



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE FRERES MENTOURI, CONSTANTINE 1
FACULTE DES SCIENCES EXACTES
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

N° d'ordre :
Série :

MEMOIRE DE MASTER

Domaine : SCIENCES DE LA MATIERE
Filière : PHYSIQUE
Spécialité : PHYSIQUE ENERGETIQUE ET ENERGIES RENOUVELABLES

THEME :

Les systèmes de pompage photovoltaïque destinés pour l'irrigation

Présenté par :

Lachi fadia

Soutenue le :20/09/2020

Devant le jury

Président : Pr. T. BOUFENDI. Prof. Université des Frères Mentouri, Constantine1

Rapporteur : Dr. S. BENATALLAH. Prof. Université des Frères Mentouri,
Constantine1

Examineur : Pr. T. KERBACHE. Prof. Université des Frères Mentouri,
Constantine1

REMERCIEMENTS

Tout d'abord; je remercie Dieu le tout puissant.

J'exprime mes remerciements et ma sincère reconnaissance à tous les enseignants qui m'ont aidé de près ou de loin de réaliser ce modeste travail; et en particulier mon encadreur de recherche Dr.Samia Benatallah pour ses orientations et son assistance pendant l'élaboration de ce mémoire.

J'exprime aussi toute ma gratitude à mes plus chères au monde : ma mère; mon père et mes frères pour tout ce qu'ils ont fait pour moi.

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre 1 LES RESSOURCES D'EAU ET ENERGIE SOLAIRE	3
1.1 Introduction.....	3
1.2. Ressourcer d'eau en Algérie.....	3
2.1.1 Les ressources traditionnelles.....	4
1.2. 2 Les eaux souterraines.....	6
1.2.3 Méthodes de découverte des eaux souterraines :.....	7
1.3 L'énergie solaire	7
1.3.1 Géométrie terre-soleil.....	7
1.3.2 Trajectoire apparente du soleil	8
1.3.3 Caractéristiques du rayonnement solaire	9
1.3.4 LE RAYONNEMENT SOLAIRE SUR NOTRE PLANETE.....	12
1.3.5 Exploitation des données.....	13
1.6 Conclusion	17
Chapitre 2 LE PHOTOVOLTAÏQUE.....	18
2.1. Introduction	18
2.2 Principe de fonctionnement d'une cellule solaire photovoltaïque.....	18
2.3 Les D'efférents types des cellules solaire (cellule photovoltaïque).....	19
2.3.1 Les cellules en silicium monocristallin.....	20
2.3.2 Les cellules au silicium poly cristallin	20
2.3.3 Les cellules au silicium amorphe	21
2.4 D'un générateur photovoltaïque.....	21
2.4.1 Les cellules solaires.....	22
2.4.2 Module (ou panneau).....	22
2.4.3 Le générateur photovoltaïque.....	22
2.5 Caractéristique artéritique courant-tension	22
2.6 Puissance et rendement.....	24
2.8 Facteur affectant les panneaux solaires.....	27
2.7.1 Influence de l'éclairement.....	27
2.8.2 Influence de la température	29

2.9 L'avenir des panneaux solaires	30
2.10 Comment L'installation des panneaux solaires ?	30
2.10.1 Connexion parallèle.....	31
2.10.2 Les connexion série	31
2.10.3 Connexion combinées série et parallèle	32
2.11 Conclusion	33

Chapitre 3 GENERALITE SUR LES POMPES ET DIMENSIONNEMENT DU POMPAGE SOLAIRE 3434

3.1 Introduction	34
3.2 Généralité sur les pompes	35
3.2.2 Pompes Centrifuge	35
3.2.2 Pompes Volumétrique.....	37
3.3 Les sources d'énergies des pompes	37
3.3.1 Pompes à eau DC.....	37
3.3.2 Pompes à eau AC.....	37
3.4 Principes d'hydraulique.....	38
3.4.1 Pompe centrifuge	38
3.4.2 Pompe immergée	38
3.4.3 Débit	38
3.4.4 Hauteur d'élévation.....	38
3.4.5 Courbe de prestations	38
3.4.6 En charge.....	39
3.4.7 Amorçage	39
3.4.9 Pertes de charge.....	39
3.4.10 Garniture mécanique	40
3.4.11 Viscosité.....	40
3.4.12 Poids spécifique.....	40
3.5 Qu'est-ce qu'une pompe dite « solaire »	40
3.5.1 Description	40
3.5.2 Fonctionnement	41
3.6 Définitions (vocabulaire bien spécifique au pompage solaire)	42
3.6.1 Niveau statique (Ns)	42
3.6.2 Niveau dynamique (Nd)	42
3.6.3 Hauteur de refoulement (Hr)	43
3.6.4 Hauteur d'aspiration (Ha).....	43

3.6.5 Perte de charge (ΔP).....	43
3.6.6 Pression utile (P_u)	43
3.6.7 Hauteur Manométrique Totale (HMT).....	43
3.7 Pompage solaire.....	44
3.7.1 Les pompes au fil du soleil.....	44
3.7.2 Pompage avec batterie.....	45
3.7.3 Principe de dimensionnement de pompe au fil du soleil.....	46
3.8 Dimensionnement du system de pompe solaire.....	46
3.8.1 Les différents étapes pour le system de pompe	46
3.9 Taille du générateur photovoltaïque	49
3.10 Détermination de l'énergie solaire disponible.....	51
3.10.1 INCLINAISON ET DIMENSIONNEMENT DU GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE	51
3.10.2 ESTIMATION DE L'ENSOLEILLEMENT.....	52
3.10.3 DIMENSIONNEMENT DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES (PUISSANCE CRÊTE).....	52
3.11 CHOIX DES COMPOSANTS.....	53
3.12 Conclusion	53
Conclusion générale.....	55
Références bibliographiques	49

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Distribution d'eau en Algérie	4
Tableau 1.2 : noms de certains barrages en Algérie.....	4
Tableau 2.1 : paramètres d'un module photovoltaïque SIMENS SM 110-24.....	25
Tableau 3.1 : diagramme d'estimation des besoins en eau.....	41

Liste des figures

Figure 1.1 : barrage Baní Imran	5
Figure 1.2 :barrage Baní Haroun	5
Figure 1.3 :le mouvement de la terre autour du soleil.....	8
Figure 1.4 : trajectoires du soleil à Genève.....	9
Figure 1.5 : Répartition spectrale du rayonnement solaire.....	12
Figure 1.6 : variation de l'énergie solaire reçue en fonction de la saison et pour Différentes inclinaisons	15
Figure 1.7 :rayonnement global journalier	16
Figure 2.1 : circuit électrique.....	19
Figure 2.2 :cellule monocristallin.....	20
Figure 2.3 : cellule poly cristallin.....	20
Figure 2.4 :cellule amorphe.....	21
Figure 2.5 : puissance maximale sur une caractéristique courant-tension.....	24
Figure 2.6 : variation courant-tension $I(U)$	26
Figure 2.7 : variation puissance-tension $P(U)$	27
Figure 2.8 : variation courant-tension $I(U)$	28

Figure 2.9 : variation puissance-tension $P(U)$	28
Figure 2.10 : connexion des panneaux solaire en parallèle.....	29
Figure 2.11 : connexion des panneaux solaire en série.....	30
Figure 2.12 : connexion des panneaux solaire en parallèle et série	30
Figure 3.1 : pompe centrifuge	33
Figure 3.2 : schéma synoptique simplifié de pompage photovoltaïque.....	42
Figure 3.3 : système de pompage au fil du soleil.....	40
Figure 3.4 : pompage avec batterie.....	41
Figure 3.5 : Hauteur manométrique total.....	42
Figure 3.6 : Groupement de N_s module en série et N_p module en parallèle.....	44

INTRODUCTION GENERALE

L'irrigation solaire permet incontestablement l'approvisionnement en eau potable dans les régions où le réseau électrique est absent. En 2015, il y a encore 748 millions de personnes qui sont privées d'eau potable dans le monde ; en 2015, 36 % de la population africaine ne dispose toujours pas d'un point d'eau accessible ; en 2017, on décompte 320 millions de personnes qui ne bénéficient pas d'eau potable en Afrique et en 2018, 70% des prélèvements en eau sont destinés à l'agriculture. Le pompage au solaire est bien souvent la solution la plus évidente. L'évolution progressive, depuis 20 ans, des matériels et des gammes de performances permet aujourd'hui de considérer le pompage solaire comme une technologie mature. Cette technologie a l'avantage d'être économique, durable et écologique. Pour cela, il faut solliciter surtout les agriculteurs à l'adopter comme nouvelle technologie.

L'étude d'un système de pompage photovoltaïque nécessite la bonne compréhension des différents phénomènes physiques engendrant ce système. Dans ce travail de mémoire, on se consacre à la compréhension du principe de fonctionnement du système de pompage photovoltaïque et de son dimensionnement. Ce système utilise une richesse naturelle qui est la lumière du soleil pour la transformer en énergie électrique alimentant ainsi la pompe qui à son tour refoule l'eau vers le réservoir ou la surface désirée. Cette énergie produite par le soleil est disponible sur tout le territoire national et elle est encore plus importante au niveau des régions du sud où la durée d'insolation peut atteindre les 3900 heures par an sur le Sahara[1]. Il s'agit simplement d'alimenter une pompe hydraulique en énergie solaire pour pouvoir extraire l'eau du puits. Il est à signaler que cette technique est utilisée pour assurer les besoins en eau d'irrigation. «En plus de remédier à l'insuffisance de ressources en eau pour l'irrigation dans les zones arides, le pompage solaire photovoltaïque permet également de procéder à une irrigation moins coûteuse des palmeraies».

Notre travail de mémoire est scindé en 4 chapitres selon le plan de travail tracé :

Le premier chapitre est consacré au réservoir d'eau en Algérie.

Le deuxième chapitre présente les fonctions des panneaux solaires. D'abord des généralités sur la source fondamentale de l'énergie photovoltaïque; le soleil, son pouvoir énergétique et les propriétés de son rayonnement. Ensuite, la constitution de l'élément convertisseur ; la cellule solaire. Nous abordons sa structure, sa caractéristique électrique, son circuit électrique équivalent, les paramètres photovoltaïques, le mécanisme de la conversion photovoltaïque, l'influence des différents paramètres sur la caractéristique $I(V)$, le regroupement des cellules solaires en modules photovoltaïques afin de construire un champ photovoltaïque et les déséquilibres dans les groupements de modules.

Le troisième chapitre traite les pompes, leurs fonctionnements et le dimensionnement du dispositif de pompage solaire

En fin, une conclusion générale couronne ce mémoire.

Chapitre 1

LES RESSOURCES D'EAU ET ENERGIE SOLAIRE

1.1 Introduction

L'Algérie occupe la première place en Afrique en superficie, de la neuvième par le nombre de sa population [1] tandis qu'elle occupe la trentième place par rapport au volume des ressources en eau. Ce qui la rend consciente d'une crise hydrique aigue, car elle dispose de ressources en eau qui sont principalement le résultat des précipitations, qui lui se caractérise par ses précipitation limitées et irrégulières, et sa répartition inégale dans toutes les régions du pays en raison de ses effets sur les fluctuations climatiques, naturelles et géographiques. Elle dispose également de ressources en eau souterrains de taille considérables, situées dans le sud de l'Algérie, dans les couches d'eau profondes non renouvelables qui nécessitent un rationalisation de leur exploitation. À partir de là, et pour montrer l'importance d'exploiter les sources non conventionnelles, en particulier le traitement et la réutilisation des eaux usées pour fournir une source alternative et la réutilisation des eaux usées pour fournir une source alternative et réduire la pollution de l'environnement pour préserver les ressources en eau.

Le vaste territoire de l'Algérie, d'une superficie de 2.3 millions de kilomètres carrés. Comme le désert en représente 80% et 20 % de la superficie totale du désert Africain [2], ce qui est un avantage important pour le pays car il lui a permis de disposer d'un énorme stock d'énergie solaire, considérée comme l'une des plus grandes réserves au monde. Dans ce chapitre, nous commençons par la présentation des différentes ressources d'eau en Algérie et quelques notions fondamentales sur le rayonnement solaire.

1.2 Ressources d'eau en Algérie

Les ressources en eau renouvelables sont estimées à 19 mètres carrés par an soit environ 450 mètres carrés par personne et par an et il est considéré comme c'est moins

de 500 mètres carrés par habitant recommandé annuellement et reconnu seuil de rareté de l'eau [3], il indique une crise de l'eau.

Les ressources en eau sont connues pour être très manquées

Total	Le sud	Hautes plaines	Zones de Collines	Style de Ressource
12.4	0.6	0.7	11.1	Les eaux de Surface
07	05		02	Les eaux Souterrains
19.4	5.6		13.8	Total

Tableau 1.1 Distribution d'eau en Algérie [4]

2.1 Les ressources traditionnelles

Les ressources traditionnelles sont principalement les eaux surface (eaux pluviales, ruissellement), et les eaux souterrains (eau accumulée dans les aquifères souterrains qui sont alimentés par une partie des infiltrations d'eau de pluie).

Les eaux de surface: c'est les eaux superficielles comme les eaux des rivières, des lacs, des océans et de mers résultant de la pluie ou de la neige. Ces sources s'étendent sur de longues distances à la surface de la terre, les rendant plus vulnérables à la pollution. Elles sont principalement concentrées dans le nord. Les ressources en eau de surface renouvelables totales sont estimées à 11 milliards de mètres cubes aux diverses activités d'aménagement et au changement de nature de l'utilisation au sol. Quant au nord, cela dépend principalement des eaux de surface, où environ 7 milliards de mètres cubes sont collectées dans un certain nombre de barrages moyens et grands. Les ruissellements de surface prennent la forme

d'inondations rapides et fortes. Les barrages se nourrissent pendant la saison des pluies, qui se prolongent pendant la saison d'hiver.

Capacité million de mètres cubes)	Site	Barrages
12	Boumerdes	Baní Imran
960	Mila	Baní Haroun [5]

Tableau 1.2 : noms de certain barrage en Algérie



Figure 1.1:Barrage Baní Imran



Figure 1.2 : barrage Baní Haroun

1.2. 2 Les eaux souterraines

Les ressources en eau sont estimées à 7,6 milliards de mètres cubes, la dépendance aux souterraines dans le désert sera de 96%, les eaux souterraines sont concentrées au nord dans les zones montagneuses et exploitées à l'aide de puits et de sources.

Ces étangs souterrains se reconstituent naturellement à raison de 1 9 mètres Cube par an et environ 2 4 mètres cubes Sont utilisés chaque année.

La principale raison du déficit est le nombre élevé de puits illégaux. Les eaux souterraines du sud sont essentiellement des eaux fossiles avec une très faible capacité de régénération[4]. Il y'a deux principaux bassin d'eau qui se chevauchent, le bassin final et l'interférence continental.

La profondeur du réservoir combiné final est comprise entre 100 et 400 mètres, la profondeur du bassin continental de recouvrement est comprise entre 1000 et 1500 mètres. Ils contiennent d'énormes besoin allant de 30000 à 40000 milliards de mètres

cubes, les eaux souterraines profondes sont principalement exploitée à l'aide de puits profond.

1.2.3 Méthodes de découverte des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont recherchées par des géologues qui connaissent les couches de la terre et le type de roches, là où les puits souterrains sont déterminés par satellite télédétection donnant une image approximative de la présence d'eau dans le sol ou par les plantes [5]. Il en existe deux types:

Le premier type: ce sont les bassins souterrains renouvelables qui sont constamment soutirés et rechargés en eau.

Le second type: est représenté par les eaux souterraines non renouvelables présentées dans les réservoirs souterrains depuis longtemps, dont la recharge a cessé en raison de facteurs climatiques et géologique.

1.3 L'énergie solaire[6]

1.3.1 Géométrie terre-soleil

Le soleil est une étoile de forme pseudo-sphérique dont le diamètre atteint 1391000 KM. Il est situé à une distance moyenne de 149598000KM de la terre. Composé de matière gazeuse, essentiellement de l'hydrogène et de l'hélium, il est le siège de réaction de fusion nucléaire permanente et sa température de cœur atteint 10^7 KM

Mouvements de la terre

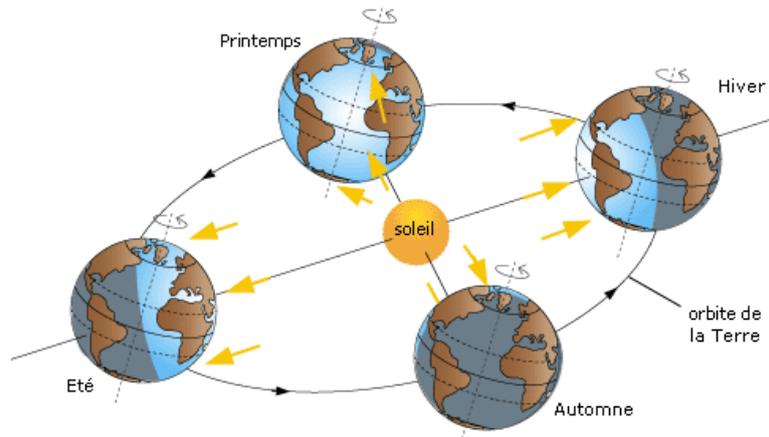


Figure 1.3 : le mouvement de la terre autour du soleil

La terre décrit autour du soleil une trajectoire légèrement elliptique dont le soleil occupe un foyer (figure 1.3).en fait la distance qui les sépare varie de $\pm 1.69\%$ au cours de l'année du fait de la légère excentricité de l'orbite terrestre ($e=0.017$).

L'axe de rotation de la terre sur elle-même est incliné de $23^{\circ}27'$ par rapport au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre).On appelle déclinaison α l'angle formé par l'axe terre-soleil avec le plan de l'équateur à un moment donné de l'année .La déclinaison vaut donc $+23^{\circ}27'$ au solstice d'été $-23^{\circ}27'$ au solstice d'hiver, et est nulle aux équinoxes. Cette déclinaison est responsable des saisons, car dans l'hémisphère nord, les rayons nous parviennent avec un angle plus élevé en été, et plus bas sur l'horizon en hiver (c'est le contraire dans l'hémisphère sud).Elle explique aussi que les différences saisonnières soient plus marquées vers les hautes latitudes.

On sait également que l'activité solaire n'est pas constante et subit des éruptions solaires, mais leurs conséquences ne dépassent pas 4% de variation d'intensité du rayonnement émis.

1.3.2 Trajectoire apparente du soleil

Pour un observateur situé sur la surface de la terre, le soleil décrit une trajectoire apparente qui dépend de la latitude et la longitude du lieu ou il se trouve. Rappelons que la latitude est la distance d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur (de 0 à 90° dans l'hémisphère nord).quant à la longitude, c'est également

un angle, donné par rapport au méridien de Greenwich (arc de cercle passant par les 2 pôles et la ville de Greenwich en Angleterre) en se déplaçant vers l'Est.

La position du soleil est définie par deux angles: sa hauteur angulaire h - l'angle entre la direction du soleil et le plan horizontal du lieu – et son azimut α – l'angle entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil, compté négativement vers l'Est.

La figure 2.3 trace les trajectoires décrites par le soleil pour un lieu donné. On peut lire la hauteur et l'azimut du soleil pour un instant quelconque de l'année.

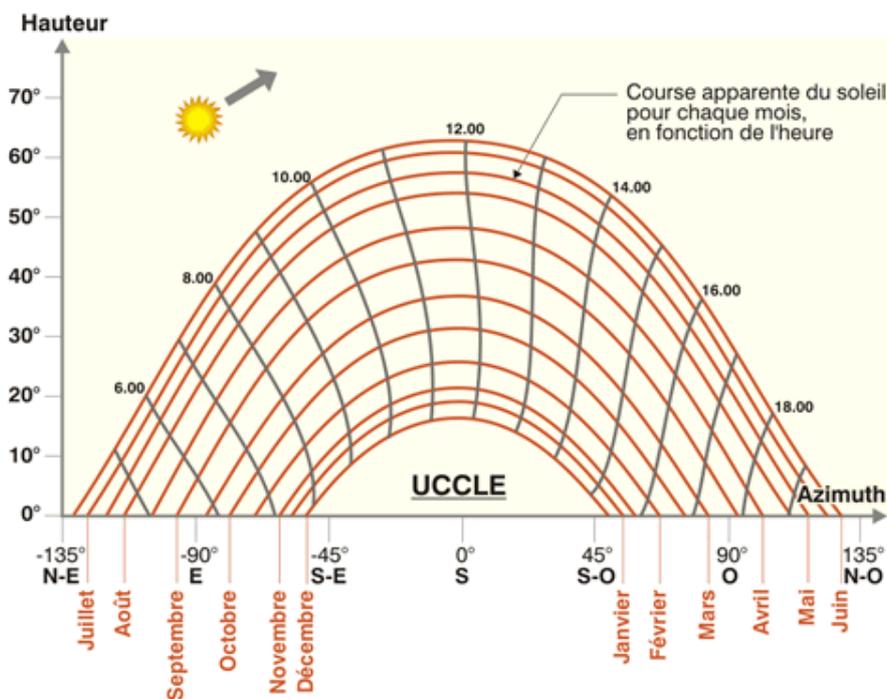


Figure 1.4 : trajectoires du soleil à Genève

1.3.3 Caractéristiques du rayonnement solaire

1. MASSE D'AIR

Plus le soleil est bas sur l'horizon, plus il va traverser une épaisseur importante d'atmosphère et plus il va subir de transformations.

le rapport entre l'épaisseur d'atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol et l'épaisseur traversée à la verticale du lieu. Cela dépend surtout de la

hauteur angulaire du soleil définie à l'aide des points O, A et M et cet angle h , on écrit la longueur du trajet du soleil à travers l'atmosphère:

$$OM = \frac{OA}{\sin h} \quad (1.1)$$

Donc l'air mass $\frac{OM}{OA} = \frac{1}{\sin h}$

Dans l'expression AM_x , x désigne ce rapport OM/OA

Exemples: Soleil au zénith (au niveau de la mer): AM1

Soleil à 30° : AM2.

2. RAYONNEMENT DIRECT, DIFFUS ET GLOBAL

Le rayonnement direct est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux, il forme donc des ombres et peut être concentré par un miroir.

Le rayonnement diffus est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). La diffusion est un phénomène qui répartit un faisceau par parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel, ce sont à la fois les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les poussières qui produisent cet « éclatement » des rayons du soleil. Cela dépend donc avant tout des conditions météorologiques. Par temps couvert, on admet que le rayonnement diffus est isotrope, c'est-à-dire que l'on reçoit un rayonnement identique de toutes les directions de la voûte céleste, par temps clair ou voilé, outre le ciel bleu relativement isotrope (diffusion sur l'air), on a une couronne plus brillante autour du soleil (composante appelée cirrus solaire) et souvent un renforcement sur l'horizon, la bande horizon.

Le rayonnement global est tout simplement la somme de ces diverses contributions. Lorsque l'on considère le rayonnement direct, on appelle rayonnement direct normal le rayonnement direct mesuré perpendiculairement aux rayons du soleil. Mesuré selon un plan non perpendiculaire, le même rayonnement irradie une plus grande surface, il est donc moins intense, c'est ce que l'on appelle l'effet cosinus.

3. SPECTRE SOLAIRE

Le spectre du solaire c'est sa décomposition en longueurs d'onde ou « couleurs ». La lumière solaire est en effet composée de toutes sortes de rayonnements de couleurs différentes, caractérisées par leur gamme de longueur d'onde. Les photons, grains de lumière qui composent ce rayonnement électromagnétique, sont porteurs d'une énergie qui est reliée à leur longueur d'onde par relation:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.2)$$

Où h est la constante de Planck, ν la fréquence, C la vitesse de la lumière et λ la longueur d'onde. Une courbe standard de la répartition spectrale du rayonnement solaire extra-terrestre, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom **AM0**. SA distribution en énergie est répartie comme suit:

Ultraviolet UV	$0.20 < \lambda < 0.38 \mu\text{m}$	6.4%
Visible	$0.38 < \lambda < 0.78 \mu\text{m}$	48.0%
Infrarouge	$0.78 < \lambda < 10 \mu\text{m}$	45.6%

La figure 2.7 montre l'atténuation observée après le passage à travers une épaisseur d'atmosphère correspondant à une masse d'air 1.5, soit l'équivalent d'une hauteur du soleil de 41.8° au niveau de la mer. L'irradiation spectrale est le flux solaire pour une longueur d'onde donnée (et donc une couleur donnée, en ce qui concerne la lumière visible).

Ce spectre de ciel clair, noté **AM1.5**, sert de référence pour la mesure de cellules photovoltaïques. Les simulateurs servant à mesurer les modules tentent de le reproduire aussi fidèlement que possible. On peut également remarquer le spectre du diffus par beau temps, nettement renforcé vers le bleu du fait de la diffusion de Rayleigh sur l'air.

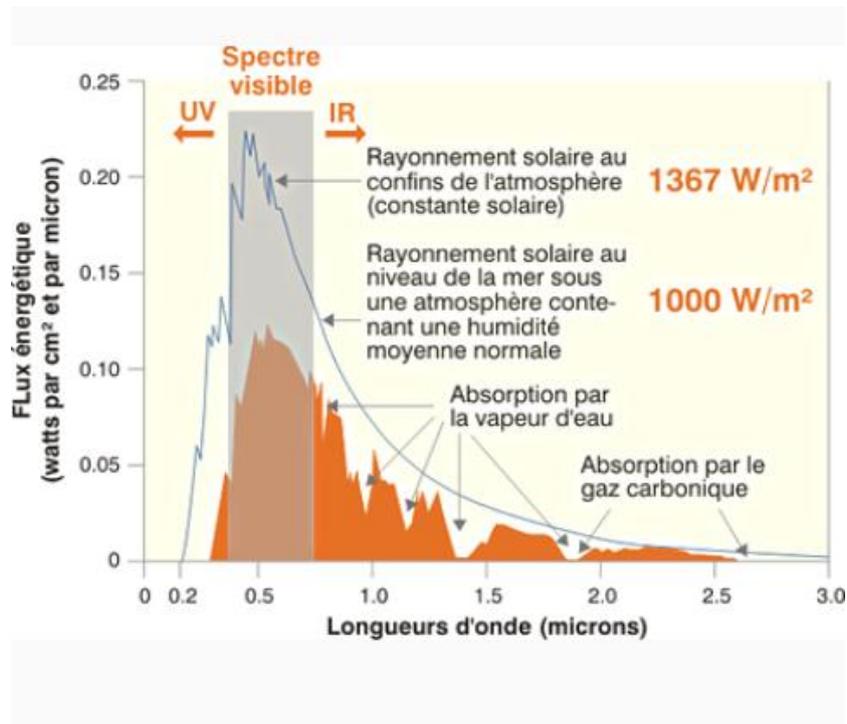


Figure 1.5 Répartition spectrale du rayonnement solaire

On voit clairement sur le spectre **AM1.5** les bandes d'absorption correspondant aux gaz de l'atmosphère, notamment le CO_2 et la vapeur d'eau. Est représenté aussi sur la figure 1.5 le spectre d'un corps noir dont la température de couleur serait de 5900 K, très proche du spectre solaire **AM0**. Le soleil est donc souvent assimilé à ce corps noir, ce qui permet aux physiciens d'élaborer des modèles pour expliquer son comportement et ses émissions de rayonnement.

1.3.4 LE RAYONNEMENT SOLAIRE SUR NOTRE PLANÈTE

La conception de systèmes photovoltaïques nécessite la connaissance du rayonnement solaire utile sur le site d'installation, dans le plan des panneaux solaires. C'est un des paramètres essentiels de l'étude préalable: pour un besoin électrique donné, plus d'énergie solaire reçue implique moins de panneaux solaires à installer et inversement.

On serait tenté de penser que l'énergie solaire hors atmosphère étant connue, ainsi que la course du soleil en tout point du globe, On peut reconstituer l'énergie solaire reçue au sol. Ce serait oublier l'influence de l'atmosphère qui provoque la diffusion et l'absorption d'une partie du rayonnement incident. Le diffus représente plus de 50%

du rayonnement annuel disponible dans les régions tempérées contre 30 à 45% dans belles journées. Même dans les pays du Sud.

Or, La modification par l'atmosphère du rayonnement solaire obéit à des phénomènes assez complexes et surtout en grande partie aléatoires. L'état de notre ciel et donc le flux lumineux reçu au niveau du sol à un instant donné dépendent d'un grand nombre de paramètres:

- ✓ Gaz présents dans l'atmosphère
- ✓ Nuages
- ✓ Albédo (réflectivité du sol)
- ✓ Température ambiante
- ✓ Vent
- ✓ Humidité relative...

Or ces paramètres dépendent:

- ✓ Du lieu géographique
- ✓ De la saison
- ✓ De l'heure de la journée
- ✓ Des conditions météo du moment...

Bien sûr les scientifiques, en particulier les climatologues, élaborent des modèles pour décrire et prédire ces phénomènes atmosphériques, mais le moyen le plus sûr pour disposer de données fiable est encore de recourir à des statistiques accumulées sur les années antérieures grâce à des instruments de mesure. Certes le climat évolue et il faudra en tenir compte, mais relativement lentement par rapport aux marges de sécurité que l'on prend de toute façon.

Voyons maintenant quels instruments sont utilisés pour quantifier le rayonnement solaire reçu sur la terre.

1.3.5 Exploitation des données

1. GRANDEURS UTILES

On distingue deux types de données d'ensoleillement : les valeurs instantanées et les valeurs cumulées

1.1 Rayonnement cumulé

La plupart du temps, le dimensionnement d'un système photovoltaïque se base sur les moyennes mensuelles de l'énergie solaire journalière de la région. Il suffit alors de disposer de 12 valeurs journalières cumulées (pour les 12 mois de l'année) dans le plan des capteurs. Plus exactement, la grandeur physique que l'on utilise est alors le rayonnement solaire global intégré sur une journée, appelé plus simplement rayonnement global journalier: il s'agit de l'intégrale du rayonnement globale (direct + diffus) sur la journée, le cumul du rayonnement en Wh/m² et par jour (voir les unités en annexe 1). Ces valeurs sont accumulées d'année on en réalise des moyennes pour chaque mois de l'année.

Comme il n'est pas possible de disposer des pyromètres dans toutes les directions, les bases de données météorologiques citées ci-dessus fournissent ces valeurs pour seulement quelques orientations et inclinaisons. Parfois seul le rayonnement horizontal est mesuré. Il est possible de calculer, l'aide de modèles mathématiques et une certaine dose de statistiques, le rayonnement sur une surface inclinée à partir du rayonnement horizontal, selon la latitude et la longitude du lieu.

1.2 Rayonnement instantané

Il existe cependant des cas où on a besoin de profils détaillés du rayonnement instantané pendant la journée: quand il y a des obstacles au voisinage des panneaux solaires susceptibles de provoquer des ombrages pendant plusieurs heures à certaines périodes de l'année. On a besoin alors de données horaires (courbes de l'intensité du rayonnement en fonction de l'heure de la journée) pour quantifier les pertes de ces ombrages.

1.2.1 Variations du rayonnement global journalier

nous allons la grande tendance afin de fixer les ordres de grandeur du rayonnement exploitable en divers points de la planète de sa dépendance avec les mois de l'année.

1.2.2 Influence de la latitude

On constate que les ensoleillements chutent assez rapidement au-delà du 45° parallèle (aux latitudes supérieures à 45° nord). Ces écarts sont dus à l'incidence plus des rayons solaires, ce qui oblige à incliner les modules photovoltaïques plus verticalement lorsque la latitude augmente: une inclinaison égale à la latitude est généralement un bon choix,

On remarque aussi que les sites les mieux ensoleillés se situent dans les régions tropicales (latitudes 25-30°). Les zones équatoriales sont en général plus perturbées par la nébulosité (phénomènes de moussons et d'orages).

Mais c'est sur la répartition saisonnière que la latitude a le plus d'influence, surtout sur le rayonnement horizontal. Dans les zones équatoriales et tropicales, on observe assez peu de variations au cours de l'année, ce qui représente un très grand avantage pour l'utilisation du photovoltaïque. Mais plus la latitude s'élève, et plus les différences sont marquées. La figure 2.8 montre l'évolution annuelle d'un (beau jour) selon la latitude.

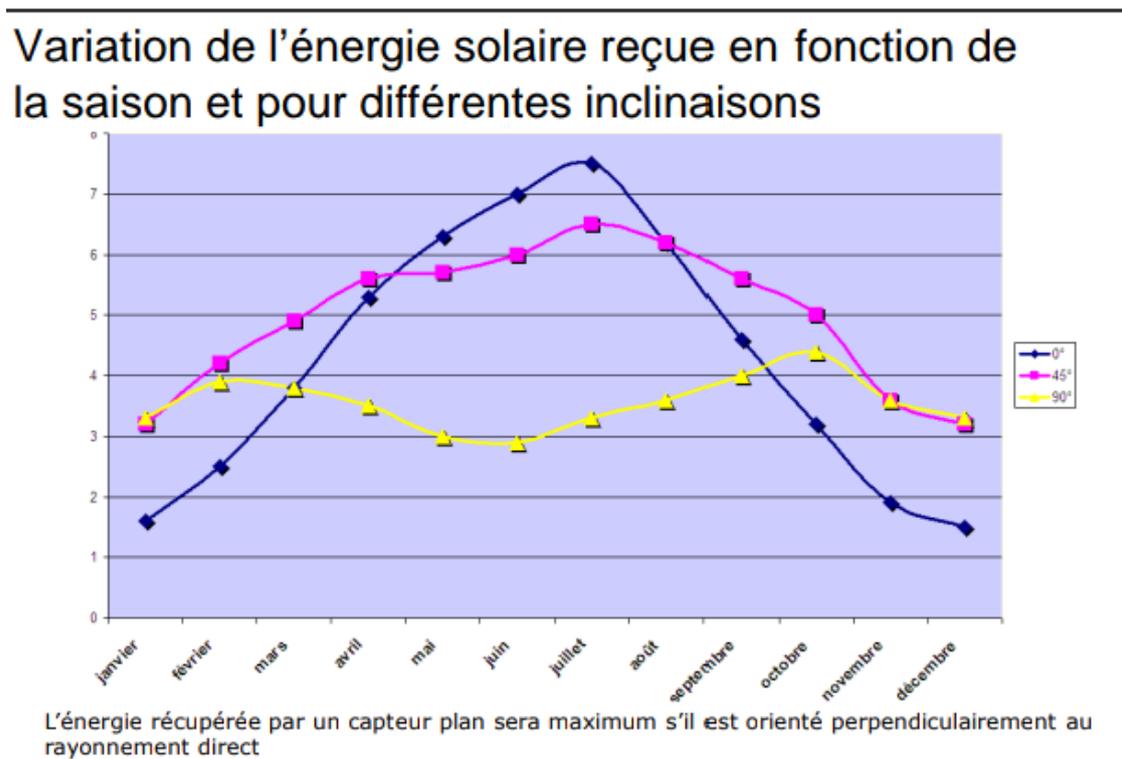


Figure 1.6 : variation de l'énergie solaire reçue en fonction de la saison et pour différentes inclinaisons

Cela a des conséquences directes sur la conception des systèmes photovoltaïques : dans les pays de faible latitude (entre 15°S et 15° N) le calcul d'une installation se fait sur une valeur relativement constante et la production électrique du générateur photovoltaïque varie peu au cours de l'année. Au contraire, lorsque le contraste été/hiver s'accroît à plus forte latitude, on doit dimensionner en fonction de l'ensoleillement le plus faible pour une utilisation annuelle, et bien gérer l'excédent d'énergie pendant la saison ensoleillée. Cela oblige à bien concevoir les régulateurs pour ne pas endommager les batteries, et éventuellement gérer les priorités au moyen de systèmes de gestion des récepteurs (cf. 4.3.3).

1.2.3 Influence de l'exposition

Dans les pays tempérés et froids, cette courbe idéale (figure 1.6) est encore pénalisée par le fait que la nébulosité est habituellement bien plus élevée en hiver. Ces basses valeurs de l'ensoleillement global hivernal sont certes un inconvénient pour le développement du photovoltaïque en climat tempéré. Heureusement on l'atténue un peu en orientant les modules vers le Sud et en les inclinant dans une position adaptée à la latitude.

La figure 1.7 illustre cette atténuation du déséquilibre été-hiver sur l'exemple de la ville de Paris (latitude 48,8° N) : les valeurs de rayonnement solaire hivernales sont plus favorables à l'exposition 60° S (inclinaison 60° par rapport à horizontale, orientation Sud).

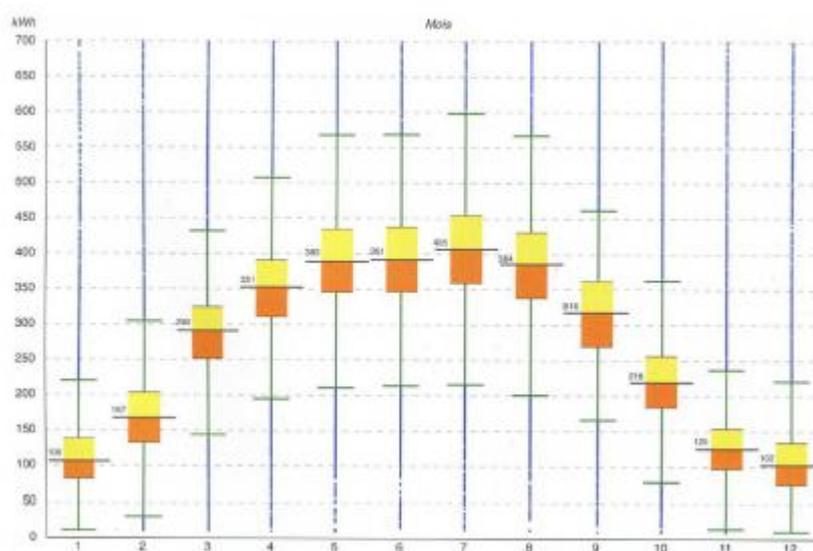


Figure 1.7 : rayonnement global journalier

On remarquera aussi que les deux courbes se croisent : en été, l'exposition horizontale est plus favorable, en hiver c'est l'exposition 60° S qui donne le plus.

Donc, pour nos pays tempérés à forte latitude nord, si l'orientation sud est toujours souhaitable, en revanche en ce qui concerne l'inclinaison idéale, il faut s'adapter au site et à l'usage. Si l'usage est uniquement estival, une faible inclinaison sera préférable (10 ou 30° par rapport à l'horizontale) alors que pour une utilisation annuelle, il vaudra mieux s'en tenir à la règle : latitude du lieu +10°.

1.2.4 Altitude, albédo et autres facteurs

Bien entendu la latitude, la saison et l'exposition sont les principaux facteurs qui déterminent le rayonnement solaire explorable ou sol en un lieu donné. Mais d'autres éléments peuvent intervenir, notamment en montagne, en bordure de mer ou dans des villes où la pollution atmosphérique est élevée.

1.4 Conclusion

Le travail que nous avons présenté dans ce chapitre résume les réservoirs d'eau en Algérie, leur répartition sur le territoire national et les modalités de leur exploitation et les caractéristiques du soleil.

Chapitre 2

LE PHOTOVOLTAÏQUE

2.1.Introduction

L'utilisation des cellules solaires comme convertisseurs d'énergie solaire a fait apparaître le besoin d'étudier ces systèmes afin de les optimiser, et par conséquent développer l'exploitation de cette nouvelle source d'énergie renouvelable propre et qui n'émet pas de gaz à effet de serre, pour ces derniers raisons la branche solaire photovoltaïque mérite vraiment d'être mise à contribution. L'expérience montre que le fonctionnement des cellules solaires dépend fortement de plusieurs paramètres; internes (lié au dispositif lui-même; la technologie d'élaboration du dispositif photovoltaïque) et externes (lié à l'entourage du fonctionnement: éclairage, température, etc.). L'étude de l'influence de ces différents paramètres sur le fonctionnement des photopiles solaires est possible à travers la connaissance de l'influence de chaque paramètre sur la caractéristique $I-V$ de la cellule.

L'éclairage et la température sont deux paramètres extrêmement importants dans le comportement des cellules solaires. Ils influent énormément sur la caractéristique $I-V$ de la cellule solaire. D'où, l'importance de l'étude de l'influence de l'éclairage et de la température pour optimiser les performances des systèmes photovoltaïques puisqu'elles sont exposées au rayonnement solaire.

2.2 Principe de fonctionnement d'une cellule solaire photovoltaïque

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la

production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons. Dites respectivement dopée de type n et dopée de type p, lorsque la première est mise en contact avec la seconde. Les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement.

Il se crée donc entre elle un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p, une jonction (dite p-n) a été formée en ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée. Les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes. Chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p vers la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel: le courant électrique circuit [7].

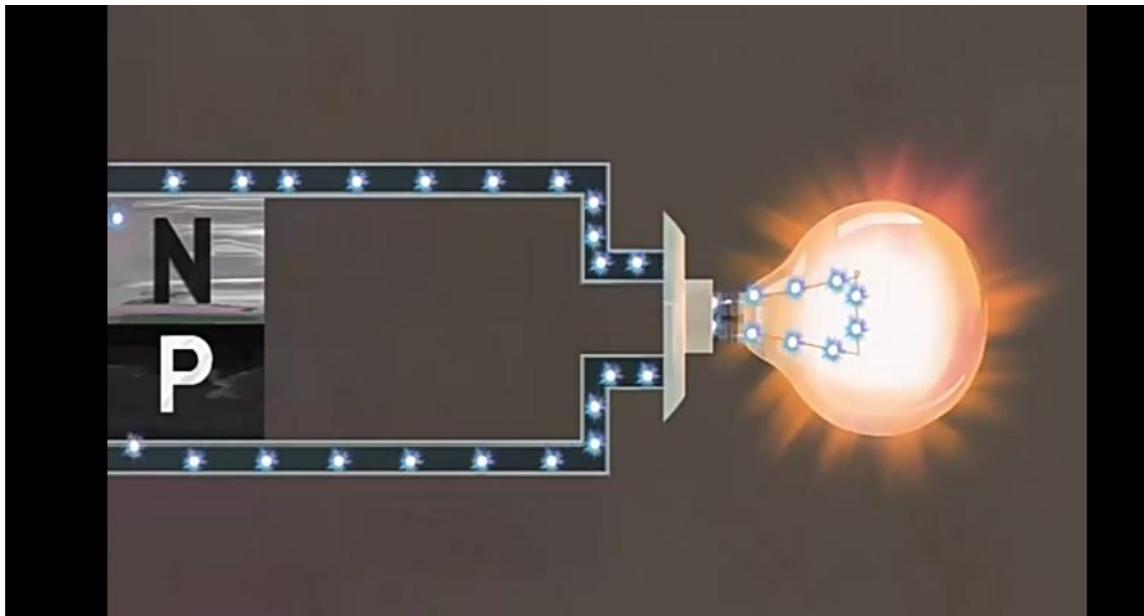


Figure 2.1:circuit électrique

2.3 Les Différents types des cellules solaire (cellule photovoltaïque)

Un panneau solaire est un assemblage de cellules photovoltaïques. Ce sont ces cellules qui convertissent le rayonnement du soleil en électricité. Le panneau se contentant, lui, s'additionner les courants créés pour arriver à un niveau exploitable. Il existe plusieurs types de cellules qui se différencient par les matériaux utilisés pour les construire. La principale différence sera la surface qui, à puissance égale, pourra varier du simple au double [8].

Actuellement, il existe trois principaux types de cellules qui sont les suivants:

2.3.1 Les cellules en silicium monocristallin

Les Cellules en silicium mono cristallin offrent le meilleur rendement parmi les panneaux solaires disponibles dans le commerce entre 13 et 15%. À partir de là, il faut moins de cellules pour obtenir l'énergie souhaitée, et la définition est que le silicium monocristallin est également le plus cher et à partir de là, son seul coût en fin de compte est d'utiliser une surface réduite [8].



Figure 2.2 : cellule monocristallin

2.3.2 Les cellules au silicium poly cristallin

Cellules au silicium poly cristallin les modules utilisant des cellules au silicium poly cristallin ont en général un rendement compris entre 12 et 14% ces cellules sont plus simples à fabriquer et moins chères. Les cellules poly cristallin sont reconnaissables aux formes irrégulières des cristaux qui apparaissent nettement à l'œil nu [8].



Figure 2.3 : cellules poly cristallin

2.3.3 Les cellules au silicium amorphe

Les cellules au silicium amorphe sont des cellules à couche mince, c'est-à-dire qu'elles sont fabriquées en déposant une fine couche de silicium sur un support, l'épaisseur de silicium utilisée est beaucoup plus faible que pour les cellules monocristallin ou poly cristallin qui sont réalisées à partir de tranches de silicium. Ce type de cellule est donc moins cher et plus facile à fabriquer. On les utilise pour créer des panneaux solaires souples.

Cependant ces cellules ont des rendements limités de l'ordre de 5 et 7% [8].

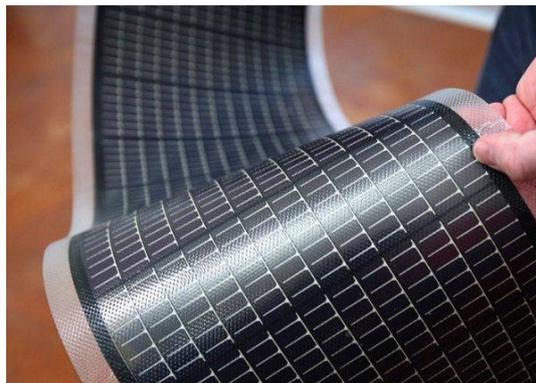


Figure 2.4 : cellules amorphe

2.4 D'un générateur photovoltaïque

Le soleil fournit de l'énergie à la terre. Cette énergie gratuite grâce à une technologie appelée photovoltaïque transforme l'énergie solaire en électricité. Les modules ou panneaux photovoltaïques composés de semi-conducteur permettent de transformer directement la lumière du soleil en électricité. Ces modules peuvent s'avérer une source d'énergie qui est sûre, fiable, sans entretien et non polluante pendant très longtemps. Des millions de systèmes ont été installés dans le monde entier.

2.4.1 Les cellules solaires

Les cellules solaires ou photovoltaïques sont un dispositif et un outil sous forme de cellules empilées les unes à côté des autres qui convertissent la lumière du soleil en électricité en exploitant l'effet photovoltaïque.

2.4.2 Module (ou panneau)

Le module photovoltaïque est par définition un ensemble de photopile assemblée pour générer une puissance électrique exploitable lors de son exposition à la lumière. En effet, une photopile élémentaire ne génère pas suffisamment de tension : entre 0,5V selon les technologies. Il faut presque toujours plusieurs photopiles en série pour générer une tension utilisable [6].

De plus, cet assemblage en série doit être protégé pour rendre le module apte à un usage en extérieur. Les photopiles sont en effet des objets fragiles et sensibles à la corrosion qu'il convient de protéger mécaniquement et de mettre à l'abri à cause des rigueurs du climat (humidité, variations de température, etc...)[6].

On réalise donc des modules de diverse puissance selon la surface mise en œuvre (à 150Wc par module), capable de générer du courant continu en basse tension lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Ces modules constituent la partie productrice d'énergie dans un générateur photovoltaïque [6].

2.4.3 Le générateur photovoltaïque [6]

Le générateur photovoltaïque se compose de plusieurs modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs.

2.5 Caractéristique courant-tension [6]

On a vu que la jonction servant de base à la photopile est une diode. Lorsqu'elle est illuminée apparaît dans cette diode un photo-courant qui dépend de la quantité de lumière incidente. D'où le terme photodiode, également employé pour désigner une photopile.

$$I = I_s e^{\left(\frac{U}{U_t}\right)} \text{ pour } U \gg U_t \quad (2.1)$$

Avec :

U= tensions imposée à la diode

$$U_t = KT/q = 26\text{mV à } 300\text{K}$$

$K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ constante de Boltzmann

$q = 1,602 \cdot 10^{-19}$ charge de l'électron

T = température absolue en K

I_s = courant de saturation de la diode.

Sous illustrations, avec un changement de signe purement conventionnel pour le courant, cette relation suivant :

$$I = I_p - I_s \left(e^{\frac{U}{U_t}} - 1 \right) \quad (2.2)$$

Avec : I_p = photo-courant.

À l'aide de cette équation, on peut quantifier les paramètres suivants :

Le courant de court-circuit, I_{cc} , valeur du courant lorsque la tension $U=0$.

Il vaut :

$$I_{cc} = I_p$$

Et la tension de circuit ouvert V_{oc} lorsque le courant est nul:

$$U_{co} = KT/q \ln \left(1 + \frac{I_p}{I_s} \right) \quad (2.3)$$

Où, pour $I_{cc} \gg I_s$:

$$U_{co} = KT/q \ln \left(\frac{I_p}{I_s} \right) \quad (2.4)$$

Il est important de Remarque que cette tension augment avec le log de I_p , donc avec le log de illustration. En revanche, elle décroît avec la température, malgré le terme KT/q . En effet, le courant de saturation, I_s , dépend de la surface de la diode (donc de la cellule) et des caractéristiques de la jonction : il varie exponentiellement

avec la température et cette dépendance en température compense largement le terme KT/q . donc la tension de circuit ouvert V_{oc} baisse avec la température, ce qui est important dans le dimensionnement des systèmes.

On peut compléter le schéma équivalent de la cellule solaire (figure....) En ajoutant deux résistances pour tenir compte des pertes internes. R_s représente la résistance série qui tient compte des pertes ohmiques du matériau, des métallisations et du contact métal/semi-conducteur, R_p représente une résistance parallèle (ou résistance de fuite) provenant de courant particulier et à l'intérieur du matériau par des irrégularités ou impuretés.

L'équation de la caractéristique courant-tension devient alors :

$$I = I_p - I_s \left(e^{\frac{q(U+I \cdot R_s)}{KT}} - 1 \right) - (U + I \cdot R_s) / R_p \quad (2.5)$$

Et l'on remarque que le courant de court-circuit I_{cc} , lorsque $U=0$, n'est plus strictement égal à I_p .

À retenir :

Le courant d'une cellule solaire est proportionnel à l'éclairement et à la surface de la cellule. Il augmente avec la température.

La tension en circuit ouvert d'une cellule solaire varie de manière logarithmique avec l'éclairement et baisse avec la température.

2.6 Puissance et rendement [6]

La partie intéressante de la caractéristique courant-tension, pour l'utilisateur, est celle qui génère de l'énergie. Donc ce ne sera ni au point de tension de circuit ouvert [6], ni au point de court-circuit, qui ne génèrent aucune énergie puisque la puissance est le produit du courant par la tension. On a tracé sur la figure

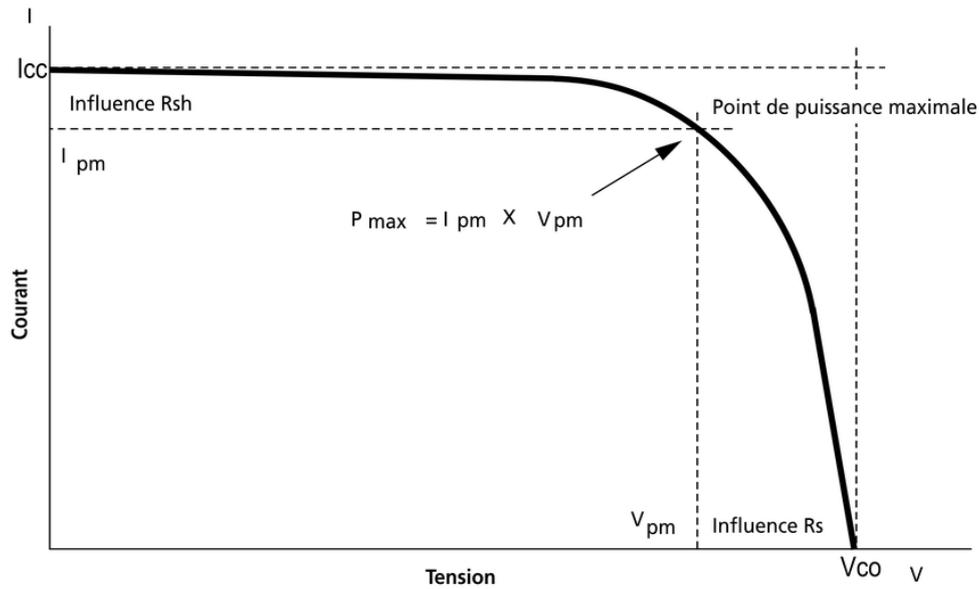


Figure 2.5 puissance maximale sur une caractéristique courant-tension

La caractéristique sous lumière d'une photopile ainsi que des courbes théoriques de puissance constante (en pointillés).

Au point P_m , situé au "coude" de la caractéristique, la puissance de la photopile est maximale pour l'éclairement considéré. Ce point dit de puissance maximale, est associé à une tension dite de tension maximale U_m et de courant maximal I_m .

Remarquons cependant que la photopile peut être sollicitée également à plus faible puissance, par exemple à une tension inférieure à U_m

On voit bien que plus la courbe est "carrée", plus la puissance maximale est élevée.

On mesure cette propriété par le facteur de forme défini comme suit :

$$FF = P_m / (U_{co} * I_{cc}) \quad (2.6)$$

Avec

$$P_m = I_{opt} * U_{op} \quad (2.7)$$

I_{opt} : la tension optimale :

U_{op} : le courant optimale ;

Le rendement énergétique est défini quant à lui comme le rapport entre cette puissance maximale produite et la puissance du rayonnement solaire qui arrive sur le module photovoltaïque.

Si S est la surface de ce module, et E l'éclairement en W/m^2 , le rendement énergétique d'écrit:

$$\eta = \frac{P_m}{E * S} \quad (2.8)$$

Ce rendement est souvent mesuré dans les conditions de référence, c'est-à-dire sous l'ensoleillement de $1000W/m^2$, à la température de $25^\circ C$ et sous un spectre AM1.5. ces conditions normalisées sont dites STC pour standard test conditions[6].

Exemple de module photovoltaïque

Les constructeurs de panneaux photovoltaïques fournissant les paramètres du module ($I, I, U, U,$) sous les conditions standard fonctionnement (une insolation de $1000W/m^2$ et une température de $25^\circ C$, AM 1,5)[7].Le tableau suivant montre les données d'un module photovoltaïque .De type SIEMENS SM 110-24

Paramètres	Valeurs
Puissance maximale du panneau P_{mpp}	110 W
Courant au point de puissance maximale I_{mp}	3,15 A
Tension au point de puissance maximale U_{mpp}	35 V
Courant de court-circuit I_{sc}	3,45 A
Tension en circuit ouvert U_{oc}	43,5 V
Coefficient d'incrémentation du courant I_{sc}	1,4 mA/ $^\circ C$
Coefficient d'incrémentation du tension U_{oc}	-152 mV/ $^\circ C$

Tableau 2.1paramètres d'un module photovoltaïque SIEMENS SM 110-24[7]

Dans notre cas, nous avons choisi un modèle simple nécessitant que les paramètres donnés par le fabricant, la caractéristique I-U de ce modèle[7] est illustrée ci-dessous:

$$I = I_p - I_s \left(e^{\frac{q(U+I \cdot R_s)}{KT}} - 1 \right) - \frac{U+I \cdot R_s}{R_p} \quad (2.9)$$

Où I_d , le courant de diode, est donné par l'équation:

$$I_d = I_o \left(e^{\frac{(U+I \cdot R_s)}{KT}} - 1 \right) \quad (2.10)$$

Le courant de saturation inverse d'une diode est donné par :

$$I_o = I_{sc} / \left(e^{\frac{(U_{oc})}{KT}} - 1 \right) \quad (2.11)$$

Si l'on suppose que la résistance parallèle est infinie l'équation devienne :

$$I = I_{sc} - I_o \left(e^{\frac{q(U+I \cdot R_s)}{KT}} - 1 \right) \quad (2.12)$$

Avec:

I: le courant fournir par la cellule ; V: la tension à la borne de cellule ;

$$I = I_{sc} - I_o \left(e^{\frac{q(U+I \cdot R_s)}{KT}} - 1 \right) [7] \quad (2.13)$$

2.8 Facteur affectant les panneaux solaires

2.8.1 Influence de l'éclairement[6]

La figure 2.6 présente les caractéristiques d'une cellule monocristalline typique de 10*10cm. on a tracé la variation du courant par rapport à la tension pour plusieurs intensités de rayonnement solaire.

Dans la partie gauche des caractéristiques[6], le courant est directement proportionnel au rayonnement à ces niveaux d'éclairement. La tension par contre n'est pas très dégradée lorsque la lumière baisse, dans une cellule monocristalline, la résistance parasite shunt reste assez élevée et la cellule peut fournir une tension correcte même à petite éclairages. Pour une cellule poly cristalline qui présente une plus faible

résistance shunt, la tension peut parfois baisser de manière importante dès que la lumière est en dessous de 30à50W/m²(3à5% de l'ensoleillement maximal).

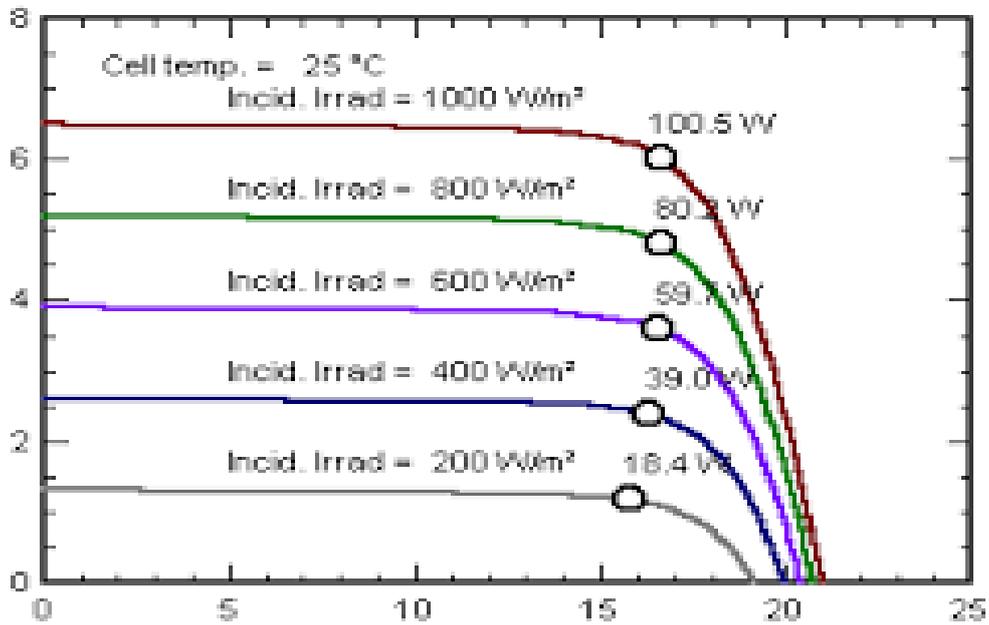


Figure 2.6 Variation courant –tension $I (U)$

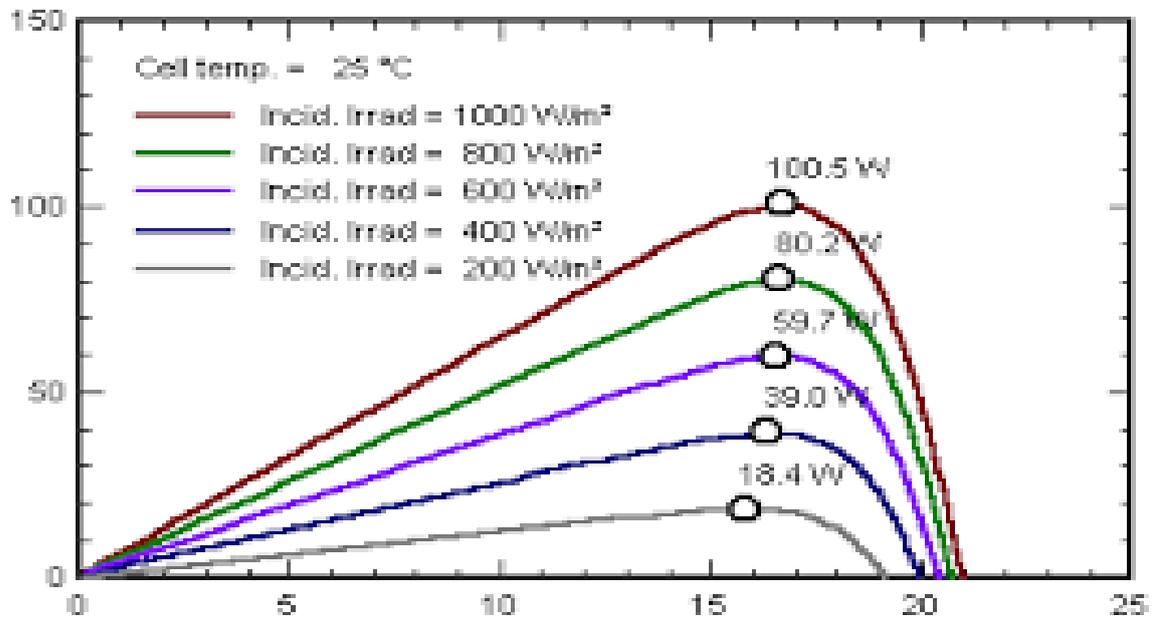


Figure 2.7 Variation puissance-tension courbes $p(U)$

2.8.2 Influence de la température[6]

L'influence de la température est un effet important qui a des conséquences dans la conception des panneaux et des systèmes

Malheureusement, la tension d'une cellule solaire baisse assez fortement avec la température, comme on l'a vu lors de l'établissement de la relation courant-tension. Cet effet est représenté à la figure ... Où l'on voit différentes courbes d'une cellule solaire entre 10 et 75°C sous ensoleillement de 1000 W/m² [6].

Sous l'effet d'une hausse de la température, le courant gagne quant à lui un petit peu d'intensité. Ceci peut être expliqué par une meilleure absorption de la lumière, le gap baissant lorsque la température augmente. Mais l'accroissement du courant peut être négative au point de puissance maximale et le comportement global de la cellule solaire en température est une perte de 0,4 à 0,5% par degré[6].

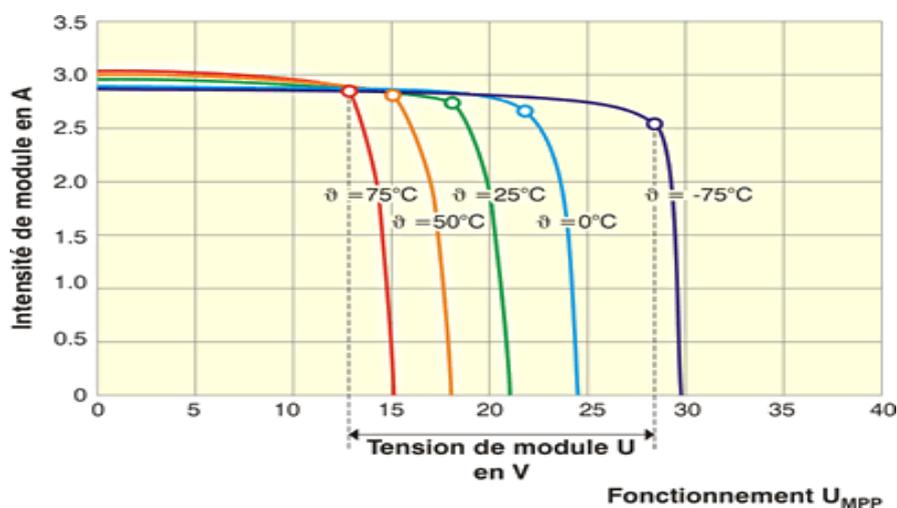


Figure 2.8 variation courant-tension $I(U)$

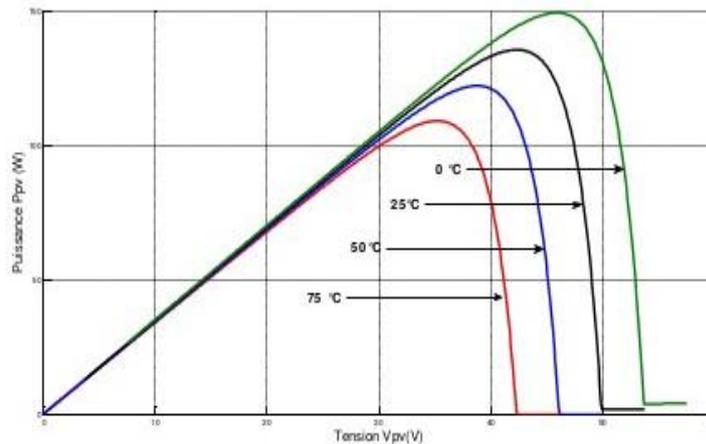


Figure 2.9 Variation puissance-tension $P(U)$

2.9 L'avenir des panneaux solaires

L'idée des cellules solaires remonte à l'année 1839 lorsque le scientifique français Edmund Becherel a découvert que si une électrode est exposée à la lumière et trempée dans une solution conductrice, elle produit un courant électrique, puis en 1941 l'inventeur américain Russel Ohl a réussi à produire la première cellule solaire en silicium. Depuis, les panneaux solaires sont toujours en route.

La dernière étude mondiale révélée. En matière d'énergie solaire, l'Algérie fait partie des trois meilleurs champs solaires au monde car l'Algérie a été classée comme le plus grand et les meilleurs champs solaires du monde faisant de l'Algérie un géant endormi de l'énergie solaire. A une époque où la production d'électricité du pays grâce à cette technologie est encore très faible.

L'Algérie tente récemment d'ouvrir la voie à la l'investissement dans l'énergie solaire, alors que le ministre de l'environnement et des énergies renouvelables. Mme fatma zahraa Zerouati, a rencontré l'ambassadeur de l'Union européenne en Algérie, John O'Rourke, le 27 janvier 2019[9], alors que les deux parties discutaient des futurs projets liés aux énergies renouvelables

2.10 Comment L'installation des panneaux solaires ?

Il est important que tous les panneaux soient du même type, capacité et état. Cela améliore la sécurité et les performances de la matrice de feuille. La matrice de compose de plusieurs panneaux connectés les uns aux autres en parallèle ou série pour atteindre de tension et le courant requis. Lorsqu'il est connecté en série, la valeur de la tension double et l'ampère reste constant, mais lorsqu'il est connecté en parallèle, l'ampère double et la tension reste constante. Quel que soit le type d'installation, la capacité totale ne change pas.

2.10.1 Connexion parallèle

Elles doivent inclure la connexion positive de tous les panneaux ensemble et la connexion de tous les points de contact négatifs ensemble, dans ce cas, utilisez des connecteurs MC4 doubles et triples pour effectuer cas connexion. Si le nombre de lignes connectées en parallèle les unes aux autres dépasse 3, elles doivent être assemblées dans le combiner box [10]. Utilisez les barres de cuivre pour réaliser ces assemblages.

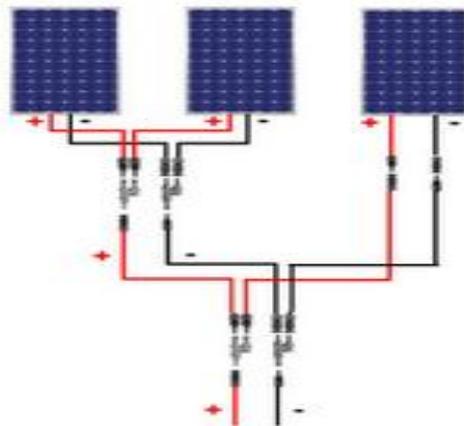


Figure 2.10 Connexion des panneaux solaires en parallèle

2.10.2 Les connexionssérie

Les connexions consécutives comprennent la connexion de la connexion positive de la plaque à la borne négative de la plaque correspondante.

Et la méthode de connexion est choisie en fonction des besoins et des spécifications du régulateur de charge ou de l'onduleur [10].

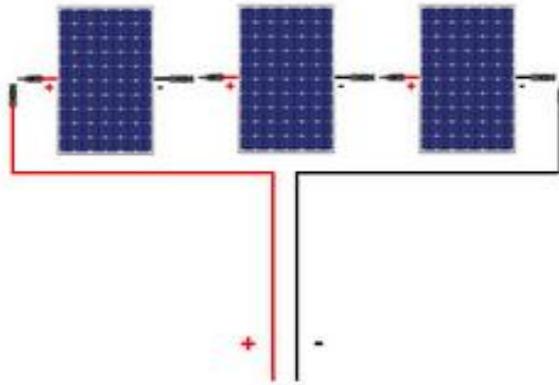


Figure 2.11 Connexion les panneaux solaires en série

2.10.3 Connexion combinées série et parallèle

Connexion combinées série et parallèle pour chaque ligne, il est pris en compte dans cette méthode que la tension est identique à celle des lignes à connecter en parallèle. Cette méthode de connexion est la méthode la plus répandue [10], car la valeur de la tension maximale des panneaux du réseau pour tout régulateur de charge correspond rarement à la tension des panneaux de tous les collecteurs.

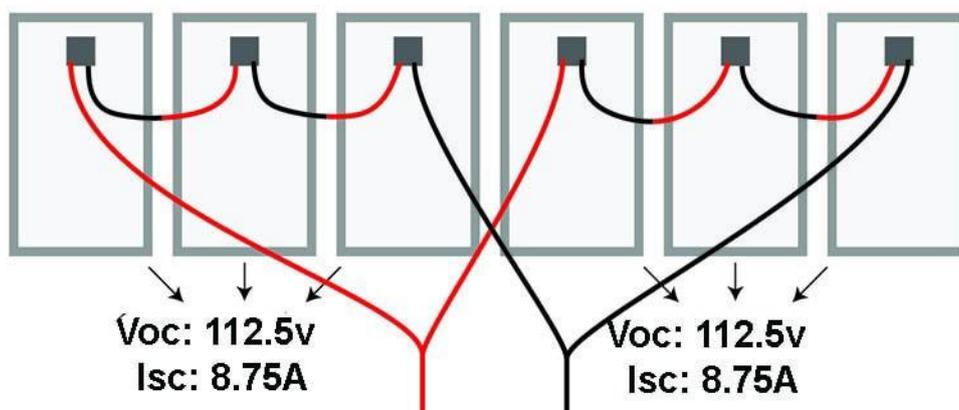


Figure 2.12 Connexion les panneaux solaires en parallèle et série

III. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principales caractéristiques et les technologies des éléments constitutifs d'un générateur photovoltaïque. Nous avons pu montrer les implications sur le rendement de conversion d'énergie solaire en énergie électrique d'une installation photovoltaïque. Nous avons bien remarqué que le rendement de cette conversion reste encore très faible. Nous avons également montré comment nous pourrions optimiser la puissance fournie par le générateur photovoltaïque par le biais d'un étage d'adaptation avec fonction de recherche du point de puissance maximale.

Nous avons également montré une méthode de serrage des panneaux solaires pour doubler la tension ou le courant, nous avons montré que la meilleure méthode de connexion est la connexion série et parallèle en même temps.

Chapitre 3

GENERALITE SUR LES POMPES

ET

DIMENSIONNEMENT DU POMPAGE SOLAIRE

3.1 Introduction

Au-delà de l'année 2020 un déséquilibre va apparaître entre les ressources en eaux conventionnellement régularisées et la demande totale du pays. Partant, le recours aux eaux non conventionnelles va prendre un rythme beaucoup plus important. En effet, en 2030, la demande sera supérieure aux ressources conventionnelles exploitables, cette demande est estimée à 2760 Mm³ alors que les ressources ne sont que de 2732 Mm³. Le dessalement d'eau de mer atteindra 46 Mm³ et les eaux usées utilisées en agriculture s'élèveront à 140 Mm³. A ce jour avec toutes les implications institutionnelles, et budgétaires, la gestion des ressources hydriques a produit une situation très délicate. En revanche, le secteur public a axé ses efforts sur l'exploitation des eaux de surface et des eaux souterraines profondes. Ceci a favorisé au niveau des agriculteurs, la surexploitation des eaux souterraines peu profondes.

L'exploitation de ces eaux se fait par l'intermédiaire de l'utilisation des pompes. Pour cela, il est primordial de connaître le fonctionnement de ces dispositifs.

3.2 Généralité sur les pompes

pompe à eau : la pompe est une machine mécanique utilisée pour transporter des liquides d'un endroit à un autre en augmentant la pression du fluide et lui fournir le pouvoir de passer par les tuyaux à l'endroit requis et cette énergie doit être suffisante pour permettre au liquide de vaincre l'effet du fort frottement et de la gravité. Elle est classée en deux types de base

3.2.2 Pompes Centrifuge

Le rôle d'une pompe consiste en effet à conférer de l'énergie au liquide pompé (énergie transformée ensuite en débit et en hauteur d'élévation) selon les caractéristiques de fabrication de la pompe elle-même et en fonction des besoins spécifiques à l'installation. Le fonctionnement est simple: ces pompes utilisent l'effet centrifuge pour déplacer le liquide et augmenter sa pression. À l'intérieur d'une chambre hermétique équipée d'entrée et de sortie (cochlée ou volute), tourne une roue à palettes (roue), le véritable cœur de la pompe. La roue est l'élément tournant de la pompe qui convertit l'énergie du moteur en énergie cinétique (la partie statique de la pompe, c'est-à-dire la volute, convertit au contraire l'énergie cinétique en énergie de pression). La roue est à son tour fixée à l'arbre de pompe, directement emboîté sur l'arbre de transmission du moteur ou couplé à celui-ci par un couple rigide. Lorsque le liquide entre dans le corps de la pompe, la roue (alimenté par le moteur) projette le fluide à la périphérie du corps de la pompe grâce à la force centrifuge produite par la vitesse de la roue : le liquide emmagasine ainsi une énergie (potentielle) qui sera transformée en débit et en hauteur d'élévation (ou énergie cinétique). Ce mouvement centrifuge provoque au même moment une dépression capable d'aspirer le fluide à pomper. En connectant ensuite la pompe à la tuyauterie de refoulement, le liquide sera facilement canalisé et atteindra l'extérieur de la pompe. La roue d'une pompe centrifuge peut être réalisée selon plusieurs variantes de fabrication : roues ouvertes, roues fermées, roues semi-ouvertes, roues monocanal, roues axiales, roues semi-axiales, roues en retrait, vortex, à spirale, etc. Il existe des pompes centrifuges à un étage, c'est-à-dire équipées d'un seul générateur de portée et de pression (une roue). En présence de plusieurs roues (la première

décharge le liquide sur la deuxième et ainsi de suite...), il s'agira au contraire de pompes centrifuges à plusieurs étages, caractérisées par la somme des pressions fournies par chaque roue. Le fonctionnement de la pompe centrifuge dépend non seulement du moment initial de l'amorçage, mais aussi de la façon dont est assurée l'aspiration du liquide même : en effet, si la pompe est située à un niveau inférieur à celui de la veine d'où le liquide est prélevé, ce dernier entre spontanément dans la pompe (cas d'une installation en charge). En revanche, si la pompe est située au-dessus de la source d'où l'on veut pomper, le liquide devra alors être aspiré : la pompe (comme la tuyauterie d'aspiration) devra donc être amorcée de façon préventive, c'est-à-dire remplie de liquide (cas d'une pompe auto-amorçante). Le système centrifuge présente d'innombrables avantages par rapport aux autres types de pompage : il garantit un volume d'encombrement réduit, un service relativement silencieux et une mise en œuvre facile avec tous les types de moteurs électriques disponibles sur le marché. Il s'adapte aussi aisément à tous les problèmes de traitement des liquides puisqu'on l'adaptant aux conditions d'utilisation particulières, il est capable de répondre aux exigences spécifiques des installations de destination.



Figure 3.1 pompe centrifuge

Les pompes centrifuges sont très utilisées pour les applications l'énergie photovoltaïque parce que le couple d'entraînement de la pompe est pratiquement nul

au démarrage, la pompe tourne par très faibles ensoleillées, le moteur peut fournir une vitesse de rotation rapide à peut près constante, Il est idéal pour l'irrigation et facile à installer et à utiliser

3.2.2 Pompes Volumétrique

la pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va-et-vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variation successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement. Le principal intérêt des pompes volumétrique est des pouvoir véhiculer un fluide sous de très fortes pressions.

Le principal intérêt des pompes volumétrique est des pouvoir véhiculer un fluide sous de très fortes pressions.

Les pompes sont également classées selon la source d'énergie en deux types³

3.3 Les sources d'énergies des pompes

3.3.1 Pompes à eau DC

Les pompes à eau à courant continu sont préférable à utiliser dans le cas de profondeurs proches et moyennes[11], en plus des quantités d'eau inférieures à 10 m stéthoscope car elles tuent environ 15% du coût des panneaux solaires supplémentaires qui affichent le coefficient de l'onduleur.'

3.3.2 Pompes à eau AC

Elles sont efficaces dans le cas de profondeurs éloignée et de quantités d'eau supérieure à 10m/h, en plus de la possibilité d'accepter l'onduleur pour une source électrique de source (générateur ou électrique principale)[11],et certaines d'entre elles peuvent fonctionner dans une phase 220 volts ou trois 380 volts.

3.4 Principes d'hydraulique

3.4.1 Pompe centrifuge

Pompe qui utilise le mouvement de rotation d'une roue à palettes (roue) insérée dans le corps même de la pompe. La roue, en tournant à une vitesse élevée, projette l'eau aspirée précédemment à l'extérieur grâce à la force centrifuge développée, tout en faisant circuler le liquide dans le corps fixe puis dans le tuyau de refoulement.

3.4.2 Pompe immergée

La pompe immergée est une pompe à axe vertical conçue pour atteindre de grandes profondeurs grâce à la longueur de son tube d'aspiration. À ne pas confondre avec la pompe submersible caractérisée par son moteur étanche immergé dans le liquide à pomper.

3.4.3 Débit

Quantité de liquide (en volume ou en poids) qui doit être pompée, transvasée ou élevée par une pompe pendant un intervalle de temps donné : exprimée normalement en litres par seconde (l/s), litres par minute (l/min) ou en mètres cubes par heure (m³/h). Symbole (Ql).

3.4.4 Hauteur d'élévation

Hauteur de soulèvement d'un liquide : le pompage sous-entend l'élévation d'un liquide depuis un niveau plus bas vers un niveau plus haut. Exprimé en mètres de colonne de liquide ou en bars (pression). Dans ce dernier cas, le liquide pompé ne franchit aucun dénivelé mais est exclusivement fourni au niveau du sol à une pression donnée. Symbole (H).

3.4.5 Courbe de prestations

L'illustration graphique particulière qui identifie les prestations de la pompe : le diagramme représente en effet la courbe formée par les valeurs de débit et de hauteur d'élévation, indiquées par rapport à un type de roue spécifique et à un modèle de pompe particulier.

3.4.6 En charge

Type particulier d'installation de la pompe, située à un niveau inférieur à celui de la veine où l'eau est prélevée : de cette façon, l'eau entre spontanément dans la pompe sans aucune difficulté.

3.4.7 Amorçage

Remplissage de la pompe ou de la tuyauterie par retrait de l'air que celle-ci contient. Dans certains cas, il peut y avoir des pompes auto-amorçantes, c'est-à-dire équipées d'un mécanisme automatique qui facilite l'amorçage et, par conséquent, le démarrage de la pompe qui, autrement, serait impossible ou tout au moins très lent.

3.4.8 Cavitation

Phénomène créé par une instabilité du flux de courant. La cavitation se manifeste par la formation de cavités dans le liquide pompé et est accompagnée de vibrations bruyantes, d'une réduction du débit et, de façon moindre, du rendement de la pompe. Elle est provoquée par le passage rapide de petites bulles de vapeur à travers la pompe leur explosion crée de micro-jets qui peuvent également provoquer des dommages sérieux.

3.4.9 Pertes de charge

Pertes d'énergie dues au frottement du liquide le long des parois de la tuyauterie et proportionnelles à la longueur de celles-ci. Elles sont aussi proportionnelles au carré de la vitesse de circulation et variables en fonction de la nature du liquide pompé. Toute occasion de ralentissement de la circulation normale du fluide déplacé représente de toute façon une cause de pertes charge, comme les brusques changements de direction ou de section des tuyauteries. Pour un bon choix de la dimension de la pompe, la somme de ces pertes doit être ajoutée à la hauteur d'élévation initialement prévue.

3.4.10 Garniture mécanique

Garniture mécanique pour arbres rotatifs. Utilisée dans tous ces cas où aucun écoulement externe du liquide n'est admissible. Elle est composée de deux anneaux à surface plane, l'un stationnaire et l'autre rotatif : les deux faces sont pressées l'une contre l'autre de façon à ne laisser qu'un film hydrodynamique très fin formé du liquide à retenir, avec la fonction de lubrifier les pièces en frottement.

3.4. 11 Viscosité

Il s'agit d'une caractéristique du fluide pompé : elle représente sa capacité à s'opposer au déplacement. La viscosité varie en fonction de la température

3.4.12 Poids spécifique

Chaque fluide a une densité caractéristique. L'eau, utilisée comme élément de comparaison a, par convention, un poids spécifique (ou densité) égal à 1 (à 4 C et au niveau de la mer). Le poids spécifique représente la valeur utilisée pour comparer le poids d'un certain volume de liquide avec le poids du même volume d'eau.

3.5 Qu'est-ce qu'une pompe dite « solaire »

3.5.1 Description

Une pompe solaire peut être composée avec plusieurs technologies différentes, volumétrique (Shurflo), centrifuge ou hélicoïdale (Lorentz) et pour des utilisations variées comme le pompage de surface (étang, lac, rivière, cuve) et le pompage immergé (puits, forage).

Remarque

La principale caractéristique qui différencie la pompe "solaire" des pompes classiques branchées sur le réseau électrique 230V alternatif est sa tension d'alimentation qui est en continu, de 12V et 24V pour les plus petites à plus de 200V, que l'on peut obtenir grâce à des panneaux solaires ou à des batteries. L'avantage de cette alimentation en courant continu est que l'on va pouvoir adapter la vitesse de rotation en fonction de l'énergie disponible, ce qui va permettre de pomper même avec un ensoleillement ou une tension batterie faible. De plus, de part la technologie ou via un contrôleur, on se débarrasse des pointes de courant au démarrage.

3.5.2 Fonctionnement

Généralement, lorsqu'on veut faire fonctionner un récepteur à tout moment, jour ou nuit, ensoleillement ou non, avec un système photovoltaïque, on utilise une batterie d'accumulateurs. Pour le pompage, c'est différent. En effet, il est plus facile et moins onéreux de stocker de l'eau que de l'énergie. De plus, on s'affranchit de la durée de vie de la batterie et de l'entretien. Dans ce cas, on pratique le pompage "**au fil du soleil**". La pompe est couplée directement au champ solaire photovoltaïque via un contrôleur qui va permettre, entre autres, d'optimiser le rendement journalier de la pompe. Le débit varie en fonction de la vitesse de rotation et donc de l'ensoleillement.

Dans certains cas, le fonctionnement sur batterie sera inévitable, on essaiera de rester sur des pompes avec une tension d'alimentation semblable à celle d'une batterie 12V, 24V ou 48V voir 36V et 96V.

Attention

Pour une pompe avec une tension alternative 230V ou 400V (anciennement 220 et 380V), l'utilisation d'un convertisseur sera obligatoire, il faut donc porter une attention toute particulière à la pointe de courant de la pompe au démarrage qui peut être 3 à 8 fois supérieur au courant nominal

3.6 Définitions (vocabulaire bien spécifique au pompage solaire)

Pour le pompage en général, on utilise un vocabulaire bien spécifique, voici les termes les plus couramment employés et leurs définitions :

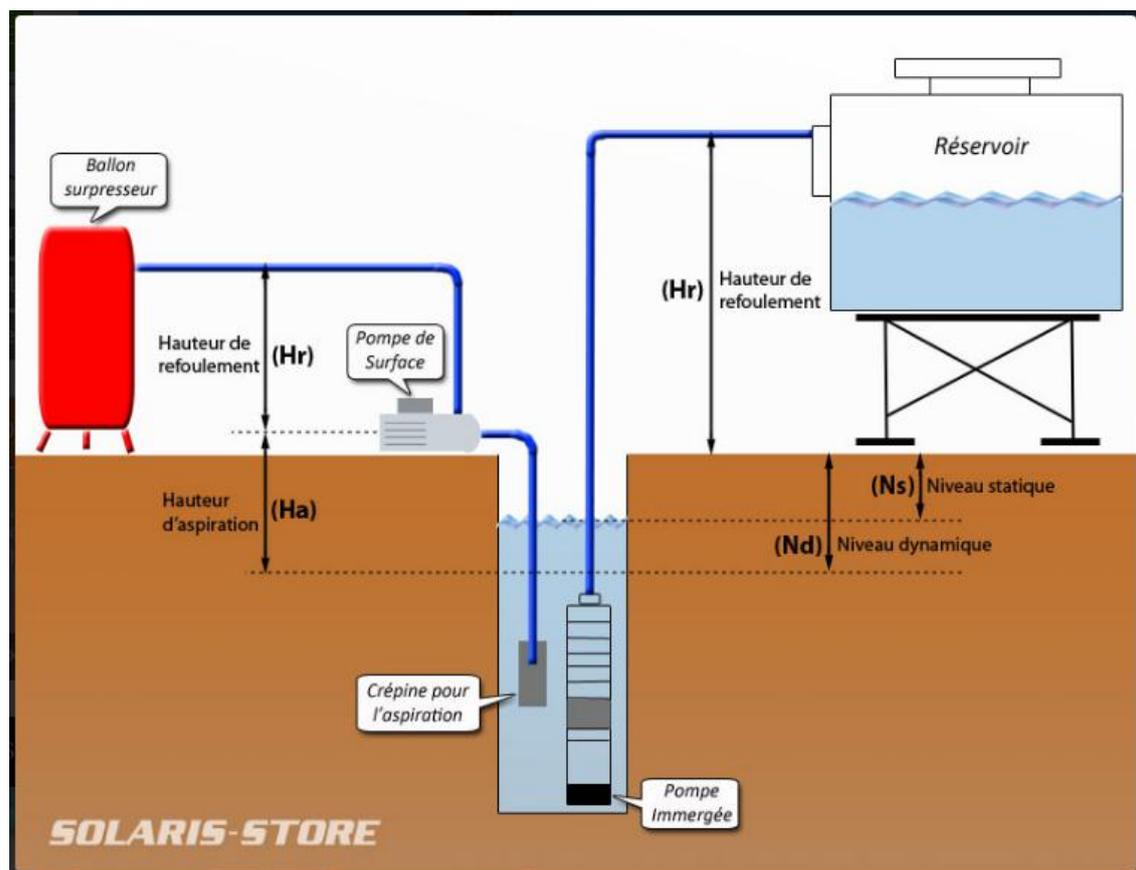


Figure 3.2 schéma synoptique simplifié de pompage photovoltaïque

3.6.1 Niveau statique (Ns)

C'est la différence de dénivelé ou d'altitude en mètres (m) entre le niveau d'eau et le sol lorsque la pompe est arrêtée, il n'y a donc pas de variations de niveau.

3.6.2 Niveau dynamique (Nd)

C'est la différence de dénivelé ou d'altitude en mètres (m) entre le niveau d'eau et le sol lorsque la pompe est en marche. Le niveau peut être amené à varier et même

fortement dans des forages par exemple ou en fonction des saisons (évaporation). Cette information est obtenu auprès du foreur.

Asavoir

La plupart du temps, **le niveau dynamique est égal au niveau statique.**

3.6.3 Hauteur de refoulement (Hr)

C'est la différence de dénivelé ou d'altitude en mètres (m) entre le sol et l'arrivée au point le plus haut de la cuve, du réservoir, du robinet, surpresseur, etc...

3.6.4 Hauteur d'aspiration (Ha)

Uniquement pour les pompes de surface, c'est la différence de dénivelé ou d'altitude en mètres (m) entre le niveau d'eau dynamique et la pompe.

3.6.5 Perte de charge (ΔP)

C'est la perte de pression et de débit provoquée par les frottements de l'eau sur les parois des tuyaux. Plus le tuyau est long et le débit important, plus les pertes de charge augmentent. Elles sont exprimées en pourcentage (%) ou en (bars).

Asavoir

En moyenne, la perte est d'environ **1 bar** de pression pour **10 m de dénivelé** ou pour **100 m de tuyau linéaire.**

3.6.6 Pression utile (Pu)

C'est le besoin en pression (bars) à l'arrivée. Pour un réseau domestique, dans une habitation par exemple, la pression utile est en général de 3 bars, il est donc important d'en tenir compte dans le dimensionnement de la pompe.

3.6.7 Hauteur Manométrique Totale (HMT)

C'est le total des contraintes hydrauliques liées à la hauteur ; Hauteur d'aspiration (**Ha**), Hauteur de refoulement (**Hr**), Niveau dynamique (**Nd**), la longueur

de tuyau (**L**), les pertes de charges (**ΔP**) et la pression utile à l'arrivée (**Pu**). Exprimé en mètres (m).

Soit pour une pompe de surface : **$H_a + H_r + L + P_u + \Delta P$**

Et pour une pompe immergée : **$N_d + H_r + L + P_u + \Delta P$**

3.7 Pompage solaire

Les systèmes de pompage basés sur des moteurs diesel et électrique sont inefficaces, en raison du coût élevé du carburant et des coûts de transport et de stockage, ce qui a rendu difficile la pratique de l'irrigation, ce qui nécessitait la nécessité de systèmes rentables et durables à long terme pour répondre aux besoins du présent. L'Algérie bénéficiant d'un excellent potentiel en énergie solaire, l'utilisation de systèmes de pompage solaire est une bonne alternative.

3.7.1 Les pompages au fil du soleil

Ce sont les systèmes les plus simples puisque l'énergie photovoltaïque est utilisée directement à partir des panneaux.

Il s'agit de stocker de l'eau dans un réservoir. La pompe solaire est branchée directement sur les panneaux solaires par l'intermédiaire d'un régulateur ou d'un convertisseur. Le débit d'arrivée d'eau dans le réservoir est donc variable, il directement fonction du rayonnement solaire, d'où l'expression « au fil du soleil ».

Quant à l'utilisation de l'eau, elle pourra se faire à n'importe quel moment, en tirant sur le réservoir.

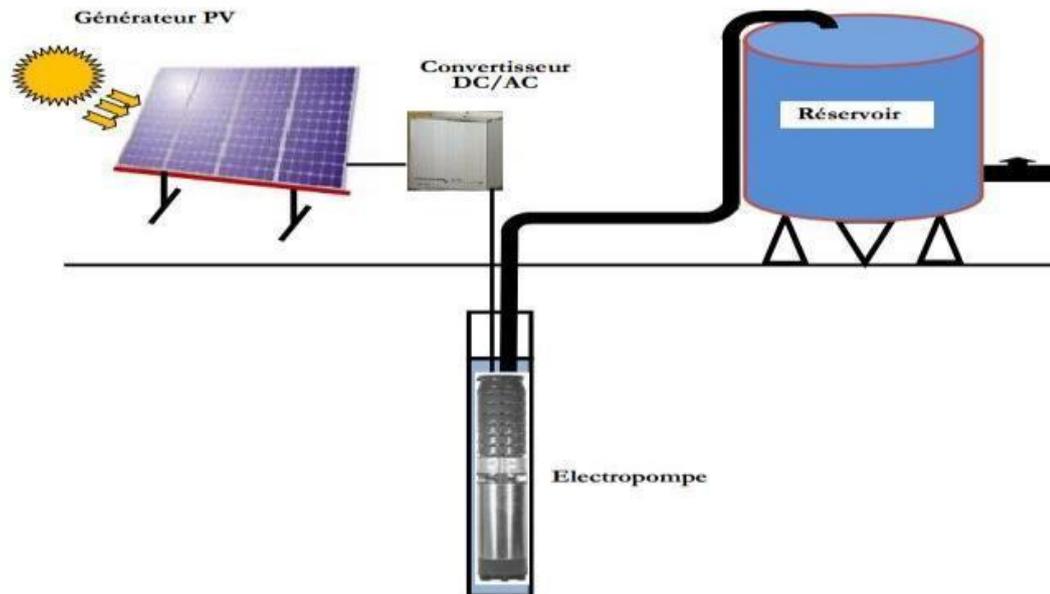


Figure 3.3 Système de pompage au fil du soleil

3.7.2 Pompage avec batterie

C'est la configuration la plus courante des systèmes photovoltaïque autonomes qui est le plus souvent en courant continu (DC), ce qui est préférable car plus simple. Mais dès que l'on touche à l'habitat, il y a presque toujours des appareils en courant alternatif à alimenter. La batterie d'un tel système se charge le jour et sert de "réservoir" d'énergie en permanence, tout comme la citerne d'eau du système de pompage. Elle peut sans problème, recevoir un courant de charge et débiter un courant de valeur différente. Les appareils alimentés sont donc câblés sur la batterie au travers du régulateur de charge. Ceci a pour conséquence la perte d'une part de l'énergie produite (excédentaire pour l'application) en été notamment sous nos climats.

Quand un récepteur doit nécessairement fonctionner en courant alternatif (AC), on fait recourt à une conversion DC/AC en sortie de batterie. Cela n'est pas sans conséquence, notamment: augmentation du coût de l'installation et réduction du rendement énergétique (aucun convertisseur ne restitue 100% de l'énergie).

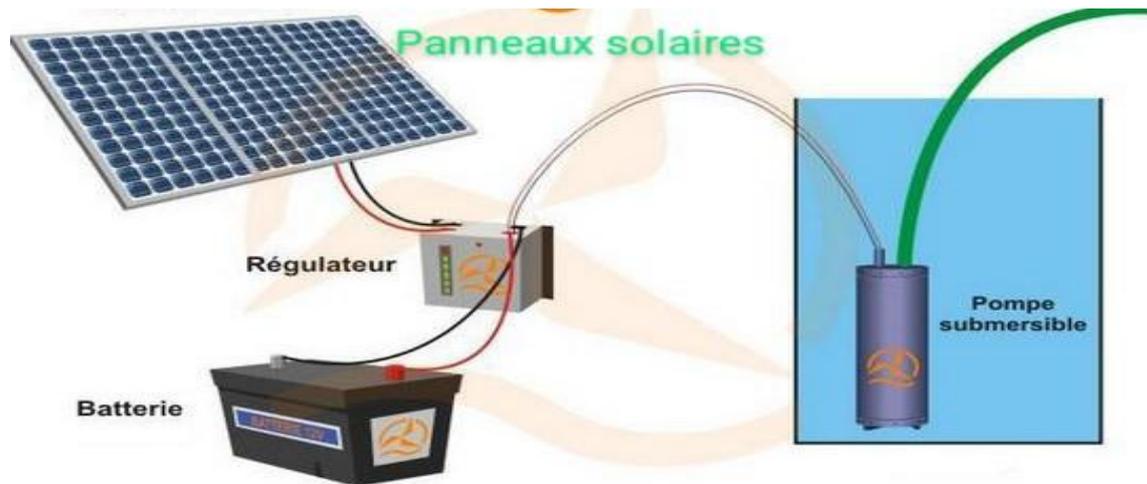


Figure 3.4 pompage avec batterie

3.7.3 Principe de dimensionnement de pompage au fil du soleil

Energie produit par les modules photovoltaïque plus le pertes électrique, pertes du groupe électropompe plus grand les énergies hydraulique (nécessaire au relevage de la nappe à la citerne de stockage) [12].

3.8 Dimensionnement du system de pompage solaire

3.8.1 Les différents étapes pour le system de pompage

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

✓ **Evaluation des besoins en eau**

La quantité d'eau requise par jour: estimation des besoins en eau pour une région tropicale, les besoins en eau peuvent être définis en utilisant les valeurs du tableau suivant:

Consommation d'eau par acre (m ³ /journée)	La récolte
65	Banane
45	Riz
31.5	Pommes des terre
30	Tomates
26	Oignon
27	La canne à sucre

Tableau 3.1diagramme d'estimation des besoins en eau[11]

✓ **Capacité et efficacité de la pompe**

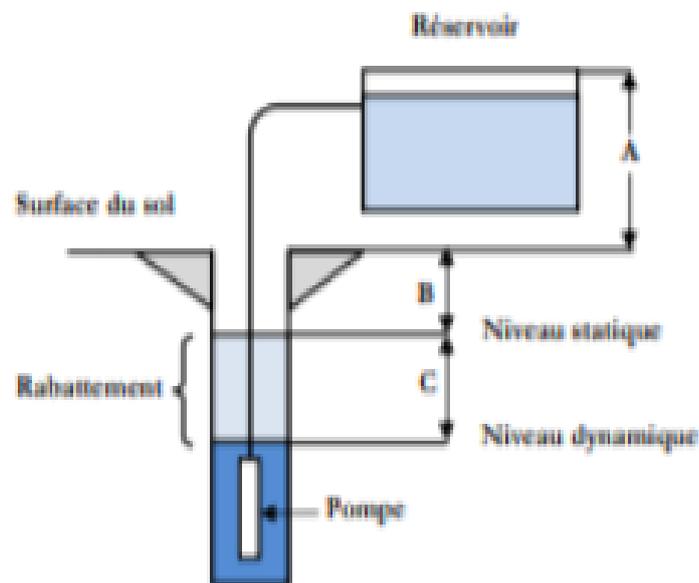


Figure 3.5 Hauteur manométrique total.

$$H_{MT} = A + B + C \quad (3.1)$$

Avec :

A: niveau de pompage

B: montée verticale

C: perte de friction.

Calculer la capacité de la pompe solaire :

$$HE = (Q * H * \rho * g) / (3.6 * 10^6) \quad (3.2)$$

Alors :

$$HE = 0.002725 * h * Q \quad (3.3)$$

Avec :

Q : le débit fournir par une pompe qui est la quantité d'eau qu'elle refoule durant un intervalle de temps donné, en pompage solaire, le début est souvent exprimé en m³ par jour.

H= hauteur manométrique totale ; $\rho = 1000 \text{Kg/m}^3$ la masse volumétrique d'eau.

✓ **TDH: la longueur totale des tuyaux**

qui transportent l'eau de la pompe au réservoir la hauteur totale du bassin d'eau au-dessus du niveau du sol, plus la longueur des tuyaux de la pompe au sol, longueur équivalent due à la perte due au frottement dans les tubes tels que les inverseurs et les vannes, lorsqu'il y a une perte de pression hydraulique, qui est calculée à partir de l'équation suivant :

✓ **Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise**

L'énergie nécessaire pour soulever une certaine quantité de l'eau sur une certaine hauteur donnée pendant une journée est calculée à partir de l'équation suivant :

$$Ee = HE / (\eta_{mp} * \rho_{ond}) \quad (3.4)$$

Ee: l'énergie électrique exprimée (KWh/j)

η_{mp} : le rendement du groupe motopompe en général entre 30% et 60%.

η_{onm} : le rendement d'onduleur.

✓ **La puissance de l'onduleur**

Le calcul doit être effectué pour être proche ou supérieure à la capacité de la pompe.

✓ **La puissance du panneau solaire**

Le calcul se fait en fonction de la capacité de la pompe après prise en compte :

- moins d'heures de points ensoleillés moyens
- facture de performance du système
- conditions météorologiques en toutes saisons
- la superficie du réservoir d'eau dépend de la quantité requise par jour. On doit connaître

3.9 Taille du générateur photovoltaïque

Calculez le nombre de panneaux solaires :

$$N_p = HE/E \quad (3.6)$$

Avec:

E: une puissance de plaque

En utilisant l'équation ci-dessous [7], pour un groupement mixte formé à partir d'un nombre N_s module en série et N_p module en parallèle :

$$I = N_p * I_{ph} - N_p * I_0 \left[\exp \left(\frac{(N_s * V + (I * N_s * R_s / N_p))}{n * N_s * V_T} \right) - 1 \right] - \frac{(N_s * V + (I * N_s * R_s / N_p))}{N_s * R_p / N_p} \quad [7] \quad (3.7)$$

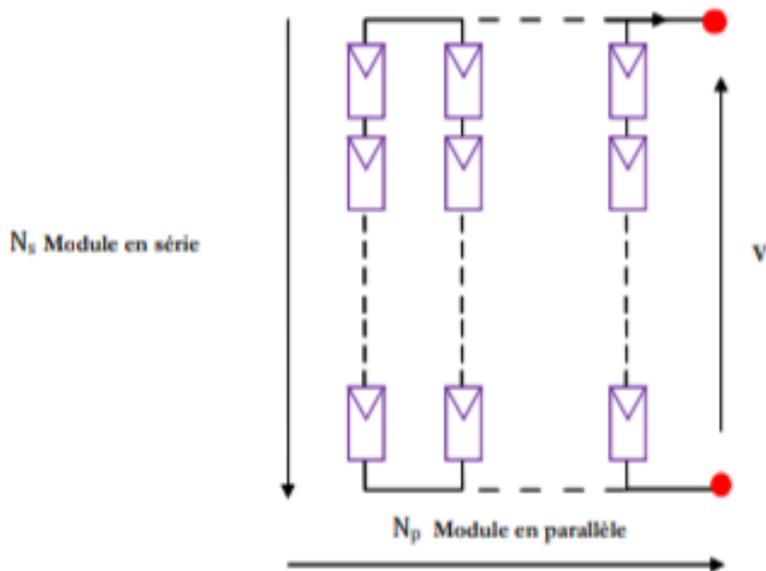


Figure 3.6 Groupement de N_s module en série et N_p module en parallèle.

✓ **La puissance de générateur**

La puissance fournie par le générateur dans les conditions standard des mesures CSM.

$$P_c = \eta_g \cdot A \cdot G \quad (3.8)$$

P_c : la puissance de sortie du générateur

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

A : la surface active du générateur (m^2)

G : l'éclairement dans les conditions CSM ($1000w/m^2$)

L'énergie électrique journalière est donnée par l'équation :

$$E_e = \rho_{pv} \cdot A \cdot G_d(B) \quad (3.9)$$

Avec :

ρ_{pv} : le rendement moyen journalière du générateur dans les conditions d'exploitation

$G_d(B)$: l'irradiation moyenne journalière incident sur le plan des modules à l'inclinaison B ($kWh/m^2/j$)

Le rendement η_{pv} est calculé par la formule suivante :

$$\eta_{pv} = F_m(1 - \gamma(T - T_r)).n_g \quad (3.10)$$

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 maximale.

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

✓ Calcul de la puissance

D'après les équations précédentes, nous trouvons :

$$P_c = G / (F_m (1 - \gamma(T - T_r)) G_d(B)) * H_E / (\eta_{mp} . n_{ond}) \quad (3.11)$$

3.10 Détermination de l'énergie solaire disponible

Cette méthode de dimensionnement est basée sur des calculs de valeurs moyennes journalières de l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire.

3.10.1 inclinaison et dimensionnement du générateur photovoltaïque

L'inclinaison des panneaux photovoltaïques par rapport au plan horizontal doit se faire afin d'optimiser le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire.

Pour déterminer l'énergie solaire nécessaire par jour (E_{elec}) le calcul se fera comme suit :

$$E_{elec} = \text{constante hydraulique} \times Q \times HMT / R \quad (3.12)$$

Constante hydraulique = Cette constante hydraulique dépend de la gravité et de la densité de l'eau

$$R = R_m \times R_p$$

R : rendement de groupe de pompage

R_m : rendement moteur entre 75% et 85% ;

R_p : rendement pompe de 45% à 65%

3.10.2 ESTIMATION DE L'ENSOLEILLEMENT

Afin d'effectuer une installation rentable et optimisée il est important de faire une estimation de l'irradiation de la zone géographique dans laquelle vous souhaitez installer le système de pompage solaire. Généralement, il est préférable de choisir la période la moins ensoleillée. L'irradiation solaire s'exprime pour la plupart du temps en kWh/m²/j. Équivalent à l'énergie d'ensoleillement sur une journée ; la durée **EI en h/j** d'un éclairage de puissance constante **1000 W/m²**.

Dans la ville de Marrakech par exemple, l'irradiation est de **5.52 kWh/m²/jour**.

3.10.3 Dimensionnement des panneaux photovoltaïque (puissance crête)

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

$$E_{elec} \left(\frac{Wh}{j} \right) = P_c(W) \times EI \left(\frac{h}{j} \right) * K \quad (3.13)$$

K : Rendement du système d'alimentation (panneaux solaires, chaleur, poussière, chute de tension en ligne.) de 0,7 à 0,9.

Concernant le choix des panneaux photovoltaïques, il est indispensable de connaître au préalable la tension de fonctionnement d'une pompe.

Il est recommandé d'utiliser des panneaux de la même marque mais également de la même puissance. Les panneaux solaires sont montés de 2 manières différentes : en série et en parallèle. En montant le système en série, on vise à optimiser la puissance et la tension tout en gardant le même courant. Tandis que le montage en parallèle privilégie une augmentation de la puissance et du courant alors que la tension reste la même.

3.11 CHOIX DES COMPOSANTS

✓ CHOIX DE LA POMPE

Aussi, le choix de la pompe se fera en fonction de la profondeur du puit ou forage. En effet, pour un puits de moins de 6 m on optera pour une pompe de surface et pour celui de 10 à 100 m on utilisera une pompe immergée. D'ailleurs, il faut vérifier sur les courbes des constructeurs que la pompe est capable de fournir le débit voulu à la HMT voulue.

✓ CHOIX DU CONVERTISSEUR

Les pompes avec moteur à courant continu ont un convertisseur électronique permettant d'obtenir en permanence le maximum de débit malgré les variations de l'ensoleillement.

Quant aux pompes à courant alternatif monophasé ou triphasé, leur convertisseur électronique converti le courant continu produit en courant alternatif avec une amplitude et une fréquence, contrôlées puis ajustées en fonction de l'ensoleillement.

IV .Conclusion

Dans ce chapitre, deux techniques de pompage photovoltaïque ont été présentées : pompage au fil de soleil et pompage avec batterie. Nous avons montré l'interfère du

pompage dit << au fil du soleil>>. Nous avons également pu conclure que les systèmes de pompage photovoltaïque les plus courants. Nous avons montré les types de pompage et les éléments les plus importants que vous pouvez savoir pour les faire fonctionner.

Conclusion générale

Ce travail a été consacré à une étude d'un système de pompage solaire pour l'irrigation. Ce système demande un dimensionnement avant son utilisation. Les différentes étapes pour le dimensionnement d'un système de pompage sont, évaluation des besoins en eau, calcul de l'énergie hydraulique nécessaire et détermination de l'énergie solaire et le choix des composants. Pour cela, l'étude a été orientée d'abord vers la connaissance des sources d'eau en Algérie et leurs répartitions. Ensuite, nous nous sommes consacrées au mode de captage du rayonnement solaire par les panneaux solaires afin récupérer le maximum d'énergie possible et enfin l'élément qui se charge de la transmission de l'eau à partir d'une source d'eau qui est la pompe centrifuge. Cette dernière dont le rôle est de conférer de l'énergie au liquide pompé (énergie transformée ensuite en débit et en hauteur d'élévation) selon les caractéristiques de fabrication de la pompe elle-même et en fonction des besoins spécifiques à l'installation.

Le pompage solaire est un levier d'efficacité énergétique et de développement durable dans le secteur de l'agriculture. Pour cela, il est intéressant d'accompagner les agriculteurs pour les convaincre de son utilisation. Il est économique, durable et écologique. Un système d'irrigation solaire fournit aux terres agricoles une qualité d'eau dépendant du forage ou de la source utilisée. Un système de pompage solaire au fil du soleil doit être dimensionné en fonction du débit souhaité et de la hauteur manométrique totale (HMT). Bien entendu, la localisation du projet a un impact considérable sur la taille du champ photovoltaïque. Il n'y a pas besoin de batterie dans un système de pompage solaire. Aucune batterie n'est requise puisque l'électricité n'est pas stockée. Il est en effet relativement facile de stocker de l'eau dans un réservoir surélevé, alternative largement moins onéreuse et plus fiable qu'un stockage de l'énergie par batteries (durée de vie limitée et entretien rigoureux). L'eau stockée pendant la journée dans un réservoir de stockage ou citerne assure l'approvisionnement en eau 24/24h.

Le pompage solaire n'est requis que grâce à l'invention des panneaux solaires (des matériaux dits "semi-conducteurs"). Les panneaux photovoltaïques produisent de l'électricité lorsqu'ils sont éclairés par le soleil. Les cellules qui les composent

transforment l'énergie solaire en un courant continu. Celui-ci est transformé en courant alternatif par un [onduleur](#) pour la revente au réseau ou une autoconsommation. Le Photovoltaïque est une énergie propre, disponible et gratuite. C'est d'ailleurs ce qui explique son utilisation. Le photovoltaïque connaît une croissance significative dans le monde. D'autre part, la demande d'énergie électrique, essentiellement pour les besoins des zones rurales et les sites isolés, ne cessent d'augmenter, en particulier, les systèmes de pompage d'eau, là où l'utilisation de l'énergie conventionnelle nous met face à plusieurs obstacles, comme le transport du combustible et les entretiens périodiques pour les moteurs Diesels en général, c'est pourquoi nous avons eu recours à l'énergie solaire durable. L'étude a montré que la meilleure inclinaison des panneaux solaires photovoltaïques pour un usage à longueur d'année est celle de la latitude de l'endroit où sont installés les capteurs pour une inclinaison optimale mensuelle représente la solution idéale encore plus pratique et plus intéressante. L'exploitation maximale de l'énergie captée afin de tirer le maximum de puissance électrique disponible au niveau du générateur photovoltaïque est optimisée par la puissance fournie par le CGPV par le biais d'un étage d'adaptation avec fonction de recherche du point de puissance maximale MPPT. Nous rappelons, qu'il est plus intéressant d'utiliser un stockage de l'eau dans des réservoirs hydrauliques au lieu de stocker l'énergie électrique dans des batteries, le système obtenu est alors avec un fonctionnement naturel, et donne à priori très faible et à coût minimum.

Référence bibliographique

- [1] site <https://watre.fanack.com>
- [2] site aljazeera.net
- [3] site m.wikipedia.org الموارد المائية في الجزائر
- [4] مجلة الاجتهاد الدراسات القانونية و الاقتصادية
- [5] mawdoo3.com اكبر سد في الجزائر
- [4] site engrhamzah.blogspot.com
- [6] A.LABOURET. M.VILLOZ. Anne Labouret. Michel Villoz<<ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE>> © Dunod, Paris, 2003, 2005,2006 ISBN 2 10 049945 9
- [7] cours énergie solaire photovoltaïque 2014/2015 Dr. BELAIDE LALOUNI SOFIA
- [8] site <http://nasrsolar.com>
- [9] fanack.com الجزائر يتطلع الى الطاقة الشمسية
- [10] kawngroup.com الكهرباء الجديدة في مصر
- [11] SolarPumping System. حسابات منظومة الري بالطاقة الشمسية
- [12] PVSI_Dimensionement_pompage_02_04_2016.pdf.

ملخص

يعد الماء والطاقة من أعظم النعم التي منّ بها الله على عباده إن لم يكن أعظمها على الإطلاق. فالماء والطاقة شريان الحياة ومع مرور الزمن زادا الطلب على الطاقة و الماء في ظل التقدم التكنولوجي مما تطلب البحث مصادر بديلة لإنتاج الطاقة وذلك عن طريق إستغلال الطاقات المتجددة مثل الطاقة الشمسية التي تعتبر من أهم المصادر إستعمالا بفضل مميزاتها العديدة .

هذا البحث هو دراسة تقنية وإقتصادية لإمكانية إنجاز محطات لضخ المياه بواسطة الطاقة الشمسية الكهروضوئية لتزويد المناطق المعزولة بالطاقة والماء .

إن الإهتمام بإستعمال هذه الأنظمة الطاقوية النظيفة يساهم في تنمية إقتصاد البلاد.

Résumé

L'eau et l'énergie sont parmi les plus grandes bénédictions que Dieu a accordées à ses serviteurs, sinon la plus grande d'entre elles. L'eau et l'énergie sont le moteur de la vie, et la avec le temps, la demande d'énergie et d'eau a augmenté à la lumière des progrès technologiques, ce qui nécessite la recherche de sources alternatives de production d'énergie en exploitant les énergies renouvelables comme l'énergie solaire, qui est d'une des sources d'utilisation les plus importantes qui présente de nombreux avantages.

Cette recherche est une étude technique et économique de la possibilité de construire des stations de pompage d'eau au moyen de l'énergie solaire photovoltaïque pour alimenter des zones isolées en énergie et en eau.

L'intérêt d'utiliser ces systèmes d'énergie propre contribue au développement de l'économie du pays.