

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

N° : Ph/ENR/02/2023



DOMAINE : Science de la Matière

FILIERE : Physique

OPTION : Physique Energétique et
Energies Renouvelables

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Réaliser par :

AMROUNE Manal

Intitulé

**Installation de kit de pompage immergé avec
système photovoltaïque**

Dirigé par : Abdelkrim BOURAS

Soutenu devant le jury composé de :

HADDAD Zakaria	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
BOURAS Abdelkrim	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
DJEDID Taloub	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Co-encadreur
BAKRI Badis	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

Année universitaire : 2022/ 2023

Remerciements

Je remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, et la volonté de mener à terme ce travail.

Ce travail a été effectué à la faculté des sciences exactes et de physique énergétique et énergie renouvelables d'Université Mohamed Boudiaf M' SILA.

Je souhaite remercier très vivement Dr. BOURAS Abed Elkarim qui ont encadré ce travail. Vous m'avez fourni une précieuse orientation et des conseils à chaque étape de mon parcours de mémoire. Votre expérience et vos connaissances ont été essentielles pour me diriger vers le succès.

Je remercie Dr. THALOUB Djedid et Dr. SALMI Mohammed, j'adresse mes remerciements à tous les professeurs qui m'ont étudié.

En fin, je remercie à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en premier lieu à mon cher père décédé, bien que tu ne sois plus physiquement parmi nous, ton souvenir et ton esprit vivent éternellement dans mon cœur .que dieu le tout-puissant lui accorde sa miséricorde, à ma cher mère, toi que es le symbole de l'amour et dévouement. Je te remercie pour tous les sacrifices ces que tu fais. Je t'aime plus que les mots ne pourront jamais l'exprimer.

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers frères et ma sœur, vous êtes mes compagnons de vie et ma force.

A la famille **AMROUNE**.

A mes amis, surtout à mon meilleur ami **Yakout**.

A toutes la promo de master physique énergétique.

Résumé

L'énergie solaire est une source renouvelable durable. À l'heure actuelle, l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque est la solution optimale et durable pour le pompage de l'eau dans les régions éloignées ou le réseau électrique est difficile à atteindre.

Dans ce travail, nous avons étudié les facteurs affectant le processus de pompage de la pompe immergée afin que les solutions optimales puissent être identifiées et les systèmes de pompage appropriés conçus pour répondre aux besoins en eau avec un rendement élevé et un faible coût.

Mots clés : L'énergie solaire, pompe immergée, les systèmes de pompage, l'énergie solaire photovoltaïque.

Abstract

Solar energy is sustainable renewable source. At present the use of solar PV is the optimal and sustainable solution for water pumping in remote areas where the electricity grid is difficult to reach.

In this work we studied the factors affecting the pumping process of the immersed pump so that optimal solutions can be identified and appropriate pumping systems designed to meet water needs with high efficiency and low cost.

Key words : Solar energy ,immersed pump, pumping systems, solar PV.

ملخص

تعتبر الطاقة الشمسية مصدر متجدد يمكن الاعتماد عليه بشكل دائم. في وقتنا الحالي إن استخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية تمثل الحل الأمثل و المستدام لضخ المياه في المناطق النائية التي يصعب شبكة الكهرباء الوصول إليها .

في هذا العمل قمنا بدراسة العوامل المؤثرة على عملية الضخ للمضخة الغاطسة حتى يمكن تحديد الحلول المثلى و تصميم أنظمة الضخ المناسبة لتلبية الاحتياجات المائية بكفاءة عالية و تكلفة منخفضة.

الكلمات المفتاحية : الطاقة الشمسية ، أنظمة الضخ ، المضخة الغاطسة، الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Table des matières.....	I
Nomenclature.....	IV
Symbole grecs.....	V
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux.....	VIII
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I :Le gisement solaire	
I.1. Introduction.....	4
I.2. Le rayonnement solaire.....	4
I .3.Constante solaire.....	4
I .4.Caractéristique de rayonnement solaire.....	4
I.4.1. Rôle de l’atmosphère.....	4
I.4.1.1. L’absorption par les différents gaz.....	4
I.4.1.2. Diffusion.....	5
I .4.2.Masse d’air(A_m).....	5
I.5. Paramètres géographiques.....	6
I.5.1. La latitude (\varnothing).....	6
I .5.2.Longitude λ ou (L).....	6
I .5.3.L’altitude (z).....	6
I .6. Les temps solaires.....	6
I .6.1.Temps Universel (TU).....	6
I .6.2. Temps solaire vrai (T_{SV}):.....	7
I .6.3.Temps solaire moyen(T_{SM}).....	7
I .6.4.Temps légal (TL).....	7
I.7. Coordonnes horaires (équatoriales).....	8
I.7.1. Déclinaison solaire (δ).....	8
I .7.2.L’angle horaire (ω) ou AH.....	8
I .8.Coordonnées horizontales :.....	9
I .8.1.Hauteur angulaire (h).....	9
I .8.2.L’azimut(a) ou α	10
I .8.3.L’angle zénithal (Oz).....	10
I.8.4. Angle incidence (θ).....	11

I .9. Durée et taux d’enseillement	11
I .9.1.Durée d’enseillement	11
I .9.2.Taux d’enseillement.....	11
I .10. L’Albédo	12
I.11. Composante du rayonnement solaire	12
I.11.1 Le rayonnement direct	12
I.11.2. Le rayonnement diffuse	12
I .11.3.Le rayonnement global :	12
I.12. Conclusion :	13

Chapitre II: Généralité sur le kit pompe PV

II.1. Introduction	15
II .2.Comparaison simple entre les pompes solaires et les pompes mazot	15
II .2.1.Les pompes mazot	15
II .2.2.Les pompes solaires.....	15
II.3. Système photovoltaïque.....	15
II.3.1. La cellule	16
II .3.1.1. Le principe de fonctionnement d’une cellule PV	16
II.3.1.2. Technologies des cellules photovoltaïques	17
II.3.1.3. Association des cellules	18
II.3.2. Le module photovoltaïque.....	19
II. 3.3.les panneaux solaire photovoltaïque.....	19
II.4. Le groupe motopompe.....	20
II.4.1. Pompe solaire	20
II.4.2.Types de pompes à eau.....	21
II.4.2.1.Selon le type de pompe utilisée	21
II.4.2.3.Selon le lieu d’installation	24
II.5.L’ électronique de commande et de contrôle	25
II.5.1.Le convertisseur DC/AC (onduleur)	25
II.5.2.Le convertisseur DC/DC (hacheur).....	26
II.6. Stockage des batteries	26
II.7. Conclusion	27

Chapitre III Dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

III.1. Introduction	29
III.2. Données de base.....	29
III.3. Les étapes de dimensionnement de l’installation.....	30
III.3. 1.Evaluation des besoins en eau.....	30

III.3. 2.Calcul de l'énergie hydraulique requise.....	31
III.3. 3.Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise	32
III.3. 4.Détermination de l'énergie solaire disponible	32
III.3. 5.choix des composants.....	32
III.4. Conclusions	33

Chapitre IV: Résultats et Discussion

IV.1. Introduction.....	35
IV.2. DESCRIPTION DU BANC D'ESSAI ET MESURES	35
IV.3. COMPOSITION DU BANC D'ESSAIS.....	36
IV.3.1.Panneau solaire p=270 w	36
IV.3.2. panneau solaire p=400w	37
IV.3.3.Pompe immergé	38
IV.4. L'effet de la Hauteur sur le débit de la pompe	38
IV.5. L'effet de la puissance des panneaux solaires sur le rendement de la pompe	40
IV.6. L'effet de l'inclinaison du panneau solaire sur la pompe	41
IV.7. Conclusion.....	44
Conclusion générale	46

Nomenclature

Symbole latins

E	L'énergie en joule
C	La vitesse de la lumière en m/s
h	La constante de Planck ($h= 6.626 \times 10^{-37} j/s$)
Am	Masse d'air
L	Longitude
Z	L'altitude
TU	Temps Universel
TSV	Le temps solaire vrai
TSM	Temps solaire moyen
ET	l'équation du temps
TL	Temps légal
C	étant de décalage entre le méridien de Greenwich
<i>h</i>	Hauteur angulaire
a	L'azimut
<i>y</i>	L'orientation du capteur (plan sud =0).
Q	Débit
HMT	Hauteur manométrique totale
N_d	Le niveau dynamique.
H_r	La hauteur du réservoir.
P_c	Les pertes de charge.
H_g	La hauteur géométrique.
E_h	Energie hydraulique (kwh/j)
V	Volume d'eau
E_{elc}	Énergie électrique
C_h	Constante hydraulique=2.725
Q_p	Débit horaire de la pompe
P_h	La puissance hydraulique.

Symbole grecs

δ	Déclinaison solaire
β	L'inclinaison du capteur
θ	Angle incidence
ϕ	La latitude
ω	L'angle horaire
ρ	La masse volumique de l'eau ($1000^{kg}/m^3$).
g	La gravité terrestre ($9.81^{m}/s^2$).
Oz	L'angle zénithal
η_G	Rendement du groupe de pompage

Liste des figures

N° de la figure	Titre de la figure	Page
Chapitre I		
Figure (I.1)	le rayonnement solaire et le nombre d'air masse	5
Figure (I.2)	Les coordonnées géographiques	5
Figure (I.3)	fuseaux horaires avec le décalage horaire	7
Figure (I.4)	déclinaison du soleil en fonction du numéro du jour de l'année n	8
Figure (I.5)	les coordonnées horaires	9
Figure (I.6)	coordonnées horizontales	10
Figure (I.7)	carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel	12
Figure (I.8)	Composantes du rayonnement solaire	13
Chapitre II		
Figure (II .1)	Le principe de fonctionnement de cellule PV	17
Figure (II .2)	cellules identiques en série	18
Figure (II .3)	cellules identiques en parallèle	18
Figure (II .4)	association mixte des panneaux	19
Figure (II .5)	panneau photovoltaïque	19
Figure (II .6)	pompage au fil du soleil (stockage de l'eau)	20
Figure (II .7)	pompage avec batteries (stockage électrique)	21
Figure (II .8)	Composants de la pompe centrifuge	22
Figure (II .9)	pompes volumétriques	22
Figure (II .10)	moteur à courant continu avec balais	23
Figure (II .11)	Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe DC.	23
Figure (II .12)	Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe AC.	24

Figure (II .13)	pompe de surface	24
Figure (II .14)	pompe de immergées	25
Figure (II .15)	Conversion DC/AC	26
Figure (II .16)	Conversion DC/DC	26
Figure (II .17)	Différents types de batteries	26
Chapitre III		
Figure(III.1)	Donnée de base d'une pompe	30
Chapitre IV		
Figure (IV.1)	Banc d'essai de caractérisation des systèmes de pompage photovoltaïque	35
Figure (IV.2)	panneaux solaire p=270 w	36
Figure (IV.3)	panneaux solaire de p=400 w	37
Figure (IV.4)	Schéma de la pompe immergé	38
Figure (IV.5)	Les variations de débit en fonction de temps	40
Figure (IV.6)	La variation de débit en fonction de temps	41
Figure (IV.7)	La variation de débit en fonction de temps	43
Figure (IV.8)	La variation de débit en fonction de courant I	44

Liste des tableaux

N° de la figure	Titre du tableau	Page
Chapitre II		
Tableau (II .1)	Les avantages et les inconvénients d'une pompe mazot	15
Tableau (II .2)	Les avantages et les inconvénients d'une pompe solaire	15
Tableau (II .3)	Caractéristique des différentes technologies des cellules PV	17
Tableau (II .4)	Les avantages et inconvénients d'une pompe immergée	25
Chapitre III		
Tableau (III.1)	Besoins en eau	31
Chapitre IV		
Tableau (IV.1)	Caractéristique de panneaux solaire p=270w	36
Tableau (IV.2)	Caractéristique de panneaux solaire p=400w	37
Tableau (IV.3)	Les caractéristiques de pompe immergée	38
Tableau (IV.4)	Les variations de débit en fonction de temps pour h=2 m et h=1	39
Tableau (IV.5)	La variation de débit en fonction de la puissance du panneau solaire	40
Tableau (IV.6)	La variation de débit en fonction de l'inclinaison du panneau solaire	42

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie solaire est une source d'énergie inépuisable et propre provenant du soleil. Elle joue un rôle essentiel dans la transition énergétique vers des solutions plus durables et respectueuses de l'environnement. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires.

Aujourd'hui, l'exploitation de l'énergie photovoltaïque offre un approvisionnement en énergie inépuisable mais surtout une énergie propre et non polluante, ce qui constitue un avantage certain [1].

Depuis les premières installations à la fin des années 70, les systèmes de pompage photovoltaïque ont eu une grande part dans les projets d'application de l'énergie photovoltaïque et ils appartiennent de nos jours aux applications les plus significatives de l'énergie photovoltaïque. Ceci peut être principalement attribué au fait qu'il n'est pas économiquement faisable de relier de tels sites éloignés au réseau électrique [2].

Des pompes immergées photovoltaïque est qu'elles sont placées directement dans la source d'eau, ce qui leur permet de fonctionner de manière efficace et silencieuse. Elles sont généralement conçues pour être submersibles, ce qui signifie qu'elles peuvent être immergées dans l'eau sans risque de dommages ou court-circuit électrique

Plusieurs études ont été réalisées sur une pompe immergée

BLIZAK et al [3]. Ils ont créé un nouveau système anti-colmatage .Ce système comporte deux moteurs, un dégrilleur fixe, dégrilleur mobile, un dispositif d'acquisition de données et de transmission de l'information et un système de commande permettent désormais d'éviter les déchets à volume important d'être coller dans la pompe et d'agir en cas de problème.

DOUI et al [4]. Leur travail est commande une pompe immergée par PLC LOGO. Ils ont créé un système spécial qui permet d'économiser du temps, des efforts et de l'argent et protège la personne de tout danger auquel elle était exposée dans l'ancien système de pompage. Leur installation de cette pompe permet à la pompe de dispense de main-d'œuvre grâce au système automatisé qui répond aux exigences de contrôle d'une telle installation neuve pour le domaine agricole. BOUHEBEL et al [5]. Leur travail est basé sur la réalisation d'un système d'irrigation automatisé qui contrôle l'humidité de la terre à arroser, le niveau d'eau dans le réservoir ou l'eau d'irrigation est stockée (le réservoir) et le niveau d'eau dans le réservoir source (le puits). Le système se compose de deux pompes submersibles, de deux capteurs de niveau d'eau et d'un capteur d'humidité, tous sont contrôlés par un Arduino UNO. La pompe d'irrigation ne démarre l'arrosage que si le sol est sec et que le réservoir d'arrosage contient de l'eau. La pompe submersible dans le puits commence à remplir le réservoir d'irrigation se celui-ci est vide et que si le niveau d'eau dans le puits dépasse un certain niveau (garantie d'une réserve d'eau à usage humain).le système permet à l'agriculteur de gagner du temps, de contrôler les pertes d'eau (eau potable et eau d'irrigation).

Les zones isolées sont des zones où l'accès à l'eau et aux ressource de base peut être limité (par ex électricité).pour répondre aux besoins en eau dans les régions isolées, nous avons utilisé la technologie des pompes immergée, qui repose sur une source d'énergie renouvelable qui réduit la dépendance à une source d'électricité.

L'objectif de notre travail est d'extraire de l'eau d'une source souterraine pour répondre à divers besoins d'approvisionnement en eau, d'irrigation, et de les acheminer vers les utilisateurs. En fonction de l'application spécifique, les pompes immergées peuvent être sélectionnées en fonction de leur capacité de débit, de leur puissance, leur efficacité énergétique et d'autres caractéristiques pertinentes.

La présente mémoire se répartit en quatre chapitres :

- Le premier chapitre, présente des notions importantes sur le gisement solaire.
- Le deuxième chapitre, présente des généralités sur le kit pompe PV.
- Le troisième chapitre, explique toutes les étapes à suivre pour le dimensionnement d'un système de pompage solaire photovoltaïque.
- Le quatrième chapitre, nous avons présenté une étude sur les facteurs qui influent sur le fonctionnement d'une pompe immergée.

Enfin, une conclusion générale, qui résume les résultats importants que nous avons étudiés avec quelques solutions.

Référence :

[1] **Boukhers, D., & Bouzid, A. (2017).** Optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque. Application au pompage.

[2] **Arrouf, M., & Boughechal, N. E. (2017).** Optimisation de l'ensemble onduleur, moteur et pompe branché sur un générateur photovoltaïque.

[3] **BENNACER, A. (2020).** Conception d'un système anti-colmatage des pompes (Doctoral dissertation, Univ M'sila).

[4] **DOUI, A., MAZARI, A., & BETTACHE, F. (2022).** COMMANDE UNE POMPE IMMERGÉE PAR PLC LOGO.

[5] **Samira, B. O. U. H. E. B. E. L. (2021).** Commande d'une pompe immergée par Arduino (Doctoral dissertation, university center of abdalhafid boussouf-MILA).

Chapitre I

Le gisement solaire

I.1. Introduction

Le gisement solaire correspond à un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible sur une période donnée. Il est utilisé dans divers domaines comme l'agriculture, la météorologie, l'utilisation de l'énergie et la sécurité publique. Dans le fonctionnement d'énergie solaire, la nécessité de disposer de données d'insolation est d'une importance capitale tant pour la conception et le développement de ces systèmes que pour l'évaluation de leurs performances. Une base de données solide et fiable est nécessaire pour assurer au moins la survie économique des installations de collecte et de conversion de l'énergie solaire.

I.2. Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est de nature électromagnétique, provenant essentiellement d'une série d'interactions composites émises par soleil. Le rayonnement électromagnétique émis a un double aspect ondulatoire et corpusculaire correspondant à deux champs, l'un électrique et l'autre magnétique, il se déplace dans le vide avec une vitesse de 299793 km/s. Le corpuscule, appelé photon, de masse nulle, a une énergie reliée à la fréquence ν ou à la longueur d'onde λ par relation suivante [1]:

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

E : L'énergie en joule

C : La vitesse de la lumière en m/s

h : La constante de Planck ($h= 6.626 \times 10^{-37} \text{ j/s}$)

I.3. Constante solaire

C'est la quantité d'énergie totale envoyée par le soleil à la limite de l'atmosphère terrestre sur une surface unité perpendiculaire au rayonnement solaire. Cette valeur déterminée à partir des mesures réalisées à l'aide de ballons, de fusées ou des satellites. La valeur moyenne annuelle est $I_0=1353 \text{ w/m}^2$ qui ont proposés la valeur de 1367 w/m^2 . Cette valeur est fonction de la distance terre-soleil, qui varie quelque peu au cours de l'année [1].

I.4. Caractéristique de rayonnement solaire

Le rayonnement solaire parvient au niveau de terre après avoir parcouru une distance moyenne de $150 \times 10^6 \text{ km}$, il est constitué de photons aux trajectoires à peu près parallèles, la puissance de ce flux est d'environ 1367 w/m [2].

I.4.1. Rôle de l'atmosphère

Cette énergie qui descend vers notre planète ne peut pas arriver sur la terre en intégralité, elle va subir des transformations en traversant l'atmosphère.

En effet, l'atmosphère contient une majorité d'azote, d'oxygène, d'argon, de la vapeur d'eau et couche d'ozone dont le rôle est de filtrer les ultra-violets, sans oublier les poussières et les nuages [2].

I.4.1.1. L'absorption par les différents gaz

L'absorption du rayonnement solaire est sélective et dépend principalement de quatre éléments qui sont [1] :

- ✓ **Ozone (O_3)** : Il absorbe des bandes fortes entre 0.2 et $0.3\mu m$ des bandes faibles de 0.45 à $0.7\mu m$ et deux bandes *IR* à 10 et $14\mu m$.il forme aussi un écran qui arrête les UV.
- ✓ **Oxygène(O_2)** : Il absorbe des bandes étroites du spectre visible (vers 0.69 et $0.76\mu m$).
- ✓ **Gaz carbonique (CO_2)** : il absorbe des une partie de l'infrarouge lointaine ($\lambda > 2\mu m$).
- ✓ **Vapeur d'eau (H_2O)** : Qui entraîne des bandes d'absorption multiples surtout dans l'*IR*.On ne la rencontre pratiquement qu'an niveau du sol ($z < 5 km$).

I.4.1.2. Diffusion [3] [4]

La diffusion se produit lors de l'interaction entre le rayonnement incident et les particules ou les grosses molécules de gaz présentes dans l'atmosphère. Les particules dévient le rayonnement de sa trajectoire initiale. Le niveau de diffusion dépend de plusieurs facteurs comme la longueur d'onde, la densité de particules et de molécules, et de molécules, et l'épaisseur de l'atmosphère que le rayonnement doit franchir.il existe trois types de diffusion :

✓ La diffusion de mie :

Désigne la diffusion par particules dont le rayon oscille entre 0.1 et 10 fois la longueur d'onde.

✓ La diffusion de Rayleigh

N'est valable que pour les particules diffusantes très petites devant la longueur d'onde.

✓ Diffusion non-sélective

Nous appelons ce genre 'non-sélective', car toutes les longueurs d'onde sont dispersées. Les gouttes d'eau de l'atmosphère dispersent le bleu, le vert, et le rouge de façon presque égale, ce qui produit un rayonnement blanc (lumière bleue+verte+rouge=lumière blanche).

I.4.2.Masse d'air(A_m)

On appelle « masse d'aire », m , la masse d'atmosphère traversée par le rayonnement directe pour atteindre le sol (par ciel clair), par rapport à une traversée verticale au niveau de la mer [5].

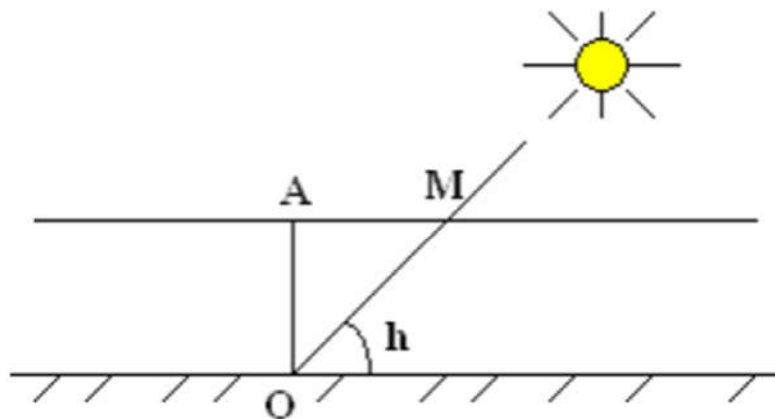


Figure (I.1) : le rayonnement solaire et le nombre d'air masse.

I.5. Paramètres géographiques

Un point sur la surface de la terre est repéré par ces coordonnées :

I.5.1. La latitude (φ)

La latitude d'un lieu à la surface de la terre est l'angle entre l'équateur et le rayon de la terre passant par le lieu considéré. Elle comptée positivement de (0 à $+90^\circ$) vers le nord et négativement de (0 à -90°) vers le sud [6].

I.5.2. Longitude (λ) ou (L)

C'est l'angle que fait le méridien local passant par le point considéré avec le méridien d'origine passant par la ville de Greenwich. Sa valeur est positive à l'ouest et est négative à l'est du méridien [7].

I.5.3. L'altitude (z)

L'altitude d'un point correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer) [5].

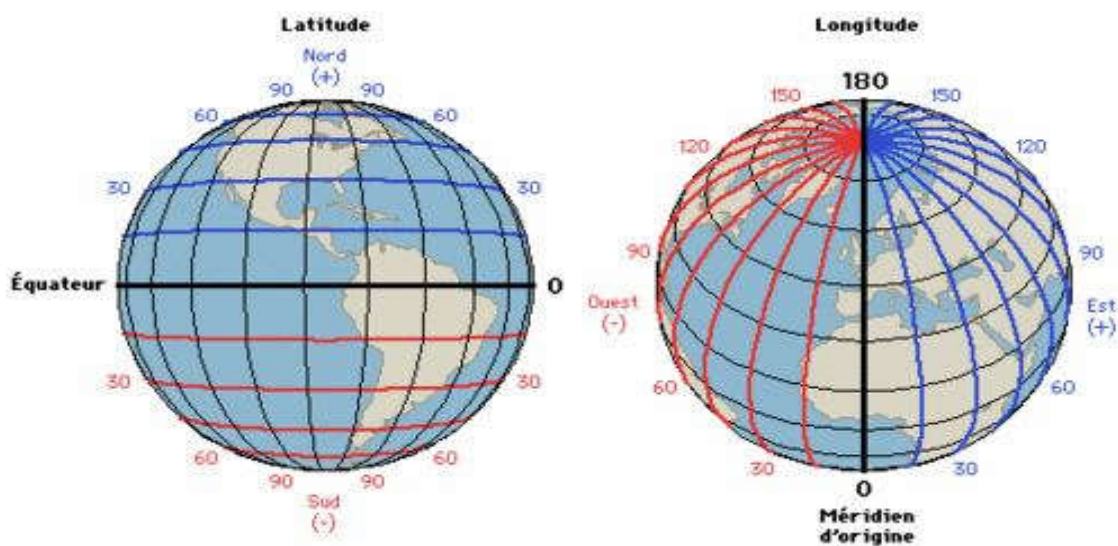


Figure (I.2) : Les coordonnées géographiques.

I.6. Les temps solaires

I.6.1. Temps Universel (TU)

Le temps universel (TU) est défini par le moment du passage du soleil au méridien d'origine ou appelé GMT (Greenwich Meridian time).

On a donc [5] [8] :

$$TU = TSM + (L/15) \quad (I.2)$$

L : La longitude exprimée en degrés et les temps en heures.

I.6.2. Temps solaire vrai (TSV):

Le temps solaire vrai, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil ω . Il est donné sous la forme suivante [6]:

$$TSV = 12 + \omega/15 \quad (\text{I.3})$$

ω En degré.

I.6.3. Temps solaire moyen (TSM)

Il est donné par la relation [9]

$$ET = TSV - TSM \quad (\text{I.4})$$

ET, l'équation du temps, qui corrige le TSV par rapport au TSM.

$$ET = 9.87 \sin(2N') - 7.53 \cos(N') - 1.5 \sin(N') [\text{min}] \quad (\text{I.2})$$

$$N' = (N - 81) \times 360/365$$

N : est le numéro du jour dans l'année.

I.6.4. Temps légal (TL)

C'est l'heure que nous lisons aux horloges publiques.

$$TL = TU + C \quad (\text{I.3})$$

C étant de décalage entre le méridien de Greenwich et l'état considéré (C=1 heure pour L'Algérie)[8].

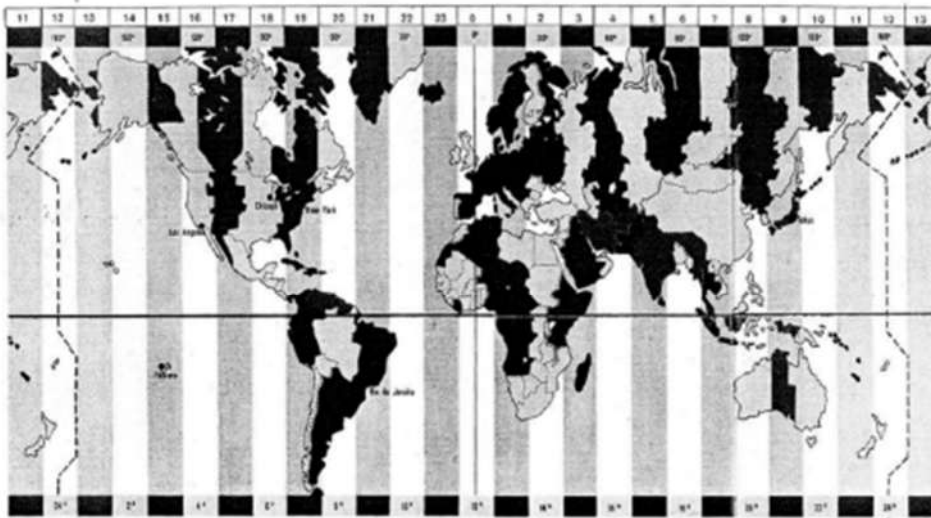


Figure (I.3) : fuseaux horaires avec le décalage horaire.

I.7. Coordonnes horaires (équatoriales)

I.7.1. Déclinaison solaire (δ)

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Cet angle varie en fonction des saisons de $-23,45^\circ$ à $+23,45^\circ$ [10].

Equinoxe de printemps :	21 Mars	$\delta=0^\circ$
Solstice d'été :	22 Juin	$\delta=+23,45^\circ$
Equinoxe d'automne :	23 Septembre	$\delta=0^\circ$
Solstice d'hiver :	22 Décembre	$\delta=-23,45^\circ$

Entre ces quatre points, la déclinaison solaire prend toute la valeur intermédiaire qui peuvent se calculer par relations [5] :

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365(284+n)} \right] \quad (\text{I.4})$$

Ou bien :

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365(n-81)} \right] \quad (\text{I.5})$$

n : Numéro du jour de l'année compté à partir du 1 janvier.

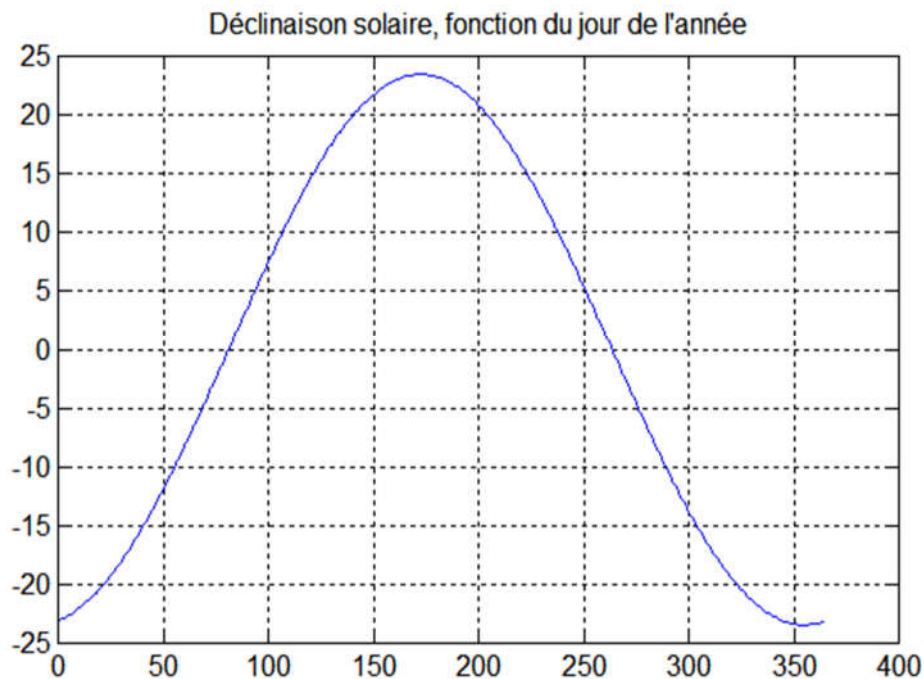


Figure (I.4) : déclinaison du soleil en fonction du numéro du jour de l'année n.

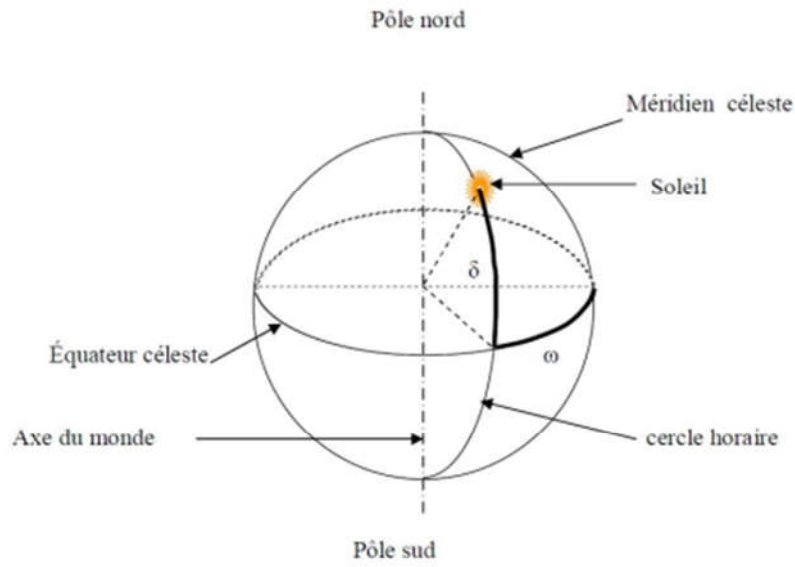
I.7.2.L'angle horaire (ω) ou AH

C'est l'angle compris entre le méridien origine passant par le sud et la projection du soleil sur le plan équatorial, il mesure la course du soleil dans le ciel. Il est donné par la relation suivante :

$$\omega = (\text{TSV} - 12) \quad (\text{I.6})$$

TSV : temps solaire vrai en heures.

Il vaut 0° à midi solaire, ensuite chaque heure correspond à une variation de 15° , car la période de la terre dans sa rotation sur elle-même est égale à 24h. Compté négativement le matin lorsque le soleil est vers l'est et positivement le soir [6].



Figure(I.5) : les coordonnées horaires.

I.8.Coordonnées horizontales :

I.8.1.Hauteur angulaire (h) [7] [6]

C'est l'angle formé par le plan horizontal de lieu d'observation avec la direction de soleil.
 $h=0$: Correspond au lever et coucher du soleil, sa valeur est maximale à midi, en temps solaire vrai. L'expression de la hauteur du soleil est donnée par :

$$\sin h = \sin \delta \sin \varnothing + \cos \delta \cos \varnothing \cdot \cos \omega \quad (\text{I.7})$$

\varnothing : Latitude du lieu.

δ : La déclinaison du soleil.

ω : L'angle horaire.

I.8.2.L'azimut(a) ou α [5]

C'est l'angle compris entre le méridien du lieu et plan vertical passant par soleil. Il est compté positivement vers l'Ouest.

L'azimut est relié à l'angle horaire, la hauteur, la déclinaison par relation :

$$\sin a = \frac{\sin \omega \cos \delta}{\cos h} \quad (\text{I.8})$$

Et si l'on souhaite exprimer l'azimut indépendamment de la hauteur h, on peut utiliser la formule :

$$\tan a = \sin \omega / (\sin \varnothing \cos \omega - \cos \varnothing \tan \delta) \quad (\text{I.9})$$

I.8.3.L'angle zénithal (Oz)

L'angle entre le zénith local et la ligne joignant l'observateur et le soleil. Il varie de 0 à 90°[11].

$$\cos Oz = \cos \delta \cos \varnothing \cos \omega + \sin \delta \sin \varnothing \quad (\text{I.10})$$

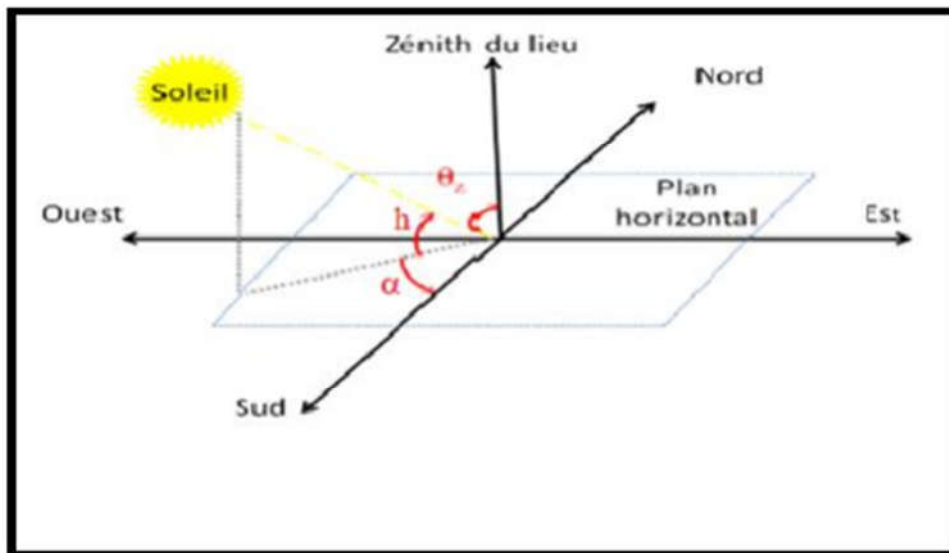


Figure (I.6) : coordonnées horizontales.

I.8.4. Angle incidence (θ)

L'angle formé par la normale du plan et les rayons du soleil [11].

$$\cos \theta = \sin h \cos \beta + \cos h \sin \beta \cos(a - \gamma) \quad (\text{I.11})$$

γ : L'orientation du capteur (plan sud =0).

β : L'inclinaison du capteur.

I.9. Durée et taux d'ensoleillement [1]

I.9.1. Durée d'ensoleillement

Selon les conditions atmosphériques, le ciel peut être plus ou moins couvert de nuages au cours d'une journée. ceux-ci occultent le soleil, totalement ou partiellement, empêchant ainsi le rayonnement d'atteindre directement le sol; on dit que la nébulosité est plus ou moins importante selon qu'il y a beaucoup ou peu de nuages on appelle durée effective d'ensoleillement ou insolation S , le temps pendant lequel, au cours d'une journée, le rayonnement solaire direct a atteint le sol du lieu considéré.

On appelle rayonnement direct le rayonnement qui atteint surface terrestre sans avoir subi de déviation depuis son émission par le soleil.

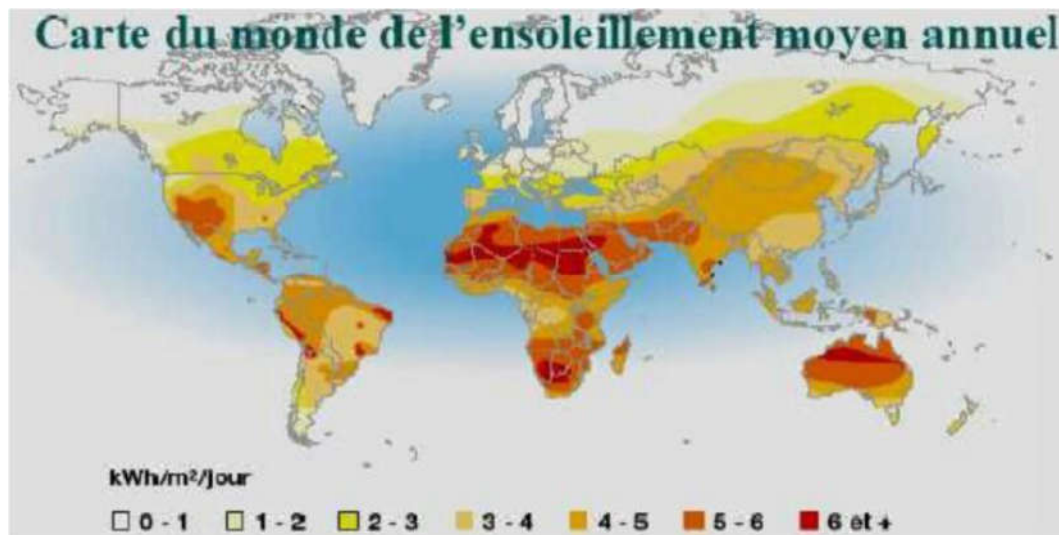
I.9.2. Taux d'ensoleillement

Par ciel clair sans nuages, le sol reçoit le rayonnement solaire direct pendant toute la durée du jour, ou plus précisément pendant la durée maximale d'ensoleillement S_0 . On appelle taux d'ensoleillement ou taux d'insolation le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'ensoleillement S_0 .

$$\sigma = \frac{S}{S_0} \quad (\text{I.12})$$

C'est le paramètre représentatif des conditions de nébulosité du ciel. La nébulosité est le rapport entre la surface du ciel couverte par les nuages et la surface totale du ciel au-dessus du territoire correspondante.

Cette notion n'étant que descriptive, on la relie à la fraction d'insolation qui est grandeur mesurable dès qu'on connaît les durées d'insolation enregistrées par l'héliographe. Il est possible de relier le rayonnement global G sur une surface à la fraction d'insolation et au rayonnement diffus D . connaissant G . on peut donc calculer le rayonnement diffus D .



Figure(I.7): carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel.

I.10. L'Albédo

On définit généralement l'albédo comme étant le rapport de l'énergie solaire réfléchi par une surface sur l'énergie solaire incident [8].

I.11. Composante du rayonnement solaire

I.11.1 Le rayonnement direct

C'est le rayonnement qui passe à travers l'atmosphère sans modifications, il est reçu directement du soleil sans diffusion par l'atmosphère, ses rayons sont parallèles entre eux [8].

I.11.2. Le rayonnement diffuse

Est la partie du rayonnement solaire diffusée par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Il n'a pas de direction privilégiée [1].

I.11.3. Le rayonnement global :

C'est la somme des rayonnements, le direct le diffus et l'albédo (réfléchi par le sol) [11].

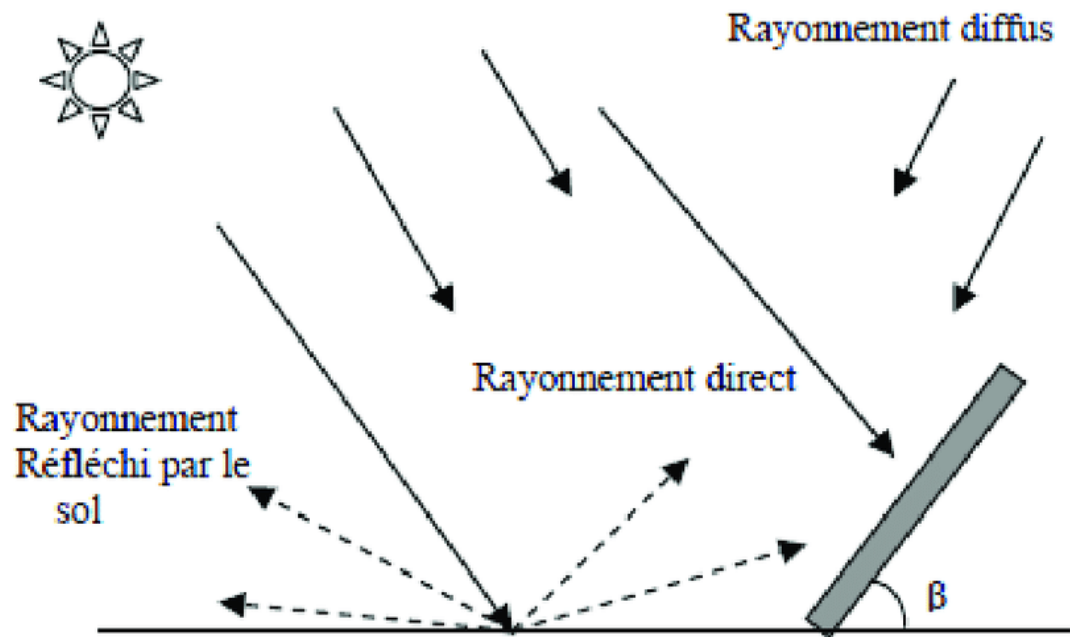


Figure (I.8): Composantes du rayonnement solaire.

I.12. Conclusion :

L'énergie solaire est la source de base et la plus importante pour tous les potentiels énergétique renouvelables.

On a présenté dans ce chapitre un récapitulatif de quelques notions de base relatif au gisement solaire

Référence

- [1] **Dr. SALMI Mohamed**, cours le gisement solaire, Université Mohamed boudief-M'sila, septembre 2015.
- [2] **BELOUAFI Lalla Moulati, SAIDI Karima**, « Estimation de l'énergie d'un capteur solaire en utilisant les réseaux de neurones artificiels », mémoire de master, Université Ahmed Draia-Adrar, 2018.
- [3] Site web : <https://www.canada.ca/fr.html>.
- [4] **BOURAS Abed Ikrim**, cours gisement solaire 1ere année master Energétique, Université Mohamed boudief-M'sila,
- [5] **MERAD Faiza**, « conception d'un programme de calcul du rayonnement solaire cas particulier de la région de Mostaganem, magister en physique », le03/07/2013.
- [6] **F-BAGHDADI**, cours le gisement solaire 3ème énergétique, université de Bouira.
- [7] **MAHDI Khaled**, « conception et réalisation d'un concentrateur sphérique, mémoire de magister », université mentouri Constantine, le08/03/2008.
- [8] **S.KARROUTE**, « Etude théorique et numérique des systèmes couples : distillateur plan-capteur et distillateur hot box- capteur », mémoire de magister, 2009.
- [9] **KECHIDA Essaghir**, « étude expérimentale et théorique du gisement solaire pour la région de m'sila », mémoire de master, 2019.
- [10] **Alain Ricoud**, le gisement solaire et transferts énergétiques, cours d'un master énergies renouvelables de l'Université de Cergy-pontoise (janvier2011).
- [11] **KHEROUS Nabil, HAMZAOUI Jugurtha**, « étude et réalisation d'un concentrateur solaire parabolique », mémoire de master, 2014/2015.

Chapitre II

Généralité sur le kit pompe PV

II.1. Introduction

A mesure que la population mondiale augmentait et évoluait, la demande en eau augmentait à de nombreuses fins, y compris l’approvisionnement en eau potable et l’irrigation des terres agricoles, avec une demande accrue d’eau douce, que ce soit des puits souterrains ou des rivières, l'utilisation de pompes à eau à carburant était bénéfique, mais elle est devenue un fardeau environnemental et financier en raison des prix élevés des dérivés du pétrole. Les pompes à eau solaires sont l’une des solutions de rechange les plus efficaces aux systèmes de pompage de carburant pour plusieurs raisons, y compris les causes environnementales, et ne nécessitent pas de coûts opérationnels ou techniques périodiques [1].

II .2.Comparaison simple entre les pompes solaires et les pompes mazot

II .2.1.Les pompes mazot

Les avantages et inconvénients des pompes mazot sont résumés dans le tableau 1 ci-après :

Avantages	inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Facile et rapide à installer. ✓ Il peut être transporté d’un endroit à un endroit. ✓ Son prix de base est relativement bas. ✓ Utilisation répandue. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nécessite un entretien coûteux. ✓ Leur durée de vie est faible. ✓ Vous avez besoin de suivre et de faire le plein constamment. ✓ Emit du bruit et des contaminants atmosphériques.

Tableau (II .1) : les avantages et les inconvénients d’une pompe mazot.

II .2.2.Les pompes solaires

Les avantages et inconvénients des pompes solaires sont résumés dans le tableau 1 ci-après :

Avantages	inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pas de bruit, pas de polluants. ✓ Opérations entretien très limité et peu coûteux. ✓ Sa durée de vie est grande. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Le cout de départ est relativement élevé.

Tableau (II .2) : les avantages et les inconvénients d’une pompe solaire.

II.3. Système photovoltaïque

L’énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d’énergie s’effectue par la cellule photovoltaïque ou photopile. Elle est fabriquée avec des matériaux semi-conducteurs qui peuvent convertir la puissance des photons lumineux du soleil directement en puissance électrique.

II.3.1. La cellule

La cellule photovoltaïque, ou cellule solaire, est un composant électronique qui, exposé à la lumière, produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque. La puissance électrique obtenue est proportionnelle à la puissance lumineuse incidente et elle du rendement de la cellule [2].



Les cellules photovoltaïques les plus répandus sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium et plus rarement d'autre semi-conducteur séléniure de cuivre-indium, séléniure de cuivre, d'indium et de gallium, etc. Elles se présentent généralement sous forme de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté [3].

II .3.1.1. Le principe de fonctionnement d'une cellule PV

Dans semi-conducteur exposé à la lumière, un photon d'énergie suffisante arrache un électron, créant au passage un 'trou'. normalement , l'électron trouve rapidement un trou pour se remplacer , et l'énergie apportée par le photon est ainsi dissipée .le principe d'une cellule photovoltaïque est de forcer les électrons et les trous à se diriger chacun vers une face opposée du matériau au lieu de se recombiner simplement en son sein : ainsi, il apparaitra une différence de potentiel et donc une tension entre les deux faces , comme une pile .

Pour cela, on s'arrange pour créer un champ électrique permanent au moyen d'une jonction PN, entre deux couches dopées respectivement P et N

[4] :

- La couche supérieure de la cellule est composée de silicium dopé n dans cette couche, il existe une quantité d'électrons libres supérieure à une couche de silicium pur.
- La couche inférieure de la cellule est composée de silicium dopé p. cette couche possédera donc en moyenne une quantité d'électron libres inférieure à une couche de silicium pur. La conduction électrique est assurée par des trous.

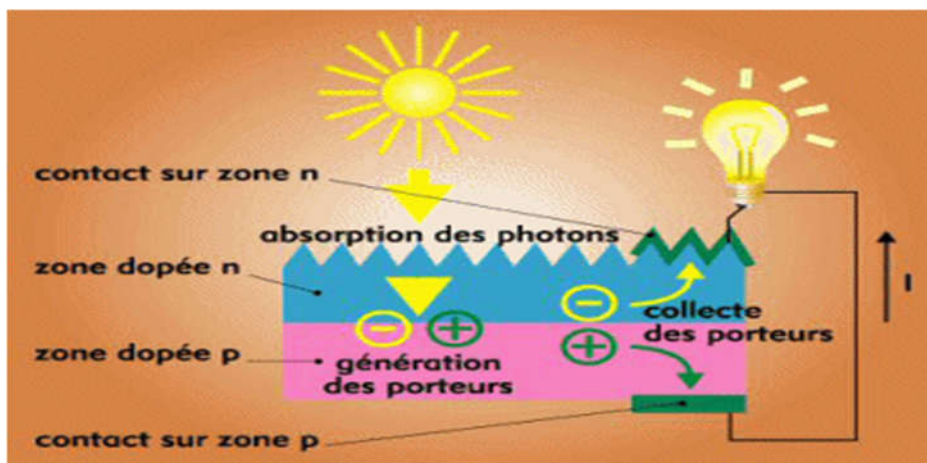


Figure (II .1) : Le principe de fonctionnement de cellule PV

II.3.1.2. Technologies des cellules photovoltaïques

Il existe différents types de cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un cout qui lui sont propres. Cependant, quel soit le type, le rendement reste assez faible : enter 8% et 23% de l'énergie que les cellules reçoivent

La comparaison des différentes technologies de fabrications est représentée le tableau ci-après [5] :

Technologie	Rendement	Caractéristiques	Principales utilisation	Images
Silicium mono cristallin	12% à 18% (24.7% en laboratoire)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Très performant. ✓ Stabilité de production d'énergie. ✓ Méthode de production couteuse. 	Modules pour toits, façades...	
Silicium poly cristallin	11% à 15% (19,8% en laboratoire)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Adapté à la production à grande échelle. ✓ Stabilité de production d'énergie. ✓ Moins cher que monocristallin. 		
Amorphe	5% à 8% (13% en laboratoire)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fonctionnement à faible luminosité, à ombrage partiel. ✓ La puissance de sortie varie dans le temps. En début de vie, la puissance délivrée est 15 à 20% supérieur à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois 	Appareils électroniques (montres, calculatrice.)	

Tableau (II .3) : caractéristique des différentes technologies des cellules PV.

II.3.1.3. Association des cellules [6]

II.3.1.3.1. Association en série :

Ici les tensions des cellules s'additionnent, augmentant ainsi la tension totale de générateur

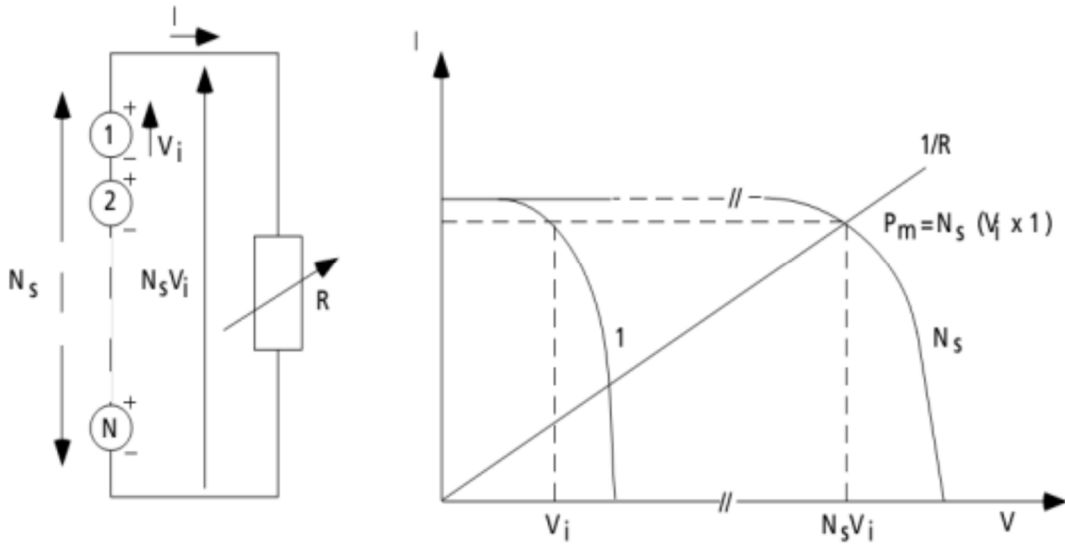


Figure (II.2) : cellules identiques en série.

II.3.1.3.2. Association en parallèle

C'est le courant qui augmente

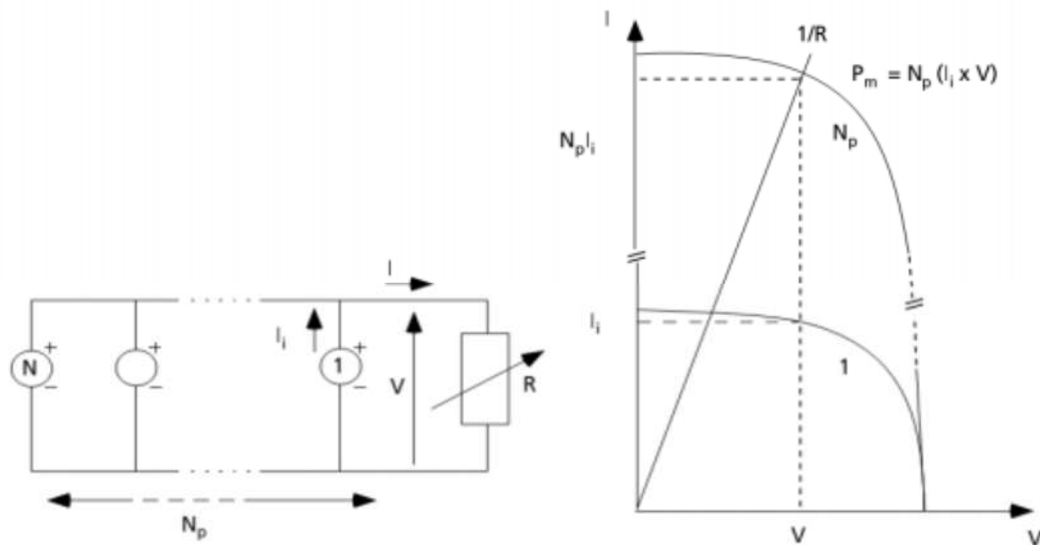


Figure (II.3) : cellules identiques en parallèle.

II.3.1.3.3. Association mixte

Pour atteindre une puissance importante, il faut associer plusieurs cellules en série et en parallèle. Cette interconnexion des modules forme un module photovoltaïque panneau

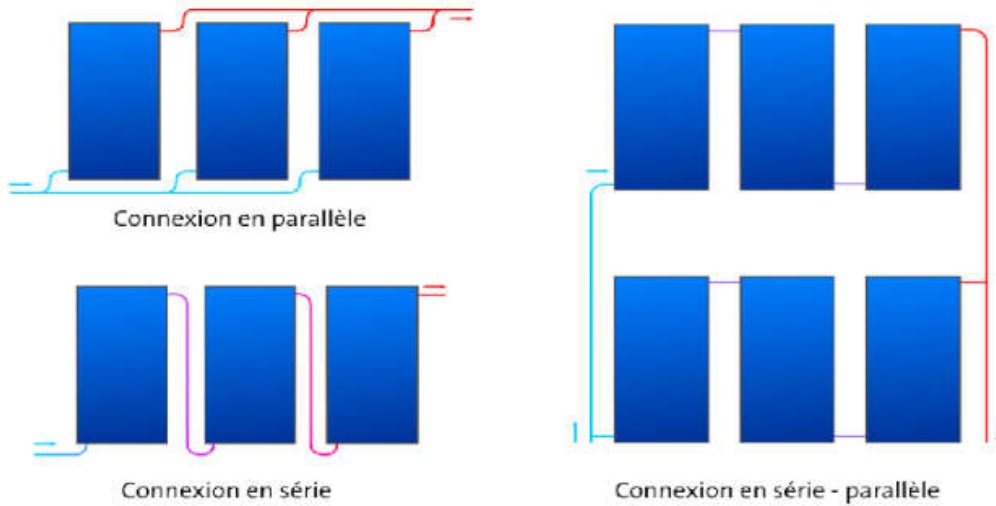


Figure (II .4) : association mixte des panneaux.

II.3.2. Le module photovoltaïque

Les modules sont donc réalisées par association, en série et / ou en parallèle, de cellules élémentaire.

Pour que l'électricité générée soit utilisable pour nos applications électriques, il est donc nécessaire d'associer entre elles un grand nombre de cellules.

Les modules (généralement présentés sous forme des panneaux) sont constituées d'un certain nombre de cellules élémentaires placées en série afin de rendre la tension à la sortie utilisable [7].

II. 3.3.les panneaux solaire photovoltaïque

Le panneau solaire est un assemblage de modules photovoltaïque interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique [8].



Figure (II .5) : panneau photovoltaïque.

II.4. Le groupe motopompe

II.4.1. Pompe solaire

Dans les systèmes de pompage, nous avons deux techniques possibles [5] :

Pompage au fil du soleil et pompage avec stockage d'énergie. Dans le cas où l'énergie solaire est consommée en temps réel ; on parle alors d'un pompage au fil du soleil sans batterie. Cette technique permet d'utiliser directement une puissance continuellement variable, celle issue des modules photovoltaïques. Le débit de pompage va donc évoluer avec l'intensité de l'ensoleillement.

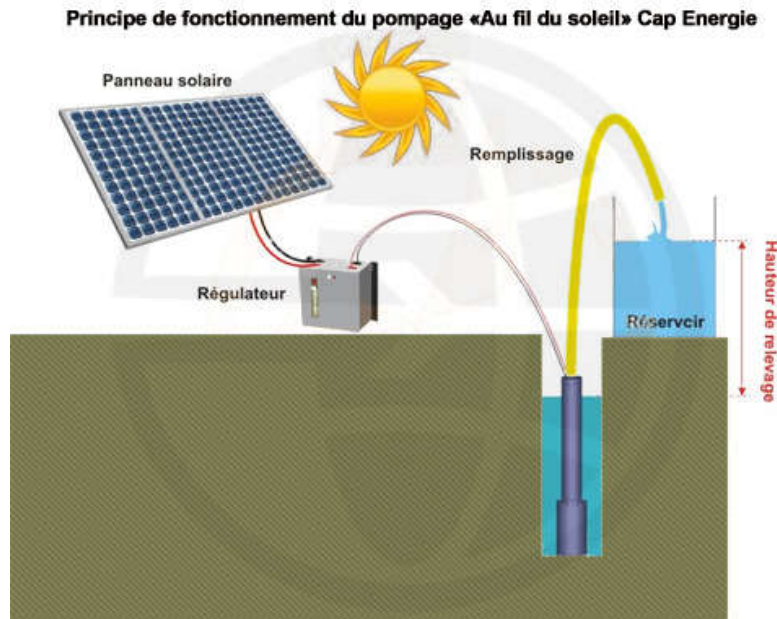


Figure (II .6) : pompage au fil du soleil (stockage de l'eau).

La deuxième technique consiste à utiliser un stockage d'énergie cette fois-ci, via des batteries.

Ces batteries stockent l'énergie produite par les cellules photovoltaïques lors des périodes d'ensoleillement afin de pouvoir restituer cette énergie pour pomper l'eau en temps voulu. Le débit de pompage peut se faire à la demande, lorsque les utilisateurs en ont besoin.

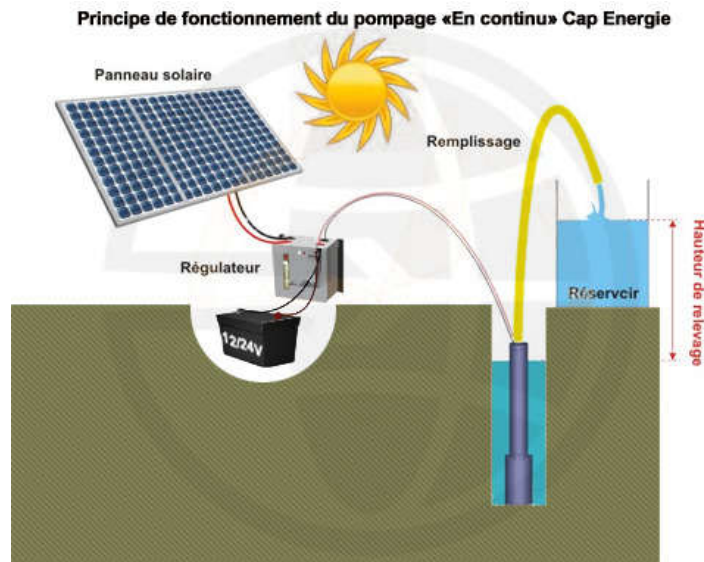
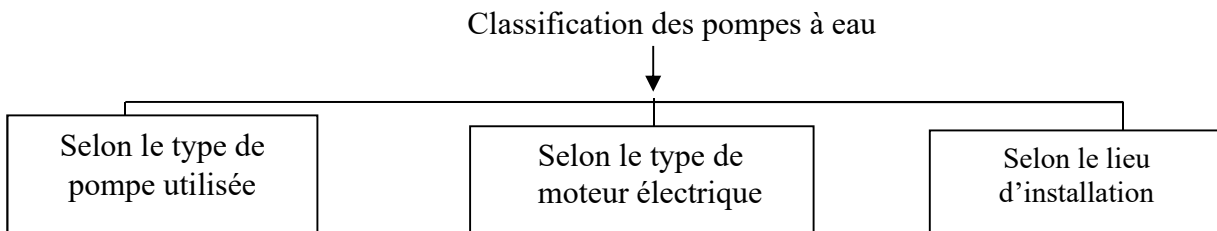


Figure (II .7) : pompage avec batteries (stockage électrique).

II.4.2.Types de pompes à eau

Les types de pompes sont classés la forme illustrée [1] :



II.4.2.1.Selon le type de pompe utilisée [9]

II.4.2.1.1.Pompes centrifuges

Ce sont des pompes dynamiques qui élèvent en permanence la pression du liquide (eau) en convertissant l'énergie cinétique du liquide en pression à l'aide de l'axe de rotation, selon le principe de Bernoulli (la pression du liquide augmente lorsque sa vitesse diminue).

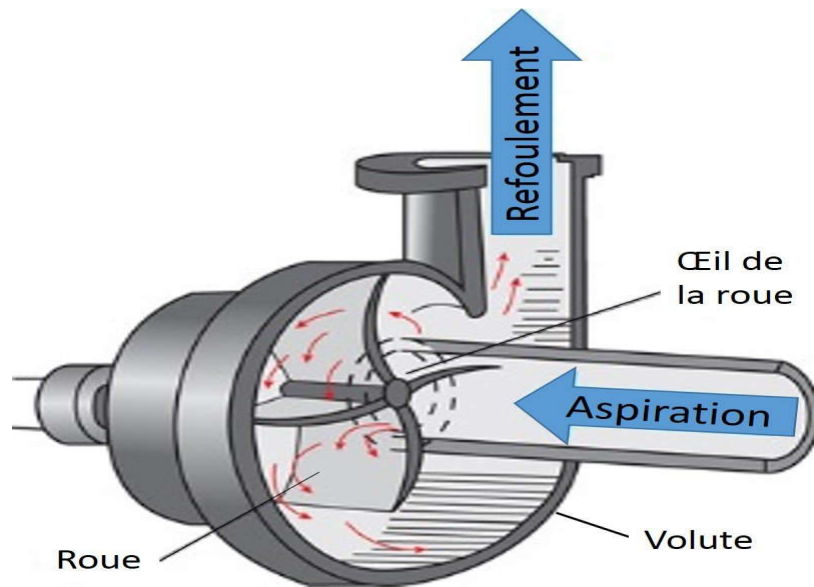


Figure (II .8) : Composants de la pompe centrifuge.

II.4.2.1.2.Pompes volumétriques

Ce sont des pompes qui augmentent la pression du liquide en le confinant dans un endroit de taille fixe, forçant le liquide à s'échapper de la sortie de la pompe en raison de la propriété (incompressibilité) des liquides. Ce qui nous permet d'obtenir des pressions élevées pour les liquides par rapport aux pompes centrifuges.

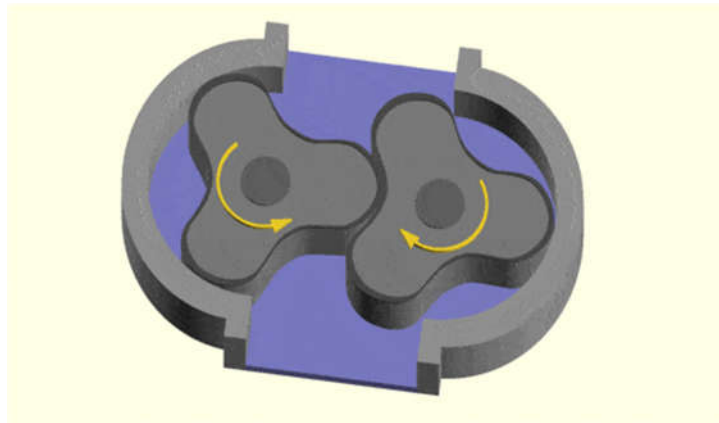


Figure (II .9) : pompes volumétriques.

- .Comparaisons enter pompes volumétriques et pompes centrifuges [10]

Pour de petites HMT et de faibles débits journaliers ($T \times Q < 25 m^4$), les pompes à main peuvent s'avérer plus intéressantes. On utilisera alors un seau pour pomper l'eau. L'utilisation de pompes mécaniques sur cette plage d'utilisation se limitera principalement aux pompes volumétriques de faible puissance.

Pour les hauteurs de moins de 7 mètres, l'emploi de pompes à aspiration sera préféré. Cette pompe est généralement de type centrifuge à ailettes.

Pour de faibles débits et une puissance disponible variable (par exemple, couplage éolien),

l'emploi d'une à cavité (volumétrique) permet un débit plus constant.

Pour une HMT moyenne, comprise entre 10 et 50 mètres, la pompe immergée centrifuge est généralement la plus efficace. Mais son rendement est très étroitement lié à la HMT et son dimensionnement est critique.

Pour les HMT supérieurs à 35 mètres et de faibles débits journaliers ($< 20m^3$), la pompe volumétrique sera la plus utilisée, surtout si une forte variation du rabattement de la nappe (donc de la HMT) est constatée.

Pour des débits plus élevés, l'emploi d'une pompe centrifuge est souvent le seul choix possible.

II.4.2.2. Selon le type de moteur électrique [9]

Les systèmes de pompage d'eau solaires sont classés en systèmes à courant continu ou en systèmes à courant alternatif, en fonction du type de moteur électrique utilisée.

II.4.2. 2.1. Pompe à courant continu

Il adopte un moteur électrique à courant avec des pompes de petite capacité appropriées. Ces système n'a pas besoin d'onduleur pour convertir provenant des panneaux en courant alternatif. Mais a seulement besoin d'un régulateur de charge s'assurer que la pompe est alimentée en courant continu suffisant pour cela.

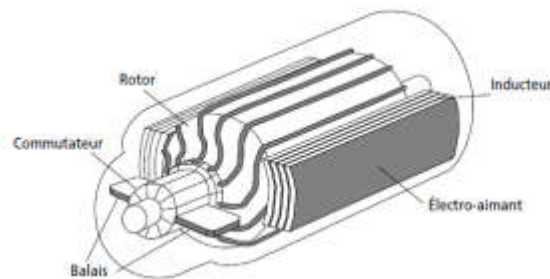


Figure (II .10) : moteur à courant continu avec balais.

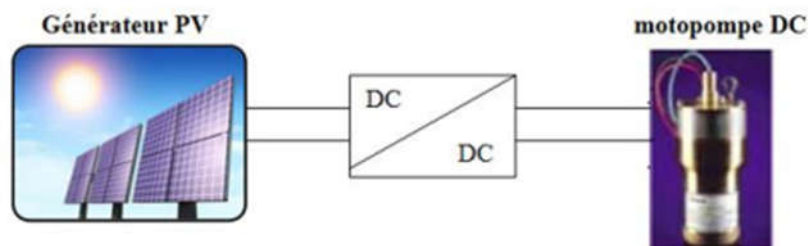


Figure (II .11) : Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe DC.

II.4.2.2 Pompes à courant alternatif [9]

Il est basé sur les moteurs à courant alternatif et les pompes à courant alternatif sont plus répandus aujourd'hui. Ce système nécessite un onduleur pour convertir la tension du courant continu en courant alternatif. Ainsi qu'un régulateur de charge pour assurer une sortie maximale.

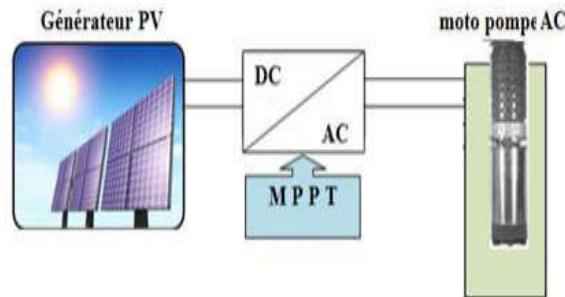


Figure (II .12) : Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe AC.

II.4.2.3. Selon le lieu d'installation [11]

II.4.2.3.1. Les Pompes de surface :

Le terme surface définit la position de la pompe par rapport au liquide à pomper. Elle est dite une pompe de surface car elle est conçue à l'extérieur du liquide pompé.

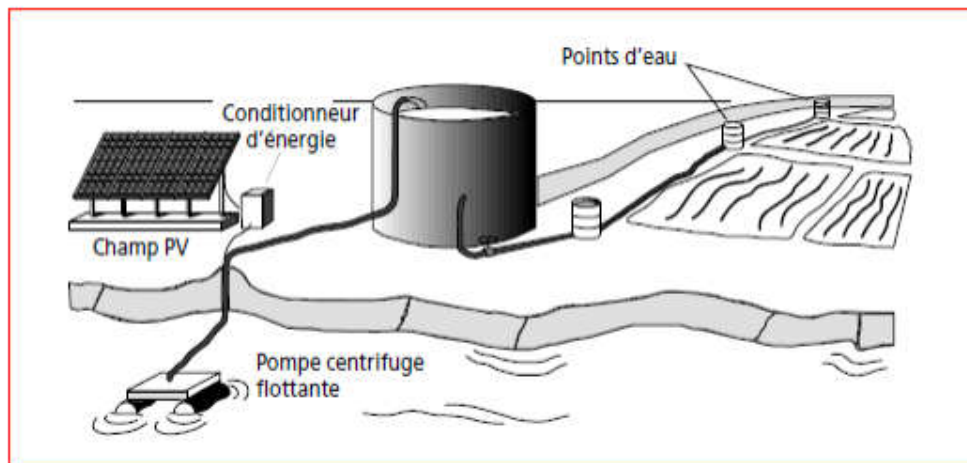


Figure (II .13) : pompe de surface

II.4.2.3.2. Les pompes de immergées

Les pompes de refoulement sont immergées dans l'eau et ont soit leur moteur immergé avec la pompe (pompe monobloc), soit le moteur en surface. La transmission de puissance se fait alors par un long arbre reliant la pompe au moteur. Dans les deux cas, une conduite de refoulement après la pompe permet des élévations de plusieurs dizaines de mètres, selon la puissance du moteur [12].

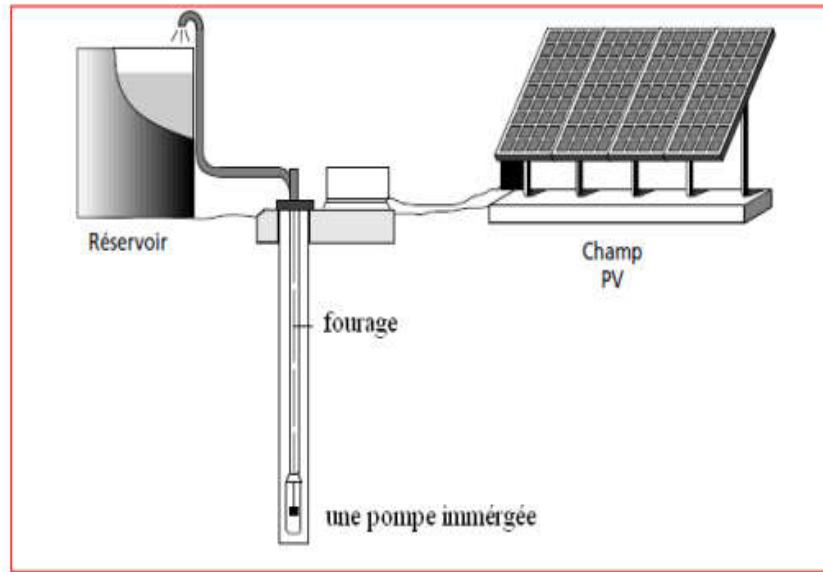


Figure (II .14) : pompe de immergées.

- **Avantages et inconvénients des pompes immergées [13]**

Avantages	inconvénients
-Très efficace, écoulement régulier -Capacité constante. -Offre une vaste gamme de capacités et de pressions. -Peut être utilisée pour les puits de surface et les puits profonds. -Silencieuse. - Bonne durabilité.	-Prématurée des pièces. - Couteuse et parfois difficile à réparer.

Tableau (II .4) : les avantages et inconvénients d'une pompe immergée.

II.5.L' électronique de commande et de contrôle [14]

II.5.1.Le convertisseur DC/AC (onduleur)

La fonction principale de l'onduleur est de transformes le courant continu, par les panneaux solaires en un courant alternatif.

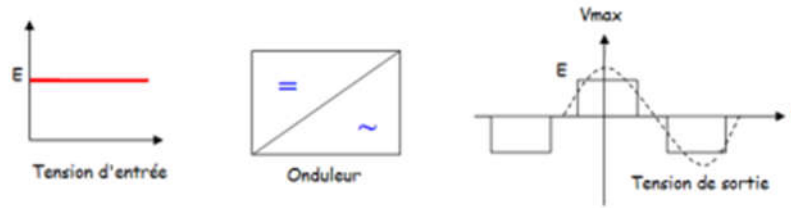


Figure (II .15) : Conversion DC/AC.

II.5.2. Le convertisseur DC/DC (hacheur)

Utilisé dans le cas d'une pompe montée à un moteur à courant continu.

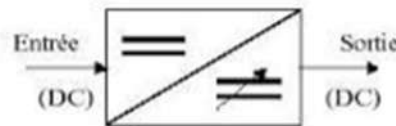


Figure (II .16) : Conversion DC/DC.

II.6. Stockage des batteries [15]

Le système de stockage avec batterie génère un cout additionnel, des problèmes de maintenance de la batterie et de l'obligation de la remplacer après 3 à 5 ans d'usage. de plus, le rendement énergétique est meilleur quand il n'y pas d'accumulateurs. Le réservoir peut souvent être construit localement et la capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours.



Figure (II .17) : Différents types de batteries.

- **Caractéristiques [12]**

Généralement les batteries sont caractérisées par :

- la technologie utilisée Acide ou AGM ou Gel ou lythrum.
- la tension de service 6V ,12V ou24V.

- La capacité en ampère heure 50 Ah, 100 Ah, 200 Ah.
- la vitesse de décharge C10 ou C20.
- La durée de vie ou le nombre de cycle (charge et décharge).

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents types et sections de systèmes de pompage, les avantages et les inconvénients de certains types de pompes et les composants de base du groupe de pompes PV.

Référence

- [1] أنظمة ضخ المياه بالطاقة الشمسية ,دكتور مهندس كاميليا يوسف محمد .
- [2] TOUMI Nihed, KOUDA Iskander, « Energie solaire photovoltaïque et système photovoltaïque autonome », projet fin d'étude licence, université badji mokhtar-Annaba 2020/2021.
- [3] site web <https://www.techno-science.net/>.
- [4] ZAIRI Soufiane, BOUBIADA Slimane, « étude et dimensionnement d'un centrale photovoltaïque », mémoire de master, université Mohamed khider de Biskra, le dimanche 13 septembre2020.
- [5] SAYAH Ikram, « étude d'une installation de pompage solaire photovoltaïque destinée à l'irrigation », mémoire de master, université Mohamed khider de Biskra, le jeudi17 september2020.
- [6] SERIK Mouloud, SILMI Ali, « Dimensionnements d'un système photovoltaïque pompage solaire », mémoire de master académique, université mouloud Mammeri tizi ouzou, le 17/09/2018.
- [7] BOULECHFAR Hichem, cours conversion photovoltaïque 1^{er} année master énergétique et énergie renouvelables, université Mohamed Boudiaf m'sila.
- [8] MECHALIKH Med Naddjib, HAMADA Charaf Eddine, « modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau », mémoire de master, université kasdi merbah ouargla, le 25/06/2013.
- [9] site web <https://solarabic.com/>.
- [10] Jimmy Royer, thomas Djiako, Eric Schiller, Bocar, le pompage photovoltaïque Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens.
- [11] BOUROUMEID Yassine, BENYOUB Oussama, « contribution à l'étude d'une station de pompage photovoltaïque autonome », mémoire de master, école supérieure en sciences appliquées, le 29/06/2022.
- [12] BESSOLTANE Ismail, HAMIT ISSAKA Doudoua, « étude technico-économique de système de pompage photovoltaïque en comparaison aux autres productions d'eau cas de la région de Mostaganem », université Abdelhamid Iben Badis Mostaganem, juillet 2019.
- [13] BLIZAK Nour Elhouda , BENNACER Asma, « conception d'un système anti-colmatage des pompes », mémoire de master, université Mohamed Boudiaf m'sila.
- [14] DEGLA Mohammed Larbi, BEN AHMED Bachir, « dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque », mémoire master professionnel, université Kasdi Merbah Ouargla, le 24/05/2017.
- [15] TRAKA Bouzid, « étude et dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque pour l'irrigation agricole », mémoire de master, université Mohamed Khider de Biskra,le 06/07/2021 .

Chapitre III

Dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

III.1. Introduction

Le pompage solaire photovoltaïque PV est une technologie en constante évolution qui est plus en plus utilisée pour le pompage d'eau dans les zones rurales et isolées, en raison de son coût relativement faible, de sa simplicité de mise en œuvre et de son fonctionnement autonome. Les systèmes de pompage PV sont utilisés pour l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable, l'abreuvement du bétail et d'autres applications similaires.

Le dimensionnement du système de pompage PV est un élément pour garantir la fiabilité, l'efficacité et la durabilité du système. Un dimensionnement approprié du système de pompage PV permet de maximiser l'utilisation de l'énergie solaire, d'optimiser les coûts du système et d'assurer une alimentation en eau et fiable.

III.2. Données de base

✓ Débit Q

La quantité d'eau que la pompe peut fournir durant un intervalle de Temps donné. En pompage, le débit est habituellement donné en (l/h) ou (gal/h). En pompage solaire, le débit (le besoin en eau) est souvent exprimé en (m^3 par jours) [1].

✓ Hauteur manométrique totale HMT

La différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et refoulement. la hauteur manométrique totale dépend de la hauteur géométrique d'élévation et des pertes de charge. Les pertes dites de friction dépendent du diamètre, de la longueur, de la rugosité de la conduit, et du débit, tandis que les pertes de charge singulières sont dues à la présence d'accidents sur la canalisation tels que les vannes, les coudes, clapet, les filtres, les débitmètres, etc. Il est possible de déterminer cette hauteur comme suit [2] [3] :

$$HMT = H_g + P_c = H_r + N_d + P_c \quad (III.1)$$

N_d : Le niveau dynamique.

H_r : La hauteur du réservoir.

P_c : Les pertes de charge.

H_g : La hauteur géométrique.

✓ Niveau statique

Le niveau statique d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau avant pompage [4].

✓ Niveau dynamique

Le niveau dynamique 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. Pour le calcul de la HMT, le niveau dynamique est calculé pour un débit moyen [4].

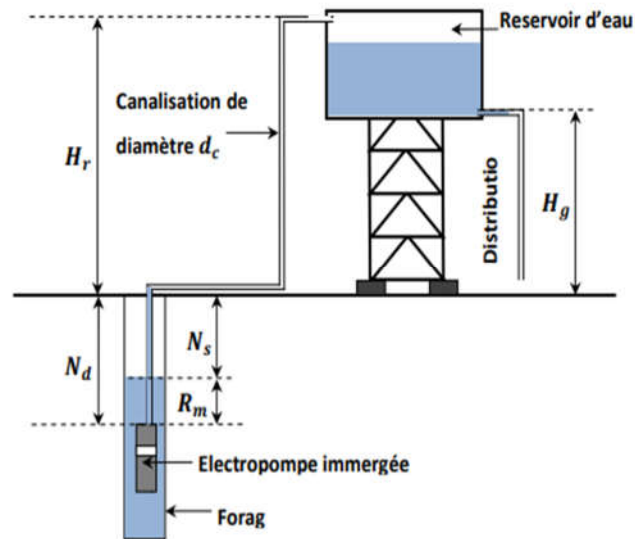


Figure (III.1): Donnée de base d'une pompe.

III.3. Les étapes de dimensionnement de l'installation

Les différentes étapes pour le dimensionnement d'un système de pompage sont [5] :

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

III.3. 1. Evaluation des besoins en eau [6] [1]

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

Humains	
5 l/jour	survie
10 l/jour	Minimum admissible
30 l/jour	conditions de vie normales en Afrique
Animaux	
Bœuf	40 l/jour
Mouton, chèvre	5 l/jour
Cheval	40 l/jour
Ane	20 l/jour
Chameau	20 l/jour

Tableau (III.1): Besoins en eau.

Le besoin 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, 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.

III.3. 2. Calcul de l'énergie hydraulique requise [7]

Une fois les besoins nécessaires en volume d'eau pour chaque mois de l'année et caractéristique du puits sont définis, nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle à partir de relation [7] :

$$E_h = \rho \cdot g \cdot V \frac{HMT}{3600} \quad (III.2)$$

E_h : Energie hydraulique (kwh/j).

g : La gravité terrestre (9.81 m/s^2).

ρ : La masse volumique d'eau (kg/m^3).

V : Volume d'eau (m^3/j).

HMT : Hauteur manométrique (m).

III.3. 3. Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise [8]

L'énergie électrique journalière nécessaire pour soulever une certaine quantité d'eau sur une certaine hauteur donnée pendant une journée est calculée par la formule suivante :

$$E_{elec} = \frac{C_h \times Q_p \times HMT}{\eta_G} \quad (III.3)$$

η_G : Rendement du groupe de pompage :

$$\eta_G = \eta_{moteur} \times \eta_{pomp} \quad (III.4)$$

$C_h = 2.725$: Constante hydraulique, cette constante hydraulique dépend de la gravité et de la densité de l'eau.

Q_p : Débit horaire de la pompe en.

HMT : Hauteur manométrique totale de la pompe.

III.3. 4. 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 à l'inclinaison β des modules photovoltaïque par rapport au plan horizontal. Ce dernier doit se faire de manière à optimiser la conversion de l'énergie solaire en électrique [5].

III.3. 5. choix des composants

III.3. 5.1. Choix de la motopompe

✓ Dimensionnement de la pompe

Les données de base d'une pompe consistent à connaître le débit, ainsi que la hauteur manométrique totale. En pompage solaire, la quantité d'eau que la pompe peut fournir durant un intervalle de temps donné, sur une certaine hauteur, est exprimée en m^3/h

$$Q = \frac{3600}{\rho \cdot g \cdot HMT} \cdot P_h \quad (III.5)$$

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

$$P_h = P_{elec} \eta_{MP} \eta_{ond} \quad (III.6)$$

P_h : La puissance hydraulique.

Ce qui donne le débit fournir par la pompe en fonction de la puissance du générateur.

$$Q = \frac{3600 \cdot \eta_{MP} \eta_{ond}}{\rho \cdot g \cdot HMT} P_{elec} \quad (III.7)$$

g : La gravité terrestre ($9.81 m/s^2$).

ρ : La masse volumique de l'eau ($1000 kg/m^3$).

III.4. Conclusions

Nous avons présenté dans ce chapitre la méthode de dimensionnement de système de pompage photovoltaïque.

Référence

- [1] **Jimmy Royer, thomas Djiako, Eric Schiller, Bocar**, le pompage photovoltaïque Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens.
- [2] **OULAD HADJOU Hammou**, « Dimensionnement d'un système de pompage d'eau photovoltaïque destiné à l'irrigation (cas de la région de M'sila) », université Mohamed Boudiaf m'sila.
- [3] **LAFIA SEIDOU Imorou**, « Etude et dimensionnement des systèmes de pompage photovoltaïque dans les localités rurales du Benin : cas de ADJAKPATA », mémoire pour l'obtention du diplôme D'ingénieur 2Ie avec le grade de master, le 27/05/2017.
- [4] **site web [http : //www.alliancesoleil.com/](http://www.alliancesoleil.com/)**
- [5] **HAFNAOUI Aya, BECHELLOUIA Bilal**, « étude et dimensionnement des systèmes de pompage photovoltaïque dans la région de Ouargla » , mémoire master académique
- [6] **A. Hadj, M. Benghanem et A.Gjarbi**, « Dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque », Rev. Energ. Ren. vol.8(2005) 19-26 .
- [7] **SAYAH Ikram**, « étude d'une installation de pompage solaire photovoltaïque destinée à l'irrigation », mémoire de master, université Mohamed khider de Biskra, le jeudi 17 september 2020.
- [8] **BESSOLTANE Ismail, HAMIT ISSAKA Doudoua**, « étude technico-économique de système de pompage photovoltaïque en comparaison aux autres productions d'eau cas de la région de Mostaganem », université Abdelhamid Iben Badis Mostaganem, juillet 2019.

Chapitre IV

Résultats et Discussion

IV.1. Introduction

L'étude de installation d'une pompe immergée est une étape essentielle pour garantir son bon fonctionnement .cette étude implique plusieurs aspects clés qui doivent être pris en compte.

Et dans ce chapitre, nous étudions les facteurs qui affectent le pompage. Ainsi que le fonctionnement des matériels, les caractéristiques et la conception interne de chaque composant électronique.

IV.2. DESCRIPTION DU BANC D'ESSAI ET MESURES



Figure (IV.1). Banc d'essai de caractérisation des systèmes de pompage photovoltaïque

IV.3. COMPOSITION DU BANC D'ESSAIS

IV.3.1. Panneau solaire p=270 w

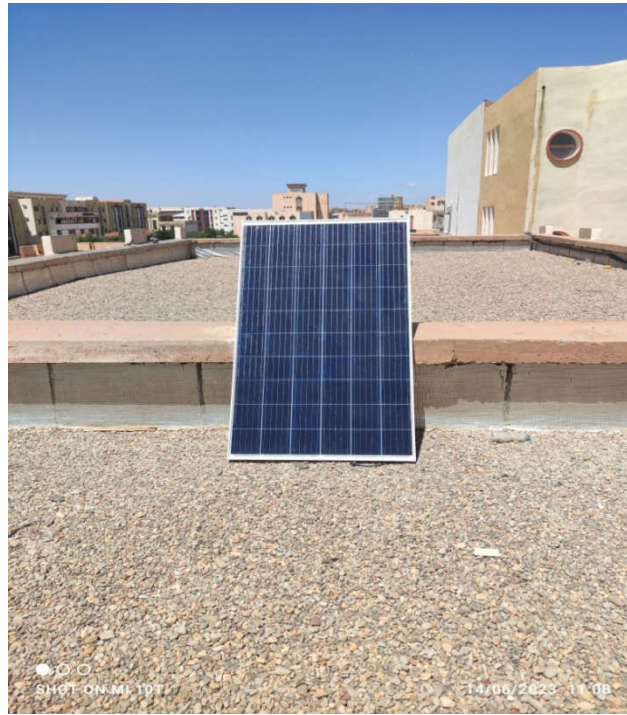


Figure (IV.2) : panneaux solaire p=270 w

- Caractéristiques

Polycrystalline photovoltaic module

ITEM NO	SYP270S
Rated maximum power(Pmax)	270W+3%
Power sorting	0 ~ 4.99w
Voltage at pmax	31.2 V
Current at pmax	8.66 A
Open-circuit voltage(voc)	38.2 V
Short-circuit current(Isc)	9.20 A
Maximum system voltage	DC 1500V
Mechanical load test	5400 Pa
weight	18 Kg
Dimensions	1650×992×35 mm
All technical standard test condition	AM 1.5 E=1000 W/m ² T _c =25°C
Safety application class	Class A

Tableau (IV.1) : Caractéristique de panneaux solaire p=270w

IV.3.2. panneau solaire p=400w



Figure (IV.3) : panneaux solaire de p=400 w

- Caractéristiques

Monocrystalline photovoltaic module

MODEL	SF400M(9BB)(BF)
Rated Maximum Power (pm)	400w
Power tolerance	0+5W
Voltage at pmax	38V
Current at pmax	10.53A
Open circuit voltage (voc)	45.60 V
Short circuit current (Isc)	11.16 A
Maximum system voltage	1500V DC
Maximum series fuse rating	15 A
Safely class	II
weight	22 kg-48.5 lbs
Dimension	1900×1048×40 mm
All technical standard test condition	AM=1.5 E=1000W /m ² T _c =25°C

Tableau (IV.2) : Caractéristique de panneaux solaire p=400w

IV.3.3. Pompe immergé



Figure (IV.4): Schéma de la pompe immergé

- **Caractéristiques**

Moteur ECDRIVE 150-C

- Entretien minimal, moteur DC sans balais.
- Rempli d'eau
- Matériel de haute qualité, acier inoxydable : AISI 304/316.
- Moteur sans électronique à l'intérieur.

Puissance nominale	0.3 KW
Efficacité	Max.92%
Vitesse du moteur	600...3 300 rpm
Classe d'isolation	F
Classe de protection	IP68
submersion	Max.150m

Tableau(IV.3) : Caractéristique de la pompe immergé

IV.4. L'effet de la Hauteur sur le débit de la pompe

Dans ce cas nous avons utilisé un seul panneau pour deux hauteurs a) h=1 m, b) h=2m, avec une seule journée de mesure.

<i>T</i>	<i>t</i> (s)	<i>V</i> (l)	$Q_v(l/s)$
12 :20	87.05	43.5	0.4997
12 :46	33.82	43.5	1.2862
13 :00	35.20	43.5	1.2358
13 :26	35.70	43.5	1.2185
13 :40	36.05	43.5	1.2067
14 :04	36.34	43.5	1.1970
14 :20	36.84	43.5	1.1808
14 :44	37.05	43.5	1.1741
15 :00	55.74	43.5	0.7804
15 :24	108.05	43.5	0.4026

a. **h=2m**

<i>T</i>	<i>t</i> (s)	<i>V</i> (l)	$Q_v(l/s)$
12 :31	32,73	43,5	1,3291
12 :40	37,98	43,5	1,1453
13 :06	34,39	43,5	1,2649
13 :20	48,22	43,5	0,9021
13 :45	35,12	43,5	1,2386
14 :00	35,15	43,5	1,2376
14 :26	35,13	43,5	1,2383
14 :40	35 ,44	43,5	1,2274
15 :06	38,13	43,5	1,1408
15 :20	37,99	43,5	1,1450

a. **h=1m**

Tableau(IV.4) : Les variations de débit en fonction de temps pour h=2 m et h=1 m.

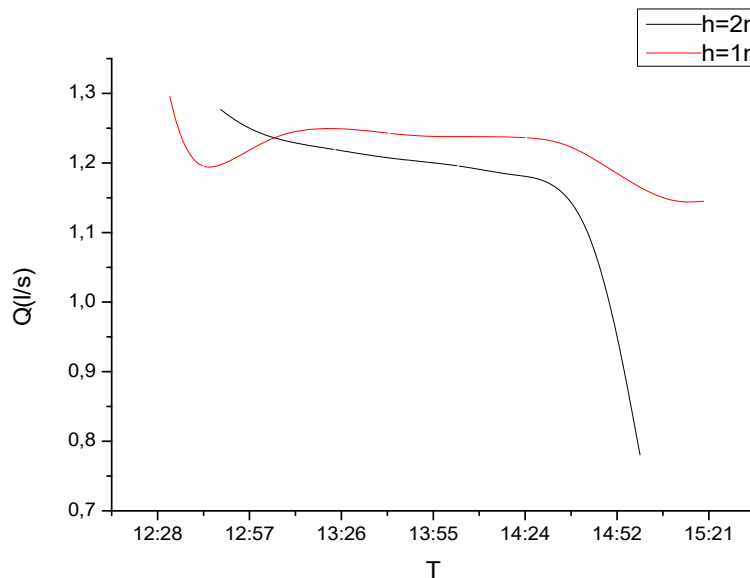


Figure (IV.5) : Les variations de débit en fonction de temps.

La figure (IV.1) représente la variation du flux en fonction du temps pour $h = 1\text{ m}$ et $h = 2\text{ m}$. On remarque que le débit quand $h = 1\text{ m}$ est supérieur au débit quand $h = 2\text{ m}$ pendant la période de mesure, mais on constate qu'entre 12h45 et 12h57 c'était l'inverse, et cela est dû à la fait que le ciel était nuageux durant cette période, et nous concluons que plus la hauteur est élevée, plus le débit est faible.

IV.5. L'effet de la puissance des panneaux solaires sur le rendement de la pompe

Dans ce cas, nous avons utilisé deux panneaux solaires, l'un à 400 watts et l'autre à 270 watts, sur une journée de mesure.

T	$t(s)$	$V(l)$	$Q_v(l/s)$
11 :00	30,46	43,5	1,4281
11 :35	45,79	43,5	0,9499
11 :55	31,03	43,5	1,4019
12 :31	46,28	43,5	0,9399
12 :55	31,48	43,5	1,3818
13 :30	31,21	43,5	1,3938
13 :50	30,47	43,5	1,4276
14 :31	52,45	43,5	0,8294
14 :52	40,80	43,5	1,0662
15 :27	41,50	43,5	1,0482

a. $p=400\text{w}$

T	$t(s)$	$V(l)$	$Q_v(l/s)$
11 :10	62.098	43,5	0 ,7005
11 :25	52,09	43,5	0,8351
12 :04	45,30	43,5	0,9603
12 :24	42,61	43,5	1,0209
13 :02	52,43	43,5	0,8297
13 :22	45,39	43,5	0,9584
13 :59	100.064	43,5	0.4347
14 :25	94.079	43,5	0.4624
14 :59	108.089	43,5	0.4024
15 :19	90.013	43,5	0.4833

b. $p=270\text{w}$

Tableau (IV.5) : La variation de débit en fonction de la puissance du panneau solaire.

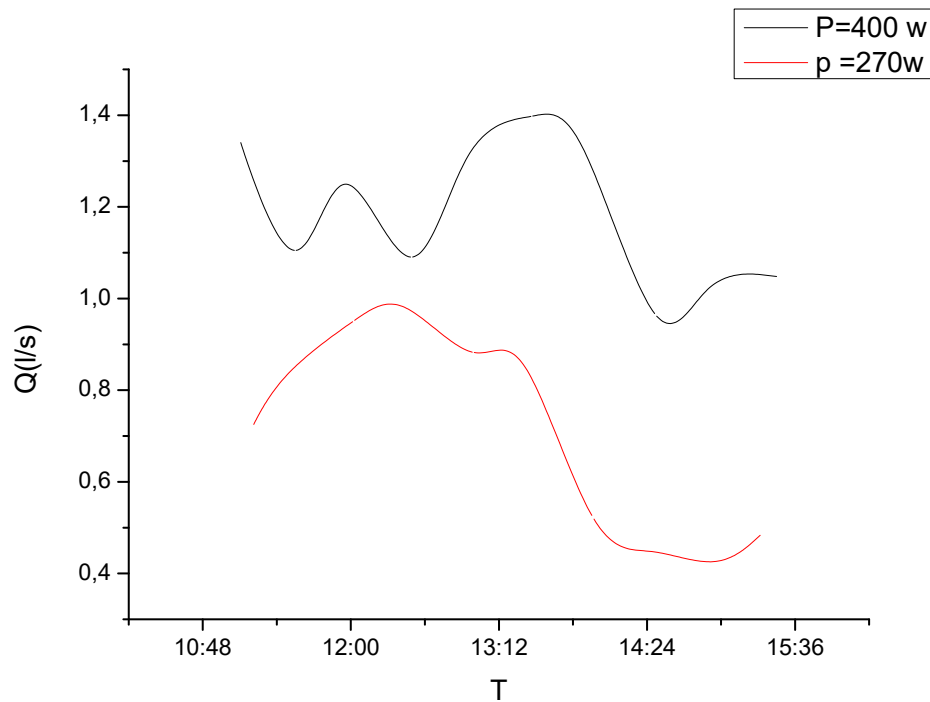


Figure (IV.6) : La variation de débit en fonction de la puissance en panneau solaire.

La puissance du panneau solaire a un impact direct sur le fonctionnement de la pompe immergée dans un système de pompage solaire. La puissance du panneau solaire détermine la quantité d'énergie électrique disponible pour faire fonctionner la pompe, et donc influence les performances et l'efficacité du pompe, plus la capacité de la pompe est élevée, plus la pompe fonctionne. C'est ce que montrent les résultats obtenus sur la figure (IV.5), où nous avons remarqué que l'augmentation de la puissance de la plaque entraînait une augmentation du débit.

IV.6. L'effet de l'inclinaison du panneau solaire sur la pompe

Dans ce cas, nous avons utilisé un panneau solaire de 400 watts avec deux angles d'inclinaison, le premier à 49 degrés et le second à 34 degrés.

T	$t(s)$	$I(A)$	$V(l)$	$Q_v(l/s)$
10 :30	38,13	6,36	43,5	1,1408
11 :03	35,83	6,49	43,5	1,2141
11 :31	37,06	6,60	43,5	1,1738
12 :04	34,90	7,18	43,5	1,2464
12 :32	34,66	7,51	43,5	1,2550
13 :03	41,94	8,70	43,5	1,0372
13 :33	35,60	7,14	43,5	1,2219
14 :03	35,80	7,07	43,5	1,2151
14 :32	37,42	6,43	43,5	1,1625
15 :02	37,69	5,85	43,5	1,1541
15 :32	41,85	5,14	43,5	1,0394

a. $\beta=49^\circ$

T	$t(s)$	$I(A)$	$V(l)$	$Q_v(l/s)$
10 :03	37,32	6,32	43,5	1,1656
10 :30	35,59	6,62	43,5	1,2223
11 :00	38,36	3,92	43,5	1,1340
11 :31	47,88	3,33	43,5	0,9085
12 :00	34,87	7,34	43,5	1,2475
12 :30	34,34	7,31	43,5	1,2667
13 :02	35,41	7,51	43,5	1,2285
13 :30	35,59	6,43	43,5	1,2223
14 :00	35,19	7,14	43,5	1,2361
14 :30	35,10	6,66	43,5	1,2393
15 :00	35,87	6,23	43,5	1,2127
15 :30	38,69	5,05	43,5	1,1243

b. $\beta=34^\circ$

Tableau(IV.6) : La variation de débit en fonction de l'inclinaison du panneau solaire.

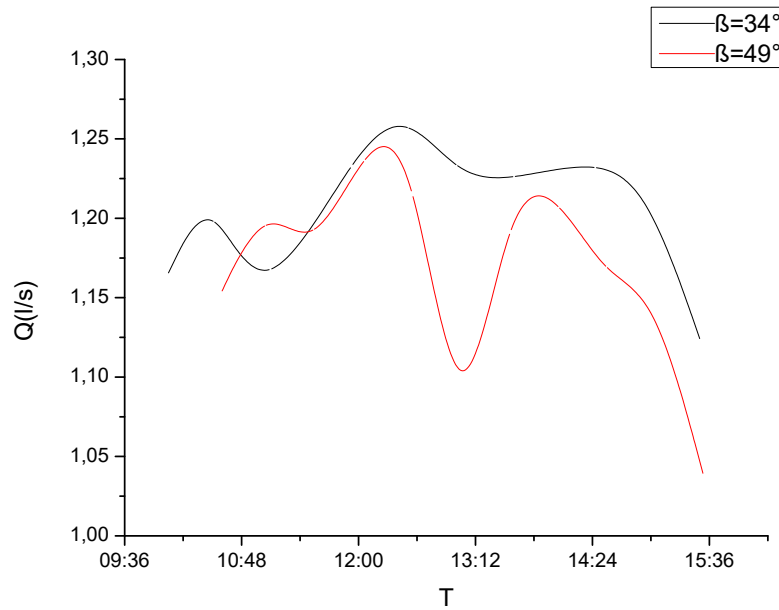
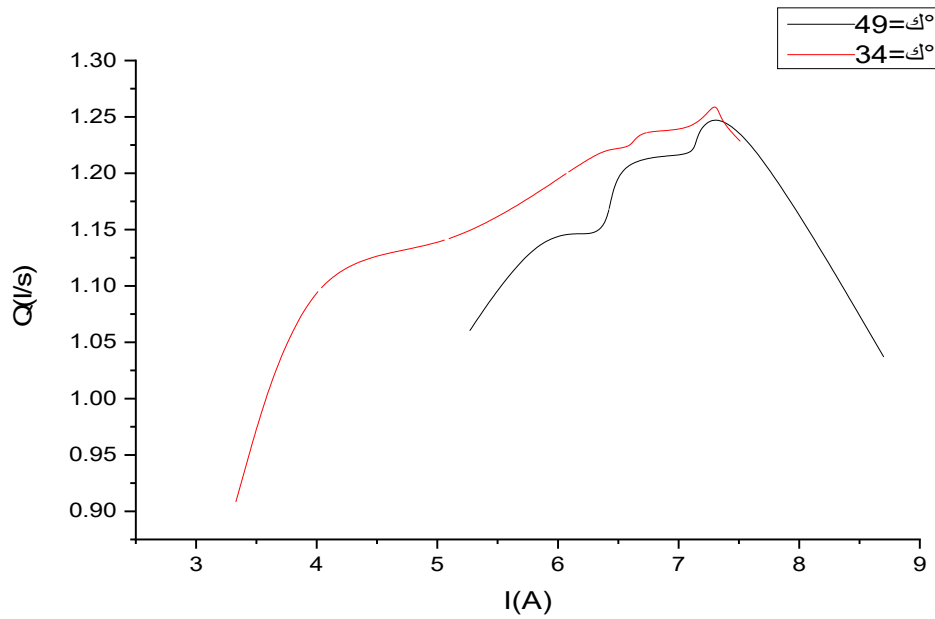


Figure (IV.7) : La variation de débit en fonction de l'inclinaison du panneau solaire

L'angle d'incidence optimal correspond à un angle de 90° . Chaque fois que cet angle diminue ou augmente, la surface en m^2 du panneau solaire exposé aux rayons lumineux diminue et donc en partant de la puissance du panneau solaire, le rendement diminue aussi. Si l'on s'en réfère uniquement à la théorie, l'inclinaison parfaite de vos futurs panneaux solaires doit être comprise entre 30° et 35° par rapport à une ligne horizontale. C'est en effet de cette manière que les panneaux pourront bénéficier de la meilleure intensité lumineuse, et donc restituer un rendement maximal. Cela ressort également des résultats obtenus sur la figure (IV.6), où nous avons remarqué que le plus grand débit était lorsque l'angle d'inclinaison était égal à 34 degrés, c'est-à-dire qu'il donnait la plus grande quantité d'électricité de la plaque qui était inclinée à un angle de 49 degrés donc l'inclinaison optimale est l'angle de la latitude.



Figure(IV.8) : La variation de débit en fonction de courant I

Le débit crête Q_c : C'est le débit maximale produite par un module photovoltaïque dans les Conditions standard, Sur la Figure(IV.7), on remarque que le débit maximal est fourni par le courant $I = 7,5$ A.

Les deux figures confirment que l'angle d'inclinaison du panneau solaire a un effet sur le fonctionnement de la pompe submersible dans le système de pompage solaire. Lorsque l'angle d'inclinaison est plus proche de la latitude, le panneau solaire est plus exposé à la lumière directe du soleil, ce qui augmente la quantité d'énergie reçue.

IV.7. Conclusion

La hauteur, l'angle d'inclinaison et la puissance solaire ont tous un impact significatif sur le fonctionnement de la pompe solaire immergée. Ces facteurs jouent un rôle clé dans l'efficacité et les performances globales du système de pompage solaire.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ce travail expérimental a été consacré à un système de pompage photo catalytique en site isolé. Pour installer un système d'irrigation éloigné du réseau électrique, une autre source doit être prévue et disponible pour combler le besoin d'irrigation de la zone concernée. Nous avons donc proposé une pompe solaire indépendante.

Dans ce travail, nous avons constaté que les travaux sur le pompage photovoltaïque nécessitent une bonne connaissance des principes de fonctionnement des différents systèmes et composants du système de pompage. Où les expériences menées dans le cadre de ce travail nous ont permis de comprendre les différentes influences qui affectent le travail et l'efficacité de la pompe qui fonctionne à travers le système Solaire.

Les résultats principaux se résument dans:

- plus la hauteur est élevée, plus le débit est faible.
- l'augmentation de la puissance de la plaque entraînait une augmentation du débit.
- l'inclinaison optimale est l'angle de la latitude.
- le débit maximal est fourni par le courant $I = 7,5 \text{ A}$.

Comme perspective, on propose d'ajouter des applications très précises comme une commande à distance vers téléphone mobile.