

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE d'ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER EN PHYSIQUE ENERGETIQUE

Thème

Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque appliquée à un site saharien (région d'Adrar)

Soutenu le : Mai 2018

Présenté par :

Yousfi Fatiha

Membres de jury :

Président : Dr. Harrouz Abdelkader Univ. Adrar

Encadré par :

Dr. Sahouane Nordine

Examineurs

Dr. Neçaibia Ammar URER/MS, ADRAR

Année Universitaire : 2017 /2018

Remerciément

Avant tout, je remercie **le dieu**, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail de recherche.

Je tiens à remercier chaleureusement Monsieur **Kilaoui Abdel Karim**, qui m'a aidé à réaliser ce travail de recherche, pour ces précieuses orientations et sa disponibilité pertinente.

Je remercie **M. Sahouane Nordine** pour sa supervision de ce travail de recherche et son traitement de mon travail au long de cette année.

Je remercie Monsieur **Maammeri Abdel-Karim** qui nous a aidé et nous a accompagné à fin de réaliser notre travail malgré ses circonstances.

Tous mes remerciements est à mes parents (**Fatna et Abdel Karim**) pour tous les efforts qui m'ont donnée d'après mon enfance.

Je tiens à remercier l'entreprise d'**ONACAL VOLT SOLAIRE** d'avoir installé des systèmes solaires et pour tous ses efforts qu'ils m'ont donné..

Je remercie tous les personnes de la Direction de l'Agriculture de l'Etat d'Adrar, en particulier la section d'orientation agricole du **Monsieur Hidour Tuhami**.

Je remercie mes frères et sœurs pour leur soutien dans ma carrière académique, en particulier mon frère **Abdelkader** et ma sœur **Zohra**.

Je remercie mes enseignants du début à l'université et je remercie tous mes collègues à l'étude.

Je remercie **M. Lounisse** d'avoir accepté m'étude technique sur le système de pompage dans sa région d'agriculture à Oiyanna.

Merci à tous les gens qui m'ont aidé de loin ou de près.

FATIHA

Dédicaces:

Je dédie ce modeste travail particulièrement à :

Mes chers parents (**Fatma et Abdel El Karim**), qui ont consacré leurs existence à bâtir la mienne, pour leur soutien, patience et soucis de tendresse.

A mes bien aimées **sœurs et frères** qui m'encouragé pendant toutes mes études.

A mes chères tantes et à mon cher oncle **Abde Allah**

A toute la famille **Yousfi et Bedlaoui**.

A mes proches amis : **Khadoudja Mabkhouti, Fatma, Meriem, Hafsa, Aicha Barkaoui, LallaMoulati, Khadidja Baali et Fatiha Mouhammed.**

A Monsieur **Kilaoui Abdel Elkarim.**

A tous mes amis du département de **sciences et technologie, Faculté sciences de matière, spécialité physique énergétique et énergies Renouvelables.**

Fatiha

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre 01 : Généralité sur l'énergie solaire

Introduction	5
1.1. L'énergie solaire dans le monde	5
1.1.1. L'ensoleillement dans le monde	5
1.1.2. L'énergie photovoltaïque à travers le monde	5
1.1.3. Le prix des cellules solaire	6
1.2. Production d'énergie solaire	7
1.2.1. <i>Le soleil</i>	7
1.2.2. <i>Le rayonnement solaire</i>	8
1.2.3. <i>Types de rayonnement solaire au sol</i>	8
1.2.4. Composants d'un générateur photovoltaïque	9
a. Cellules solaire	9
b. Les modules (ou panneaux)	11
c. Le générateur photovoltaïque	12
1.2.5. Différentes configurations des systèmes PV.....	12
1.2.6. Effet de l'ensoleillement et de la température	13
1.3. L'Algérie et l'énergie renouvelable.....	14
1.3.1 Le Potentiel des Energies renouvelables	15
a. <i>Dans le domaine de la Biomasse</i>	15
b. <i>Potentiel Hydraulique</i>	15
c. <i>Potentiel de l'Energie Géothermique</i>	15
d. <i>Potentiel Eolien</i>	15
e. <i>Potentiel Solaire</i>	16
1.3.2. Les applications de l'énergie photovoltaïque en Algérie.....	17
1.3.3. Les sources décentralisées à la production d'électricité dans la région d'Adrar	17
a. La situation géographique d'Adrar.....	17
b. Le climat de la Wilaya Adrar.....	17
c. La centrale éolienne d'Adrar	18
d. Le gisement solaire en Adrar	18
1.4. L'agriculture en Adrar.....	19
1.4.1 L'eau à Adrar.....	20
1.4.2. L'irrigation des terres dans la région d'Adrar	20
1.4.3. Le système de pompage solaire pour l'agriculture.....	21
1.4.4. L'avenir du gisement solaire de 20MW.....	22
Conclusion.....	23

Chapitre 02 : Etude d'un système de pompage photovoltaïque

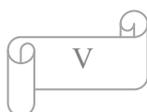
Introduction.....	25
2.1. Réglementation sur l'utilisation d'énergie renouvelable en Algérie.....	25
2.2. Les principales entreprises de production des panneaux solaire en Algérie.....	26
2.3. Système de pompage photovoltaïque.....	27

Sommaire

2.3.1. <i>Système de pompage avec batterie</i>	27
2.3.2. <i>Système de pompage au fil du soleil</i>	27
2.4 Types des pompes solaires.....	28
2.4.1 Pompe volumétrique	28
2.4.2 Pompe centrifuge.....	29
2.5 Le choix de la pompe.....	30
2.6 Les composants d'un système de pompage solaire	31
2.6-1 Le générateur photovoltaïque.....	31
2.6.2. La motopompe.....	31
2.6.2.1. Le moteur.....	31
2.6.2.2. La pompe	31
1. La pompe de surface centrifuge	31
2. La pompe immergée centrifuge.....	32
2.6.3. La partie de stockage.....	34
2.6.4. Le convertisseur.....	34
❖ Le convertisseur hacheur.....	34
❖ Le convertisseur onduleur.....	34
2.7. Les types des moteurs électriques.....	34
2.8. Les avantages et les inconvénients d'un système de pompage photovoltaïque.....	35
2.9. Dimensionnement d'un système de pompage solaire pour l'irrigation	36
2.9.1 Les notions hydrauliques d'un système de pompage solaire	37
2.9.1.1 <i>Calcul de la Hauteur Manométrique Totale (HMT)</i>	37
2.9.1.2 <i>Calcul le débit Q</i>	38
2.9.2. Evaluation des besoins en eau.....	38
2.9.3. Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire.....	38
2.9.4. Détermination de l'énergie solaire disponible.....	38
2.9.5. Le choix des composants	39
a) Dimensionnement du générateur photovoltaïque.....	39
a) Dimensionnement du moteur.....	40
b) Dimensionnement de la pompe.....	40
c) Dimensionnement des tuyauteries.....	41
Conclusion.....	42

Chapitre 03 : Etude Technico-économique

Introduction.....	44
3.1 La situation géographique de Ksar Wayanna	44
3.2 Les caractéristiques de la région étudiée.....	44
3.2.1. La surface agricole.....	44
3.2.2. Les différents produits cultivés.....	45
3.2.3. Le système d'irrigation.....	46
3.2.4. Le système de pompage d'eau dans la région d'agriculture étudiée.....	46



Sommaire

✚ Les caractéristiques d'un système de pompage étudié	47
3.3 Ressources électrique de la Wilaya d'Adrar.....	48
3.3-1 Réseau Sonal gaz.....	48
3.3-2 Petit groupe électrogène.....	48
3.3-3 Système photovoltaïque.....	48
3.4 Le pompage d'eau dans la Wilaya d'Adrar.....	48
3.5 Etude économique comparative Photovoltaïque-Sonal gaz	48
3.5.1 La méthode de calcul le dimensionnement d'un système de pompage étudié.	48
3.5.1.1 La hauteur manométrique totale.....	48
3.5.1.2 Dimensionnement de la pompe utilisée.....	49
3.5.2 Systèmes de pompage par réseau Sonal gaz pour irriguée 2 hectares.....	50
3.5.2.1 Calcul de l'investissement initial total	53
3.5.2.2 Calcul de L'amortissement total.....	53
3.5.2.3 Calcul de la consommation annuel total.....	54
3.5.3 Systèmes de pompage solaire pour irrigué 2 hectares	54
3.5.3.1 La taille du générateur photovoltaïque.....	54
3.5.3.2 Analyse économique des systèmes de pompage photovoltaïque.....	55
✚ Calcul de l'investissement initial total.....	55
✚ Calcul de l'amortissement total.....	55
3.6. Résultats de comparaison entre le système de pompage d'eau Sonalgaz/photovoltaïque.....	57
Conclusion.....	58
Conclusion générale.....	60

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau	Num de page
Tableau 1-1	7
Tableau 1-2	15
Tableau 1-3	18
Tableau 1-4	19
Tableau 1-5	20
Tableau 2-1	32
Tableau 3-1	50
Tableau 3-2	51
Tableau 3-3	53
Tableau 3-4	53
Tableau 3-5	55
Tableau 3-6	55
Tableau 3-7	57
Tableau 3-8	57

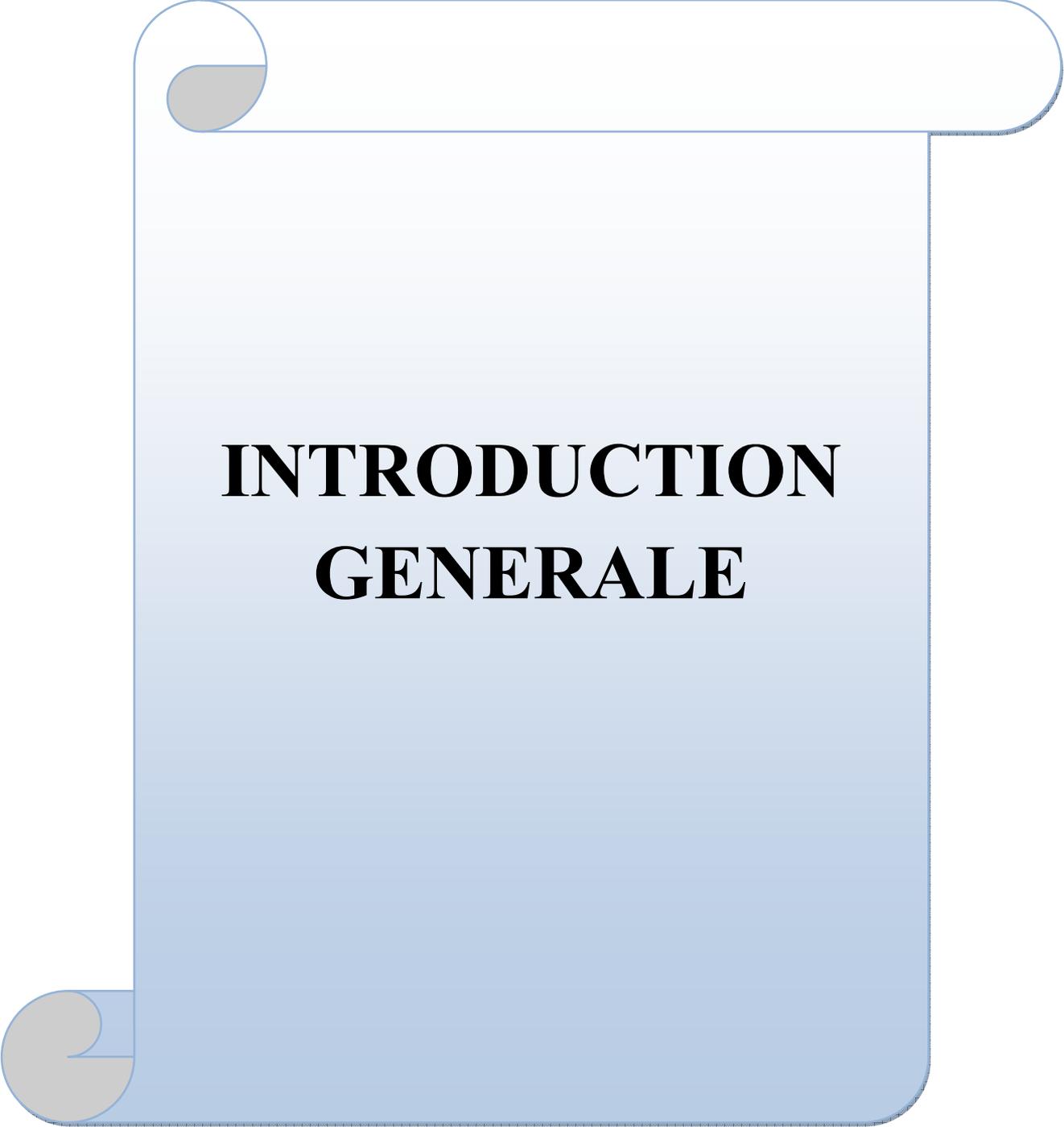
Liste des figures

Liste des figures :

Figure	Titre	Numéro de page
Figure 1.1	l'ensoleillement dans le monde	5
Figure 1.2	Production mondiale d'énergie solaire en 2015	6
Figure 1.3	Le prix des cellules en silicium a connu une baisse importante, ici de 1977 à 2015	7
Figure 1.4	les types des rayonnements solaires	8
Figure 1.5	représentation du mouvement de la terre auteure de soleil	9
Figure 1.6	principe de l'effet photovoltaïque	11
Figure 1.7	caractéristique de groupement en série des cellules identiques	11
Figure 1.8	caractéristique de groupement en parallèle des cellules identiques	12
Figure 1.9	Influence de l'ensoleillement sur la courbe	13
Figure 1.10	Effet de la température sur la caractéristique I-V	14
Figure 1.11	Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001-2010).	16
Figure 1.12	système d'irrigation traditionnelle système d'irrigation traditionnelle	21
Figure 1.13	l'irrigation sous pivot	21
Figure 1.14	générateur solaire	22
Figure 1.15	pompe émergée	22
Figure 1.16	onduleur	22
Figure 1.17	Tuyaux	22
Figure 1.18	schéma simplifié le pompage photovoltaïque	22
Figure 2.1	système de pompage avec batterie	27
Figure 2.2	système de pompage au fil du soleil	28
Figure 2.3	la pompe centrifuge	29
Figure 2.4	schéma simplifié le système de pompage photovoltaïque	34

Liste des figures

Figure 2.5	système de pompage photovoltaïque avec une motopompe à courant alternatif à l'intermédiaire d'un onduleur.	35
Figure 2.6	système de pompage photovoltaïque utilisant une motopompe à courant continue à l'intermédiaire d'un hacheur	35
Figure 2.7	le dimensionnement d'un système de pompage	36
Figure 3.1	la région agricole étudiée	44
Figure 3.2	Une partie qui est cultivée par des fruits et légumes	45
Figure 3.3	La partie cultivée par des palmiers	45
Figure 3.4	La grenade qui est cultivés	46
Figure 3.5	La sonde d'eau.	45
Figure 3.6	Le réservoir d'eau	47
Figure 3.7	la variation de la HMT en fonction de profondeur	51
Figure 3.8	variation de $E_{\text{éle}}$ et E_h en fonction de la HMT	52



**INTRODUCTION
GENERALE**

Introduction Générale

L'eau est la source de vie, nous savons que l'eau représente 70% de la terre et il est la matière nécessaire qui garde tous les éléments de la nature dans la vie, il participe aussi au développement agricole, d'une part il est très important de trouver l'eau pour l'exploitation domestique et d'autre part La méthode de pompage de l'eau la plus approprié techniquement et économiquement.

Le pompage d'eau nécessite à une source d'énergie, mais la plus grande partie de l'énergie consommée aujourd'hui provient de l'utilisation de combustibles fossiles tels que le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou l'énergie nucléaire et cette consommation de l'énergie causée une diminution de ces sources énergétiques (en raison de l'avancée technologiques).

Les études dans le domaine énergétique voient que ce problème d'énergie (d'une part de la consommation) est encore plus sensible dans les sites isolés où l'utilisation des ressources classiques s'avère souvent très coûteuse à cause de plusieurs contraintes comme le transport du combustible et les entretiens périodiques des moteurs diesels et a partir des inconvénients de ces sources classique de l'énergie, il été nécessaire de chercher d'autres ressources d'énergie comme solution alternative et facile l'obtenir.

Aujourd'hui, pour trouver une solution de ce problème énergétique on distingue plusieurs autres sources des énergies qui sont renouvelables et ces sources sont l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie de la biomasse, l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque (qui sera étudiée dans ce mémoire). Elles classent mondialement dans les meilleures sources d'énergie et les bons coefficients d'amélioration économique surtout l'énergie photovoltaïque par ce qu'elle est disponible presque dans toutes les régions du monde et la plupart des projets d'énergie solaire sont situés dans des zones désertiques en raison de la longue période d'ensoleillement (facteur nécessaire pour la production d'énergie).

L'utilisation photovoltaïque de l'énergie solaire consiste à convertie directement le rayonnement lumineux en électricité et cette conversion est basée sur l'absorption de photons dans un matériau semi-conducteur qui fournir des charges électriques, donc du courant, dans un circuit extérieur.

Sachant que le but essentiel de toutes les recherches est l'amélioration globale des performances des systèmes de conversion photovoltaïque (PV), lorsqu'un générateur photovoltaïque alimente une charge, quelle que soit sa nature, ceci n'implique pas forcément une mauvaise rentabilité du système global, mais l'équivalence entre le rendement admissible

Introduction Générale

et le coût moyen d'exploitation détermine le degré d'efficacité d'utilisation de l'énergie solaire.

Plusieurs critères d'optimisation de l'efficacité de systèmes photovoltaïques ainsi que des techniques ont été appliquées afin d'avoir une bonne adaptation et un rendement élevé.

L'Algérie a d'un gisement solaire plus grand dans le monde à cause la durée d'ensoleillement qui est 3900 heures par an, à cause la situation géographique de l'Algérie favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation de l'énergie solaire, elle l'utiliser dans plusieurs domaines par exemple le pompage d'eau.

L'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque pour le pompage d'eau pour ces régions est en deux systèmes qui sont le système de pompage avec batterie (stockage d'électricité) et le système de pompage au fil du soleil (sans batterie).

En effet, les moteurs à courant continu ont été les premiers à être utilisées dans les systèmes de pompage parce qu'il offre un principal avantage d'être facilement commandables grâce au découplage naturel du flux et du couple.

Dans beaucoup de régions, ce but peut être réalisé seulement par l'utilisation des nappes souterraines. Dans les régions éloignées des réseaux électriques, il y a des diverses possibilités pour se servir de ces nappes : pompes à main, pompes diesel, pompes solaires, etc.

L'utilisation de l'énergie solaire pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation reste toujours le souci quotidien des populations des régions rurales et sahariennes. Ces derniers reçoivent un fort ensoleillement où l'eau, faisant défaut, se trouve naturellement stockée sous forme de nappes d'eau souterraines

Notre travail est une étude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque appliquée à un site Saharien (région d'Adrar), il comporte trois chapitres ainsi qu'une introduction et une conclusion générale.

Le but de ce travail est donne une solution énergétique permet de pompée d'eau de forage vers le bassin, ce solution est un système de pompage photovoltaïque (au fil du soleil) d'une technique très facile d'installation et le plus économique par rapport des autres systèmes de pompage d'eau surtout les régions éloignée dans la Wilaya d'Adrar.

Dans ce travail de recherche, nous nous sommes intéressés plus particulièrement par l'énergie solaire photovoltaïque avec comme application, le pompage d'eau dans des sites isolés sur la région d'Adrar surtout dans les régions d'agriculture. Nous verrons que cette solution est particulièrement intéressante pour ce type de site.

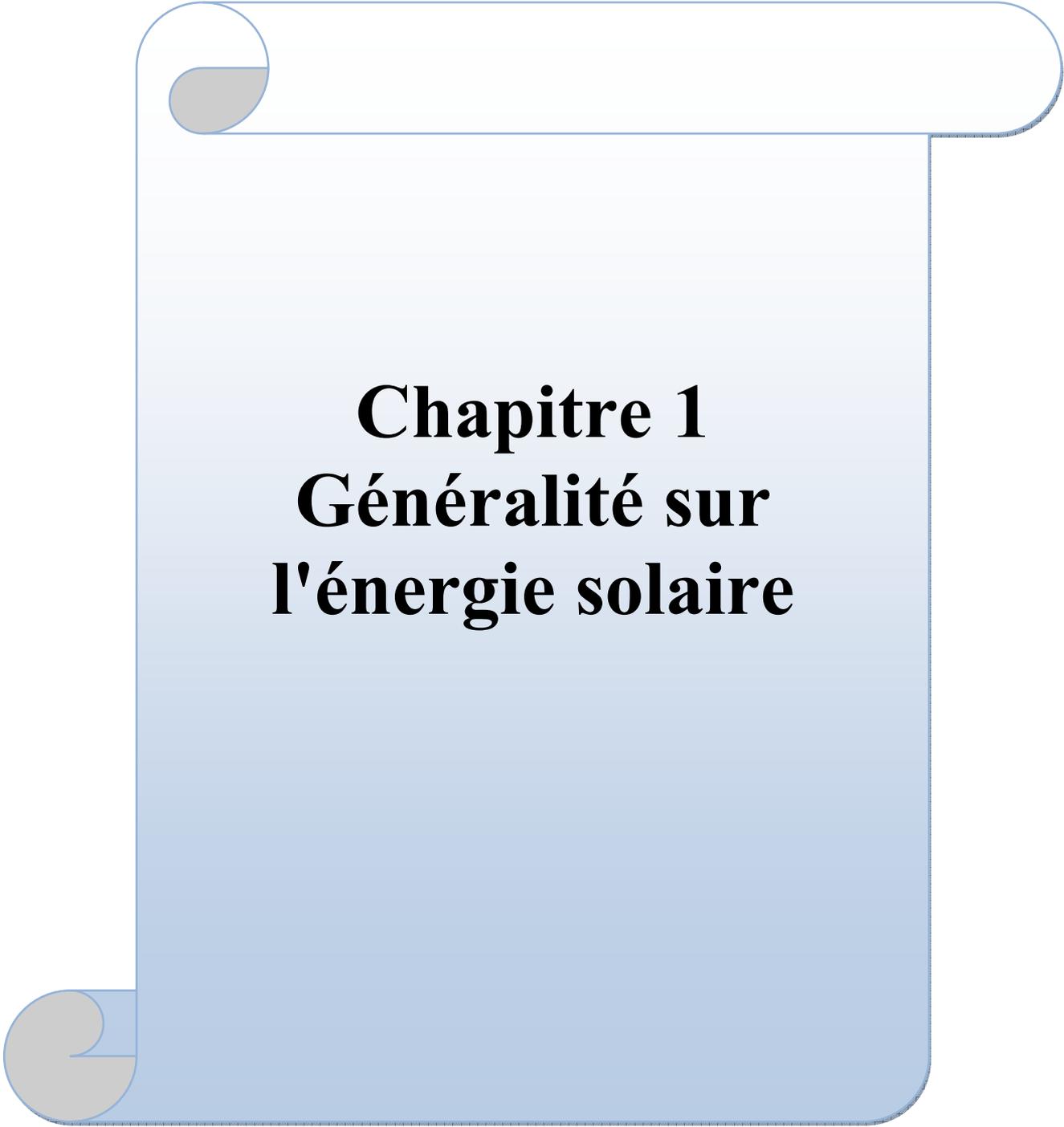
Introduction Générale

Le premier chapitre est consacré une généralité sur l'énergie solaire, on va étudier des notions générales sur l'énergie solaire dans le monde (la production et le prix des panneaux photovoltaïques), le rôle de l'Algérie d'exploitation l'énergie solaire de but d'amélioration leur économique et les projets de l'Algérie dans la région Sahariennes et en particulièrement la Wilaya d'Adrar.

Le deuxième chapitre est consacré principalement sur le système de pompage photovoltaïque d'eau, on va poser les types de ce système, les principales composants avec les types des pompes photovoltaïque, les avantages et les inconvénients, l'utilisation d'un système de pompage photovoltaïque dans la Wilaya d'Adrar dans le domaine d'agriculture et le dimensionnement d'un chacun composant de système de pompage photovoltaïque.

Le troisième chapitre fera une étude économique comparative entre un système de pompage d'eau par le réseau sonal gaz et un système de pompage photovoltaïque (nous choisissons une région d'agriculture de Ksar d'Oiyanna de la wilaya d'Adrar), nous étudions le système de pompage d'eau, nous parlons sur généralités sur cette région (situation géographique, les différentes cultives, caractéristiques de système de pompage), le dimensionnements des composant de système de pompage, étude économique de système étudiée et on fait une comparaison avec un système de pompage photovoltaïque.

Finalement une conclusion générale résumera tous les résultats obtenus dans ce présent mémoire.



Chapitre 1
Généralité sur
l'énergie solaire

Introduction

Sachant que les sources centralisées sont des sources à la production de l'électricité qui sont trop coûteuses et n'existent pas dans tous les pays de monde, l'énergie solaire photovoltaïque est l'un des sources d'énergie qui peut remplacer et renforcer la production d'énergie et la plus disponible en raison de sa possibilité de produire l'électricité

Dans ce chapitre on va parler sur les notions générales de l'énergie solaire dans le monde (production et le prix), les types de système photovoltaïque avec les composant de ce système, l'énergie solaire en Algérie et en particulièrement la région d'Adrar et l'utilisation de l'énergie solaire comme source d'électricité pour le système de pompage.

1.1. L'énergie solaire dans le monde :

1.1.1. L'ensoleillement dans le monde :

La Figure 1.1 au-dessous représente l'ensoleillement dans le monde, on conclut que l'ensoleillement qui frappe les régions sous les points noirs pourrait alimenter en énergie le monde entier : si elles étaient installées dans les zones marquées par les six points sur la carte, des cellules solaires avec un rendement de conversion de seulement 8 % produiraient, en moyenne, 18 TW d'énergie électrique [1].

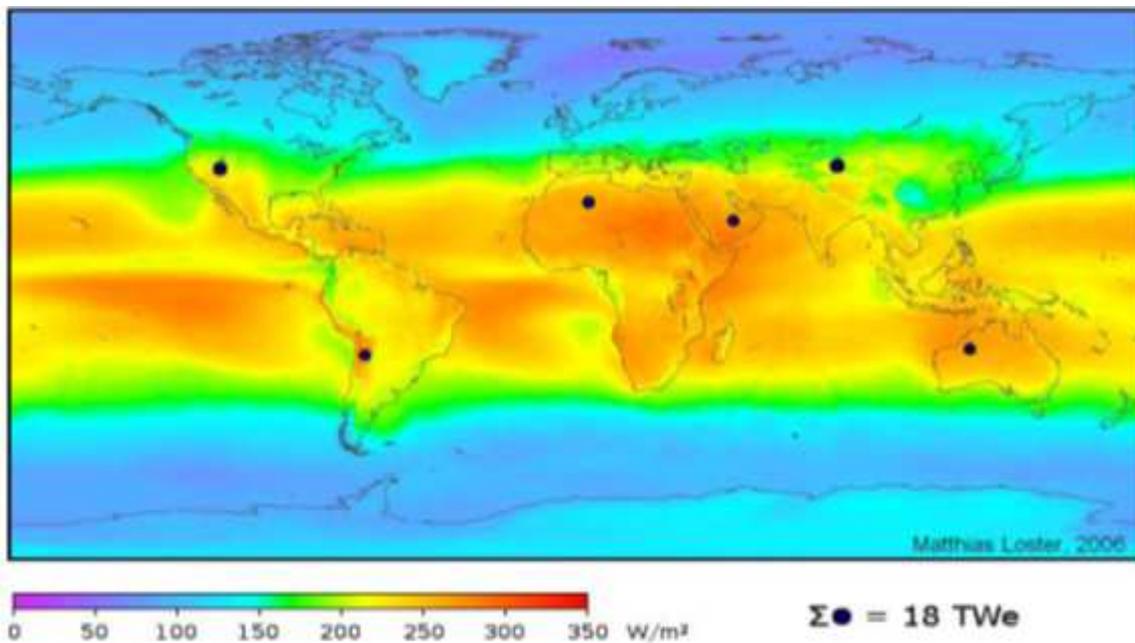


Figure 1.1 : L'ensoleillement dans le monde [1].

1.1.2. L'énergie photovoltaïque à travers le monde :

En 2015, la Chine est le pays le plus produire d'énergie solaire dans le monde de 16% de la production mondiale, le seconde pays est les États-Unis et l'Allemagne de 15% de la production mondiale, le troisième pays est le Japon de 12%, le cinquième est le pays Italie de

10%, l'Espagne est le sixième pays de 6% et le dernier pays est le Royaume-Uni de 3%. Ces pays sont les sept pays dans le monde de production d'énergie solaire à une puissance 253TWh. Ensemble, ils représentent environ les trois quarts du total de la production mondiale d'énergie solaire, qui s'élevait à 253 TWh en 2015.

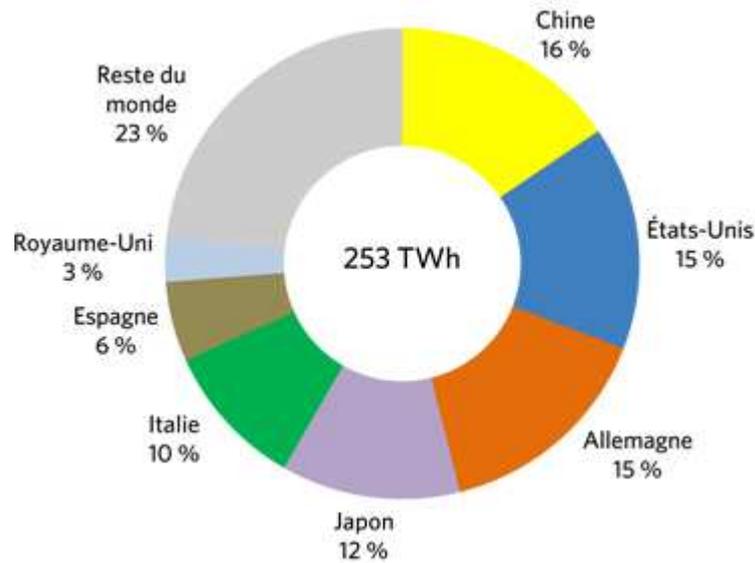


Figure 1.2 : Production mondiale d'énergie solaire en 2015[2]

➤ **La production des panneaux solaires dans le monde :**

La production de panneaux solaires a commencé son réveil en 1998, depuis que le prix du pétrole a commencé lui aussi sa vertigineuse ascension. Le prix du pétrole a été multiplié par sept de 1998 à 2008 et dans le même temps la capacité de production d'électricité depuis des panneaux solaires photovoltaïques ont été multipliée par 20.

Mais en 2008 et 2009 malgré la forte baisse du prix du pétrole, la capacité production d'électricité à partir de cellules photovoltaïques a continué à augmenter parce que la crise a provoqué une baisse des coûts de fabrication et parce qu'à long terme le prix du pétrole demeure dans une tendance très haussière. [3]

1.1.3. Le prix des cellules solaire :

Le prix des cellules solaire dans le marché mondial est en diminution à cause de l'investissement rapide dans ce domaine, la figure 1.3 explique cette diminution de haut prix en 1977 à 2015.

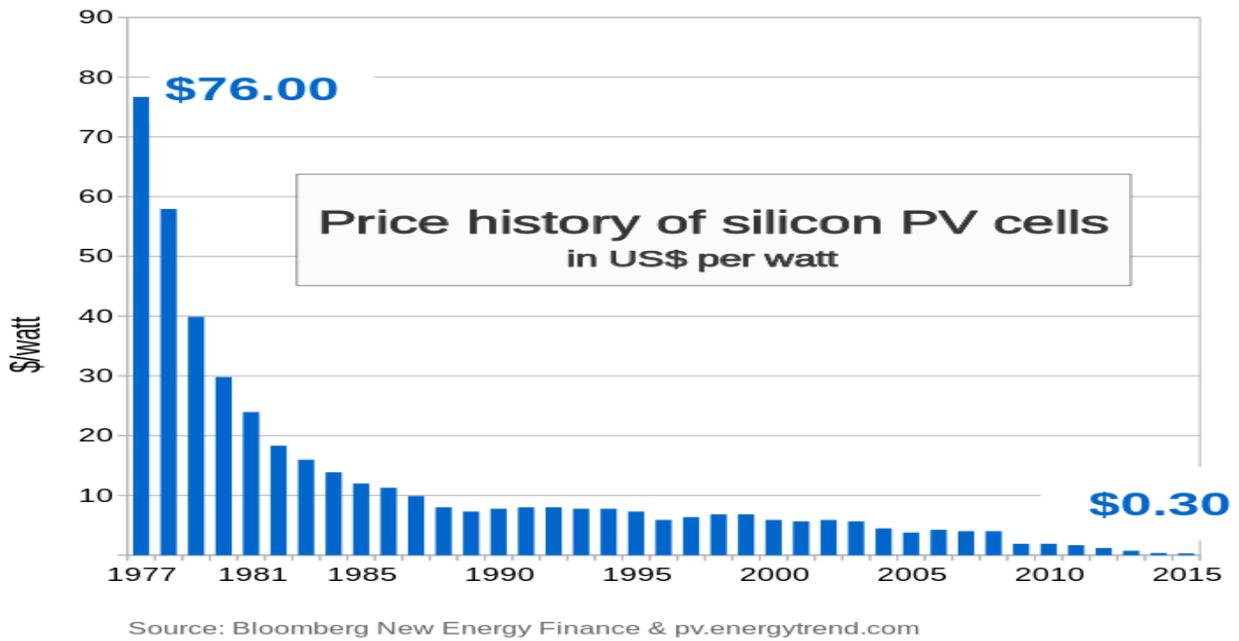


Figure 1.3 : Le prix des cellules en silicium a connu une baisse importante, Ici de 1977 à 2015[4].

On remarque que le prix des cellules photovoltaïque en Silicium était en démunie de 76.00 à 0.30 dollars.

1.2. Production d'énergie solaire :

1.2.1. Le soleil

Le soleil est composé d'un mélange d'hydrogènes à peu près 75% de la masse (ou 92% de volume) et d'hélium de 25% de la masse (ou 8% de volume), elle fournit une énergie lumineuse dans le système solaire, il est éloigné de notre planète de 150.10⁶Km, on la résume ses caractéristiques dans le tableau1-1 :

Tableau 1-1 : Caractéristiques de soleil

La masse solaire Ms(Kg)	Le volume de soleil	Le rayon solaire : Rs(Km)	Accélération de la pesanteur à la surface solaire :gs(m/s ²)	Luminosité solaire : L(W)	Vitesse de libération (Km/s)	Température effective (K)
2*10 ³⁰	13*10 ⁵ Terre	696000	275	3.86*10 ²⁶	620	5800

1.2.2. Le rayonnement solaire

Le soleil fournit à la terre une énergie sous forme des rayonnements électromagnétiques et ces derniers sont dans un intervalle de longueur d'onde λ varie de 0,22 à 10 μm généralement décomposés de trois catégories comme suivantes :

- 9% à la bande des ultraviolets (UV) ($<0,4 \mu\text{m}$).
- 47% à la bande visible (Visible) (0,4 à 0,8 μm).
- 44% à la bande des infrarouges (IR) ($>0,8 \mu\text{m}$).

1.2.3. Types de rayonnement solaire au sol

Les rayonnements solaires qui passent l'atmosphère vers le sol se divisent en trois types : le rayonnement direct, le rayonnement diffus et le rayonnement réfléchi :

- ✓ **Le rayonnement direct** est le rayonnement solaire incident sur un plan donné et provenant d'un angle solide centré sur le disque solaire.
- ✓ **Le rayonnement diffus** est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions.
- ✓ **Le rayonnement réfléchi (albédo)** est le choc d'un rayonnement incident diffusé ou réfléchi avec un obstacle (le sol et les nuages généralement).

La somme de trois types donne le quatrième type de rayonnement qui est le **rayonnement global**.

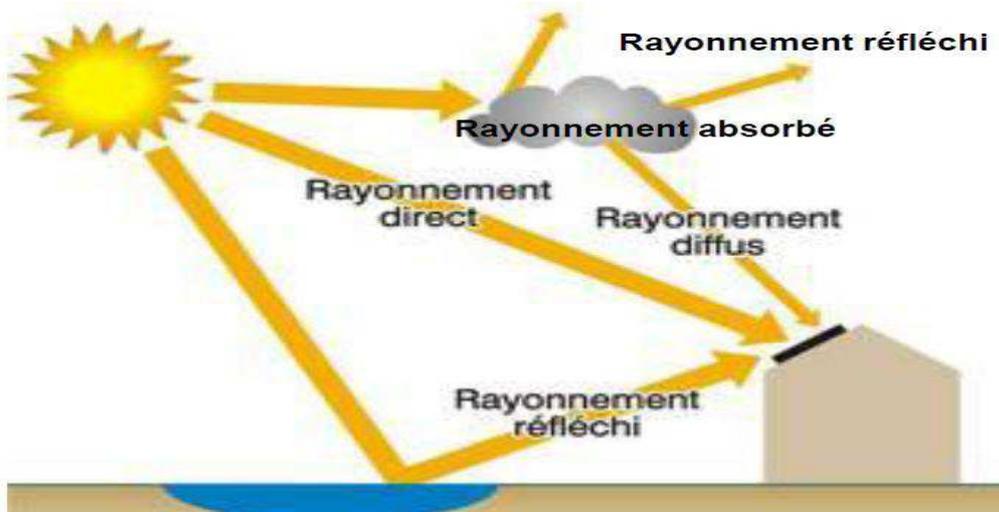


Figure 1.4 : Les types des rayonnements solaires [5].

➤ Les caractéristiques des rayonnements solaire :

✚ **Irradiation solaire** (Ensoleillement ou éclaircissement) : est définie comme une puissance reçue par une surface. Il s'exprime en watt par mètre carré.

✚ **La latitude φ** exprime la distance angulaire d'un point quelconque par rapport à l'équateur. Elle varie de 0° à l'équateur à 90° au pôle Nord.

✚ **La longitude λ** est la mesure de l'angle entre le méridien du lieu et la méridienne origine des longitudes (Greenwich en Angleterre).

✚ **L'altitude** : d'un point correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer), on l'exprime généralement en mètre.

✚ **Déclinaison du soleil δ** : est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre, sa valeur en degré est donnée par la relation de Cooper suivante [5]:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(2\pi \frac{284+n}{365}\right) \quad (1.1)$$

Ou:

n:est le numéro d'ordre du jour de l'année (n=1 pour le 1 Janvier, n=32 pour le 1 Février... etc.).

La déclinaison varie entre -23.45° le 21 Décembre et $+23.45^\circ$ le 21 Juin.

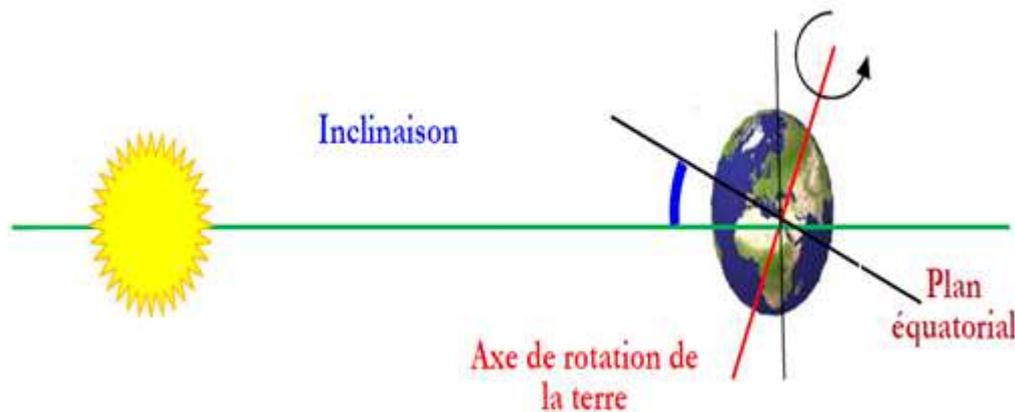


Figure 1.5 : Représentation du mouvement de la terre auteure de soleil [6].

1.2.4. Composants d'un générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque est composé particulièrement de :

a. Cellules solaire

La cellule photovoltaïque la plus répandue est constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium (Si), elle permet la conversion directe le rayonnement solaire en énergie électrique.

Chaque cellule est constituée de deux couches (supérieure et inférieure) d'un semi-conducteur dopée :

- **La couche supérieure** de la cellule est dopée N généralement par le phosphore (négativement).

- *La couche inférieure* est dopée P (positivement) à cause de l'atome qui contient un électron de moins que le silicium (dopée par le bore par exemple).

a.1 Les différents types de cellules solaires :

Il existe plusieurs types des cellules solaires, on cite les principaux types qui sont : les cellules monocristallin, poly cristallin et l'amorphe :

➤ *Les cellules monocristallines :*

Ce cristal de ces cellules est découpé général d'un bleu uniforme, leur rendement est le meilleurs, et son coût est élève mais son rendement entre 12% à 18% à durée de vie de 20 à 30 ans.

➤ *Les cellules poly cristallin :*

Ce cristal de ces cellules se forme plusieurs cristaux. Le genre est également bleu, mais pas uniforme, leur rendement entre 11% à 15% et de durée de vie de 20 à 30 ans, et moins cher par rapport au monocristallin.

➤ *Les cellules amorphes :*

Ce type de cellule a une faible épaisseur de silicium et faible rendement entre 5% à 8%, elles utilisent dans les petits produits par exemple une calculatrice solaire.

a.2 Principes des cellules solaires :

On appelle la cellule photovoltaïque qui est produit d'un matériau semi-conducteur (généralement le Silicium Si) de quatre électrons à la couche périphérique, elle utilise pour convertir le rayonnement solaire en énergie peut l'exploiter. Cette cellule est décomposée en deux couches, l'une dopée avec des atomes de trois électrons qui sont libres (l'atome de Bore), cette zone est donc dopée positivement(+), elle s'appelle (zone P) et l'autre couche dopée par atomes de cinq électrons sont libres (l'atome de phosphore), cette zone est donc dopée négativement (zone N).

Lorsqu'on met ces deux couches en contact, on crée une jonction PN, qui doit permettre le passage des électrons entre eux.

Lorsqu'un photon de la lumière frappe la cellule, son énergie crée une séparation entre un atome de silicium et un électron, modifiant les charges électriques. Les électrons dans la zone N passent à la zone P et cette dernière devient de charge négative et le même fonction pour la zone P. ce passage crée une différence de potentiel électrique, c'est-à-dire une tension électrique, est ainsi créée. C'est ce qu'on appelle l'effet photovoltaïque.

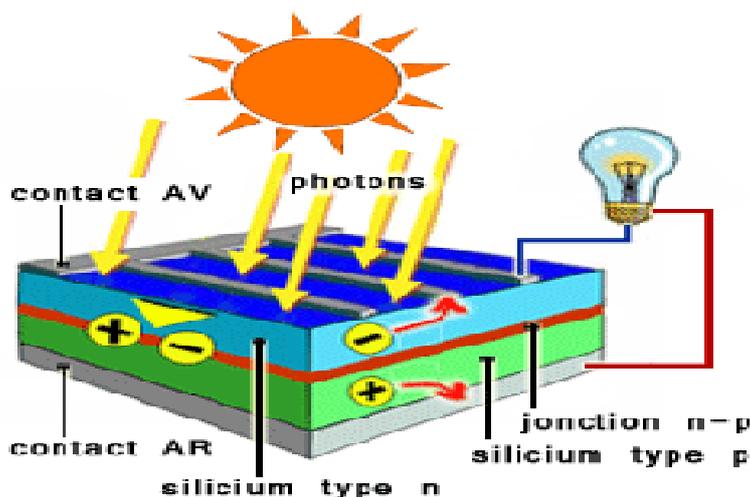


Figure 1.6 : Principe de l'effet photovoltaïque [7].

b. Les modules (ou panneaux) :

L'ensemble de plusieurs cellules donne un module photovoltaïque.

- **L'association des cellules solaires :**

- Dans un groupement de n_s cellules en série, toutes sont traversées par un même courant la figure (1.7) montre la caractéristique résultante (I_{scs}, V_{sco}) d'un tel groupement dans des conditions idéales, obtenue pour n_s cellules identiques (I_{cc}, V_{co}) en sommant les caractéristiques élémentaires à courant constant [8] :

$$V_{sco} = n_s V_{co} \tag{1.2}$$

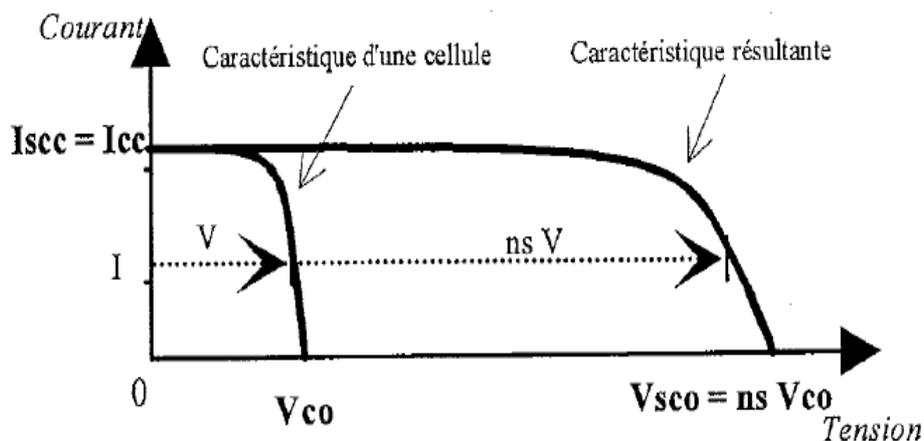


Figure 1.7 : Caractéristiques de groupement en série des cellules identiques [8].

- Pour un groupement de n_p cellules identiques en parallèle :

$$I_{psc} = n_p I_{cc} \tag{1.3}$$

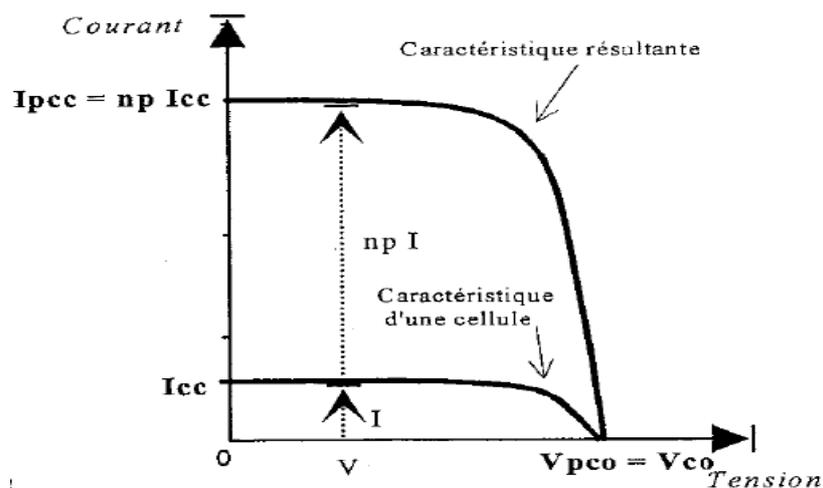


Figure 1.8 : Caractéristique de groupement en parallèle des cellules identiques [8].

De la caractéristique courant-tension on peut déduire la caractéristique de la puissance électrique générée par la cellule en fonction de la tension à ses bornes. Il existe une valeur de photo courant correspondant à une tension aux bornes de la cellule pour laquelle cette puissance électrique générée est optimum. Ce point s'appelle le MPPT (Maximum Power Point Tracking).[8].

c. Le générateur photovoltaïque :

Le générateur photovoltaïque généré par la collection des modules photovoltaïques en série ou en parallèle de but d'obtenir une puissance plus grande de l'électricité.

1.2.5. Différentes configurations des systèmes PV :

Généralement, Les modules PV sont les éléments de base pour n'importe qu'elle système photovoltaïque. Trois types d'un système photovoltaïque.

1.2.5.1. Système autonome sans batterie :

Ce type de système ne requiert pas de stockage d'électricité, soit parce que la production d'énergie des cellules est suffisante sous un faible éclairage, soit que le temps de fonctionnement de la charge n'est pas critique (ex. : pompe à eau : le réservoir d'eau sert de stockage).

1.2.5.2 . Système autonome avec batterie :

C'est le système photovoltaïque le plus commun. Le champ PV sert de chargeur pour la batterie. L'électricité peut alors être utilisée en tout temps. Par exemple, ce système est bien adapté pour l'éclairage d'une maison où il faut de l'électricité lorsqu'il ne fait plus jour.

1.2.5.3 Système raccordée au réseau électrique :

Dans le cas de systèmes connectés au réseau, il est impératif de convertir le courant continu produit par le système photovoltaïque en un courant alternatif synchronisé avec le réseau. Pour effectuer cette conversion, on utilise un onduleur.

1.2.6. Effet de l'ensoleillement et de la température :

Le courant produit par une cellule solaire est pratiquement proportionnel au flux lumineux. La tension de circuit ouvert augmente avec l'ensoleillement. La puissance optimale de la cellule est pratiquement proportionnelle à l'ensoleillement (Figure 1.9) [8].

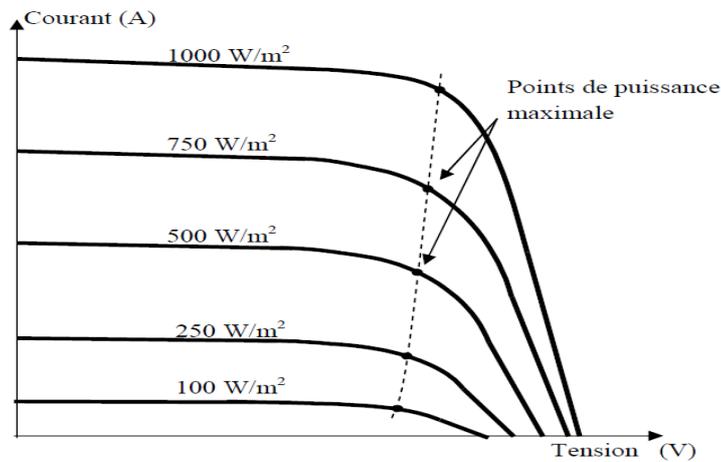


Figure 1.9 : Influence de l'ensoleillement sur la courbe I(V)[9].

L'influence de la température est non négligeable sur la caractéristique I(V) d'une cellule solaire (figure. 1.11). Pour le silicium, lorsque la température augmente, le courant augmente d'environ 0,025 mA/cm²/°C alors que la tension décroît de 2,2 mV/°C/cellule. Cela se traduit par une baisse de puissance d'environ 0,4%/°C. Cette influence devra être prise en compte lors du dimensionnement du générateur photovoltaïque [9].

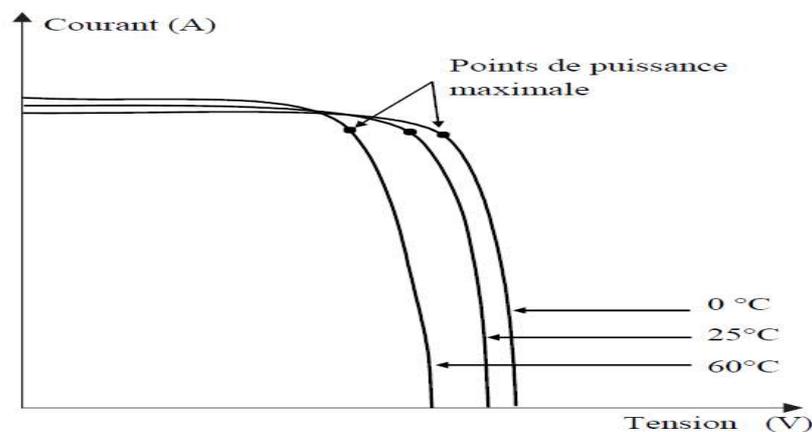


Figure 1.10 : Effet de la température sur la caractéristique I-V [9]

1.3. L'Algérie et l'énergie renouvelable :

La stratégie de l'Algérie en la matière vise à développer une véritable industrie des énergies renouvelables associée à un programme de formation et de capitalisation des connaissances, qui permettra à terme, notamment en matière d'engineering et de management de projets. Le programme EnR (énergies renouvelables), pour les besoins d'électricité du marché national, permettra la création de plusieurs milliers d'emplois directs et indirects, et ces projets seront menés en deux étapes [10].

🚧 **Première phase 2015 - 2020 :** Cette phase verra la réalisation d'une puissance de 4010 MW, entre photovoltaïque et éolien, ainsi que 515 MW, entre biomasse, cogénération et géothermie [10].

🚧 **Deuxième phase 2021 - 2030 :** Le développement de l'interconnexion électrique entre le Nord et le Sahara (Adrar), permettra l'installation de grandes centrales d'énergies renouvelables dans les régions d'In Salah, Adrar, Timimoune et Bechar et leur intégration dans le système énergétique national[10].

Le tableau 1-2 représente la consistance du programme en énergie renouvelables à réaliser pour le marché national sur la période 2015-2030 est de 22 000 MW, répartie par filière suivante :

Tableau 1-2 : Le programme des énergies renouvelables pendant la période 2015-2030 [10].

L'énergie	1ère phase 2015-2020	2ème phase 2021-2030	TOTAL 2015-2030
Photovoltaïque	3000 MW	10575 MW	13575 MW
Eolien	1010 MW	4000 MW	5010 MW
CsP	-	2000 MW	2000 MW
Cogénération	150 MW	250 MW	400 MW
Biomasse	360 MW	640 MW	1000 MW
Géothermie	05 MW	10 MW	15 MW
Total	4525 MW	17475 MW	22000 MW

D'après ce tableau on conclut que le potentiel éolien et photovoltaïque est plus production de l'énergie en Algérie et en comparant entre ces deux potentiels on trouve que le potentiel solaire est plus grand au potentiel éolien, à cause de ce décalage.

1.3.1 Le Potentiel des Energies renouvelables :

a. Dans le domaine de la Biomasse

✓ Potentiel de la forêt [10]

Le potentiel récupérable est de l'ordre de 3,7 Millions de TEP. Le taux de récupération actuel est de l'ordre de 10%.

✓ Potentiel national des déchets ménagers et assimilés

Cinque (05) millions de tonnes de déchets urbains et agricoles ne sont pas recyclés. Ce potentiel représente un gisement de l'ordre de 1.33 millions de TEP/an.

b. Potentiel Hydraulique [10]

Les quantités globales tombant sur le territoire algérien sont importantes et estimées à 65 milliards de m³, mais finalement profitent peu au pays : nombre réduit de jours de précipitation, concentration sur des espaces limités, forte évaporation, évacuation rapide vers la mer.

Schématiquement, les ressources de surface décroissent du nord au sud. On évalue actuellement les ressources utiles et renouvelables de l'ordre de 25 milliards de m³, dont environ 2/3 pour les ressources en surface.

c. Potentiel de l'Energie Géothermique [10]

La compilation des données géologiques, géochimiques et géophysique a permis d'identifier plus de deux cent (200) sources chaudes qui ont été inventoriées dans la partie Nord du Pays.

Un tiers environ (33%) d'entre elles ont des températures supérieures à 45°C. Il existe des sources à hautes températures pouvant atteindre 118°C à Biskra.

d. Potentiel Eolien [10]

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifiés.

La carte représentée ci-dessous montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le Sud-Est, avec des vitesses supérieures à 7m/s et qui dépassent la valeur de 8 m/s dans la région de Tamanrasset (In Amguel).

Concernant le Nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaïa et Annaba, sur les hauts plateaux de Tebessa, Biskra, M'sila et Elbayadh (6 à 7 m/s), et le Grand Sud (>8m/s).

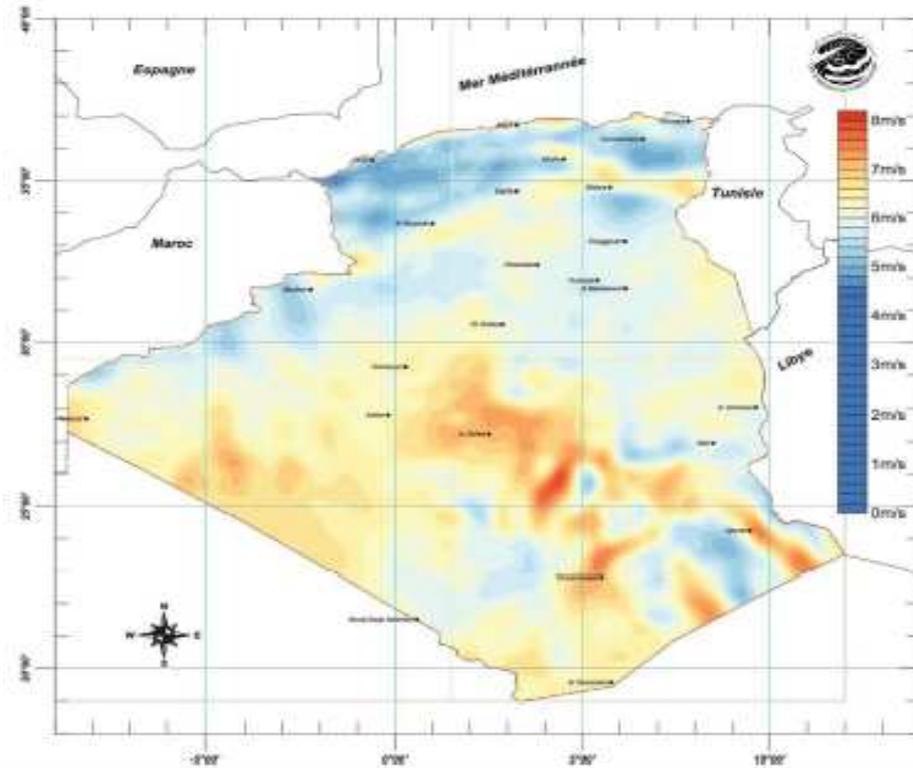


Figure 1.11 : Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001-2010).

e. *Potentiel Solaire* [10]

Vue de sa localisation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1m^2 soit près de 3 KWh/m^2 au nord et dépasse $5,6\text{ KWh/m}$ au Grand Sud (TAMENRASSET).

Le potentiel national en énergies renouvelables étant fortement dominé par le solaire, l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier de développement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesse et d'emplois.

Cela n'exclut pas pour autant le lancement de nombreux projets de réalisation de fermes éoliennes et la mise en œuvre de projets expérimentaux en biomasse, en géothermie et en cogénération.

L'Algérie compte se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir des filières photovoltaïque et éolienne en intégrant la biomasse, la cogénération, la géothermie et au-delà de 2021, le solaire thermique. Ces filières énergétiques seront les moteurs d'un développement économique durable à même d'impulser un nouveau modèle de

croissance économique. 37 % de la capacité installée d'ici 2030 et 27 % de la production d'électricité destinée à la consommation nationale, seront d'origine renouvelable [10].

1.3.2. Les applications de l'énergie photovoltaïque en Algérie :

Il y a plusieurs domaines d'utilisation l'énergie solaire en Algérie sont pour :

- ✓ L'éclairage public.
- ✓ Le séchage solaire.
- ✓ Le pompage d'eau pour les régions éloignées et l'agriculture.
- ✓ Le chauffage et la climatisation.
- ✓ La production du bioéthanol à partir des déchets de dattes.
- ✓ Le stockage d'énergie.
- ✓ Renforcer les réseaux électriques.

1.3.3. Les sources décentralisées à la production d'électricité dans la région d'Adrar

a. La situation géographique d'Adrar

Adrar est situé dans le Sud-Ouest de l'Algérie (27°59' N, 0°17' O), elle s'étend sur une superficie de 427.968 km², une population de 336046 habitants.

b. Le climat de la Wilaya Adrar

Le climat, hyper-aride 'Adrar est celui d'un désert absolu, puisque la moyenne annuelle des précipitations atteint à peine 14 - 15 mm, tombant essentiellement en automne ou au printemps. À des occasions exceptionnelles, des orages violents peuvent se produire à cause de masses d'air plus frais venant du nord qui rencontre les masses d'air brûlant venues directement du désert surchauffé pendant la journée[11].

Les températures moyennes maximales sont de 46 - 48 °C en juillet mais tournent plutôt autour de 50 °C entre juin et septembre, ce qui fait d'Adrar une des villes les plus chaudes du monde. Le nombre moyen de jours où le mercure dépasse la barre des 40 °C est de l'ordre de 130 jours par an. Les températures restent élevées en hiver mais seulement la journée car dans les étendues désertiques, il n'y a rien pour retenir la chaleur et températures minimales moyennes avoisinent 7 °C [11].

L'irradiation solaire figure parmi les plus élevées au monde et la durée moyenne de l'insolation est environ de 3 978 heures par an. Le rapport en pourcentage entre la durée du jour et la durée d'ensoleillement annuelle y est dépassé 90 %. La température moyenne journalière annuelle est de 26-27 °C à Adrar et l'humidité relative est exceptionnellement faible toute l'année avec une moyenne annuelle d'environ 24 %, et particulièrement en saison chaude où le degré hygrométrique de l'air descend souvent en dessous de 5 % [11].

c. La centrale éolienne d'Adrar :

La centrale éolienne de Kaberten première un genre à l'échelle nationale d'une capacité de 10.2 mégawatt (MW) est implanté sur une superficie de 33 hectares (ha) dans la zone de Kaberten, 72 Km au nord de Wilaya d'Adrar [12] :

Tableau 1-3 : Production annuelle de l'énergie (GWh) par la centrale éolienne de Kaberten10.22 MW [12] :

Année	Production (GWh)
2014	5.32
2015	21.51
2016	19.89
2017	19.93
Total	66.65

d. Le gisement solaire en Adrar [12] :

Le gisement solaire en Adrar représente le grand gisement en Algérie, elle entrer la production en la moitié de l'année 2015 à de plus de 81000 panneaux solaire produisent 20 MW sur une surface 40 ha, elle est l'une des 6 gisements de production globale égale 48 MW.

- ✓ La Centrale photovoltaïque 20 MW de Adrar (Adrar), mise en service en octobre 2015
- ✓ La Centrale photovoltaïque 03 MW de Kaberten (Adrar), mise en service en octobre 2015
- ✓ La Centrale photovoltaïque de 06 MW Zaouit-Kounta (Adrar), mise en service en janvier 2016.
- ✓ La Centrale photovoltaïque 09 MW de Timimoune (Adrar), mise en service en février 2016
- ✓ La Centrale photovoltaïque 05 MW de Reggane (Adrar), mise en service en janvier 2016
- ✓ La Centrale photovoltaïque 05 MW d'Aoulef (Adrar), mise en service en mars 2016.

Tableau 1-4 : La distribution des unités de production de l'énergie par les sources décentralisées de la Wilaya Adrar [12].

Centrale	Superficie (ha)	Date de mise en service	Production maximale réalisée 2017 (KW)	Energie produite 2017 (GWh)	Prévision Production 2018 (GWh)
Kaberten PV	6	12-10-2015	2907	06	07
Kaberten éolienne	30	08-06-2014	9370	19	23
Adrar PV	40	28-10-2015	18545	37	44
Z-Kounta PV	12	12-01-2016	6501	11	13
Reggane	10	28-01-2016	4767	09	11
Timimoune	18	07-02-2016	9181	17	20
Aoulef PV	10	06-03-2016	4862	09	11

1.4. L'agriculture en Adrar :

Selon les données de la direction d'agriculture en Adrar, les principales productions qui sont existés dans les surfaces d'agriculture à Adrar sont : les palmiers dattier, les céréales, les maraichages, les cultures industrielles, les fourrages et les gumes secs. Ces productions d'agricole sont soit des agricoles traditionnelle, soit dans des maisons de serre ou sont agricoles sous pivot.

Nous trouvons quelques des données de la direction d'agriculture en Adrar sur la surface d'agriculture en hectare et la production pour chaque Daïra dans la wilaya d'Adrar d'année 2013-2014 et nous pronomons quatre Daïras par exemple [13].

Tableau 1-5 : L'agriculture par chiffres par Dira [Direction de l'Agriculture, Chambre agricole de la Wilaya d'Adrar] [13] :

Type de production	Palmiers Dattiers	Céréales	Maraichages	Cultures industriel	Fourrage	Les gumes secs
Adrar	5047 ha 129081 qx	5240 ha 146535 qx	3298ha 377469qx	0 ha 0qx	1392 ha 250950qx	49 ha 359qx
Fonoughil	2349 ha 81763 qx	29865 ha 999426 qx	4606 ha 688538 qx	1625 ha 25595 qx	2395 ha 561940 qx	250 ha 1140 qx
Zaouit-Kounta	2932 ha 105082qx	47160ha 1547844 qx	3941 ha 1733451 qx	850 ha 32735 qx	605 ha 104100 qx	105 ha 435 qx
Tsabit	1488 ha 45663 qx	17310 ha 730458 qx	2838 ha 517362 qx	105 ha 240 qx	1110 ha 244700 qx	50 ha 420

1.4.1. L'eau à Adrar :

La wilaya d'Adrar est une région très riche en eau souterraine. D'après certaines études, la capacité des eaux souterraines est de l'ordre de 60.000 milliards de mètres cubes jusqu'à la prochaine dizaine d'années, avec une éventuelle utilisation de 155 m³/s et puisée par différents moyens [14] :

- Les foggaras au nombre de 900 avec un débit de 3.68 l/s,
- Les puits au nombre de 600 avec un débit moyen de 02 l/s,
- Les forages au nombre de 414 avec un débit moyen de 16.4 l/s [14].

1.4.2. L'irrigation des terres dans la région d'Adrar :

➤ Système d'irrigation par la foggara :

L'irrigation des terres par les foggaras est le système traditionnel le plus ancien et le plus utilisé par les villageois pour assurer leur besoin hydraulique dans toute la région d'Adrar (le système consiste à ramener l'eau d'un certain point à un autre via des tunnels souterrains jusqu'aux périmètres que l'on désire irriguer) [14].

Vu l'augmentation tout azimuth du nombre d'habitation et une activité de renouvellement et d'entretien délaissée à cause des travaux manuels pénibles et exigeant un coût très élevé. Sur les 900 foggaras plus de 2/3 recensées ne sont plus en activité à travers toute la wilaya (La superficie irriguée par les foggaras est estimée à 8500 ha). A moyen terme, aucune foggara ne sera en activité, condamnant ainsi tous les périmètres irrigués par ces systèmes [14].



Figure 1.12 : Système d'irrigation traditionnelle [15].

➤ système d'irrigation pivots :

L'irrigation à pivot central est une forme d'irrigation aérienne, reproduisant une pluie artificielle. À l'origine, les systèmes d'irrigation à pivot central tournaient grâce à l'énergie hydraulique [16].

Aujourd'hui, la plupart des systèmes sont mis en rotation par un moteur électrique monté sur chaque essieu de roue [16].



Figure 1.13 : L'irrigation sous pivot. [16]

1.4.3. Le système de pompage solaire pour l'agriculture :

L'utilisation le système solaire pour le pompage d'eau de puits/forage vers le bassin/réservoir pour l'irrigation des plantes représente la solution économique le plus efficace pour les agricultures à cause des caractéristiques d'ensoleillement d'Adrar 3000 heures/an et la durée de vie de ce système.

Ce système de pompage au fil du soleil compose :

- D'un générateur photovoltaïque.
- Un moto- pompe (moteur électrique et pompe immergée/de surface)
- Un convertisseur (hacheur/onduleur)
- Les tuyaux
- Un contrôleur



Figure 1.14 : Générateur solaire [17].



Figure 1.15 : Pompe immergée [17].



Figure 1.16 : Onduleur [17].



Figure 1.17 : Tuyaux [17].

Les fils conducteurs pour la connexion entre le générateur solaire, l'onduleur et la pompe.

La figure 1.16 représente un schéma simplifié le pompage photovoltaïque

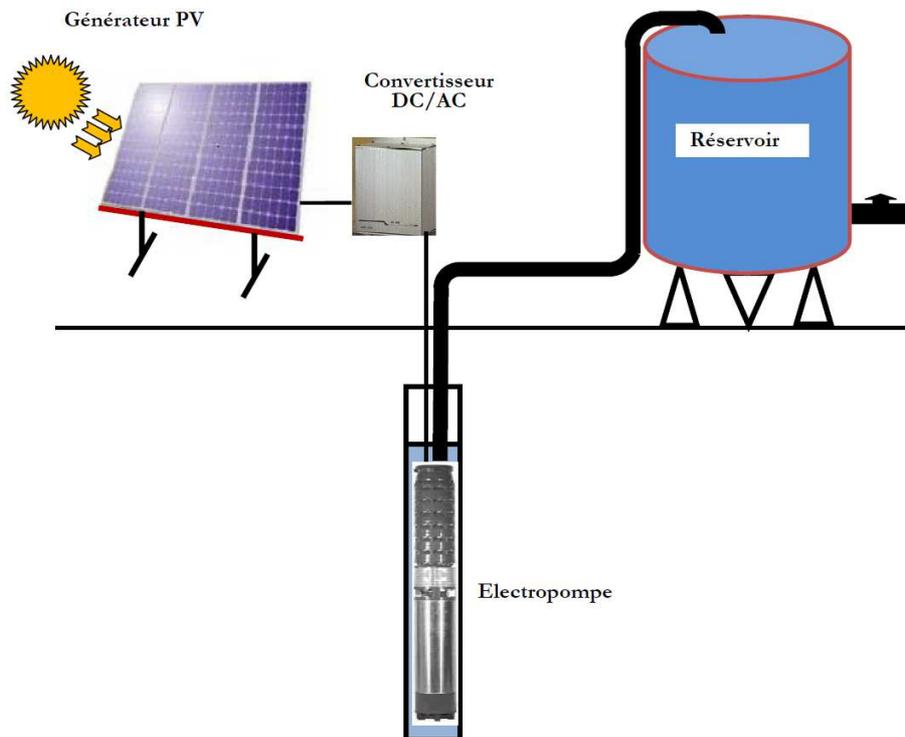


Figure 1.18 : Schéma simplifié le pompage photovoltaïque [6].

1.4.4. L'avenir du gisement solaire de 20MW [13] :

La centrale solaire photovoltaïque de 20 MW de Adrar s'inscrit dans le cadre du programme national des énergies renouvelables et l'efficacité énergétique les attentes de la réalisation de cette centrale sont :

1-Diversification des sources de production de l'électricité et développement de moyens de production à base de l'énergie solaire.

2- Energie annuelle production par la centrale photovoltaïque est de 36000 MWh

3- Préservation des ressources : économie des combustibles fossiles environ de 10000 m³/an de gaz.

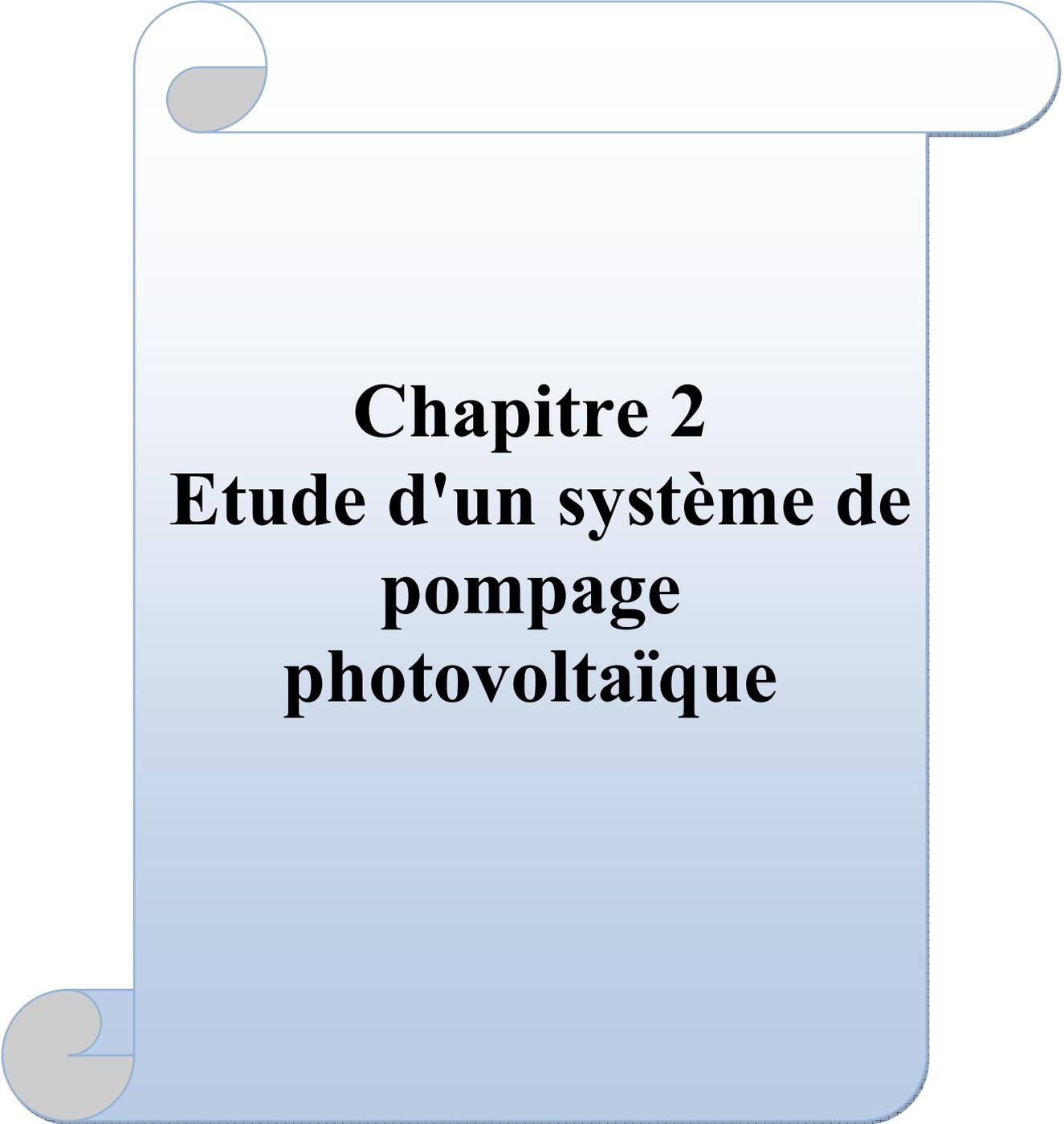
4-protection de l'environnement par la réduction des émissions des gaz à l'effet de serre (28800 Tonne/an de réduction d'émission de CO₂) [12].

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons discuté des institutions les plus importantes pour produire des panneaux solaires, les potentiels d'énergie renouvelable à la production d'énergie solaire et les projets de l'Algérie à la production d'énergie solaire dans la région Saharienne, en particulièrement la Wilaya d'Adrar.

Je conclu que l'énergie solaire est très importante dans le monde, elle jeu le rôle d'un réservoir de l'énergie électrique, pour remplir le besoin d'électricité, parce qu'elle est non polluante et disponibles, le prix des cellules solaire est en diminution à chaque année.

Le développement en Algérie se basée sur la production de l'électricité solaire pour améliorer l'économique intérieur et extérieure.



Chapitre 2
Etude d'un système de
pompage
photovoltaïque

Introduction :

L'Algérie est l'une des pays qui renforce le pompage d'eau en utilisant le système de pompage solaire dans le domaine d'agriculture et en particulier dans les régions Sahariennes, car ces régions sont connues par un grand ensoleillement et des quantités d'eau sous terrain qui sont très importante à réaliser ce système.

Ce chapitre traite deux parties importantes, la première partie est dédiée la production des panneaux solaire en Algérie, et la deuxième partie consiste à exposer les systèmes de pompage solaire, les différents types utilisés, les avantages et les inconvénients du système de pompage solaire. Ainsi le dimensionnement de système de pompage au fil du soleil par ce qu'il est le plus utilisée pour l'irrigation des régions d'agriculture dans la Wilaya d'Adrar.

2.1. réglementation sur l'utilisation d'énergie renouvelable en Algérie

[10]:

L'utilisation des énergies renouvelable en Algérie est encadrée par plusieurs textes réglementaires :

- Loi n° 04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable (JO n° 52 du 18 août 2004).
- Arrêté du 21 février 2008 fixant les règles techniques de raccordement au réseau de transport de l'électricité et les règles de conduite du système électrique (JO n° 25 du 18 Mai 2008).
- Arrêté interministériel du 19 avril 2008, portant Adoption du règlement technique relatif au « Module Photovoltaïque (PV) au silicium cristallin pour application terrestre ».
- Loi n° 09-09 du 30 décembre 2009 portant loi de finances pour 2010, notamment son article 64 portant création du fond national pour les Energies renouvelables et la cogénération (création du Fonds National pour les Energies Renouvelables FNER) (JO n°78 du 31 décembre 2009).
- Arrêté du 2 février 2014 fixant les tarifs d'achat garantis et les conditions de leur application pour l'électricité produite à partir des installations utilisant la filière éolienne (JO n° 23 du 23 Avril 2014).
- Arrêtés ministériels du 02 février 2014 fixant les tarifs d'achat garantis pour la production d'électricité à partir d'installations utilisant la filière photovoltaïque et les conditions de leur application.

- Décret exécutif n° 15-69 du 11 février 2015 fixant les modalités de certification de l'origine de l'énergie renouvelable et de l'usage de ces certificats ; (JO n° 09 du 18 février 2015).

2.2. Les principales entreprises de production des panneaux solaire en Algérie :

Dans le but de promouvoir l'utilisation de l'énergie photovoltaïques en Algérie, plusieurs entreprises (publique et privé) de production (assemblage) des panneaux photovoltaïques en vue le jour. Plusieurs d'autres entreprises veulent se placer dans ce domaine qui va certainement se consolider d'avantage dans les années à venir, parmi les plus importantes :

- **L'ENTREPRISE NATIONALE DES INDUSTRIES ELECTRONIQUES SOLAIRE (ENIE Solaire) :**

Situé à Sidi Bel Abbés est une usine de fabrication de panneaux solaires d'une capacité de 45 mégawatts, extensible à 50 mégawatts, cette usine, dont l'entrée en production été 2015, connaît un taux développement rapide.

- **CONDOR**

Spécialisée dans l'électronique, dont le siège social est basé à Bordj Bou Arreridj , a décidé, dans ce cadre, de créer une unité dédiée aux panneaux solaires et a lancé le projet en janvier 2012.

L'usine de Condor dédiée à l'énergie solaire est destinée à la fabrication de panneaux photovoltaïques avec la technologie du silicium dont la puissance peut varier entre 70W à 28 W (mono et poly).

- **ALGERIAN PV COMPANY**

Située dans la zone industrielle de Tlemcen, et assise sur une superficie de 7000 m² totalement couverte, elle est dotée d'une ligne moderne modulable d'encapsulation de modules photovoltaïques pouvant produire 12 mégawatts annuellement. Durant le cycle de fabrication, les modules photovoltaïques d'ALPV subissent un contrôle de qualité rigoureux garantissant au client l'acquisition d'un produit sûr.

A sa création en 2010, SARL ALGERIAN PV COMPANY se positionne comme une entreprise industrielle fournissant des panneaux solaires photovoltaïques conformes aux normes Algériennes NA10454 et NA16562.

- **AURES SOLAIRE**

Aures Solaire est une unité privée de production de panneaux solaires. D'une capacité annuelle de 30 MW, constituée par 125 000 panneaux photovoltaïques pouvant alimenter environ 30 000 ménages, elle est située à Batna dans la zone d'activité de la commune d'Ain Yagout. La construction de cette usine à couler 10 millions \$, démarré en 2013.

2.3. Système de pompage photovoltaïque :

Le système de pompage photovoltaïque très intéressant du point de vue de la facilité d'installation, son utilité et d'autre part son autonomie et la fiabilité.

Ce système est très utilisé dans les zones rurales et sites isolés en raison d'indisponibilité des réseaux électriques.

Il y a deux types de système de pompage photovoltaïque sont le système de pompage avec batterie et au fil du soleil (sans batterie).

2.3.1 Système de pompage avec batterie :

Le système de pompage avec batterie permet de stocker l'électricité dans les batteries (Figure 2.1). Il permet d'utiliser de l'électricité aussi en absence du soleil. Ce système est de leurs batteries sont coûteuses, peu durables, nécessitent beaucoup d'entretien et peuvent engendrer une baisse de rendement de l'ordre de 20 à 30%, ce qui limite fortement l'intérêt de cette solution.



Figure 2.1 : Système de pompage avec batterie [6]

2.3.2. Système de pompage au fil du soleil :

Le système de pompage au fil du soleil permet de transporter l'eau de puits ou fourrage vers le réservoir ou un bassin pour le stocker puis l'utiliser selon le besoin.

Le pompage s'arrête :

- lorsque l'éclairement solaire est trop faible.
- lorsque la citerne est pleine (flotteur/interrupteur de niveau).

Le pompage ne s'arrête pas s'il y a une trop pleine hydraulique [14].

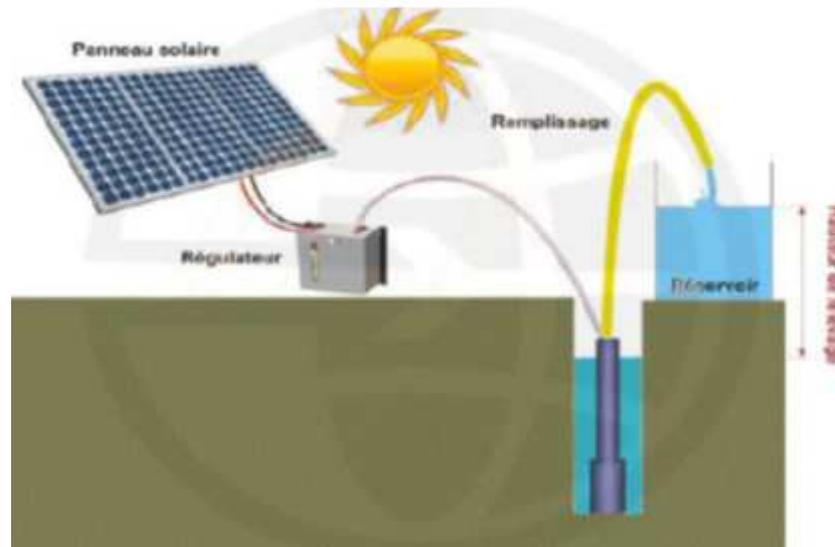


Figure 2.2 : Système de pompage au fil du soleil [6].

Cette solution est fiable et moins coûteuse que la précédente, mais ces pompes n'ont pas un débit constant et ne fonctionnent pas en dessous d'un certain niveau d'éclairement (fin et début de journée notamment). Leur rendement étant plus faible en dehors de la puissance nominale de fonctionnement, il est nécessaire d'installer un adaptateur de charge.

2.4. Types des pompes solaires :

Les pompes à eau solaires sont des pompes fonctionnant grâce à un moteur électrique dont l'énergie provient des cellules photovoltaïques disposées sur des panneaux solaires et captant l'énergie lumineuse du soleil.

Ces pompes sont la pompe volumétrique et la pompe centrifuge.

2.4.1 Pompe volumétrique :

- Définition et principe

Le déplacement du fluide est dû aux transports d'un volume V_0 à chaque rotation. Les pompes volumétriques ou à capacité variable sont des pompes dans lesquels l'écoulement du fluide résulte de la variation d'une capacité occupée par le fluide.

Une pompe volumétrique comporte toujours une pièce mobile dans une pièce creuse qui déplace le liquide en variant le volume contenu dans la pièce creuse [19].

- Types de pompes volumétriques

On distingue deux types : les pompes **oscillantes** et les pompes **rotatives**.

- Les avantages des pompes volumétriques

✓ Faible dépendance du débit de refoulement par rapport à la hauteur de refoulement convient donc bien pour les pompes de dosage et pompes à injection.

✓ Très bonne puissance d'aspiration, même avec une part gazeuse.

✓ Débit de refoulement ajustable de manière très exacte et reproductible par le biais de la course et du nombre de courses [19].

- Inconvénients des pompes volumétriques

✓ Sur les pompes volumétriques oscillantes, un fonctionnement sans vibrations n'est possible qu'avec un complexe équilibrage des masses.

✓ Pour certains types, construction avec soupapes compliquée et propice aux pannes.

✓ Davantage de pièces d'usure que sur les pompes centrifuges [19].

2.4.2 Pompe centrifuge :**- Définition et principe de fonctionnement**

Les pompes centrifuges sont productrices de courant hydraulique. Dans les pompes centrifuges, l'énergie mécanique est tout d'abord transformée en énergie cinétique [9].

Le fluide est aspiré axialement, sous l'effet de la rotation de l'impulseur, dans le corps de la pompe où il est accéléré radialement dans l'aube avant d'être refoulé. L'arbre est mis en mouvement grâce à un moteur électrique. La figure (2.3) représente les éléments essentiels de la pompe centrifuge.

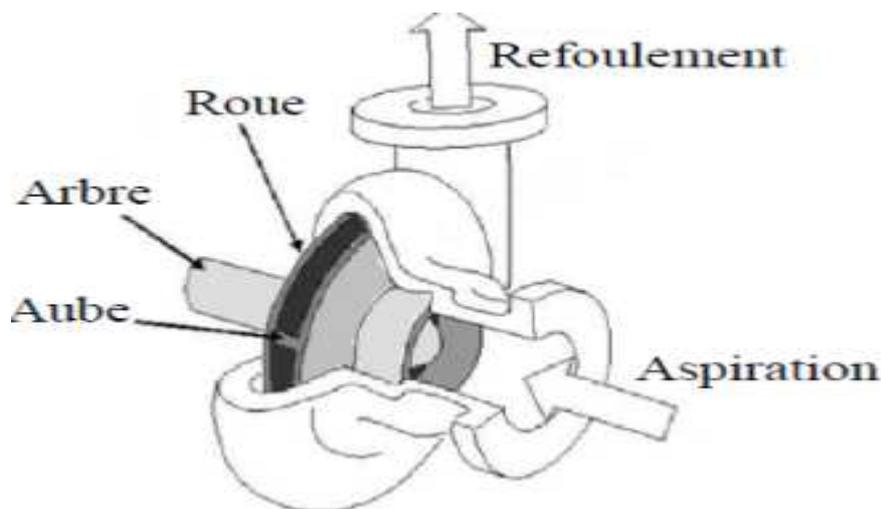


Figure 2.3 : La pompe centrifuge [9].

- Les types de pompe centrifuge

Selon différentes applications, on trouve différents types de pompes centrifuges :

a) pompes centrifuges multicellulaires ou multiétages avec :

*Des rotors fermés ou rotors ouverts.

* On peut monter plusieurs roues sur le même arbre ce qui permet d'augmenter la pression de refoulement.

b) La pompe centrifuge monocellulaire à roue en porte à faux est la plus simple.

- **Principales lois générales s'appliquant à la pompe centrifuge** [20]

- ✓ Il existe une dépendance linéaire entre le débit Q et la vitesse de rotation n

$$Q = f(n) \quad (2.1)$$

- ✓ La hauteur de refoulement H dépend du carré de la vitesse de rotation n

$$H = f(n^2) \quad (2.2)$$

- ✓ La puissance PK dépend de la vitesse de rotation n à la puissance 3

$$PK = f(n^3) \quad (2.3)$$

- **Les avantages des pompes centrifuges**

- ✓ Construction simple, peu de composantes mobiles, longue durée de service.
- ✓ Débit de refoulement facile à ajuster par une soupape à la sortie de la pompe ou par la vitesse de rotation.
- ✓ Vitesse de rotation élevée, entraînement direct possible par moteur électrique ou turbine.
- ✓ Fonctionnement très silencieux grâce à un bon équilibrage des masses et à l'absence de masses oscillantes.
- ✓ Prix modérés et coût de maintenance faible.
- ✓ Pompes compactes et peu encombrantes.
- ✓ Bons rendements.
- ✓ En cas de dysfonctionnement du circuit de refoulement (colmatage), la pompe ne subit aucun dommage

- **Les inconvénients des pompes centrifuges** [20] :

- ✓ Pas auto-amorçantes (des types spéciaux tels que la pompe à canal latéral peut être auto-amorçantes).
- ✓ Le débit volumétrique dépend de la pression de refoulement.
- ✓ Plusieurs étages requis pour les pressions de refoulement élevées.

2.5. Le choix de la pompe :

Le choix d'une pompe se portera également sur sa capacité à répondre aux conditions variables du site. Nous avons vu que le débit d'une pompe volumétrique est moins affecté par la variation de la HMT alors que la pompe centrifuge verra son débit diminuer rapidement à

mesure que la HMT augmente. La hauteur de refoulement d'une pompe centrifuge est en fonction du carré de la vitesse du moteur. À mesure que la HMT augmente, le rendement de la pompe diminue très rapidement ; le moteur devrait tourner beaucoup plus rapidement pour fournir un même débit [21].

2.6. Les composants d'un système de pompage solaire :

Le système de pompage solaire est généralement constitué de trois parties :

2.6.1. Le générateur photovoltaïque

La cellule solaire est l'unité de base du système qui convertit l'énergie solaire en électricité de façon directe à courant continu, elle produit une puissance max lorsque l'intensité du rayonnement solaire atteint 1000 W / m^2 à une température égale à $25 \text{ }^\circ \text{C}$ (dans des conditions nominales).

L'ensemble des cellules donne un module et l'association des modules donne un générateur photovoltaïque.

Le générateur photovoltaïque est un l'élément le plus important dans le système de pompage solaire, il est constitué d'une ou plus des modules photovoltaïques, pour obtenir une puissance suffisante à la pompe, sachant que le nombre des panneaux dépend de la puissance de la pompe choisie.

2.6.2. La motopompe

La motopompe constituée d'un moteur électrique et la pompe.

a) Le moteur

Le moteur électrique d'une électropompe, que se soit en courant continu (CC) ou alternatif (AC), permet de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique

b) La Pompe

La pompe est l'appareille qui permet de transporter un fluide d'une source plus bas vers un point haut ; Quelle que soit la pompe, elle est constituée de trois parties distinctes [23]:

- * La partie motrice, qui fournit la puissance nécessaire au pompage.
- *La transmission, qui transmet cette puissance à la partie hydraulique.
- *La partie hydraulique, qui transmet cette puissance à l'eau pour la déplacer (l'aspirer et/ou la refouler).

➤ Les types de pompe :

1. La pompe de surface centrifuge

Pompe de surface est une pompe utilisée pour pompée l'eau de surface ou pour pompée

L'eau de réservoir plus bas vers réseau ou autre réservoir haut d'une technologie d'aspiration-refoulant à un niveau d'eau le plus bas est située à moins de 7 mètres.

2. La pompe immergée centrifuge

La pompe immergée est une pompe installée dans l'eau de forage à un débit dépasse à 2 m³/h et à niveau d'eau le plus bas est situé à plus de 7 mètre.

Exemple :

Le tableau 2-1 donne la Hauteur Manométrique Totale maximum et le débit maximum nécessaire à un système de pompage solaire d'une pompe immergée LORANTZ.

Tableau 2-1 : Les types de pompe solaire immergée Lorantz [24].

Références	HMT _{Max} (m)	Débit _{total} (m ³ /h)
PS150		
PS150C-SJ5-8	20 m	5 m ³ /h
PS200		
PS200HR-04	50 m	0.73 m ³ /h
PS200HR-07	40 m	1.3 m ³ /h
PS200HR-14	20 m	2.6 m ³ /h
PS600		
PS600C-SJ 5-8	30 m	6.5 m ³ /h
PS600C-SJ 8-5	15 m	12 m ³ /h
PS600HR-03	180 m	0.45 m ³ /h
PS600HR-04	140 m	0.72 m ³ /h
PS600HR-07	90 m	1.3 m ³ /h
PS600HR-10	80 m	2 m ³ /h
PS600 HR-14	50 m	2.6 m ³ /h
PS 1200		
PS 1200 C-SJ 5-8	40 m	7.5 m ³ /h
PS 1200 C-SJ 8-7	24 m	11 m ³ /h
PS 1200C-SJ 12-4	15 m	21 m ³ /h
PS1200 HR-03	240 m	0.5 m ³ /h
PS1200HR-04	160m	0.8 m ³ /h
PS1200 HR -07	120m	1.2 m ³ /h
PS1200 HR-10	80m	1.9 m ³ /h

PS 1200 HR-14	60m	2.7 m ³ /h
PS1800		
PS1800 C-SJ 1-25	10 m	2.9 m ³ /h
PS 1800 C-SJ 3-18	80 m	4 m ³ /h
PS 1800 C –SJ 5-12	70 m	7.6 m ³ /h
PS 1800 C –SJ 8-7	40 m	13 m ³ /h
PS 1800 C-SJ 12-4	18m	20 m ³ /h
PS 1800 C-SJ 17-2	16 m	26 m ³ /h
PS 1800 C –SJ 30-1	10 m	49m ³ /h
PS 1800 C-SJ 42-1	8 m	53 m ³ /h
PS 1800 HR-03	240 m	0.43 m ³ /h
PS 1800 HR -04	140 m	0.72 m ³ /h
PS 1800 HR-05 HL	250 m	0.97 m ³ /h
PS 1800 HR-07	120 m	1.3m ³ /h
PS 1800 HR-07 H	160 m	1.4m ³ /h
PS 1800 HR-10	80m	2.1m ³ /h
PS 1800 HR-14	60m	2.5m ³ /h
PS 1800 HR-14 H	120 m	2.7m ³ /h
PS 1800 HR-23	80 m	3.9m ³ /h
PS 4000		
PS 4000 C-SJ 3-32	160m	4.2 m ³ /h
PS 4000 C-SJ 5-25	140 m	7m ³ /h
PS 4000 C-SJ 18-15	80m	14m ³ /h
PS 4000 C-SJ 17-4	45 m	25m ³ /h
PS 4000 C-SJ 30-2	22m	45 m ³ /h
PS 4000 C-SJ 42-2	16m	62m ³ /h
PS 4000 C–SJ 60-1	10m	79m ³ /h
PS 4000 C SJ 60-2	16 m	59 m ³ /h
PS 4000 HR-05	450m	0.93m ³ /h
PS 4000 HR-14	180m	2.5m ³ /h

2.6.3. La partie de stockage :

La partie de stockage est soit une batterie ou bien un réservoir, la figure 2.4 représente un schéma simple d'un système de pompage photovoltaïque

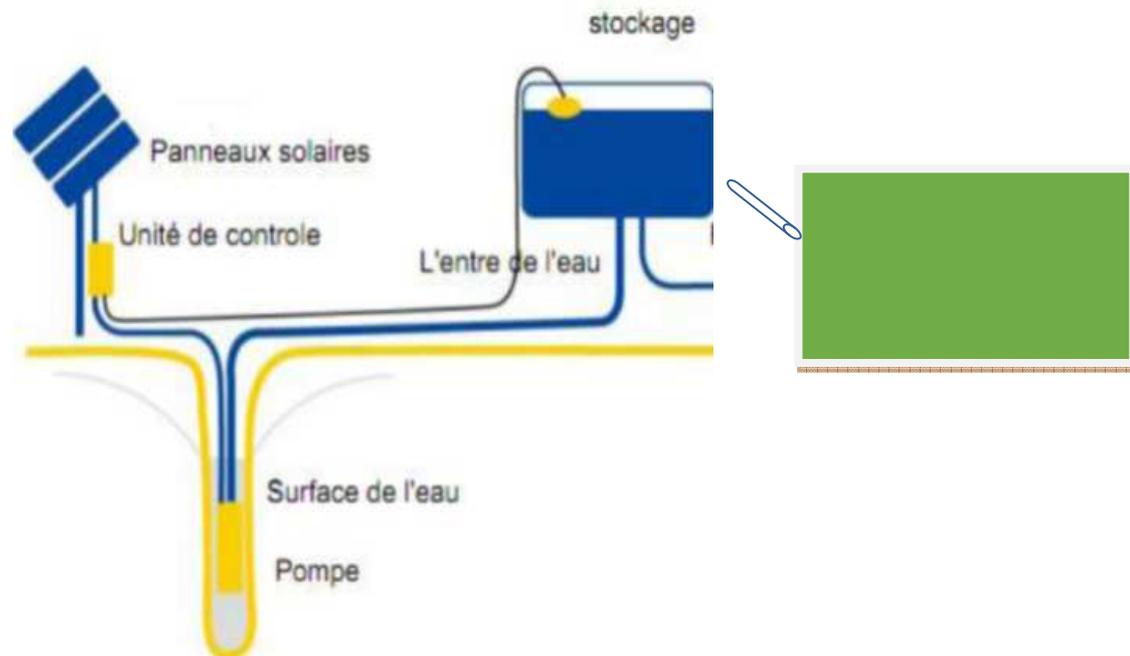


Figure 2.4 : schéma simplifié le système de pompage photovoltaïque [17].

2.6.4. Le convertisseur :

Pour convertir de l'énergie produit par le générateur photovoltaïque, on utilise soit le hacheur ou bien l'onduleur.

❖ Le convertisseur hacheur

L'impédance d'entrée d'un convertisseur statique du type CC/CC doit être adaptée afin de forcer le générateur photovoltaïque à travailler au point de puissance maximale. Ce convertisseur peut fournir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe.

Les convertisseurs statiques du type cc/cc se divisent généralement en trois catégories : abaisseur de tension (hacheur dévolteur), élévateur de tension (hacheur survolteur) et abaisseur-élévateur de tension (hacheur dévolteur survolteur) [23]. Il utilise pour la pompe qui alimente sur le courant continue.

❖ Le convertisseur onduleur

La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par les panneaux solaires en un courant alternatif CC/AC pour actionner le groupe moteur pompe alimente à un courant alternatif.

Le rendement de l'onduleur est généralement élevé pour valoriser au mieux l'énergie produite par le générateur.

2.7. Les types des moteurs électriques :

Il existe différents types de moteurs, à courant continu ou alternatif, et dans chacune de ces catégories les choix sont encore nombreux. Parmi les moteurs à courant continu les moteurs séries à bobinage électromagnétique sont les plus adaptés à un pompage variable en fonction de l'ensoleillement. Mais de plus en plus c'est le choix d'un moteur à courant alternatif qui semble s'imposer pour un pompage à l'aide d'énergie photovoltaïque (moteur à faible coût, efficacité accrue grâce à des onduleurs solaires dont le coût supplémentaire, pourtant élevé) :

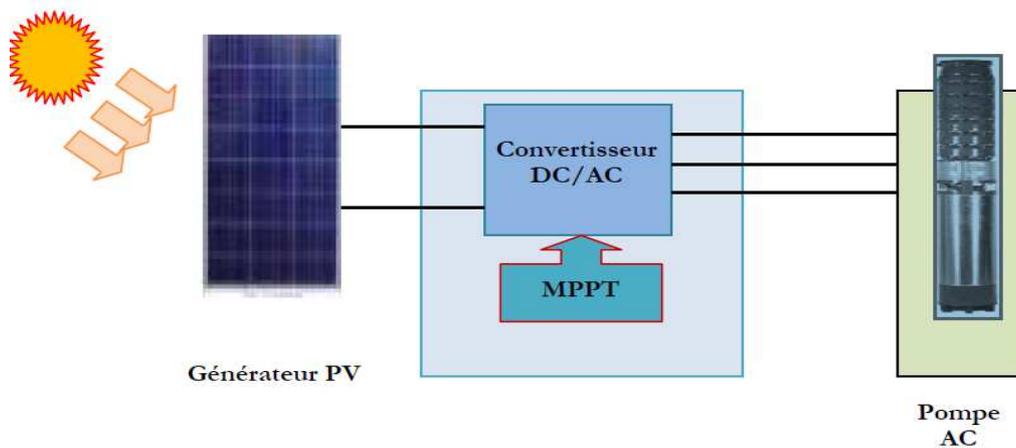


Figure 2.5 : Système de pompage photovoltaïque avec une motopompe à courant alternatif à l'intermédiaire d'un onduleur [6].

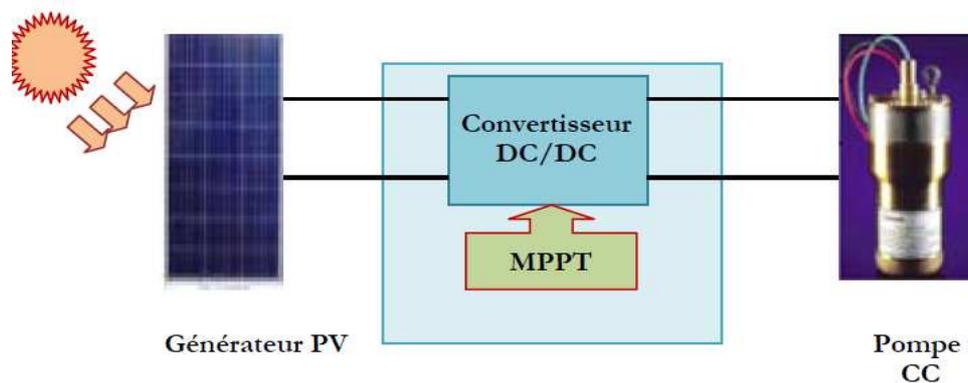


Figure 2.6 : Système de pompage photovoltaïque utilisant une motopompe à courant continue à l'intermédiaire d'un hacheur [6].

2.8. Les avantages et les inconvénients d'un système de pompage photovoltaïque :

a. Les avantages

- Ces pompes fonctionnent grâce à une énergie renouvelable propre, abondante et gratuite.
- Les frais d'entretien des panneaux solaires, d'une durée de vie d'au moins vingt ans, sont quasi nuls.

b. Les inconvénients

- Le coût de l'investissement est élevé (mais il aura probablement tendance à diminuer dans l'avenir). L'installation nécessite des études préalables précises et des spécialistes, lesquels sont encore peu nombreux.
- Le rendement de ces pompes varie en fonction de l'importance de l'ensoleillement, de l'angle d'exposition des panneaux et de la température.
- Les risques de vol sont importants.

2.9. Dimensionnement d'un système de pompage solaire [21] :

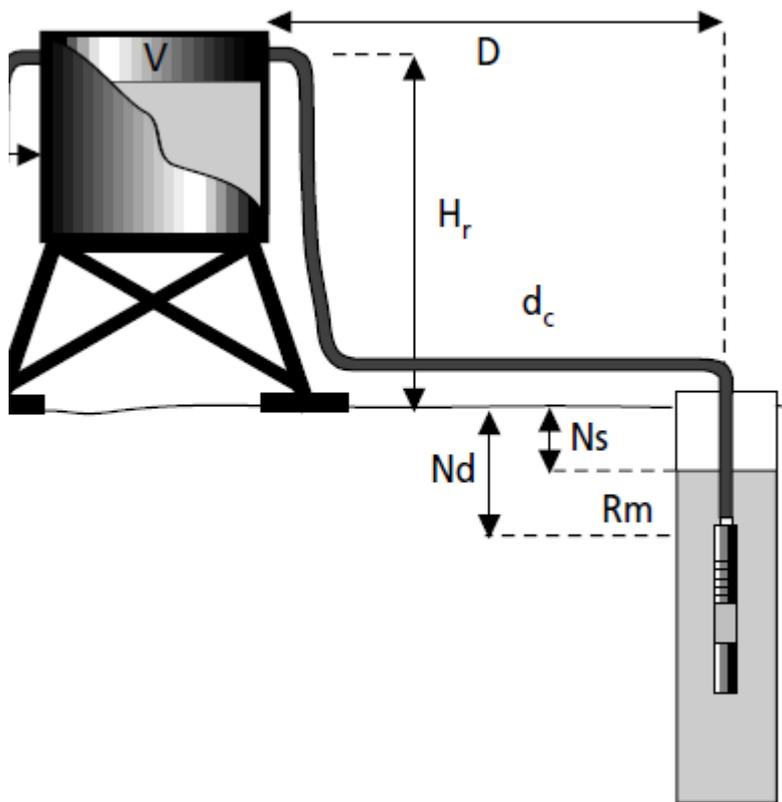


Figure 2.7 Le dimensionnement d'un système de pompage [21].

2.9.1 Les notions hydrauliques d'un système de pompage solaire :

2.9.1.1 Calcul de la Hauteur Manométrique Totale (HMT)

La Hauteur Manométrique Totale est la pression totale que doit fournir une pompe pour faire monter l'eau de font de puis vers le réservoir. Elle est exprimée généralement en mètres (ou mètres de colonne d'eau), en bars ou en kg/cm².

La Hauteur Manométrique Totale HMT est la somme de la hauteur géométrique H_g et des pertes de charges en ligne P_c, elle est exprimée par l'équation suivant :

$$HMT = H_g + P_c \quad (2.4)$$

- La hauteur géométrique H_g est la dénivellation entre le plan d'eau le plus bas et le point le plus haut de la canalisation.

-Les pertes de charges P_c sont les pertes de pression tout le long de la canalisation dues aux frottements.

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

$$H_g = H_r + N_d \quad (2.5)$$

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

$$H_g = H_r + N_d \quad (2.6)$$

Où :

H_r : hauteur de réservoir(m) ;

N_d : niveau dynamique (m) ;

Le niveau dynamique N_d d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné, on l'exprime par l'équation suivant :

$$N_d = N_s + R_m \quad (2.6)$$

Le niveau statique N_s est la distance entre le niveau statique de l'eau dans le puits jusqu'au point le plus élevé auquel on doit pomper l'eau.

En général, on recommande que la hauteur dynamique ne dépasse pas 10 % de la hauteur totale de pompage.

R_m est le rabattement maximum.

2.9.1.2 Calcul le débit Q [21]

Le débit fourni par une pompe est la quantité d'eau qu'elle refoule durant un intervalle de temps donné. En pompage solaire, le débit est souvent exprimé en m³ par jour.

Avant l'installation d'un système de pompage solaire, il faut dimensionner le système, ce dernier permet d'obtenir la performance souhaitée. Il met en jeu quatre paramètres essentiels, à savoir :

1. Evaluation des besoins en eau
2. Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire
3. Détermination de l'énergie solaire disponible
4. Choix des composants.

2.9.2. Evaluation des besoins en eau :

- a) Les besoins d'eau pour l'irrigation dépendent du type de culture, des facteurs météorologiques comme la température, l'humidité, la vitesse du vent, l'évapotranspiration du sol, la saison de l'année considérée et de la méthode d'irrigation. Cependant, il est important de se baser sur la pratique et l'expérience locale.
- b) La capacité du réservoir sera déterminée selon les besoins en eau journalières et l'autonomie requise du système.

2.9.3. Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire [25] :

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

$$E_h = \frac{\rho V H_g}{3600} \quad (2.7)$$

Où :

E_h : énergie hydraulique (Wh/jour) ;

H_g : hauteur totale (m) ;

V : volume d'eau (m³/jour) ;

ρ : densité de l'eau (1000 kg/m³) ;

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

Le produit $g \cdot \rho$ s'appelle la constante hydraulique C_h [kg. h. s/m²]

$$C_h = \frac{g \rho}{3600} \quad (2.8)$$

On note 1Wh=3600j.

2.9.4. Détermination de l'énergie solaire disponible

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

2.9.5. Le choix des composants :

a) Dimensionnement du générateur photovoltaïque

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

$$P_p = \eta_g A G_{ce} \quad (2.11)$$

Où :

P_p : puissance de sortie sous NOCT (W)

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

A : surface active du générateur (m^2)

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

L'énergie électrique journalière, E_e est donnée par :

$$E_e = \eta_{pv} A G_{dm}(\beta) \quad (2.12)$$

Où :

η_{pv} : rendement moyen journalier du générateur dans les conditions d'exploitation ;

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

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

$$\eta_{pv} = F_m [1 - \gamma(T_c - T_{c,ref})] \eta_g \quad (2.13)$$

Où :

F_m : facteur de couplage, défini comme le rapport entre l'énergie électrique générée sous les conditions d'exploitation et l'énergie électrique qui se générerait si le système travaillait au point de puissance maximum.

γ : coefficient de température des cellules. γ prend des valeurs entre 0,004 et 0.005 /°C pour des modules au silicium mono et poly cristallin et entre 0,001 et 0,002 pour des modules au silicium amorphe.

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

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

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{MP}} \quad (2.14)$$

Où :

E_h : énergie hydraulique moyenne mensuelle (kWh).

η_{MP} : rendement du sous-système moteur-pompe.

En substituant les équations et dans, nous obtenons pour la puissance crête du générateur :

$$P_p = \frac{G_{ce}}{F_m [1 - \gamma (T_c - T_{c,ref})]} \cdot G_{dm}(\beta) \eta_{MP} \frac{E_h}{\eta_{MP}} \quad (2.15)$$

➤ **Inclinaison du générateur photovoltaïque**

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

b) Dimensionnement du moteur

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

c) Dimensionnement de la pompe

Le choix de la pompe est basé sur les deux facteurs suivants :

- La hauteur manométrique totale HMT.
- Le débit horaire Q_h .
- h est le nombre heures d'ensoleillement maximal à $[1000W/m^2]$

$$Q_h = \frac{Q[m^3/jour]}{h} \quad (2.16)$$

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

$$P_h = P_e \eta_{MP} \quad (2.17)$$

Où :

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

L'énergie requise par la pompe pour soustraire une quantité d'eau vers une hauteur pendant une journée est calculée à partir de débit eu la HMT. Le calcul est en fonction d'une constante hydraulique et il est proportionnel au rendement du groupe motopompe utilisé :

$$E_{\text{éle}} = \frac{C_h Q HMT}{\eta_{MP}} \quad (2.21)$$

Où : η_{MP} est le rendement des groupes motopompes qui est de l'ordre de 45 % selon le type de pompe et de moteur.

1. La puissance crête P_{cr} du générateur photovoltaïque peut être estimée par la relation suivante :

$$P_{cr} = \frac{E_{\text{éle}}}{N_p \text{ Irr}} \quad (2.22)$$

Où :

N_p est le rendement de transfert de puissance qui vaut 0,9.

Irr représente l'irradiation qui vaut 6,3 kWh/m².

En divisant cette puissance crête P_{cr} par la puissance P_p d'un panneau on obtient le nombre des panneaux suffisant :

2. Le nombre de panneaux :

$$N_{\text{panneaux}} = \frac{P_{\text{cr}}}{P_p} \quad (2.23)$$

d) Dimensionnement des tuyauteries

Le diamètre des tuyauteries peut être estimé en utilisant des tableaux ou des graphes qui expriment les pertes par frottements en fonction du débit pour chaque diamètre de la tuyauterie.

En pratique, il se présente le problème de fixer la hauteur dynamique h_d pour des considérations économiques. En effet, si nous augmentons le diamètre D de la tuyauterie, h_d diminue. Economiquement parlant, une augmentation de D suppose une augmentation des dépenses d'installation, mais en même temps une diminution des pertes d'énergie.

Le diamètre le plus économique sera celui qui réduit au minimum la somme des coûts de la tuyauterie et de l'énergie perdue par frottements. Il est possible d'obtenir analytiquement les diamètres des tuyauteries de pompage qui s'approximent à ceux qui minimisent les coûts des installations par la formule de Bresse :

$$D = K\sqrt[3]{Q} \quad (2.18)$$

D : diamètre de la tuyauterie (m).

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

Q : débit crête de la pompe (m³/s).

L'équation de continuité est :

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} V \quad (2.19)$$

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

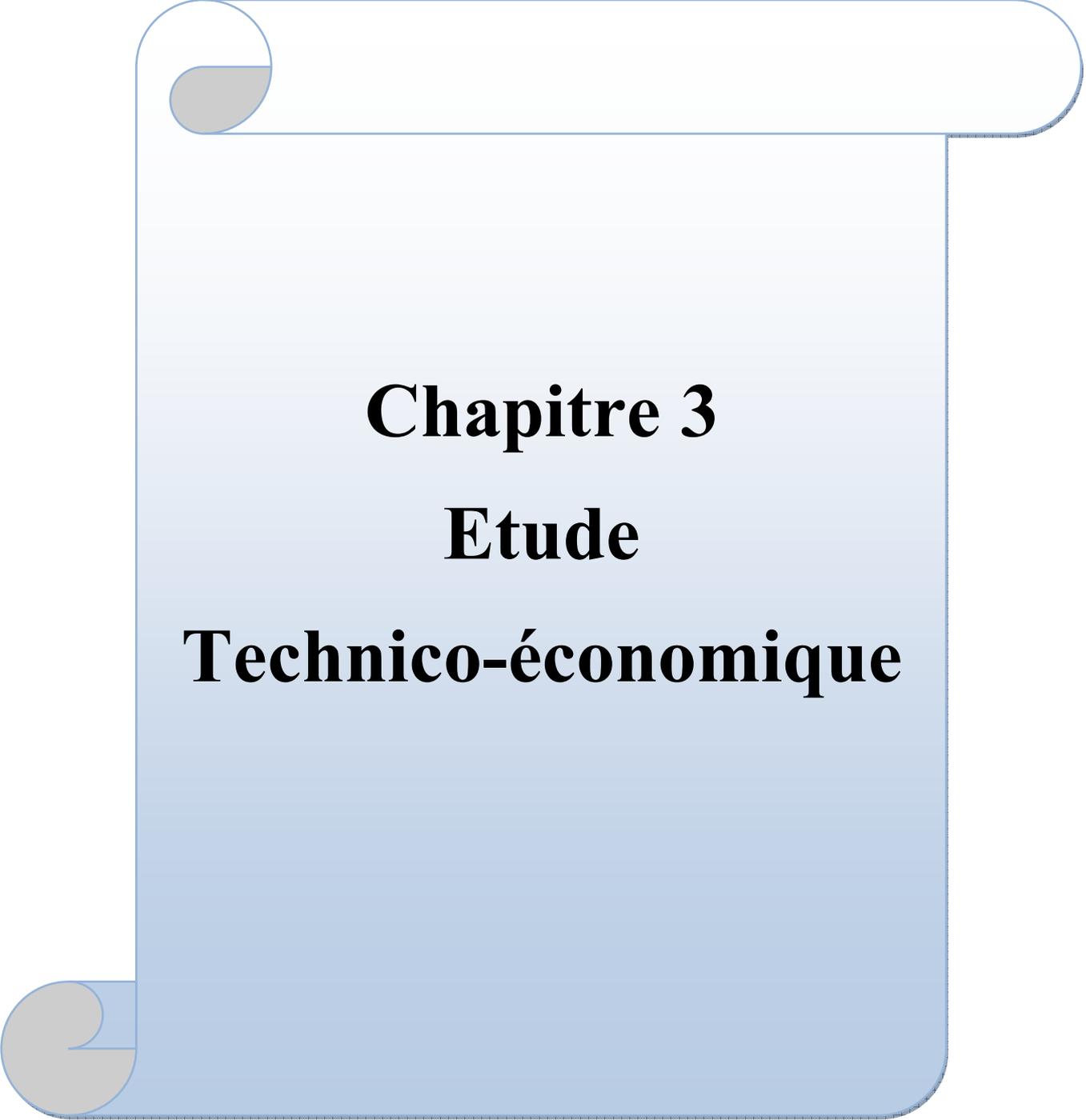
$$V = \frac{4}{\pi K^2} \quad (2.20)$$

Quel que soit la formule employée, les diamètres obtenus diffèrent fréquemment des diamètres commerciaux.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous parlions sur le système de pompage photovoltaïque et nous posions principalement sur des points nécessaires à définir le système de pompage photovoltaïque qui sont : les types de ce système, leurs composants, son avantages, sons inconvénients et enfin le dimensionnement de ce système.

On conclut que le système de pompage photovoltaïque représente la solution le plus fiable à l'environnement, et l'Algérie jeu un rôle plus grand pour améliorer de production agricole par utilisation l'énergie solaire comme bonne technologie au pompage d'eau et sortant les régions saharienne par exemple la Willaya Adrar.



Chapitre 3
Etude
Technico-économique

Introduction

En générale, le système de pompage photovoltaïque est constitué d'un générateur photovoltaïque et d'un sous-système de pompage à travers un convertisseur statique (onduleur/hacheur).

Sachant que la Wilaya Adrar (Algérie) est l'une des régions qui renforce l'utilisation de système photovoltaïque pour pompée l'eau dans le domaine d'agriculture et elle considère que ce système est une solution économique et appropriée pour sa situation géographique qui est de durée d'ensoleillement plus grande (3000 heures).

Dans ce chapitre nous allons prendre une région agricole dans le Ksar de Wayanna dans la Wilaya d'Adrar, pour laquelle nous allons faire une étude d'un système de pompage de cette région (les caractéristiques générale), étude de dimensionnement et technico-économiques pour le système de pompage Sonalgaz et nous comparons les résultats avec une étude économique d'un système de pompage photovoltaïque.

3.1. La situation géographique de Ksar Wayanna :

Le Ksar Wayanna est situé dans la municipalité des Oulad d'Ahmed - Daïra d'Adrar - Wilaya d'Adrar (zone Touat), elle est située entre le Ksar de Bouda et Ksar de Mimoun. Elle est constituée de plus de 100 régions agricoles l'une proche de l'autre qui utilisent le réseau de Sonalgaz pour le système de pompage et l'irrigation.

Notre étude du système de pompage d'eau par l'énergie solaire à été réalisé pour une passerelle de terrain agricole qui appartient à un agriculteur de la région d'Adrar.

3.2. Les caractéristiques de la région étudiée :

3.2.1. La surface agricole étudiée :

La région agricole étudiée a une surface de deux (02) hectares.



Figure 3.1 : La région agricole étudiée

3.2.2. Les différents produits cultivés :

Dans une surface de deux hectares il y a différents types de produit agricoles qui sont cultivés : 300 des palmiers dattes, les fruits (la grenade, figue, raisin, citron, olive, pastèque), les blés, amandes. Avec les plantes il y a des animaux qui son vive dans cette région par exemple les agneaux et les chiens de garde.



Figure 3.2 : Une partie qui est cultivée par des fruits et légumes



Figure 3.3 : La partie cultivée par des palmiers.



Figure 3.4 : La grenade qui est cultivés.

3.2.3. Le système d'irrigation :

Cette région est irriguée par deux systèmes différents qui sont : la goutte à goutte et l'irrigation traditionnelle.

3.2.4. Le système de pompage d'eau dans la région agricole étudiée :

Le système de pompage d'eau dans cette région est constitué d'un :

- Fourrage de profondeur de 65 mètre.
- Pompe d'une puissance égale à 2.2 kW.
- Un bassin (réservoir d'eau) d'un volume égale à 200 m^3 : $10*10*2 \text{ m}$

- Type de câbles sont de dimension quatre fois quatre (4x4) et de quatre fois deux (2x4).
- La source d'électricité est le réseau de distribution locale (Sonalgaz).
- Armoire de 380V de 2.2 kW.



Figure 3.5 : La sonde d'eau.



Figure 3.6 : Le réservoir d'eau

✚ Les caractéristiques d'un système de pompage étudié :

- La hauteur de réservoir est 2.8m au sol.
- Le niveau statique N_s est 12m.
- La pompe est posée dans une profondeur de 35m.
- Le débit d'eau Q est $25 \text{ m}^3/\text{h}$.
- La durée suffisante pour remplir le bassin est 8 heures.
- Longueur L de conduit qui collecte entre la motopompe et le bassin est de 50m.
- Le rendement de motopompe η_{MP} est 60%.

- Débit journalière $200\text{m}^3/\text{j}$

3.3. Ressources électrique de la Wilaya d'Adrar :

3.3.1. Réseau Sonalgaz :

Le réseau de Sonalgaz représente la première source d'électricité qui consommée par les habitants dans différentes domaine, mais il existe des sites très éloignée comme les régions agricoles qui sont en manque d'installation des réseaux électrique pour subvenir à leurs besoins en électricité (pour le pompage d'eau par exemple).

3.3.2. Groupe électrogène :

L'utilisation des groupes électrogènes dans les régions éloignées est la solution adéquate pour alimenter les habitants et suffisante pour leurs besoins comme l'agriculture.

Ceci d'une part et d'autre part en raison de, l'indisponibilité régulière du carburant, ces sujets se doivent de procéder par le stockage en masse de cette ressource.

3.3.3. Système photovoltaïque :

Au niveau de la Wilaya d'Adrar, l'énergie solaire est la bonne source d'électricité et qui est une solution pour alimenter tous les sites surtout les qui sont éloignées au réseau Sonalgaz, par ce que cette source d'électricité est fiable et produit l'énergie par grande puissance à cause la durée d'ensoleillement de la Wilaya et économique plus rentable a moyenne terme et non polluante.

3.4. Le pompage d'eau dans la Wilaya d'Adrar :

On distingue les systèmes de pompage selon leur source d'énergie :

- Motricité humaine (manuelle et à pédales).
- Réseau conventionnel, groupe électrogène diesel.
- Système éolien, système photovoltaïque et systèmes hybrides.

3.5. Etude économique comparative Sonalgaz- Photovoltaïque :

3.5.1. La méthode de calcul de dimensionnement d'un système de pompage étudié :

3.5.1.1. La hauteur manométrique totale :

- La hauteur manométrique totale (HMT) d'une pompe :

$$HMT = H_g + P_c \quad (3.1)$$

a. La hauteur géométrique :

$$H_g = N_d + H_R \quad (3.2)$$

$N_s=12\text{m}$

$$H_R = 2.8\text{m}$$

$R_{\max} = 15\text{ m}$: est le rabattement maximum.

$$N_d = N_s + R_{\max} \quad (3.3)$$

$$N_d = 12 + 15 = 27$$

$$H_g = 27 + 2.8 = 29.8$$

Alors

$$H_g = 29.8\text{ m}$$

b. Les pertes de charges

Alors :

$$P_c = 0.1 + H_g \quad (3.4)$$

$$P_c = 0.1 * 29.8 = 2.98$$

Les pertes de charges P_c est 2.98 mCE.

On remplace dans l'équation (3.1) par les valeurs de P_c et H_g , on trouve :

$$HMT = 29.8 + 2.98 = 32.78\text{ m}$$

La hauteur manométrique totale $HMT = 32.78\text{ m}$.

3.5.1.2. Dimensionnement de la pompe utilisée :

- *Le débit horaire :*

$$Q_h = \frac{Q[\text{m}^3/\text{jour}]}{h} \quad (3.5)$$

h est le nombre d'heure d'ensoleillement est 9.4.

$$Q_h = \frac{200}{9.2} = 21.73$$

$$Q_h = 21.73\text{m}^3/\text{h}$$

- La puissance hydraulique est :

$$P_h = P_e \eta_{MP} \quad (3.6)$$

$$P_h = 2250 * 0.6 = 1.350W$$

- Energie requise pour la pompe :

$$E_{\text{éle}} = \frac{\text{consomme hydraulique} * \text{le débit journalier} * \text{la hauteur manométrique totale}}{\text{rendement du groupe motopompe}} \quad (3.7)$$

$$E_{\text{éle}} = \frac{C_h Q HMT}{\eta_{MP}} \quad (3.8)$$

Avec :

$$C_h = \frac{E P_a}{3600} + c \quad (3.9)$$

Alors :

$$C_h = \frac{9.81 * 10^3}{3600} = 2.725 \text{Kg.s. h/m}^2 \text{Wh} = 3600 \text{ J}$$

On trouve :

$$E_{\text{éle}} = \frac{2.725 * 200 * 32.78}{0.6} = 29775.2 \text{Wh/j}$$

- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire :

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{MP}} \quad (3.10)$$

$$E_h = E_e \eta_{MP} \quad (3.11)$$

$$E_h = 29775.2 * 0.6$$

$$E_h = 17865.12 \text{ Wh/j}$$

3.5.2. Systèmes de pompage par réseau Sonalgaz pour irrigué 2 hectares :

Le tableau (3-1) est un exemple simple qui est donne la variation de la valeur de la hauteur manométrique total en fonction de la profondeur de forage, on suppose quelques des valeurs d'une profondeur de forage et on va calculer la hauteur géométrique Hg et les pertes de charge, on fait ce calcul par l'application Excel (feuille d'Excel).

Tableau 3-1 : Valeurs de HMT en fonction la profondeur (prof).

prof [m]	Ns [m]	R _{max} [m]	H _r [m]	H _g [m]	P _{ch} [mCE]	HMT[m]
65	12	15	2.8	29.8	2.98	32.78
70	12	18	2.8	32.8	3.28	36.08
75	12	21	2.8	35.8	3.58	39.38
80	12	24	2.8	38.8	3.88	42.68
85	12	27	2.8	41.8	4.18	45.98
100	12	36	2.8	50.8	5.08	55.88
150	12	45	2.8	59.8	5.98	65.78

D'après ce tableau, on conclut que la HMT dépend de la profondeur de forage, quand le forage est plus profond, la valeur d'H_g et le P_{ch} augmentent, donc la HMT augmente.

On représente la relation de la HMT et de la profondeur, le graphe (3.7) suivant explique cette relation :

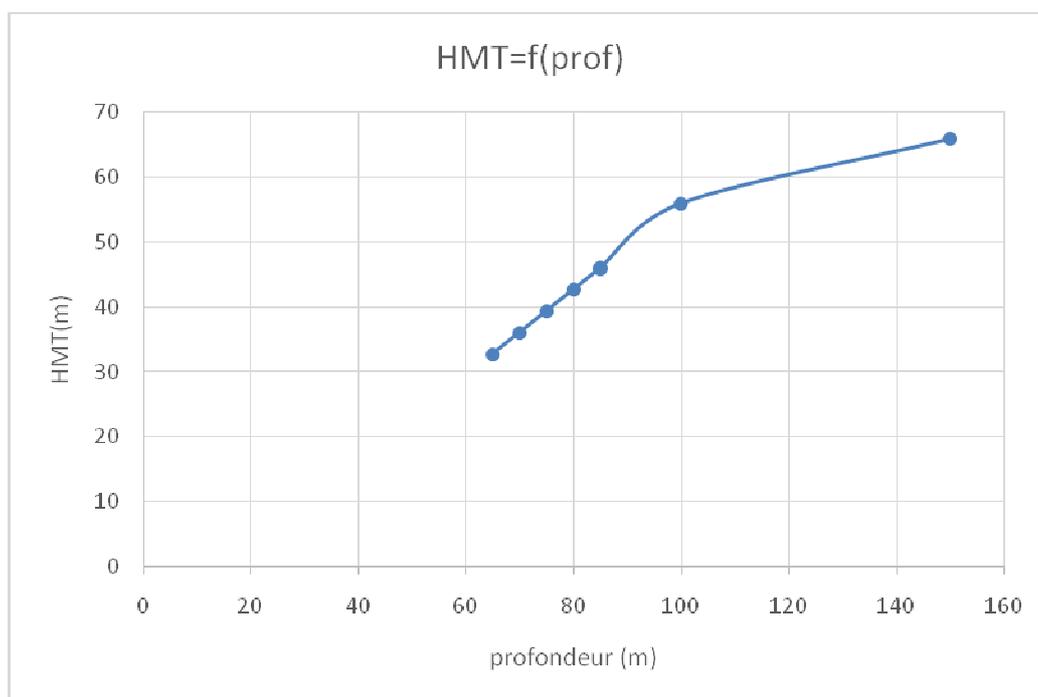


Figure 3.7 la variation de la HMT en fonction de profondeur

D'après ce graphe, on remarque que la hauteur manométrique augmente quand le forage est plus profond.

Pour de différentes des valeurs de la HMT on trouve nouveaux valeurs d'énergie électrique et l'énergie hydraulique, le tableau (3-2) donne les nouvelles valeurs de l'énergie électrique $E_{\text{éle}}$ et l'énergie hydraulique

Tableau 3-2 : L'énergie électrique et hydraulique en fonction d'HMT

HMT[m]	Q [m ³ /j]	Q _h [m ³ /h]	Ch [Kg.s.h/m ²]	E _{éle} [Wh/j]	E _h [Wh/j]
32.78	200	21.73913043	2.725	29775.16667	17865.1
36.08	200	21.73913043	2.725	32772.66667	19663.6
39.38	200	21.73913043	2.725	35770.16667	21462.1
42.68	200	21.73913043	2.725	38767.66667	23260.6
45.98	200	21.73913043	2.725	41765.16667	25059.1
55.88	200	21.73913043	2.725	50757.66667	30454.6
65.78	200	21.73913043	2.725	59750.16667	35850.1

On le schématisée ce tableau dans un graphe, on trouve le graphe (3.8)

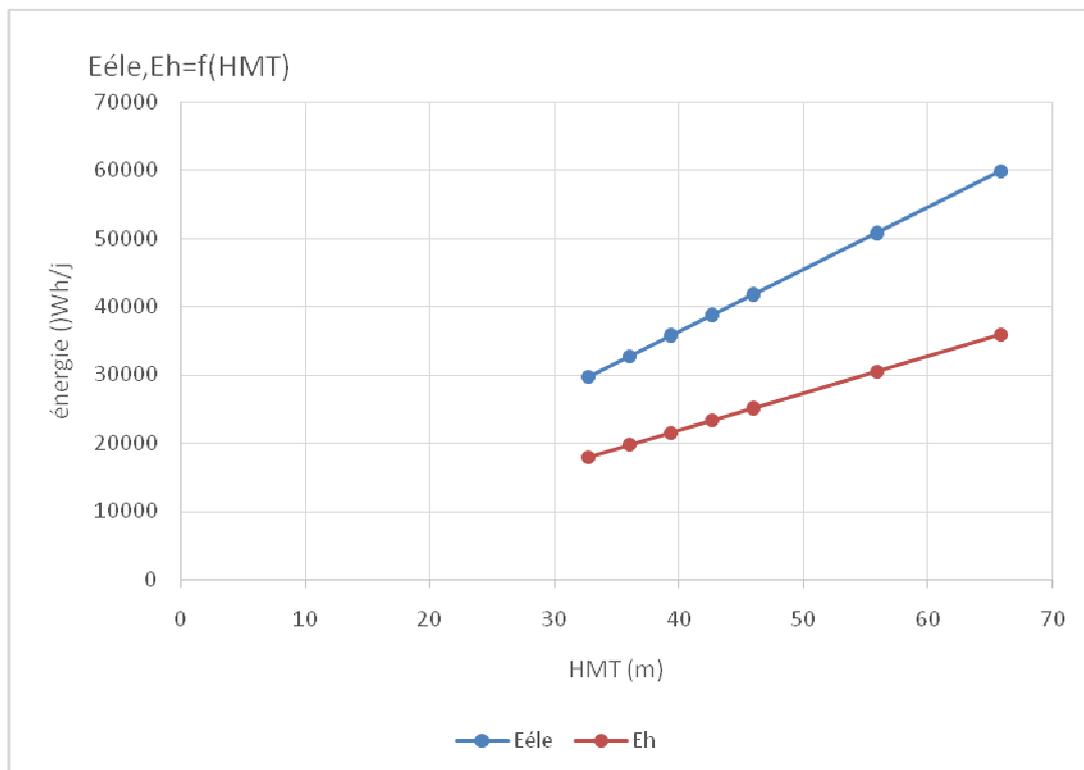


Figure 3.8 : variation de $E_{\text{éle}}$ et E_h en fonction de la HMT

3.5.2.1. Calcul de l'investissement initial total :

Le coût total de l'investissement est calculé par la relation suivante :

$$I_T = C_{ré} + C_{MP} + C_{ba} + C_F + C_{acc} + C_{com} \quad (3.12)$$

Avec

I_T est le coût total des composants de système.

$C_{ré}$: le coût d'un facteur d'un réseau de Sonalgaz pendant deux (2) mois.

C_{MP} : le coût de la motopompe utilisé.

C_F : le coût de forage.

C_{ba} : le coût de bassin.

C_{acc} : le coût des accessoires.

C_{com} : le coût de compteur électrique.

Le tableau 3-3 : le coût total moyen d'investissement I_T .

C_{MP} (DA)	C_{ba} (DA)	C_F (DA)	C_{acc} (DA)	C_{com} (DA)	I_T (DA)
50000	780000	1300000	20000	18000	2168000

3.5.2.2. Calcul de L'amortissement total :

$$A = C/N \quad (3.13)$$

Pour calculer l'amortissement annuel total du système par la formule :

$$A_T = A_{MP} + A_{ba} + A_F + A_{acc} \quad (3.14)$$

Sachant que :

A_T est l'amortissement total de système.

1. Amortissement du groupe électropompe A_{MP} :

$$A_{MP} = \frac{C_{MP}}{N_1} \quad (3.15)$$

Avec N_1 est la durée de vie de l'électropompe.

2. Amortissement du bassin A_{ba} :

$$A_{ba} = \frac{C_{ba}}{N_2} \quad (3.16)$$

N_2 est la durée de vie de bassin.

3. Amortissement du forage A_F :

$$A_F = \frac{C_F}{N_3} \quad (3.17)$$

N_3 est la durée de vie de Forage.

4. Amortissement des accessoires A_{acc} :

$$A_{acc} = \frac{C_{acc}}{N_4} \quad (3.18)$$

N_4 est la durée de vie des accessoires.

On obtient sur le tableau (3-4) suivant :

Tableau 3-4 : l'amortissement total

composant de système	N (an)	C (DA)	A (DA/an)
motopompe(MP)	5	50000	10000
Bassin (ba)	35	780000	22285.7143
Forage(F)	70	1300000	18571.4285
Accessoires (acc)	20	20000	1000
			$A_T =$ 51857.1428

3.5.2.3 Calcul de la consommation annuel total :

La consommation annuelle Cons/Ann est calculée par :

$$Co/an = Cons/2mois * 6 \quad (3.19)$$

Avec

Co/an : le cout de l'énergie consommée en un an.

Co/2mois : le cout de l'énergie consommée en deux mois.

$$cons/an = 80000 * 6 = 480000 \text{ DA}$$

3.5.3 Systèmes de pompage solaire pour irrigué 2 hectares :

3.5.3.1 La taille du générateur photovoltaïque :

✓ **Le nombre des panneaux suffisant :**

On calcule le nombre des panneaux nécessaire si nous utilisons les panneaux de 250 Watt.

Pour un onduleur de tension 100V.

$$N_p = \frac{P_c}{P_p} \quad (3.20)$$

P_c est la puissance crête.

P_p est la puissance d'un panneau.

✓ **Le nombre des panneaux en série :**

On le calcul par la relation suivante :

$$N_{PS} = \frac{V_{ch}}{V_P} \tag{3.21}$$

V_{ch} : tension de charge (onduleur).

V_P : tension nominale d'un panneau.

✓ **Le nombre des panneaux en parallèle :**

$$N_{PP} = \frac{N_P}{N_{PPS}} \tag{3.22}$$

N_{PP} nombre des panneaux en parallèle.

Tableau 3-5 : La taille d'un générateur photovoltaïque

P_c (W)	P_P (W)	V_{ch} (V)	V_P (V)	N_P	N_{PS}	N_{PPa}
2250	250	100	30.75	9	3	3

3.5.3.2 Analyse économique des systèmes de pompage photovoltaïque :

En général, le calcul des coûts de la production d'électricité par l'énergie solaire photovoltaïque obéit aux mêmes règles que les solutions classiques.

a. Calcul de l'investissement initial total :

Le coût total de l'investissement est calculé par la relation suivante :

$$I_{Totale} = C_{GPV} + C_{Armoire} + C_{MP} + C_{ba} + C_F + C_{acc} \tag{3.23}$$

Avec :

$C_{Armoire}$: le cout de l'armoire utilisée.

C_{GPV} : le cout de de générateur photovoltaïque.

C_{MP} : le cout de motopompe utilisé.

C_F : le cout de forage.

C_{ba} : le coût de bassin.

C_{acc} : le cout des accessoires.

Sachant que : Le cout du générateur photovoltaïque calculée par :

$$C_{GPV} = P_P N_P \tag{3.24}$$

Avec

P_P : prix des modules.

N_P : nombre des modules photovoltaïques.

Tableau 3-6 L'investissement total d'un système de pompage solaire

C_{MP} (DA)	C_{ba} (DA)	C_F (DA)	C_{acc} (DA)	P_p (DA)	N_p	C_{GPV} (DA)	$C_{armoire}$ (DA)	I_T (DA)
50000	780000	1300000	20000	30000	8	270000	2000	2422000

b. Calcul de l'amortissement total :

Pour calculer l'amortissement annuel total du système par la formule :

$$A_T = A_{GPV} + A_{ond} + A_{MP} + A_{ba} + A_F + A_{Acc} \quad (3.25)$$

Sachant que pour chaque composant, l'amortissement est calculé par la méthode (dite le calcul des coûts sur la durée de vie) comme suit :

1. Amortissement du générateur photovoltaïque :

$$A_{GPV} = \frac{C_{GPV}}{N_1} \quad (3.26)$$

N_1 : la durée de vie du générateur photovoltaïque.

2. Amortissement de l'onduleur A_{Ond} :

$$A_{ond} = \frac{C_{ond}}{N_2} \quad (3.27)$$

N_2 : la durée de vie de l'onduleur.

3. Amortissement du groupe électropompe A_{MP} :

$$A_{MP} = \frac{C_{MP}}{N_3} \quad (2.28)$$

N_3 est la durée de vie de l'électropompe.

4. Amortissement du bassin A_{ba} :

$$A_{ba} = \frac{C_{ba}}{N_4} \quad (3.29)$$

N_4 est la durée de vie de bassin.

5. Amortissement du forage A_F :

$$A_F = \frac{C_F}{N_5} \quad (3.30)$$

N_5 est la durée de vie de Forage.

6. Amortissement des accessoires A_{acc} :

$$A_{Acc} = \frac{C_{Acc}}{N_6} \quad (3.31)$$

N_6 est la durée de vie des accessoires.

Pour chacun des éléments du système, On note des hypothèses relatives à la durée de vie. Le tableau (3-6) suivant donne la résultat d'amortissement total d'un système de pompage solaire :

Tableau 3-7 : L'amortissement total d'un système de pompage solaire.

composant de système	N (an)	C (DA)	A (DA/an)
motopompe(MP)	5	50000	10000
Bassin (ba)	35	780000	22285.7143
Forage(F)	70	1300000	18571.4285
Accessoires (acc)	20	20000	1000
Générateur photovoltaïque (GPV)	30	270000	9000
armoire	7	20000	2857.14286
			$A_T=63714.2857$

3.6. Résultats de comparaison entre le système de pompage d'eau Sonalgaz/photovoltaïque :

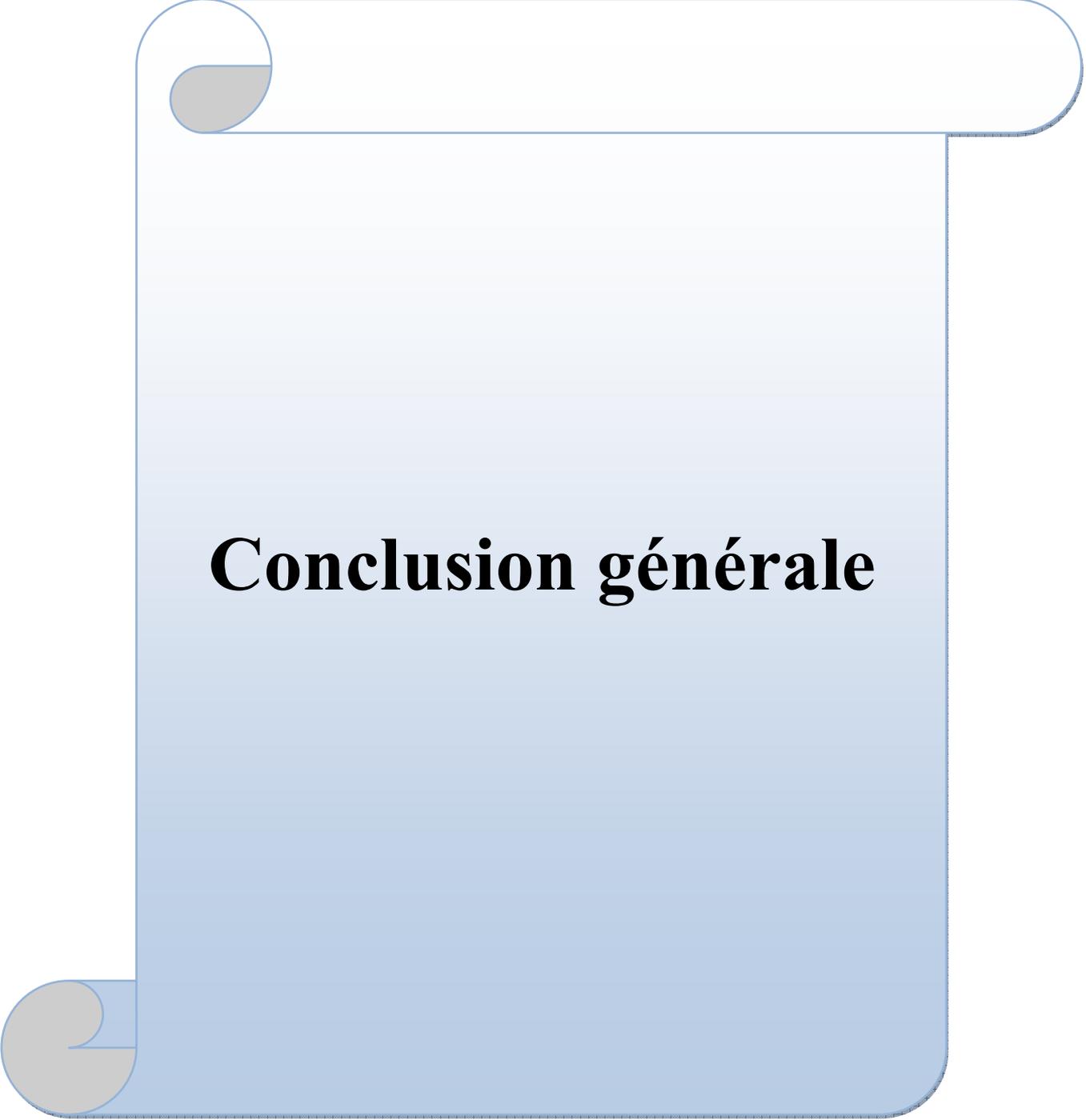
Les coefficients de comparaisons	Système de pompage par réseau Sonalgaz	Système de pompage solaire
L'investissement total (I_T)	2168000 DA	2422000 DA
l'amortissement total (A_T)	51857.1428 DA	63714.2857 DA
la durée de vie	N'existe pas une durée de vie déterminée	30 ans
Le facteur d'énergie consommée en un an	480000 DA	0
Les problèmes d'installation	-Le coût d'installer le compteur électrique et les câbles utilisée. -La distance entre la transforme et le système de démarrage de la motopompe. - les problèmes de météo qui sont la cause de couper l'électricité.	0

Le contrôle	Il faut un contrôleur pour contrôler le réseau électrique	Un contrôleur automatique
La durée de pompage	Dépend de la puissance électrique consommée par heures	Dépend de la durée d'ensoleillement
Les argents de retour de l'investissement	Après cinq ans le facteur de système devient 2400000 DA.	Après cinq ans l'agriculture gagne plus que le cout consommé par le système de pompage de réseau Sonalgaz.

Conclusion :

Dans ce chapitre je donné une définition générale de la région étudié (définition le Ksar et les caractéristiques de la région d'agriculture), je déterminée le cout de système de pompage étudié (de chacun composant et le cout total), l'amortissement et on les comparées avec un système de pompage solaire.

Nous concluons que le système de pompage photovoltaïque représente la solution économique le plus fiable dans le domaine énergétique pour les sites éloignés comme les régions d'agriculture de la Wilaya d'Adrar.



Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Mon travail était sur une étude technico-économique d'un système de pompage solaire dans la région d'Adrar, On a traité un exemple réel situé à la région d'Oiyanna.

La problématique qui se pose était sur le cout d'un système de pompage d'eau surtout dans le domaine d'agriculture à cause de la grande consommation de l'électricité, l'éloigne de réseau sonal gaz et aussi le cout de mètre cube d'eau pompé dans la littérature à les surfaces d'agriculture.

On décomposé ce travail à trois chapitres et dans ses chapitres, on a démontré que le système de pompage solaire est bon solution devant le système de pompage par la Sonalgaz de différents parts qui sont la technique du système photovoltaïque, la fiabilité du système , la durée de vie des composants, la facilité d'installation du système et le cout du KWh du système de pompage solaire devant le cout de KWh proposé par la Sonalgaz.

La situation géographique et l'état économique d'Algérie sont proposés des aides importants aux agriculteurs de but d'amélioration de la production intérieure à différentes investissement dans le domaine d'agriculture. L'objectif de ces aides est le chercher des sources d'énergie électrique qui sont des sources alternatives des sources classiques (réseau Sonal gaz, les groupes électrogènes) et ces sources sont les énergies renouvelables (éolienne, hydraulique et solaire), ce travail parlé sur l'énergie solaire et l'utilisation de cette énergie à pompage d'eau.

Sachant que la Wilaya d'Adrar est l'une des pays de l'Algérie qui produit l'énergie par l'énergie solaire en raison la durée d'ensoleillement de 3000 heures et la quantité d'eau souterraine, elle était vue que l'investissement des habitants dans la section d'agriculture est des meilleurs des projets dans la région et elle suggère que le système de pompage solaire est le plus approprié pour les zones agricoles.

Le premier chapitre était tourné des notions fondamentales de l'énergie solaire (production d'énergie et des panneaux photovoltaïques avec le prix des panneaux) dans le monde et le point du vue de l'Algérie auteur de cette source d'énergie, les principales applications d'utiliser cette énergie, l'état d'agriculture de la Wilaya d'Adrar et les projets et puissance de production de l'énergie par l'énergie solaire dans Adrar(les sources hydrauliques, les systèmes d'irrigation,...)

Conclusion générale

Le deuxième chapitre était sur le système de pompage solaire, je parlé sur les réglementaires algérienne pour les énergies renouvelables et les entreprises notionnelles à la production des panneaux photovoltaïques, je cédé des notions générale de ce système, les types, les composants, les types des pompes solaires (ses puissances le débit et la hauteur manométrique totale de chaque une pompe) et le dimensionnement du système de pompage solaire.

A la fin de ce travail, j'ai une définition générale sur la région d'agriculture choisir (définition la région, les caractéristiques et les composants du système de pompage).

J'étais fait une étude technique et économique comparative entre des résultats d'un système étudié par Sonal gaz et le système de pompage solaire.

Je conclus que l'utilisation d'un système de pompage solaire dans les régions d'agricultures dans la Wilaya d' Adrar représente la solution le plus idéale de deux parts qui sont technique et économique à cause de la possibilité d'utilisation, la durée de production de l'énergie, la facilité de transporter les composants de ce système et le cout de ce système qui est en diminution à chaque année.



Liste des références

Liste des références

Liste des références

- [1] Article sur l'énergie solaire - Photovoltaïque (PDF)
- [2] <https://www.neb-one.gc.ca/nrg/sttstc/lctrct/rprt/2017cnddptnrnwblpwr/slr-fra.html>
- [3] <https://petrorama.fr/les-panneaux-solaires-photovoltaïques-prix-et-production/Panneaux-solaires-photovoltaïques-prix-et-production> (Publié le 20 juillet 2010 par Chaize Thomas)
- [4] https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89volution_de_l%27%C3%A9nergie_solaire_photovolta%C3%AFque
- [5] <http://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/ensoleillement-belgique.html>
- [6] Mohamed Lakhdar LOUAZENE, Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site d'Ouargla, Mémoire de Magister Pour obtenir LE TITRE DE MAGISTER EN ELECTROTECHNIQUE, UNIVERSITE EL HADJ LAKHDAR – BATNA, 12/06/2008.
- [7] http://www.sigma-tec.fr/textes/texte_principes.html
- [8] STI ELT ELECTROTECHNIQUE Approche générale-Scribd-pdf.
- [9] Thèse de Doctorat Es-Sciences, DAOUD Amine (Contrôle de la Puissance d'un Générateur Photovoltaïque pour le Pompage Solaire), Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, le 17/09/2013.
- [10] <http://www.energy.gov.dz/francais/uploads/2016/Energie/energie-renouvelable.pdf>
- [11] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Adrar_\(Alg%C3%A9rie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Adrar_(Alg%C3%A9rie))
- [12] Autocollants statistiques pour la production d'énergie éolienne à Kaberten de 2014 à 2017 (10.2 MW).
- [13] l'agriculture par les chiffres direction des services agricoles, Wilaya d'Adrar 2013/2014.
- [14] Rev. Energ. Ren. : Valorisation (1999) 101-104. L'Energie Solaire et les Régions Sahariennes - Exemple de la Région d'Adrar -B.Bouzidi, Laboratoire d'Energie Photovoltaïque, Centre de Développement des Energies Renouvelables. PDF
- [15] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Qanat>.
- [16] https://fr.wikipedia.org/wiki/Irrigation_%C3%A0_pivot_central
- [17] POMPE A EAU SOLAIRES, Présentation générale-2014
- [18] Principe de Dimensionnement et étude de cas Pompage au fil du soleil, 02-04-2016, pdf.
- [19] Connaissances-de-base-en-pompes-volumétrique_french, MACHINES À FLUIDE HYDRAULIQUES POMPES VOLUMÉTRIQUES.
- [20] Connaissances-de-base-en-pompes-centrifuges_french, MACHINES À FLUIDE HYDRAULIQUES POMPES CENTRIFUGES.
- [21] IEPF/Université d'Ottawa/EIER/CREPAManuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens par Jimmy Royer Thomas Djiako, Eric Schiller, BocarSadaSy. Sous la direction de Eric Schiller, LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE
- [22] BOUKHERS Djamil, (OPTIMISATION D'UN SYSTEME D'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE APPLICATION AU POMPAGE), MEMOIRE Pour l'obtention du Diplôme de MAGISTER EN ELECTROTECHNIQUE, le 28 / 11 / 2007.

Liste des références

- [23] POMPES MOTORISEES/PRESENTATION GENERALE, l'équipe technique du ReFEA.
- [24]Fiche des caractéristiques d'une pompe immergée LORANTZ (entreprise ONGAL VOLT SOLAIRE de la Wilaya d'Adrar).
- [25]*Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19 – 26, Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque*, A. Hadj Arab 1, M. Benghanem 2 et A. Gharbi, 1 Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Bouzaréah, Alger.2 Faculté de Génie Electrique, U.S.T.H.B., B.P. 32, El-Alia, Bab-Ezzouar, Alger.
- [26] *10ème Séminaire International sur la Physique Energétique10th International Meeting on EnergeticalPhysics, La Ville D'Adrar, Entre Déficience Et Développement Socio-économique EnMatière D'énergie SolaireBiara*. Ratiba Wided1, Cady.Mokhtaria1, Ziani.Abdelwahab1, Université de Béchar / Algérie.
- [27] Le pompage de l'eau par énergie solaire photovoltaïque : Vecteur pour le développement des régions sahariennes, BOUZIDIBelkacem, Maître de recherche B, Division Energie Solaire Photovoltaïque

Résumé :

La région d'Adrar est connue pour son manque d'eau et sa chaleur extrêmement chaud en été, tous ces paramètres obligent les différents agricultures de la région à chercher des solutions nouvelles pour rationaliser l'utilisation d'eau et surtout à réduire la facture d'électricité utiliser pour le pompage de cette eau.

L'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'électricité à travers des panneaux solaires est une solution qui peu aidé ces agricultures.

Ce sujet consiste à réaliser une étude technico-économique d'un système de pompage solaire réel et cela en fonction de plusieurs paramètres (la surface à irrigué, la quantité d'eau, la profondeur des nappes,).

Une étude de dimensionnement de ces systèmes sera aussi réalisé, ces études nous permettront de bien connaître les besoins des agriculteurs et essayer de subvenir à leurs besoins

ملخص:

تشتهر منطقة أدرار بنقص المياه وحرارتها الشديدة في فصل الصيف، كل هذه العوامل تجبر مختلف مزارعي المنطقة على البحث عن حلول جديدة لترشيد استخدام المياه وخاصة للحد من استخدام فاتورة الكهرباء لضخ هذه المياه. استخدام الطاقة الشمسية لإنتاج الكهرباء من خلال الألواح الشمسية هو الحل الذي يستطيع ان يساعد هؤلاء المزارعين. يتكون هذا الموضوع من إجراء دراسة تقنية اقتصادية لنظام ضخ الطاقة الشمسية الحقيقي وذلك وفقاً لعدة معايير (السطح المروي، كمية المياه، عمق الطبقات، ...). سيتم أيضاً تنفيذ دراسة تصميم لهذه الأنظمة، ستساعدنا هذه الدراسات على فهم احتياجات المزارعين ومحاولة دعمهم

Summary:

The region of Adrar is known for its lack of water and its extremely hot heat in summer, all these parameters force the various agricultures of the region to seek new solutions to rationalize the use of water and especially to reduce the electricity bill used for pumping this water.

The use of solar energy for the production of electricity through solar panels is a solution that little helped these agricultures.

This subject consists in carrying out a techno-economic study of a real solar pumping system and that according to several parameters (the irrigated surface, the quantity of water, the depth of the layers ...).