

وزارة البحث العلمي والتعليم العالي



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم و التكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

N° d'ordre : M...../GE/2019



MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

Option: Electrotechnique Industrielle

Intitulé du sujet

**Etude technico-économique de système de pompage
photovoltaïque, en comparaison aux autres
productions d'eau, cas de la région de Mostaganem**

Présenté par :

- M^r. Bessoltane Ismail
- M^r. Hamit Issaka Doudoua

Soutenu le .../07/2019 devant le jury composé de :

Président :	HENNI Sid Ahmed	MCB	Université de Mostaganem
Examineur 1:	SOUAG Silmane	MCB	Université de Mostaganem
Examineur 2:	BENYEMINA Mensour	MCB	Université de Mostaganem
Coencadreur:	BENTOUNES. H.A	Pr	Université de Mostaganem
Encadreur:	BENTOUNES. Djounid	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2018/2019

Remerciements

*Louange à **Dieu** le tout puissant, de nous avoir aidé à réaliser ce travail. Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur **M.Bentounes** pour son suivi durant la période de préparation de notre mémoire. Son aide et ses conseils nous ont été très précieux.*

Nous adressons nos plus vifs remerciements aux membres du jury de nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail.

A travers ce mémoire, nous adressons notre profonde reconnaissance à tous les enseignants du département génie électrique de la faculté de sciences et de la technologie de l'université de Mostaganem.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents,

Mes frères et sœurs,

Tous mes amis.

Bessoltane Ismail

Dédicaces

Je dédie ce modestes travail à :

Mes très chers parents,

Mes frères et sœurs,

*Mon oncle **Mahamat** Moustapha pour son soutien*

multiforme durant tout mon cursus,

Toute ma famille,

Toutes les personnes qui, de près ou de loin ont contribué

d'une manière ou une autre à ma réussite scolaire et

universitaire,

Toute la promotion Master électrotechnique industrielle.

Hamit Issaka Doudoua.

LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES

ADE	<i>Algérienne des eaux</i>
C_h	<i>Constante hydraulique</i>
D_h	<i>Rayonnement diffus</i>
D_{re}	<i>Rayonnement réfléchi</i>
D	<i>Diamètre de la conduite</i>
D_j	<i>Demande journalière</i>
E_{ens}	<i>Ensoleillement moyenne du site d'installation</i>
E_{elec}	<i>Energie électrique</i>
F_C	<i>Facteur de correction</i>
G_h	<i>Rayonnement global</i>
G	<i>Constante gravitationnelle</i>
HMT	<i>Hauteur Manométrique Totale</i>
H_i	<i>Nombre d'heure d'ensoleillement</i>
H	<i>Hauteur de la partie saturée</i>
H₁	<i>Profondeur totale du forage</i>
H_r	<i>Hauteur géométrique du réservoir</i>
I-V	<i>Courant -Tension</i>
I_{sc}	<i>Courant de court-circuit</i>
I_{MP}	<i>Courant de panneau en charge</i>
KW	<i>Kilo Watt</i>
KW_c	<i>Kilo Watt crête</i>
KWh	<i>Kilo Watt heure</i>
K	<i>Perméabilité du sol</i>
L	<i>Longueur de la conduite de refoulement</i>
M³	<i>Mètre cube</i>
m³/j	<i>Mètre cube par jour</i>
m³/h	<i>Mètre cube par heure</i>
Mce	<i>Mètre de conduite d'eau</i>
MPP	<i>Point de fonctionnement optimum</i>
N_s	<i>Niveau statique</i>
N_d	<i>Niveau dynamique</i>
P_c	<i>Puissance crête</i>
PV	<i>Photovoltaïque</i>
P_{MAX}	<i>Puissance maximale</i>
P_T	<i>Pertes de charges totales</i>
P_l	<i>Pertes de charge linéaire</i>
P_s	<i>Pertes de charge singulières</i>
Q	<i>Débit de pompage</i>
Q_p	<i>Débit horaire de la pompe</i>
R	<i>Rayon du forage</i>
R	<i>Rayon d'action</i>

R_m	<i>Rabattement maximal</i>
V_{oc}	<i>Tension (circuit ouvert)</i>
V_{MP}	<i>Tension fournie de panneau en charge</i>
V	<i>Vitesse de découlement</i>
V_{sys}	<i>Tension de système</i>
W	<i>Watt</i>
WC	<i>Watt crête</i>
λ	<i>Coefficient de perte de charge</i>
μ	<i>viscosité dynamique</i>
ρ	<i>Masse volumique de l'eau</i>
TTC	<i>Tout taxe comprise</i>

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	01
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES.....	03
Introduction.....	03
I.1. Rayonnement Solaire.....	03
I. 2.Composantes principales du rayonnement solaire.....	04
I.2.1. Rayonnement direct Normal.....	04
I.2.2. Rayonnement diffus.....	05
I.2.3. Rayonnement réfléchi.....	05
I.2.4. Rayonnement global.....	05
I.3. Cartographie du rayonnement solaire.....	06
I.3.1. Moyennes mensuelles des irradiations journalières.....	07
I.3.2. Sommes de moyenne annuelles de l'irradiation	08
I.4. Générateur photovoltaïque.....	08
I.4.1. Caractéristiques électriques d'un générateur photovoltaïque.....	10
I.4.3 Influence de la température.....	11
I.4.4.Rendement relatif d'un panneau solaire.....	13
I.4.5.Plaque signalétique d'un panneau solaire.....	13
I.4.6.Raccordement des panneaux solaires.....	14
I.5. Dispositifs de contrôle.....	14
I.6. Batteries solaires.....	15
I.7. conclusion.....	15
CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES SYSTEMES DE POMPAGE D'EAU.....	17
Introduction.....	17
II.1. Chaîne d'énergie du pompage de l'eau.....	17
II.2. Eléments du système de pompage d'eau.....	18
II.2.1. Pompe.....	18
II.2.1.1. Différents types des pompes.....	18
II.2.1.2. Caractéristiques des pompes volumétriques et centrifuges.....	20
II.2.2. Moteur.....	20
II.2.3. Sources d'énergie.....	21

II.3.différentes architectures envisageables des systèmes de pompage.....	21
II.3.1.Pompage avec réseau électrique.....	21
II.3.2. Pompage photovoltaïque.....	22
II. 3.2.1. Composants du système de pompage photovoltaïque.....	22
II. 3.2.2. Méthodes de pompage photovoltaïque.....	22
II.3.3.Pompage éolien.....	25
I.4.Conclusion.....	26
CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE POMPAGE PV.....	27
Introduction.....	27
III.1.Méthode de dimensionnement.....	27
III.1. Besoins journaliers en eau.....	28
III.2.Dimensionnement et choix de la pompe.....	28
III.2.1. Détermination du débit horaire de la pompe.....	29
III.2.2.Calcul du rabattement.....	29
III.2.4.Conduite de refoulement.....	30
III.2.5.Perte de charge totale et la HMT.....	30
III.2.6. Calcul de la hauteur d'élévation requise pour la motopompe.....	31
III.3.Calcul de l'énergie électrique nécessaire par jour.....	31
III.3.1. Energie solaire disponible.....	31
III.3.2. Dimensionnement du champ photovoltaïque.....	32
III.3.2.1. Calcul de la puissance crête.....	32
III.3.2.2. Tension du système.....	32
III.3.2.3. Calcul de nombre de panneaux solaire.....	32
III.4. Critères de Choix de type de pompe.....	33
III.5. Dimensionnement des batteries.....	34
III.5.1. Capacité totale de batteries	34
III.5.2. Nombre total de batteries	34
III.5.3.Nombre de batterie en série et en parallèle.....	34
III.6.régulateur de charge.....	35
III.7. Section du câble.....	35
III.8. Conclusion.....	36
CHAPITRE IV : ETUDE ET ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE.....	37

Introduction.....	37
IV.1. Présentation de la localité d'étude.....	37
IV.2. Estimation des besoins journaliers en eau.....	38
IV.3. Estimation du potentiel d'énergie solaire a Mostaganem.....	39
IV.3.1. Estimation de l'ensoleillement.....	39
IV.3.2. Calcul d'angle d'inclinaison optimale.....	39
IV.4. Dimensionnement et choix de la pompe.....	40
IV.4.1. Capacité de la citerne.....	40
IV.4.2. Dimensionnement de la pompe immergée.....	41
IV.4.2.1. Détermination du débit horaire de la pompe.....	41
IV.4.2.2. Calcul de la Hauteur manométrique totale HMT.....	42
IV.4.2.3. Choix de la pompe immergée.....	45
IV.4.2.4. Caractéristiques de la pompe immergée.....	45
IV.4.3. Dimensionnement de la motopompe.....	47
IV.4.3.1. Détermination du débit horaire de la pompe.....	47
IV.4.3.2. Calcul de la Hauteur manométrique totale HMT.....	47
IV.4.3.3. Choix de la motopompe.....	47
IV.4.3.4. Caractéristiques de la motopompe.....	48
IV.4.4. Calcul de l'énergie électrique nécessaire par jour.....	48
IV.5. Dimensionnement du champ photovoltaïque.....	48
IV.5.1. Calcul de la puissance crête du système photovoltaïque.....	48
IV.5.2. Détermination de la tension du système.....	49
IV.5.3. Calcul de nombre de panneaux.....	49
IV.5.4. Calcul de nombre de panneaux en série.....	49
IV.5.5. Calcul de nombre de panneaux en parallèle.....	49
IV.6. Calcul de section du câble.....	50
IV.7. Equipements de protection.....	51
IV.7.1. Choix du fusible.....	51
IV.7.2. Interrupteur – sectionneur.....	51
IV.7.3. Parafoudre.....	51
IV.7.4. Mise à la terre.....	52
IV.7.5. Capteur de niveau d'eau.....	52

IV.8. Représentation du système de pompage global.....	53
IV.9. Analyse économique.....	54
IV.9.1. Analyse économique du pompage photovoltaïque.....	54
IV.9.2. Analyse économique de pompage en utilisant le réseau SONELGAZ.....	54
IV.9.3. Analyse économique de la motopompe thermique.....	56
IV.10. Conclusion.....	56
CONCLUSION GENERALE.....	58
ANNEXE.....	
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	

INTRODUCTION GENERALE

L'eau, source de vie pour l'homme, les animaux et la végétation, est l'une des préoccupations majeures du 21^{ème} siècle pour toute la planète et surtout dans les régions où elle se fait rare. En effet, l'approvisionnement en eau, soit pour la consommation domestique, soit pour l'agriculture (élevage et irrigation) constitue aujourd'hui l'un des plus grands enjeux des temps modernes.

L'utilisation de l'énergie solaire est devenue indispensable en Algérie, ce qui rend intéressant l'utilisation de pompage solaire, plusieurs régions demeurent non connectées au réseau public d'électricité [01].

Dans le cadre de l'amélioration d'approvisionnement en eau pour élevage et irrigation, le recours à l'irrigation par pompage à petite échelle est l'une des utilisations les plus intéressantes de l'énergie solaire. En effet, l'intensité maximale du rayonnement solaire correspond généralement à la période la plus importante en besoin d'eau. D'autre part, le fait que cette énergie est disponible juste au point d'utilisation, l'agriculteur est libéré des problèmes liés à l'approvisionnement en carburant, ou bien de l'existence de lignes de transport de l'électricité.

Une pompe photovoltaïque se présente principalement selon deux façons de fonctionnement, avec ou sans batterie : la batterie utilisée stocke l'électricité produite par les modules, tandis que le fonctionnement sans batterie, communément appelé « pompe au fil du soleil », utilise un réservoir pour stocker l'eau jusqu'au moment de son utilisation.

Notre travail porte sur l'étude et l'analyse des aspects technico-économiques d'une installation de pompage d'eau en utilisant une source d'énergie solaire photovoltaïque en vue de l'irrigation. Une étude comparative d'un système de pompage photovoltaïque avec celui qui utilise le réseau SONELGAZE ainsi que le système de pompage avec un groupe thermique, montrera l'importance de ce type de d'énergie renouvelable dans l'application de système de pompage d'eau.

Pour ce faire, notre travail est organisé en quatre parties. Il se récapitule comme suit :

Le premier chapitre, présente les généralités sur les systèmes du rayonnement solaire et la cartographie du rayonnement de l'Algérie. Ensuite, nous nous intéressons à l'étude de types des systèmes photovoltaïques ainsi que leurs principes de fonctionnement. Nous présentons également dans ce cadre le système PV autonome avec tous ses composants.

Le deuxième chapitre porte sur les systèmes de pompage d'eau en présentant sa chaîne d'énergie et ses différents types. Différentes solutions technologiques sont utilisées Pour extraire l'eau : pompage solaire (photovoltaïque), pompage aérogénérateur, pompage éolien, pompage thermique.

Dans le troisième chapitre nous présentons tous les éléments nécessaires qui constituent une station de pompage solaire ainsi que le dimensionnement de ces derniers et trouver les bons choix de matériels. Notre exemple pratique sera dans une région de la wilaya de Mostaganem où nous dimensionnons le système Photovoltaïque de pompage autonome sans batteries.

Le quatrième et dernier chapitre est consacré à l'étude et l'analyse technico-économique de notre système de pompage dimensionné dans le troisième chapitre. Cette étude incluant le coût d'investissement et la valeur actualisée des coûts d'exploitation et d'entretien sur la durée de vie prévue des systèmes de pompage.

Cette étude consiste à évaluer les coûts représentatifs d'un système de pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie installé dans la localité Mostaganem et aboutir à une estimation du coût du mètre cube d'eau pompée par ce système de pompage et celui pompé par un système qui utilise le réseau SONELGAZ ainsi que le système de pompage avec un groupe thermique.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES

Introduction

L'énergie solaire est la ressource énergétique la plus abondante sur terre. Elle est à l'origine de la majorité des autres énergies renouvelables. En le rayonnement solaire peut être utilisé pour produire soit directement de l'électricité à l'aide de semi-conducteurs photovoltaïque, soit de la chaleur solaire thermique pour le chauffage ou la production électrique. Cependant, ce rayonnement est sujet à plusieurs perturbations, qui varient avec la constitution verticale de l'atmosphère terrestre (nuage, aérosol), qui constitue une barrière empêchant ainsi l'entière radiation solaire de passer.

Ce chapitre est consacré dans un premier temps à la représentation des notions sur le rayonnement solaire, à savoir : les composantes principales du rayonnement solaire et la cartographie du rayonnement solaire de l'Algérie [01].

Ensuite, nous nous intéressons à l'étude des types des systèmes photovoltaïques, leur principe de fonctionnement, leurs domaines d'applications ainsi que leurs avantages et inconvénients. Et plus particulièrement, on se basera sur le système PV autonome pour bien comprendre ses composants qui sont généralement :

- Les panneaux.
- Les batteries.
- Les onduleurs.
- Les régulateurs de charge.
- Les autres accessoires.

Nous allons également expliquer le principe de fonctionnement de tous ces éléments en expliquant les techniques de raccordement dans un système autonome.

I.1. Rayonnement Solaire

La principale source d'énergie dont nous disposons est le soleil, qui est situé à environ 150 millions de kilomètres de la terre, il émet de manière isotrope un rayonnement qui peut être assimilé, en première approximation, à celui d'un corps noir (parfaitement émissif et absorbant) à 5800°k. Ce rayonnement se propage dans l'espace sous forme d'onde électromagnétique, il atteint la terre après environ huit minutes de son émission [02].

Le rayonnement solaire qui arrive au sol se décompose en deux parties : L'un provient directement du soleil (direct), l'autre a été diffusé par l'atmosphère (diffus). L'atmosphère et la terre possèdent également un rayonnement propre. La connaissance de ces divers rayonnements permet d'établir un bilan radiatif du système terre- atmosphère.

I. 2. Composantes principales du rayonnement solaire

L'éclairement est le flux solaire traversant une surface unitaire perpendiculaire aux rayons du soleil et se situant au sommet de l'atmosphère, il dépend de la distance réelle terre-soleil, laquelle varie selon les saisons. Il s'exprime en W/m^2 .

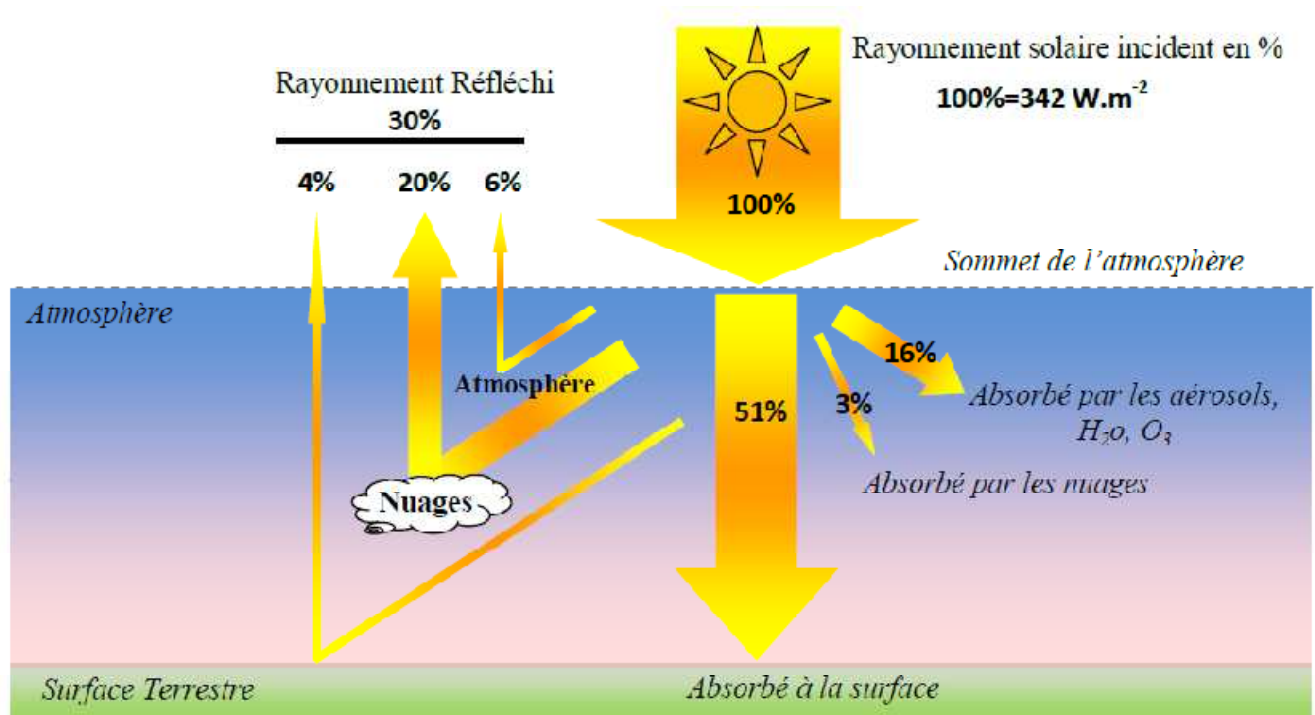


Fig. I.1. Bilan énergétique annuelle du système "Terre-Atmosphère"

La radiation solaire arrive au sommet de l'atmosphère sous forme d'ondes électromagnétiques. Elle se subdivise premièrement en deux parties :

- La première est directement réfléchi vers l'espace avant de pénétrer dans l'atmosphère.
- La deuxième partie s'enfonce dans l'atmosphère, subit des réfractions et des diffractions pour être à son tour soit renvoyées vers l'espace soit vers le sol.

Ces phénomènes font que l'on peut regrouper les rayons solaires parvenant au sol en trois composantes principales, qui sont le direct, le diffus et le réfléchi.

I.2.1. Rayonnement direct Normal I_N

Le rayonnement solaire direct est le rayonnement reçu sur un plan normal parvenant directement du disque solaire sans avoir subi de diffusion. Il se diffère de façon notable du rayonnement atteignant la limite supérieure de l'atmosphère, en particulier du fait de l'absorption par les constituants gazeux de l'atmosphère.

1.2.2. Rayonnement diffus D_H

Le diffus horizontal $H D$ est le rayonnement reçu sur une surface horizontale provenant de toute la voute céleste à l'exception du disque solaire. Il s'agit du rayonnement diffusé par les aérosols, les gouttelettes d'eau, la vapeur d'eau vers le sol.

1.2.3. Rayonnement réfléchi d_{re}

Le rayonnement réfléchi d_{re} est la composante de l'éclairement par la surface terrestre, cette composante est prise en compte seulement dans le cas d'une surface inclinée, elle dépend essentiellement du type de surface.

1.2.4 Rayonnement global G_H

C'est le rayonnement reçu sur une surface provenant de toute la voute céleste et du disque solaire.

❖ Rayonnement Global sur une surface horizontale.

Le rayonnement global parvenant au sol sur une surface horizontale $h G$ est la somme du rayonnement direct et du diffus (Figure I.17), selon la formule suivante :

$$G_H = D_H + I_N \cos(\theta_S)$$

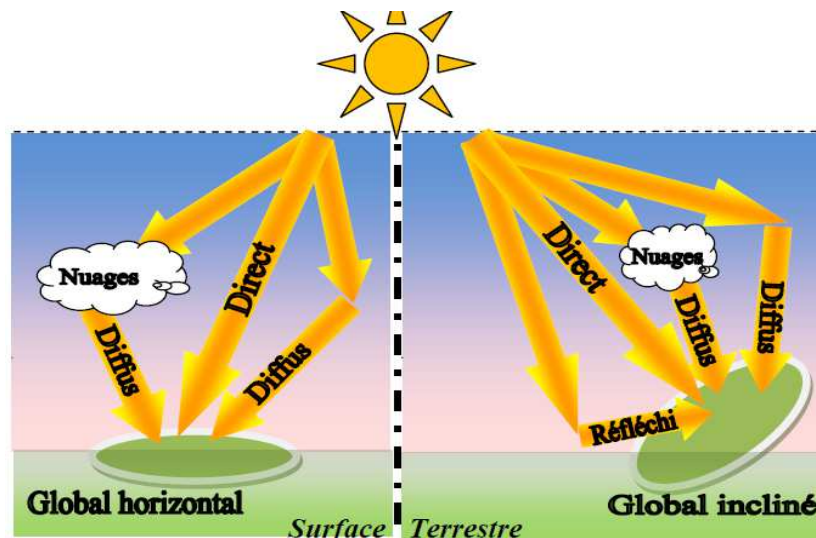


Fig. I.2. Composantes principales du rayonnement solaire.

❖ Le rayonnement Global sur une surface inclinée

Le rayonnement solaire global sur une surface arbitraire ayant une inclinaison β par rapport à l'horizontale et un angle azimutal γ est la somme des trois composantes directe, diffuse et réfléchie par le sol du rayonnement solaire (Fig. I.2) [02].

$$G_{\beta} = D_{\beta} + I_{N\beta} + d_{re}$$

L'irradiation (Ensoleillement ou éclaircissement) est définie comme une puissance reçue par une surface, il s'exprime en W/m^2 (watt par mètre carré).

L'irradiation ou rayonnement est l'énergie reçue par une surface. Elle s'exprime en $(J.m^2)$ (Joule par mètre carré).

D'autres unités plus courantes sont le Wh/m^2 (watt heure par mètre carré) Signalons que, l'irradiation solaire dépend de

- La latitude du lieu.
- L'orientation et l'inclinaison du plan de collecte.
- La saison (maxima en été, minima en hiver).
- La situation atmosphérique (ciel clair ou couvert).
- La hauteur du soleil sur l'horizon (maxima à midi solaire).

I.3. Cartographie du rayonnement solaire

L'Algérie est située au centre du continent Nord-Africain, avec une superficie de $2.381.741 \text{ km}^2$, près de 1200 Km de côte sur la mer Méditerranée, elle est bordée à l'Est par la Tunisie, au Sud-Est par la Libye, au Sud par le Niger et le Mali, au Sud-ouest par la Mauritanie et à l'Ouest par le Sahara Occidental et le Maroc [02].

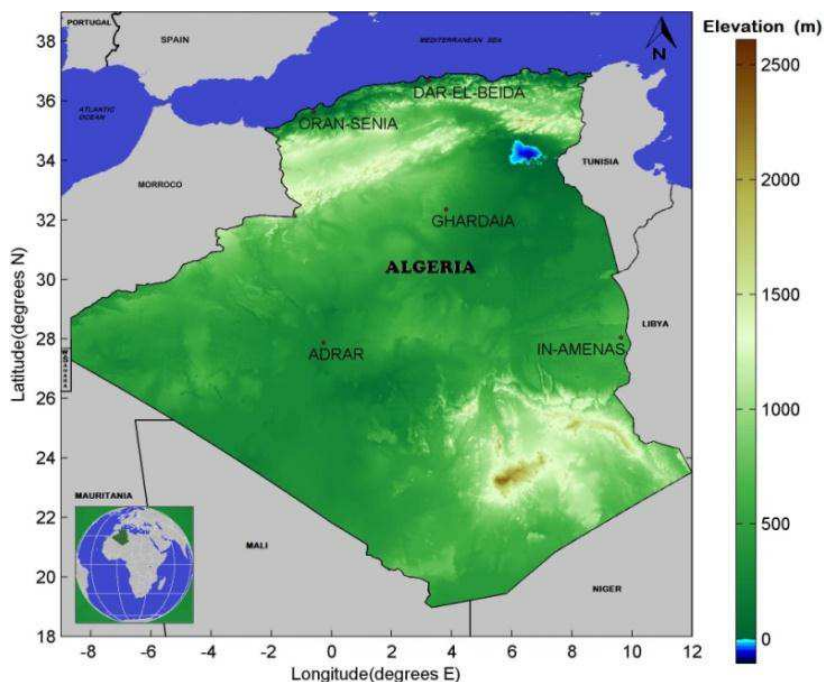


Fig. I.3. Carte d'élévation et localisation des stations de mesure utilisées.

I.3.1. Moyennes mensuelles des irradiations journalières

L’Algérie possède un gisement solaire non négligeable, elle est classée parmi les zones privilégiées pour les applications des systèmes solaires. La durée d’insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2500 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L’énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l’ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national. Le tableau suivant montre le potentiel solaire dans les différentes zones de l’Algérie [03].

Les moyennes mensuelles des irradiations journalière de six stations représentant les différentes régions de notre pays ont été utilisées (Tableau I.1). La variation des moyennes mensuelles de ces stations est représentée dans la fig. I.4.

Tableau I.1. Coordonnées géographiques des stations.

N°	Station	Latitude(°)	Longitude(°)	Elévation(m)
1	Alger	36.68	3.22	25
2	Oran	35.63	-0.6	90
3	Bechar	31.38	-2.15	806
4	Ghardaïa	32.40	3.81	450
5	Adrar	27.88	-0.28	269
6	Tamanrasset	22.78	5.52	1378

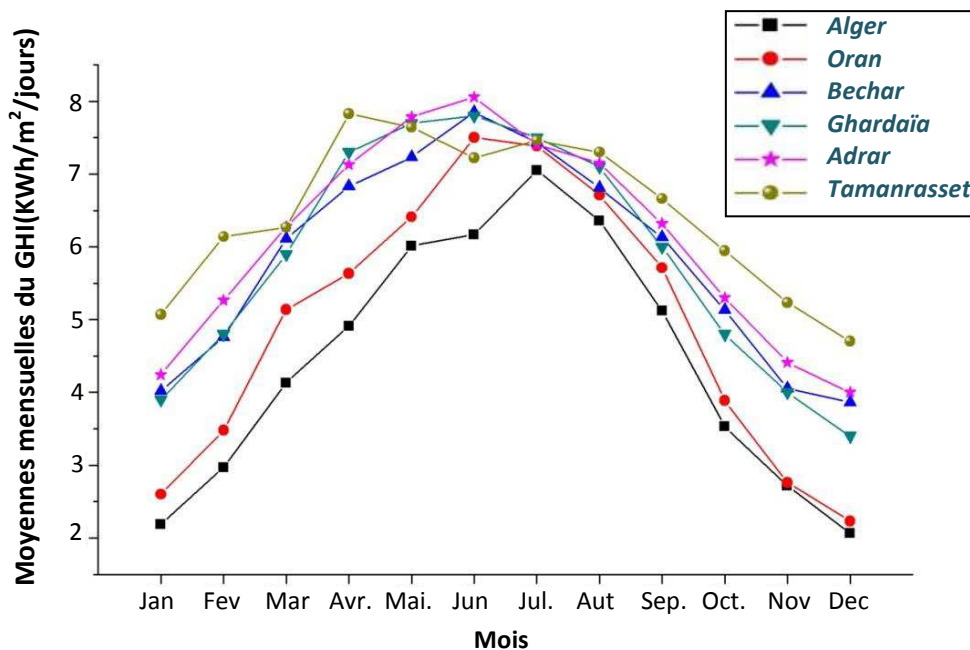


Fig. I.4. Moyennes mensuelles des irradiations journalières.

I.3.2. Sommes de moyenne annuelles de l'irradiation

Une carte est produite ci-après et couvrant tout le territoire de l'Algérie, elle représente la moyenne des cumuls annuels d'irradiation globale. Comme on peut en déduire de la Figure I.5 l'irradiation annuelle varie entre 1400 et 2600 kWh/m²/an. Avec un potentiel plus élevé au Sud par rapport au Nord du pays. Les caractéristiques orographiques sont plus apparentes dans la carte reproduite.

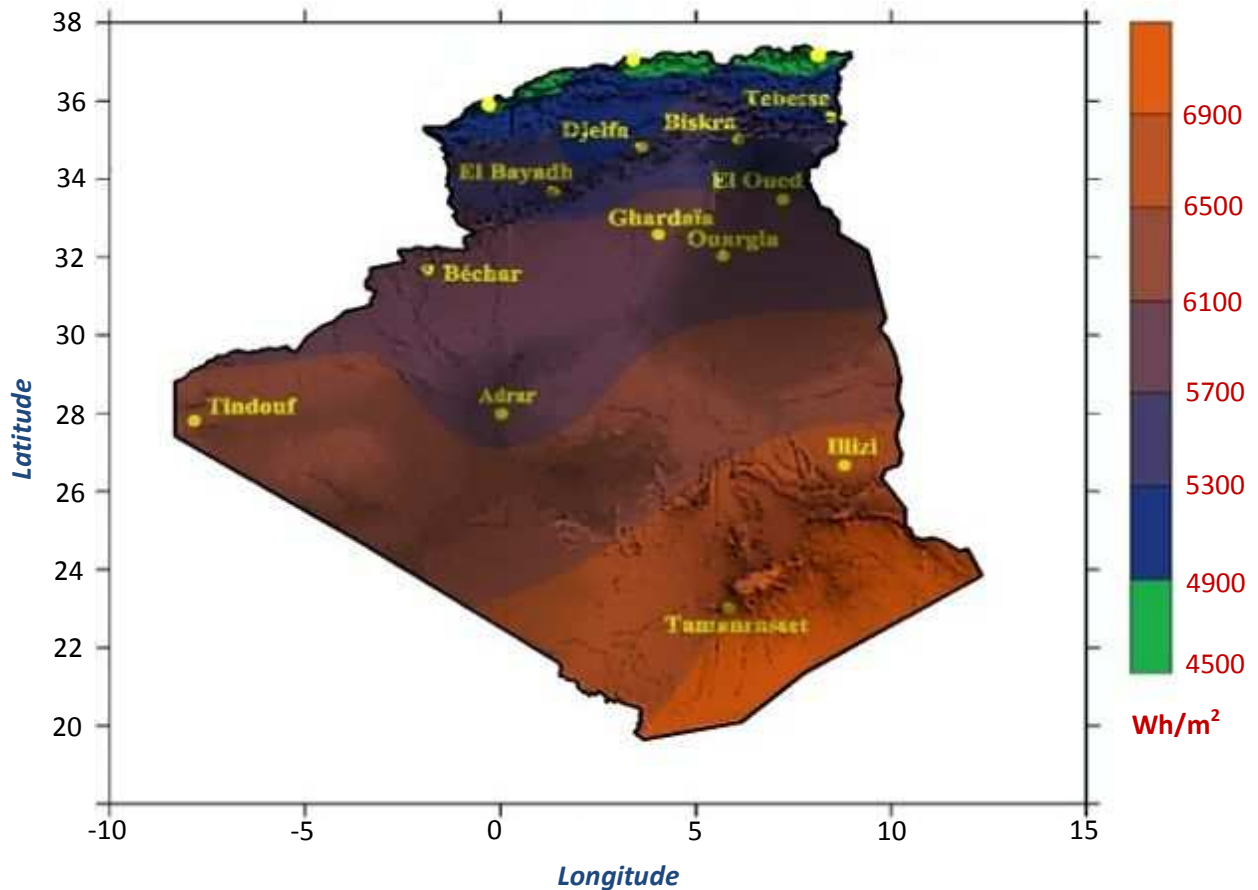


Fig. I.5. Moyenne annuelle d'irradiation globale reçue sur une surface horizontale, 1992 – 2002 [04].

I.4. Générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque peut être constitué d'un ou plusieurs modules photovoltaïques appelé champ photovoltaïque destiné à produire de l'énergie électrique à partir du rayonnement solaire.

En effet, le champ photovoltaïque est une association en série et parallèle de modules photovoltaïques selon la puissance et la tension d'utilisation. Sa caractéristique (I-V) est similaire à celle d'un module et les cellules sont protégées par des diodes série (anti-retour) et des diodes

parallèle (by-pass). Il constitue la surface de captage de l'énergie solaire et de production d'électricité.

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui convertissent les irradiations provenant du soleil en électricité à courant continu. Elles sont réalisées à l'aide des matériaux semi-conducteurs tels que le silicium mono ou poly cristallin, amorphe, tellure de Cadmium (CdTe), et d'Arséniure de Gallium (GaAs).

La comparaison des différentes technologies de fabrications est présentée dans le tableau ci-après :

Tableau 2 : Caractéristiques des différentes technologies des cellules PV [05]

Matériaux	Rendement	Longévité	Caractéristiques	Utilisation
Silicium mono cristallin	12 à 18 % (24.7% en laboratoire)	20 à 30 ans	<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)	20 à 30 ans	<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 % supérieure à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois. 	Appareils électroniques (montres, calculatrice...)
Tellure de Cadmium (CdTe)	8 % (16 % en laboratoire)			
Arséniure de Gallium (GaAs).	18 à 20 % (27.5% en laboratoire)		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lourd ; se fissure facilement. 	Système de concentrateurs aérospatiaux (Satellites)

I.4.1. Caractéristiques électriques d'un générateur photovoltaïque

Les caractéristiques d'un module photovoltaïque sont :

- **La puissance crête P_c** : C'est la puissance maximale produite par un module photovoltaïque dans les **conditions standard** : ensoleillement de 1000W/m^2 à l'horizontale, température ambiante 25°C , masse d'air optique (AM) égale à 1,5.

A température et éclairement fixés, la caractéristique courant – puissance / tension d'une cellule a l'allure suivante [06] [07].

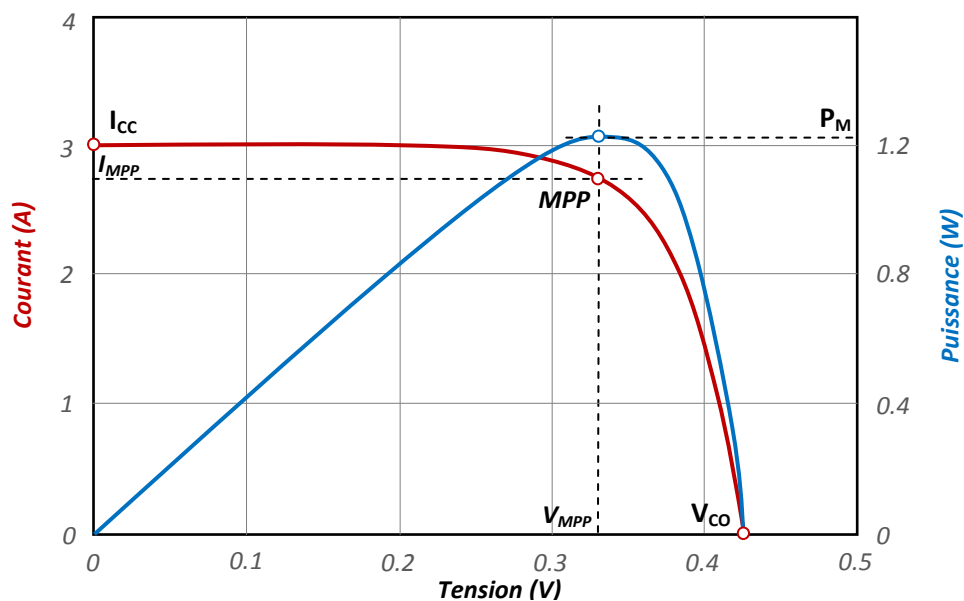


Fig. I-6. Caractéristique courant – tension- puissance d'une cellule PV.

- **La tension à circuit ouvert V_{co}** : Tension aux bornes du module en absence de tout courant, pour un éclairement plein soleil.
- **Le courant de court-circuit I_{cc}** : Courant débité par le module en court-circuit pour un éclairement plein soleil.
- **Le point de fonctionnement optimum MPP** : Point où la puissance est maximale ; $P_M = V_{MPP} \times I_{MPP}$.
- **Le rendement maximal** : Rapport entre la puissance électrique optimale et la puissance de radiation incidente.
- **Le facteur de forme** : $f = \frac{P_m}{V_{oc} \times I_{cc}}$

I.4.2 Influence de l'éclairement.

A température constante, la caractéristique $I = f(U)$ dépend fortement de l'éclairement.

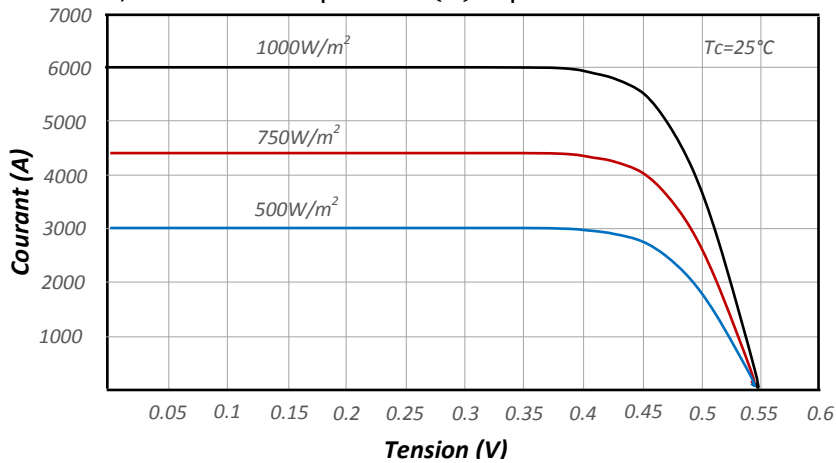


Fig. I-7 courbe d'influence de température sur le courant

Sur cette courbe, on remarque que le courant de court-circuit augmente avec l'éclairement alors que la tension à vide varie peu.

A partir de ces courbes, on peut tracer les courbes de puissance $P = f(U)$.

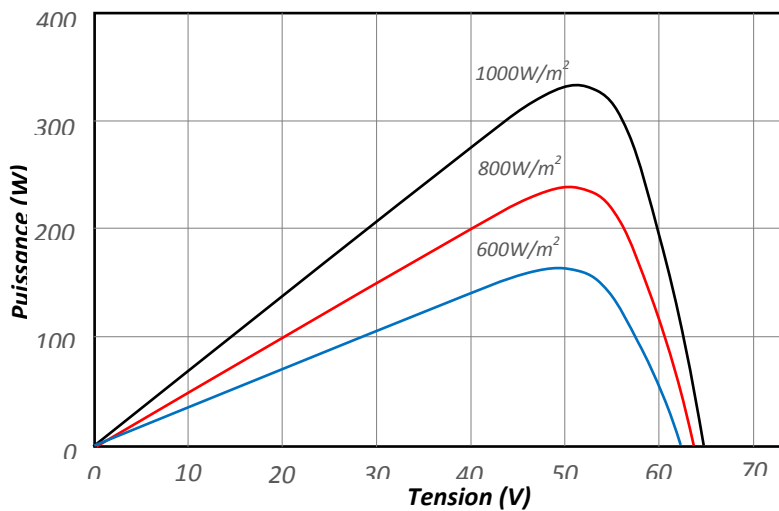


Fig. I-8. Influence de l'éclairement sur la puissance.

Sur cette courbe, on remarque que la puissance maximum délivrée par la cellule augmente avec l'éclairement. [08]

I.4.3 Influence de la température

Pour un éclairement fixé, les caractéristiques $I = f(U)$ et $P = f(U)$ varient avec la température de la cellule photovoltaïque

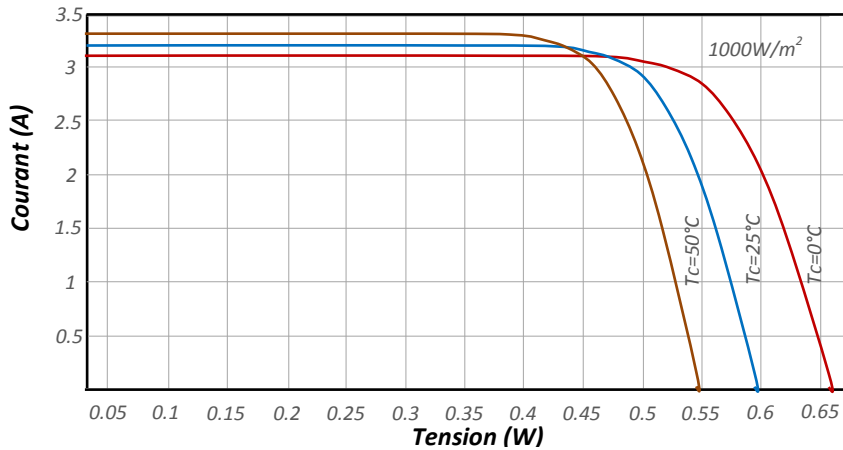


Fig. I-9 courbe d'influence de température sur le courant

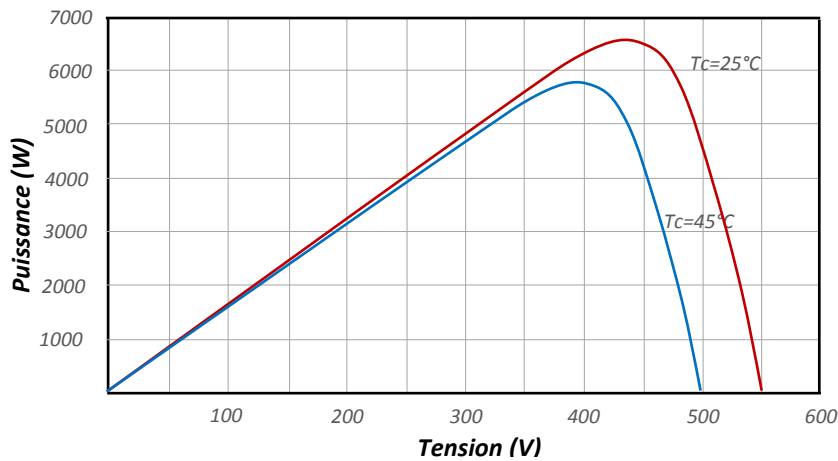


Fig. I-10 courbe d'influence de température sur le courant

Sur cette courbe, on remarque que la tension à vide et la puissance maximum diminuent lorsque la température augmente.

I.4.4. Rendement relatif d'un panneau solaire

Le rendement absolu d'un module photovoltaïque, pendant une période donnée, est le rapport entre l'énergie électrique produite par le module et l'énergie solaire reçue. Les rendements annuels moyens (absolus) des modules peuvent varier de 5% à 18%.

Mais pour connaître l'efficacité énergétique réelle de son installation, nous devons déterminer son rendement relatif [09].

Le rendement relatif d'un module pour une période donnée est alors le rapport entre la puissance énergétique mesurée ($P = U \times I$) pendant la période et la puissance crête donnée par le constructeur.

La puissance crête représente la puissance maximum fournie par une cellule lorsque l'éclairement $G = 1000\text{W}/\text{m}^2$, la température $T = 25^\circ\text{C}$ et une répartition spectrale du rayonnement dit AM 1,5.

L'unité de cette puissance est le Watt crête, noté W_c .

Cependant, cette puissance est rarement atteinte car l'éclairement est souvent inférieur à $1000\text{W}/\text{m}^2$ et la température des panneaux en plein soleil dépasse largement les 25°C .

Soit Rendement relatif. [04]

$$\eta_r = \frac{U \times I}{P_{\text{crete}}}$$

1.4.5. Plaque signalétique d'un panneau solaire

La plaque signalétique d'un panneau porte toutes les informations nécessaires concernant les grandeurs électriques ainsi que d'autres informations qu'on va les expliquer dans cet exemple [04]

<h2>Solar module</h2>	
	
Module Type:SS270-60P	
Rating Power at STC	(Wp) 270W
Tolerance	0~+3%
Selection Limits	-0/+5W
Rating Power Voltage	(Vm) 31.7V
Rating Power Current	(Im) 8.52A
Open Circuit Voltage	(Voc) 38.8V
Short Circuit Current	(Isc) 9.09A
Nominal Operating Cell Temp (NOCT)	45±2°C
All Technical Data at STC	
AM=1.5 TC=25°C E=1000W/°Cm²	
Maximum System Voltage	1000V
Mechanical Loading Treset	5400Pa
Series Fuse	15A
Application Class	CLASS A
Weight	19.0kg
Dimension	1650*992*40



Fig. I-11 plaque signalétique d'un panneau solaire de 270 W.

$P_{\text{MAX}} = 270 \text{ W}$: La puissance maximale de panneau.

$V_{\text{OC}} = 38.8 \text{ V}$: la tension fournie par un panneau à vide (circuit ouvert).

$I_{\text{SC}} = 9.09 \text{ A}$: le courant de court-circuit.

$V_{\text{MP}} = 31.7 \text{ V}$: la tension fournie de panneau en charge.

$I_{\text{MP}} = 8.52 \text{ A}$: le courant de panneau en charge.

1.4.6. Raccordement des panneaux solaires

On distingue trois types de raccordement :

- a- Raccordement en série dans ce mode la tension augmente mais le courant reste le même.
- b- Raccordement en parallèle dans ce mode le courant augmente mais la tension reste elle-même.
- c- Raccordement mixte (série-parallèle) dans ce mode le courant et la tension augmentent.

I.5. Dispositifs de contrôle.

Le dispositif de commande et de contrôle est assuré par un onduleur ou hacheur.

• Le convertisseur DC/DC (hacheur)

Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du générateur PV et de la transférer à la charge (pompe alimentée par moteur à courant continu), la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le générateur PV et la charge.

Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle commandé par son rapport cyclique, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de la puissance maximale disponible.

• Le convertisseur DC/AC (onduleur)

Le convertisseur DC/AC assure le transfert optimal de puissance du générateur solaire vers le groupe électropompe et protège la pompe contre le fonctionnement à vide lorsqu'il n'y a pas d'eau dans le puits. Le rendement de l'onduleur est généralement élevé pour valoriser au mieux l'énergie produite par le générateur. Il est de l'ordre de 95 % au point de fonctionnement nominal [08].

• Caractéristiques de fonctionnement

- Tension et courant d'entrée/sortie
- Forme d'onde
- Limites de la tension d'entrée
- Basse de consommation et haut rendement
- Puissance de sortie
- Capacité de surcharge
- Facilité la réparation et la maintenance
- Fonctionnement dans les points de puissance maximale
- Conditions ambiantes (température de fonctionnement)

I.6. Batteries solaires

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert).

Une batterie utilisée avec des panneaux solaires ou une éolienne est une batterie à décharge lente (appelée aussi batterie solaire). Ces batteries sont spécifiquement conçues pour les applications solaires ou éoliennes.

Elles n'ont pas les mêmes caractéristiques qu'une batterie de voiture par exemple, elles se déchargent plus progressivement et supportent mieux les décharges fréquentes peu profondes.

On peut brancher une batterie solaire directement sur un panneau solaire, mais en faisant ça on risque d'endommager la batterie si son niveau de charge dépasse les 90%. C'est pour cela qu'il est vivement recommandé d'installer un régulateur solaire entre le panneau solaire photovoltaïque et les batteries solaires [01].

On distingue généralement trois types de batteries solaires :

- a- Batterie à plomb ou liquide.
- b- Batterie à Gel ou AGM.
- c- Batterie au lithium ion.

Caractéristiques

- Généralement les batteries sont caractérisées par :
- La technologie utilisée Acide ou AGM ou Gel ou lythrum.
- La tension de service 6V, 12V ou 24V.
- La capacité on Ampère heur 50 Ah, 100Ah, 200Ah.
- La vitesse de décharge C10 ou C20.
- La durée de vie ou le nombre de cycle (charge et décharge).

I.7.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons rappelé quelques notions sur le rayonnement solaire, ses composantes principales et son application dans le domaine photovoltaïque. Nous avons également donné la cartographie du rayonnement solaire de l'Algérie en donnant le potentiel solaire dans les différentes zones.

Nous avons ensuite expliqué le fonctionnement des générateurs photovoltaïques avec les différentes technologies de fabrications des cellules photovoltaïques, leurs caractéristiques principales ainsi que les avantages et les inconvénients de chaque type de cellules.

Finalement, nous avons décrit les différents types de raccordement des panneaux solaires (association en série, association en parallèle et association mixte), les convertisseurs statiques et les différents types des batteries solaires.

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES SYSTEMES DE POMPAGE D'EAU

Introduction

L'eau est une ressource essentielle et il faut pouvoir l'extraire quel que soit l'endroit de la planète. L'organe essentiel pour l'extraction de l'eau est la pompe. Selon la source d'énergie disponible (solaire, électrique, éolienne) et selon l'utilisation (zone urbaine, zone rurale) l'architecture de la chaîne d'énergie et le choix des pompes seront différents.

Cette ressource a pour objectif de :

- classer les différentes solutions d'extraction de l'eau,
- donner les solutions qui permettent de transformer l'énergie électrique en énergie hydraulique,
- donner les éléments de conception du réseau hydraulique pour un système d'extraction d'eau pour l'utilisation collective,
- donner l'architecture et le rendement des différents composants pour extraire l'eau destinée à un usage individuel ou villageois.

II.1. Chaîne d'énergie du pompage d'eau

Nous pouvons considérer deux grands domaines d'utilisation de l'eau [10] :

➤ Extraction d'eau potable en zone urbaine. Dans ce cas l'eau est extraite à l'aide de pompes entraînées par des moteurs électriques. La source d'énergie électrique est celle présente dans les villes.

➤ Extraction d'eau pour un usage individuel, rural ou villageois. Les coûts de raccordement à un réseau urbain peuvent vite devenir élevés dès que l'on s'éloigne des villes.

Différentes solutions technologiques sont alors utilisées pour extraire l'eau :

- Pompage solaire (photovoltaïque),
- Pompage aérogénérateur,
- Pompage éolien,
- Pompage thermique.

La figure II.1 montre les différentes solutions qui permettent de disposer de l'énergie hydraulique.

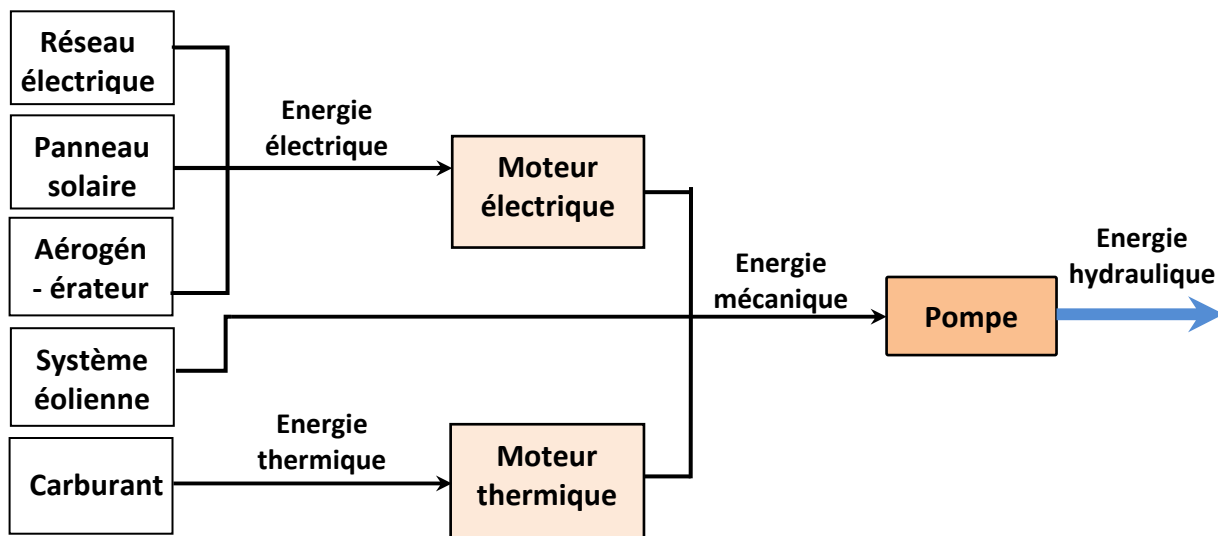


Figure II.1 : Différentes techniques de pompage d'eau.

II.2. Éléments du système de pompage d'eau

II.2.1. Pompe

On appelle pompe toutes machines hydrauliques qui servent à déplacer les liquides d'une région de basse pression vers une région à grande pression. Son fonctionnement consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration et la région de refoulement au moyen de l'organe actif (piston, roue,...etc.) de la pompe. Du point de vue physique, la pompe transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique [11].

II.2.1.1. Différents types des pompes

L'énergie requise pour faire fonctionner une pompe dépend des nombreux facteurs rencontrés dans l'étude des écoulements [12] :

- Les propriétés du fluide : masse volumique, viscosité, compressibilité.
- Les caractéristiques de l'installation : longueur, diamètre, rugosité, singularités ...
- Les caractéristiques de l'écoulement : vitesse, débit, hauteur d'élévation, pression ...



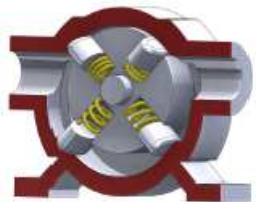


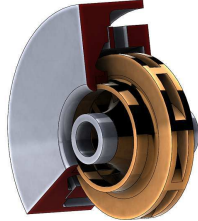
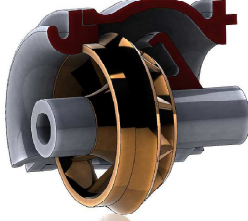
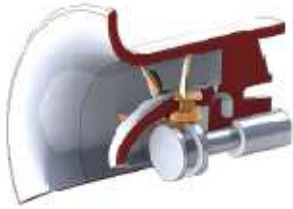
a) Classification selon la conception de la pompe

Devant la grande diversité de situations possibles, on trouve un grand nombre de pompes que l'on peut classer en deux grands groupes [13] :

- Les pompes volumétriques dont l'écoulement résulte d'une variation de volume de l'espace occupé par le liquide.
- Les pompes centrifuges où le mouvement du fluide est généré par la force centrifuge.

L'utilisation d'un type de pompes ou d'un autre dépend des conditions d'écoulement du fluide.

Tableau II.1. Classification des pompes.

	Pompes Rotatives		
Pompes volumétriques	Pompe à vis	Pompe à engrenages	Pompe à palettes
			
	Pompes Alternatives		
	Pompe à pistons	Pompe à membrane	
			
Pompes roto-dynamique	Pompes centrifuges	hélico centrifuges	Pompes hélices
			

b) Classification selon la position de pompe :

En fonction de l'emplacement physique de la pompe, nous distinguons : Les pompes de surface, et les pompes immergées [14].

b)-1. Pompes de surface :

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

b)-2. Pompes immergées :

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

II.2.1.2. Caractéristiques des pompes volumétriques et centrifuges

Tableau II.2. Caractéristiques des pompes volumétriques et centrifuges [08].

Pompe volumétrique	Pompes centrifuge
-Faible débit et une grande hauteur manométrique totale. -Le débit et la puissance absorbée sont proportionnels à la vitesse. -Le couple est en fonction de la HMT. -Le couple de démarrage est de 3 à 5 fois le couple nominal.	-Grand débit -Le débit est proportionnel à la vitesse lorsqu'elle atteint une certaine valeur -La puissance absorbée est proportionnelle au cube de la vitesse -Le Couple est en fonction du carré de la vitesse. -La pression est proportionnelle à la vitesse -Couple de démarrage est quasiment nul, ce qui est intéressant dans l'application du système photovoltaïque car la pompe peut tourner à un faible ensoleillement et le moteur peut avoir une vitesse de rotation rapide, à peu constant.

II.2.2. Moteur

La pompe nécessite une énergie mécanique en entrée. Cette énergie mécanique est fournie dans la plupart des cas par un moteur électrique (électropompe), qui peut être à courant continu ou alternatif, et d'autre cas par un moteur thermique (Motopompe) Diesel ou essence [10].

Quelques avantages et inconvénients de chacun sont donnés ci-dessous :

Tableau II.3. Avantages et inconvénients pour les deux moteurs, MCC et MAS.

types de moteur	Avantages	Inconvénients
Moteur à courant continu	Facilité de régulation (variation de vitesse, couple, ...) Rendement de 90%	Coût d'entretien : le système balai/collecteur nécessite beaucoup d'entretiens
Moteur asynchrone	Fiabilité, nécessite peu d'entretien Rendement de 90%	Difficulté et coût de régulation (nécessite la réalisation de

		commandes vectorielles)
--	--	-------------------------

II.2.3. Sources d'énergie

Il existe nombreuses variétés de source d'énergie capable de produire l'énergie d'entraînement, à savoir :

- Energie électrique du réseau collectif.
- Energie solaire (photovoltaïque),
- Energie éolienne (Electrique, mécanique),

Dans le tableau II.4 nous représentons un exemple de proportions d'utilisation des systèmes de pompage pour l'approvisionnement en eau potable en Mauritanie est :[10].

Tableau II.4.Exemple d'utilisation des différents de systèmes de pompage d'eau.

Types	Pompage éoliens	Pompage solaire	Pompage thermique	Pompage avec aérogénérateur
Proportion	35%	15%	47%	3%
Nombre de m ³ /jour	De 5 à 15	De 10 à 100	De 20 à 300	

II.3. Différentes architectures envisageables des systèmes de pompage

II.3.1.Pompage avec réseau électrique

L'eau dans son usage domestique suit un cycle d'utilisation qui peut se résumer en 4 étapes :

- Extraction de l'eau,
- Traitement de l'eau,
- Utilisation domestique de l'eau,
- Epuration et rejet de l'eau traitée.

Cette eau est généralement mobilisée grâce à des motopompes alimentées par le réseau électrique.

Le dimensionnement du groupe de pompage dépend du réseau à alimenter.

Un exemple d'une station de pompage se composant d'un total de 3 pompes en parallèle permet alors le relèvement de l'eau depuis le réservoir intermédiaire vers le réservoir de tête [10].



Fig. II.2. Station de pompage alimentée par le réseau électrique.

II.3.2. Pompage photovoltaïque

Le pompage de l'eau est l'une des applications les plus courantes utilisant de l'énergie solaire pour l'irrigation ou l'alimentation en eau potable. La performance du pompage photovoltaïque dépend des caractéristiques du site (ensoleillement, température, obstacles géographiques), du rendement des modules photovoltaïque, mais aussi des caractéristiques des autres équipements (modules photovoltaïque, onduleur, moteur, pompe, etc.).

II.3.2.1. Composants du système de pompage photovoltaïque

Un système de pompage solaire de l'eau est généralement composé des éléments suivants :

- Des panneaux solaires photovoltaïques pour capter l'énergie du soleil et la convertir en électricité.
- Une pompe immergée ou montée en surface constituée d'un moteur électrique à courant alternatif ou continu.
- Une unité de conditionnement de puissance, constituée d'un convertisseur permettant de faire varier la fréquence et la tension de sortie en fonction de la puissance disponible du générateur solaire.
- Un câblage électrique, par lequel passe l'énergie du générateur au moteur, et les informations relatives aux contrôles de sécurité.
- Une infrastructure hydraulique qui conduit l'eau de sa source (puits) jusqu'aux points de distribution [08].

II.3.2.2. Méthodes de pompage photovoltaïque

Dans les systèmes de pompage photovoltaïque, nous avons deux techniques possibles : pompage au fil du soleil (Fig. II.3) 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 (Fig. II.3). 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 [04].

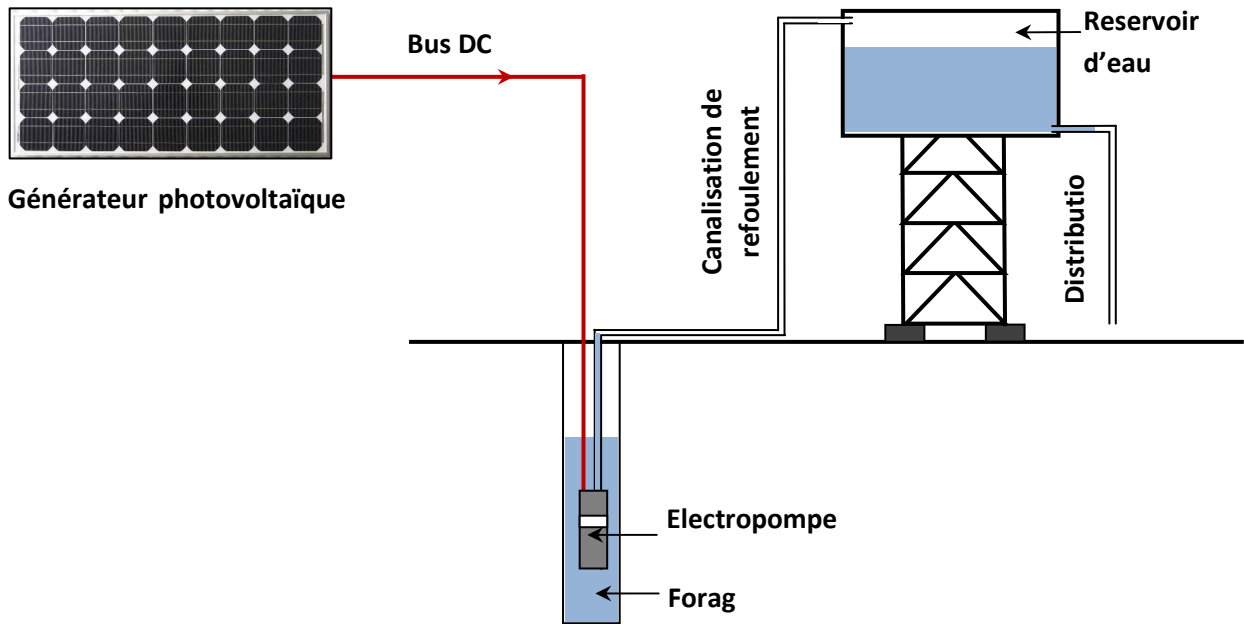


Fig. II.3 : Schéma du principe de pompage au fil du soleil.

La deuxième technique consiste à utiliser un stockage d'énergie (figure II.4). 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 [01] [08].

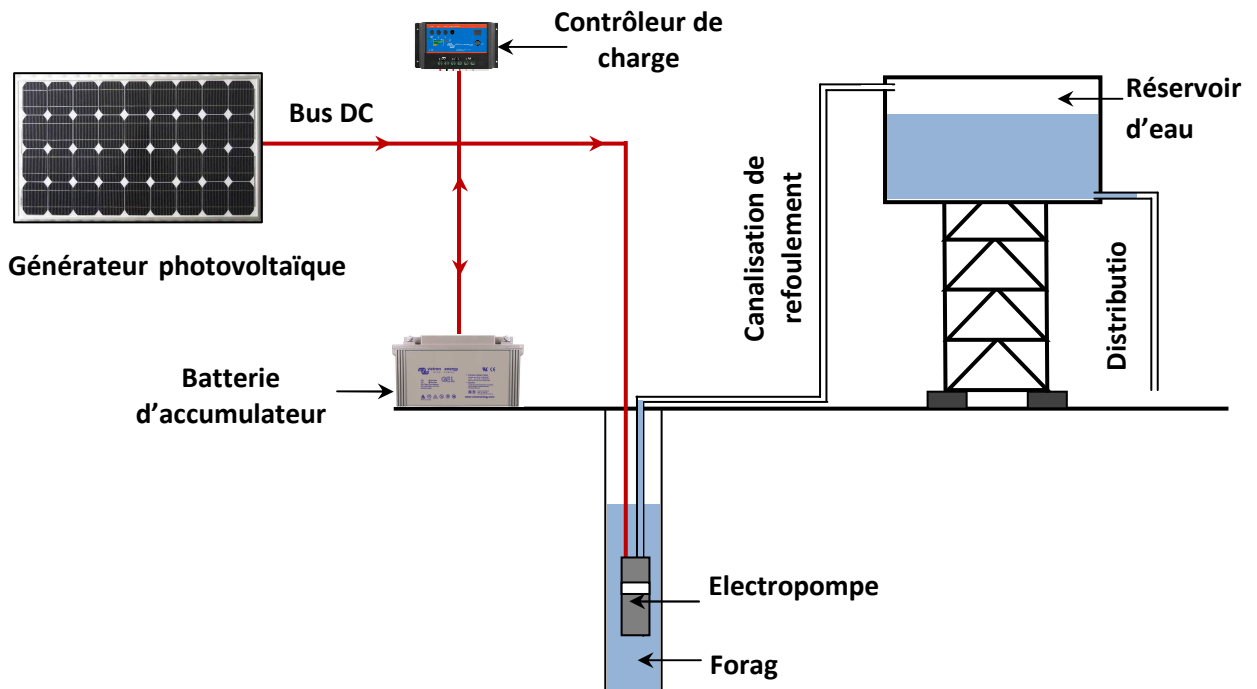


Fig. II.4 : Schéma du principe de pompage avec stockage d'énergie.

Les avantages et inconvénients des deux techniques de pompage photovoltaïque sont résumés dans le tableau II.3.

Tableau II.5. Les avantages et inconvénients des pompages au fil du soleil et avec batteries [08].

Méthodes de pompage	Avantages	Inconvénients
Pompage au fil du soleil	<ul style="list-style-type: none"> - Economie du coût des batteries et par conséquent leur maintenance - Système photovoltaïque plus simple, plus fiable et moins coûteux - Meilleur rendement énergétique 	<ul style="list-style-type: none"> - Perte d'énergie au début et à la fin de la journée - Le débit de la pompe n'est pas constant et le rabattement du forage peut-être trop élevé durant certaines périodes de la journée.
Pompage avec batterie	<ul style="list-style-type: none"> - Débit de la pompe régulier et à pression fixe. - Possibilité de pomper l'eau lorsque le soleil est absent. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût élevé d'entretien et maintenance des batteries - Changement des batteries tous les 5 à 7 ans - Les batteries introduisent un certain degré de perte de rendement d'environ 20% à 30% de la production d'énergie. - Coût élevé du système photovoltaïque.

Dans le cas où le moteur est à courant alternatif, un convertisseur électronique appelé onduleur est nécessaire pour convertir le courant continu provenant du générateur photovoltaïque en courant alternatif.

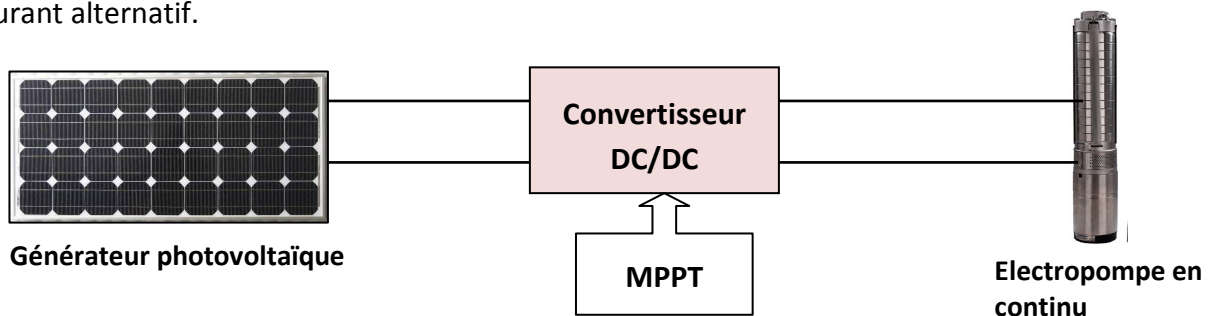


Figure II.5. Diagramme du pompage PV par électropompe DC

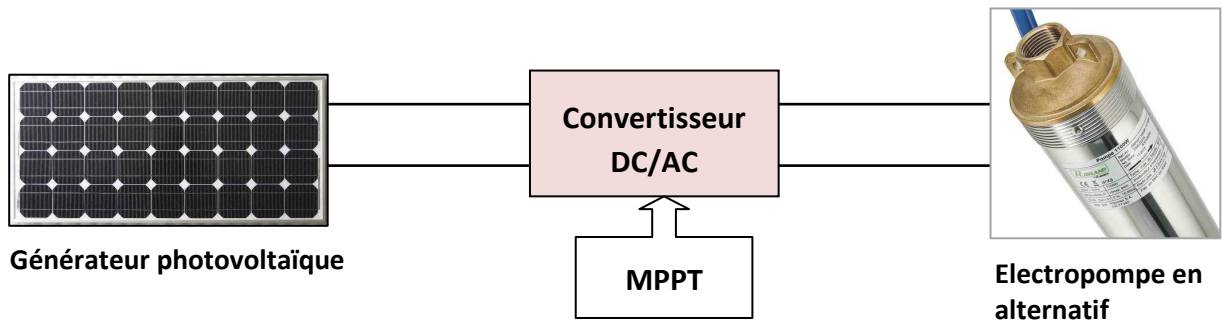


Figure II.6. Diagramme du pompage PV par électropompe AC

II.3.3. Pompage éolien

L'énergie mécanique récupérée par les éoliennes peut servir à actionner directement la pompe (éolienne de pompage mécanique) ou à produire de l'énergie électrique alimentant à son tour une motopompe, l'éolienne est alors appelée aérogénérateur (Figure II.7) [15].

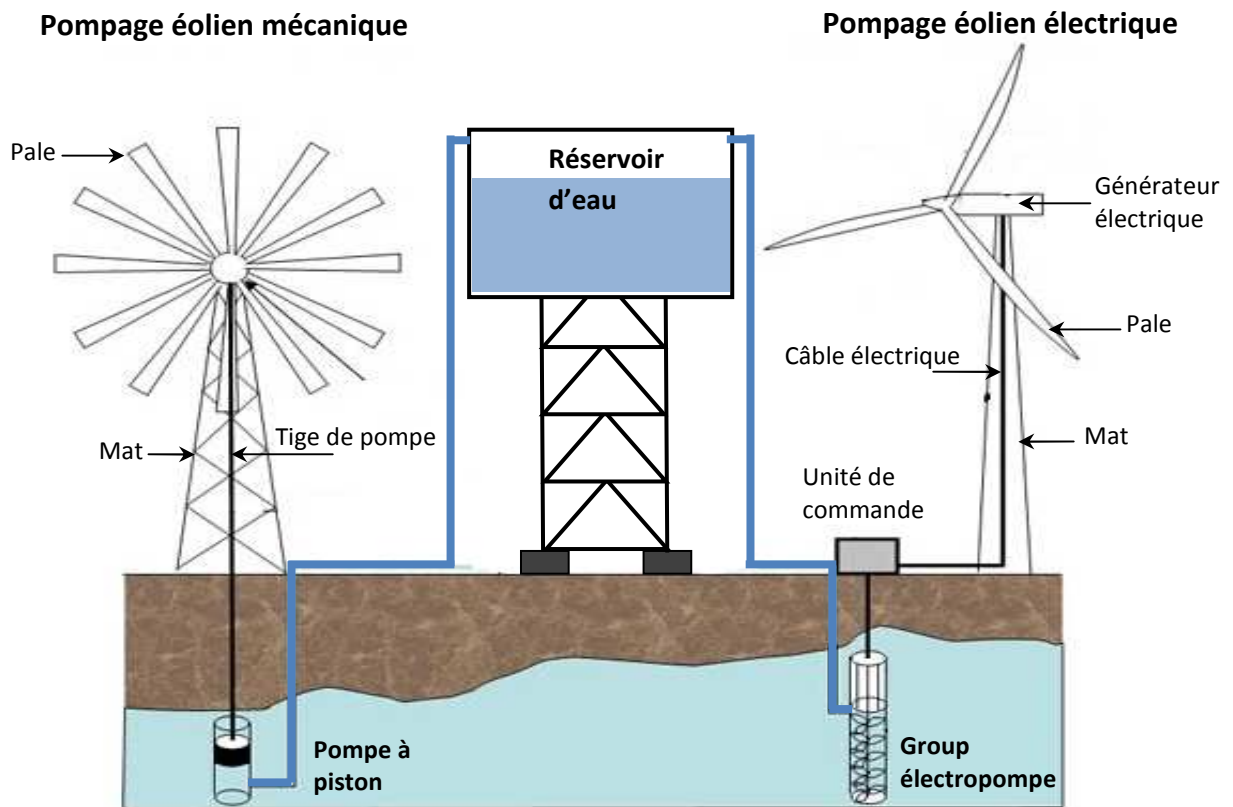


Fig. II.7. Installation du système de Pompage éolien électrique et mécanique.

a) Pompage éolien mécanique

C'est un système qui convient assez bien pour les zones peu ventées, avec des besoins en eau journaliers n'excédant pas les 20 m³ et des profondeurs de puits ne dépassant pas les 50 m.

L'éolienne de pompage mécanique est un système très ancien visible dans beaucoup de nos campagnes. Ce système, à la technologie éprouvée, reste très utilisé pour créer des points d'eau dans des endroits isolés dont le raccordement au réseau est impossible ou trop cher.

b) Pompage éolien électrique

Un rotor éolien muni de deux à trois pales est couplé à une génératrice à aimant permanent qui alimente directement un moteur à induction triphasé qui à son tour est couplé à une pompe, qu'elle soit de surface ou immergée. Pour un site isolé et assez bien venté, l'utilisation de l'énergie éolienne pour le pompage de l'eau peut s'avérer indispensable et très compétitive par rapport à d'autres sources d'énergie. Des deux systèmes éoliens de pompage décrit plus haut, on peut conclure que le pompage éolien électrique est nettement plus performant que le pompage éolien mécanique. Dans le cas des puits profonds et des grands débits, l'alternatif pompage éolien électrique reste l'unique solution.

I.4. Conclusion

Plusieurs architectures envisageables des systèmes de pompage ont été présentées dans ce chapitre : pompage avec réseau électrique (SONELGAZ), pompage photovoltaïque et pompage éolien. Ensuite, on a présenté les pompes volumétriques et pompes centrifuges, leurs principes de fonctionnement, leurs avantages et inconvénients. Nous avons également montré l'intérêt du pompage dit « au fil du soleil » et le pompage avec stockage d'énergie ainsi que les avantages et les inconvénients de ces deux types de pompage.

**CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DU
SYSTEME DE POMPAGE PV**

Introduction

La réalisation d'un système de pompage photovoltaïque autonome, fiable et à bon rendement, constitue une solution pratique et économique au problème du manque d'eau, en particulier dans les régions sahariennes et isolées. En effet, un système photovoltaïque devient intéressant lorsqu'il est facile à installer avec une autonomie acceptable et une excellente fiabilité de service.

Dans ce chapitre nous traitons principalement les éléments nécessaires qui permettent à la réalisation d'une station de pompage solaire sans oublier le dimensionnement de ces derniers et de faire les bons choix de matériels tant en quantité qu'en qualité.

Notre exemple pratique sera dans une région de la wilaya de Mostaganem où nous allons dimensionner le système Photovoltaïque de pompage autonome au fil du soleil.

III.1.Méthode de dimensionnement

Le dimensionnement du système de pompage photovoltaïque concerne essentiellement le calcul de la puissance crête du générateur photovoltaïque, le choix de la pompe et le choix du contrôleur répondants au service requis dans les conditions de référence. La démarche analytique adoptée dans le cadre de notre étude s'articule autour de quatre étapes suivantes [08] [05] :

- Besoins journaliers en eau.
- Dimensionnement et choix de la pompe.
- Energie solaire disponible et dimensionnement du champ photovoltaïque.
- Choix des composants.

Cette étude permet de déterminer et de faire le choix des différents composants : Le panneau solaire, la pompe, les batteries et le convertisseur d'une station de pompage solaire au fil du soleil.

III.1. Besoins journaliers en eau

Quantité d'eau ou besoin journalier est définie par l'agriculteur ou l'intéressé. Elle s'exprime en m^3 /jour.

III.2. Dimensionnement et choix de la pompe

Données nécessaires pour dimensionner la pompe solaire et ses composants :

- **Débit horaire de la pompe Q_p en m^3/h**

Quantité d'eau que la pompe peut fournir durant un intervalle de temps donné.

En pompage, le débit est habituellement donné en litres par heure (l/h).

En pompage solaire, le débit (ou le besoin en eau) est souvent exprimé en m^3 par jour.

- **Hauteur manométrique totale**

La hauteur manométrique totale (HMT) d'une pompe est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement.

- **capacité de stockage**

Le réservoir sert non seulement à stocker de l'eau mais il constitue aussi un régulateur de débit. Ainsi, la capacité utile du réservoir sera déterminée pour qu'elle puisse permettre de stocker les excédents de pompage pendant les heures de faibles consommations et de compenser le déficit entre le pompage et la consommation.

Schéma de principe

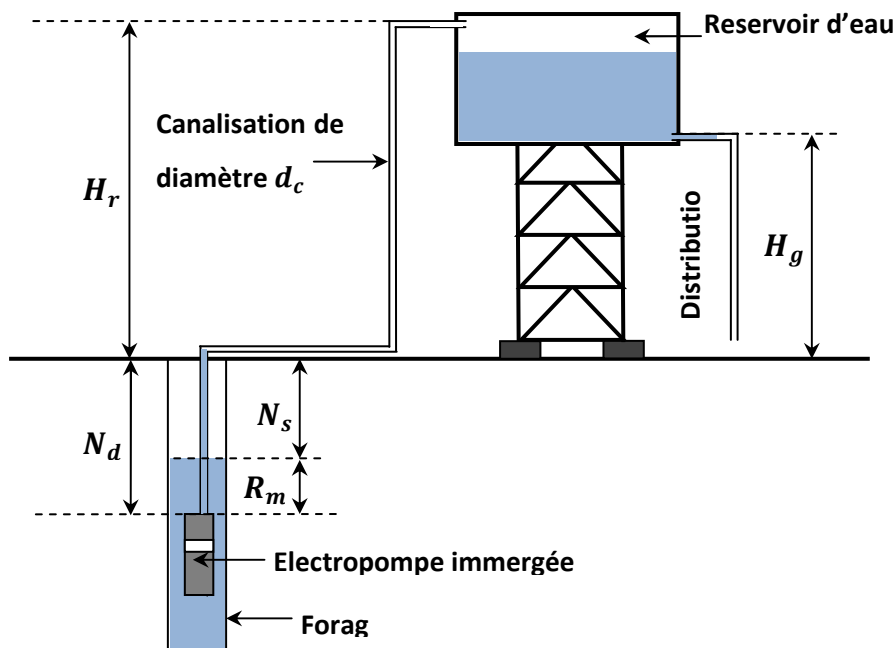


Figure III.1. Système de pompage d'eau avec stockage

Tableau III.1. Désignation des paramètres du système de pompage.

Symbole	Designation	Unité
H_r	Hauteur géométrique du sol au plan du haut du réservoir	m
H_g	Hauteur géométrique du sol au plan du bas du réservoir	m
N_s	Niveau de la nappe statique (au repos)	m
N_d	Niveau dynamique de la nappe (pour un débit moyen)	m
R_m	Rabattement maximal avant d'arrêter la pompe Nd–Ns	m

III.2.1. Détermination du débit horaire de la pompe Q_p en (m^3/h)

Pour estimer le débit maximal de la pompe en m^3/h , on prend approximativement la valeur de la demande journalière de pointe D_{jp} qu'on divise par le nombre heures d'ensoleillement maximal. Le débit horaire de la pompe est calculé de la manière suivante [01] :

$$Q_p = \frac{D_{jp}}{H_i} \quad (01)$$

H_i : Nombre d'heures d'ensoleillement.

III.2.2. Calcul du rabattement

Le rabattement est la différence entre le niveau dynamique et le niveau statique.

Pour déterminer le rabattement du forage à nappe libre, nous avons utilisé la formule de Jules **Dipuit** et la formule empirique de **Sichardt** [3].

$$Q = \frac{\pi K(H^2 - h^2)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad (02)$$

$$R = 3000(H - h)\sqrt{K} \quad (03)$$

$$\text{Donc } h = H - \frac{R}{3000\sqrt{K}} \quad (04)$$

En remplaçant l'équation 14 dans l'équation 12 on a :

$$Q \ln\left(\frac{R}{r}\right) = \frac{2\pi KHR}{3000\sqrt{K}} - \frac{\pi R^2}{3000^2} \quad (05)$$

H : Hauteur de la partie saturée en (m)

Q : Débit de pompage en (m^3/s)

K : Perméabilité du sol en m/s (la couche de roche rencontrée au niveau de la crépine de forage est l'argile qui a une perméabilité $K = 10^{-11}$ cm /s.)

r : Rayon du forage.

R : Rayon d'action ou d'influence du cône de dépression en (m)

h : Hauteur d'eau dans le forage pendant le pompage en (m)

L'épaisseur de la partie saturée (H) est la différence entre la profondeur (H_1) du forage et le niveau statique (N_s).

$$H = H_1 - N_s$$

Avec

H_1 : Profondeur totale du forage en (m).

N_s : Niveau statique en (m).

III.2.4. Conduite de refoulement

Le choix du diamètre de la conduite de refoulement est déterminé par la formule de Bresse [14]. Qui s'écrit

$$D = 24.23 \sqrt{Q} \quad (06)$$

Avec

Q : Débit de pompage en (l/s).

D : Diamètre de la conduite en (mm) [14].

III.2.5. Perte de charge totale et la HMT

$$HMT = H_r + N_d + P_T \quad (07)$$

$$P_T = P_l + P_s \quad (08)$$

Où

P_T : Pertes de charges totales.

P_l : Pertes de charge linéaire.

P_s : Pertes de charge singulières.

Calcul de perte de charge linéaire par la formule de Darcy-Weibach (1857) :

$$P_l = \lambda \frac{LV^2}{D^2g} \quad (09)$$

Avec :

λ : Coefficient de perte de charge dépend du nombre de Reynolds (Re)[08][16].

L : Longueur de la conduite de refoulement en (m).

V : la vitesse de découlement en (m/s).

D : Diamètre de la conduite en (m).

g : Constante gravitationnelle (m/s^2).

Calcul des pertes de charge singulières P_s .

$$P_s = \zeta \frac{V^2}{2g} \quad (10)$$

Avec : ζ la somme des coefficients de singularité.

III.2.6. Calcul de la hauteur d'élévation requise pour la motopompe

L'élévation est plus ou moins importante selon la configuration de l'installation ou l'application (épuisement, aspersion, irrigation, vidange, lavage). Son calcul est réalisé à partir de [13] :

Hauteur d'élévation = hauteur d'aspiration + hauteur de refoulement + perte de charge

III.3. Calcul de l'énergie électrique nécessaire par jour

L'énergie électrique journalière nécessaire E_{elec} en (kWh/j) pour soulever une certaine quantité d'eau sur une certaine hauteur donnée pendant une journée est calculée par la formule suivante [05] [08] :

$$E_{elec} = \frac{C_h \times Q_p \times HMT}{\eta_G} \quad (11)$$

η_G : Rendement du groupe de pompage :

$$\eta_G = \eta_{moteur} \times \eta_{pomp} \quad (12)$$

$C_h = 2,725$: Constante hydraulique, cette constante hydraulique dépend de la gravité et de la densité de l'eau.

Q_p : Débit horaire de la pompe en (m^3/h).

HMT : Hauteur manométrique totale de la pompe.

III.3. Energie solaire disponible et dimensionnement du champ photovoltaïque

III.3.1. Energie solaire disponible

Selon les données du premier chapitre on a détaillé plusieurs sites officiels de la carte d'ensoleillement de l'Algérie.

Pour la région de Mostaganem où on va installer notre système, nous a donné un ensoleillement moyen de 4.5KW/m²/j [10].

Le mois de dimensionnement sera le mois le plus défavorable, C'est à ce mois que le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire est minimum [08].

III.3.2. Dimensionnement du champ photovoltaïque

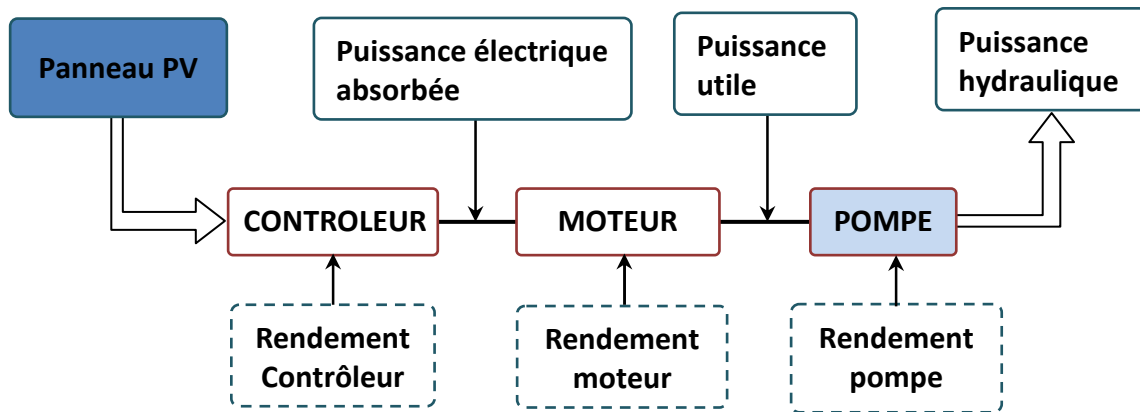


Figure III.2 Chaîne de conversion d'un pompage PV au fil du soleil.

III.3.2.1. Calcul de la puissance crête P_{Cr}

L'énergie fournie par les panneaux solaires en une journée doit être égale à l'énergie journalière consommée par la pompe [05] [17].

La puissance crête se calcule en fonction de trois facteurs :

- L'énergie électrique calculée selon les besoin de notre système E_{elec} .
- Le facteur de correction $F_c = 0.6a0.8$
- L'ensoleillement moyen du site d'installation E_{ns} .

$$P_{Cr} = \frac{E_{elec}}{F_c \times E_{ns}} \tag{13}$$

III.3.2.2. Tension du système

Comme on a expliqué dans le chapitre précédent la tension de système se détermine par un tableau des intervalles comme suit :

Tableau III.2. Tension de système photovoltaïque selon la puissance crête.

Puissance de champ	0-500w	500w- 2Kw	2Kw - 10 Kw	plus de 10Kw
Tension de système	12V	24V	48V	96V

III.3.2.3. Calcul de nombre de panneaux solaire

$$N_{bp} = \frac{P_{Cr}}{P_p} \tag{14}$$

Nombre de panneaux en série :

$$N_{bps} = \frac{V_{sys}}{V_{mp}} \tag{15}$$

Nombre de panneaux en parallèle :

$$N_{bps} = \frac{N_{bp}}{N_{bps}} \tag{16}$$

Avec :

N_{bp} : Le nombre total des panneaux.

P_{Cr} : La puissance crête de système.

P_p : La puissance du panneau.

V_{sys} : Tension de système.

V_{mp} : Tension nominal d'un panneau.

III.4. Critères de Choix de type de pompes

La pompe est choisie en fonction des caractéristiques du circuit de circulation et du débit de liquide dans ce circuit.

Pour traduire numériquement les caractéristiques d'un circuit, on calcule sa hauteur manométrique totale (HMT) [18].

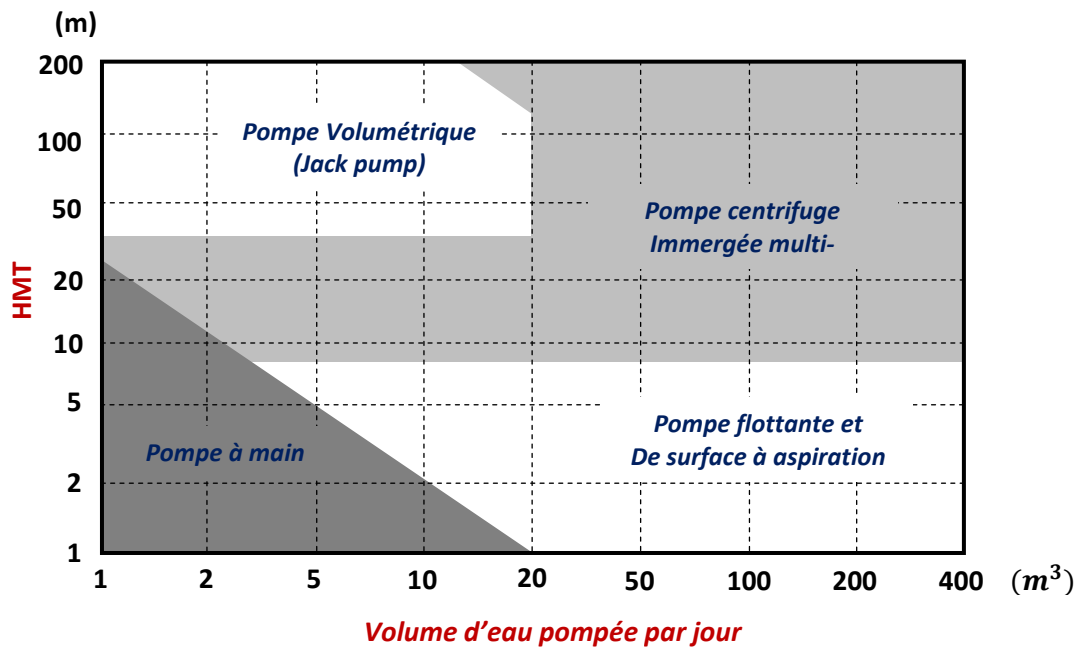


Fig. III.4 critère de choix de pompe selon besoin journalier et Hmt.

Tous les liquides à pomper n'ont pas les mêmes caractéristiques, les pompes soient immergées soient des motopompes répondent à des applications multiples selon :

- **La qualité de l'eau** : eaux claires et peu chargées ou eaux chargées.
- **Le débit et la pression** nécessaires en fonction des pertes de charge.

Pour les motopompes nous avons trois étapes essentielles pour bien choisir :

➤ **La hauteur d'aspiration**

C'est la hauteur entre le niveau d'eau pompée et l'axe de la pompe. Pour des raisons physiques, elle ne peut dépasser 8 mètres au-dessus du niveau de la mer.

➤ **La hauteur de refoulement**

C'est la hauteur entre l'axe de la pompe et le point le plus haut du réseau.

➤ **La perte de charge**

Il s'agit de la résistance rencontrée par l'eau dans les tuyaux.

Elle se calcule en fonction de la longueur, du diamètre, de la qualité des tuyaux, de leur forme et du nombre d'accessoires (on prendra 20 % pour les cas généraux).

III.5. Dimensionnement des batteries

III.5.1. Capacité totale de batteries

La capacité totale des batteries peut être approchée par la formule suivante [01] [04] :

$$C_{TBatt} = \frac{E_{elec} \times N_A}{V_{sys} \times D_P} \quad (17)$$

Avec :

N_A : Nombre de jours d'autonomie

D_P : La profondeur de décharge maximale acceptable pour la batterie.

IV.5.2. Nombre total de batteries

Le nombre total de batteries se calcule de la manière suivante :

$$N_{Tbatt} = \frac{P_{cr}}{C_{TBatt}} \quad (18)$$

Avec :

N_{Tbatt} : Nombre totale de batteries

P_{cr} : Puissance crete du système.

IV.5.3. Nombre de batteries en série et en parallèle

$$N_{batt_S} = \frac{V_{sys}}{V_{batt}} \quad (19)$$

$$N_{batt_P} = \frac{N_{Tbatt}}{N_{batt_S}} \quad (20)$$

Avec :

N_{batt_S} : Nombre de batterie en série.

V_{sys} : Tension du système.

N_{batt_P} : Nombre de batteries en parallèle.

V_{batt} : Tension de la batterie.

IV.6. Régulateur de charge

Le régulateur de charge assure plusieurs fonctions :

- limitation de la tension pour éviter les surcharges.
- Limitation de la décharge par délestage de l'utilisation, pour éviter les décharges trop profondes risquant d'endommager la batterie.
- Contrôle du fonctionnement du système par voyant ou affichage LCD.

Il doit être installé au plus près de la batterie pour limiter la longueur des câbles et donc les pertes d'énergies.

Il est préférable de choisir un emplacement sec et ventilé.

Le contrôleur de charge sera dimensionné à partir de paramètres suivants :

- Urey : Tension de contrôleur qui est égale à la tension de système.
- Ireg : Courant de contrôleur qui représente le courant total des panneaux.
- Ufonct : Plage de Tension d'entrée ou de fonctionnement de contrôleur. Il doit contenir la tension totale des panneaux solaire.

III.7. Section du câble

La section de câble de la partie continue, se calcule par la façon suivante :

La relation de la loi d'Ohm :

$$\Delta V(V) = R \times I \quad \text{Ou} \quad R = \frac{2 \times \rho \times L}{S} \quad (21)$$

$$\text{Or} \quad \Delta V(V) \leq \Delta V_L(\%) \times U(V)$$

Donc

$$\frac{2 \times \rho \times L}{S} \leq \Delta V_L(\%) \times U(V)$$

$$S \geq \frac{2 \times \rho \times L \times I}{\Delta V_L(\%) \times U(V)} \quad (22)$$

Avec : R : résistance totale du câble (Ω)

L(m) : longueur du câble.

S : section (mm^2) du conducteur.

ρ : Résistivité du cuivre.

ΔV (%) : Chute de tension limite.

La chute de tension maximale admissible exigée par la norme UTEC15-712 relative aux installations ne doit pas excéder 3% de la tension nominale dans la partie DC [08].

U(V): Tension à puissance maximale du générateur PV obtenu dans les conditions (STC).

I (A): Courant à puissance maximale générateur PV obtenu dans les conditions (STC).

$$I = I_{mp} \times \text{nombre de branche en parallèle}$$

Le tableau suivant donne la section des conducteurs cuivre en fonction de l'intensité maximale que le conducteur peut supporter [08].

Tableau III.3. Section nominale des câbles.

$S(mm^2)$	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
$I_{mp}(A)$	13	21	28	36	46	61	81	99	125	160	195	220	250	285	340	395

III.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons appris comment faire un dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque autonome avec toutes les étapes nécessaires, qui sont entre autres :

- Besoins journaliers en eau.
- Dimensionnement et choix de la pompe.
- Débit horaire de la pompe.
- Calcul de l'énergie électrique nécessaire par jour.
- Energie solaire disponible et dimensionnement du champ photovoltaïque.
- Choix des composants.

Le dimensionnement de ces composants s'avère indispensable pour la suite de notre travail, et le chapitre suivant fera l'objet des applications numériques de tous ces éléments précités.

**CHAPITRE IV : ETUDE ET ANALYSE
TECHNICO-ECONOMIQUE**

Introduction

Ces dernières années, l'état algérien a fait de grands efforts afin de promouvoir l'agriculture, notamment dans le sud. Plusieurs subventions sont données aux agriculteurs qui demandent fortement que le pompage photovoltaïque ait une subvention de 50% [01].

Ce chapitre est consacré à l'analyse économique incluant le coût d'investissement et la valeur actualisée des coûts d'exploitation, d'entretien et de remplacement des composants sur la durée de vie prévue des systèmes de pompage. Dans ce contexte, nous allons faire une étude pratique en exploitant la méthodologie de dimensionnement du système photovoltaïque et celui du groupe thermique que nous avons présenté dans le chapitre précédent.

Pour montrer la rentabilité, notre étude consiste alors à évaluer les coûts représentatifs d'un système de pompage photovoltaïque au fil du soleil installé dans la localité Mostaganem et aboutir à une estimation du coût du mètre cube d'eau pompée par ce système de pompage et celui pompé par un système fonctionnant avec l'électricité conventionnelle (SONELGAZ), ainsi que le système de pompage avec un groupe thermique en tenant compte l'amortissement des éléments du système. Dans nos calculs, le choix de la durée de vie du système est lié au fait que la durée de vie moyenne estimée des modules photovoltaïques est de 10ans.

IV.1. Présentation de la localité d'étude

Mostaganem est une Wilaya côtière située au Nord-Ouest du territoire national, à environ 360 Km l'Ouest d'Alger et à 80 Km à l'Est d'Oran. Elle couvre une superficie de 2.269 km² et dont les coordonnées géographiques sont 35°55'52" Nord et 0°05'21" Est, l'altitude par rapport au niveau de la mer est de 104 m. Son climat se caractérise par une température douce, la faiblesse des écarts thermiques et l'alternance quasi quotidienne des brises de mer et de terre. [13][21].

Tableau. IV.1. Données climatiques à Mostaganem.

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
T _{MOY} (°C)	11	12	14	17	19	21	24	25	23	20	16	13	18
Précipitations (mm)	92	72	60	40	35	9	2	3	16	46	76	75	44

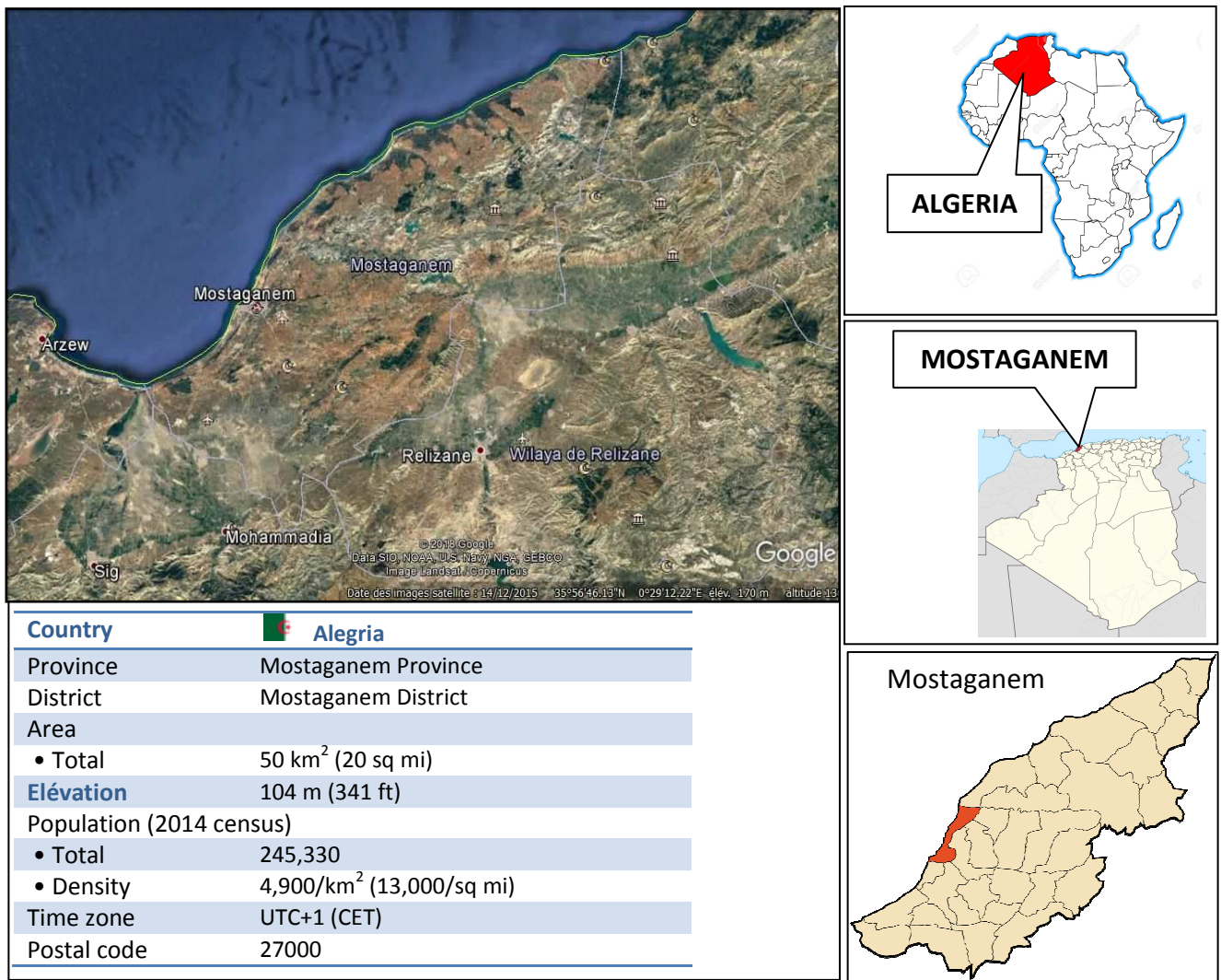


Fig. IV.1. Localisation de la Wilaya de MOSTAGANEM.

IV.2. Estimation des besoins journaliers en eau

L'estimation des besoins en eau constitue la base du dimensionnement de système de pompage solaire photovoltaïque. Elle correspond au débit total nécessaire pour satisfaire les besoins d'irrigations.

Généralement, les besoins peuvent être variables suivant les modes d'irrigations, goutte à goutte ou gravitaire.

Dans notre étude le besoin journalier est estimé à 30 m³ par jour, il s'agit d'une valeur moyenne de besoins en eau d'une ferme agricole de taille moyenne aux environs de Mostaganem.

IV.3. Estimation du potentiel d'énergie solaire à Mostaganem

Pour un meilleur rendement de l'énergie solaire disponible nous avons besoin d'une inclinaison optimale du générateur photovoltaïque et de la détermination du mois de dimensionnement.

IV.3.1. Estimation de l'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 [19].

Pour le dimensionnement, la période retenue sera le mois le moins ensoleillé avec une irradiation solaire de 4,5 kWh/m² par jour dans la région de Mostaganem.

Tableau. IV.2. Moyenne mensuelles d'ensoleillement (h) [19].

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jui.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Moyenne d'ensoleillement (h)	6.1	6.1	7.6	8.0	9.1	9.7	10.6	9.8	8.6	7.7	6.6	5.7

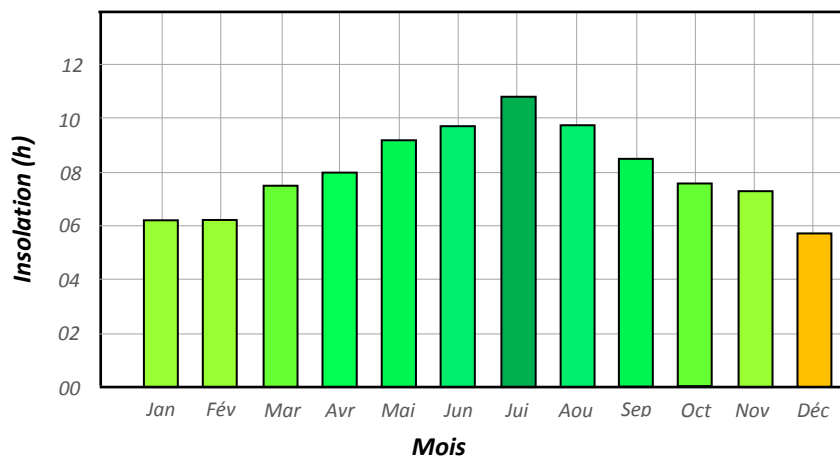


Fig. IV-2 Moyenne mensuelles d'ensoleillement (h) du site de Mostaganem.

IV.3.2. Calcul d'angle d'inclinaison optimale

Nous pouvons trouver l'inclinaison mensuelle tous les mois, mais par facilité, on peut également choisir une inclinaison pour chaque saison ou inclinaison annuelle pour toute l'année (voir le chapitre I).

$$\beta_{\text{opt}} = \varnothing + 10^\circ = 35.939838 + 10 \Rightarrow \beta_{\text{opt}} = 46^\circ$$

L'orientation et l'angle d'inclinaison des structures supports doivent optimiser l'énergie incidente sur le générateur solaire durant le mois le plus défavorable. La meilleure orientation correspond toujours à celle de l'azimut du soleil, soit : au nord dans l'hémisphère sud et au sud dans l'hémisphère nord [02].

IV.4. Dimensionnement et choix de la pompe

Dans cette partie, nous allons dimensionner deux types de pompe, la pompe immergée et la motopompe. Le choix des pompes sur le marché dépend des critères mentionnés dans le chapitre précédent.

Notre exemple est une ferme de 3 hectares. Son besoin journalier est de l'ordre de $30 \text{ m}^3/\text{jour}$ avec 50m de profondeur du forage comme il est illustré dans la figure IV.3, sachant que le débit exploitable est environ de $20 \text{ m}^3/\text{h}$.

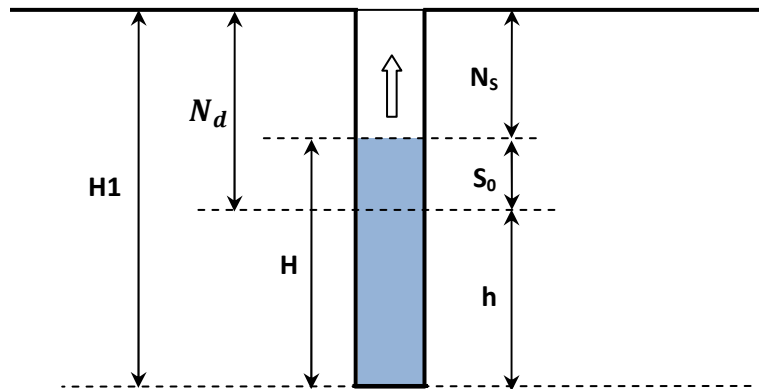


Figure IV.3. Schéma du forage.

IV.4.1. Capacité de la citerne

Afin de l'utiliser pendant la nuit ou dans le cas d'insuffisance d'ensoleillement. Cette opération est plus pratique puisque le coût est très bas et la construction de réservoir ne nécessite pas beaucoup de dépense pour le changement ou l'entretien. C'est une citerne en béton armé installée au sol avec une surface de 3 m^2 et une hauteur d'eau de 5m, donc sa capacité est de 45 m^3 et la distance entre le forage et la citerne est environ de 10m. (Voir la figure. IV.4 et IV.5).

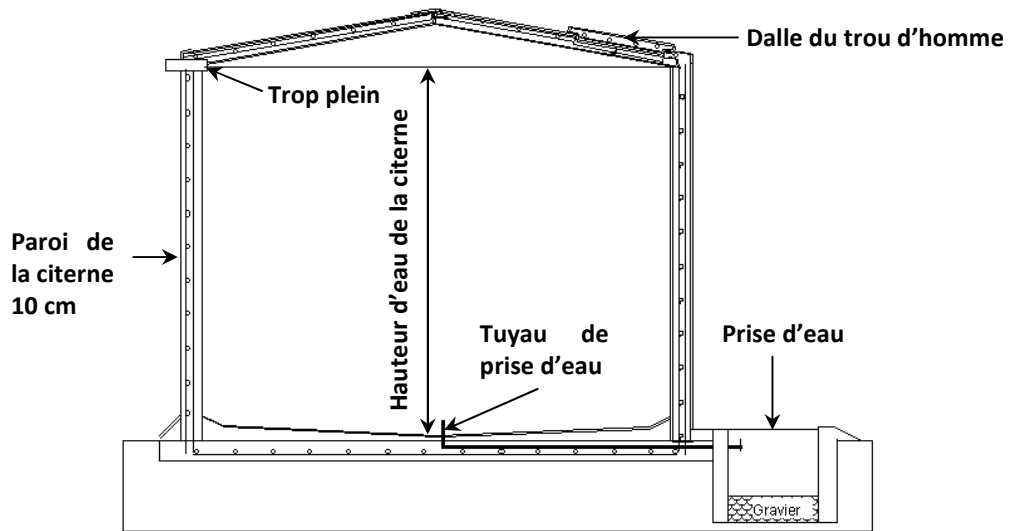


Figure IV.4. Coupe verticale de la citerne en ferrociment.

IV.4.2. Dimensionnement de la pompe immergée

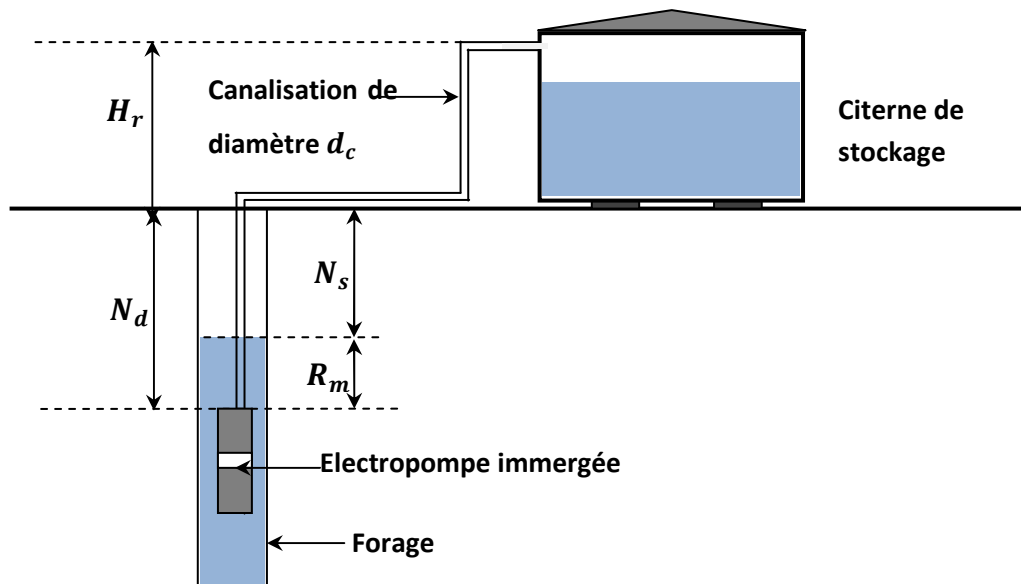


Figure IV.5 : Système de pompage avec stockage [17]

IV.4.2.1. Détermination du débit horaire de la pompe Q_p en (m^3/h)

$$Q_p = \frac{D_j}{H_i} = \frac{30}{5.7} \Rightarrow Q_p = 5.26 m^3/h$$

H_i : Nombre d'heure d'ensoleillement.

D_j : La valeur de la demande journalière de pointe.

IV.4.2.2. Calcul de la Hauteur manométrique totale HMT

A. Calcul du rabattement

Le rabattement est la différence entre le niveau dynamique et le niveau statique

Tableau. IV.3. caractéristique du forage

Profondeur totale	Hauteur de la partie saturée	Diamètre du forage	Niveau statique	Perméabilité du sol	Niveau dynamique
$H_1(m)$	$H(m)$	$D_F(m)$	$N_S(m)$	K	$h(m)$
50	45	0.2	5	10^{-11} cm/s	

Sous l'effet du pompage, le niveau de la nappe baisse.

$$H = H_1 - N_S = 50 - 5 \Rightarrow H = 45m$$

Le rayon d'action (R)

$$Q \ln\left(\frac{R}{r}\right) = \frac{2\pi KHR}{3000\sqrt{K}} - \frac{\pi R^2}{3000^2} \Rightarrow R = 0,33m$$

Calcul de la hauteur d'eau dans le forage pendant le pompage $h(m)$

$$h = H - \frac{R}{3000\sqrt{K}} = 45 - \frac{0.33}{3000\sqrt{10^{-11}}} \Rightarrow h = 10m$$

D'où le rabattement (S_0) est la différence entre l'épaisseur de la partie saturée (H) et la hauteur (h) d'eau dans le forage pendant le pompage avec le débit maximal.

$$S_0 = H - h = 45 - 10 \Rightarrow S_0 = 35m$$

B. Calcul du niveau dynamique

$$N_d = N_S + S_0 = 5 + 35 \Rightarrow N_d = 40m$$

C. Conduite de refoulement

Le choix du diamètre de la conduite de refoulement est déterminé par la formule de

Bresse qui s'écrit $D = 47.23\sqrt{Q}$, avec Q en (l/s) et D en (mm) [16].

$$Q_p = 5.26 m^3/h = 1.46 l/s$$

$$\text{Donc } D = 47.23\sqrt{1.46} \Rightarrow D=57mm.$$

Les calculs donnent un diamètre de 57 mm. Le diamètre le plus proche et qui sera adopté pour la conduite de refoulement est le 61.4/66. La vitesse d'écoulement dans la conduite de diamètre 61.4 est de 0.51 m/s [20].

La conduite de refoulement a les caractéristiques suivantes [14] :

- Nature : tubes en plastique

- Diamètre (mm) : 61.4/66
- Classe de pression (bar) : 10
- Perte de charge en mètres par 100 mètres de conduite $P_T = 0.49m$.

D. Hauteur manométrique totale HMT

Pour éviter que le réservoir d'eau soit trop surélevé, ce qui rendra plus coûteux le système de pompage solaire, on prendra la hauteur du réservoir (H_r) par rapport au sol égal à 5 mètres.

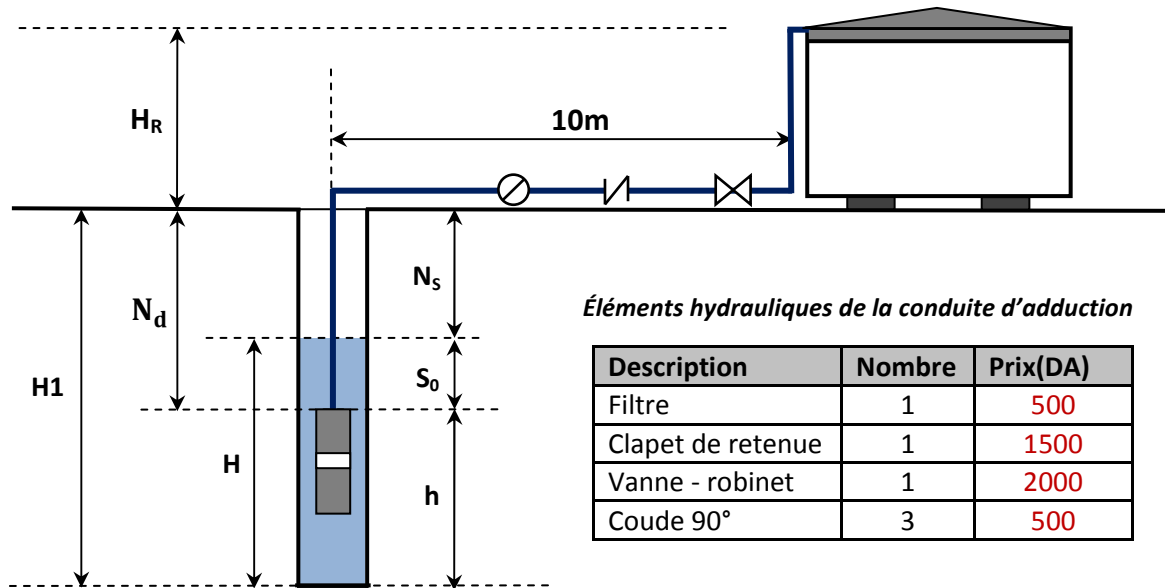


Figure IV.6 Schéma du réseau d'adduction

$$HMT = H_R + N_d + P_T$$

$H_R = 5m$: Hauteur du réservoir.

$N_d = 40m$: Niveau dynamique de la nappe.

E. Calcul de la somme des pertes de charges P_T .

Dans une canalisation de section constante, dans laquelle circule un fluide (de l'eau par exemple), le frottement de ce fluide sur les parois provoque des pertes de charge, c'est-à-dire une diminution de pression.

Elles sont exprimées en "mètre de conduite d'eau" (mCE) ou en "pascal" (Pa).

Il existe deux sortes de pertes de charge :

- Les pertes de charge linéaires (tube droit).
- Les pertes de charge dites accidentelles (coudes).

$$P_T = P_l + P_s$$

P_l : Pertes de charge linéaire.

P_s : Pertes de charge singulières.

Calcul de perte de charge linéaire par la formule de Darcy-Weibach (1857) :

$$P_l = \lambda \frac{LV^2}{D2g}$$

Le coefficient λ dépend du nombre de Reynolds (Re), qui représente le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses.

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{1000 \times 0.51 \times 0.061}{10^{-3}} \Rightarrow Re = 31110su.$$

Avec :

ρ : Masse volumique de l'eau en (Kg/m^3). $\rho = 1000Kg/m^3$

μ : viscosité dynamique en ($Kg/m.s$). $\mu = 10^{-3} Kg/m.s$

D : Diamètre de la conduite en (m). $D=0.061m$. Et $V=0,51m/s$

$Re > 10^4$ Donc le coefficient λ est déterminé à l'aide de la formule de Cole brook : $\lambda = 0,0225$

Calcul de la Longueur de la conduite de refoulement.

$$L = H_r + N_d + 10 = 5 + 40 + 10 = 55m$$

Par application numérique nous avons :

$$P_l = 0.0225 \times \frac{55 \times 0.51^2}{0.061 \times 2 \times 9.81} \Rightarrow P_l = 1m$$

Calcul des pertes de charge singulières P_s .

$$P_s = \zeta \frac{V^2}{2g}$$

Avec ζ la somme des coefficients de singularité voir le tableau **IV.3**.

Tableau IV.4. Coefficient de singularité des éléments hydrauliques.

Description	Nombre	ζ
Filtre	1	1
Clapet de retenue	1	2
Vanne - robinet	1	1
Coude 90°	3	0.75
Total		6.25

Par application numérique nous avons :

$$P_s = 6.25 \times \frac{0.51^2}{2 \times 9.81} \Rightarrow P_s = 1.03m$$

$$P_T = P_l + P_s = 1 + 0.082 = 1.08m$$

$$HMT = H_R + N_d + P_T = 5 + 40 + 1.08$$

Hauteur manométrique totale HMT=47m

Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau. IV.5. Résultats des calculs.

Niveau statique	Rabatement	Niveau dynamique	Hauteur du réservoir	Perte charge totale	Hauteur manométrique	débit horaire de la pompe
$N_s(m)$	$S_o(m)$	$N_d(m)$	$H_r(m)$	$P_T(mCE)$	HMT(mCE)	$Q_p(m^3/h)$
5	35	40	5	2	47	5.26

IV.4.2.3.Choix de la pompe immergée

Le débit nécessaire que doit fournir la pompe est de $5.26m^3/h$. De ce fait, nous devons trouver une pompe capable de fournir un tel débit.

IV.4.2.4. Caractéristiques de la pompe immergée

▪ Caractéristiques électriques

Selon le catalogue LORENTZ la pompe solaire immergée de type pompe immergée PS600C-SJ5-8 est capable de refouler ce débit nécessaire. Les caractéristiques techniques se trouvent dans le tableau ci-après [14]:

Tableau. IV.6. Caractéristiques électriques de la pompe [14].

Marque LORENTZ	
Type :	Pompe immergée PS600C-SJ5-8
Débit maxi :	6,5 m ³ /h
HMT maxi :	0-50 mCE
Diamètre de forage Min	4,0 in (10.16cm)
Prix (DA) :	220000.00
Moteur ECDRIVE 600-C (DC sans balais)	
Puissance nominale :	0,70 kW
Efficacité max. :	92 %
Immersion maxi :	250 m
Vitesse du moteur :	900 – 3300 rpm
Contrôleur PS600	
Type :	PS600
Puissance max :	0,7 kW
Tension nominale :	48 V
Tension d'entrée maxi :	150 V
Intensité du moteur maxi :	13 A
Efficacité maxi :	98 %
Température ambiante :	30 à 50 ° C

▪ **Caractéristiques physiques**

Dans la figure IV.6. Nous représentons une photo graphique d'une pompe immergée de la référence PS600C-SJ5-8 et de son contrôleur PS600, avec une coupe verticale.

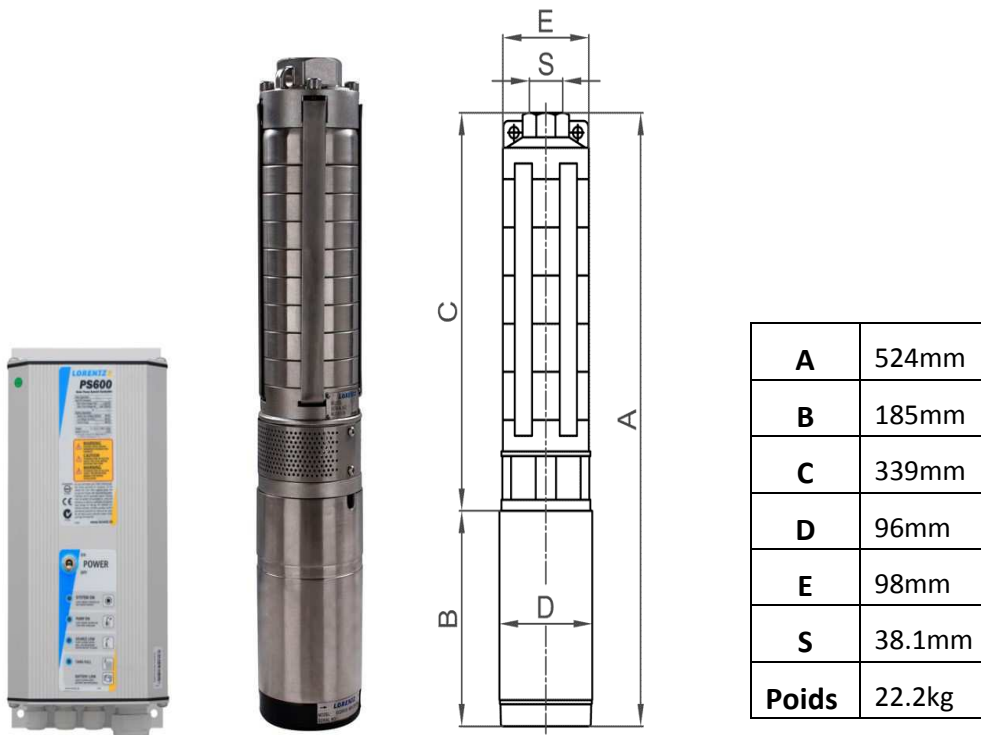


Fig.IV.7. Dimension de la pompe immergée PS600C-SJ5-8 [14].

IV.4.3. Dimensionnement de la motopompe

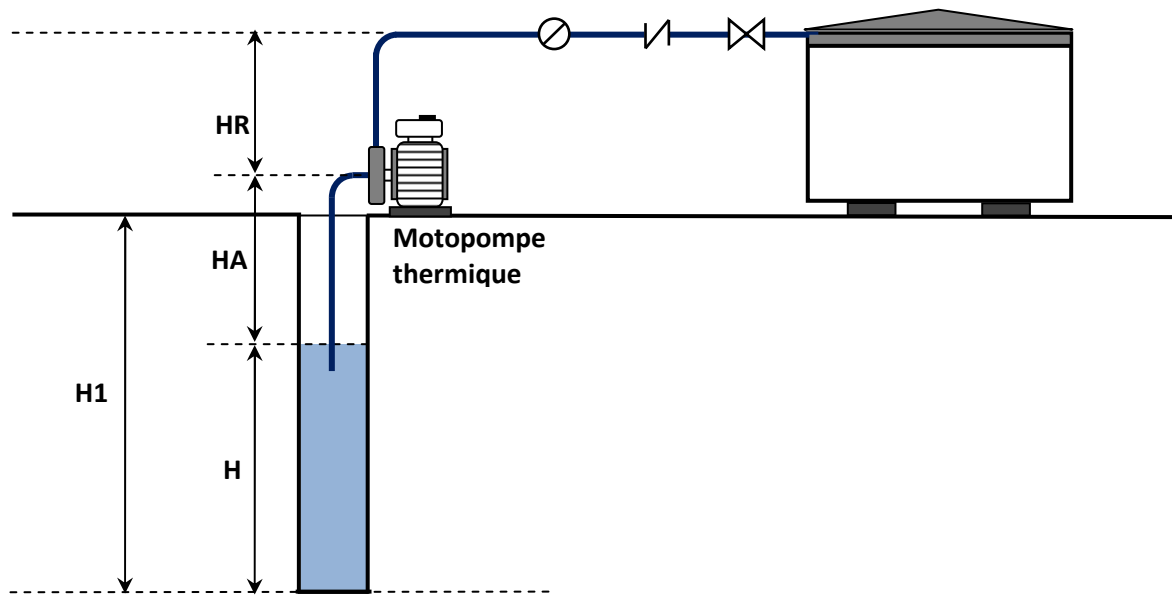


Figure IV.8. Schéma du réseau d'adduction avec une motopompe.

IV.4.3.1. Détermination du débit horaire de la pompe Q_p en (m^3/h)

$$Q_p \leq Q_{ex}$$

Q_{ex} : Débit exploitable ($20 m^3/h$).

IV.4.3.2. Calcul de la Hauteur manométrique totale HMT

$$HMT = HA + HR = 10m$$

IV.4.3.3. Choix de la motopompe

Indépendantes des réseaux électriques et facilement transportables ces pompes sont idéales pour le transfert d'eau dans les endroits éloignés.

Irrigation ou lavage en extérieur à partir d'eau de rivière ou d'étang, remplissage ou vidange de réservoir et bassin, indisponibilité de l'énergie électrique...[21].



Fig. IV.9. Motopompe Diesel, 366L/min.

IV.4.3.4. Caractéristiques de la motopompe

Les caractéristiques techniques se trouvent dans le tableau IV.7

Tableau. IV.7. Caractéristiques techniques de la motopompe [21].

Marque :	WORMS
Type de pompe :	Pompe à eau thermique diesel
Ø du Raccord d'Aspiration :	50mm
Ø du Raccord de Refoulement :	50mm
Débit Maximum :	20m ³ /h
HMT maxi :	26 m
Hauteur d'Aspiration Maximum HA :	8m
Moteur	KM178. Diesel
Type :	Starter manuel à tirette
Carburant :	Diesel
Capacité du Réservoir :	3.6 L
Autonomie Moyenne :	3h
Dimensions LxIxH (mm) :	565 x 450 x 485
Poids :	37 kg
Prix :	120000.00 DA

IV.4.4. Calcul de l'énergie électrique nécessaire par jour

D'après la littérature, le rendement du moteur de la pompe immergée (η_{moteur}) est de 75% à 85%, et le rendement de la pompe est 45% à 65% (η_{pompe}). Dans notre exemple, on prendra la valeur médiane pour chaque rendement, soit respectivement 80% et de 55%

$$\eta_G = \eta_{moteur} \times \eta_{pompe} = 0.80 \times 0.55 \Rightarrow \eta_G = 0.44 \text{ Soit } 44\%$$

$$E_{elec} = \frac{C_h \times Q_p \times HMT}{\eta_G} = \frac{2.725 \times 30 \times 47}{0.44} = 8732.38 \text{ Wh/j}$$

L'énergie électrique nécessaire par jour = 8.7KWh

IV.5. Dimensionnement du champ photovoltaïque

IV.5.1. Calcul de la puissance crête du système photovoltaïque P_{Cr}

Dans notre application, le panneau solaire choisi est de type Poly cristallin 250Wc est cela suivant ces caractéristiques électriques et physiques.

Ce panneau solaire bénéficie d'une fabrication à la pointe de la technologie, qui lui confère un rendement élevé et une excellente durée de vie (Garantie 25 ans). (90% de la puissance nominale annoncée) et une garantie constructeur de 3 ans pièces et main d'œuvre [22].

Tableau. IV.8. Caractéristiques du panneau.

Caractéristiques électriques	Caractéristiques physiques de la fabrication
- Puissance crête (WC) selon CTS* : 250 WC	- Longueur : 1650 mm
- Tolérance de la puissance : ±3 %	- Largeur : 992 mm
- Courant à puissance max. (I_{MAX}) : 8,20 A	- Epaisseur : 35 mm
- Tension à puissance max. (V_{MAX}) : 30,90 V	- Poids : 19 Kg
- Courant de court-circuit (I_{CC}) : 8,80	
- Tension de circuit ouvert (V_{CO}) : 37,70 V	
- T°C d'utilisation : -40°C à +85°C	

L'ensoleillement moyen de site d'installation : $E_{ns} = 4.5 \text{ Kw/m}^2/\text{j}$

$$P_{Cr} = \frac{E_{elec}}{F_c \times E_{ns}} = \frac{8700}{0.6 \times 4.5} \Rightarrow P_{Cr} = 3222 \text{ Wc}$$

IV.5.2. Détermination de la tension du système.

D'après le tableau III.2 de tension de système photovoltaïque selon la puissance crête, la tension de système convenable est : $U_{sys} = 48 \text{ V}$

IV.5.3. Calcul de nombre de panneaux P_p

$$N_{panneau} = \frac{P_{cr}}{P_p} = \frac{3222.22}{250} = 12.88 \Rightarrow N_{panneau} = 14 \text{ panneau.}$$

IV.5.4. Calcul de nombre de panneaux en série $N_{psérie}$

$$N_{psérie} = \frac{U_{sys}}{V_{mp}} = \frac{48}{30.9} = 1.50 \Rightarrow N_{psérie} = 2 \text{ panneaux.}$$

IV.5.5. Calcul de nombre de panneaux en parallèle $N_{pparallel}$

$$N_{pparallel} = \frac{N_{panneau}}{N_{psérie}} = \frac{14}{2} \Rightarrow N_{pparallel} = 7 \text{ panneaux.}$$

Donc nous avons 7 strings chacun comporte 2 panneaux.

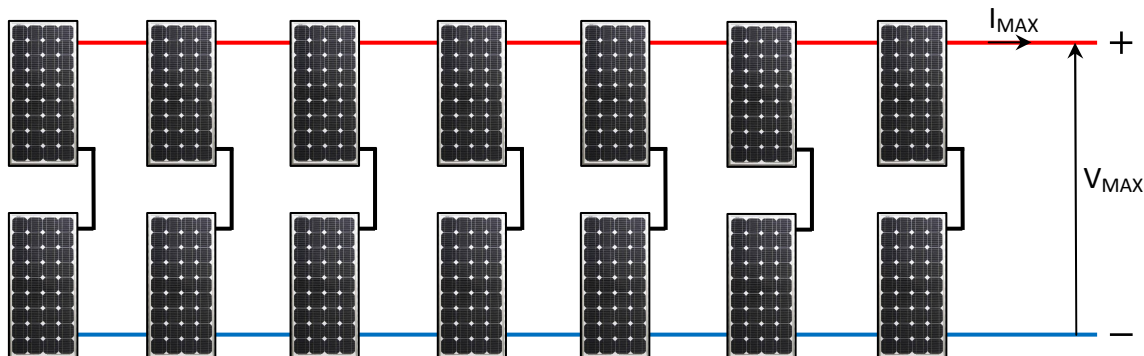


Fig. IV.10. Schéma de la configuration des panneaux PV.

Les caractéristiques électriques du générateur PV installées sont données dans le tableau IV.9.

Tableau IV.9. Caractéristiques électriques du générateur PV installée.

Puissance du générateur P_c (KW _c)	Tension du générateur V_{MPPT} (V)	Intensité du générateur I_{MAX} (A)	Configuration		Nombre de panneaux
			N_p	N_s	
3.5	61.8	57.4	7	2	14

Tableau IV.10. Compatibilité du contrôleur avec le générateur PV installée

	Valeur	vérification
Tension circuit ouvert du générateur PV	$V_{CO.GEN}=75.4V$	OK
Intensité MPPT du générateur PV	$I_{MAX.GEN}=49A$	OK
Tension maximale du contrôleur	$U_{MAX.CON}=150V$	OK
Intensité maximale du contrôleur	$I_{MAX.CON}=13A$	OK

D’après le tableau précédent, on constate que cette configuration des panneaux PV est compatible avec la tension et l’intensité d’entrée du contrôleur.

IV.6. Calcul de section du câble

$$\frac{2 \times \rho \times L}{S} \leq \Delta V_L(\%) \times U(V) \Rightarrow S \geq \frac{2 \times \rho \times L \times I}{\Delta V_L(\%) \times U(V)}$$

ΔV_L : Chute de tension limite, la chute de tension maximale admissible exigée par la norme UTE C15-712 relative aux installations ne doit pas excéder 3% de la tension nominale dans la partie DC.

On prendra 3 % pour faire le calcul.

$$\rho = 0.017 \text{ (0,017 } \Omega \cdot \text{Mm}^2 / \text{m)}$$

$L = 7 \text{ m}$: Afin de réduire les chutes de tension entre le générateur PV et le contrôleur.

$I_{Max} = 57A$: Courant max du générateur.

$$S \geq \frac{2 \times 0.017 \times 7 \times 57}{0.03 \times 75.4} = 5.9 \text{ mm}^2$$

On obtient une section normalisée en cuivre de 6 mm² de valeur admissible I_z [8].

$$\text{Valeur du câble} \geq 1,56 \times I_{SC} \times N_p = 1,56 \times 8.8 \times 7=96A$$

Câble choisi est de valeur $I_z= 100 \text{ A}$

IV.7. Equipements de protection [23][24]

IV.7.1. Choix du fusible

La valeur des fusibles doit être choisie comme suit :

- Tension assignée $\geq 1,20 \times V_{OC} \times N_S$
- Courant assigné $\geq 1,56 \times I_{SC} \times N_P$
- Vérifiez que la capacité de transport de courant du fusible choisi, après déclassement en fonction de la température ambiante du fusible, répond toujours aux critères ci-dessus

Courant assigné maximum $\leq I_z =$ valeur du câble du groupe.

Tension assignée minimum de fusible $\geq 1,20 \times V_{OC} \times N_S = 1.2 \times 75.4 \times 2$

Tension assignée minimum de fusible $\geq 180V$

$1,56 \times I_{SC} \times N_P \leq$ Courant assigné maximum \leq Valeur du câble

$96 \leq$ Courant assigné maximum ≤ 100

Le fusible choisi doit être d'une valeur de 100 A et 1 000 V DC Le numéro de pièce

Bussmann serait PV-100ANH1 ou PV-100A-01XL.

IV.7.2. Interrupteur –sectionneur

Il sera placé juste à la sortie du générateur et servira entre autres d'isoler électriquement le champ PV afin de permettre des opérations de maintenance en sécurité. Il doit être dimensionné selon la règle suivante :

Tension assignée de fonctionnement $\geq 1,20 \times V_{OC} \times N_S = 1.2 \times 75.4 \times 2 = 180V$.

Intensité nominale $\geq 1,5 \times I_{CC} \times N_P = 1.5 \times 8.8 \times 6 = 79.2A$

Nous choisirons un interrupteur sectionneur de type SBN240 constitué de 2 pôles ; d'intensité nominale 100 A ; et de tension maximale 250 Vcc.

IV.7.3. Parafoudre

Le parafoudre permet de protéger contre les risques de surtensions éventuelles dans l'installation. Pour prévenir les surtensions dues à la foudre, la protection contre les risques de surtensions induites dans le circuit de la partie à tension alternative de l'installation est important ainsi que la partie à tension continue.

Le parafoudre DC choisi est de type DS210-24DC de :

Courant maximal : 6 kA

Tension maximale 150 VDC ;

IV.7.4. Mise à la terre

La mise à la terre est une protection contre tout accident électrique éventuel sur une personne en contact avec un appareil présentant un défaut électrique et aussi une protection pour le matériel mis en place dans le système. On relie donc tout l'équipement électrique et les parties métalliques à la terre à l'aide d'un conducteur de faible résistance (5 ohms), de sorte que le courant électrique en défaut soit évacué dans la terre. Le conducteur de terre qui assure la liaison entre la prise de terre et la barrette de mesure est de 16 mm² en cuivre isolé ou 25 mm² en cuivre nu. Le conducteur de terre qui assure la liaison entre la barrette de mesure et aux équipements est un câble en cuivre de couleur jaune-verte de 6 mm² [08].

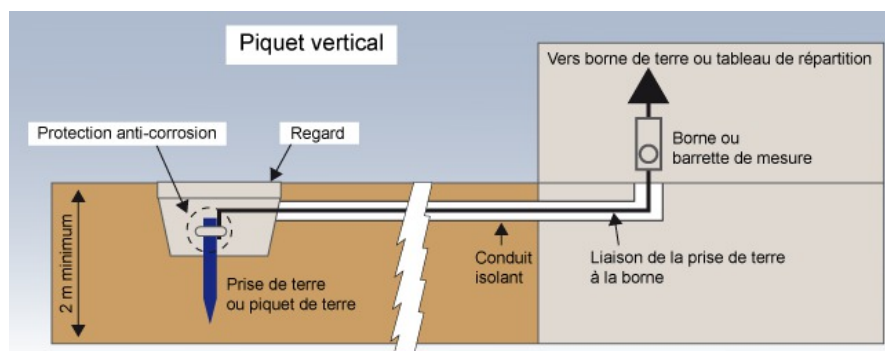


Fig. IV.12. installation de la mise à terre.

IV.7.5. Capteur de niveau d'eau

Le contrôleur surveille le niveau d'eau dans le forage grâce un capteur pour éviter que la pompe soit dénoyée. Il contrôle ainsi le niveau d'eau dans le réservoir grâce un capteur. Nous choisirons 2 capteurs de niveau de caractéristique identique : GBS 01 avec une plage de mesure entre 0,1 à 25 bar.



Fig. IV.13.a. Flotteur détecteur débordement liquide cuve réservoir citerne capteur niveau d'eau étanche Maroc.



Fig. IV.13.b. Interrupteur à Flotteur Switch Acier Inox Horizontal Capteur Niveau Eau Liquide

IV.8. Représentation du système de pompage global

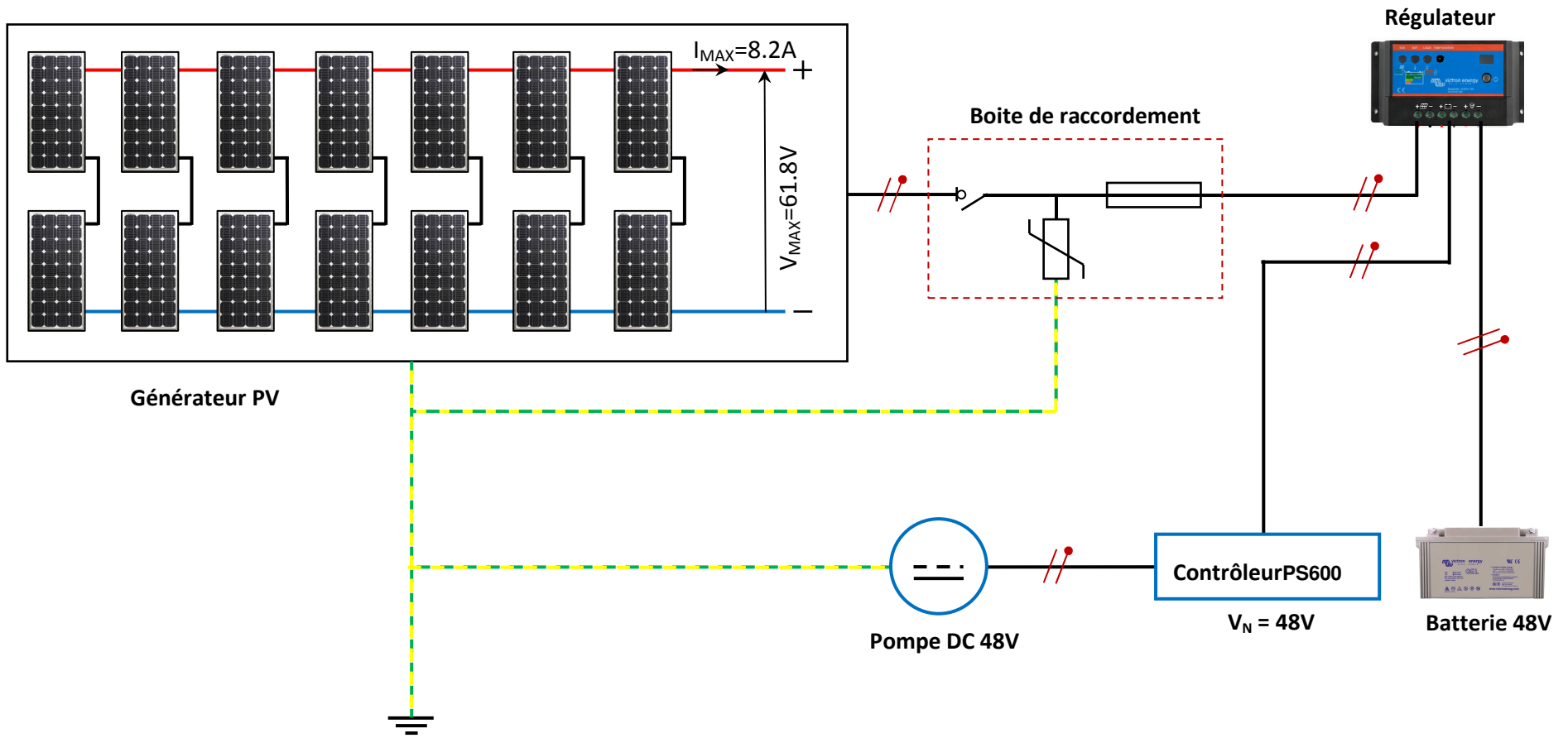


Fig. IV.14. Schéma d'installation du système de pompage photovoltaïque.

IV.9. Analyse économique

L'objectif de notre étude consiste à donner une analyse économique afin d'évaluer les coûts représentatifs d'un système de pompage qui utilise l'énergie solaire et celui qui utilise l'énergie de SONELGAZ ainsi que le système de pompage avec groupe thermique, en incluant le coût d'investissement, d'exploitation et d'entretien sur une durée de vie prévue du système. Cette étude aboutit à une estimation du coût du mètre cube d'eau pompée par nos systèmes de pompage.

IV.9.1. Analyse économique du pompage photovoltaïque

Nous représentons dans le tableau IV.11 les couts d'investissement du système de pompage photovoltaïque.

Tableau. IV.11. Cout d'investissement du système de pompage photovoltaïque [22].

N°	Désignation	Prix unitaire	Quantité	Montant (DA)
01	Panneau	27500,00	14	385000.00
02	Pompe + contrôleur	250000,00	01	250000.00
03	fusible	150,00	02	300.00
04	Interrupteur sectionneur	2500,00	01	2500.00
05	Parafoudre	2800,0	01	2800.00
06	Câbles + accessoires	20000,00	01	20000.00
07	Capteur de niveau	2500,00	02	5000.00
08	Filtre	800,00	01	800.00
09	Robinet d'arrêt	2000,00	02	4000.00
10	Coude 90°	600,00	03	1800.00
11	Réservoir	50000,00	01	50000.00
12	Installation du système	150000,00	01	100000.00
Total				822200.00

IV.9.2. Analyse économique de pompage en utilisant le réseau SONELGAZ

Dans le tableau IV.12 nous illustrons les couts d'investissement du système de pompage qui utilise l'énergie électrique de SONELGAZ.

Tableau IV.12 .détail de la facturation (voir ANNEXE 2)

Consommation par trimestre(KW)								783.00
PREMIERE TRANCHE		DEUXIEME TRANCHE		TROISIEME TRANCHE		QUATRIEME TRANCHE		PRIMES FIXES (DA)
CONSOMMATION	PRIX UNITAIRE (DA)	CONSOMMATION	PRIX UNITAIRE (DA)	CONSOMMATION	PRIX UNITAIRE (DA)	CONSOMMATION	PRIX UNITAIRE (DA)	
125.00	1.7787	125.00	4.1789	533.00	4.8120			
CALCUL DES TAXES ET RECAPITULATION								
				MONTANT HORS T.V.A (DA)	T.V.A		MONTANT TOUTES TAXES(DA)	
					TAUX %	MONTANT (DA)		
				744.70	07	52.13	796,83	
				2563.73	17	435.83	2999,56	
PRIMES FIXES				78.66	7	5.51	84,17	
DROIT FIXE				100.00			100,00	
TAXE HABITATION				150.00			150,00	
DROIT DE TIMBRE							44,00	
MONTANT TOTAL A PAYER EN ESPECES PAR TRIMESTRE								4274,56
MONTANT TOTAL A PAYER EN ESPECES PAR ANS								17098,24
MONTANT TOTAL A PAYER PENDANT 10 ANS								170982,40

Pour montrer la rentabilité, nous avons calculé le prix du *Kwh* du système photovoltaïque, et nous avons comparé au prix à payer pour le système fonctionnant avec l'électricité conventionnelle (SONELGAZ). D'après les résultats obtenus, nous constatons que le coût total du système photovoltaïque est relativement cher.

IV.9.3. Analyse économique de la motopompe thermique

Dans le tableau IV.13 nous illustrons les coûts d'investissement du système de pompage qui utilise la motopompe thermique.

Tableau. IV.13. Coût d'investissement du système de pompage avec la motopompe [22].

N°	Désignation	Prix unitaire	Quantité	Montant (DA)
01	Groupe thermique	120000,00	01	120000.00
02	Compteur d'eau	15000,00	01	15000.00
03	Capteur de niveau	2500,00	02	5000.00
04	Filtre	800,00	01	800.00
05	Robinet d'arrêt	2000,00	02	4000.00
06	Coude 90°	600,00	03	1800.00
07	Réservoir	50000,00	01	50000.00
08	Installation du système	30000,00	01	30000.00
09	Consommation moyenne du carburant (3 l/j)	25,00	10950	273750.00
10	Coûts de la maintenance			45000.00
Total				545350.00

IV.10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons estimé, en premier lieu, les besoins journaliers en eau qui correspondent au débit total nécessaire pour satisfaire les besoins d'irrigation. Ensuite, nous avons déterminé le potentiel d'énergie solaire de la région de Mostaganem, sachant que la période retenue pour le dimensionnement du système de pompage est le mois le moins ensoleillé. ce mois correspond à une irradiation solaire de 4,5 kWh/m² par jour. En effet, nous avons dimensionné et choisi deux types de pompe, une pompe immergée et une motopompe selon le débit journalier et la hauteur manométrique. Le système photovoltaïque a été dimensionné et mis en œuvre.

En second lieu, ce chapitre a été consacré à l'étude technico-économique de l'installation de pompage photovoltaïque en vue de l'irrigation, en comparaison aux systèmes de pompage qui utilisent le réseau de SONELGAZ et celui qui utilise la motopompe.

Dans le tableau suivant nous représentons les prix des types de pompes utilisés pour l'irrigation.

Tableau IV.14. Types de pompes pour l'irrigation.

Système de pompage	Prix unitaire	Total
Motopompe réel	80DA/l	996000.00
Motopompe subventionnée	25DA/l	393750.00
Solaire réel	120DA/W	527600.00
SONELGAZ réel	20DA/KW	626400.00
SONELGAZ subventionnée	4DA/KW	170982.40
ADE réel	55DA/m ³	6022500.00
ADE subventionnée	6.30/m ³	689850.00

D'après cette étude, on constate que le système de pompage photovoltaïque est techniquement et économiquement réalisable, mais les résultats de calculs obtenus, nous permettent de constater que le système de pompage photovoltaïque est un système coûteux en comparaison avec le pompage qui utilise le réseau SONELGAZ. Mais en tenant compte des prix réels de chaque système, le système de pompage photovoltaïque reste le moins cher.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail, nous avons constaté que la conception d'un système de pompage photovoltaïque nécessite, une bonne connaissance sur la cartographie du rayonnement solaire du site à étudier et une bonne connaissance des principes de fonctionnement des différentes composantes du système de pompage.

Ainsi, les études menées dans le cadre de ce travail nous ont permis dans un premier temps de comprendre les phénomènes de rayonnement solaire et les techniques d'évaluation des irradiances journalières et du potentiel énergétique solaire sur le site partant d'une base de données météorologiques. A cet effet, nous avons constaté que l'Algérie possède un gisement solaire important, elle est classée parmi les zones les plus privilégiées pour les applications des systèmes solaires.

En second lieu, nous avons entamé les techniques de dimensionnement de système de pompage PV au fil du soleil, il est basé sur le calcul de la puissance crête du générateur photovoltaïque, le choix de la pompe et le choix du contrôleur répondants au service requis dans les conditions de référence.

Tous ces calculs de dimensionnements ainsi effectués ont permis d'implanter dans la localité d'étude un système de pompage PV au fil du soleil pour un forage d'une profondeur de 50 m.

Les résultats de l'analyse technico-économique obtenus nous ont permis de constater que le pompage PV est techniquement et économiquement réalisable mais le coût du mètre cube d'eau en alimentant la pompe par l'énergie solaire photovoltaïque est coûteux par rapport au système de pompage utilisant l'énergie de SONEGAS.

Seulement ces résultats restent valables uniquement dans le cas de la politique de subvention sur l'électricité, sur le diesel et même sur le mètre cube d'eau produit par ADE. Dans le cas de l'application réelle du prix de production énergétique, on constate que le système de pompage solaire photovoltaïque est le moins coûteux parmi tous les systèmes étudiés, à savoir le système qui utilise la motopompe, celui qui utilise le réseau SONEGAS et le système de pompage solaire.

ANNEXES

ANNEXE 1: Dimensionnement des batteries

1. Capacité total des batteries

La capacité totale des batteries peut être approchée par la formule suivante [1] [2] :

$$C_{T_{Bat}} = \frac{E_{elec} \times N_A}{V_{sys} \times D_P} = \frac{8700 \times 2}{48 \times 0.5} \Rightarrow C_{Bat} = 725Ah$$

En zone tropicale on choisit généralement de 3 à 5 jours d'autonomie, et La profondeur de décharge maximale acceptable pour ces batteries est de $D_p=0.5$.

2. Nombre de batterie Totale.

$$N_B = \frac{C_{T_{Bat}}}{C_{Bat}} = \frac{725}{200} = 3.6 \Rightarrow N_B=4 \text{ batteries de } 200Ah \text{ raccordées en séries.}$$



Fig.IV.11.Groupement des batteries.

3. de charge

D'après nos données on a besoin d'un régulateur dont les caractéristiques suivants :

Régulateur : Contrôleurs de charge BlueSolar charge avec vis- ou connexion PV MC4

$$V_{reg} = V_{sys} = 48V$$

$$I_{reg} \geq I_{SC} \times 6 = 60A$$

$$V_{fonc} \geq 60V$$

$$P_{reg} \geq P_{panneau} = 3440W$$

ANNEXE 2: facturation SONELGA

الشركة الجزائرية لتوزيع الكهرباء والغاز Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz		Fourniture d'énergie Electricité et Gaz التزويد بطاقة الكهرباء والغاز Basse tension / Basse pression الجهد المنخفض / الضغط المنخفض						
Capital social : 25000000000 de DA : رأس المال	Facture n° : 635190509236 : فاتورة رقم	Client : الزبون						
Direction Distribution : MOSTAGANEM : مديرية التوزيع	Etablie le : 03.06.19 : الصادرة في	Référence : 276123630530128 : المرجع						
C : 27/71-0805455B06 : رقم السجل التجاري	Nom et Prénom : BESSOLTANE MOHAMED O/AEK : الاسم واللقب							
: 000631019002457 : رقم التعريف الإحصائي	Adresse : CITE CHATEAU D'EAU/S : العنوان							
P : 00799999000038062230 : بيان التعريف البريدي	N°RC : : رقم السجل التجاري							
B : 00100876030030184066 : بيان التعريف البنكي	N°IS : : رقم التعريف الإحصائي							
: 045 309370 : الفاكس	Tél : 0777029517 : الهاتف Fax : : الفاكس							
Agence commerciale : SIDI ALI : الوكالة التجارية	Destinataire de facture : : المرسل إليه							
Adresse : CITE DES MARTYRS : العنوان								
: 045 452130 : الهاتف								
Abonnement Electricité : 045 307363 : اصلاح الكهرباء								
Abonnement Gaz : 045 307363 : اصلاح الغاز								
Periode: 2eme Trimestre 2019								
الإستهلاك Consommation		التسعيرة Tarif	رقم العداد N° Compteur	البيان الجديد Index nouveau	البيان السابق Index ancien	الفرق Différence	المعامل Coef.	الإستهلاك Consommation (kWh/Th)
ELEC. PMD= 6 Kw		54 M	029575	29083 R	28368 R	715	1.00	715.00
GAZ.		23 M	010346	11974 R	11512 R	462	9.60	4435.20
BP : 197								
BB : 691								
فوترة								
العناصر Eléments	التسعيرة Tarif	رقم العداد N° Compteur	الإستهلاك / الشطر Consommation / tranche		سعر الوحدة Prix unitaire	المجموع (ب.ر.) Montant HT	ضريبة القيمة المضافة TVA	المجموع كامل الرسوم Montant TTC
ELECTRICITE	54 M	029575	Tranche 1	125.00	1.7787	744.70	09%	811.72
			Tranche 2	125.00	4.1789	2237.58	19%	2662.72
			Tranche 3	465.00	4.8120			
			Tranche 4					
CHARGES FIXES					78.66	09%	85.74	
TOTAL ELECTRICITE(1)	54 M		715.00		3040.94	499.24	3540.18	
GAZ	23 M	010346	Tranche 1	1125.00	0.1682	635.42	09%	692.61
			Tranche 2	1375.00	0.3245	778.92	19%	926.91
			Tranche 3	1935.20	0.4025			
			Tranche 4					
CHARGES FIXES					85.50	09%	93.20	
TOTAL GAZ(2)	23 M		4435.20		1499.84	212.88	1712.72	
RENT FIXE					100.00		100.00	
RENT HABITATION					150.00		150.00	
Droits et taxes(3)					250.00		250.00	
Total des éléments facturés						4810.78	712.12	
Total des éléments facturés						4810.78	712.12	5522.90
Montant à payer (CIB, Poste, Chèque, Virement)								56.00
Droit de timbre								5578.90
Montant total à payer espèce								5578.90
MONTANT DE LA FACTURE EN TOUTES LETTRES : CINQ MILLE CINQ CENT VINGT DEUX DINARS ALGERIENS ,90 CTS								
Nous prions de régler la facture par l'un des moyens indiqués au verso avant le: 21.06.19								

ANNEXE 3: facturation ADE

المبلغ		الكمية	التعريف	المبلغ	سعر الوحدة	المبلغ	سعر الوحدة	الكمية	التعريف
5.29	04 %	أثارة إقصاء الماء	109.35	2.35	132.30	6.30	21	السطح الأول السطح الثاني السطح الثالث السطح الرابع عدد المسكن	
5.29	04 %	أثارة نوعية الماء	60.00		240.00			سطح وجيد (إدارة: تجارة: صناعة: سباحة) الإثارة الثانية للاشتراك	
63.00	3.00	أثارة التسمير (بيلتر/م ³)	109.35	(2)	372.30	(1)		المجموع الجزئي	
33.71	07 %	الرسم على القيمة المضافة							
107.29	(3)	المجموع الجزئي							
588.94		مبلغ الفاتورة							
0.00		ديون سابقة							
588.94		المبلغ بدون طابع							
6.00		الطابع الجبائي (الفتح نقد)							
594.94		المبلغ المستحق							

حالة الحداد:
الدليل القديم : 320
الدليل الجديد : 341
الكمية المستأجرة :
نوع الاشتراك : 21
عدد المسكن : 10

رقم الفاتورة : SA6002/2015-06
تاريخ الفاتورة : 17/12/2015
الفترة :
Du: 09/03/2015 Au: 07/06/2015

الوحدة :
التقاطع :
المستوفق :
MOSTAGANEM
SIDI-ALI
SIDI-ALI

التعريف الجبائي :
27 02 02 SA 6002
BESSOLTANE MED O/AEK
CITE ZIANI
N. :
SIDI ALI

الحساب البريدي :
المادة الجبائية :
16180206071

التعريف الجبائي :
00011618080

في حالة عدم تسديد مستحقاتكم في
مدة 15 يوما سيؤدي توقف تزويدكم
بالماء بدون أي إشعار مسبق

EP ALGERIENNE DES EAUX - ADE
01B0017164 المسجل التجاري

الجزيرة المائية
3 شارع القاهرة الغربية (الجزائري)

ADE

الطابع الجبائي
BADR NOSTRA 00300866300119300053/

BIBLIOGRAPHIES

Références

- [01]. **DEGLA Mohammed larbi-BEN AHMED Bachir,**
« Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque »,
Mémoire de master 2017, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [02]. **BOUCHOUICHA Kada,**
« Modélisation multi spectrale des images satellitaire - Application : Quantification du bilan d'énergie Sol-Atmosphère », thèse de doctorat en sciences 2017, université d'Oran
- [03]. **Caractéristiques électriques des cellules et modules,**
<https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16696>.
- [04]. **HAMDI Abderrazzak,**
« Conception et dimensionnement d'un système Photovoltaïque pour habitation et pompage »
, Mémoire de master 2017 – 2018, Université Mohamed Khider de Biskra.
- [05]. **A. Hadj Arab , M. Benghanem et A. Gharbi ,**
« Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque ».
- [06]. **BOUDRAHEM Lyes, DJOUADI Lamine,**
« Commande non linéaire d'un système de pompage photovoltaïque », mémoire de master
2012, Université Abderrahmane Mira de Bejaia.
- [07]. **KEBAILI Salima,**
« Contribution à l'étude d'un système photovoltaïque autonome : Optimisation et application
aux sites algériens », thèse de doctorat en sciences en électrotechnique 2017, université frères
Mentouri de Constantine 1.
- [08]. **LAFIA SEIDOU Imorou,**
« Etude et dimensionnement des systèmes de pompage photovoltaïque dans les localités
rurales du Bénin : cas de Adjakpata », Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur 2^{ie}
avec le grade de master, Promotion [2015/2016] Institut International d'Ingénierie. BURKINA.
- [09]. **Mr Valentini Philippe,**
« Les générateurs photovoltaïques, Lycée Jean Prouvé – Nancy »
- [10]. **Jean-Loup PRENSIER – Christophe DAUX,**
« La chaîne d'énergie du pompage de l'eau », Edité le 17/05/2006
- [11]. **Ben Salaheddine Faouzi Ouahrani Houda,**
« Mise au point d'un banc d'essai d'une motopompe centrifuge », mémoire de master 2017,
Université A. Mira de Bejaia

- [12]. **Amine BELAID,**
« Etude et conception d'une pompe Centrifuge », mémoire de Master 2017, Université de Biskra.
- [13]. **OURS BLANC DES CARPATHES,** « Introduction à C++ Builder », Isima 1988-1999,
http://eric.univ-lyon2.fr/~ricco/cours/cours/intro_cpp_builder.pdf
- [14]. **BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG,**
Système de pompe solaire immergée pour puits 4".
- [15]. **Recherche et développement, Bulletin des énergies renouvelables - N° 2 Décembre 2002**
«Pompage éolien».
- [16]. **GOVERNORAT MÉDENINE RAPPORT SUR CHOUAMEKH R.ENNAGUEB**
« Étude de conception détaillée Pour Le projet d'approvisionnement en eau des Zones rurales en Tunisie », Mars 2001.
- [17]. **M^{elle} BACHSAIS Imène, M^{elle} SEBBAGH Asma,**
« Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque pour l'irrigation d'un hectare de palmier dattier en utilisant les méthodes Métaheuristiques », Mémoire de Master 2016, université M'Hamed Bougara de Boumerdes.
- [18]. **Global Tools**
<https://www.gt-outillage.com/motopompe-haute-pression-essence-> .
- [19]. **MERAD Faiza,**
« Conception d'un programme de calcul du rayonnement solaire, cas particulier de la région de Mostaganem », mémoire de Magister en Physique 2013, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.
- [20]. **CHP Hydraulique**
Pompes hydraulique.
- [21]. **Catalogue MOTO POMPES THERMIQUES,**
- [22]. **<https://www.ouedkniss.com/Panneau-solaire-r>**
- [23]. **Instrumentation CIRA,**
Chap. IV : Capteurs de niveau, Cours 2006-2007.
- [24]. **BUSSMANN,**
Une protection complète et fiable des circuits solaires.
- [25]. **ZidiSayah, Mazouzi Med Lassaad,**
« Etude de défaillance d'une pompe à eau centrifuge de type GUINARD HP », mémoire de Master 2016, Université Kasdi Merbah de Ouargla

Résumé

Aujourd'hui, la demande d'eau est de plus en plus croissante, en particulier dans les zones rurales et isolées où l'accès à l'énergie classique est difficile, la majorité de ces régions sont très ensoleillées et l'eau est disponible dans les nappes souterraines c'est le même cas de l'Algérie. Le pompage d'eau à l'aide de l'énergie solaire photovoltaïque constitue une solution pratique et économique au problème du manque d'eau, vu que cette source d'énergie est gratuite. Mais il reste à avoir une meilleure liaison entre la partie production et la partie consommation. Pour cette raison, l'objectif de notre travail consistait à faire une étude technico-économique d'une installation de pompage photovoltaïque en comparaison aux autres systèmes de pompage d'eau (réseau SONELGAZ, motopompe et ADE). De cette comparaison, il ressort que le cout du mètre cube d'eau de système de pompage par énergie solaire photovoltaïque est couteux par rapport au système de pompage d'eau utilisant le réseau SONELGAZ et celui qui utilise la motopompe thermique.

Sauf que ces résultats restent valables uniquement dans le cas de la politique de subvention sur l'électricité, le diesel et même le mètre cube d'eau produit par ADE. Dans le cas de l'application réelle du prix de production énergétique, on a constaté que le système de pompage solaire photovoltaïque est le moins couteux parmi les trois systèmes étudiés, à savoir le système qui utilise la motopompe, le système utilisant le réseau SONELGAZ et le système de pompage solaire.

Notre étude se propose d'alimenter en eau pour l'irrigation d'une ferme agricole de 3 hectares aux environs de la wilaya de Mostaganem.

Mots clés: gisement solaire, l'énergie photovoltaïque, dimensionnement, système de Pompage photovoltaïque, panneaux solaires, pompes immergées, forage, analyse économique.

الملخص

مع تقدم العصر، أصبح الطلب على المياه في تزايد مستمر، خاصة في المناطق الريفية والنائية حيث يصعب الوصول إلى الطاقة التقليدية، ومعظم هذه المناطق مشمسة للغاية و تزخر بالمياه الجوفية، و هذا هو الحال في الجزائر. يعد ضخ المياه باستخدام الطاقة الشمسية الضوئية حلاً عملياً واقتصادياً لمشكلة نقص المياه، حيث أن مصدر الطاقة يعتبر مجاني. و لكن لا يوجد هناك تنسيق بين عمليات الإنتاج و كميات الاستهلاك. لهذا السبب ، كان الهدف من عملنا هو إجراء دراسة تقنية واقتصادية لتركيب المضخات الكهروضوئية و إجراء مقارنة مع أنظمة أخرى لضخ المياه الأخرى شركة توزيع الكهرباء و الغاز ، مضخات الحرارية و الجزائرية للمياه ، حيث تبين لنا أن تكلفة المتر المكعب لمياه نظام الضخ الكهروضوئي بالطاقة الشمسية باهظة الثمن مقارنة مع نظام ضخ المياه باستخدام شركة توزيع الكهرباء و الغاز أو المضخات الحرارية.

إلا أن هذه النتائج صالحة فقط في حالة سياسة الدعم على الكهرباء و الديزل وحتى متر مكعب من المياه التي تنتجها شركة توزيع المياه. في حالة التطبيق الفعلي لسعر إنتاج الطاقة ، وجد أن نظام الضخ الشمسي الكهروضوئي هو الأقل تكلفة بين الأنظمة الثلاثة التي تمت دراستها ، النظام الذي يستخدم مضخة حرارية والنظام الذي يستخدم شركة الكهرباء و الغاز و نظام الضخ بالطاقة الشمسية. ولقد اقترحنا في هذه الدراسة تزويد مزرعة صغيرة تبلغ مساحتها 3 هكتارات بمنطقة مستغانم حيث استعملنا مضخة مغمورة.

الكلمات المفتاحية: المجال الشمسي ، الطاقة الكهروضوئية ، التحجيم ، نظام الضخ الكهروضوئي ، الألواح الشمسية ، المضخات المغمورة ، الحفر ، التحليل الاقتصادي.

Abstract

Today, demand for water is growing, especially in rural and remote areas where access to conventional energy is difficult, most of these areas are very sunny and water is available in groundwater, it is the same case of Algeria. The pumping of water using solar photovoltaic energy is a practical and economical solution to the problem of lack of water, since this source of energy is free. But it remains to have a better connection between the production part and the consumption part. For this reason, the objective of our work was to make a technical-economic study of a photovoltaic pumping installation in comparison with other water pumping systems (SONELGAZ network, motor pump and ADE). From this comparison, it appears that the cost of the cubic meter of solar photovoltaic pumping system water is expensive compared to the water pumping system using the SONELGAZ network and the one using the thermal motor pump.

Except that these results are valid only in the case of subsidy policy on electricity, diesel and even the cubic meter of water produced by ADE. In the case of the actual application of the energy production price, it has been found that the photovoltaic solar pumping system is the least expensive among the three systems studied, namely the system that uses the motor pump, the system using the SONELGAZ network and the solar pumping system.

Our study proposes to supply water for the irrigation of a farm of 3 hectares near the wilaya of Mostaganem.

Key words: solar field, photovoltaic energy, sizing, photovoltaic pumping system, solar panels, submerged pumps, drilling, economic analysis.