

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERRI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et Technologies**
Filière : **Electrotechnique**
Spécialité : **Energies Renouvelables**

Présenté par
SI TAYEB Ryma

ACHOUR Lynda

Thème

Etude d'un système de pompage photovoltaïque

Mémoire soutenu publiquement le 04/07/2024 devant le jury composé de :

M. Hamid MEHADDENE

MCB, UMMTO, Président

M. Hassene MOHELLEBI

Professeur, UMMTO, Encadreur

M^{elle} Cylia AMRANE

MAB, Université de Béjaia, Examinatrice

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude

*Envers le Professeur **Hassene Mohellebi***

Notre promoteur de projet,

*Pour son soutien constant, son expertise précieuse et ses conseils
éclairés tout au long de cette aventure académique.*

*Sa patience et son engagement ont été essentiels pour guider ce
projet vers sa réussite.*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À mon père

À ma chère maman, ma source infinie de tendresse et d'espoir,

À mes frères et sœurs, pour leur soutien inconditionnel,

À toute ma famille,

À mes amis Pour leur précieux soutien,

*À toutes les personnes qui m'ont encouragée et aidée tout au long
de mes études,*

À ma binôme et à sa famille, pour leur collaboration précieuse.

Lynda

Dédicace

Avec gratitude et reconnaissance, je dédie ce travail modeste:

À mon père, À ma chère maman, ma source infinie de tendresse et d'espoir, À mon frère, pour son soutien inconditionnel, À toute ma famille, À mes amis Lynda, Malika, pour leur précieux soutien, À toutes les personnes qui m'ont encouragée et aidée tout au long de mes études, À ma binôme et à sa famille, pour leur collaboration précieuse.

Cette dédicace témoigne de ma reconnaissance envers ceux qui ont enrichi mon parcours et m'ont encouragé à atteindre mes objectifs.

Ryma

Résumé

Notre étude se concentre sur l'évaluation des systèmes de pompage photovoltaïque dans des zones isolées en fonction de l'ensoleillement moyen. Nous nous intéressons principalement à leur utilisation pour fournir de l'eau à l'agriculture et aux industries. Nous cherchons à trouver l'endroit optimal pour ces systèmes en comparant leur efficacité et leur durabilité, tout en les comparant à l'hydroélectricité. Après avoir analysé l'irradiation solaire moyenne à Tamnasset, Beni Zmenzer et Maatkas, nous avons constaté que Tamnasset était le meilleur choix en raison de son ensoleillement fort et stable, ce qui favorise une production d'énergie solaire optimale. Son climat sec réduit les pertes d'énergie. En comparaison avec l'hydroélectricité, bien que celle-ci offre un stockage naturel et une puissance continue, les avantages d'une production durable et flexible à Tamnasset par les systèmes photovoltaïques sont significatifs pour répondre aux besoins énergétiques locaux. Notre étude recommande Tamnasset comme l'emplacement idéal pour les systèmes de pompage photovoltaïque, offrant une solution efficace et durable comparée aux avantages de l'hydroélectricité.

Mots clés : énergie solaire, photovoltaïque, pompage d'eau.

Summary

Our study focuses on evaluating photovoltaic pumping systems in isolated areas based on average Sunlight exposure. We are particularly interested in their use for supplying water to agriculture and Industries. Our goal is to identify the optimal locations for these systems by comparing their efficiency And durability, alongside assessing them against hydroelectricity.

After analyzing the average solar irradiation in Tamnrasset, Beni Zmenzer, and Maatkas, we found That Tamnrasset stands out due to its strong and stable sunlight, which enhances optimal solar energy Production. Its dry climate also minimizes energy losses.

In comparison to hydroelectricity, which offers natural storage and continuous power, the advantages Of sustainable and flexible solar production in Tamnrasset through photovoltaic systems are significant

In meeting local energy needs.

Our study recommends Tamnrasset as the ideal location for photovoltaic pumping systems, offering An efficient and sustainable solution compared to the benefits of hydroelectricity.

Keywords: solar energy, photovoltaic, water pumping.

LISTE DES ABREVIATIONS

PV : Photovoltaïque.

GPV : Générateur photovoltaïque.

HMT : Hauteur manométrique totale, en (m).

Q : Débit (m^3/h).

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

I_s : Courant de saturation de la diode (A).

I_{mpp} : Courant de point de puissance maximale(A).

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

R_s : Résistance serie (Ω).

R_{sh} : Résistance shunt (Ω).

AC : Alternating Current (Courant Alternatif).

DC : Direct Current (Courant Continu).

PPM : Point de Puissance Maximale.

H_g : Hauteur géométrique (m).

P_{ch} : Pertes de charge.

L : La longueur du câble(m).

S : La section du câble (mm^2).

Notations utilisées

Symbole	Désignation	Unité
λ	Longitude	Degrés (°) ou radians (rad)
φ	latitude	Degrés (°) ou radians (rad)
δ	Déclinaison solaire	Degrés (°) ou radians (rad)
ω	Angle horaire	Degrés (°) ou radians (rad)
α	Hauteur du soleil	Degrés (°) ou radians (rad)
ET	Equation de temps	-
TSV	Temps solaire vrai	H (Heure)
TSM	Temps solaire moyenne	H (Heure)
Gext	Rayonnement extraterrestre	W/m ²
p	Pression atmosphère	atm
D	Irradiation directe	W/m ²
I	Irradiation diffuse	W/m ²
τ_b	Transmissivité	-
τ_d	Transmissivité	-
G	Irradiation global	W/m ²
TU	Heure universel	h
GJM	Irradiation journalière moyenne	Wh/m ²
EC	Besoin énergétique	Wh/J
Pc	Puissance crête	W
K	Facteur de correction globale (entre 0,55 et 0,75) la valeur souvent utilisée est 0,65.	-
Nt	Nombre du panneau	-
Ns	Nombre de panneaux en série	-
Np	Nombre de panneaux en paille	-
Ep	Energie produite	Wh
Ph	Puissance hydraulique	W
Rp	Rendement du motopompe	%
g	l'accélération de la pesanteur g= (9,81)	m/s ²
D	Diamètre de la tuyauterie	m
V	Vitesse du fluide	m/s

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur le système du pompage photovoltaïque

Figure I-1 : L'irradiation solaire direct et diffus	3
Figure I-2 : Circuit électrique d'une cellule photovoltaïque	4
Figure I-3 : Caractéristique courant-tension d' une cellule PV	5
Figure I-4 : Caractéristique puissance-tension d'une cellule PV	6
Figure I-5 : Influence de l'éclairement sur le courant	6
Figure I-6 : Influence de l'éclairement sur la puissance	7
Figure I-7 : Courbe d'influence de température sur le courant et la puissance.....	7
Figure I-8 : Caractéristiques courants tension de N_s cellule en série	8
Figure I-9 : Caractéristiques courants tension de N_p cellule en parallèle.....	9
Figure I-10 : Commande PWM	10
Figure I-11 : Commande MPPT	10
Figure I-12 : Diagramme du pompage PV par Un motopompe à courant continu	11
Figure I-13 : Diagramme du pompage PV par Un motopompe à courant alternatif.....	12
Figure I-14 : Pompe immergée	12
Figure I-15 : Pompe surface	12
Figure I-16 : Pompe volumétrique.....	13
Figure I-17 : Pompe centrifuge.....	13
Figure I-18 : Réservoir au sol.....	14
Figure I-19 : Réservoir surélevés.....	14
Figure I-20 : Pompage photovoltaïque au fil de soleil.....	16
Figure I-21 : Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie.....	16

Chapitre II : Le dimensionnement du pompage photovoltaïque.

Figure II-1 : Hauteur manométrique totale 25

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque.

Figure III-1 : Localisation de sites pour Tamanrasset 28

Figure III-2 : Courbe de la pression P en fonction de l'altitude 31

Figure III-3 : Représente l'irradiation en fonction du temps pour Tamanrasset..... 34

Figure III-4 : Hauteur manométrique totale..... 41

Figure III-5 : Représente l'irradiation en fonction du temps pour Beni Zmenzer 46

Figure III-6 : Représente l'irradiation en fonction du temps pour Maâtkas 50

Figure III-7 : Représente l'irradiation en fonction du temps des 3 sites 54

Figure IV-1 : Générateur photovoltaïque et régulateurs PWM 57

Figure IV-2 : Pompe immergée..... 58

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur le système du pompage photovoltaïque

Tableau I-1 : Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux	4
Tableau I-2 : Comparaison des méthodes de pompage solaire	17

Chapitre II : Le dimensionnement du pompage photovoltaïque.

Tableau II-1 : Variation de la pression atmosphérique axe altitude.....	20
Tableau II-2 : Valeur des coefficients a_1 et b.....	21
Tableau II-3 : Section de câble pour système 48V entre panneaux solaires et les régulateurs	23
Tableau II-4 : Section de câble pour système 48V entre les différents éléments	23
Tableau II-5 : Section de câble pour système 24V entre panneaux solaires et les régulateurs	24
Tableau II-6 : Section de câble pour système 24V entre les différents éléments	24

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque.

Tableau III-1 : Les données géographiques.....	27
Tableau III-2 : Variation de la pression atmosphérique axe altitude	31
Tableau III-3 : Valeur des coefficients a_1 et b	32
Tableau III-4 : Représente l'irradiation en fonction du temps pour Tamanrasset	33
Tableau III-5 : Estimation des besoins journaliers	35
Tableau III-6 : Consommation d'énergie pendant les périodes d'irrigation à Tamanrasset	35
Tableau III-7 : Tension générateur en fonction de la puissance	37
Tableau III-8 : Caractéristique de GPV.....	37
Tableau III-9 : Section de câble pour système 48V entre panneaux solaires et les régulateurs	39
Tableau III-10 : Section de câble pour système 48V entre les différents éléments.....	40

Tableau III-11 : Caractéristique de puits et de réservoir	40
Tableau III-12 : Coordonnées géographe de Beni Zmenzer	45
Tableau III-13 : Profil d'irradiation solaire journalier	45
Tableau III-14 : Estimation des besoins journaliers.....	47
Tableau III-15 : Caractéristique de GPV	47
Tableau III-16 : spécifications d'un système photovoltaïque	47
Tableau III-17 : Caractéristique de puits et de réservoir	48
Tableau III-18 : Coordonnées géographe de Maâtkas	49
Tableau III-19 : Profil d'irradiation solaire journalier	49
Tableau III-20 : Estimation des besoins journaliers.....	54
Tableau III-21 : Caractéristique de GPV	51
Tableau III-22 : Spécifications d'un système photovoltaïque.....	52
Tableau III-23 : Caractéristique de puits et de réservoir	53
Tableau III-24 : L'irradiation pour les trois sites	53
Tableau III-25 : Les données hydrauliques des trois sites.....	55
Tableau IV-1 : Estimation des besoins journalière	58
Tableau IV-2 : Caractéristique de forage.....	59
Tableau IV-3 : spécification d'un système photovoltaïque	59

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur le système du pompage photovoltaïque	
Introduction.....	2
Partie 1 : Le système photovoltaïque.....	2
I.1.1. Energie solaire photovoltaïque.....	2
I.1.2. L'irradiation	2
I.1.3. Générateur photovoltaïque (GPV).....	3
I.1.4. La cellule photovoltaïque (PV)	4
I.1.5. Les types des panneaux solaire PV	5
I.1.5.1. Caractéristique électrique d'une cellule	5
I.1.5.2. Influence de l'éclairement	6
I.1.5.3. Influence de la température	7
I.1.5.4. Types des panneaux PV	8
I.1.5.5. Electronique de la commande et contrôle	9
I.1.5.6. Les types des convertisseurs des puissances DC/AC (onduleur)	9
I.1.5.7. La commande MPPT et PWM.....	10
Partie 2 : Le système de pompage photovoltaïque	11
I.2.1. Groupe motopompe	11
I.2.1.1. Les types de la pompe solaire	12
I.2.2. Réservoir d'eau	14
I.2.2.1. Types de réservoirs	14
I.2.2.2. Accessoire de pompage	14
I.2.3. Principe du fonctionnement du pompage photovoltaïque	15
I.2.4. Les parties du stockage	15
I.2.4.1. Le système de pompage au fil du soleil	15
I.2.4.2. Le stockage électrochimique	16
I.2.5. Les avantages et inconvénients des différentes méthodes de pompage.....	17
Conclusion	17

Chapitre II : Le dimensionnement du pompage photovoltaïque.

Introduction.....	18
II.1. Méthodologie de dimensionnement.....	18
II.2. Dimensionnement du générateur photovoltaïque.....	18
II.3. Calcul de l'irradiation solaire moyenne (GJM).....	18
II.4. Dimensionnement du générateur photovoltaïque.....	21
II.4.1. Le nombre de modules photovoltaïques.....	22
II.5. Détermination du type de régulateur.....	22
II.6. Le choix des câbles.....	22
II.7. Dimensionnement de la pompe.....	25
II.8. Dimensionnement des tuyauteries.....	26
Conclusion.....	26

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque.

Introduction.....	27
III.1. Situation géographique.....	27
III.2. Calcul de l'irradiation pour (Tamanrasset) la journée du 31-12-2024.....	28
III.2.1. L'irradiation global.....	33
III.2.2. Choix de la tension de GPV.....	37
III.2.3. Le nombre de panneaux du système.....	37
III.2.4. Choisir un régulateur.....	38
III.2.5. L'onduleur.....	39
III.2.6. Les câbles.....	39
III.3. Dimensionnement de pompage photovoltaïque (Tamanrasset).....	40
III.3.1. Dimensionnement de la pompe.....	40
III.3.2. Hauteur manométrique total.....	41
III.3.3. Les pertes de charge.....	41
III.3.4. Puissance hydraulique.....	42
III.3.5. Le débit.....	42
III.4. Dimensionnement des tuyauteries.....	43
III.5. Situation géographique site Béni Zmenzer.....	45
III.6. Irradiation pour une journée : du (31-12-2023 de 7h à 17h).....	45

III.6.1. L'irradiation journalière moyenne globale des différentes valeurs de l'irradiation pour chaque heure	46
III.7. Résultats de dimensionnement d'une installation photovoltaïque du Beni-Zmenzer	47
III.8. Dimensionnement de la pompe pour Beni-Zmenzer	48
III.9. Situation géographique Maâtkas	49
III.9.1. Irradiation pour une journée : du (31-12-2024 de 7h à 16h)	49
III.10. Résultats de dimensionnement d'une installation photovoltaïque Maâtkas	52
III.11. Dimensionnement de la pompe pour Maâtkas	53
III.12. L'irradiation globale pour (Tamanrasset, Beni – Zmenzer, Maâtkas)	53
III.13. Analyse de trois sites	54
III.14. Comparaison de trois sites	54
III.14.1. Comparaison de l'irradiation solaire	54
III.14.2. Conclusion	55
III.14.3 Comparaison de débit et la pompe	55
III.15. Analyse des performances hydrauliques des trois sites	55
III.15.1. Débit (Q).....	55
III.15.2. Hauteur manométrique	56
III.15.3. Puissance hydraulique	56
III.15.4. Comparaison	56
Conclusion	56
IV Dimensionnement de la maquette	57
Conclusion générale	57
Références bibliographiques	

Introduction générale

Introduction générale

Le pompage photovoltaïque représente une solution durable pour répondre aux besoins en eau potable, agricole et industrielle dans les régions éloignées ou dépourvues d'accès aux réseaux électriques conventionnels. Dans de nombreuses régions du monde, l'agriculture dépend de sources d'eau fiables pour maintenir des rendements alimentaires suffisants, mais cette dépendance est souvent limitée par des coûts élevés et une disponibilité irrégulière des combustibles fossiles utilisés dans les systèmes de pompage traditionnels. Le pompage photovoltaïque révolutionne ce paradigme en exploitant directement l'énergie solaire à l'aide de panneaux photovoltaïques, convertissant la lumière du soleil en électricité pour alimenter les pompes d'eau. Cette approche élimine non seulement le besoin de carburants externes mais réduit également de manière significative les coûts opérationnels à long terme, offrant ainsi une solution économiquement viable et durable.

L'avantage clé du pompage photovoltaïque réside dans sa capacité à transformer l'énergie solaire abondante et gratuite en une ressource utilisable pour l'irrigation, indépendamment des fluctuations des prix des carburants fossiles et des contraintes logistiques associées à leur transport et à leur stockage. En outre, cette technologie contribue à réduire l'empreinte carbone des exploitations agricoles en diminuant les émissions de gaz à effet de serre associées à l'utilisation de combustibles fossiles, ce qui améliore la durabilité environnementale globale de l'agriculture.

En intégrant le pompage photovoltaïque dans les systèmes d'irrigation agricole, les agriculteurs peuvent non seulement accroître leur autonomie énergétique mais aussi optimiser l'utilisation des ressources en eau disponibles. Cela permet une gestion plus efficace et durable des ressources hydriques, crucial dans un contexte de changement climatique où la disponibilité de l'eau devient de plus en plus imprévisible. De plus, en renforçant la résilience des systèmes agricoles face aux chocs climatiques et économiques, le pompage photovoltaïque joue un rôle essentiel dans la sécurisation des revenus agricoles et la réduction de la vulnérabilité des communautés rurales.

Le pompage photovoltaïque représente bien plus qu'une simple innovation technologique ; il incarne une transition vers une agriculture durable et résiliente, capable de répondre aux défis futurs tout en contribuant à la sécurité alimentaire mondiale. En adoptant cette technologie, les agriculteurs peuvent non seulement améliorer leur efficacité économique mais aussi contribuer de manière significative à la préservation des ressources naturelles et à la réduction des impacts environnementaux négatifs.

Chapitre I :

Généralités sur le système du pompage photovoltaïque

Introduction

Le pompage photovoltaïque représente une solution efficace et écologique pour répondre aux besoins en eau dans les zones où l'électricité est limitée, les panneaux photovoltaïques sont utilisés pour capturer l'énergie solaire et tout en soutenant le développement agricole et communautaire durable. la convertir en électricité. Cette électricité est ensuite utilisée pour alimenter des pompes à eau qui puisent l'eau d'un puits, d'un réservoir ou d'une autre source vers des destinations telles que des systèmes d'irrigation agricole, des réservoirs de stockage, ou directement vers des communautés pour un usage domestique.

Dans ce chapitre, on commencera par une présentation sur l'énergie solaire photovoltaïque qui permet d'alimenter une pompe solaire dans un forage ou un puits et stocker l'eau pompée dans un réservoir, et ce système utilise les composants suivants (Le générateur photovoltaïque, Le groupe électropompe, électronique de commande et de contrôle, etc....).

Partie 1 : Le système photovoltaïque.

I.1.1. Energie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie électrique renouvelable générée à partir du rayonnement solaire. Elle utilise des panneaux solaires, constitués de cellules photovoltaïques, pour convertir directement la lumière du soleil en électricité [13].

I.1.2. L'irradiation

L'irradiation solaire, également connue sous les termes d'ensoleillement ou d'éclairement, représente la puissance d'énergie reçue par unité de surface, mesurée en watts par mètre carré (W/m^2), (Wh/m^2) et (J/m^2). Il existe deux types principaux d'irradiation solaire : l'irradiation solaire directe et l'irradiation solaire diffuse.

Irradiation Solaire Directe : représente l'énergie solaire qui parvient directement des rayons du soleil vers la surface des panneaux solaires sans être diffusée ou dispersée par l'atmosphère.

L'irradiation solaire diffuse : est l'énergie solaire qui atteint la surface des panneaux solaires après avoir été diffusée ou dispersée par l'atmosphère, généralement due à la présence de nuages, de particules atmosphériques ou d'autres obstacles [14].

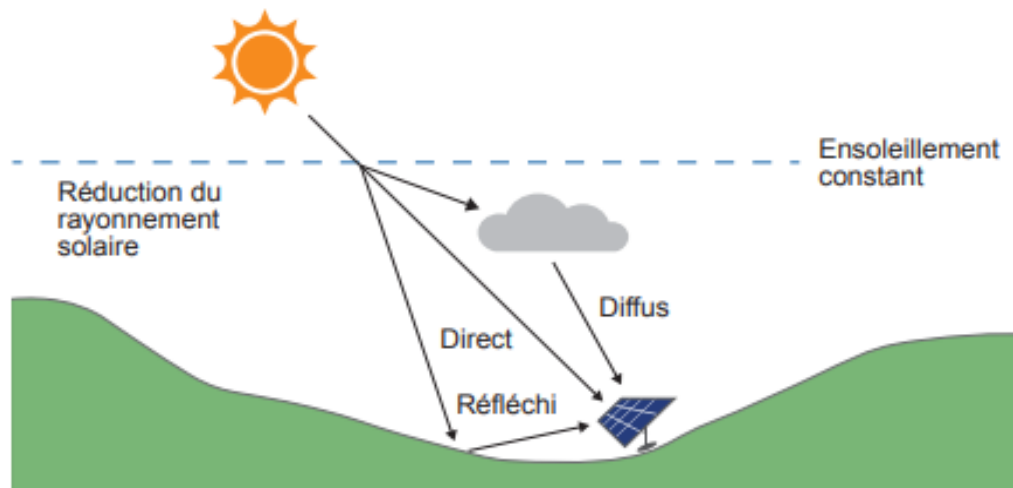


Figure I-1 : L'irradiation solaire direct et diffus [1].

L'irradiation solaire dépend de plusieurs facteurs :

- L'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires.
- La latitude géographique du lieu.
- La période de l'année.
- L'instant de la journée.
- La présence et la densité des nuages, qui peuvent atténuer le rayonnement solaire.

I.1.3. Générateur photovoltaïque (GPV)

Un générateur photovoltaïque : est un dispositif qui convertit directement l'énergie lumineuse du soleil en électricité grâce aux cellules photovoltaïques, chaque module photovoltaïque est lui-même composé de plusieurs cellules photovoltaïques. Cette interconnexion permet d'augmenter la puissance produite globalement [20].

- **L'inclinaison de panneaux solaire**

L'inclinaison idéale varie en fonction de la latitude et des saisons, car elle permet de capter le maximum de rayonnement solaire tout au long de l'année. Ajuster correctement l'inclinaison améliore l'efficacité globale du système photovoltaïque.

Tableau I-1 : Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux [22].

Latitude ϕ (°)	Inclinaison α (°)
$\phi > 10^\circ$	10
$10^\circ < \phi < 30^\circ$	ϕ
$30^\circ < \phi < 40^\circ$	$\phi + 10^\circ$
$\phi > 40^\circ$	$\phi + 15^\circ$

Les modules doivent être orientés : Plein sud dans l'hémisphère nord, Plein nord dans l'hémisphère sud. On peut toutefois se permettre une tolérance de 45° est/ouest [22].

I.1.4. La cellule photovoltaïque (PV)

Une cellule photovoltaïque, également appelée cellule solaire, est un dispositif électronique qui convertit directement la lumière du soleil en électricité. Elle est principalement composée de matériaux semi-conducteurs tels que le silicium, Lorsque la lumière solaire atteint la cellule photovoltaïque, elle excite les électrons à l'intérieur du matériau, créant ainsi un courant électrique continu.

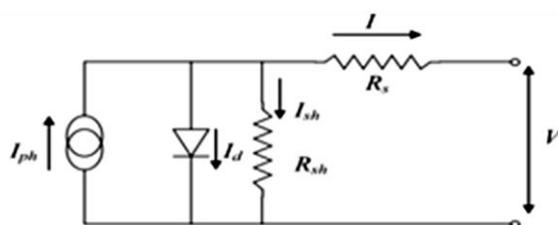


Figure I-2 : Circuit électrique d'une cellule photovoltaïque [2].

Le courant généré par la cellule peut être exprimé à l'aide de l'équation suivante : [2]

$$I = I_{ph} - I_s \left(\frac{q(V + I.R_s)}{nkt} - 1 \right) - \left(\frac{V + I.R_s}{R_{sh}} - 1 \right) \quad (1.1)$$

I : courant fournis par la cellule PV [A].

I_{ph} : courant photogénéré [A].

I_d : courant traversant la diode [A].

I_s : courant de saturation inverse de la diode [A].

V : tension de sortie[V].

q : charge de l'électron ($1,6 \cdot 10^{-19}$)[C].

I.1.5. Les types des panneaux solaire PV [19].

Monocristallines : Les cellules solaires monocristallines sont très pures, offrant le meilleur rendement (16-20%) mais sont coûteuses. Elles ont une forme octogonale et une teinte sombre.

Poly cristallines : Les cellules poly cristallines sont moins pures, avec un rendement légèrement inférieur (14-18%) mais sont moins chères. Elles sont rectangulaires et bleu nuit.

Amorphes (C) : Les cellules amorphes sont fabriquées à partir de silicium non-cristallisé, absorbent plus de lumière, sont moins chères et peuvent être utilisées sur des supports souples, mais leur rendement est faible (10-13%) que les cellules monocristallines [19].

I.1.5.1. Caractéristique électrique d'une cellule

a) Caractéristique courant-tension

La caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque montre comment le courant varie en fonction de la tension appliquée. C'est essentiel pour déterminer où la cellule produit le maximum de puissance électrique.

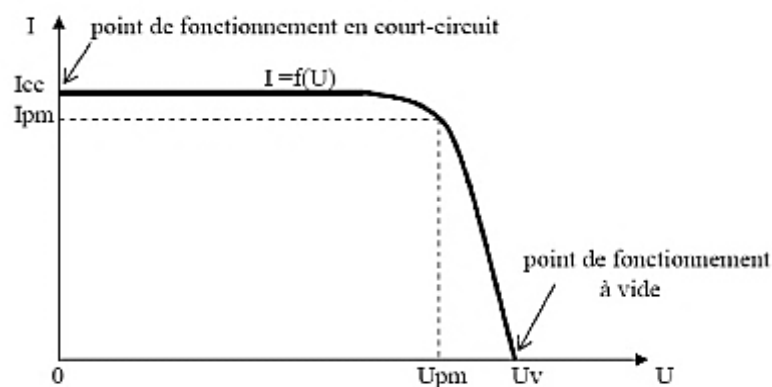


Figure I-3 : Caractéristique courant-tension d'une cellule PV [2].

b) Caractéristique puissance-tension

La caractéristique puissance-tension d'une cellule photovoltaïque montre la variation de la puissance électrique en fonction de la tension appliquée. Cette courbe identifie le point de puissance maximale (MPP), essentiel pour maximiser la performance des systèmes solaires.

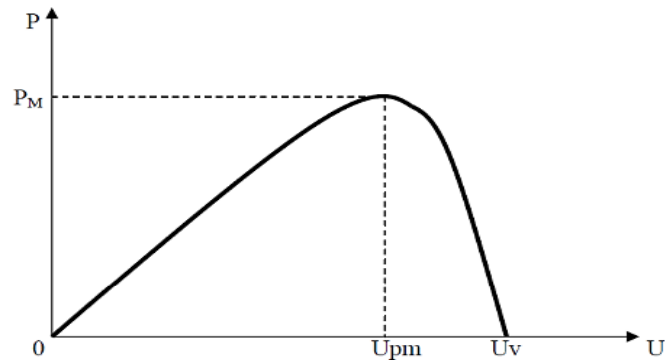


Figure I-4 : Caractéristique puissance-tension d'une cellule PV [2].

I.1.5.2. Influence de l'éclairement

Courant de court-circuit (I_{sc}) : Plus l'éclairement est élevé, plus le courant de court-circuit augmente.

Point de puissance maximale (MPP) : Un éclairement plus intense déplace le MPP vers des courants plus élevés, augmentant la puissance maximale.

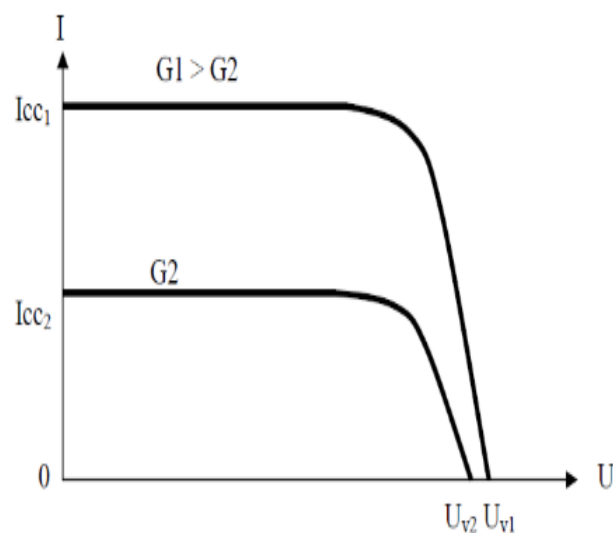


Figure I-5 : Influence de l'éclairement sur le courant [2].

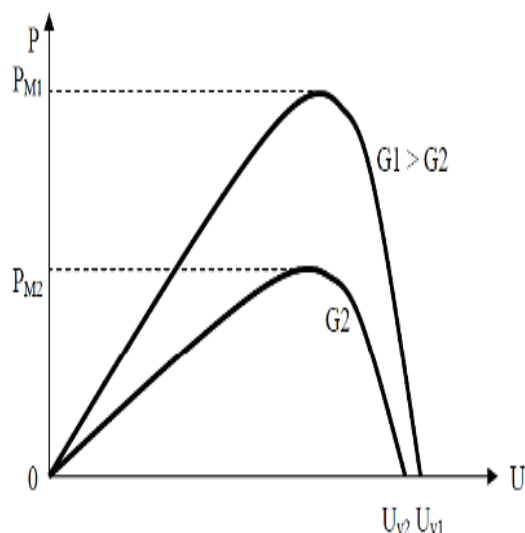


Figure I-6 : Influence de l'éclairage sur la puissance [2].

I.1.5.3. Influence de la température

L'augmentation de la température augmente légèrement le courant mais diminue fortement la tension en circuit ouvert des cellules photovoltaïques. Cela réduit leur point de puissance maximale et leur efficacité. Des températures plus élevées diminuent la performance des cellules photovoltaïques.

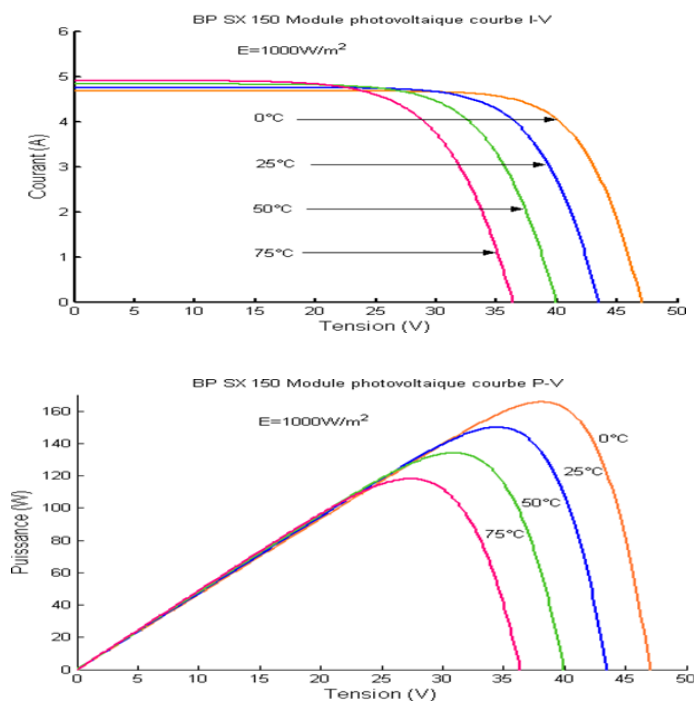


Figure I-7 : Courbe d'influence de température sur le courant et la puissance [2]

I.1.5.4. Types des panneaux PV [15]

Câblage en serie

L'association en série de cellules photovoltaïques N_s permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. L'équation qui résume les caractéristiques électriques d'une telle association série de N_s cellules est la suivante : [15]

$$V_t = N_s \cdot V_{CO} \quad (1.2)$$

$$I_{CC} = I_{CC} \cdot N_s \quad (1.3)$$

V_t : La somme des tension en circuit ouvert

$I_{CC}N_s$: Courant de court circuit

N_s : Cellules en série.

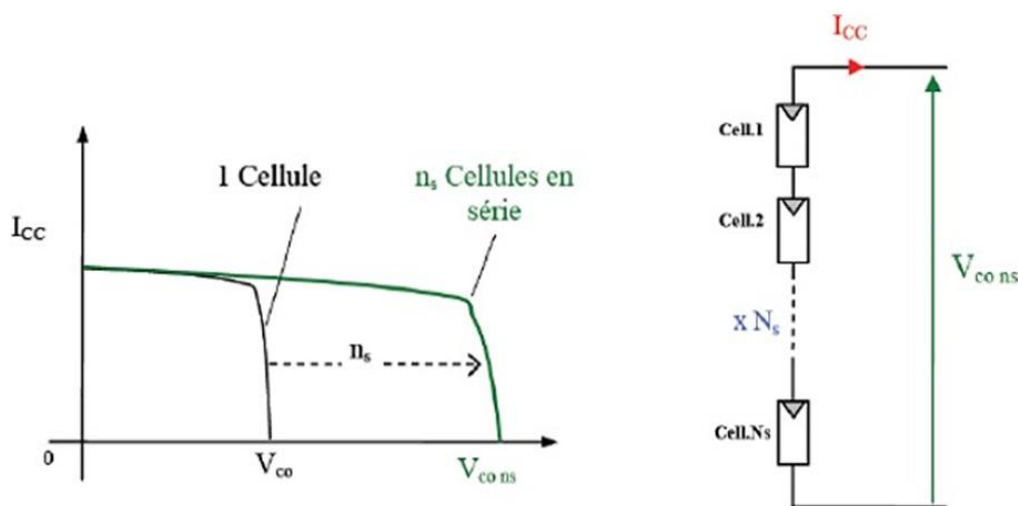


Figure I-8 : Caractéristiques courants tension de N_s cellule en série [3].

Câblage en parallèle

Lorsqu'on associe en parallèle ses cellules photovoltaïques N_p , le courant de sortie du générateur photovoltaïque est augmenté. Les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue en additionnant les courants de chaque cellule [15].

$$I_{CC}N_p = N_p I_{CC} \quad (1.4)$$

$$V_t = V_{CO} \quad (1.5)$$

$I_{CC}N_p$: La somme des courants de court-circuit de cellule en parallèle.

N_p : Cellule en parallèle.

V_t : Tension de circuit ouvert de (NP) cellule en parallèle.

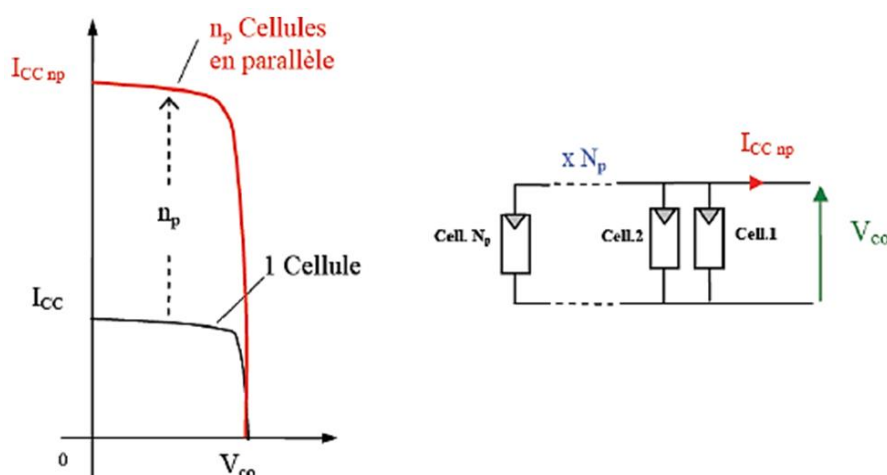


Figure I-9 : Caractéristiques courants tension de N_p cellule en parallèle [3].

I.1.5.5. Electronique de la commande et contrôle

Hacheur (DC/DC)

Un hacheur, ou un convertisseur continu-continu, est un dispositif électronique qui permet de transformer une tension continue d'une certaine valeur en une autre tension continue de valeur différente. Son fonctionnement repose sur le principe de la commutation des composants électroniques tels que les transistors, les diodes et les inductances.

Les types des hacheurs

- Hacheur buck (Abaisseur).
- Hacheur boost (Élèveateur).
- Hacheur buck-boost.

I.1.5.6. Les types des convertisseurs des puissances DC/AC (onduleur)

Un onduleur est un dispositif électronique qui convertit le courant continu (DC) en courant alternatif (AC) avec une tension et une fréquence spécifiques. Cela permet d'alimenter des équipements électriques sensibles en utilisant des sources d'énergie telles que des batteries, des panneaux solaires ou des générateurs [25].

1) L'onduleur de la chaîne

Ce modèle d'onduleur solaire collecte et convertit l'électricité provenant de plusieurs panneaux solaires simultanément. Avec une plus grande capacité, il permet l'utilisation d'un

seul onduleur pour gérer plusieurs panneaux photovoltaïques, simplifiant ainsi l'installation et la maintenance.

2) Le micro-onduleur

Le micro-onduleur, souvent utilisé dans les maisons, se place derrière chaque panneau solaire pour convertir le courant continu en courant alternatif. Chaque panneau a son propre onduleur, garantissant une production optimale même en cas de panne et offrant une évolutivité plus facile du système solaire.

3) L'onduleur string

Un onduleur de chaîne est connecté à une série de panneaux solaires pour convertir le courant continu (DC) en électricité alternative (AC) pour l'ensemble du système solaire. Il est habituellement positionné à proximité du générateur solaire, dans un emplacement abrité entre les panneaux et le tableau électrique.

I.1.5.7. La commande MPPT et PWM

1) La commande MPPT (grand puissance)

Joue un rôle essentiel dans les systèmes de pompage photovoltaïque en optimisant la production d'énergie, en améliorant l'efficacité, en adaptant la production aux variations de charge, en protégeant les composants du système et en assurant une gestion efficace de l'énergie disponible.

2) La Commande PWM (petit puissance)

Dans un système de pompage photovoltaïque permet de réguler et d'optimiser la puissance délivrée à la pompe, d'améliorer l'efficacité énergétique, de protéger le système contre les fluctuations de l'énergie solaire, de s'adapter aux conditions variables d'ensoleillement, et de permettre un démarrage progressif. Cela rend les systèmes de pompage photovoltaïque plus fiables, efficaces et durables.



Figure I-10 : Commande PWM [5].



Figure I-11 : Commande MPPT [4].

Partie 2 : Le système de pompage photovoltaïque.

Le pompage photovoltaïque utilise l'énergie solaire pour pomper de l'eau en convertissant l'énergie solaire en électricité via des panneaux photovoltaïques. Cette électricité alimente des pompes à courant continu ou est convertie en courant alternatif par un onduleur pour des pompes spécifiques. Ce système est particulièrement efficace dans les zones rurales isolées où l'accès à l'électricité est limité, offrant une solution durable et autonome pour les besoins en eau [17].

Composant d'un système de pompage photovoltaïque :

- Le générateur photovoltaïque.
- Le groupe de motopompe.
- L'électronique de commande et du contrôle.
- Les éléments du stockage.

I.2.1. Groupe motopompe

➤ Moteur

Le moteur d'un groupe motopompe transforme l'énergie électrique en énergie mécanique. Il peut fonctionner soit avec du courant continu, auquel cas un convertisseur DC-DC est nécessaire, soit avec du courant alternatif, ce qui requiert l'intégration d'un convertisseur DC-AC [7].

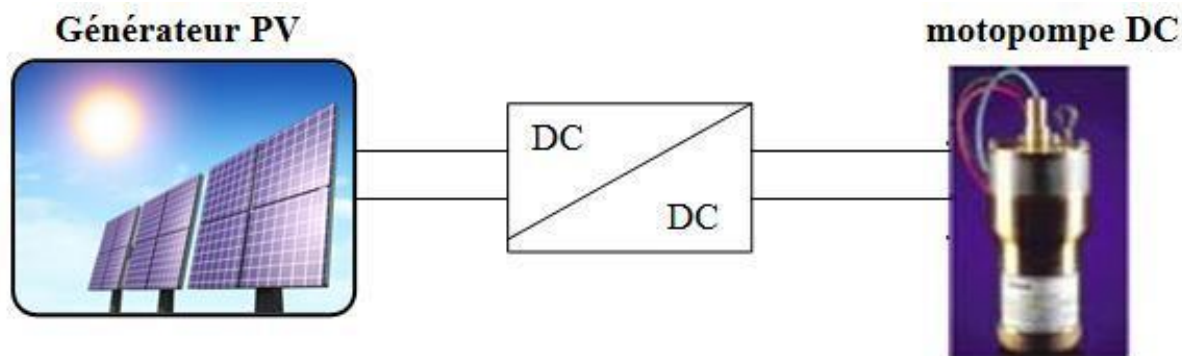


Figure I-12 : Diagramme du pompage PV par Un motopompe à courant continu [3].

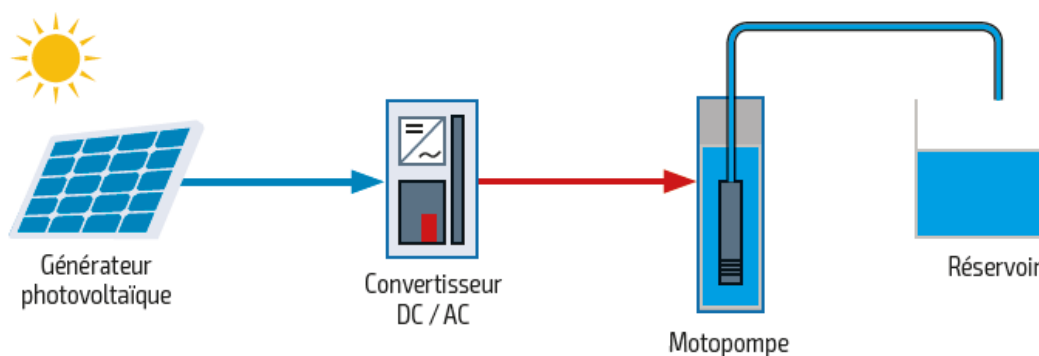


Figure I-13 : Diagramme du pompage PV par Un motopompe à courant alternatif [3].

I.2.1.1. Les types de la pompe solaire

- **Les pompes solaires immergées** : Une pompe immergée est directement placée dans l'eau (dans un puits ou un forage) pour remonter l'eau en surface. Une pompe solaire immergée est conçue pour fonctionner avec des panneaux solaires photovoltaïques.



Figure I-14 : Pompe immergée [18].

- **Les pompes de surface solaire** : Une pompe de surface est utilisée pour le relevage d'eau. Elle est installée en surface au-dessus de la source d'eau, contrairement à la pompe immergée qui est plongée directement dans l'eau pour la pomper. Une pompe

de surface est conçue pour fonctionner à l'air libre, ce qui signifie qu'elle pompe de l'eau depuis des sources situées à proximité du niveau du sol, sans nécessiter une immersion profonde dans l'eau.



Figure I-15 : Pompe surface [18].

- Les pompes volumétriques

Les pompes volumétriques sont généralement considérées comme des systèmes fiables en raison de leur conception robuste et de leur fonctionnement régulier. Qu'elles soient alternatives (comme les pompes à piston ou à membranes) ou rotatives (comme les pompes à vis), présentent des avantages significatifs en termes de fiabilité, de précision de débit, de polyvalence, de robustesse face aux variations de pression et d'efficacité énergétique. Ces caractéristiques font un choix populaire pour les applications de pompage dans les systèmes photovoltaïques.



Figure I-16 : Pompe volumétrique [18].

- Les pompes centrifuges

Sont des choix efficaces pour les systèmes de pompage photovoltaïque en raison de leur faible couple d'entraînement au démarrage et de leur adaptation à la puissance des modules photovoltaïques. Ces caractéristiques permettent une utilisation efficace de l'énergie

solaire pour le pompage de l'eau, contribuant ainsi à une meilleure performance globale du système.



Figure I-17 : Pompe centrifuge [18].

I.2.2. Réservoir d'eau

Les réservoirs d'eau stockent l'eau pour une utilisation future, jouant un rôle dans les réseaux d'eau en régulant la pression et le débit.

I.2.2.1. Types de réservoirs

Il existe deux types de réservoirs, les réservoirs surélevés et au sol. Les réservoirs surélevés fournissent naturellement une pression aux robinets grâce à leur hauteur. Si le terrain ne permet pas cela, on peut choisir entre un château d'eau (réservoir surélevé) ou un réservoir au sol. Une pompe automatique maintient le niveau d'eau constant. Une grande hauteur de réservoir peut compliquer la production, mais assure une bonne pression pour les utilisateurs.



Figure I-18 : Réservoir au sol [18].

Figure I-19 : Réservoir surélevés [18].

I.2.2.2. Accessoire de pompage

- **Les câbles** : les câbles solaires, qui transportent l'électricité jusqu'à la pompe en fournissant la puissance nécessaire pour assurer le bon fonctionnement et la sécurité du système de pompage le choix du câble doit être étudié pour les parties des installations. [7].
- **Les supports de panneaux photovoltaïques** : essentiels pour l'installation des panneaux solaires en fonction des meilleures conditions d'ensoleillement.
- **L'interrupteur flotteur** : l'interrupteur flotteur automatise le fonctionnement de la pompe en contrôlant le niveau d'eau, évitant ainsi les dommages dus au fonctionnement à sec et assurant une durabilité accrue.
- **La sonde de niveau d'eau** : le piézomètre mesure la pression des liquides dans les puits pour déterminer le niveau d'eau disponible et arrêter le pompage lorsque le puits est vide, préservant ainsi la pompe contre les dommages liés au fonctionnement à sec [7].

I.2.3. Principe du fonctionnement du pompage photovoltaïque

Le fonctionnement d'une installation de pompage photovoltaïque est assez simple : des panneaux solaires captent l'énergie du soleil pour alimenter une pompe (de surface ou immergée) via un régulateur contrôleur. Ce régulateur contrôle le flux d'eau en fonction de la

Chapitre I : Généralités sur le système de pompage photovoltaïque

disponibilité de l'énergie solaire. L'eau est pompée et stockée dans un réservoir pour une utilisation ultérieure.

Lorsque l'ensoleillement est adéquat, la pompe élève l'eau vers le réservoir de stockage. Le pompage cesse dans les cas suivants :

- Lorsque l'ensoleillement est insuffisant.
- Lorsque la citerne est pleine (détecteur à flotteur).
- Lorsque le puits est vide (capteur de niveau d'eau) [18].

I.2.4. Les parties du stockage

Il y a deux manières de stocker de l'énergie soit en utilisant :

- Soit en stockant de l'eau.
- Des batteries pour stocker l'électricité.

I.2.4.1. Le système de pompage au fil du soleil

Le pompage photovoltaïque sans batteries stocke l'eau dans un réservoir au lieu de l'électricité, ce qui simplifie le système et réduit les coûts. L'eau est pompée lorsqu'il y a du soleil et utilisée selon les besoins. Le stockage d'eau est plus économique, nécessite moins d'entretien que les batteries, et offre un meilleur rendement énergétique. Les réservoirs peuvent être adaptés localement et sont faciles à entretenir et à réparer.

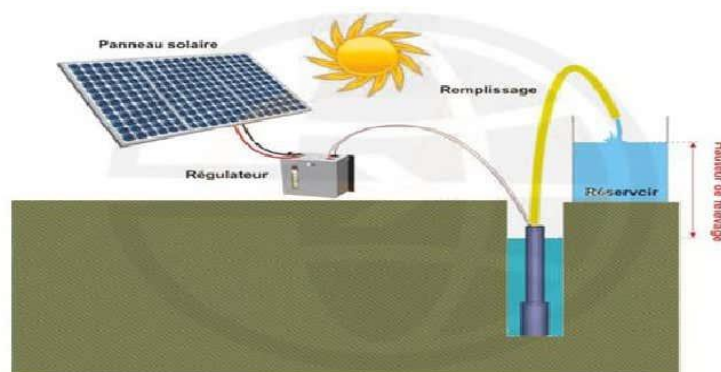


Figure I-20 : Pompage photovoltaïque au fil de soleil [8].

I.2.4.2. Le stockage électrochimique

Les batteries électrochimiques stockent l'électricité produite par les systèmes photovoltaïques pour l'utiliser plus tard, assurant ainsi la stabilité du réseau ou fournissant une alimentation de secours.

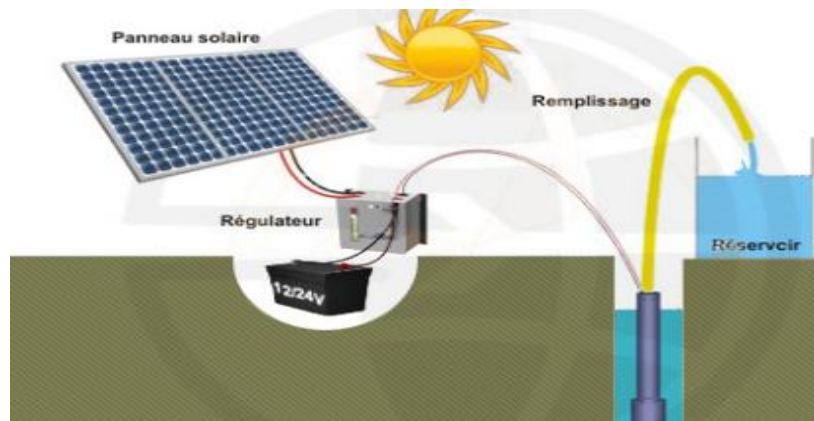


Figure I-21 : Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie [8].

Il existe plusieurs types de batteries :

- 1) La batterie plomb-acide.
- 2) La batterie nickel-cadmium.
- 3) La batterie sodium-chlorure de nickel.
- 4) La batterie lithium-ion.
- 5) La batterie zinc-air.

I.2.5. Les avantages et inconvénients des différentes méthodes de pompage

Tableau I-2 : Comparaison des Méthodes de Pompage Solaire [8].

Méthode de pompage	Avantages	Inconvénients
Pompage au fil du soleil	<ul style="list-style-type: none">• Economie du coût des batteries, leur maintenance.• Système photovoltaïque plus Simple plus fiable.• Meilleur rendement énergétique.	<ul style="list-style-type: none">• Pertes d'énergie au début et à la fin de la journée.• Le débit de la pompe n'est pas constant.• Rabattement du forage peut Etre trop élevé dur certaine période de la journée.
Pompage avec batterie	<ul style="list-style-type: none">• Possibilité de pompe l'eau• Lorsque le soleil est absent.• Le débit de la pompe régulier a pression fixe.	<ul style="list-style-type: none">• Changement des batteries tous 5 et 7 ans.• Coût élevée du système Photovoltaïque,• Les batteries introduisant un certain degré de pertes de Rendement.

Conclusion

Ce chapitre explore en détail comment l'énergie solaire est captée et utilisée pour le pompage d'eau à travers les systèmes photovoltaïques. Nous avons étudiée les principes de fonctionnement, les avantages environnementaux et les applications pratiques de cette technologie, mettant en évidence son rôle croissant dans le domaine de l'énergie renouvelable.

Chapitre II :

Le dimensionnement du pompage photovoltaïque

Introduction

Le dimensionnement des systèmes de pompage photovoltaïque pour les sites isolés constitue un domaine dans le contexte de l'accès à l'irrigation dans les régions éloignées ou dépourvues de réseau électrique traditionnel. Le processus de dimensionnement implique une analyse approfondie des besoins en eau, des caractéristiques du site, des données météorologiques locales ainsi que des spécifications techniques des composants du système, notamment les panneaux solaires, les convertisseurs, et les pompes. Les variations saisonnières et diurnes de l'ensoleillement, les fluctuations de la demande en eau et les pertes dans le système doivent être pris en compte pour concevoir une solution optimale et durable.

II.1. Méthodologie de dimensionnement

Les différentes phases du dimensionnement sont structurées comme suit :

- Calculer l'irradiation journalière moyenne
- Détermination des spécifications du système photovoltaïque.
- Sélection des régulateurs et des onduleurs.
- Détermination du débit d'eau
- Choix de la section de câblage [11].

II.2. Dimensionnement du générateur photovoltaïque

Irradiation solaire moyenne (GJM) : Trouvez la valeur moyenne de l'irradiation solaire quotidienne sur la surface des panneaux (en Wh/m²/jour).

Puissance Cerêt (Pc) : utilisez la puissance cerêt pour calculer le nombre de panneaux solaires nécessaires.

II.3. Calcul de l'irradiation solaire moyenne (GJM)

- **Rayonnement extraterrestre [21]**

$$G_{ext} = G_{CS} \left\{ 1 + 0,033 \cos\left(\frac{360}{365} * d\right) \right\} \quad (\text{II.1})$$

G_{CS} : Constante de L'irradiation solaire.

- **Le temps solaire moyenne (TSM)**

$$\mathbf{TSM = Tu + \frac{\lambda}{15}} \quad (\text{II.2})$$

- λ : Longitude. Tu : l'heure universelle

- **Le temps solaire vrai (TSV)**

Il est exprimé par :

$$\mathbf{TSV = TSM + \frac{ET}{60}} \quad (\text{II.3})$$

ET : Equation de temps en minute.

- **L'équation de temps (ET)**

L'écart entre le TSV et le TSM est appelle équation de temps.

$$\mathbf{ET = 9,9\sin(2(0,986d + 100)) - 7,7\sin(0,986d - 2)} \quad (\text{II.4})$$

d : Nombre de jour.

- **Angle horaire [21]**

La mesure de l'angle horaire s'exprime en heure, minutes, et seconde, parfois, elle exprime en degré (de 0 à 36) son expression est :

$$\mathbf{\omega = 15(TSV - 12)} \quad (\text{II.5})$$

- **La déclinaison**

Elle représente l'angle forme entre la direction du soleil et le plan équateur, elle est donnée par :

$$\mathbf{\delta = 23,45\sin\left[\frac{284+d}{365} * 360\right]} \quad (\text{II.6})$$

d : nombre de jour.

- **La hauteur du soleil**

La "hauteur de soleil" est l'angle que forme le soleil par rapport à l'horizon, il est exprimé par les fonctions suivantes :

$$\sin(\alpha) = \sin(L) \cdot \sin(\delta) \cdot \sin(\omega) + \cos(L) \cdot \cos(\delta) \quad (\text{II.7})$$

L : latitude.

δ : Déclinaison.

ω : Angle horaire en degré.

- **L'irradiation horizontale diffuse**

L'irradiation horizontale diffuse est l'énergie solaire qui provient du ciel après avoir été dispersée par les nuages et d'autres particules atmosphériques, plutôt que directement du soleil, son expression est :

$$D = \tau_d \cdot G_{ext} \quad (\text{II.8})$$

$$\tau_d = 0,2711 - 0,292\tau_b \quad (\text{II.9})$$

$$\tau_b = a_0 + a_1 \cdot e^{\left(\frac{-k}{\sin(\alpha)}\right)} \quad (\text{II.10})$$

$$K = p * \frac{b}{1000} \quad (\text{II.11})$$

p : Pression atmosphérique du lieu.

τ_d : Transmissivité de l'atmosphère pour le rayonnement diffus.

- **L'irradiation horizontale directe**

$$I = \tau_b \cdot G_{ext} \quad (\text{II.12})$$

τ_b : Transmissivité de l'atmosphère pour le rayonnement direct.

Les coefficients a et b et p sont déduire à partir des Tableau suivants 1 et 2.

Tableau II-1 : Variation de la pression atmosphérique axe altitude.

Z(m)	0	500	1000	1500	2000	5000
P (atm)	1000	950	900	850	800	500

Tableau II-2 : Valeur des coefficients a_1 et b.

	Ciel pur	Condition Normal	Zone industriel
a_1	0,87	0,88	0,91
b	0,17	0,26	0,43

- L'irradiation globale

$$G = I + D \quad (\text{II.13})$$

I : Irradiation horizontal directe.

D : Irradiation horizontal diffuse.

- L'irradiation journalière moyenne

$$GJM = \int_{T_{lever}}^{T_{couche}} G dt \quad (\text{II.14})$$

II.4. Dimensionnement du générateur photovoltaïque

- Le calcul de l'énergie produite

Repose sur l'équation où l'énergie produite E_p par un système photovoltaïque :

$$E_p = \frac{Ec}{K} \quad (\text{II.15})$$

EC : est l'énergie consommée (Wh/jour).

K : ce coefficient dépend de plusieurs facteurs, tels que l'incertitude météorologique, l'inclinaison des panneaux solaires et le rendement global du système. Bien que sa valeur théorique varie entre 0.55 et 0.75, une valeur moyenne couramment utilisée est de 0.65 dans la pratique.

- Le calcul de la puissance crête

Consiste à déterminer la puissance crête du générateur photovoltaïque nécessaire pour répondre à la demande énergétique.

$$Pc = \frac{Ep}{GJM} \quad (\text{II.16})$$

P_C : représente la puissance crête du générateur photovoltaïque.

E_P : est l'énergie consommée en wattheure par jour.

G_{JM} : est l'irradiation moyenne quotidienne en Wh/m²/jour dans la région d'installation du système photovoltaïque. Estimée dans nos sites à **Tamanrasset, Maâtkas, Beni Zmenzer**.

II.4.1. Le nombre de modules photovoltaïques

C'est le rapport entre la puissance crête du champ photovoltaïque P_{PV} et la puissance d'un seul module P_M .

$$N = \frac{P_C}{P_M} \quad (\text{II.17})$$

- **Le nombre de modules connectés en série (N_s)**

Est calculé en divisant la tension du système V par la tension d'un module V_M .

$$N_s = \frac{V}{V_M} \quad (\text{II.18})$$

- **Le nombre de branches (modules en parallèle) N_P**

C'est le nombre total de modules N par le nombre de modules connectés en série N_s .

$$N_P = \frac{N}{N_s} \quad (\text{II.19})$$

II.5. Détermination du type de régulateur

Utiliser un régulateur simple PWM si $I_{ch} \leq 30A$ ou on Utiliser un régulateur MPPT si $I_{ch} > 30A$.

Calcul du courant de charge :

$$I_{ch} = I_{max} * N_P \quad (\text{II.20})$$

II.6. Le choix des câbles

Entre les panneaux solaires et les régulateurs.

Tableau II-3 : Section de câble pour système 48V [10].

Section câble (mm^2)	Longueur (m)			
	2,5m	5m	7,5m	10m
0,75 mm^2	13,8A	6,6A	4,8A	3,6A
1,5 mm^2	27A	13,8 A	9A	6,6A
2,5 mm^2	45A	22,8A	15A	11,4A
4 mm^2	72A	36A	24A	18A
6 mm^2	108A	54A	36A	30A
10 mm^2	180A	90A	60A	48A

Entre les différents éléments raccordés :

Tableau II-4 : Section de câble pour système 48V [10].

Section câble (mm^2)	Longueur(m)			
	2,5m	5m	7,5m	10m
0,75 mm^2	2,3A	1,1A	0,8A	0,6A
1,5 mm^2	4,5A	2,3A	1,5A	1,1A
2,5 mm^2	7,5A	3,8A	2,5A	1,9A
4 mm^2	12A	6A	4A	3A
6 mm^2	18A	9A	6A	5A
10 mm^2	30A	15A	10A	8A
16 mm^2	48A	24A	16A	12A

- Entre les panneaux solaires et les régulateurs

Tableau II-5 : Section de câble pour système 24V [10].

Section câble(mm^2)	Longueur (m)			
	2,5m	5m	7,5m	10m
0,75 mm^2	6,9A	3,3A	2,4A	1,8A
1,5 mm^2	3,5A	6,9A	4,5A	3,3A
2,5 mm^2	22,5A	11,4A	7,5A	5,7A
4 mm^2	36A	18A	12A	9A
6 mm^2	54A	27A	18A	15A
10 mm^2	90A	45A	30A	24A
16 mm^2	144A	72A	48A	36A
25 mm^2	225A	114A	75A	57A
35 mm^2	315A	159A	105A	78A
50 mm^2	450A	225A	150A	114A

- Entre les différents éléments raccordes

Tableau II-6 : Section de câble pour système 24V [10].

Section câble (mm^2)	Longueur(m)			
	2,5m	5m	7,5m	10m
0,75 mm^2	4,6A	2,2A	1,6A	1,2A
1,5 mm^2	9A	4,6A	3A	2,2A
2,5 mm^2	15A	7,6A	5A	3,8A
4 mm^2	24A	12A	8A	6A
6 mm^2	36A	18A	12A	10A
10 mm^2	60A	30A	20A	16A
16 mm^2	96A	48A	32A	24A
25 mm^2	150A	76A	50A	38A
35 mm^2	210A	106A	70A	52A
50 mm^2	300A	150A	100A	76A

II.7. Dimensionnement de la pompe [12]

- Hauteur manométrique total

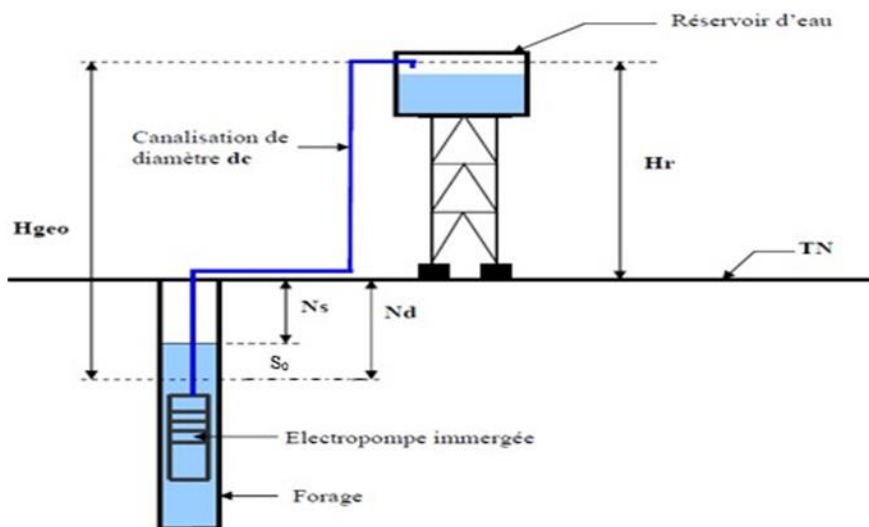


Figure II-1 : Hauteur manométrique totale [13].

Hg : La hauteur géométrique (Hg).

Pc : Les pertes de charge (Pc).

Q : est le débit en (m³/h).

Ph : Puissance électrique crête du GPV

Rp : Rendement de la pompe.

- Hauteur géométrique

$$Hg = Hr + Ns + Nd \tag{II.21}$$

- Les pertes de charge

0,1 Représente 10%du pertes du charge

$$Pch = 0,1 * Hg \tag{II.22}$$

- Hauteur manométrique total

$$H. M. T = Hg + Pch \tag{II.23}$$

- La puissance hydraulique

$$P_h = P_c * \eta \quad (\text{II.24})$$

Le débit exprime en (m³/h) et note Q est obtenu à partir de la formule suivante :

$$Q = \frac{3,6 * P_h}{g * h} \quad (\text{II.25})$$

g : la gravite (**g=9,81 m/s²**).

P_h : la puissance hydraulique (W)

$$P_h = P_c * \eta \quad (\text{II.26})$$

II.8. Dimensionnement des tuyauteries

$$D = K\sqrt{Q} \quad (\text{II.27})$$

0,75 < K < 1,40 (Le choix de k impose la valeur de la vitesse du fluide). [23]

Conclusion

Nous avons dimensionné ce système de pompage photovoltaïque en débutant par l'évaluation de l'irradiation solaire disponible. Ensuite, nous avons sélectionné le régulateur et l'onduleur appropriés, déterminé le débit d'eau nécessaire, et choisi la pompe adéquate. Cette évaluation de l'irradiation solaire permet de déterminer la quantité d'énergie que les panneaux photovoltaïques peuvent convertir en électricité.

Chapitre III :

**Application au dimensionnement du
système de pompage photovoltaïque**

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

Introduction

Dans ce chapitre, nous avons calculé l'irradiation journalière moyenne pour trois sites différents : Tamanrasset, Beni Zmenzer et Maâtkas. Cette étape est importante pour déterminer combien d'énergie solaire est disponible dans chaque région. Ces calculs nous ont permis de comparer les niveaux d'ensoleillement entre ces sites, ce qui est essentiel pour choisir et dimensionner correctement les systèmes de pompage photovoltaïque adaptés à chaque environnement. Cela nous aide à concevoir des solutions efficaces pour besoins d'eau dans des zones éloignées ou sans accès au réseau électrique traditionnel.

III.1. Situation géographique

La ville de Tamanrasset, située au sud de l'Algérie, s'étend sur une superficie de 235,000 kilomètres carrés. Connue pour être un centre administratif important, Tamanrasset joue également un rôle majeur en tant que point de départ pour les expéditions et les explorations dans le vaste désert du Sahara, en particulier dans la région montagneuse et pittoresque du Hoggar.

Ces coordonnées sont dans le tableau suivant :

La situation géographique de Tamanrasset est la suivante :

Tableau III-1 : Les données géographiques.

Site	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)
Tamanrasset	$\Phi=23,25$	$\lambda =5,81$	Z=1378

Puisque latitude est $10^\circ < \phi < 30^\circ$ donc l'inclinaison de panneau va être : $\Phi=23,25N$.

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque



Figure III-1 : Localisation de sites pour Tamanrasset [3].

III.2. Calcul de l'irradiation pour (Tamanrasset) la journée du 31-12-2024

Donnée : TU=7h $G_{C-S} = 1367w/m^2$ $a_0=0$, $k = p \cdot \frac{b}{1000}$

- L'irradiation directe $\tau_d = 0,2711 - 0,294\tau_b$

- L'irradiation diffuse $\tau_b = a_0 + a_1 \cdot e^{\left(\frac{-k}{\sin(\alpha)}\right)}$

- L'irradiation globale : $G = (\tau_b + \tau_d) \cdot G_{ext}$

- Calcul de l'irradiation extraterrestre G_{ext} :

$$G_{ext} = G_{C-S} \left(1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360}{365} \cdot d\right)\right)$$

$$G_{ext} = 1367 \left(1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360}{365} \cdot 366\right)\right)$$

$$G_{ext} = 1367(1 + 0,033(0,9998))$$

$$G_{ext} = 1367(1,032)$$

$$G_{ext} = 1412,10w/m^2$$

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

- Le temps solaire vrai (TSV) : (pour $T_u=7H$)
- Le TSM Temps solaire moyenne

$$TSV = TSM + \frac{ET}{60}$$

$$TSM = TU + \frac{\lambda}{15}$$

$$TSM = 7 + \frac{5,81}{15}$$

$$\mathbf{TSM = 7,38h}$$

$$TSM = 7h22min48s$$

On calcule l'équation du temps (ET) :

$$ET = 9,9 \sin (2(0,986 * 366 + 100)) - 7,7 \sin(0,986 * 366 - 2)$$

$$ET = 9,9 \sin(921,752) - 7,7 \sin(358,876)$$

$$ET = 9,9(-0,370) - 7,7(-0,019)$$

$$ET = -3,663 + 0,1463$$

$$\mathbf{ET = -3,516}$$

$$TSV = TSM + \frac{ET}{60}$$

$$TSV = 7,38 \frac{-3,516}{60}$$

$$\mathbf{TSV = 7,3214h}$$

$$\mathbf{TSV = 7H19min17s}$$

- Angle horaire

$$\omega = 15(TSV - 12)$$

$$\omega = 15(7,3214 - 12)$$

$$\mathbf{\omega = -70,179^\circ}$$

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

- La déclinaison δ

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284+d}{365} 360\right)$$

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284+366}{365} 360\right)$$

$$\delta = 23,45 \sin(641,09)$$

$$\delta = 23,45(-0,981)$$

$$\delta = -23,01^\circ$$

- La hauteur du soleil : est donnée par :

$$\sin(\alpha) = \sin(L) \cdot \sin(\delta) \cdot \sin(\omega) + \cos(L) \cdot \cos(\delta)$$

Pour nous : $\alpha=h$, $L=\Phi$

$$\sin(h) = \sin(L) \cdot \sin(\delta) + \cos(L) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega)$$

$$\sin(h) = \sin(23,25) \cdot \sin(-23,01) + \cos(23,25) \cdot \cos(-23,01) \cdot \cos(-70,179)$$

$$\sin(h) = (0,394) \cdot (-0,390) + (0,918) \cdot (0,920) \cdot (0,339)$$

$$\sin(h) = -0,153 + 0,286$$

$$\arcsin(0,133) = 7,64$$

$$h = 8^\circ$$

- Calcule l'irradiation directe horizontale

$$D = \tau_d \cdot G_{ext}$$

$$\tau_b = 0,2711 - 0,292\tau_b$$

$$\tau_b = a_0 + a_1 \cdot e^{\left(\frac{-k}{\sin(\alpha)}\right)}$$

Avec : $\alpha = 8^\circ$, $a_0 = 0$ $k = p \cdot \frac{b}{1000}$

p : pression atmosphère

τ_d : transmissivité de l'atmosphère pour le rayonnement diffus.

τ_b : transmissivité de l'atmosphère pour le rayonnement direct.

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

Tableau III-2 : Variation de la pression atmosphérique axe altitude.

Z(m)	0	500	1000	1500	2000	5000
P (atm)	1000	950	900	850	800	500

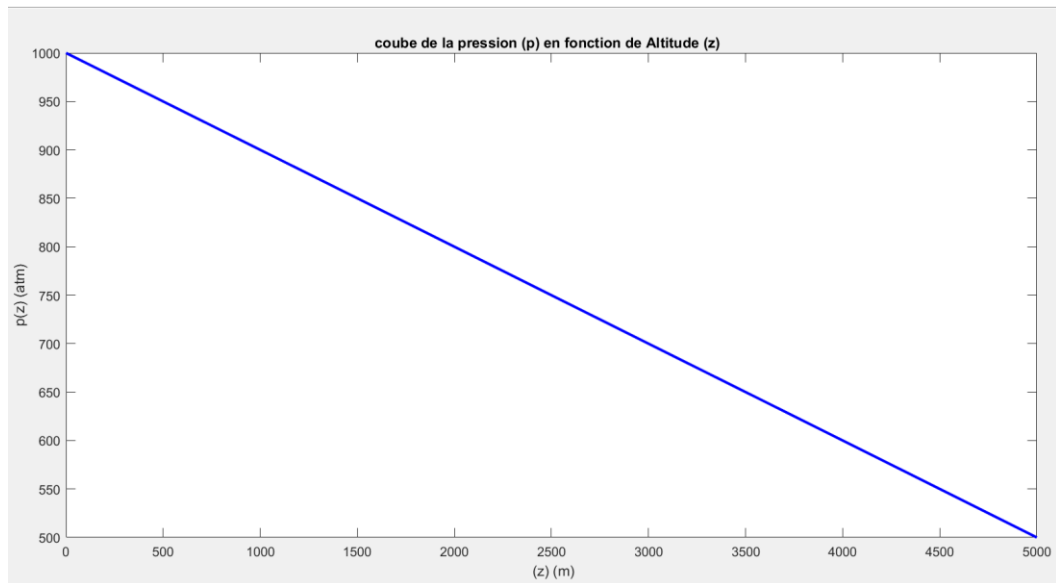


Figure III-2 : Courbe de la pression P en fonction de l'altitude.

D'après la courbe Z :

$$p = \alpha z + p_0 \quad (1)$$

D'après le tableau III.2 on prend : $Z=0$; $p=1000$

On remplace dans l'équation (1) :

Pour $p = 1000$

$$\alpha \cdot 0 + p_0 = 1000$$

$$p_0 = 1000$$

Ce qui permet d'écrire l'équation (1)

$$p(z) = -0,1z + 1000$$

- Si on prend $z = 2000$ $800 = (2000\alpha) + 1000$

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

$$\alpha = \frac{800 - 1000}{2000}$$

$$\alpha = -0,1$$

- Pour Tamanrasset : $Z=1378\text{m}$

$$P(z) = 1378(-0,1) + 1000$$

$$P(1378) = 1378(-0,1) + 1000$$

$$\mathbf{P(1378)=862,2\text{atm}}$$

La valeur de la pression pour la ville de Tamanrasset est : $\mathbf{P=862,2\text{atm}}$.

Tableau III-3 : Valeur des coefficients a_1 et b.

	Ciel pur	Condition Normal	Zone industriel
a_1	0,87	0,88	0,91
b	0,17	0,26	0,43

- Dans les conditions normales

$$a_1 = 0,88 \quad , \quad b_1 = 0,26 \quad , \quad p(1378) = 862,2 \text{ atm.}$$

$$k = 862,2 \cdot \frac{0,26}{1000}$$

$$k = 0,22$$

$$\tau_b = 0,88 \cdot e^{\left(\frac{-0,22}{\sin(\alpha)}\right)}$$

$$\tau_b = 0,88 \cdot (e^{-\frac{0,22}{0,13}})$$

$$\tau_b = 0,88 \cdot (e^{-1,69})$$

$$\tau_b = 0,162$$

$$\tau_d = 0,2711 - (0,294 \cdot 0,162)$$

$$\mathbf{\tau_d = 0,22}$$

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

- L'irradiation diffuse

$$D = \tau_d \cdot G_{ext}$$

$$D = (0,22) \cdot (1412,10)$$

$$D = 310,662w/m^2$$

- L'irradiation directe horizontale

$$I = \tau_b \cdot G_{ext}$$

$$\tau_b = 0,162$$

$$G_{ext} = 1412,10w/m^2$$

$$I = \tau_b \cdot G_{ext}$$

$$I = (0,162) \cdot (1412,10)$$

$$I = 228,76w/m^2$$

III.2.1. L'irradiation global

$$G = I + D$$

$$I = 228,76w/m^2$$

$$D = 310,662w/m^2$$

$$G = 310,662 + 228,76$$

$$G = 539,42w/m^2.$$

Tableau III-4 : Représente l'irradiation en fonction du temps pour Tamanrasset.

t	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ig(w/m ²)	539	750	955	1000	1035	1040	1008	980	930	850	750	600	422	300

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

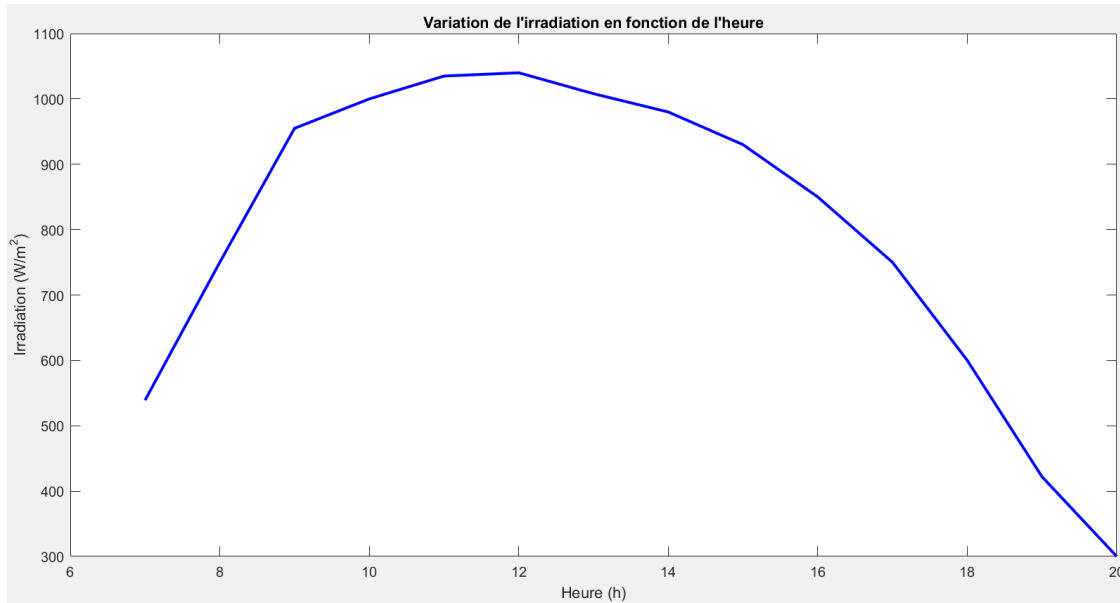


Figure III-3 : Représente l'irradiation en fonction du temps pour Tamanrasset.

- **L'irradiation journalière moyenne globale des différentes valeurs de l'irradiation pour chaque heure**

$$GJM = \int_{T_{lever}}^{T_{coucher}} Gdt = \int_7^8 Gdt + \int_9^{10} Gdt + \int_{10}^{11} Gdt + \int_{11}^{12} Gdt + \int_{12}^{13} Gdt + \dots + \int_{19}^{20} Gdt$$

$$GJM = \int_{T_{lever}}^{T_{coucher}} Gdt = \frac{b-a}{2} * (G(a) + G(b))$$

$$h = 9h - 8h$$

$$h = 1h$$

$$GJM = \frac{1}{2}(G(8) + G(9)) + \dots + \frac{1}{2}G(19) + G(20)$$

$$GJM = 644,5 + 852,5 + 977,5 + 1017,5 + 1037,5 + 1024 + 994 + 930,5 + 840,5 + 795 + 695 + 511 + 361$$

$$GJM = 10680,5 \text{ wh/m}^2.$$

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

- L'énergie consommée (besoin énergétique)

Tableau III-5 : Estimation des besoins journaliers.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire (W)	Durée d'utilisation (h)	Puissance utilisable (Wh)	Puissance réelle (Wh)	Énergie consommée (Wh/jour)
Pompe immergé	1	3000 $\eta = 0.56$	4	3000	5357,14	21428,56
Les besoin en énergie à fournir: 21428,56 Wh/jour)						

- Consommation d'énergie pour l'irrigation selon les plages horaires

Le tableau ci-dessous présente la répartition de la consommation d'énergie pendant les périodes d'irrigation sur notre site à Tamanrasset. Nous avons mesuré la durée d'irrigation et l'énergie consommée en watts-heures par jour (Wh/jour) pour chaque plage horaire spécifiée.

Tableau III-6 : Consommation d'énergie pendant les périodes d'irrigation à Tamanrasset.

Plage horaire	Temps d'irrigation (h)	Énergie consommée (Wh)
07h - 9h	2	10714,28
18h - 19h	2	10714,28
Les besoin en énergie à fournir : 21428,56 (Wh/jour)		

- Puissance utilisable

$$P_{ut} = P_u * N$$

N=1

N : est le nombre d'appareil.

P_u : puissance unitaire (W).

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

- Puissance réelle

$$Pr = \frac{Put}{\eta}$$

- Energie consommée (besoin énergétique)

$$Ec = Pr * t$$

- L'énergie produite

$$Ep = \frac{Ec}{K}$$

EC : est l'énergie consommée (Wh/jour).

K : ce coefficient dépend de plusieurs facteurs, Bien que sa valeur théorique varie entre **0.55** et **0.75**, une valeur moyenne couramment utilisée est **de 0.65 dans la pratique**.

$$55\% < k < 75\%$$

- L'énergie produite

$$Ep = \frac{Ec}{K}$$

- Application

$$Ep = \frac{21428,56}{0,65}$$
$$Ep = 32967,01Wh$$

- La puissance crête

$$Pc = \frac{Ep}{GJM}$$

- Application

$$Pc = \frac{32,96}{10,68}$$

$$Pc = 3,08kW.$$

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

III.2.2. Choix de la tension de GPV

Tableau III-7 : Tension générateur en fonction de la puissance.

Puissance GPV(KW)	0-0,5	0,5-2	2-10	> 10
Tension reçu(V)	12	24	48	> 48

Puisque la puissance est $P_c=3,08KW$, d'après le tableau la tension est : $U=48V$.

Tableau III-8 : Caractéristique de GPV.

Puissance maximale (W)	500W
Tension maximale (V)	39,03V
Courant maximale (A)	12.81A
Rendement GPV (%)	21%

III.2.3. Le nombre de panneaux du système

$$N_t = \frac{P_c}{P_{max}}$$

- Application

$$N_t = \frac{3080}{500}$$

$$N_t = 6,16$$

$$N_t = 7 \text{ panneaux.}$$

- Le nombre de panneaux en série

$$N_s = \frac{U}{U_{max}}$$

- Application

$$N_s = \frac{48}{39,03}$$

$$N_s = 1,22$$

$$N_s = 2 \text{ panneaux}$$

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

- Le nombre de panneaux en parallèle

$$N_p = \frac{N_t}{N_s} = \frac{7}{2}$$

$$N_p = 3,5$$

$$N_p = 4 \text{ panneaux}$$

- Le nombre du panneau total

$$N_{ts} = N_s * N_{ps}$$

$$N_{ts} = 2 * 4$$

$$N_{ts} = 8 \text{ Panneaux}$$

Donc le nombre du panneau de notre système est : $N_{ts} = 8$ panneaux.

III.2.4. Choisir un régulateur

- Régulateur MPPT : $I_{ch} > 30A$
- Régulateur simple PWM : $I_{ch} < 30$

$$I_{ch} = I_{max} * N_p$$

$$I_{ch} = 12,81 * 4$$

$$I_{ch} = 51,24A$$

Donc on va utiliser un Régulateur MPPT : $I_{ch} > 30A$

- En calcule le I régulateur
- Le facteur de correction du régulateur c'est : 1,5.

$$I_{regulateur} = I_{ch} * 1,5$$

$$I_{regulateur} = 51,24 * 1,5$$

$$I_{regulateur} = 76,86A.$$

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

III.2.5. L'onduleur

$$\text{Ponduleur} = P * 1,3$$

$$\text{Ponduleur} = 3,08 * 1,3$$

$$\text{Ponduleur} = 4,004\text{kW}$$

III.2.6. Les câbles

On choisit les câbles par rapport à leur courants et leur section des câbles. ($U=48V$), ($I=12.8A$).

- Entre les panneaux solaires et les régulateurs

Tableau III-9 : Section de câble pour système 48V entre panneaux solaires et les régulateurs [13].

Section câble (mm^2)	Longueur (m)			
	2,5m	5m	7,5m	10m
0,75 mm^2	13,8A	6,6A	4,8A	3,6A
1,5 mm^2	27A	13,8A	9A	6,6A
2,5 mm^2	45A	22,8A	15A	11,4A
4 mm^2	72A	36A	24A	18A
6 mm^2	108A	54A	36A	30A
10 mm^2	180A	90A	60A	48A
16 mm^2	288A	144A	96A	72A
25 mm^2	112,5A	57A	37,5A	28,5A
35 mm^2	157,5A	79,5A	52,5A	39A
50 mm^2	225A	112,5A	75A	57A

- Entre les panneaux et le régulateur : $L=7,5m$, $S=2,5mm^2$.

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

- Entre les différents éléments raccordés

Tableau III-10 : Section de câble pour système 48V entre les différents éléments [13].

Section câble(mm^2)	Longueur (m)			
	2,5m	5m	7,5m	10m
0,75 mm^2	2,3A	1,1A	0,8A	0,6A
1,5 mm^2	4,5A	2,3A	1,5A	1,1A
2,5 mm^2	7,5A	3,8A	2,5A	1,9A
4 mm^2	12A	6A	4A	3A
6 mm^2	18A	9A	6A	5A
10 mm^2	30A	15A	10A	8A
16 mm^2	48A	24A	16A	12A
25 mm^2	75A	38A	25A	19A
35 mm^2	105A	53A	35A	26A

Entre les différents éléments raccordés $L= 5m$; $S= 10mm^2$

III.3. Dimensionnement de pompage photovoltaïque (Tamanrasset)

III.3.1. Dimensionnement de la pompe

Tableau III-11 : Caractéristique de puits et de réservoir.

Niveau statique (Ns)	Niveau dynamique (Nd)	Hauteur de Réservoir(Hr)	perte de charge des conduites et rendement
3 m	60 m	10 m	10%(Hr+Ns+Nd) $\eta_{MP} = 56\%$

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

III.3.2. Hauteur manométrique total

$$H.M.T = Hg + Pch, Hg = Hr + Ns + Nd$$

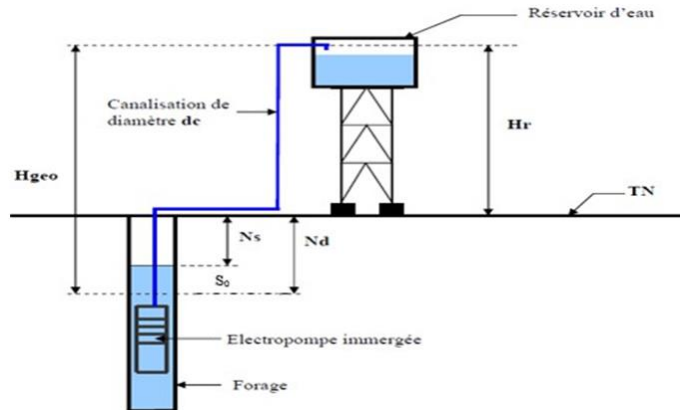


Figure III-4 : Hauteur manométrique totale [14].

g : la gravité ($g=9,81 \text{ m/s}^2$);

Q : le débit de la pompe.

h : Hauteur manométriques total (m).

HMT : la hauteur manométrique totale.

Ph : puissance hydraulique (W).

η : est le rendement de la pompe.

La H.M.T est donnée par :

$$Hg = Hr + Ns + Nd$$

- **Application**

$$Hg = 60 + 3 + 10$$

$$Hg = 73\text{m.}$$

III.3.3. Les pertes de charge

$$Pch = 0,1 * 73$$

0,1 représente 10% des pertes de charge.

$$Pch = 7,3\text{m}$$

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

- Hauteur manométrique total

$$H. M. T = H_g + Pch$$

- Application

$$H. M. T = 73 + 7,3$$

$$H. M. T = 80,3m$$

III.3.4. Puissance hydraulique

$$P_h = P_e * \eta$$

- Application

$$p_h = 3080 * 0,56$$

$$p_h = 1724,8W$$

η : Rendement motopompe.

P_e : Puissance crête du GPV.

III.3.5. Le débit

$$Q = \frac{3,6 * p_h}{g * h}$$

- Application

$$Q = \frac{3,6 * 1724,8}{9,81 * 80,3}$$

$$Q = \frac{6209,28}{787,743}$$

$$Q = 7,88 \text{ m}^3/h.$$

Donc notre débit est : $Q = 8 \text{ m}^3/h$.

- Estimation la consommation d'eau par arbre

On suppose que : 20 litres d'eau par jour (0,02 m³/jour).

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

Durée d'irrigations est : 4h par jour.

- Le nombre d'arbre

$$\text{Nombre d'arbre} = \frac{Q * Nh}{\text{consommation d'eau par arbre} * \text{duree d'irragation par jour}}$$

Où

Q : est le débit horaire en m³/h (dans notre cas, Q = 8 m³/h.

Nh : est la durée d'irrigation par jour en heures (Nh = 4 heures),

La consommation d'eau par arbre est de 0,02 m³/jour (20 litres par jour).

- Application

$$\text{Nombre d'arbre} = \frac{8 * 4}{0,02}$$

$$\text{Nombre d'arbre} = \frac{32}{0,02}$$

Nombre d'arbre = 1600 Arbres.

Donc, avec un débit de 8 m³ par heure et une période d'irrigation de 4 heures par jour, nous pouvons irriguer environ 1600 arbres, en supposant que chaque arbre consomme 20 litres (0,02 m³) d'eau par jour.

III.4. Dimensionnement des tuyauteries

$$Q = \frac{\pi * D^2 * V}{4} \dots\dots\dots(a)$$

$$V = \frac{4}{\pi * K^2} \dots\dots\dots (b)$$

On remplace (b) dans (a)

$$D = K\sqrt{Q}.$$

$$D = 0,75\sqrt{8/3600}$$

$$Q = 2,22 * 10^{-3} \text{ m/s.}$$

$$D = 0,75\sqrt{2,22 * 10^{-3}}$$

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

$$D = 0,035\text{m}$$

$0,75 < K < 1,40$ (Le choix de k impose la valeur de la vitesse du fluide).

Lorsque nous avons dimensionné notre système pour notre site à Tamanrasset, nous avons identifié que la pompe Submersible QF 20-13 répondait parfaitement à nos besoins.

- Caractéristique de la pompe

- Modelé : Submersible QF 20-13.
- Types de la pompe : Immerge.
- Puissance maximale : 3kW.
- Débit 10 m³/h .
- Tension MPPT minimale: 380 V
- Tension MPPT maximale : 420 V
- Hauteur maximale : 59-81m.
- Rendements : 56%.

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

III.5. Situation géographique site Béni Zmenzer

La commune algérienne de Beni Zmenzer se trouve dans la wilaya de Tizi Ouzou, à environ 11 km au sud de la ville de Tizi Ouzou, dans la région de Kabylie. La commune d'Aït Zmenzer est située au cœur de la wilaya de Tizi Ouzou.

On considère les données fournées dans le tableau suivant :

Tableau III-12 : Coordonnées géographe de Beni Zmenzer.

Site	Longitude (E)	Latitude (N)	Altitude (m)
Beni Zmenzer	$\lambda = 4,033$	$\Phi = 36,63$	Z=550

Puisque latitude est $30^\circ < \phi < 40^\circ$ donc l'inclinaison de panneau va être : $\Phi = 46,63$ N.

III.6. Irradiation pour une journée : du (31-12-2023 de 7ha 17h)

Ce tableau représenter l'irradiation solaire au cours d'une journée :

Tableau III-13 : Profil d'irradiation solaire journalier.

Heure (h)	Irradiation globale (W/m ²)
7	787
8	821
9	890
10	919
11	950
12	953
13	943
14	891
15	833
16	563
17	392

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

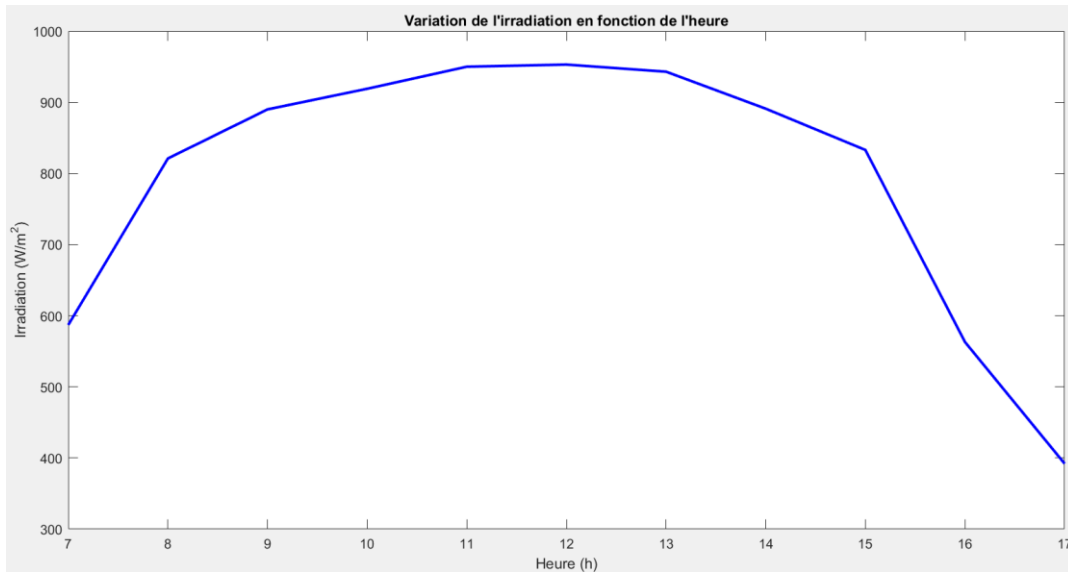


Figure III-5 : Représente l'irradiation en fonction du temps pour Beni Zmenzer.

III.6.1. L'irradiation journalière moyenne globale des différentes valeurs de l'irradiation pour chaque heure

$$GJM = \int_{T_{lever}}^{T_{coucher}} Gdt = \int_7^8 Gdt + \int_8^9 Gdt + \int_9^{10} Gdt + \int_{10}^{11} Gdt + \int_{11}^{12} Gdt + \dots + \int_{19}^{20} Gdt$$

$$GJM = \int_{T_{lever}}^{T_{coucher}} Gdt = \frac{b-a}{2} * (G(a) + G(b))$$

$$h = 8h - 7h$$

$$h = 1h$$

$$GJM = \frac{1}{2}(G(7) + G(8)) + \dots + \frac{1}{2}G(16) + G(15)$$

$$GJM = 704 + 855,5 + 904,5 + 931 + 951,5 + 948 + 917 + 862 + 698 + 477,5$$

$$GJM = 8249wh/m^2.$$

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

- L'énergie consommée (les besoin énergétique) pour Beni-Zmenzer

Tableau III-14 : Estimation des besoins journaliers.

Equipement	Nombre	Pu (W) Unitaire	Dure (h) d'utilisation	P utilisable (W)	P Réelles (W)	Ec (wh/j)
Pompe	1	750 $\eta = 0,65$	4	750	1153,84	4615,38
Les besoins en énergie à fournir : 4615, 38(wh/J)						

- Caractéristiques du générateur photovoltaïque

Tableau III-15 : Caractéristique de GPV.

Puissance Pmax	250W
Tension Umax	25,21V
Courant Imax	9,06A
Rendement Gpv	15%

III.7. Résultats de dimensionnement d'une installation photovoltaïque du Beni-Zmenzer

Tableau III-16 : Spécifications d'un système photovoltaïque.

Composant	Caractéristique principale	Valeur (unité)
Panneaux photovoltaïque	Puissance crête	0,860 kW
	Tension du système	24 V
Configuration	Série	1panneaux
	Parelle	4panneaux
	Nombre totale	4 panneaux
Régulateur de charge	Type	MPPT
	Courant maximal (Ich)	36,24 A
	Courant de régulation maximal	54,36 A
Pompe	Hauteur manométrique HMT	70m
	Débit Q	3 m ³ /h
	Diamètre	0,021m
	Puissance Hydraulique Ph	559,50W
Câbles	Entre les panneaux et le régulateur	L=5m, S=2,5mm ²
	Entre le régulateur et autre élément	L=10 m, S=6mm ²

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

III.8. Dimensionnement de la pompe pour Beni-Zmenzer

Tableau III-17 : Caractéristique de puits et de réservoir.

Niveau Statique (Ns)	Niveau Dynamique (Nd)	Hauteur de Réservoir (Hr)	Perte de Charge et le Rendement
4m	50m	10m	Pch=9%; n=65%

- Caractéristique de la pompe

Modelé	MSWSPP44075
Puissance	750W
Courant	5A
Tension	230V
débit	6 m ³ /h
Profondeur	72m
Rendement	65%

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

III.9. Situation géographique Maâtkas

La commune de Maâtkas est située au sud-ouest de la wilaya de Tizi Ouzou. Maâtkas est une municipalité algérienne de la wilaya de Tizi Ouzou, localisée dans la région de la Kabylie, à une distance de 20 km au sud-ouest de la ville de Tizi-Ouzou.

Tableau III-18 : Coordonnées géographe de Maâtkas.

Site	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)
Maatkas	$\Phi=36.61$	$\lambda= 3.98$	Z=622

Puisque latitude est $30^\circ < \phi < 40^\circ$ donc l'inclinaison de panneau va être : $\Phi=46,61$ N

III.9.1. Irradiation pour une journée : du (31-12-2024 de 7h à 16h)

Ce tableau représenter l'irradiation solaire au cours d'une journée :

Tableau III-19 : Profil d'irradiation solaire journalier.

Heure (h)	Irradiation globale (W/m ²)
8	614
9	788
10	890
11	917
12	925
13	900
14	875
15	764
16	461

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

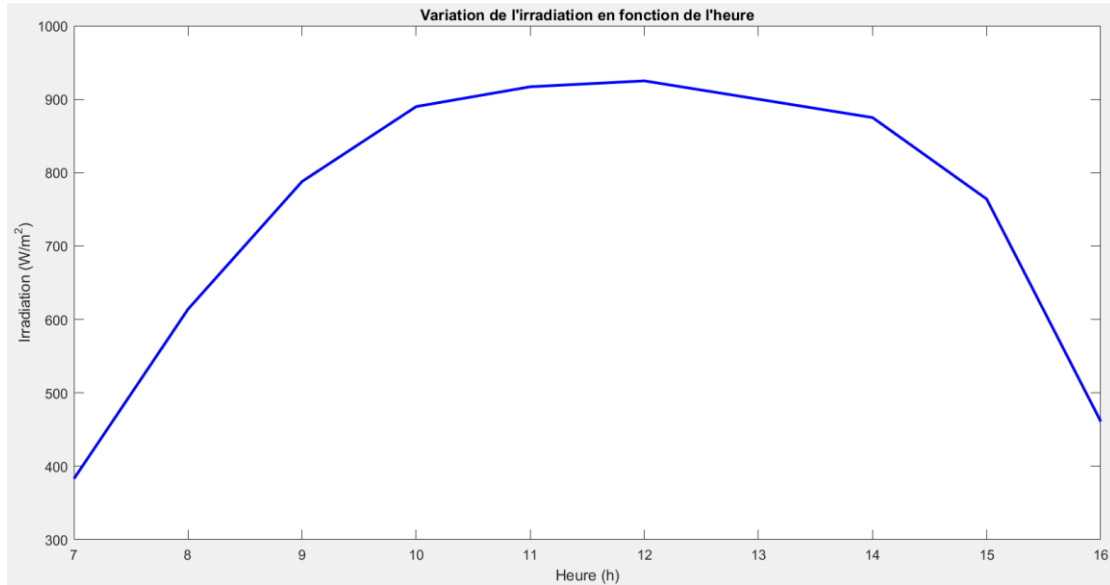


Figure III-6 : Représente l'irradiation en fonction du temps pour Maâtkas.

III.9.2. L'irradiation journalière moyenne globale des différentes valeurs de l'irradiation pour chaque heure

$$GJM = \int_{T_{lever}}^{T_{couche}} G dt = \int_7^8 G dt + \int_8^9 G dt + \int_9^{10} G dt + \int_{10}^{11} G dt + \int_{11}^{12} G dt + \dots + \int_{15}^{16} G dt$$

$$GJM = \int_{T_{lever}}^{T_{couche}} G dt = \frac{b-a}{2} * (G(a) + G(b))$$

$$h = 8h - 7h$$

$$h = 1h$$

$$GJM = \frac{1}{2} (G(7) + G(8)) + \dots + \frac{1}{2} G(16) + G(16)$$

$$GJM = \frac{1}{2} * (997.166 + 1402.315 + 1670.742 + 1800.386 + 1843.091 + 1825.25 + 1775.57 + 1640.741225.649]$$

$$GJM = \frac{1}{2} * 14136,9$$

$$\mathbf{GJM = 7098,45 Wh/m^2}$$

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

- L'énergie consommée (les besoin énergétique) pour Maâtkas

Tableau III-20 : Estimation des besoins journaliers.

Equipement	Nombre	Pu(W) Unitaire	Dure (h) D'utilisation	P utilisable	P Réelles	Ec(wh/j)
Pompe	1	750 $\eta = 0,65$	5	750	1153,84	5769,23
Les besoins en énergie à fournir : 5769, 23(wh/J)						

- Caractéristiques du générateur photovoltaïque

Tableau III-21 : Caractéristique de GPV.

Puissance Pmax	250W
Tension Umax	25,21V
Courant Imax	9,06A
Rendement Gpv	15%

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

III.10. Résultats de dimensionnement d'une installation photovoltaïque Maâtka

Tableau III-22 : Spécifications d'un système photovoltaïque.

Composant	Caractéristique principale	Valeur (unité)
Panneaux photovoltaïque	Puissance crête	1,25kW
	Tension du système	24V
Configuration	Série	1 panneau
	Parelle	6 panneaux
	Nombre totale	6 panneaux
Régulateur de charge	Type	PWM
	Courant de maximal (Ich)	54,36A
	Courant de régulation maximal (Ireg)	81,54A
Pompe	Hauteur manométrique HMT	66m
	Débit Q	4,52 m³/h
	Diamètre	0,026
	Puissance Hydraulique Ph	813,709W
Câbles	Entre les panneaux et le régulateur	L=5m, S=2,5mm²
	Entre le régulateur et autre élément	L=10 m, S=6mm²

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

III.11. Dimensionnement de la pompe pour Maâtkas

Tableau III-23 : Caractéristique de puits et de réservoir.

Niveau Statique (Ns)	Niveau dynamique (Nd)	Hauteur de Réservoir (Hr)	perte de charge et le rendement
15 m	40 m	5 m	10% ; $\eta = 65\%$

- Caractéristique de la pompe

Modelé	MSWSPP44075
Puissance	750W
Courant	5A
Tension	230V
Débit	6 m ³ /h
Profondeur	72m
Rendement	65%

III.12. L'irradiation globale pour (Tamanrasset, Beni – Zmenzer, Maâtkas)

Tableau III-24 : L'irradiation pour les trois sites.

Temps (h)	Tamanrasset (Wh/m ²)	Beni Zmenzer (Wh/m ²)	Maâtkas (Wh/m ²)
7	539	587	383
8	750	821	614
9	955	890	788
10	1000	919	890
11	1035	950	917
12	1040	953	925
13	1008	943	900
14	980	891	875
15	930	833	764
16	850	563	461
17	750	392	
18	600		
19	422		
20	300		

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

III.13. Analyse de trois sites

Tamanrasset : bénéficie d'une irradiation solaire variée, allant de 300 à 1040 Wh/m². Les moments les plus ensoleillés, généralement de 9h à 14h, enregistrent les valeurs les plus élevées, souvent au-dessus de 1000 Wh/m².

Beni Zmenzer : l'irradiation solaire varie de 392 à 953 Wh/m² par jour, avec des pics observés généralement entre 9h et 14h. Cette disponibilité d'énergie solaire favorable soutient efficacement l'utilisation de systèmes photovoltaïques dans la région.

Maâtkas : l'irradiation solaire varie entre 383 Wh/m² et 925 Wh/m². Les heures les plus ensoleillées se situent généralement entre 10h et 14h, avec des pics atteignant jusqu'à 925Wh/m². Maâtkas présente des niveaux d'irradiation solaire légèrement inférieurs, mais reste dans une gamme élevée.

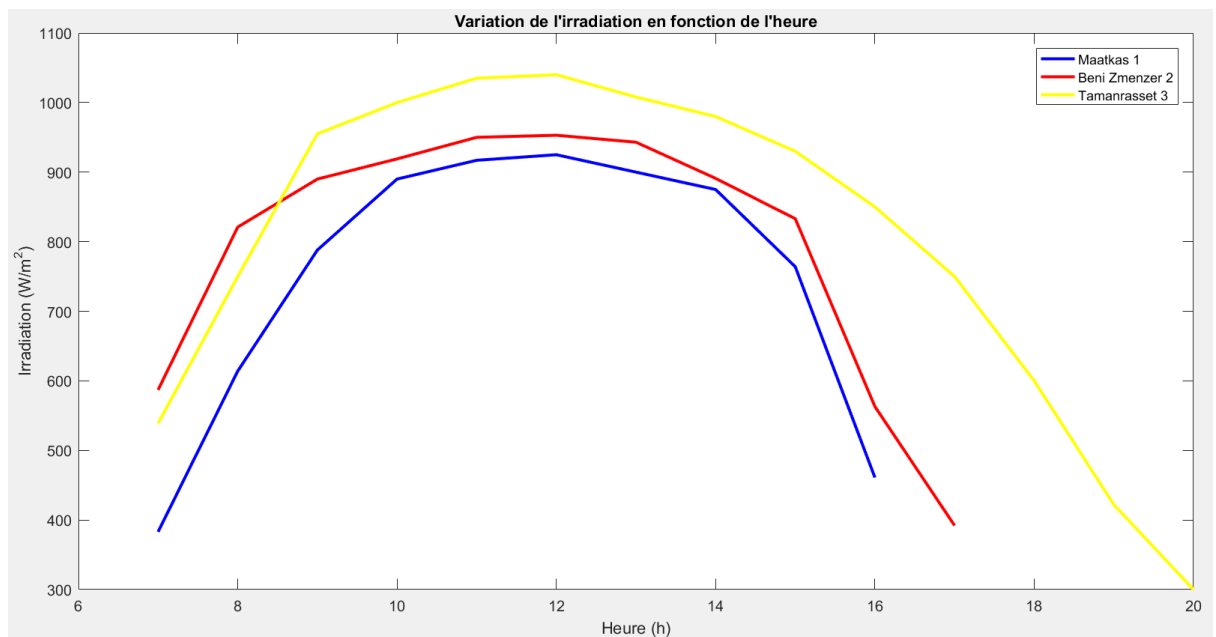


Figure III-7 : Représente l'irradiation en fonction du temps des 3 sites.

III.14. Comparaison de trois sites

III.14.1. Comparaison de l'irradiation solaire

- **7h-10h** : Tamanrasset est des niveaux d'irradiation similaires, tandis que Beni Zmenzer et Maâtkas commence avec des valeurs nettement inférieures.

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

- **11h-14h** : Tamanrasset atteint des niveaux d'irradiation significativement plus élevés que Beni Zmenzer et Maâtkas.
- **15h-20h** : Tamanrasset montre une diminution progressive de l'irradiation, mais restent au-dessus de Beni Zmenzer et Maâtkas qui continuent d'avoir les valeurs les plus basses.

III.14.2. Comparaison

Ce graphique met en évidence que Tamanrasset est mieux placés pour capturer l'énergie solaire en raison de leurs niveaux d'irradiation plus élevés par rapport à Beni Zmenzer et Maâtkas. Tamanrasset en particulier présente le potentiel solaire le plus élevé, suivi de près par Beni Zmenzer, tandis que Maâtkas présente un potentiel solaire plus limité tout au long de la journée.

III.14.3 Comparaison de débit et la pompe

Tableau III-25 : Les données hydrauliques des trois sites.

Sites	Le débit (Q)	Hauteur manométrique	Puissance hydraulique
Tamanrasset	8 m ³ /h	80,3m	1724,8W
Beni Zmenzer	3 m ³ /h	70m	559,50W
Maâtkas	4,524 m ³ /h	66m	813,709W

III.15. Analyse des performances hydrauliques des trois sites

III.15.1. Débit (Q)

Tamanrasset présente le débit le plus élevé parmi les trois sites étudiés, avec 8 m³/h. Ce débit est significativement plus élevé que celui de Maâtkas, qui atteint 4,524 m³/h, et celui de Beni Zmenzer, qui est le plus bas à 3 m³/h. Cette différence indique que Tamanrasset est capable de déplacer une plus grande quantité d'eau par unité de temps, ce qui peut être crucial dans les applications nécessitant un approvisionnement rapide en eau.

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

III.15.2. Hauteur manométrique

En termes de hauteur manométrique, Tamanrasset nécessite une élévation de 80,3 mètres pour maintenir son débit élevé. C'est la hauteur manométrique la plus élevée parmi les trois sites, montrant que la pression nécessaire pour transporter l'eau sur cette distance est plus élevée à Tamanrasset qu'à Maâtkas (66 mètres) et Beni Zmenzer (70 mètres). Cette caractéristique est essentielle pour évaluer la performance d'une pompe ou d'un système d'irrigation en termes de capacité à surmonter la résistance de la tuyauterie et des élévations naturelles du terrain.

III.15.3. Puissance hydraulique

En ce qui concerne la puissance hydraulique générée, Tamanrasset se distingue également avec 1724,8 watts. Cette valeur est supérieure à celle de Maâtkas, qui produit 813,709 watts, et à celle de Beni Zmenzer, qui génère 559,50 watts. La puissance hydraulique détermine la capacité du système à travailler efficacement contre la résistance du système et à maintenir le débit requis à la hauteur manométrique spécifiée.

III.15.4. Comparaison

Tamanrasset présente des performances supérieures en termes de débit, de hauteur manométrique et de puissance hydraulique par rapport à Maâtkas et Beni Zmenzer. Cela en fait un choix potentiellement plus robuste pour les applications nécessitant une irrigation ou un transfert d'eau efficace sur de longues distances ou à travers des terrains variés. Maâtkas et Beni Zmenzer, bien que moins performants que Tamanrasset dans ces trois aspects, peuvent toujours être viables en fonction des exigences spécifiques de pression, débit et consommation énergétique d'une application donnée.

Conclusion

Nous avons analysé l'irradiation journalière moyenne de trois sites différents : Tamnrasset, Beni Zmenzer et Maâtkas. À l'aide de MATLAB, nous avons tracé les courbes correspondantes et dimensionné les systèmes photovoltaïques et de pompage pour chaque site. Ensuite, nous avons comparé l'irradiation des sites ainsi que les débits, la hauteur manométrique totale (HMT) et la puissance hydraulique générée. Cette analyse met en évidence les variations significatives dues aux conditions d'irradiation spécifiques, cruciales pour le dimensionnement optimal des systèmes dans chaque localisation.

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

"Dimensionnement d'une Maquette Photovoltaïque pour Pompage Immergé"

Le dimensionnement de notre maquette représente une étape cruciale dans la conception d'un système photovoltaïque adapté pour alimenter une pompe immergée. Cette section détaille notre approche pour calculer précisément les besoins énergétiques, sélectionner les composants appropriés et assurer une efficacité optimale du système dans les conditions variables de Beni Zmenzer et Maatkas, en Algérie.

IV .Dimensionnement de la Maquette :

Maquette de Beni Zmenzer et Maatka : Traits Géographiques Communs.

Les données :

(Irradiation journalière moyenne pour Beni zmenzer)

$$GJM = 8249wh/m^2(31-12-2023)$$

(Irradiation journalière moyenne pour Maatkas)

$$GJM = 70988 wh/m^2$$

- Caractéristique du générateur photovoltaïque :

Puissance Pmax	20W
Tension Umax	18V
Courant Imax	1,11A
rendement	22%



Figure IV.1 : Générateur photovoltaïque et régulateur PWM.

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

- **Caractéristique de la pompe :**

Nous avons choisi notre pompe par rapport à la profondeur de notre forage.

Puissance Unitaire	120W
Type	Immergée (40 l/min)
Tension	24V
Courant	5A
Rendement η	55%
Hauteur	5m
Le débit	(40 l/min)



Figure IV. 2 : pompe immergée.

- **Le besoin énergétique (consommation énergétique)**

Tableau IV. 1 : Estimation des besoins journaliers

Equipement	Nombre	Pu(W) Unitaire	Dure (h) D'utilisation	P utilisable	P Réelles	Ec(wh/j)
pompe	1	120 $\eta = 0,55$	1	120	218,18	218,18
Les besoins en énergie à fournir : 218,18(wh/J)						

Chapitre III : Application au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

- Dimensionnement de la pompe :

Tableau IV .2 : Caractéristique de forage.

Niveau statique(Ns)	Niveau dynamique(Nd)	Hauteur de Réservoir(Hr)	perte de charge des conduites
1m	1m	1m	3% $\eta = 55\%$

Résulta du dimensionnement de notre maquette avec l'irradiation journalière moyenne pour le site Beni -Zmenzer:

Tableau IV.3 : Spécifications d'un système photovoltaïque.

Composant	Caractéristique principale	Valeur (unité)
Panneaux photovoltaïque	Puissance crête	0,040 kW
	Tension du système	12V
Configuration	Série	1panneaux
	Parelle	1panneau
	Nombre totale	1 panneau
Régulateur de charge	Type	PWM
	Courant maximal (Ich)	1,65 A
	Courant de régulation maximal	1,65 A
Pompe	Hauteur manométrique HMT	3,09m
	Débit Q	2,61m ³ /h
	Diamètre	0,020m
	Puissance Hydraulique Ph	22W
Câbles	Entre les panneaux et le régulateur	L=7,5m, S=1,5mm ²
	Entre le régulateur et autre élément	L=7,5 m, S=2,5mm ²

Conclusion générale

Notre étude a débuté par une exploration approfondie de l'énergie solaire photovoltaïque, appliquée spécifiquement à l'alimentation d'une pompe solaire pour des forages ou des puits, avec la capacité de stocker l'eau pompée dans des réservoirs. Les principaux éléments de ce système incluent le générateur photovoltaïque, le groupe électropompe, ainsi que l'électronique de commande et de contrôle.

Nous avons dimensionné ce système de pompage photovoltaïque par une évaluation de l'irradiation solaire disponible dans les régions de Tamanrasset, Maâtkas et Beni Zmenzer. Cette analyse a été cruciale pour calculer avec précision le débit d'eau nécessaire et choisir la pompe la mieux adaptée. Nous avons ensuite procédé à la sélection méticuleuse du régulateur et de l'onduleur appropriés, en tenant compte des spécificités de chaque site.

L'analyse détaillée de l'irradiation solaire nous a permis d'estimer avec précision la quantité d'énergie que les panneaux photovoltaïques peuvent convertir en électricité pour ce projet.

Enfin, nous avons appliqué ces données de dimensionnement à Tamanrasset, Beni Zmenzer et Maâtkas, incluant une comparaison approfondie des performances prévues dans chaque environnement, en considérant les variations climatiques et géographiques propres à chacun.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] L'interrelation et la distribution caractéristique du rayonnement solaire direct, diffus et total livre Solar energy publier juillet 1960 page 1-19 version françaises.
- [2] Djendi k. «Etude d'un système photovoltaïque autonome», mémoire de fin d'étude master, Université de Biskra, juin 2013.
- [3] Livre Solar energy publié juillet 1960 page 1-19 version française.
- [4] Régulateur solaire MPPT 10A 12V/24V SmartSolar" de Victron Energy.
- [5] «PWM Solar Charge Controller with LCD Display and Dusk-to-Dawn Functionality".
- [6] B. Flèche - D. Delagnes, « Energie solaire photovoltaïque.doc », juin 2007.
- [7] J. Royer, T. Djiako, E. Schiller, B. Sada Sy « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens Bibliothèque nationale du Canada, 1998.
- [8] Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric Schiller, Bocar Sada Sy « le pompage photovoltaïque, manuel de cours à l'intention des ingénieurs et techniciens » Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage français, 1998.
- [9] Ahmed O. Bagré. « Cours sur le pompage photovoltaïque et le dimensionnement de système PV ».
- [10] **M. Petibon Stéphane**, « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques », Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 2009.
- [11] D. Zahra et S. Bouras, « Méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque, application à la région de M'sila», Master en Physique Energétique et Energies Renouvelables, Université Mohamed Bodiaf - M'SILA, 2019.
- [12] J. Royer, T. Djako, « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa, 2002.
- [13] Labouret Anne, « Energie solaire photovoltaïque », Paris : Dunod, 2006, 3^{ème} Edition.
- [14] A. Labouret, M. Viloz, « Energie solaire photovoltaïque », DUNOD, 2^{ème} édition, Paris 2003.

- [15] Livre recommandations pour les installations photovoltaïques de pompage et de potabilisation.
- [16] Ouvrage collectif, IES-UPM, Fondem, Association Tichka. 2003.
- [17] Le Pompage photovoltaïque Ouvrage collectif, IEPF, Université d'Ottawa/EIER/CREPA. 1998.
- [18] Le livre 'Le Forage d'eau A. Mabillot. 1998.
- [19] Balise solaire - TOPAZE Energie. (s.d.).
- [20] A. Labouret, M. Viloz, « Energie solaire photovoltaïque », DUNOD, 4^{ème} Edition.
- [21] A. Moumami, N. Hamani, N. Moumami et Z. Mokhtari, Estimation du Rayonnement Solaire par deux approches semi empiriques dans un site de Biskra, Séminaire International sur la physique Energétique, SIPE Bechar, 2006.
- [22] F. Brihma, « Etude conceptuelle d'un système de conditionnement de puissance pour une centrale hybride PV/éolienne », Mémoire de magister en électrotechnique, UMMTO, 2012.
- [23] C. Mataix, 'Mecánica de Fluidos y Maquinas hidraulicas', Castillo, Madrid, 582 p., 1970.