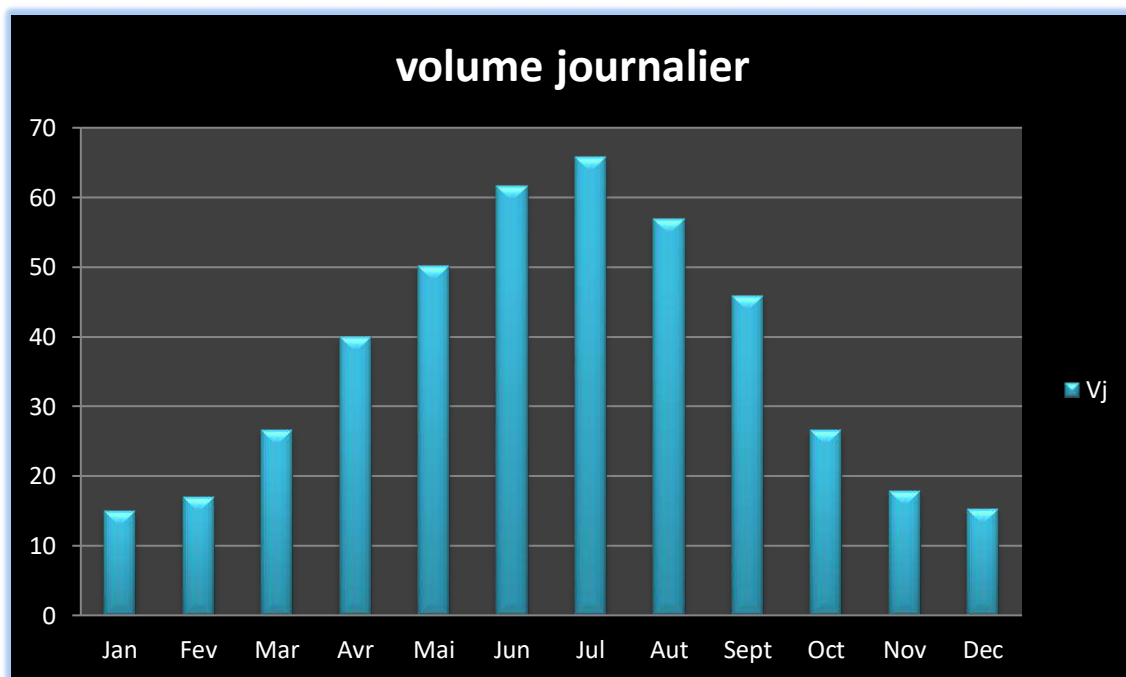


Figure III.1 : Volumes journaliers des besoins en eau d'irrigation.

III. 8 Étape de dimensionnement du système de pompage au fil du soleil

Pour chaque méthode on passe par les étapes suivantes :

III.8.1 Estimation de nombre d'heure de fonctionnement à ensoleillement maximal

Le calcul de nombre d'heures d'ensoleillement maximal :

$$N_H = \frac{G_{dm}(\beta)}{G_{ce}} \quad (III.1)$$

$G_{dm}(\beta)$: irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison β (Wh/m²/jour).

G_{ce} : éclairement dans les STC (1000 W/m²)

III.8.2 Calcul du débit horaire et secondaire

Le calcul du débit horaire et secondaire:

$$Q_h = \frac{V_a}{N_H} \quad (III.2)$$

Q_h : Débit horaire (m³/jour)

V_a : Volume d'eau journalier en (m³/jour).

N_h : Nombre d'heures d'ensoleillement maximal (heures/jour)

$$Q_s = \frac{Q_h}{3600} \quad (III.3)$$

Q_s : Débit horaire en (m³/S)

III.8.3 Calcul de diamètre de la tuyauterie

Il est possible d'obtenir analytiquement les diamètres des tuyauteries de pompage qui s'approximent à ceux qui minimisent les coûts des installations par la formule de Bresse : [5]

$$D = K\sqrt{Q_s} \quad (III.4)$$

D : Diamètre de la tuyauterie(m)

K : Coefficient qui varie de 0,75 à 1,40

Q_s : Débit crête de la pompe (m³/s)

III.8.4 Calcul de la vitesse moyenne du fluide

La vitesse moyenne du fluide calcul par la relation suivant :

$$V = \frac{4 * Q_s}{\pi * D^2} \quad (III.4)$$

π : Constant égal (3.14 rad)

III.8.5 Calcul de niveau dynamique

Dans le cas où le système de tuyauterie aurait un autre type d'accessoires (vannes, coudes, tés, jonctions, ...), nous pouvons calculer les pertes de charge dans chaque élément additionnel comme : [32]

$$h_d = K_{ac} * \frac{V^2}{2 * g} \quad (III.5)$$

K_{ac} : est un coefficient dépendant du type d'accessoire.

III.8.6 Calcul de la hauteur magnétométrique(HMT)

La hauteur totale de pompage dans le cas de puits qui présentent des variations importantes du niveau d'eau en fonction du débit, on peut ajouter un terme correctif et cette équation devient : [32]

$$h = h_s + h_d + R_m + h_r \quad (III.6)$$

h : hauteur totale (m)

h_s : niveau statique (m)

h_d : niveau dynamique (m)

R_m : le rabattement (m)

h_r : hauteur de réservoir au sol (m)

III.8.7 Choix de la pompe immergée

Afin de faire le bon choix d'une pompe immergée vous devrez considérer certains critères en fonction de La hauteur la hauteur manométrique totale, c'est-à-dire entre la pompe immergée et le point d'évacuation de l'eau et le débit désire [6].

III.8.9 Choix de l'onduleur

Le choix de l'onduleur dépend des caractéristiques électriques de la pompe a alimenté (Puissance, tension).

III.8.10 Calcul de l'énergie hydraulique

Une fois définies les besoins nécessaires en volume d'eau pour chaque mois de l'année et les caractéristiques du puits, nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle nécessaire à partir de la relation : [32]

$$Eh = (g * \rho * Va * h) / 3600 \quad (III.8)$$

Eh : énergie hydraulique (Wh/jour)

Va : volume d'eau (m³/jour)

III.8.11 Capacité de réservoir du système

La technique de pompage choisi pour notre cas est le pompage au fil du soleil (système sans batteries) mais avec stockage de l'eau dans un réservoir. La capacité de réservoir dépend de nombre de jours d'autonomie. Pour notre étude, nous avons choisi un réservoir qui assurer deux jours d'autonomie [6].

III.8.12 Calcul de la puissance électrique crête du générateur photovoltaïque

Selon la puissance demandée par la charge et l'irradiation journalière incidente sur le plan du générateur, la puissance crête que doit fournir le générateur PV est calculée par l'expression suivante : [6]

$$P_c = \frac{G_{ce}}{F_m [1 - \gamma(T_c - T_{ref})] * G_{dm}} * \frac{E_h}{1000 * \eta_{pompe} * \eta_{moteur} * \eta_{onduleur}} \quad (III.9)$$

P_c : la puissance crête de générateur photovoltaïque (W)

F_m : facteur de couplage

γ : coefficient de température des cellules Photovoltaïques

T_c : Température moyenne journalière des cellules

$P_{VT_{ref}}$: Température de cellule en(STC) égal 25°C

G_{ce} : Eclairement dans les CSM (1000 W/m²)

$G_{dm}(\beta)$: Irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison β (kWh/m²/jour).

III.8.13 Nombres de module

Les nombres des modules sont calculés par l'équation suivante :

$$N_M = \frac{P_c}{P_M} \quad (III. 10)$$

P_M : Puissance de module (W)

III.8.14 Nombre de module en série

Les nombres des modules des branches en série sont calculés par l'équation suivante :

$$N_{MS} = \frac{V_{onduleur}}{V_M} \quad (III. 11)$$

$V_{onduleur}$: Tension nominale de l'onduleur(V).

V_M : Tension nominale du module(V).

III.8.15 Nombre de module en parallèle

Les nombres des modules des branches en parallèle sont calculés par l'équation suivante :

$$N_{MP} = \frac{N_M}{N_{MS}} \quad (III. 12)$$

N_M : Nombre de module

N_{MS} : Nombre de module en série

Pour cela la puissance crête corrigé est :

$$P_{CC} = (215 * N_{MS} * N_{MP}) \quad (III. 13)$$

P_{cc} : Puissance crête corrigée

III.9 Comparaison entre les méthodes de dimensionnement

Nous résumons les résultats de dimensionnement avec trois méthodes dans le tableau suivant :

Tableau III .6 : Résultats de dimensionnement de système par les méthodes utilisées

Les méthodes	Mois par mois (juillet.)	La moyenne annuelle	Mois le plus défavorable
$P_c (W_c)$	4500	5400	6160
$N_m = \frac{P_c}{P_M}$	20	24	28
$N_{ms} = \frac{V_{Onduleur}}{V_M}$	10	12	14
$N_{mp} = \frac{N_{ms}}{N_{mp}}$	2	2	2

Nous utilisons la relation suivante pour estimer la quantité d'eau pompée par le système après le dimensionnement trois manières utilisée :

$$V_a = \frac{P_c [F_m [1 - \gamma(T_c - T_{ref})] G_{dm(\beta)} \eta_{global}]}{G_{ce} * CH * h} * 1000 \quad (III. 14)$$

η_{global} : Rendement total.

CH : Constante hydraulique (kg.s.h/m²)

Tableau III.7 : Résultats de dimensionnement du système pour chaque mois et par les trois méthodes utilisées

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vref (m³/j)	15	16.89	26.61	39.90	50.15	61.6	65.76	56.89	45.92	26.55	17.88	15.14
V mois juillet. (m³/j)	56.958	58.715	56.356	59.706	60.14	64.321	66.255	62.693	55.635	55.45	57.439	48.751
Vannul (m³/j)	68.349	70.4587	67.627	71.646	72.168	77.186	79.506	75.232	66.762	66.54	68.926	58.513
V mois plus def (m³/j)	77.364	79.752	76.547	81.096	81.687	87.366	89.992	85.155	76.567	75.316	78.018	66.231

***Analyse des résultats:**

D'après les résultats de tableau précédent nous avons constaté que les méthodes de dimensionnement donnant un système surdimensionné, mais la corrélation entre les besoin en eau et la production en eau dans le cas d'un système dimensionné selon les données solaire de mois de juillet (le mois avec le plus de consommation d'eau) c'est le choix idéal pour le dimensionnement de ce système, donc la puissance crête minimale a installé pour notre générateur est $P_c=4500W$, donc le système finale choisi aura les caractéristiques suivantes :

- la motopompe utilisée est porté sur une gamme de pompes immergées proposées par le constructeur PANELLI (italian excellence). Cette gamme est constituée de pompes de dimensions différentes, chaque type de pompe est disponible avec un nombre de roues variables afin d'obtenir le point de fonctionnement requis. Les types des pompes sont donnés dans le tableau suivant : [2]

Tableau III.8 : Représentation de méthode de choix de la pompe immergée

Type	POWER		l/min	0	150	200	250	300	350
			l/sec	0	2.50	3.33	4.17	5	5.83
	KW	HP	m^3/h	0	9	12	15	18	21
95PR18N/05	1.1	1.5	H(m)	28	22	19	17	14	9
95PR18N/07	1.5	2		39	30	27	24	19	12
95PR18N/10	2.2	3		56	43	39	34	27	17
95PR18N/14	3	4		78	61	54	48	38	24
95PR18N/19	4	5.5		106	82	74	65	52	33
95PR18N/23	5.5	7.5		128	100	89	79	63	40
95PR18N/32	7.5	10		178	139	124	110	87	55

Donc la pompe immergée la plus adaptée pour nous dans le cas étudié est 95PR18N/19 avec une puissance de 4kW et de rendement 64.5%.

- l'onduleur choisi est RSI avec une puissance de 5.5kW et de rendement 98% [3].

Tableau III.9 : Caractéristiques électriques de l'onduleur [8]

Type	Puissance en (Watts)	Tension d'entrée DC(V)	Tension Sortie AC(V)	Fréquence (Hertz)
RSI	5500	230-380 V	3*220	5-60

- L'énergie hydraulique journalière pour le mois de de juillet

$$E_h = ((9.81)*(1000)*(65.76)*(82))/3600 = 14694.072(\text{Wh/j})$$

III.10 Évaluation financier et rentabilité du système

Il est nécessaire de comprendre les coûts spécifiques associés à notre installation afin de valoriser les résultats de notre étude.

Pour une analyse économique détaillée du pompage de l'eau d'irrigation avec l'utilisation d'un générateur photovoltaïque sur un milieu saharien s'impose. Une comparaison de cette technologie photovoltaïque avec d'autres alternatives concurrentes telles que la connexion à un réseau existant (SONALGAZ), cette étude nécessitera des moyennes logistiques importants, tels que : une pléthore d'informations sur l'équipement et les paramètres influencent sur le fonctionnement et l'utilisation de ces systèmes.

III.10.1 Coût de l'installation avec réalisation d'un 1km de réseau MT (Sonelgaz)

Les Composants d'un système classique (Réseau électrique) :

- Les travaux neufs MT (aériens)
- Poste de transformateur
- Transformateur 160kVA
- Le groupe motopompe

Le prix de construction d'une nouvelle ligne d'alimentation MT d'après SONELGAZ, dans ce sens, la facture pour réaliser un linge MT de longueur de 1 km sans transformateur est présentée dans le tableau suivant :

Tableau III.10: Prix des composants du réseau électrique

MISE EN ŒUVRE					
	Désignation article	unité	Quantité TPR	Prix Unitaire	montant total
1	Réseau MT/A 30 kV 3*34.4mm Alm	ML	1000	150.00	150000.00
2	Poste ACC 100 kV	Un	01	10000.0 0	10000.00
3	Poste IACM 36 kV	Un	01	10000.0 0	10000.00
FOURNITURE		TOTAL			170000.00
		MT/Aérienne			
	Désignation article	unité	Quantité TPR	Prix Unitaire	montant total
1	Conducteur Almélec 34.4mm	ML	3000	200.00	600000.00
2	Support métallique Galvanisé 96BSG99	Un	01	200000. 00	200000.00
3	Support métallique Galvanisé 106BSG88	Un	05	170000. 00	850000.00
4	Support métallique Galvanisé 106BSG66	Un	06	150000. 00	900000.00
5	Chaine Isolateur à 04 Eléments CTV 175	Ens	40	5000.00	200000.00
6	Chaine Isolateur à 03 Eléments CTV 175	Ens	30	5000.00	150000.00
7	Armement simple ancrage Galvanisé BHG	Un	05	17000.0 0	85000.00
8	Armement Double ancrage Galvanisé NAHG	Un	05	30000.0 0	15000.00
9	Armement D'alignement Galvanisé NVNG	Un	08	15000.0 0	150000.00
1	IACM 36 kV	Un	02	270000.	270000.00

0				00	
1	Cadenas pour IACM 36 kV	Un	02	25000.0	25000.00
1				0	
1	Plaque DM	Un	03	500.00	1500.00
2					
1	Mise à la terre support	Ens	03	2000.00	6000.00
3					
1	Mise à la terre IACM	Ens	01	8000.00	8000.00
4					
1	Ensemble d'alignement	Ens	31	1500.00	46500.00
5	93.3mm				
1	Ensemble d'ancrage 34.4mm	Ens	30	8000.00	240000.00
6					
1	Armement poste ACC	Ens	01	50000.0	50000.00
7				0	
1	Chaine Eclateur à04 Eléments	Un	09	12000.0	108000.00
8				0	
1	Cosse Alu-Cui 34.4mm	Ens	12	1000.00	12000.00
9					
2	Socle porte fusibls avec 03	Ens	01	70000.0	70000.00
0	fusibls			0	
2	Mise à la terre éclateur	Un	03	12000.0	12000.00
1				0	
2	Mise à la terre Poste	Un	03	10000.0	10000.00
2				0	
2	Bloc Almélec 34 mm	Un	90	400.00	14800.00
3					
MISE EN ŒUVRE		TOTAL			4165000.00
		BT/Aérienne			
	Désignation article	uni	QuantitéTPR	Prix	montant
		té		Unitaire	total
1	Réseau BTA Torsadé	M	60	100.00	6000.00

	3*70+1*35+2*16 mm	L			
FOURNITURE		TOTAL			6000.00
		BT/Aérienne			
	Désignation article	unité	Quantité TPR	Prix Unitaire	montant total
1	Câble BTA Torsadé 3*70+1*35+2*16 mm	ML	60	600.00	36000.00
2	Ensemble d'ancrage torsadé 70 mm	Ens	06	1000.00	6000.00
3	Berceau pour câble 3*70	Un	30	100.00	3000.00
4	HAMPE Galvanisé	Un	03	100.00	6000.00
		TOTAL			51000.00
TOTAL MISE EN ŒUVRE+ Travaux de dépose		176000.00			
TOTAL FOURNITURE(HT)		4216000.00			
TOTAL EN HT		4392000.00			

Selon le tableau ci-dessus, pour réaliser une ligne de 1 km, vous devez payer des frais de 4918917.00DAZ avec un prix supplémentaire d'un transformateur 100kVA de 850000.00DAZ et le prix de poste de transformateur 1200000.00DAZ plus un TVA (19%) et frais généraux (15%) 644000.00DZD, Et n'oublions pas le prix d'un pompe immergée 144000.00DZD; soit un montant total =7230000.00DZD

Tableau III.11 : Prix d'une installation de système classique (Réseau électrique)

Désignation	Prix(DA)
Total travaux neufs MT (aériens)	4392000.00
Poste Transformateur (100kVA)	1200000.00
Transformateur (100kVA)	850000.00
TVA (19%) +Frais généraux (15%)	644000.00
Le groupe motopompe	144000.00
Total	7230000.00

Par exemple, le montant total de 1 kilomètre=7230000.00DZD, et avec une consommation d'eau annuelle égale à 240024m³, donc le coût d'un mètre cube par le système classique et de 7230000.00/240024=30.121DZD pour la première année, ensuite nous devons payer la facturation de consommation à partir de la seconde année.

Pour notre exemple à partir de deuxième année le coût du mètre cube est : 79004.25/240024= 0.329151DZD/an.

III.10.2 Coût d'une installation alimenté par du système PV

Les composants d'un système photovoltaïque de pompage d'eau au fil du soleil sont:

- Générateur photovoltaïques
- L'onduleur
- Le groupe motopompe
- Partie hydraulique (forage, réservoirs...)
- Les accessoires

La facture suivante (Tableau III.11) indique le coût complet d'une installation PV pour une puissance crête de notre générateur avec une estimation approximative selon les informations données par les vendeurs d'équipements dans notre région.

Tableau III.12 : Prix d'une installation de système photovoltaïque de pompage d'eau au fil du soleil.

Désignation	Quantité	Prix Unitaire	montant total
Générateur photovoltaïques	20	50000.00	1000000.00
L'onduleur	1	500000.00	500000.00
Le groupe motopompe	1	144000.00	144000.00
Partie hydraulique	Ens	320000.00	320000.00
Accessoire	Ens	100000.00	100000.00
TOTALEN HT			2064000.00
TOTALEN TVA			392160.00
TOTALEN TTC			2456160.00

Nous estimons le coût total d'installation pour une puissance crête qui correspond à notre générateur est de 2456160.00DZD. Ainsi, pour la première année, le prix du mètre cube d'eau pompée par le système de pompage photovoltaïque est de $2456160 / 240024 = 10.232$ DZD. A partir de la deuxième année, le mètre cube est presque gratuit, sauf l'ajout de cout d'un peu de travaux d'entretien pour de meilleures performances du système.

III.10.3 Résultats de comparaison du coût d'installation

Tableau III.13:Résultats de comparaison du coût d'installation

soit un 1km de ligne	système classique	système PV
prix d'installation	7230000.00DZD	2456160.00DZD
facturation annuelle	79004.25	00
consommation d'eau annuel m ³	240024m ³	
prix de m ³ pour le 1ere année	30.121DZD	10.232DZD
prix de m ³ a partie de 2 ^{eme} année	0.329151 DZD	00

En théorie, le raccordement à un réseau électrique via un prolongement de ligne permet d'accéder à un confort total. La réalité est plus compliquée car les coûts des lignes électriques varient fortement en fonction des spécifications et des conditions locales.

Les premiers résultats montrent que le prix d'un m³ d'eau pompé à l'aide d'un système de pompage photovoltaïque est très proche du prix d'un m³ d'eau pompé à l'aide d'un réseau dans le cas de réalisation d'une ligne aérienne MT de 1 km à partir de première ligne existant.

III.18.3.1 Dans le cas du réseau

L'éloignement existant de la première ligne existant c'est dire le coût élevé de la reconnexion et aussi la hausse du prix de l'énergie active (la facturation).

III.10.3.2 Dans le cas de pompage photovoltaïque

L'influence de l'éloignement sur le prix de l'énergie est négligeable avec le prix de l'énergie est directement lié au prix moyen, ce qui est avantageux pour notre zone d'étude, et il est lié au prix des modules photovoltaïques, qui baissera dans les prochaines années.

III.11 Conclusion

Ce chapitre est consacré au dimensionnement d'un système de pompage au fil du soleil et une comparaison économique détaillée entre trois méthodes de pompage de l'eau : le pompage PV au fil désolaient le pompage par Réseau électrique. Après l'analyse de chaque méthode, après nous avons effectué une analyse du coût d'un mètre cube d'eau pompée par chaque méthode.

Finalement nous remarquons, pour le système PV que les frais d'amortissement et d'investissements présentent la part la plus importante. C'est complètement différent dans le cas de réseau électrique où les frais d'Installation dépendent de l'éloignement de première ligne existant. Aussi la facturation du cout de consommation chaque année après l'installation.

*Conclusion
générale*

Conclusion générale

Ce travail a été consacré à l'étude du dimensionnement et de l'évaluation du coût du système de pompage photovoltaïque sur le site d'Ouargla. L'intérêt de l'énergie solaire pour le pompage de l'eau est facile à comprendre et à justifier. Pour commencer, le solaire photovoltaïque est une source d'énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. Cela explique également pourquoi son utilisation a considérablement augmenté partout dans le monde. D'autre part, les besoins en électricité, notamment pour les zones rurales et isolées, continuent d'augmenter, notamment pour les systèmes de pompage d'eau. Dans ce type d'emplacement, l'énergie conventionnelle du réseau est utilisée. Cependant, cette alimentation présente certains inconvénients, notamment en termes de transport et de maintenance. La visualisation des différentes possibilités pour chacun des éléments nous permet de faire un choix en fonction de paramètres techniques. En général, le coût par mètre cube d'eau pompée est un problème qui se pose lors de la conception d'un système de pompage solaire photovoltaïque. Nous devons également tenir compte de la disponibilité de l'équipement et de la possibilité d'une large gamme de pièces pour notre système. Il est important de comprendre que pour produire de l'eau à un coût abordable, trois conditions doivent être soigneusement étudiées :

Tout d'abord, améliorer la captation de la lumière solaire par les panneaux solaires afin de récupérer le maximum d'énergie possible, et placer les panneaux solaires à une bonne inclinaison.

Deuxièmement, l'utilisation maximale de l'énergie captée afin d'extraire le maximum d'énergie électrique disponible au niveau du générateur PV.

La troisième condition est d'améliorer le stockage de l'énergie électrique et hydraulique. Le stockage de l'eau dans des réservoirs hydrauliques est plus économique que le stockage de l'énergie électrique dans des batteries.

En utilisant une comparaison économique détaillée entre les méthodes de pompage d'eau présentées, il a été constaté que le coût par mètre cube d'eau peut varier car plusieurs facteurs peuvent influencer ces résultats. Les différences de paramètres pouvant être importantes, nos calculs nous permettent simplement de déterminer le niveau de coût de localisation.

Pour l'avenir plusieurs indications laissent prévoir une diminution des prix des composants du système et l'optimisation de l'adéquation entre les éléments de système de pompage PV.

*Références
bibliographiques*

- [01] <http://reec.memr.gov.jo/Pages/viewpage?pageID=1022>
- [02] Ahlam, B. A. A. D. J. I., & Imane, C. H. E. R. G. U. I. *Extraction des Paramètres du Module Photovoltaïque* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA) (2019) .
- [03] Boukhers, *Optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque. Application au pompage.*] (2007).
- [04] Boukhalfa, *Etude d'un système de pompage photovoltaïque* (Doctoral dissertation) (2011).
- [05] Soula, *Optimisation et dimensionnement d'un système solaire de pompage d'eau*] (2016).
- [06] Louazene, *Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla* (Doctoral dissertation, Université de Batna 2) (2008).
- [07] Bounechba, H., & Bouzid, A. *Contribution à l'étude d'un système de pompage photovoltaïque* (Doctoral dissertation, جامعة الإخوة مزبورى نسنطبة), (2015).
- [8] DJALAB, « Diagnostic des défauts d'un système d'énergie renouvelable basée sur les techniques d'intelligence artificielle : Application sur un système photovoltaïque », thèse de DOCTORAT, Université Ziane Achour de Djelfa, 103 pages, 2020.
- [9] *Diagnostic des défauts d'un système d'énergie renouvelable basée sur les techniques d'intelligence artificielle: application sur un système photovoltaïque* (Doctoral dissertation, Ziane Achour University of Djelfa), (2016).
- [10] http://staff.univbatna2.dz/sites/default/files/azzoui_boubaker/files/chapitre2_systeme_photovoltaique-partie1.pdf
- [11] Khenfer, *Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques* (Doctoral dissertation), (2018).
- [12] A. BUYERS " Les systèmes photovoltaïques " Article Canada 2002.
Site:<http://www.rncan.gc.ca>.
- [13] S. Singer, and A.Braunstein, (A general model of maximum power pointracking) Proceedings of MELECON 85, IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, Madrid, Spain pp147-151, (2012).

- [14] B. Multon, H. B. Ahmed, N. Bernard, « Les moteurs électriques pour applications de grande série », Pierre-Emmanuel CAVAREC Antenne de Bretagne de l'École Normale Supérieure de Cachan, Revue 3EI juin 2000.
- [15] Faure, F. (2003). Suspension magnétique pour volant d'inertie (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG) ,(2003).
- [16] Tarek Bouguerra, «Optimisation d'un système photovoltaïque : Application en continu et en alternatif», Mémoire de magistère, Université Mentouri de Constantine 1, 2014.
- [17] ariq, T. O. U. A. M. A., & Nouh, H. A. F. I. D. I. Commande d'un MPPT avec un convertisseur DC/DC pour un système photovoltaïque (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA) ,(2019).
- [18] Molle, B. Les stations de pompage individuelles pour l'irrigation. Coordinaire éditoriale,(1996).
- [20] https://www.mrpompes.com/web/download/product/desc/5b102081f1371_SOLAR_Schema.jpg.
- [21] <http://docplayer.fr/docs-images/72/67881649/images/27-0.jpg>.
- [22] https://wikiimg.tojsiabtv.com/wikipedia/commons/5/5b/Redox_Flow_Battery.jpg.
- [23] https://energieplus-lesite.be/wp-content/uploads/2019/03/RTEmagicC_125_B_sm.gif.
- [24] https://www.labonnepompe.com/10151-large_default/o.jpg .
- [25] https://www.usinenouvelle.com/expo/img/pompes-volumetriques-a-palettes-mouvex-serie-p-001876323-product_zoom.

- [26] M. Z. F.Z. Zerhouni, 'Optimisation d'un système à énergie verte avec validation pratique,' *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 11, no. N°1, p. 41–49, 2008.
- [27] Aissa, A., & Karim, A. Etude et dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri) ,(2018).
- [28] A. Saadi, "Etude comparative entre les techniques d'optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque," Université de Biskra Mémoire de Magister, 2000.
- [29] M'SILA. Boukaroura, A. Modélisation et diagnostic d'un onduleur triphasé par l'approche Bond-Graph (Doctoral dissertation), (2018).
- [30] Bouzghaya, I. Etude d'un hacheur à stockage capacitif,(2014).
- [31] Boukadoum, M. T., Hamidat, A., & Ourabia, N. Le Pompage Photovoltaïque. *Revue des Energies Renouvelables, NS Zones Arides*, 69-73,(2014).
- [32] Arab, A. H., Benghanem, M., & Gharbi, A. Dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque. *Revue des énergies renouvelables*, 8(1), 19-26, (2005).
- [33] A. djafour, M.S. aida, « Etude d'un système de pompage photovoltaïque pour l'irrigation d'une palmeraie à Ouargla » *Annales de la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur* vol.1 n° 3/2009.
- [34] Boukhalfa, S. *Etude d'un système de pompage photovoltaïque* (Doctoral dissertation) (2011).
- [36] Debili, N. Etude et optimisation en environnement Matlab/Simulink d'un système de pompage Photovoltaïque(2015).
- [35]<https://www.historique-meteo.net/afrique/algerie/ouargla/2021/#moyennes>
- [33] Salim, M. K., Ouargla, U. K. M., Nadjib, M. N., Encadreur, M. A. A., & Yacine, M. R. M. Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque(2018).
- [37] A. Djafour , M.S. Aida et B. Azoui, « Etude et dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque – hydrogène » 1^{ère} Conférence Nationale sur les Energies Renouvelables et leurs Applications. Adrar, Algérie, 2014.
- [32] Arab, A. H., Benghanem, M., &Gharbi, A. Dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque. *Revue des énergies renouvelables*, 8(1), 19-26,(2005).

[38] CHAARAOUI, N., & SENOUSSAOUI, F. *ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME DE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE* (Doctoral dissertation, university of M'sila), (2021).

[39] www.panellipumps.it.

[40] https://it.ensolar.com/pv/inverterdatasheet/7217/20245?utm_source=ENF&utm_medium=inverter_list&utm_campaign=enquiry_product_directory&utm.

[41]A. djafour, M.S. aida, « Etude d'un système de pompage photovoltaïque pour l'irrigation d'une palmeraie à Ouargla » *Annales de la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur* vol.1 n° 3/2009.