

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : Eélectrotechnique Industrielle

Présenté par :

HAFNAOUI aya

BENCHELLOUIA Bilal

Thème:

Étude et dimensionnement des systèmes de pompage

Photovoltaïque dans la région de Ouargla

Soumis au jury composé de :

M ^{me} Belkebir Amel	MAA	Président	UKM Ouargla
M ^f Louazene Lakhder	MCA	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
M ^f Kouras Sid Ali	MAA	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2021/2022

Remerciement

Nous tenons à remercier Allah tout-puissant de m'avoir donné la force, les connaissances et la capacité d'entreprendre ce projet et persévérer et de le mener à bien de manière satisfaisante.

Nous tenons à exprimer ma profonde gratitude au Professeur Mr L.MOHAMED LAKHDER, notre directeur de recherche, pour nous donner l'opportunité de travailler sur ce projet. Pour ses conseils patients, ses encouragements enthousiastes et ses critiques utiles de travail de recherche. Sa volonté de donner de son temps si généreusement a été très apprécié.

Et aussi nous voudrions exprimer nos gratitudeux aux membres du comité pour avoir accepté d'évaluer ce projet.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*A mes très chers parents, source de ma vie,
D'amour et de passion.*

A mes jolies sœurs, source de joie et de bonheur.

*A mes tendres frères, source d'espoir et de
motivation.*

A vous cher lecteur.

HAFNAOUI AYA

Dédicace

*Avec l'expression de ma reconnaissance ,je dédie ce modeste travail à
ce ceux qui quels que soient les termes embrassées ,je n'arriverais
jamais a leur exprimer mon amour sincère .*

*A l'homme mon précieux offre de dieu , que doit ma vie, ma réussite et
tout mon respect mon chère père **Saïd***

*A la femme qui a souffert sans laisser souffrir , qui n'a jamais dit non
à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre
heureuse mon adorable mère **zineb***

*A mes chères sœur **ouafa , mériem ,nourelhouda***

*A mes chères frère **younes et hamza***

*Qui n'a cessé de me conseiller , de m'encourager et de me soutenir
tout au long de mes études . Que dieu les protège et leur accorde
succès et bonheur*

*A les petits enfants de la famille **maria , m^{ed} chaker , sirine , amira ,
ibtihal et baha eddine***

A mes chère frère de l'université toutes personne qui me connaissent .

BENCHELLOUIA BILAL

Sommaire

	Page
Chapitre I	
Introduction générale	01
I.1.Introduction	03
I.2.La ressource solaire	03
I.3.Rayonnement solaire	04
I.4.Type de rayonnement solaire	04
I.4.1. Le rayonnement direct I_b	04
I.4.2.Le rayonnement diffus I_d	04
I.4.3. Le rayonnement dû à l'albédo ou réfléchi I_r	04
I.4.4. Le rayonnement global I_g	04
I.5.Durée d'insolation.....	05
I.6.Optimisation de captation de rayonnement.....	05
I.7. Position du soleil par rapport à la terre.....	05
I.8. Coordonnées terrestres.....	06
I.8.1. Longitude	06
I.8.2.Altitude.....	06
I.8.3.Latitud	06
I.9. Orientation et inclinaison d'une surface.....	06
I.10.Le photovoltaïque (PV)	07
I.10.1. La cellule PV	07
I.10.2. Description de la cellule	07
I.10.3. La puissance caractéristique d'une cellule photovoltaïque.....	09
I.10.4. Principe de fonctionnement	09
I.10.5.Technologies des cellules PV.....	10
I.11.Système photovoltaïque.....	13
I.11.1. Les différents types des systèmes photovoltaïques	13
I.11.1.1. Système photovoltaïque autonome	13
I.11.1.2. Systèmes photovoltaïque raccordés au réseau.....	13
I.12.Générateur photovoltaïque.....	13
I.12.1.Association en série.....	13
I.12.2.Association en parallèle	14
I.12.3. Association mixte (série/ parallèle)	15
I.13. Classification des systèmes PV.....	16
I.13.1. Systèmes PV autonomes.....	16
I.13.1.1.Systèmes autonomes sans stockage d'énergie(alimentation directe).....	17
I.13.1.2.Systèmes autonomes avec stockage d'énergie.....	17
I.13.2. Systèmes autonomes hybrides.....	17
I.13.3.Systèmes PV raccordés au réseau	18
I.13.4.Secteurs d'application.....	19
I.14. Avantages et Inconvénients de l'énergie PV.....	19
I.15.Conclusion.....	21
Chapitre II	
II.1.Introduction	22
II.2.Définition de forage	22
II.2.1.Le forage des puits.....	22
II.2.2.Les puits	23
II.2.3.Types de Puits	23

Sommaire

II.3.Définition général du système de pompage	23
II.4.Méthodes du pompage.....	23
II.4.1.Pompage « au fil du soleil »	23
II.4.2.Pompage avec stockage d'énergie.....	24
II.4.3.Les avantages et inconvénients des pompes au fil du soleil et avec batteries.....	25
II.5.Notions hydrauliques	26
II.6.Les composants d'un système de pompage PV	27
II.6.1.Le générateur photovoltaïque.....	27
II.6.2.Le groupe électropompe.....	27
II.6.3.L'électronique de commande.....	27
II.6.3.1.Le convertisseur DC/DC (hacheur).....	27
II.6.3.2.Le convertisseur DC/AC (onduleur).....	28
II.6.4.Les éléments de stockage	28
II.6.4.1.Stockage de l'eau.....	28
II.6.4.2.Stockage d'énergie électrique	28
II.7.Etapes de dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque.....	28
II.7.1.Estimation des besoins en eau.....	28
II.7.2.Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire	29
II.7.3.Calcul de l'énergie électrique quotidienne requis	29
II.7.4.Détermination de l'énergie solaire disponible.....	29
II.7.5.Taille du générateur photovoltaïque.....	30
II.7.5.1. Méthode analytique.....	30
II.7.5.2. Méthode graphique	31
II.8.Choix des composants	32
II.8.1.Les moteurs électriques	32
II.8.1.1.Moteur à courant continu avec balais.....	32
II.8.1.2.Moteur à courant continu sans balais (Brushless)	33
II.8.1.3.Moteur à courant alternatif.....	33
II.8.2. Les pompes	34
II.8.2.1.Les turbopompes.....	34
II.8.2.1.1.Les pompes centrifuges.....	34
II.8.2.1.2. Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge.....	34
II.8.2.1.3. Utilisation.....	35
II.8.2.1.4.Les pompes axiales.....	35
II.8.2.1.5.Les pompes hélico-centrifuge.....	36
II.8.2.2.Principe de fonctionnement d'une turbopompe.....	36
II.8.2.3. Avantages et inconvénients des turbopompes.....	36
II.8.3.1.Les pompes volumétriques	36
II.8.3.2. principe de fonctionnement de pompe volumétrique.....	37
II.8.3.2.1. Les pompes volumétriques alternatives.....	37
II.8.3.2.2. Les Pompes volumétriques rotatives.....	37
II.8.3.3. Avantages et inconvénients des Pompes volumétriques.....	38
II.9.Conclusion	38
Chapitre III	
III.1. Introduction	39
III.2. Situation Ouargla.....	39
III.3. Spécification de la région de Ouargla	40
III.4. Moyennes météorologiques tout au long de l'année pour Ouargla.....	40
III.4.1. Température moyenne à Ouargla	40

Sommaire

III.4.2. Pluie	40
III.4.3. Vent	40
III.4.4. Rayonnement solaire.....	41
III.4.5. L'humidité	41
III.5. Méthodes de dimensionnement d'un système PV	41
III.5.1. Méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation.....	41
III.5.2. Méthode du mois le plus défavorable.....	41
III.6. Dimensionnement complet de l'installation	41
III.6.1. Estimation des besoins en eau.....	42
III.6.2. Hauteur manométrique total.....	42
III.6.3. Hypothèses.....	42
III.6.4. Choix de la pompe.....	42
III.6.4. Calcul de l'énergie hydraulique et l'énergie électrique.....	43
III.6.4.1. L'énergie hydraulique.....	43
III.6.4.2. L'énergie électrique.....	44
III.6.5. Le choix de l'onduleur(L'électronique de commande et de contrôle)	44
III.6.6. Choix type de module photovoltaïque	45
III.6.7. Taille du générateur PV	45
III.6.8. Calcul Nombre total de module(Nm)	46
III.6.8.1. Nombre de modules en série.....	47
III.6.8.2. Nombre de module en parallèle.....	47
III.6.9. Correction de la puissance crête.....	47
III.6.9.1. Le nombre de modules	47
III.6.9.2. La puissance	47
III.7. dimensionnement de notre pompe	48
III.8. Logiciel Simulation d'un système de pompage solaire.....	48
III.8.1. Présentation de logiciel de simulation PVSYST.....	48
III.8.2. Conception et dimensionnement d'un système PV.....	49
III.8.3. Principaux résultats	50
III.8.3.1. Données météorologiques du site.....	50
III.8.3.2. Trajectoire du soleil	50
III.8.3.3. Orientation des modules PV.....	51
III.8.4. Résultats de simulation	52
III.8.4.1. Besoins électriques	52
III.8.4.2. Estimation d'eau	53
III.8.4.3. Choisir une pompe	54
III.8.4.4. Choisir le modèle PV	55
III.8.4.5. Rapport finale	56
III.9. Conclusion	61
Conclusion générale	62

Liste des figures

N° figure	chapitre I Le titre de figure	pages
Figure (I.1)	Analyse spectrale du rayonnement solaire.....	03
Figure (I.2)	Types de rayonnement solaire reçus au sol.....	04
Figure (I.3)	variation solaire par rapport à la terre.....	05
Figure (I.4)	Courbe de déclinaison du soleil.....	06
Figure (I.5)	Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	08
Figure (I.6)	Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	09
Figure (I.7)	Cellule en silicium monocristallin.....	12
Figure (I.8)	cellule en silicium poly cristallin.....	12
Figure (I.9)	Cellule multifonction.....	12
Figure (I.10)	Cellule silicium amorphe en couche mince.....	12
Figure (I.11)	Cellule sans silicium en couche mince CIS / CIGS.....	12
Figure (I.12)	Association en série.....	13
Figure (I.13)	Cellules identiques en série.....	14
Figure (I.14)	Association en parallèle.....	14
Figure (I.15)	Cellules identiques en parallèle.....	15
Figure (I.16)	Association mixte (série/ parallèle).....	15
Figure (I.17)	Classification des systèmes photovoltaïques.....	16
Figure (I.18)	Système photovoltaïque autonome.....	17
Figure (I.19)	Système PV autonome hybride.....	18
Figure (I.20)	Système photovoltaïque connecté au réseau électrique.....	19
chapitre II		
Figure (II.1)	Pompage photovoltaïque au fil du soleil.....	24
Figure (II.2)	Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie.....	24
Figure (II.3)	Caractéristiques du débit pour le pompage au fil du soleil et avec batterie	25
Figure (II.4)	Hauteur manométrique total.....	26
Figure (II.5)	Courbe typique des performances d'une pompe en conditions d'utilisation.....	32
Figure (II.6)	Moteur à courant continu	33
Figure (II.7)	Moteur à courant continu sans balais (Brushless).....	33
Figure (II.8)	Moteur à courant alternatif.....	34
Figure (II.9)	pompe centrifuge.....	34
Figure (II.10)	Courbes Caractéristiques d'une pompe centrifuge.....	35
Figure (II.11)	pompe axiale.....	35
Figure (II.12)	pompes hélico-centrifuge.....	36
Figure (II.13)	Pompe volumétrique (rotative).	37
Figure(II.14)	Pompe volumétrique à Membrane(Alternative).....	37
Figure (II.15)	Courbes Caractéristiques d'une pompe volumétrique.....	37
chapitre III		
Figure (III.1)	La situation géographique de la ville de Ouargla.....	39
Figure (III.2)	Caractéristiquesélectriquesdelapompe95PR10N/14.....	48
Figure (III.3)	Interface de logiciel PVSYST.....	49

Liste des figures

Figure (III.4)	Etapes de simulation avec PVSYST.....	49
Figure (III.5)	Caractéristiques climatiques du site de Ouargla.....	50
Figure (III.6)	Trajectoire du soleil à Ouargla.....	51
Figure (III.7)	Orientation et inclinaison du système PV.....	51
Figure (III.8)	Besoins en eau et hydraulique.....	52
Figure (III.9)	L'eau a besoin quotidiennement et annuellement.....	53
Figure (III.10)	Choisir un modèle de pompe.....	54
Figure (III.11)	Choisissez un module PV.....	55
Figure (III.12)	Résultat de rapport 1/5.....	56
Figure (III.13)	Résultat de rapport 2/5.....	57
Figure (III.14)	Résultat de rapport 3/5.....	58
Figure (III.15)	Résultat de rapport 4/5.....	59
Figure (III.16)	Résultat de rapport 5/5.....	60

Liste des tableaux

Tableau	Chapitre I Titre	Pages
Tableau I.1	Les différents types de cellules PV.....	10
Tableau I.2	Les avantages et les inconvénients de l'énergie PV.....	20
Chapitre I		
Tableau (II.1)	différents types de puits.....	23
Tableau (II.2)	Les avantages et inconvénients des deux techniques de pompage photovoltaïque.....	25
Tableau (II.3)	Avantages et inconvénients des turbopompes.....	36
Tableau (II.4)	Avantages et inconvénients des Pompes volumétriques.....	38
Chapitre III		
Tableau(III.1)	Spécifications de la région de Ouargla.....	40
Tableau(III.2)	Température moyenne maximale et minimale à Ouargla.....	40
Tableau(III.3)	Pluviométrie mensuelle moyenne à Ouargla.....	40
Tableau(III.4)	Vitesse moyenne du vent à Ouargla.....	40
Tableau(III.5)	Les valeurs de l'irradiation journalière mensuelle pour une inclinaison optimale.....	41
Tableau(III.6)	niveau de confort selon l'humidité.....	41
Tableau(III.7)	Les besoins journaliers moyens mensuels en eau des palmiers /Hectare.....	42
Tableau(III.8)	Caractéristiques électriques d'une gamme de pompes PANELLI....	43
Tableau(III.9)	les caractéristiques électriques de l'onduleur.....	44
Tableau(III.10)	Caractéristiques électriques du module PV CEM200M-72.....	45
Tableau(III.11)	Caractéristiques mécanique du module PV CEM200M-72.....	45
Tableau(III.12)	Principaux paramètres de système	46

Liste des abréviations

Chapitre I :

I_b : rayonnement direct.

I_d : rayonnement diffus.

I_r : rayonnement réfléchi.

I_g : rayonnement globale

λ : La longitude.

φ : L'angle de latitude.

α : Azimute.

β : L'inclinaison.

I : Le courant fourni par la cellule.

I_{scr} : le courant de court-circuit de référence.

I_p : Le courant dérivé par la résistance parallèle.

I_d : Le courant traversant la diode.

I_0 : Le courant de saturation inverse d'une diode.

V_t : la tension thermique.

e : charge d'électron ($1.602 \times 10^{-19} C$).

K : constante de Boltzmann ($1.381 \times 10^{-23} J/K$).

n : Facteur de non idéalité de la jonction comprise entre 1 et 5 dans la pratique.

T : La température effective de la cellule en kelvin.

P : la puissance de la cellule.

V : la tension continue de la cellule.

AC : courant alternatif.

DC : courant continu.

Chapitre II :

Q : Le débit.

HMT : hauteur manométrique totale.

H_g : Hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée.

P_c : Pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites.

N_s : Le niveau statique d'un puits.

N_d : Le niveau dynamique d'un puits.

E_h : énergie hydraulique (Wh/jour).

C_h : Constante hydraulique [kg.s.h/m²].

g : La gravité terrestre [9.81m/s²].

ρ : Densité de l'eau [1000kg/m³].

E_e : Energie électrique [kwh/j].

η_{MP} : Le rendement du groupe électro-pompe.

η_{Ond} : Le rendement d'onduleur.

P_{cr} : La puissance de sortie du générateur((puissance crête).

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

A : La surface active du générateur(m²).

G : L'éclairement dans les conditions CSM.

η_{PV} : Le rendement moyen journalier du générateur dans les conditions d'exploitation.

$G_d(\beta)$: L'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison β [kwh/m²/j].

F_m : Facteur de couplage.

γ : Coefficient de température des cellules.

T : Température moyenne journalière des cellules durant les heures d'ensoleillement.

P_c : la puissance crête.

Liste des abréviations

C : le couple.

N : la vitesse.

Chapitre III :

T_{ref} = La température de référence $25^{\circ}C$.

N_m : Nombre total de module.

P_M : La puissance du module PV.

N_{Ms} : Nombre de modules en série

V_{CH} : La tension nominale de la charge (l'onduleur).

V_M : La tension nominale du module.

N_{Mp} : Nombre de module en parallèle.

Introduction générale

L'eau et l'énergie sont parmi les plus importants éléments essentiels et indispensables à la vie. la demande croissante de l'énergie et l'épuisement futur inévitable des sources classiques exigent des recherches sur des sources alternatives, comme les énergies renouvelables.

L'électricité est un besoin fondamental pour le développement économique dans toutes les régions du monde, l'augmentation de sa production est synonyme d'amélioration de la qualité de vie. les combustibles fossiles fournissent actuellement l'essentiel de cette production de types d'énergie, mais ils ont connu un épuisement au fil du temps qui conduira à leur disparition définitive, il est donc nécessaire de rechercher de nouvelles ressources alternatives pour cette énergie.

Les énergies renouvelables représentent une alternative environnementale aux énergies fossiles, et elles sont produites à partir de plusieurs sources, telles que : la lumière du soleil ou le vent, et d'autres, qui sont théoriquement illimitées à l'échelle humaine. L'exploitation de ce type d'énergie permettra de fournir de l'électricité partout sans établir de lignes électriques. , en particulier dans les zones éloignées et isolées, en particulier les zones désertiques et montagneuses, pour une utilisation dans plusieurs activités, telles que : l'agriculture et l'élevage. Comme nous le savons, la plus grande partie de l'énergie consommée actuellement provient de l'utilisation des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore l'énergie nucléaire. Les études et les prévisions récentes nous alertent que l'utilisation massive de ces ressources conduira certainement à l'épuisement total de ces réserves. En plus, tout le monde est mondialement convaincu par le danger de ce processus sur l'environnement.

Parmi les différentes sources identifiables d'énergies renouvelables, deux retiennent l'attention dans cette étude pour leur important potentiel, l'énergie photovoltaïque, dans ce contexte l'énergie photovoltaïque est l'un des importantes sources d'énergie renouvelable qui présente un dénouement à nos problèmes de production d'énergie. De plus, cette énergie semble la plus prometteuse, non polluante et inépuisable. Elle provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque ; qui consiste à produire une force électromotrice

lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule.

Dans ce travail l'étude présentée concerne le dimensionnement d'un système utilisant l'énergie solaire photovoltaïque pour le pompage de l'eau dans la région de Ouargla, pour se faire on a organisé le mémoire en trois chapitres :

Dans le premier chapitre on a fait une description détaillée des systèmes photovoltaïques. Il s'agit d'abord de relater l'effet photovoltaïque et plus précisément le phénomène physique exploité pour générer une énergie électrique tout en passant par la fabrication des cellules et module photovoltaïques, et les composants principaux qui le constituent.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons un dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque

Enfin, dans le dernier chapitre, nous effectuons le dimensionnement du système de pompage photovoltaïque dans la zone de Ouargla et nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I



**Généralité et étude d'un système
photovoltaïque**

I.1. Introduction :

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque. Cette énergie solaire est disponible en abondance sur toute la surface terrestre et malgré une atténuation importante lorsqu'elle traverse l'atmosphère, la quantité qui reste est encore assez importante quand elle arrive au sol [1].

Dans ce chapitre nous présentons un aperçu générale sur les énergies renouvelables et leurs Sources et le système photovoltaïque .

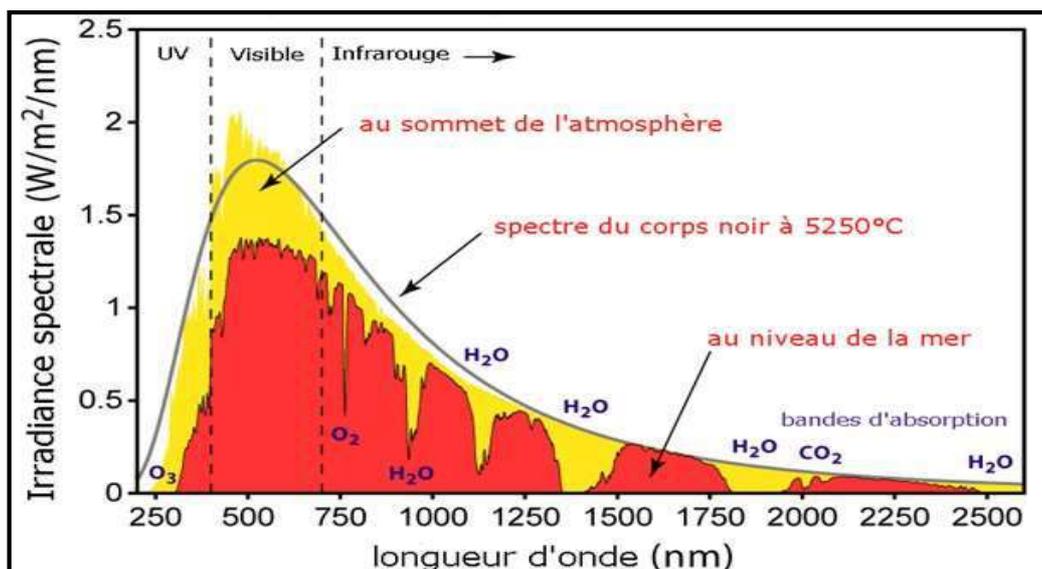
I.2. La ressource solaire :

Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 microns (μm). La Figure I.1 représente la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi:

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

L'atmosphère terrestre reçoit ce rayonnement à une puissance moyenne de 1,37 kilowatt au mètre carré (kW/m^2), à plus ou moins 3 %, selon que la terre s'éloigne ou se rapproche du Soleil dans sa rotation autour de celui-ci. L'atmosphère en absorbe toutefois une partie, de sorte que la quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement $1,2\text{kW/m}^2$ (1200W/m^2). La rotation et l'inclinaison de la Terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes

météorologiques causent des variations horaires et quotidiennes qui tantôt augmentent, tantôt diminuent le rayonnement solaire et le rendent diffus [1].



Figure(I.1) : Analyse spectrale du rayonnement solaire

I.3. Rayonnement Solaire :

Le soleil est l'origine de toute forme d'énergie sur terre. La production d'électricité Photovoltaïque dépend de l'ensoleillement du lieu et de la température, autrement dit de sa localisation géographique, de la saison et de l'heure de la journée. [2]

Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique constitué de plusieurs longueurs d'onde. Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire, la terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace

I.4. Type de rayonnement solaire :

Pour le rayonnement solaire reçu au niveau de la terre, on distingue les types suivants :

I.4.1. Le rayonnement direct I_b : Le rayonnement direct est reçu directement du soleil sans diffusion par l'atmosphère. C'est lui qui nous aveugle lorsque on cherche à regarder le soleil "droit dans les yeux" par temps découvert.

I.4.2. Le rayonnement diffus I_d : Est constitué de la lumière diffusée par les molécules de l'atmosphère. La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions [2]. C'est lui qui nous donne la « lumière du jour » qui nous permet de voir clair même quand le temps est couvert.

I.4.3. Le rayonnement réfléchi I_r : Il dépend de l'environnement du site [9], il résulte de la réflexion du rayonnement solaire direct par le sol, qui est d'autant plus important que la surface est claire et réfléchissante (neige, étendue d'eau, ...). Il peut nous faire attraper des coups de soleil à la montagne ou à la mer sans qu'on les sente venir.

I.4.4. Le rayonnement global I_g : Le rayonnement global est la somme de ces trois types de rayonnement diffus, le rayonnement direct et l'albédo [3], comme présenté par la figure (I.2).

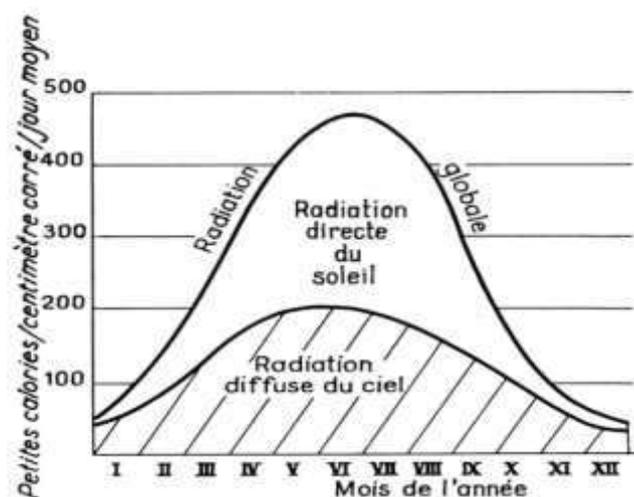


Figure (I.2) : Types de rayonnement solaire reçus au sol

I.5. Durée d'insolation :

La durée d'insolation correspond au nombre heures dans la journée, entre le lever et le coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Le relevé est fait au moyen de héliographe de Campbell- Stokes dans lequel une sphère de cristal concentre les rayons du soleil sur un papier qu'il brûle en se déplaçant. Ainsi, seuls les moments où le soleil est bien visible sont enregistrés ; on parle alors de durée d'insolation réelle ou effective et dépend du fait que le soleil levé soit visible du point d'observation ou caché par les nuages. Au défaut de héliographe, il est possible à partir du calcul du mouvement astronomique relatif du soleil et de la terre d'évaluer la durée théorique du jour ; c'est-à-dire, celle qu'il y aurait si les nuages ne cachaient pas le soleil. Cette durée est calculée en fonction de la latitude du site et de la déclinaison apparente qui elle-même dépend de la période de l'année considérée [4]

I.6. Optimisation de captation de rayonnement :

Pour augmenter le rendement d'un système photovoltaïque, en augmentant l'énergie solaire reçue, nous devons d'abord améliorer le rendement de captation par le bon choix d'inclinaison de la surface des modules photovoltaïques. Les panneaux solaires doivent être placés perpendiculairement au soleil vers le sud lorsqu'on est dans hémisphère nord, et vers le nord lorsqu'on est dans hémisphère sud. Les capteurs solaires doivent être installés au sol ou sur la toiture orientés vers le sud, à l'écart des zones ombragées. Ils doivent être inclinés avec un angle (β) afin d'obtenir un résultat optimal et par conséquent « une énergie maximale » [5].

I.7. Position du soleil par rapport à la terre :

La Terre tourne autour du Soleil en une année et son plan de révolution définit le plan de l'écliptique. L'élément déterminant est que l'axe de rotation de la Terre sur elle-même, qui reste toujours parallèle à lui-même, n'est pas perpendiculaire au plan de l'écliptique mais est incliné par rapport à cette perpendiculaire d'un angle de $\alpha = 23^\circ$. Au cours de sa révolution autour du Soleil, la Terre ne présente donc pas toujours la même configuration au soleil : on dit que l'exposition solaire de la terre change et c'est ce qui explique les saisons [6].

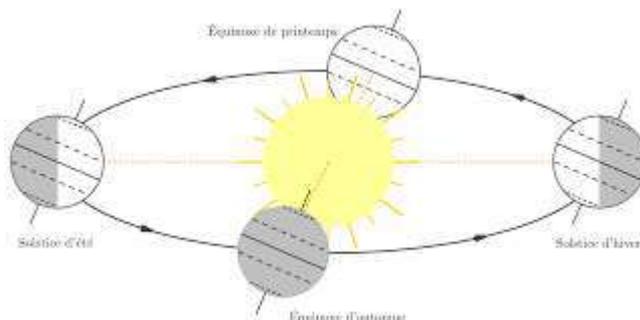


Figure (I.3) : variation solaire par rapport à la terre

I.8. Coordonnées terrestres [7]:

I.8.1. Longitude :

La longitude d'un lieu correspondant à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On a choisi pour méridien origine le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention, on affecte du signe (+) les méridien situe à l'est, et du signe (-) les méridien situé à l'ouest .La longitude sera désigné ici par la lettre λ [7].

I.8.2. Altitude : L'altitude d'un point correspond à la distance verticale en mètre entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer).

I.8.3. Latitude : L'angle (φ) de latitude est l'angle entre une ligne tracée d'un point sur la surface de la terre avec le centre de cette dernière, et le cercle équatorial de la terre. L'intersection du cercle équatorial avec la surface de la terre forme l'équateur et est indiquée en tant que latitude de 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° . Par convention, le signe (-) est affecté à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère sud. La latitude d'un lieu peut être comprise entre -90° et $+90^\circ$.

I.9. Orientation et inclinaison d'une surface :

Azimute α [5] : C'est l'angle que fait la projection du soleil sur le plan horizontal avec la direction du Sud. $\alpha = -90^\circ$ plan Est orienté vers le Est. $\alpha = 0$ plan Sud. $\alpha = 90^\circ$ plan Ouest orienté vers l'ouest. $\alpha = 180^\circ$ plan Nord orienté vers le nord.

L'inclinaison β : C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatoriale terrestre. Elle varie tout au long de l'année, entre deux valeurs extrêmes ($-23^\circ 27'$ et $+23^\circ 27'$ environ) et elle s'annule aux équinoxes de printemps et d'automne, sa valeur peut être calculé par la formule suivant [6]:

$$\delta = 23.45 \sin\left(2\pi \frac{284+n}{365}\right) \quad (I.1)$$

n : est le numéro d'ordre du jour de l'année ($n=1$ pour le 1er Janvier, $n=32$ pour le 1er Février,...etc.) La déclinaison varie entre -23.45° (le 21 décembre) et $+23.45^\circ$ (le 21 juin).

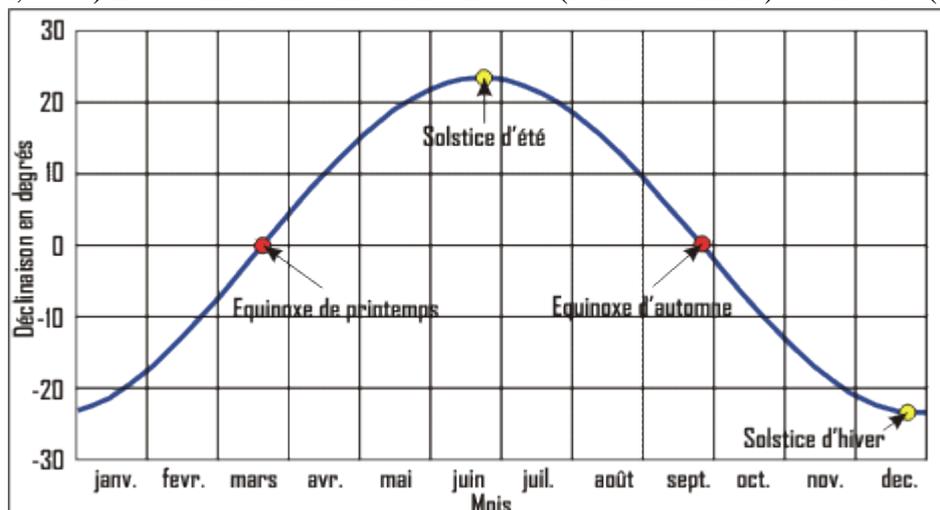


Figure (I.4) : Courbe de déclinaison du soleil

I.10. Le photovoltaïque (PV) :

I.10.1. La cellule PV :

Historique [8]:

Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque :

En 1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.

En 1905, Einstein découvre que l'énergie de ces quanta de lumière est proportionnelle à la fréquence de l'onde électromagnétique. L'utilisation des cellules solaires débute dans les années quarante. Le domaine spatial a besoin d'une énergie sans combustible embarqué. La recherche s'intensifie sur le photovoltaïque.

En 1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

En 1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

En 1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

En 1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.

En 1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 km en Australie.

En 1995 : Des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau ont été lancés, au Japon et en Allemagne, et se généralisent depuis 2001 .

I.10.2 Description de la cellule [8] :

La cellule photovoltaïque ou photopile, est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Elle est constituée d'un matériau semi-conducteur qui

permet de produire du courant électrique lorsqu'il est exposé à la lumière. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants :

- Absorption des photons par le matériau constitué le dispositif.
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui permet de créer une paire "électron/trou" dans le matériau semi-conducteur.
- Collecte des particules générées dans le dispositif.

Les cellules photovoltaïques sont des composants électroniques de type semi conducteur à base de silicium. Ce semi-conducteur génère une tension faible de l'ordre de 0.5 à 0.6V Lorsqu'il est soumis à la lumière du soleil (voir la figure ci-contre)

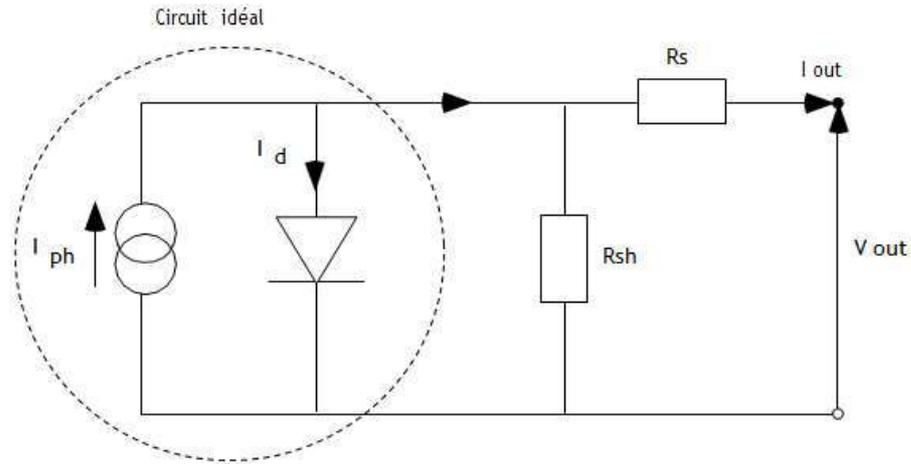


Figure (I.5) : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.

Une cellule PV peut se modéliser à partir de l'équation définissant le comportement statique de la jonction PN d'une diode classique. Ainsi, la figure (I.5) illustre le schéma électrique équivalent d'une cellule PV réelle. Dans cette équation, on prend en compte le courant de court-circuit et les différentes résistances modélisant les pertes dues à la connectique. En statique, le comportement d'une cellule PV constituée d'une jonction PN à base de silicium peut être décrit par l'équation suivante [8]:

$$\mathbf{I = I_{ph} - I_d - I_p} \quad (I.2)$$

Avec

I : Le courant fourni par la cellule

$I_{sc} = I_{scr} \left(\frac{G}{1000} \right)$: Où I_{scr} le courant de court-circuit de référence.

$I_p = \frac{V+I.R_s}{R_p}$: Le courant dérivé par la résistance parallèle.

$I_d = I_0 \left[\exp \left(\frac{V+I.R_s}{nV_T} \right) - 1 \right]$: Le courant traversant la diode.

I_0 : Le courant de saturation inverse d'une diode.

$V_T = \frac{KT}{e}$: La tension thermique.

Où :

e : charge d'électron ($1.602 \times 10^{-19}C$),

K : constante de Boltzmann (1.381×10^{-23} J/K)

n: Facteur de non idéalité de la jonction comprise entre 1 et 5 dans la pratique.

T: La température effective de la cellule en kelvin.

En utilisant les équations ci-dessus, on peut en déduire l'expression du courant délivré par la cellule photovoltaïque [9]:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{V+LR_s}{nV_T} \right) - 1 \right] - \frac{V+LR_s}{R_p} \quad (I.3)$$

I.10.3. La puissance caractéristique d'une cellule photovoltaïque :

Dans des conditions ambiantes de fonctionnement fixes (éclairage, température, vitesse de circulation de l'air ambiant, etc.), la puissance électrique P disponible aux bornes d'une cellule PV est égale au produit du courant continu fourni I par la tension continue de la cellule V [9]

$$P = V \cdot I \quad (I.4)$$

I.10.4. Principe de fonctionnement :

La cellule photovoltaïque est réalisée à partir de deux couches de silicium, l'une est dopée en bore (P), chargée positivement, l'autre en phosphore (N), chargée négativement, créant une jonction P-N avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, c-à-dire elles transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction (P-N), de tel sorte qu'elles libèrent des charges électriques de signes opposés en créant une différence de potentiel, qu'on peut la mesurer entre la connexion des bornes positives et négatives de la cellule.

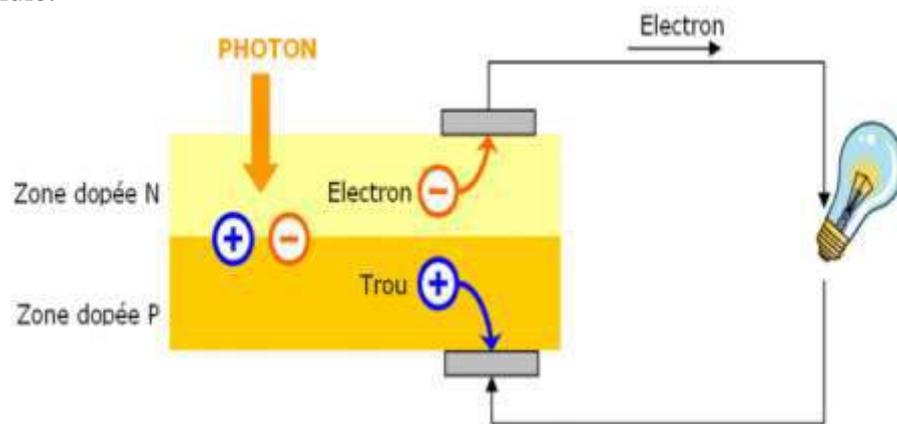


Figure (I.6) : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

I.10.5. Technologies des cellules PV :

Les cellules photovoltaïques sont constituées de semi-conducteurs généralement à base de silicium (Si), car il est très abondant dans la nature. On le trouve dans la nature sous forme de pierre de silice. Les différents types de cellules PV sont [10]:

Cellule	Définition	Avantages	Inconvénients
Cellule en silicium poly cristallin	Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux	<ul style="list-style-type: none"> • bon rendement (environ 100 Wc/m²) • Durée de vie importante (+/- 30 ans) • Moins cher que le monocristallin 	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement faible sous un faible éclairement
Cellule en silicium monocristallin	Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme	<ul style="list-style-type: none"> • Meilleur rendement que le poly cristallin (environ 150 Wc/m²) • Durée de vie importante (+/- 30 ans) 	<ul style="list-style-type: none"> • Plus cher que le poly cristallin • Rendement faible sous un faible éclairement
Cellule silicium amorphe en couche mince	Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé ou marron. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaires"	<ul style="list-style-type: none"> • Fonctionnent avec un éclairement faible • Bon marché par rapport aux autres types de cellules • Moins sensible aux températures élevées • Souple 	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement faible en plein soleil (environ 60 Wc/m²), les cellules en couche mince nécessitent une surface plus importante pour atteindre les mêmes rendements que les cellules épaisses • Durée de vie courte (+/- 10 ans),

			performances qui diminuent sensiblement
Cellule sans silicium en couche mince CIS / CIGS	Les cellules CIS représentent une nouvelle génération de cellules solaires sous forme de films minces, de type CIS (cuivre, indium, sélénium) ou CIGS (cuivre, indium, gallium et sélénium). Les matières premières nécessaires à la fabrication de ces cellules sont plus faciles à se procurer que le silicium utilisé dans les cellules photovoltaïques classiques (bien que ce dernier soit déjà très abondant sur terre). De plus, leur efficacité de conversion énergétique est la plus élevée à ce jour pour des cellules photovoltaïques en couche mince.	<ul style="list-style-type: none"> • Meilleurs rendements par rapport aux autres cellules photovoltaïques en couche mince • La cellule peut être construite sur un substrat flexible 	<ul style="list-style-type: none"> • Les cellules en couche mince ont un rendement plus faible que les cellules "épaisses"
Cellule multifonction	Les cellules multi-jonction sont composées de différentes couches qui permettent de convertir différentes parties du spectre solaire et ainsi d'obtenir les meilleurs rendements de conversion	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement inégalé 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas ou peu d'applications commerciales [5]

Tableau (I.1) : Les différents types des cellules PV

Figure (I.7) : Cellule en silicium monocristallin



Figure (I.8) : cellule en silicium poly cristallin



Figure (I.9) : Cellule multifonction

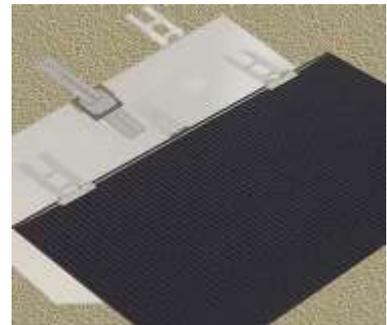
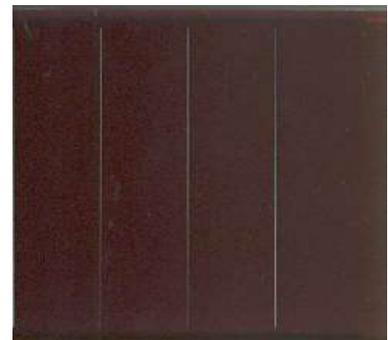


Figure (I.10) : cellule silicium amorphe en couche mince



**Figure (I.11) : Cellule sans silicium en couche mince
CIS / CIGS**



I.11. Système photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par la cellule photovoltaïque ou photopile. Elle est fabriquée avec des matériaux semi-conducteurs qui peuvent convertir la puissance des photons lumineux du soleil directement en puissance électrique.[11]

I.11.1. Les différents types des systèmes photovoltaïques :

I.11.1.1. Système photovoltaïque autonome : Les systèmes autonomes dépendent uniquement de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité. Ils peuvent comporter des accumulateurs qui emmagasinent l'énergie produite par les modules au cours de la journée servant la nuit ou lors des périodes où le rayonnement solaire est insuffisant. Ces systèmes peuvent également répondre aux besoins d'une application (par exemple, le pompage de l'eau) sans recours aux accumulateurs [11].

I.11.1.2. Systèmes photovoltaïque raccordés au réseau : On parle de système photovoltaïque raccordé au réseau quand toute ou une partie de la production électrique est injectée sur le réseau national. C'est le type d'installation le plus répandu chez les particuliers ayant des panneaux solaires car il permet de revendre l'électricité produite. Un certain nombre de pays comme les USA, l'Allemagne, le Japon favorisent l'émergence d'un nouveau marché promoteur de couplage des générateurs solaires au réseau d'électricité [11].

I.12. Générateur photovoltaïque :

C'est un dispositif qui permet de convertir l'énergie solaire en énergie électrique. Il est constitué d'un certain nombre de panneaux selon la puissance crête souhaitée. Ces derniers sont formés à partir des modules reliés entre eux en série ou en parallèle [16]. L'interconnexion des modules entre eux, en série ou en parallèle, pour obtenir une puissance plus grande formant ainsi un générateur photovoltaïque (appelé aussi champ photovoltaïque).[12]

I.12.1. Association en série :

Le montage en série des panneaux photovoltaïque est sans conteste le type de montage le plus utilisé et ce surtout lorsqu'on souhaite produire de l'électricité en 230 v que ce soit pour la vendre sur le réseau, ou l'autoconsommé chez soi. Pour réaliser ce montage rien de plus simple : il suffit de brancher les panneaux les uns à la suite des autres, c'est-à-dire la sortie de l'un sur l'entrée de l'autre (autrement dit : le câble (+) d'un panneau sera brancher sur le câble (-) du panneau suivant, et ainsi de suite). Il seront donc au final branchés à la chaîne[1]

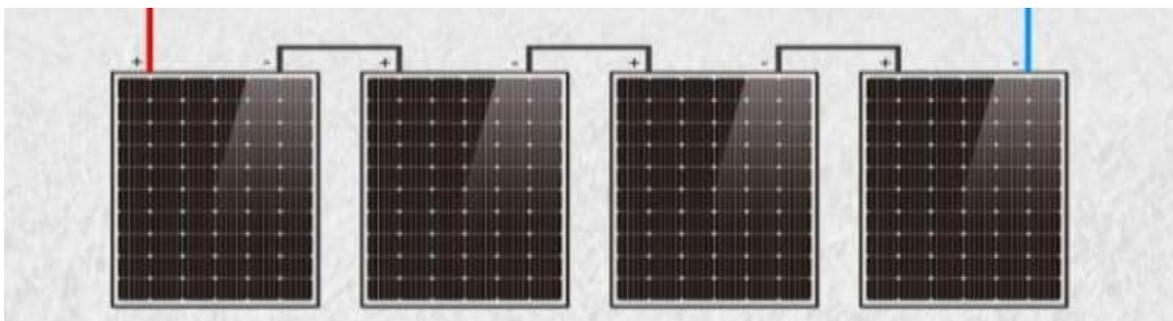


Figure (I.12) : Association en série

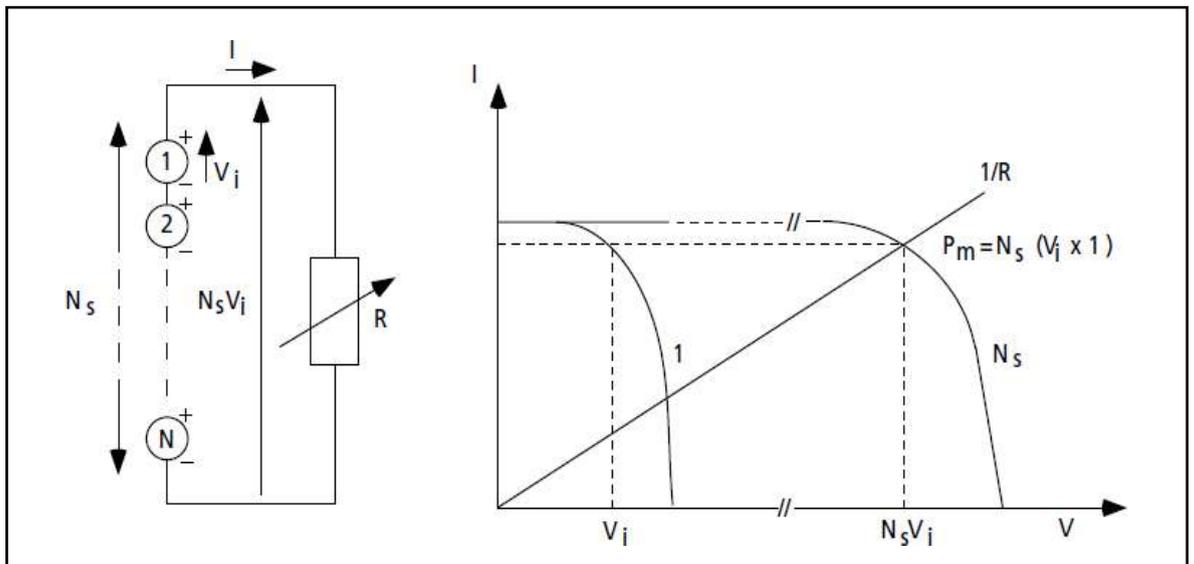


Figure (I.13) : Cellules identiques en série

I.12.2. Association en parallèle :

un autre type de montage très utilisé est le montage parallèle ici on relie toutes les bornes (+) des panneaux solaires entre eux ,et de même pour toutes les bornes (-). ce montage est de rester en basse tension .en effet lorsque tous les modules photovoltaïques sont branchés en parallèle , la tension résultante de cet ensemble des panneau est égal à la tension d'un seul panneau , par contre le courant total est quant à lui égal à la somme des courants fournis par chacun des panneaux [1].

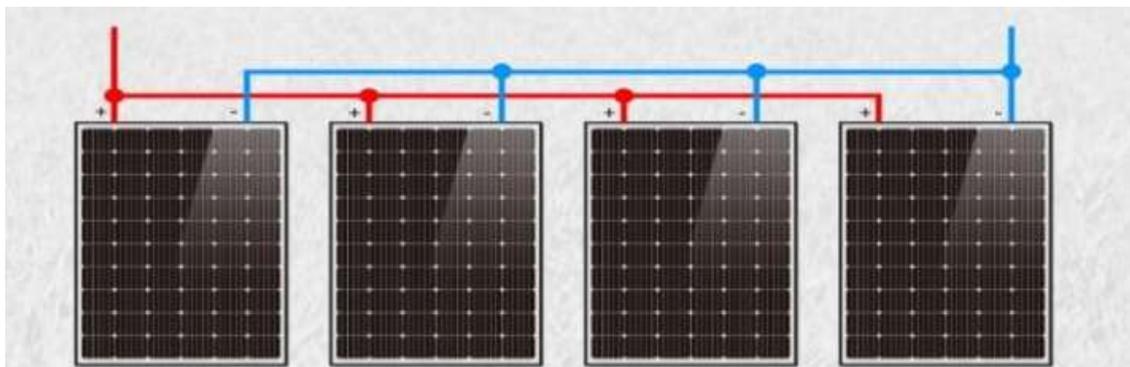


Figure (I.14) : Association en parallèle

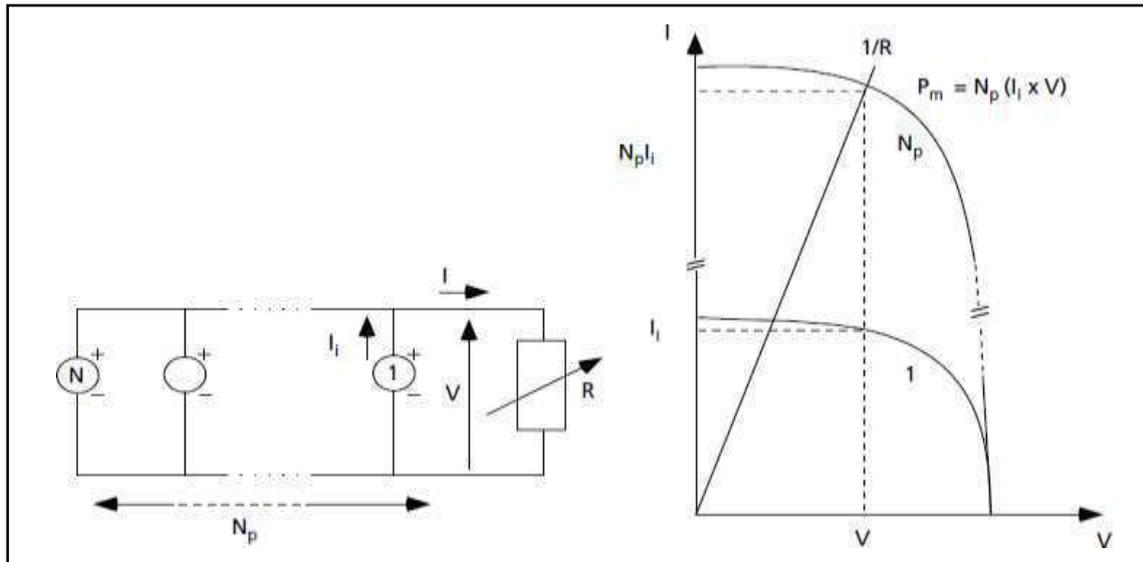


Figure (I.15) : Cellule identiques en parallèles.

I.12.3. Association mixte (série/ parallèle) :

Ici le niveau de difficulté de compréhension va monter d'un cran. Pour autant ,sachez que quelque soit la complexité d'un montage ,vous pourrez quasiment toujours le décomposer en éléments simples. C'est à dire que quelque soit le montage photovoltaïque réalisé, il ne sera jamais qu'une succession de branchements série ou parallèle[1].

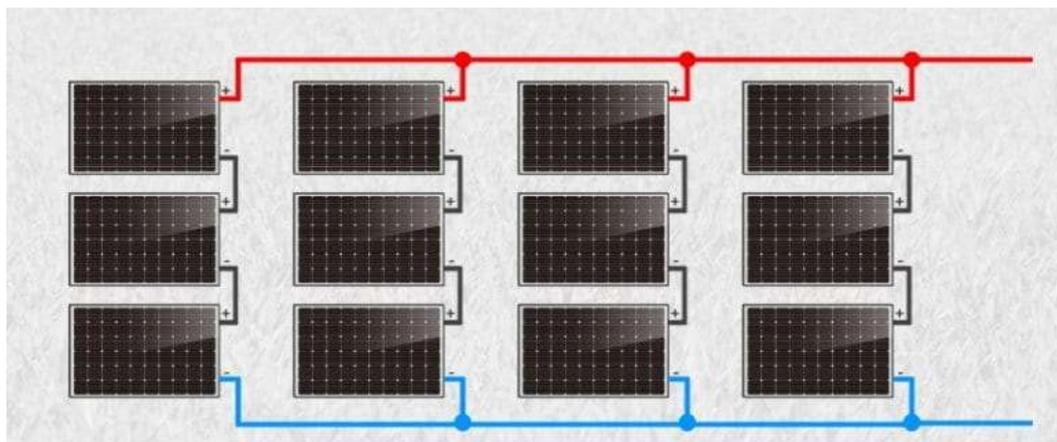


Figure (I.16) : Association mixte (série/ parallèle)

Dans ce montage vous remarquerez que les panneaux sont mis « verticalement » en série par paquets de 3 (leurs tension s'ajoutent),et qu'il y a 4 de ces paquets qui sont reliées en parallèle « horizontalement » . Du coup ,ce montage qui peut – être paraitre plus compliqué au premier abord est au final tout simple .car il est équivalent à la mis en parallèle de lots de 3 panneaux en série .

L'avantage de ce montage mixte (série/ parallèle) est pour obtenir un maximum de courant à une tension voulue .

Chaque montage à évidemment ses avantages et ses inconvénients .ainsi on ne peut pas dire que l'un est meilleur que l'autre ,dans l'absolu .d'ailleurs on s'aperçoit même que l'idéal est parfois un mixt des deux une forme de montage hybride mais encore une fois tout ceci est fonction de ce que vous voulez faire de votre installation photovoltaïque ,dans tous les cas lorsqu'on veut raccorder des panneaux solaires ensemble la première question à se poser est : « de quelle tension vais – je avoir besoin coté panneaux solaires ? mais parallèlement d'autres choses sont également à prendre en compte . [1]

I.13. Classification des systèmes PV :

Les systèmes PV peuvent classifier en deux catégories : autonomes et connectés aux réseaux publics qui peuvent fonctionnellement être subdivisées comme suit (figure. I.17)

[13] :

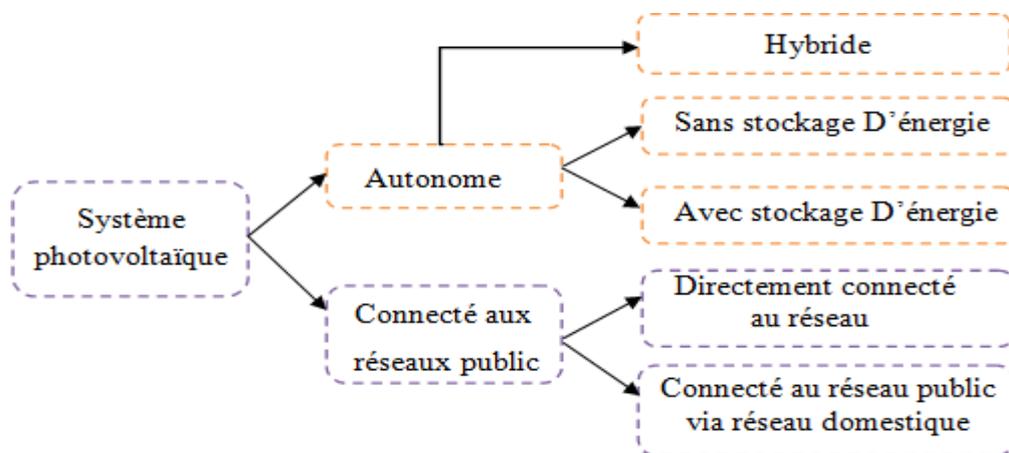


Figure (I. 17) :Classification des systèmes photovoltaïques

I.13.1. Systèmes PV autonomes :

Les systèmes PV autonomes répondent aux besoins en électricité de ceux qui sont trop éloignés et ne sont pas liés à un réseau de distribution d'électricité. On peut les trouver dans les troiscas suivants :

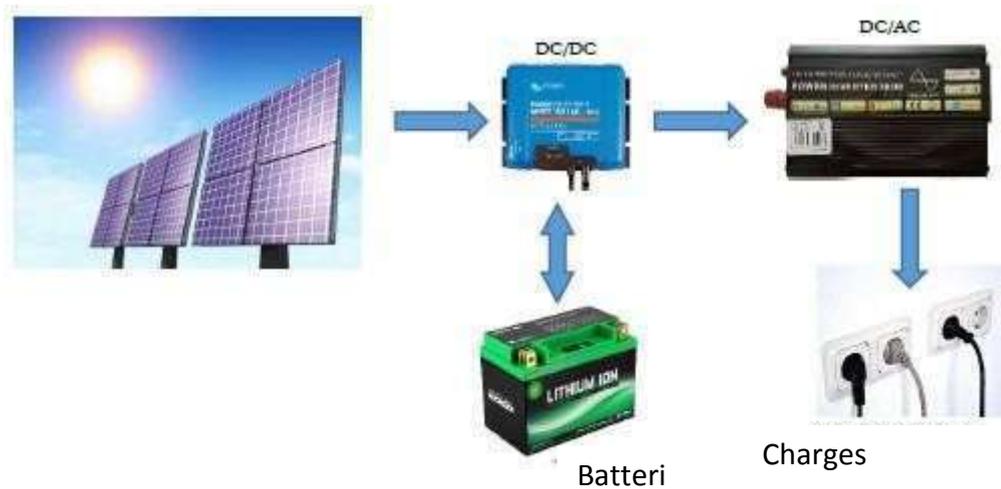


Figure (I. 18) :Système photovoltaïque autonome

I.13.1.1. Systèmes autonomes sans stockage d'énergie (alimentation directe) :

Dans cette connexion, la charge ne peut être opérationnelle qu'en présence de lumière et que l'éclairement sera suffisant pour atteindre la puissance demandée.

I.13.1.2. Systèmes autonomes avec stockage d'énergie :

Le système PV le plus commun. L'électricité peut alors être utilisée en tout temps. Une batterie d'accumulateur électrochimique qui alimente des appareils d'utilisation soit :

- directement en courant continu (DC).
- en courant alternatif (AC) par l'intermédiaire d'un convertisseur continu- alternatif (onduleur), dès que l'on touche à l'habitat qui alimente toujours ces appareils en courant alternatif (AC).

I.13.2. Systèmes autonomes hybrides :

Avoir un système hybride, c'est disposer d'une autre source d'électricité autonome qui vient compléter l'apport photovoltaïque. Cette autre source peut être un groupe électrogène ou une génératrice éolienne [14].

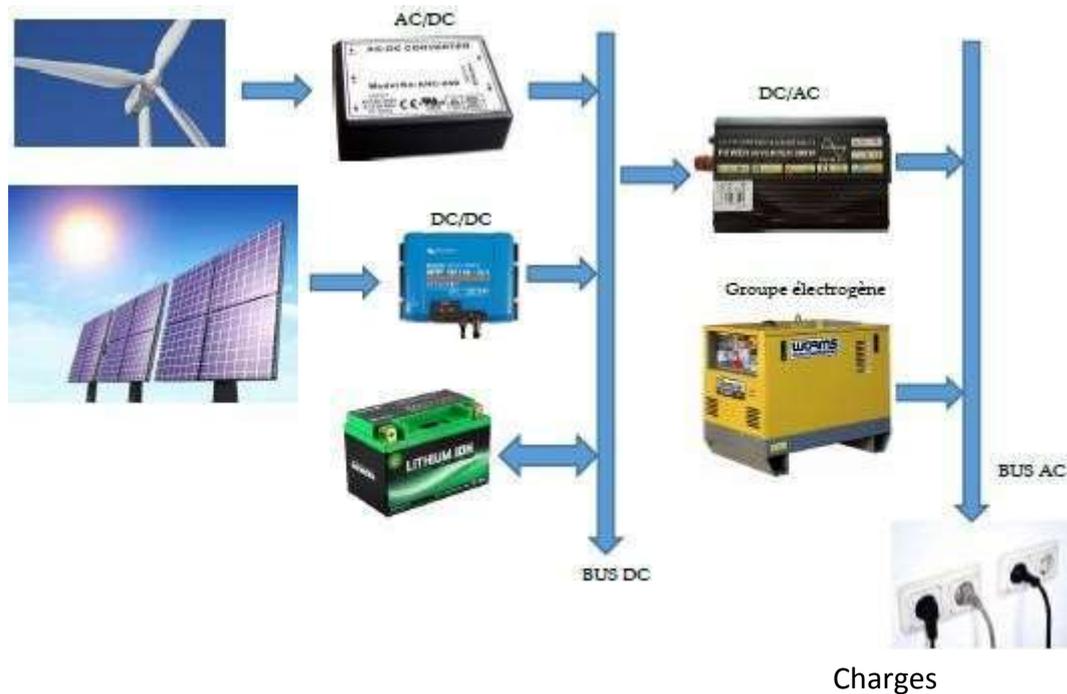


Figure (I.19) : Système PV autonome hybride

I.13.3. Systèmes PV raccordés au réseau :

Ces installations des systèmes photovoltaïques sont raccordées au réseau électrique public dans lequel elles injectent l'électricité qu'elles produisent donc les pertes de transport et de distribution sont négligeables. L'avantage de cette solution est l'absence de batterie.

On ne stocke plus l'énergie, le réseau joue le rôle de « stockage illimité », on l'injecte directement dans le réseau local ou national.

Il y a un compteur qui tourne dans un sens pour la consommation, et un autre dans l'autre sens pour la production. Mais il faut tout de même convertir le courant continu des panneaux en alternatif à travers un convertisseur DC-AC (onduleur), et celui-ci doit être homologué par la compagnie d'électricité qui va recevoir ce courant car il doit respecter des normes sur sa qualité « Sinusoïdale » [14].



Figure (I. 20) : Système photovoltaïque connecté au réseau électrique

I.13.4. Secteurs d'application :

- **Domaine spatial** : c'est le plus ancien secteur puisque les cellules solaires ont été utilisées pour la première fois dans les années soixante pour des engins spatiaux (satellites, navettes,).
- **Télécommunications** : cabines téléphoniques publiques, radars, ...
- **Sites isolés** : équipement espaces de loisirs, pompage de l'eau, irrigation, domiciles, villages.
- **Domaine du transport** : éclairage de panneaux, la signalisation de ronds-points, virages.

I.14. Avantages et Inconvénients de l'énergie PV :

L'énergie photovoltaïque c'est une source mondiale pour la production d'énergie électrique et comme toutes les technologies ont des avantages et des inconvénients d'exploitation et d'utilisation [15].

Le tableau (**Tableau I.2**) enveloppe les principaux avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.

Avantages	Inconvénients
Une énergie gratuite et non polluante.	Une puissance réduite lorsque les conditions climatiques sont défavorables (nuages).
La simplicité, flexibilité et la mobilité de montage	Le rendement réel de conversion d'un module est faible.
Un dimensionnement selon le besoin.	Le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire qui pose lui-même de nombreux problèmes.
Durée de vie d'installation est longue	La fabrication du module PV exige une haute technologie
Un coût de maintenance faible et ne demande pas personnel hautement spécialiser.	L'installation demande un coût élevé et occupe un espace très grand lorsque la dimension est importante

Tableau (I. 2) : les avantages et les inconvénients de l'énergie PV

I.15. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présentés des généralités sur l'énergie solaire et ses caractéristiques , ainsi que les deux types de systèmes photovoltaïques existants, ensuite on a terminé par les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire.

Chapitre II



**Dimensionnement d'un système de
pompage photovoltaïque**

II.1.Introduction :

L'évolution de la vie a été possible grâce à la présence de l'eau, est une ressource économique vitale ,limitée et importante dans la vie de tous les êtres vivants ,y compris l'homme. Chaque jour cette ressource est soumis à une demande croissante qui menace la pérennité des eaux souterraines. il est donc nécessaire de gérer cet élément de base en manière stratégique et durable .

Ce chapitre concerne l'étude des méthodes de pompage photovoltaïques et les technologique des pompes et des moteurs. Au fur et à mesure que nous présenterons les principes de fonctionnement, les avantages et les inconvénients, nous examinerons les performances et les facteurs affectant ses performances. Tout se termine par une approche de la sélection de la pompe et du moteur dont nous avons besoin dans notre étude.

II.2.Définition de forage :

Le forage d'eau est un système qui consiste à creuser un trou, ou proprement dit, un puits, à grande profondeur pour accéder à la nappe phréatique. Pour relever une eau pure et abondante, il est important que cette nappe soit profonde. Une nappe profonde offre, en effet, une eau plus propre puisqu'elle est bien filtrée du sol. Généralement les profondeurs varient de 10 mètres à 200 mètres, en fonction des secteurs et des débits recherchés. Les débits peuvent , de leur tour, varier de 500L/h à 50 000 L/h .[16]

II.2.1.Le forage des puits :

Pour pouvoir bénéficier de l'eau des sources souterraines et Comme les besoins en eau augmentent, la meilleure solution consiste dans l'organisation d'un forage . La réalisation d'un forage permet d'assurer les besoins en eau (l'alimentation en eau potable, l'arrosage des jardins). Il s'agit d'un procédé d'exploitation des ressources naturelles, qui consiste à creuser des puits qui permettent d'accéder à la nappe phréatique afin de prélever l'eau qui se trouve au sous-sol.

Il existe différentes méthodes de forage d'eau dont la plus connue est la technique du marteau fond de trou (MFT) et Le forage passe par plusieurs étape importantes dont les suivantes [16] [17].

- La foration
- La mise en place du tubage
- La cimentation annulaire
- Mise en place de la crépine
- Mise en œuvre du massif filtrant
- Nettoyage de l'ouvrage par air lift

II.2.2. Les puits : [18]

Tous les citoyens de l'Ontario aident à protéger la qualité et la quantité des eaux souterraines . les puits doivent empêcher les eaux de surface et les polluants de pénétrer dans les puits. Dans les puits bien développés, l'eau de surface n'a pas d'accès direct à l'eau souterraine et n'atteint l'eau souterraine qu'après s'être lentement infiltrée dans le sol .

II.2.3. Types de Puits :

Les propriétaires de puits doivent savoir quel type de puits ils ont sur leur propriété. Il doit également connaître les méthodes de construction utilisées et avoir une connaissance de base du fonctionnement des puits. Ces données sont résumées dans un journal de puits édité lors de la construction du puits, dont une copie est disponible auprès du service d'information sur les puits. Les propriétaires qui ne peuvent retracer ce registre disposent d'autres moyens pour déterminer le type de puits. En particulier, les indices présentés dans le tableau peuvent être pris en compte .Table 1. Indices pouvant signaler différents types de puits

Diamètre du tubage	Type de puits
Faible diamètre : 10-20 cm (4-8 po)	Puits foré à la sondeuse (différents emplacements).
Très faible diamètre : 2.5-5cm (1-2 po)	Puits à pointe filtrante (dans les sols peu profonds et sableux). Nota : Les puits de gaz naturel utilisent le même genre de tubage.
Grand diamètre : 60-120 cm (24-48 po)	Le plus souvent un puits foré à la tarière ou creusé.

Tableau (II.1) : Différents types de puits

II.3. Définition général du système de pompage :

Une pompe photovoltaïque se présente fondamentalement de deux façons selon qu'elle fonctionne avec ou sans batterie. Alors que cette première utilise une batterie pour stocker l'électricité produite par les modules, la pompe sans batterie, plus communément appelée « pompe au fil du soleil », utilise un réservoir pour stocker l'eau jusqu'au moment de son utilisation .La pompe avec batterie permet de s'affranchir des aléas du soleil et des problèmes d'adaptation entre générateur photovoltaïque et motopompe. Le débit de pompage peut se faire à la demande, lorsque les utilisateurs en ont besoin, ou permettre un pompage régulier durant toute la journée. Dans ce dernier cas, l'utilisation d'un réservoir de stockage pour l'eau sera nécessaire afin de pouvoir fournir à la demande d'eau.

II.4. Méthodes du pompage :

II.4.1. Pompage « au fil du soleil » : [19]

Le pompage « au fil du soleil » permet d'avoir un système photovoltaïque simple, fiable et moins coûteux. Ici l'eau est pompée et stockée dans un réservoir, au fil de la journée. On parle alors d'un stockage hydraulique. L'eau stockée sera distribuée au besoin.

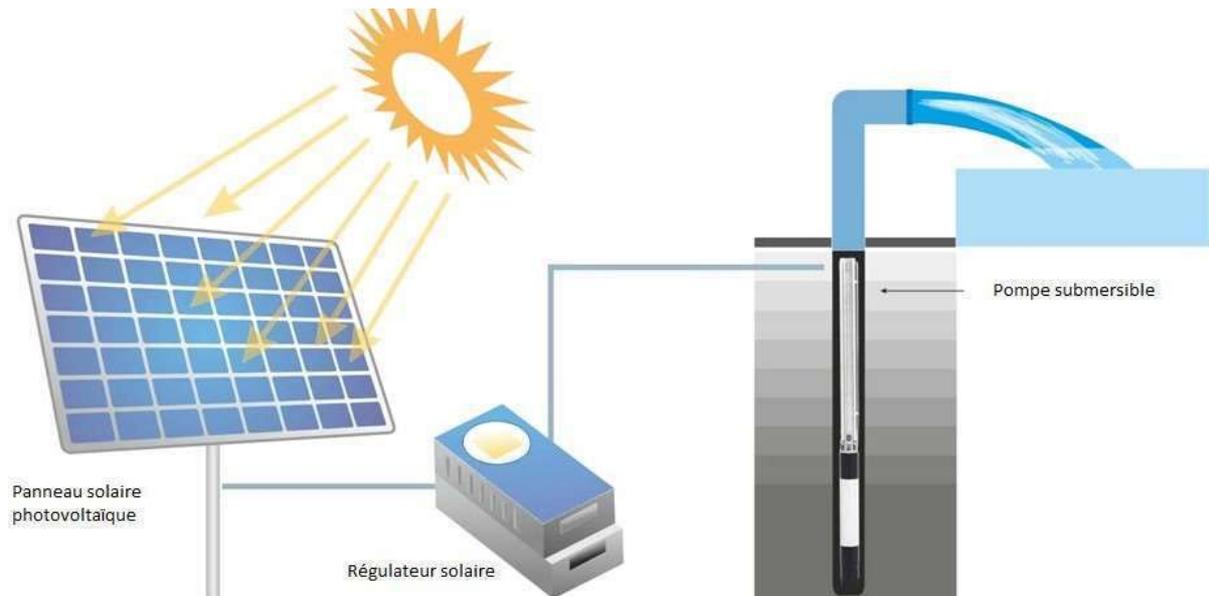


Figure (II.1) :Pompage photovoltaïque au fil du soleil

II.4.2.Pompage avec stockage d'énergie : [20]

Ici c'est l'énergie électrique qui sera stockée dans des batteries. Le pompage sera possible même en absence du soleil. Un tel système est plus couteux que le précédent, vu la nécessité de changer les batteries, car elles ont une courte durée de vie.

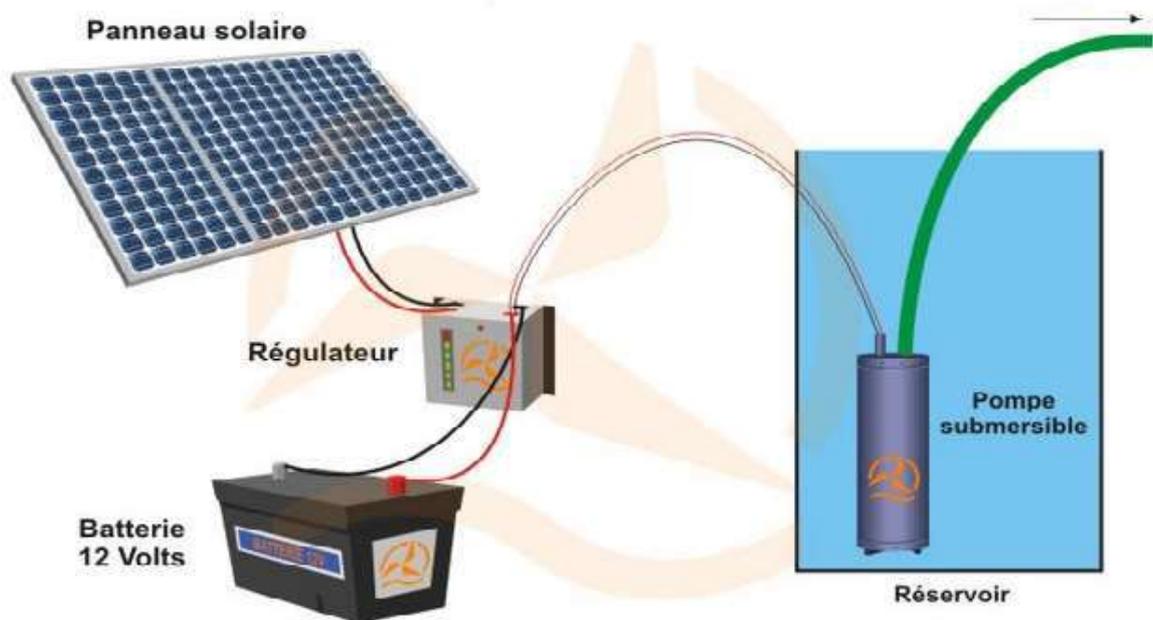


Figure (II.2) :Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie.

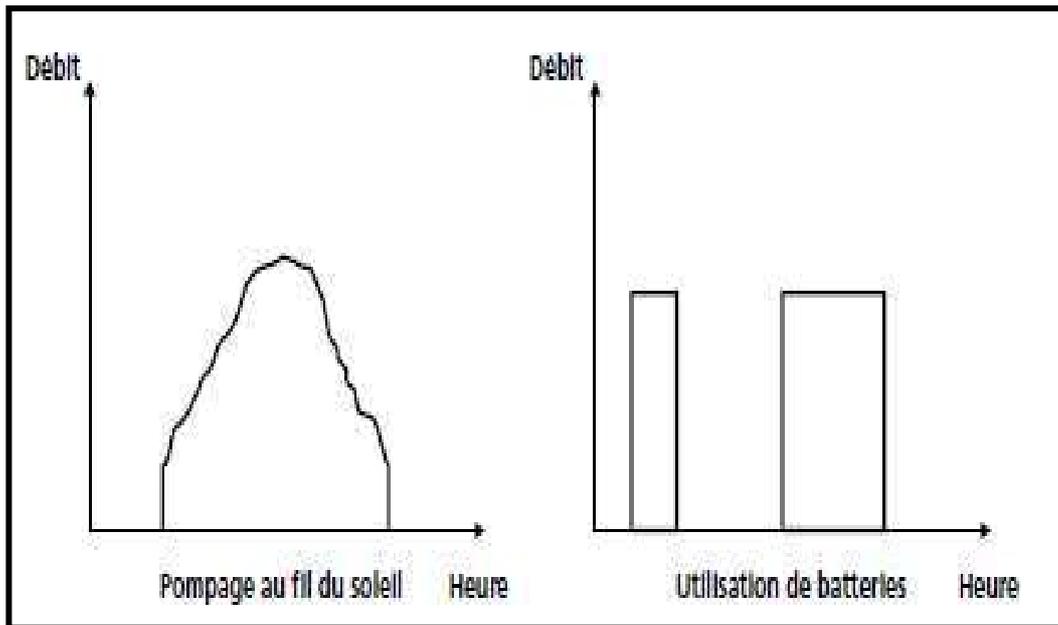


Figure (II. 3) :Caractéristiques du débit pour le pompage au fil du soleil et avec batterie [1].

II.4.3. Les avantages et inconvénients des pompes au fil du soleil et avec batteries :

Les avantages et inconvénients des deux techniques de pompage photovoltaïque sont résumés dans le tableau ci-après [21] :

Méthodes de pompage	Avantages	Inconvénients
Pompage au fil du soleil	Economie du coût des batteries et par conséquent leur maintenance. Système photovoltaïque plus simple, plus fiable et moins coûteux. Meilleur rendement énergétique.	Perte d'énergie au début et à la fin de la journée. Le débit de la pompe n'est pas constant et le rabattement du forage peut-être trop élevé durant certaines périodes de la journée.
Pompage avec batterie	Débit de la pompe régulier et à pression fixe. Possibilité de pomper l'eau lorsque le soleil est absent.	Coût élevé d'entretien et maintenance des batteries. Changement des batteries tous 5 à 7 ans. Les batteries introduisent un certain degré de perte de rendement d'environ 20% à 30% de la production d'énergie. Coût élevé du système photovoltaïque.

Tableau (II.2) Les avantages et inconvénients des deux techniques de pompage photovoltaïque.

II.5. Notions hydrauliques :

Les stations de pompage sont constituées d'une ou plusieurs pompes qui aspirent des volumes d'eau et les refoulent sous une certaine pression dans les canalisations du réseau. Les paramètres nécessaires pour dimensionner la pompe solaire sont le débit d'exploitation et la hauteur à laquelle la pompe devra refouler. Celle-ci est majorée par des pertes de charges et de la pression de refoulement dans la conduite [22].

le débit Q :

Le débit (Q) est la quantité d'eau que la pompe peut fournir durant un intervalle de temps donné. En pompage, le débit est habituellement donné en litres par heure (l/h) ou gallons par heure (g/h). En pompage solaire, le débit (ou le besoin en eau) est souvent exprimé en m³ par jour.

Hauteur manométrique totale H_{MT} :

La hauteur manométrique totale d'une pompe est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Cette hauteur peut être calculée comme suit :

$$H_{MT} = H_g + P_c \quad (II.1)$$

Avec :

H_g : Hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation (voir Figure 3.1). Elle est calculée par la formule suivante :

$$H_g = A + B + C \quad (II.2)$$

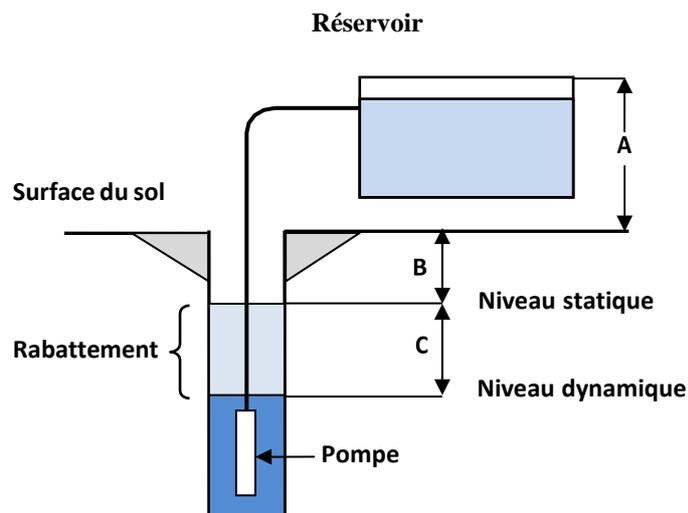


Figure (II.4) : Hauteur manométrique total.

P_c : Pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites. Elles s'expriment en mètres d'eau et elles sont fonction de la distance des conduites (D), de leur diamètre et du débit de la pompe.

N_s : Le niveau statique d'un puits ou d'un forage est la distance entre le sol et la surface de l'eau avant pompage.

N_d : Le niveau dynamique d'un puits ou d'un forage est la distance le sol et la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné. Pour le calcul de la H_{MT} , le niveau dynamique est calculé pour un débit moyen.

Rabatement : La différence entre le niveau dynamique et le niveau statique.

Rabatement maximal : est le rabatement maximal acceptable avant de stopper la pompe.

II.6. Les composants d'un système de pompage PV :

Un système de pompage solaire est généralement constitué de [23]:

- Le générateur photovoltaïque.
- Le groupe électropompe.
- L'électronique de commande.
- Les éléments du stockage.

II.6.1. Le générateur photovoltaïque :

Modules photovoltaïques interconnectés en une seule unité de génération d'électricité, montés sur des structures diverses (support ou châssis, toits et autres).

II.6.2. Le groupe électropompe :

Le groupe électro-pompe est constitué de 2 éléments assemblés en usine :

- Un moteur.
- Une pompe

Type de moteur : Courant alternatif ; Courant continu

Conception de la pompe : Centrifuge , Volumétrique

II.6.3. L'électronique de commande :

II.6.3.1. Le convertisseur DC/DC (hacheur) :

Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du générateur PV et de la transférer à la charge (pompe alimentée par moteur à courant continu), la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le générateur PV et la charge. Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle commandé par son rapport cyclique, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de la puissance maximale disponible.

II.6.3.2. Le convertisseur DC/AC (onduleur) :

La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par les panneaux solaires en un courant alternatif triphasé pour actionner le groupe moteur pompe. L'onduleur fonctionne évidemment avec un circuit de génération des signaux PWM commandé par un circuit de régulation et de protection. Le convertisseur DC/AC assure le transfert optimal de puissance du générateur solaire vers le groupe moteur pompe et protège la pompe contre le fonctionnement à vide lorsque il n'y a pas d'eau dans le puits. Le rendement de l'onduleur est généralement élevé pour valoriser au mieux l'énergie produite par le générateur. Il est de l'ordre de 95 % au point de fonctionnement nominal.

II.6.4. Les éléments de stockage :**II.6.4.1. Stockage de l'eau :**

Cette méthode est souvent adoptée car il est plus pratique et peu coûteuse par rapport au stockage électrochimique dans les batteries. Le réservoir peut souvent être construit localement et la capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours. Ce réservoir ne requiert pas un entretien complexe et est facile à réparer localement et peut être dimensionné en fonction de la quantité de l'eau nécessaire . [24]

II.6.4.2. Stockage d'énergie électrique :

Cette méthode est rarement utilisées pour le pompage, surtout dans les zones désertiques et rurales en raison du manque de possibilités de réparer les défauts potentiels ou est stocké l'énergie électrique dans des accumulateurs lourds, coûteux et fragiles.

Aussi, les batteries ont une durée de vie limitée et elles nécessitent des entretiens périodiques. En effet des problèmes de maintenance de la batterie et de l'obligation de la remplacer après 3 à 5 ans d'usage. De plus, le rendement énergétique est meilleur quand il n'y a pas d'accumulateurs . [24]

II.7. Etapes de dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque :

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

- Estimation des besoins en eau.
- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire.
- Calcul de l'énergie électrique quotidienne requis.
- Détermination de l'énergie solaire disponible.
- Choix des composants (moteurs , pompes).

II.7.1. Estimation des besoins en eau :

La détermination des besoins en eau pour la consommation d'une population donnée dépend essentiellement de son mode de vie. Les besoins en eau que l'on estime nécessaires pour les zones rurales des pays pauvres sont de l'ordre de 20 litres par personne et 30 litres par tête de bétail.

Les besoins d'eau pour l'irrigation dépendent du type de culture, des facteurs météorologiques comme la température, l'humidité, la vitesse du vent, la saison de l'année considérée et de la méthode d'irrigation. Cependant, il est important de se baser sur la pratique et l'expérience locale. La capacité du réservoir sera déterminée selon les besoins en eau journalières et l'autonomie requise du système. [24,25].

II.7.2. Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire :

Une fois définies 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[1] :

$$E_h = C_h \cdot Q \cdot H_{MT} \quad (II.3)$$

Où :

E_h : énergie hydraulique (Wh/jour)

C_h : Constante hydraulique [kg. s. h/m²]

Q : Volume d'eau [m³/jour]

H_{MT} : Hauteur manométrique total [m]

Où :

$$C_h = g \cdot \rho / 3600 \quad (II.4)$$

g : La gravité terrestre [9.81m/s²]

ρ : Densité de l'eau [1000kg/m³]

II.7.3. Calcul de l'énergie électrique quotidienne requis :

L'énergie nécessaire pour soulever une quantité d'eau , sur certaine hauteur pendant une journée, est calculée à partir des données de débit se de HMT requises . Elle est exprimée en watt/heure . ce calcul est fonction d'une constante hydraulique (CH) et est inversement proportionnel au rendement du groupe motopompe utilisé. l'énergie électrique quotidienne requis calculer par le relation suivants[1] :

$$E_e = \frac{E_h}{(\eta_{MP} \times \eta_{Ond})} \quad (II.5)$$

Où :

E_e : Energie électrique exprimé en [kwh/j]

η_{MP} : Le rendement du groupe motopompe, en général entre 30% et 60%.

η_{Ond} : Le rendement d'onduleur.

II.7.4. Détermination de l'énergie solaire disponible :

La méthode de dimensionnement utilisée est basée sur les calculs des valeurs moyennes journalières mensuelles de l'irradiation solaire disponible à l'inclinaison β des modules photovoltaïques (PV) par rapport au plan horizontal. Ce dernier doit se faire de manière à optimiser la conversion de l'énergie solaire en électrique.

II.7.5. Taille du générateur photovoltaïque :

Deux méthodes sont utilisées pour le dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque : une méthode analytique et une méthode graphique. Ces méthodes permettent de dimensionner une installation de pompage photovoltaïque pour satisfaire les besoins en eau d'une consommation bien déterminée.

II.7.5.1. Méthode analytique :

Une fois connus le volume journalier Q [m^3 /jour], la hauteur manométrique totale H_{MT} et l'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan du générateur, la puissance nominale correspondante du générateur photovoltaïque P_c est calculée par l'expression suivante [26] :

La puissance fournie par le générateur PV dans les conditions standards de mesure CSM, (éclairage de [$1000w/m^2$] et la température $25^\circ C$).

$$P_c = \eta_g \cdot A \cdot G \quad (II.6)$$

Avec :

P_c : La puissance de sortie du générateur (puissance crête).

η_g : Le rendement du générateur à la température de référence ($25^\circ C$).

A : La surface active du générateur (m^2).

G : L'éclairage dans les conditions CSM.

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

$$E_e = \eta_{PV} \cdot A \cdot G_d(\beta) \quad (II.7)$$

Où :

η_{PV} : Le rendement moyen journalier du générateur dans les conditions d'exploitation

$G_d(\beta)$: L'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison β [$kwh/m^2/j$].

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

$$\eta_{PV} = F_m [1 - \gamma(T - T_r)] \eta_g \quad (II.8)$$

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.

Pour calcul de la puissance, en watts crêtes, que doit avoir le champ.

En substituant les équations (II.5), (II.7) et (II.8) dans (II.6), nous obtenons la puissance crête du générateur :

$$P_c = \frac{G}{Fm[1 - \gamma(T - T_r)]G_d(\beta)} \cdot \frac{E_h}{\eta_{MP} \times \eta_{Ond}} \quad (II.9)$$

II.7.5.2. Méthode graphique :

Le calcul de la puissance du générateur photovoltaïque peut être effectuée de deux manières : soit par des expressions analytiques comme celle donnée si haut, ou bien en utilisant les abaques de rendement des pompes fournis par le constructeur qui donne en fonction de l'irradiation globale la puissance nécessaire développée P_c par les panneaux pour faire fonctionner la pompe dans cette gamme de débit, et de HMT [27].

Les abaques :

Ce sont des graphiques à lecture directe facilitant les calculs numériques. Graphiques servant à déterminer spontanément des résultats obtenus par des calculs dans un système de lignes prédéfinies et préparées d'avance. Les abaques s'exploitent par une lecture directe sans avoir à effectuer de tracés complémentaires en lisant directement les données se situant à l'intersection des droites correspondante par la lecture du point concourant en relation avec les besoins de l'intervenant.

Les constructeurs d'équipement élaborent de tels diagrammes sur la base des données calculées ou mesurées. Ce genre de graphes donne la configuration possible d'une électropompe. A titre d'exemple, la figure (II.5) montre les caractéristiques de l'électropompe SP14A-3 donnée par le constructeur GRANDFOS

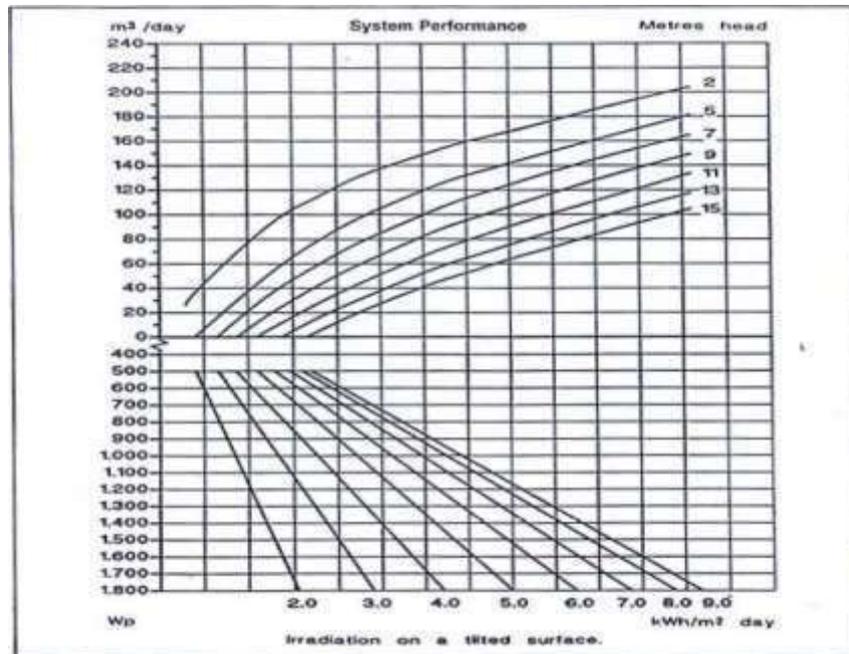


Figure (II.5) : Courbe typique des performances d'une pompe en conditions d'utilisation

II.8. Choix des composants :

II.8.1. Les moteurs électriques :

Un moteur électrique est un dispositif électromécanique permettant la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique. La plupart des machines électriques fonctionnent grâce au magnétisme, il existe deux types de moteurs : à courants continu et alternatif [28].

II.8.1.1. Moteur à courant continu avec balais :

Les moteurs à courant continu utilisés pour des applications de pompage solaire sont les moteurs série, avoir un couple de démarrage suffisant pour vaincre la résistance de démarrage d'une pompe et bien répondre à un courant variable. L'installation ainsi définie nécessite une électronique relativement simple mais présente l'inconvénient du moteur à courant continu qui demande un entretien régulier. Les balais doivent être changés périodiquement. Ceci est particulièrement problématique dans le cas des pompes à moteur immergé où la pompe doit être retirée du forage pour changer les balais. , il est utilisé particulièrement pour le pompage dans les puits ouverts.



Figure (II.6) :Moteur à courant continu avec balais au carbone

II.8.1.2. Moteur à courant continu, sans balais (Brushless) :

Ce type de moteur électrique comporte non seulement les avantages des moteurs à courant continu mais également ceux des moteurs à courant alternatif : fort couple au démarrage et durée de vie élevée (due à l'absence des paliers et des balais) mais leur utilisation reste limitée à des faibles puissances.



Figure (II.7) :Moteur à courant continu sans balais (Brushless)

II.8.1.3. Moteur à courant alternatif :

Les moteurs alternatifs asynchrones (rotor à cage) sont les plus couramment employés pour une gamme variée d'applications industrielles. Par exemple, les pompes sur réseau utilisent depuis longtemps ce type de moteur. Il est utilisé particulièrement pour le pompage immergé dans les forages et les puits ouverts. L'arrivée d'onduleurs efficaces a permis l'utilisation de ce type de moteurs dans les applications de pompage solaire. L'utilisation d'un moteur asynchrone (à courant alternatif triphasé) plus robuste et moins cher (aussi faible besoin de maintenance) devient une solution plus économique et plus pratique même au prix d'un circuit électronique de commande plus complexe. L'utilisation d'un moteur asynchrone augmente ainsi l'autonomie et la fiabilité de l'installation. Le moteur est alimenté par un onduleur (convertisseur DC/AC) qui assure l'optimisation du générateur PV .



Figure (II.8) :Moteur à courant alternatif

II.8.2. Les pompes :

Les pompes véhiculant des liquides se divisent en deux catégories principales :

Les turbopompes.

Les pompes volumétriques.

II.8.2.1. Les turbopompes:

Une turbopompe est une machine dans laquelle l'énergie transmise au liquide est une énergie principalement cinétique, qui lui est communiquée par l'intermédiaire d'un rotor.

Elles sont toutes rotatives. Ce sont des pompes centrifuges, à hélice (axiale) et hélico centrifuge.

II.8.2.1.1.Les pompes centrifuges:

Le mouvement du liquide est rigoureusement normal à l'axe, car il pénètre au centre de la roue et est projeté vers l'extérieur par l'action combinée de la force centrifuge et des aubes du rotor. [29]



Figure (II.9) :pompe centrifuge

II.8.2.1.2.Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge :

Une pompe centrifuge dans sa forme la plus simple est constituée d'une roue munie d'ailettes radiales et tournantes à l'intérieur d'une enveloppe corps de pompe. Son principe de fonctionnement est d'utiliser la force centrifuge créée par la rotation de la roue pour transmettre au liquide pompé l'énergie. Le liquide à l'aspiration de la pompe se dirige vers le centre de l'impulseur (rotor) en rotation d'où il sera propulsé radicalement vers l'extérieur par la force centrifuge. Cette vitesse est ensuite convertie en pression au niveau de diffuseur.

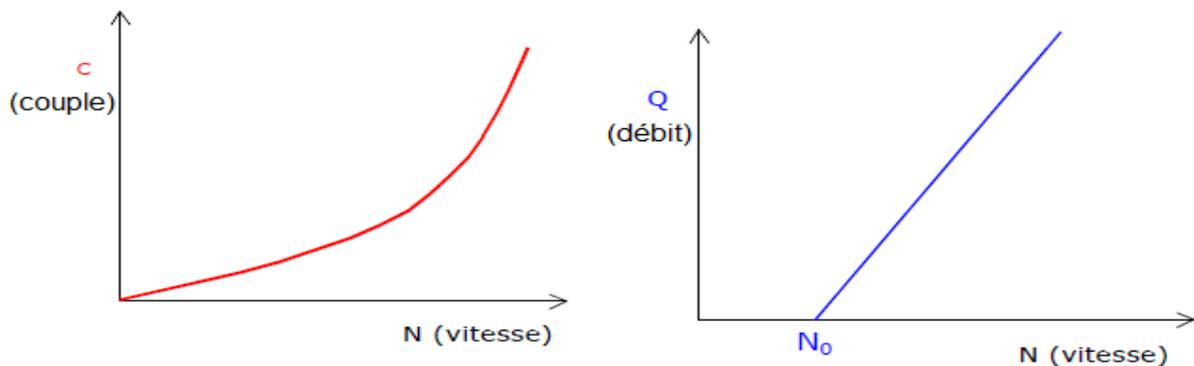


Figure (II.10) : Courbes Caractéristiques d'une pompe centrifuge [1].

II.8.2.1.3.Utilisation :

Les pompes centrifuges sont les plus utilisées dans le domaine industriel à cause de la large gamme d'utilisation qu'elles peuvent couvrir, de leur simplicité et de leur faible coût.

Néanmoins, il existe des applications pour lesquelles elles ne conviennent pas, comme :

- ✓ Utilisation de liquides visqueux, la pompe centrifuge nécessaire serait énorme par rapport aux débits possibles.
- ✓ Utilisation de liquides "susceptibles" c'est-à-dire ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe (liquides alimentaires tel que le lait).
- ✓ Utilisation comme pompe doseuse ; la nécessité de réaliser des dosages précis instantanés.

II.8.2.1.2.Les pompes axiales :

Dans ce type de pompes, le fluide est animé d'un mouvement parallèle à l'axe de la pompe. [30]



Figure (II.11) : pompe axiale

II.8.2.1.3. Les pompes hélico-centrifuge :

Ce type de pompe a un impulser qui est intermédiaire entre les deux types extrêmes, centrifuge et à hélice ; le mouvement imprimé au liquide est donc à la fois centrifuge et axial [30]



Figure (II.12) : pompes hélico-centrifuge

II.8.2.2. Principe de fonctionnement d'une turbopompe :

Le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge. Les turbopompes sont des machines tournantes qui grâce à un rotor à aubes convenablement orientées augmente l'énergie cinétique et projette à l'aide de la force centrifuge le liquide à la périphérie sur la volute. A la sortie et à l'aide d'un divergent, une grande partie de l'énergie cinétique se transforme en pression motrice[31].

II.8.2.3. Avantages et inconvénients des turbopompes :

Avantages	inconvénients
A caractéristiques égales, elles sont plus compactes que les machines volumétriques	Impossibilité de pomper des liquides trop visqueux
Leur rendement est souvent meilleur que celui des volumétrique	Production d'une pression différentielle peu élevée
Elles sont adaptées à une très large gamme de liquides	Elles ne sont pas auto-amorçages
Leur débit est régulier et le fonctionnement silencieux	Débit légèrement instable, dans les basses valeurs : difficulté de contrôler le débit.
En cas de colmatage partiel ou d'obstruction de la conduite de refoulement, la pompe centrifuge ne subit aucun dommage et l'installation ne risque pas d'éclater. La pompe se comporte alors comme un agitateur...	son rendement chute rapidement au-delà de cette valeur.

Tableau (II.3) : Avantages et inconvénients des turbopompes[31].

II.8.2.2. Les pompes volumétriques :

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel déplace un élément mobile en translation ou en rotation rigoureusement ajusté. L'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide [32] .

II.8.2.2.1. principe de fonctionnement de pompe volumétrique:

Leur fonctionnement repose sur l'exécution d'un mouvement cyclique. Un volume V de fluide emprisonné dans un espace donné (le récipient de départ) est contraint à se déplacer de l'entrée vers la sortie de la pompe par un système mécanique. Ce volume prélevé dans la conduite d'aspiration engendre une dépression qui fait avancer le fluide vers la pompe par aspiration. Cet effet confère aux pompes volumétriques d'être auto-amorçantes. Dans le cas des liquides, la pression d'aspiration ne doit pas s'abaisser en-dessous de la pression de vapeur saturante sous peine de voir le liquide entrer en ébullition. On obtient un débit théorique moyen proportionnel à la vitesse de rotation ou de translation. Les pompes volumétriques sont caractérisées par une grande diversité d'emploi et une grande variété de réalisations technologiques. On se limitera ici, à la présentation de quelques types à cette grande famille de machines tournantes [32]:



Figure (II.13) :pompe volumétrique (rotative).



Figure (II.14) :Pompe Volumétrique à Membrane (Alternative).

II.8.2.2.2. Les pompes volumétriques alternatives :

Ces pompes sont caractérisées par le fait que la pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif. Ses principaux types sont les suivants [32] :

A membrane

A piston.

I II.8.2.2.3. Les Pompes volumétriques rotatives :

Ces pompes sont constituées par une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe, qui tourne dans le corps de pompe et crée le mouvement du liquide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement.

Les principaux types de pompes volumétriques sont les suivants : à palettes, engrenages, lobes, vis,...etc.

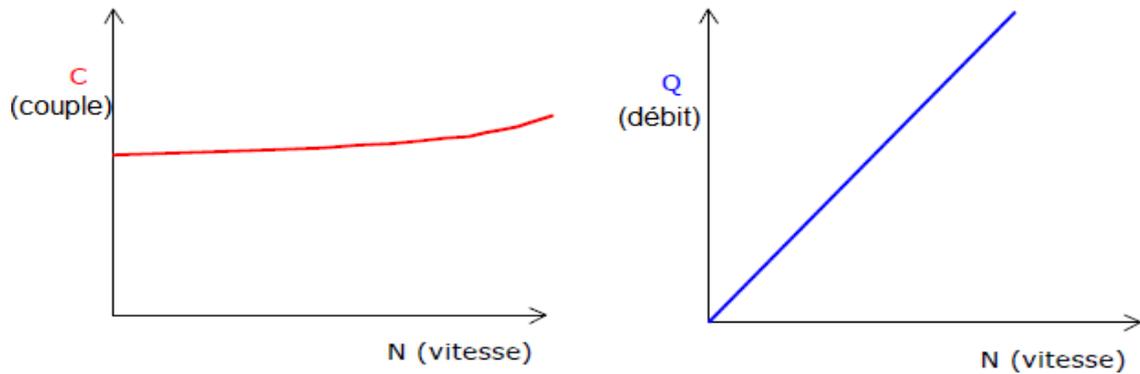


Figure (II.15) : courbes Caractéristiques d'une pompe volumétrique [1].

II.8.2.3. Avantages et inconvénients des Pompes volumétriques : [32]

Avantages	Inconvénients
1/Ces machines robustes assurent un excellent rendement	1/Ce sont des outils robustes mais encombrants
2/ L'amorçage est automatique.	2/ lourds de maintenance et plus chers.
3/Enfin, le grand avantage de ces pompes est qu'elles traitent tout type de fluide même les liquides très visqueux du secteur de l'industrie chimique	3/ Les frais d'entretien sont également plus élevés car comme toute tuyauterie industrielle complexe ou équipement sous pression,
	4/ Enfin, des dispositifs annexes doivent être ajoutés dans certains cas : le débit pulsé nécessite l'installation d'appareils spéciaux pour éviter le « coup de bélier », et les systèmes de sécurité comme le by pas ou la soupape de sécurité sont indispensables car le danger de surpression dans le circuit de refoulement existe.

Tableau (II.4) : Avantages et inconvénients des Pompes volumétriques.

II.9.Conclusion :

Dans ce chapitre ,deux techniques de pompage photovoltaïque ont été présentées : pompage au fil de soleil et pompages avec batteries .Nous avons montré l'intérêt du pompages dit « au fil de soleil », ainsi que les avantages et les inconvénients de ce deux types de pompages .on a peut conclure que les systèmes de pompages photovoltaïques les plus courants ,selon l'état de l'art actuel, sont constitué d'une pompe munie d'un moteur est alimenté par un générateurs photovoltaïque sans batteries ,via un convertisseur , nous avons également montre les étapes de dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque .

Chapitre III



**Application d'un système de
pompage PV sur la région de Ouargla**

III.1. Introduction :

Dans le dernier chapitre, qui sera le cœur de notre travail, nous allons présenter notre système de pompage photovoltaïque. Pour cette étude pratique, nous avons choisi la région de Ouargla. nous allons étudier le dimensionnement d'un système de pompage solaire photovoltaïque fonctionnant par la méthode dite « au fil de soleil ». Le stockage de l'eau est réalisé par le biais d'un réservoir afin d'irriguer une surface d'un hectare de palmiers.

III.2. Situation Ouargla :

Ouargla est située dans le Nord-Est du Sahara algérien, plus précisément dans la partie septentrionale du Sahara algérien. Elle se situe à 190 km à l'est de Ghardaïa, 160 km au sud-ouest de Touggourt, 388 km au sud de Biskra, à 800 km d'Alger et à 618 km de Constantine. Ouargla possède un climat désertique chaud, La ville possède des étés très longs et extrêmement chauds et des hivers courts et agréables. Les températures moyennes de la ville sont les plus élevées des grandes villes d'Algérie. La température du mois de juillet qui est le mois le plus chaud est d'environ 43 °C. Le climat y est particulièrement aride et très peu pluvieux avec un ciel dégagé la plupart du temps. Les précipitations enregistrées dans la ville de Ouargla sont limitées à seulement 45 mm par année en moyenne [33].



Figure (III.1): La situation géographique de la ville de Ouargla

III.3. Spécification de la région de Ouargla :

Pour la région de Ouargla, les spécifications sont données par les grandeurs météorologiques suivantes [34]:

Latitude : 31N	Longitude : 5°24'E
Altitude : 141m	Albédo : 0.35

Tableau (III.1): Spécifications de la région de Ouargla.

III.4. Moyennes météorologiques tout au long de l'année pour Ouargla :

À Ouargla, les étés sont caniculaires, aride et dégagé et les hivers sont frais, sec et dégagé dans l'ensemble. Au cours de l'année, la température varie généralement de 5 °C à 42 °C et est rarement inférieure à 2 °C ou supérieure à 46 °C [34].

III.4.1. Température moyenne à Ouargla :

Les températures sont de type saharien. La moyenne mensuelle du mois le plus chaud est de 47°C (mois de Aout). Janvier est le mois le plus froid avec une température moyenne de 5°C

Moyenne	Janv.	fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Haute	19°C	21°C	26°C	30°C	35°C	40°C	44°C	47°C	38°C	32°C	24°C	19°C
Basse	5°C	7°C	11°C	16°C	20°C	25°C	28°C	29°C	24°C	18°C	10°C	6°C

Tableau (III.2) : Température moyenne maximale et minimale à Ouargla

III.4.2. Pluie :

Pour montrer la variation au cours des mois et pas seulement les totaux mensuels, nous montrons l'accumulation de pluie au cours d'une période glissante de 31 jours centrée sur chaque jour de l'année. Ouargla connaît des variations saisonnières modérées en ce qui concerne les précipitations de pluie mensuelles.

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Pluie (mm)	9	3.8	6	4.2	3.8	1.1	0.3	0.7	3.2	5.1	5.3	4.5

Tableau (III.3) : Pluviométrie mensuelle moyenne à Ouargla

III.4.3. Vent :

Les vents ont une vitesse moyenne de 14.4 m/s (Figure III.4). Cette vitesse est plus élevée pendant Printemps (Surtout le mois d'Avril avec plus de 15.6 m/s). Elle est cependant moins élevée durant les mois d'hiver (Décembre 13.0 m/s). La direction dominante des vents est Sud-Nord.

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vitesse de vent (k/h)	13.6	14.1	14.9	15.9	16.2	16.1	15	13.9	14	13.2	12.8	13

Tableau (III.4) : Vitesse moyenne du vent à Ouargla.

III.4.4. Rayonnement solaire :

Le tableau ci-après donne les valeurs de rayonnement global journalier calculées sur la moyenne mensuelle pour des rayons incidents sur un plan incliné d'un angle optimal sur le site d'Ouargla [35]:

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Energie solaire (w/h)	6252	6459	6056	6531	6576	7073	7176	6717	6032	5970	6049	5167

Tableau (III .5) : Les valeurs de l'irradiation journalière mensuelle pour une inclinaison optimale .

III.4.5. L'humidité :

L'humidité représente la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, sans compter l'eau liquide et la glace. Et l'humidité relative de l'air correspond au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante à la même température et pression[35]

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	mai	Juin	Juil.	Août.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Temps lourd de l'humidité (j)	0	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.9	0	0	0	0

Tableau (III.6) : niveau de confort selon l'humidité

III.5. Méthodes de dimensionnement d'un système PV :

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque :

III.5.1. Méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation :

Cette méthode permet d'optimiser le dimensionnement d'un système dans des conditions complexes (fluctuation saisonnières de l'irradiation, ciel couvert (nuageux),...etc.) grâce à un logiciel adapter. L'inconvénient de cette méthode est qu'il faut connaître les radiations pour un nombre d'années très grand (10ans min) [36].

III.5.2. Méthode du mois le plus défavorable :

Dans cette méthode, on estime l'énergie récupérable pour une période critique d'un mois, appelé le mois le plus défavorable. Ce mois correspond au mois pendant lequel la valeur de l'irradiation moyenne mensuelle est la plus faible de l'année ou dans certains pays la période d'hivers est rude [37].

III.6. Dimensionnement complet de l'installation :

On a choisir la Méthode du mois le plus défavorable pour notre dimensionnement .

III.6.1. Estimation des besoins en eau :

Les besoins d'eau des palmiers pour la région d'Ouargla sont donnés dans le tableau suivant :

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Volume d'eau m ³ /j	10	22	36	49	62	67	66	64	50	35	18	13

Tableau(III.7) : Les besoins journaliers moyens mensuels en eau des palmiers /Hectare [38]

III.6.2. Hauteur manométrique total :

Pour notre station de pompage, nous avons choisi une hauteur manométrique totale de 60m

III.6.3. Hypothèses :

Nous dimensionnons un système de pompage photovoltaïque, d'approvisionnement en eau pour l'irrigation d'un hectare de palmiers.

Les données suivantes caractérisent le système :

- **Projet** : Irrigation d'un hectare de palmiers.
- **Site** : Ouargla
- **L'ensoleillement la plus faible pour la saison d'été**: 6717 Wh/m²/jour.
- **Débit maximum** : 67 m³/j
- **Forage** : HMT = 60 m.

III.6.4. Choix de la pompe :

La pompe choisie est en fonction du débit et de la hauteur manométrique totale
Débit horaire Il est calculé comme suite :

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

- La hauteur manométrique totale H_{MT}.
- Le débit horaire Q_h.

$$Q_h = \frac{Q[m^3/jour]}{N_h} \quad (III.1)$$

Dans notre cas, nous prenons

$$N_h = \frac{6717}{1000} = 6.7 \frac{\text{heures}}{\text{jour}}$$

$$Q = 67 \frac{m^3}{\text{jour}}$$

On concluez le débit horaire :

$$Q_h = 10m^3/h$$

Pour notre recherche, le choix de la motopompe utilisée est porté sur une gamme de pompes immergées proposées par le constructeur PANELLI Ce tableau ici représente les caractéristiques de la pompe :

Type de pompe	P (kw)	Rendement De pompe	Débit Q (m ³ /h)	0	6	7.5	9	10.5	12	13.5	15
95PR10N/04	0.75	60%	H(m)	31	24	22	20	18	14	12	9
95PR10N/05	1.1	60%		39	30	28	25	22	18	15	11
95PR10N/07	1.5	60%		54	42	39	35	31	25	21	15
95PR10N/10	2.2	60%		77	60	55	50	44	36	30	22
95PR10N/14	3	60%		108	83	77	70	62	50	42	31
95PR10N/19	4	60%		146	113	105	95	84	68	57	42
95PR10N/26	5.5	60%		200	155	143	130	114	94	78	57
95PR10N/35	7.5	60%		270	208	193	175	154	126	105	77

Tableau (III.8): Caractéristiques électriques d'une gamme de pompes PANELLI [39]

Donc :

Selon nos besoins, d'une part, un débit horaire de 10 m³/jour et une hauteur manométrique totale de 51 m, par ailleurs, la motopompe convenable sera donc la pompe immergée **95PR10N/14** proposées par le constructeur PANELLI.

III.6.4. Calcul de l'énergie hydraulique et l'énergie électrique :

III.6.4.1. L'énergie hydraulique :

$$E_h = C_H \cdot Q \cdot H_{MT} \quad (III.2)$$

Avec :

E_h : Énergie hydraulique (Wh/jour)

H_{MT} : Hauteur manométrique total(m)

Q : Volume d'eau (m³/jour)

C_H : Constante hydraulique

Où :

ρ : Densité de l'eau (1000 Kg/m³)

g : La gravité terrestre [9,81 m/s²]

$$C_H = g \cdot \frac{\rho}{3600} = \frac{9,81 \cdot 1000}{3600} = 2.725 \left(\text{kg} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2} \right)$$

$$E_h = 2.725 \cdot 67 \cdot 62$$

$$E_h = 11319.65 \text{ (wh/j)}$$

III.6.4.2. L'énergie électrique :

η_{ond} : Le rendement d'onduleur. D'après le tableau suivant $\eta_{\text{ond}} = 95 \%$.

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{\text{Mp}} \eta_{\text{Ond}}} \quad (\text{III.3})$$

$$E_e = \frac{11319.65}{0,6 \cdot 0,95}$$

$$E_e = 19859.03 \text{ (wh/j)}$$

III.6.5. Le choix de l'onduleur (L'électronique de commande et de contrôle) :

Il a pour rôle, la conversion du courant continu produit par les panneaux en courant alternatif identique à celui du réseau. Il est donc indispensable pour l'alimentation des charges à courant alternatif. Le choix de l'onduleur dépend des caractéristiques électriques de la pompe alimentée (puissance, tension). Pour le besoins de notre étude, le convertisseur choisit est présenté dans le tableau suivant :

Modèle	SLC-40-CUBE3+	
Courant continu	Conversion optimale d'énergie	220 - 415 VDC
Courant alternative	Puissance maximale	4000W
	Tension nominale	240 VAC
	Fréquence	50 HZ
système	Mac efficacité	95%

Tableau (III.9):les caractéristiques électriques de l'onduleur [40]

III.6.6. Choix type de module photovoltaïque:

Pour notre recherche nous avons choisi un modèle photovoltaïque **CEM200M-72** de chez **Condor Electronique**. Le module est composé de **72 cellules** solaires **Monocristallin** connectées en série pour produire une puissance maximale de **200 W**.

Les caractéristiques électriques et mécaniques de ce module photovoltaïque sont données dans les tableaux suivante :

Type de module	Unité	CEM190M-72	CEM195M-72	CEM200M-72
Puissance nominale	Wc	190	195	200
Tension en circuit ouvert (Vco)	V	45,20	45,40	45,60
Courant de court Circuit Isc	A	5,56	5,67	5,80
Tension mpp Vmpp	V	36,60	36,80	36,90
Courant mpp Impp	A	5,19	5,30	5,42
Tension maximale du système VDC	V	1000		
Charge maximale De fusibles (A)	A	15		
Facteur de température (cellule):				
Température nominale de fonctionnement		NOCT	45±2°C	
Coefficient de température de puissance		%/°C	-0.41	
Coefficient de température de courant		%/°C	+0.06	
Coefficient de température de voltage		%/°C	-0.32	

Tableau (III.10):Caractéristiques électriques du module photovoltaïque CEM200M-72 [41].

Type de cellule	Cellule monocristalline avec anti-reflection
Nombre de cellules par module	72 cellules (6x12)
Dimensions de la cellule	125x125 mm
Dimensions du module	1580x808x45 mm
Poids du module	14.5 Kg
	Alliage en aluminium anodisé
Type de verre	Verre trempé, 3.2 mm d'épaisseur
Boite de jonction et connecteur	IP65;3 Diodes By-passe et câbles compatibles avec un connecteur MC4
Température d'utilisation	- 40°C à 85°C

Tableau (III.11):Caractéristiques mécanique du module photovoltaïque CEM200M-72 [41].

III.6.7. Taille du générateur PV :

Selon la puissance demandée par le groupe moteur-pompe et l'irradiation journalière incidente sur le plan du générateur, la puissance nominale que doit fournir le générateur PV est calculé par l'expression suivante [42]:

$$P_c = \frac{G}{F_m[1-\gamma(T-T_r)]G_d(\beta)} \cdot \frac{E_h}{\eta_{MP} * \eta_{Ond}} \quad (III.4)$$

G : L'éclairement dans les conditions CSM

Fm : 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.

$$F_m = \frac{P_{max}}{V_{oc} * I_{cc}} \quad [43]. \quad (III.5)$$

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, 31.3 °c.

T_{ref} : La température de référence 25 °c.

Avec :

η_{Ond} η_{Mp} sont respectivement, les rendements du groupe motopompe, de l'onduleur.

$$\eta_{Ond} = 0.95, \eta_{Mp} = 0.6$$

$G_d(\beta)$: L'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison β [kwh /m² / j] Pour notre cas : $G_d(\beta) = 6717 Wh/m^2 / j$.

$$F_m = \frac{P_{max}}{V_{oc} * I_{cc}} \quad (III.6)$$

$$F_m = \frac{200}{45,6 * 5,80} = 0,756$$

$$P_c = \frac{1000}{0,756 * [1 - 4.1 * 10^{-3} (31.3 - 25)] * 6717} \cdot \frac{11319.65}{0,95 * 0,6}$$

$$P_c = 4014,45W$$

III.6.8. Calcul Nombre total de module (Nm) :

Le nombre total de module (Nm) constituant le générateur PV est calculé par la formule suivante :

$$N_M = \frac{P_C}{P_M} \quad (III.7)$$

P_C : La puissance crête du générateur.

P_M : La puissance du module PV.

$$N_M = \frac{4014,45}{200} = 20,07 \approx 20 \text{ modules}$$

III.6.8.1. Nombre de modules en série :

$$N_{M_S} = \frac{V_{CH}}{V_M} \quad (\text{III.8})$$

V_{CH} : La tension nominale de la charge (l'onduleur).

V_M : La tension nominale du module.

$$N_{M_S} = \frac{240}{36,90}$$

$$N_{M_S} = 6,50 \approx 7 \text{ Modules}$$

III.6.8.2. Nombre de module en parallèle :

Le nombre de module en parallèle est calculé par l'équation suivante :

$$N_{M_P} = \frac{N_M}{N_{M_S}} \quad (\text{III.9})$$

$$N_{M_P} = \frac{20}{7} = 2,857 \approx 3 \text{ Modules}$$

III.6.9. Correction de la puissance crête :

Dans la grande majorité des cas, le nombre de modules calculés (en série et/ou en parallèle) n'est pas un entier, il faut donc l'arrondir pour obtenir la puissance corrigée.

III.6.9.1. Le nombre de modules :

$$N_M = 7 \times 3 = 21 \text{ Modules}$$

III.6.9.2. La puissance :

$$P_c = 21 \times 200 = 4200W$$

III.7. Dimensionnement de notre pompe :



Figure (III.2): Caractéristiques électriques de la pompe 95PR10N/14

III.8. Logiciel Simulation d'un système de pompage solaire :

III.8.1.Présentation de logiciel de simulation PVSYST :

Le programme PVSYST est un logiciel de simulation de systèmes photovoltaïques, développé initialement par le Groupe de Physique Appliquée (GAP) de l'Université de Genève. Ce logiciel est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique avec guide dans le développement d'un projet.

PVSYST permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles [44].

On lance le logiciel PVSYST, l'interface suivante s'affiche :



Figure (III.3): Interface de logiciel PVSYST

La simulation à base du logiciel PVSYST suit l'organigramme suivant :

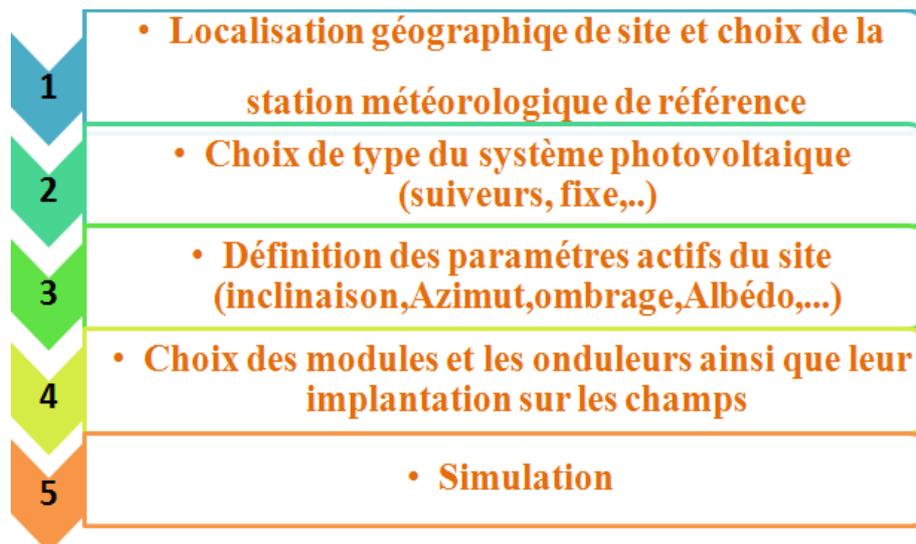


Figure (III.4): Etapes de simulation avec PVSYST

III.8.2. Conception et dimensionnement d'un système PV :

La conception de système est basée sur une procédure rapide et simple :

- ✓ Spécifier la puissance désirée ou la surface disponible,
- ✓ Choisir les modules PV dans la base de données interne,
- ✓ Choisir l'onduleur dans la base de données interne.

III.8.3. Principaux résultats :

III.8.3.1. Données météorologiques du site

Après avoir localisé le site, on clique sur le bouton « importer » pour importer les données météorologiques du site dans PVSYST, ces données mensuelles représentent l'irradiation, la température moyenne et la vitesse du vent :

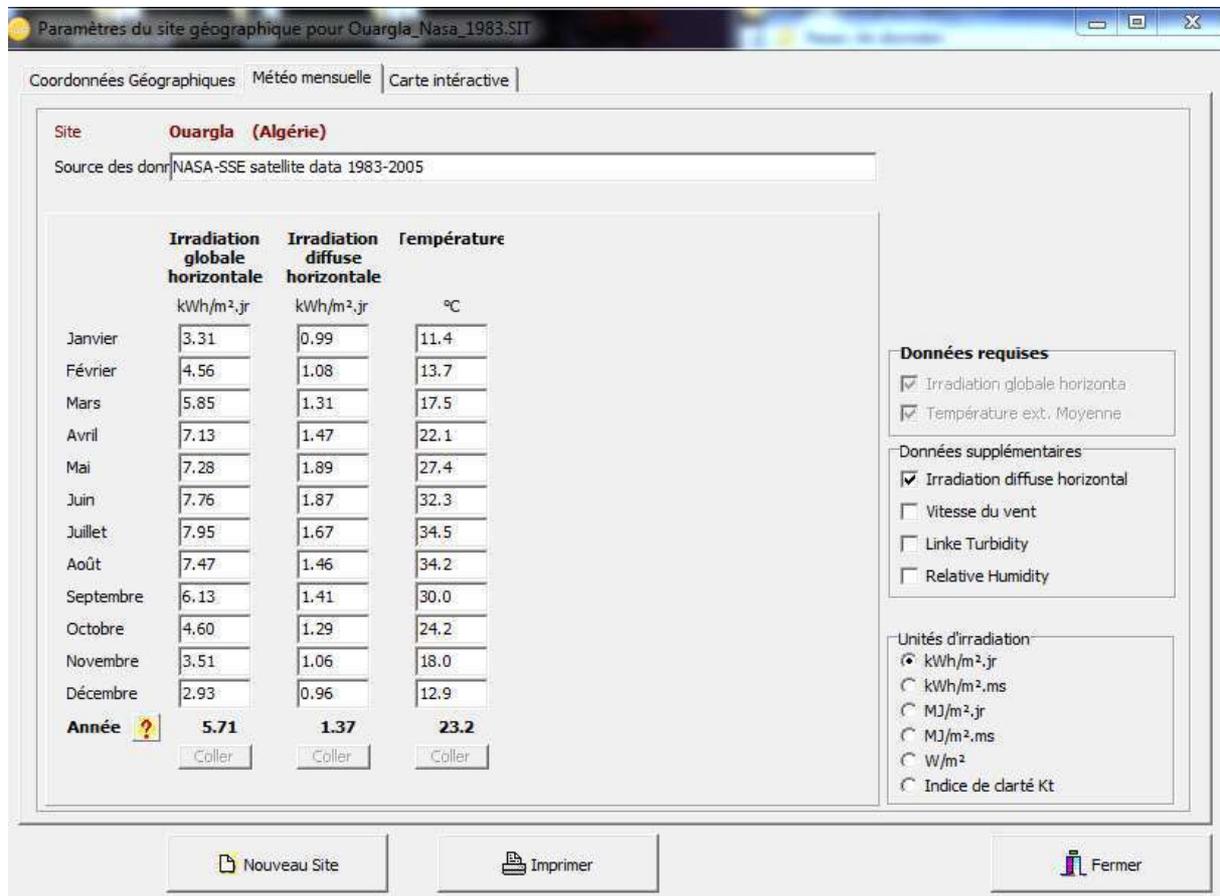


Figure (III.5): Caractéristiques climatiques du site de Ouargla

III.8.3.2. Trajectoire du soleil :

La connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point donné de la surface terrestre est nécessaire pour toute application solaire. La position du soleil est définie par deux angles : sa hauteur HS (angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu) et son Azimut AZ (angle avec la direction du Sud, compté négativement vers l'Est).

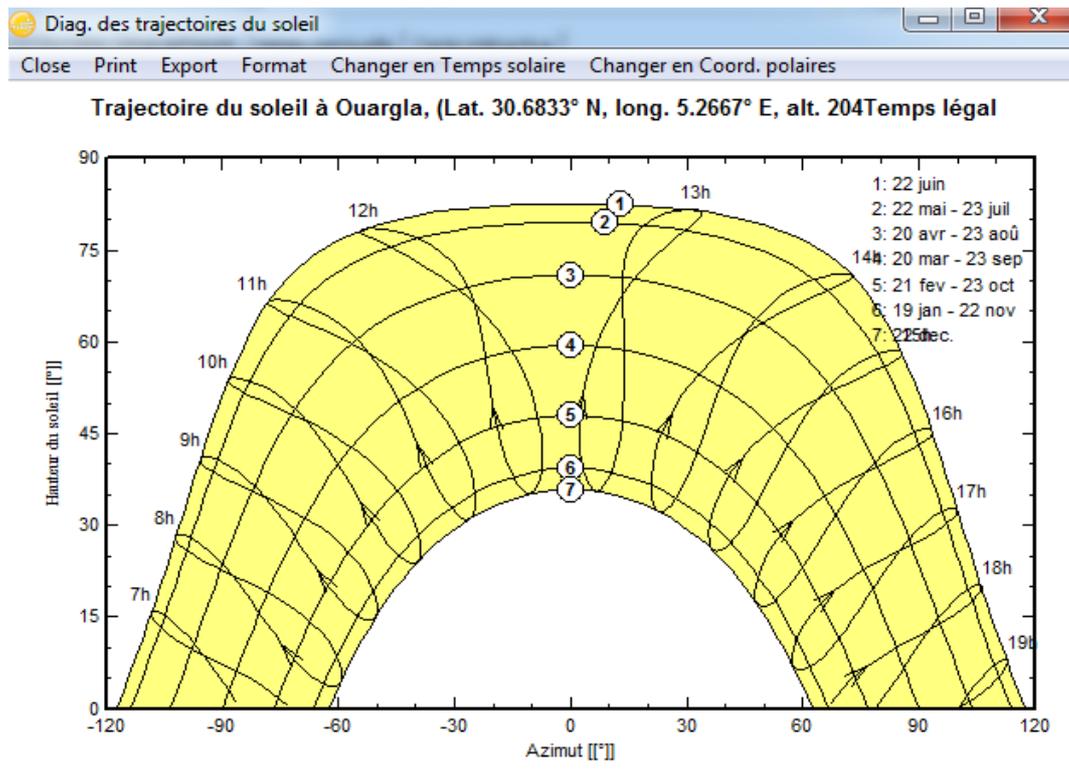


Figure (III.6): Trajectoire du soleil à Ouargla

III.8.3.3. Orientation des modules PV

Vu le prix élevé des modules PV, il est nécessaire de choisir des orientations et inclinaisons favorables à la production d'énergie.

Nous avons choisi un plan Incliné fixe par rapport à l'horizontale comme illustre la figure (III.7) c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVSYS.

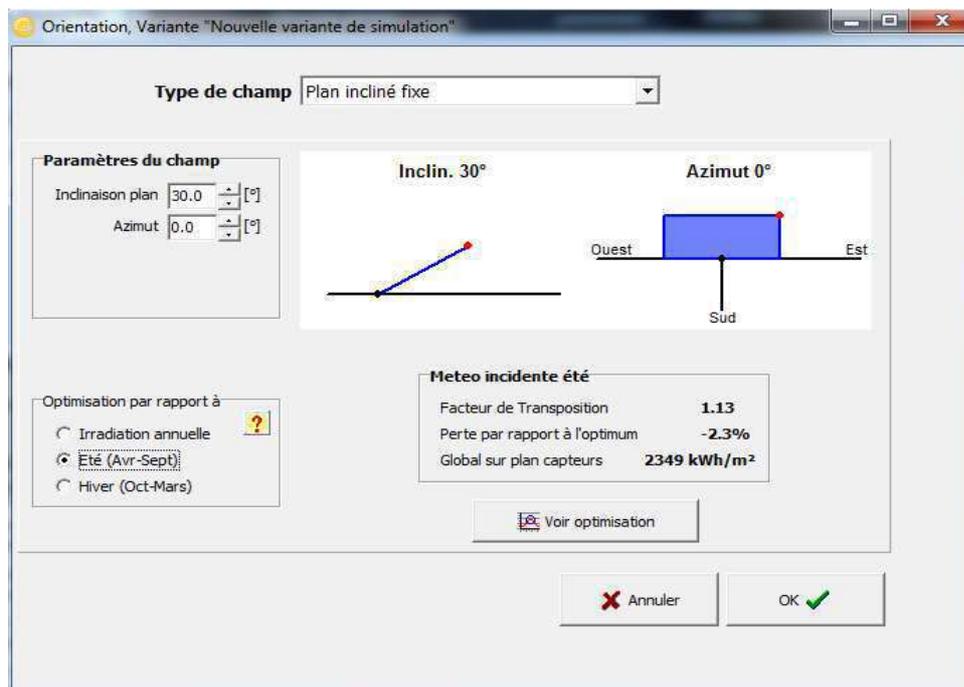


Figure (III.7): Orientation et inclinaison du système PV

III.8.4. Résultats de simulation :

III.8.4.1. Besoins électriques :

La figure (III.8) montre les besoins d'utilisateur par le PVSYST :

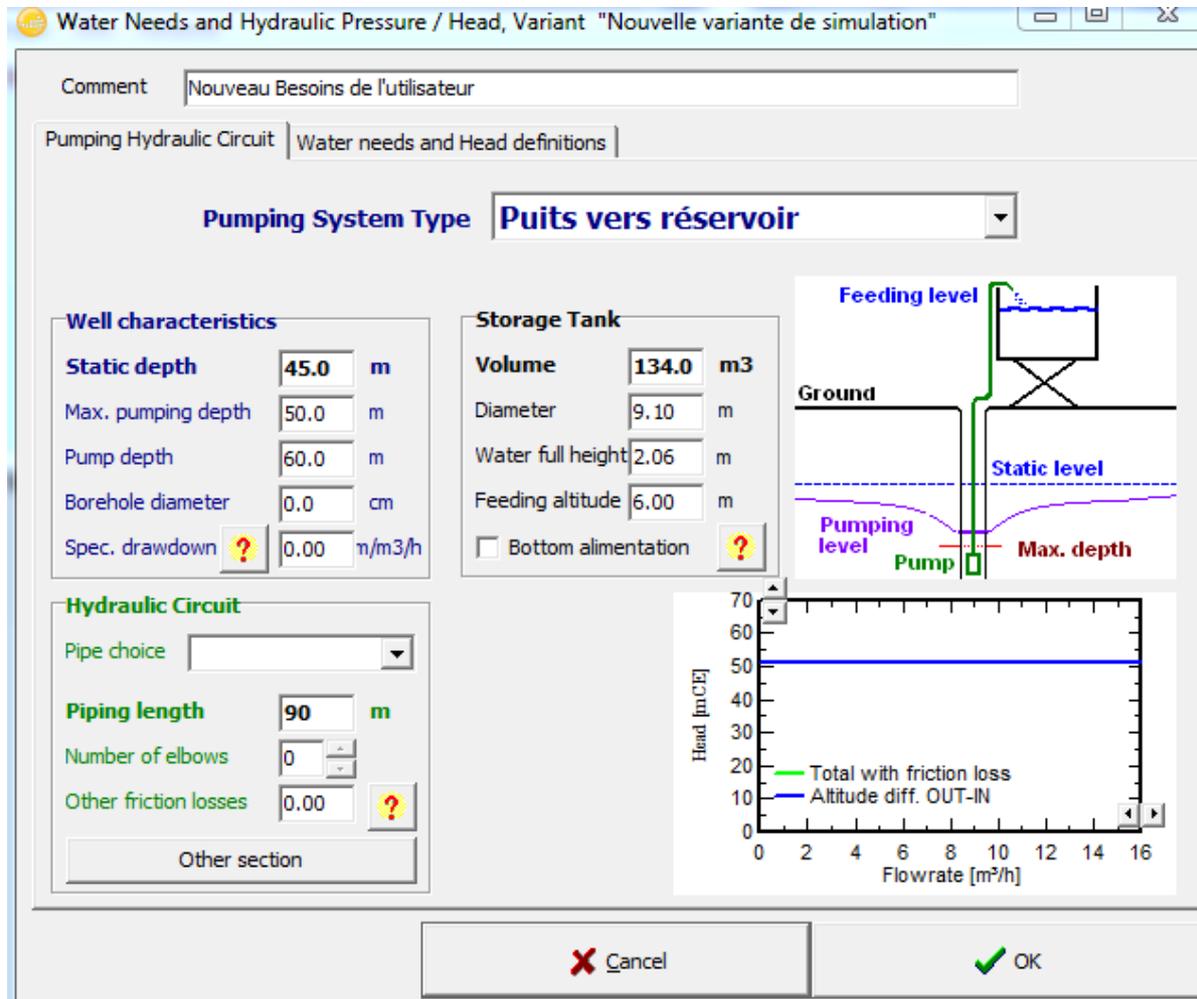


Figure (III.8): Besoins en eau et hydraulique

III.8.4.2. Estimation d'eau :

Water Needs and Hydraulic Pressure / Head, Variant "Nouvelle variante de simulation"

Comment: Nouveau Besoins de l'utilisateur

Pumping Hydraulic Circuit | Water needs and Head definitions

Water needs

- Yearly average
- Seasonnaly value
- Monthly values

Whole Year needs : 67.0 m³/jour

Water units

Flow: m³/h

Pressure: mCE

Yearly summary

Water needs average	67.0 m ³ /jour
Yearly water needs	24455 m ³
Yearly Head average	51.0 mCE
Hydraulic energy	3399 kWh
PV needs (very roughly)	11478 kWh

Well static depth

- Yearly constant
- Seasonnal values
- Monthly values

Whole Year: 45.0 mCE

Model File

Load Save

Cancel OK

Figure (III.9): L'eau a besoin quotidiennement et annuellement

III.8.4.3. Choisir une pompe :

Pumping system definition, Variante "Nouvelle variante de simulation"

Pre-sizing suggestions

Average daily needs :
 Head min. 51.0 mCE
 Head max. 51.2 mCE
 Volume 67.0 m³/jour
 Hydraulic power 1866 W (very approximative)

Requested autonomy 4.0 day(s)
 Accepted missing 5.0 %

Suggested tank volume 268 m³
 Suggested Pump power 4.1 kW
 Suggested PV power 5.2 kWp (nom.)

Pump definition | SubArray Design

Pump(s) model and layout

Lowara

4.0 kW 28-75 m Well, AC, Centrifuge multi-étages 16GS40 Open

1 Pumps in serie
 1 Pumps in parallel

Pump characteristics

Pump technology **Centrifuge multi-étages**
 Motor **Moteur AC asynchrone, mono**
 Maximal power **4000 W** Voltage **250 V**
 Max. Current **15.6 A**

	28	50	75
Head Min / Nom / Max	28	50	75
Corresp FlowRate	22.2	16.2	7.8
Corresp Power	3529	3900	3707
Efficiency	48.0	56.6	43.0

Units for this project

Flow rate m³/h
 Head mCE
 Power kW
 Energy kWh

Hydro Energy calculation tool

You can type here any values, not necessarily related to your project

Flow rate 15.0 m³/h
 Head 51.3 mCE
 Power 2.096 kW

System overview Cancel OK

Figure (III.10): Choisir un modèle de pompe

III.8.4.4. Choisir le modèle PV :

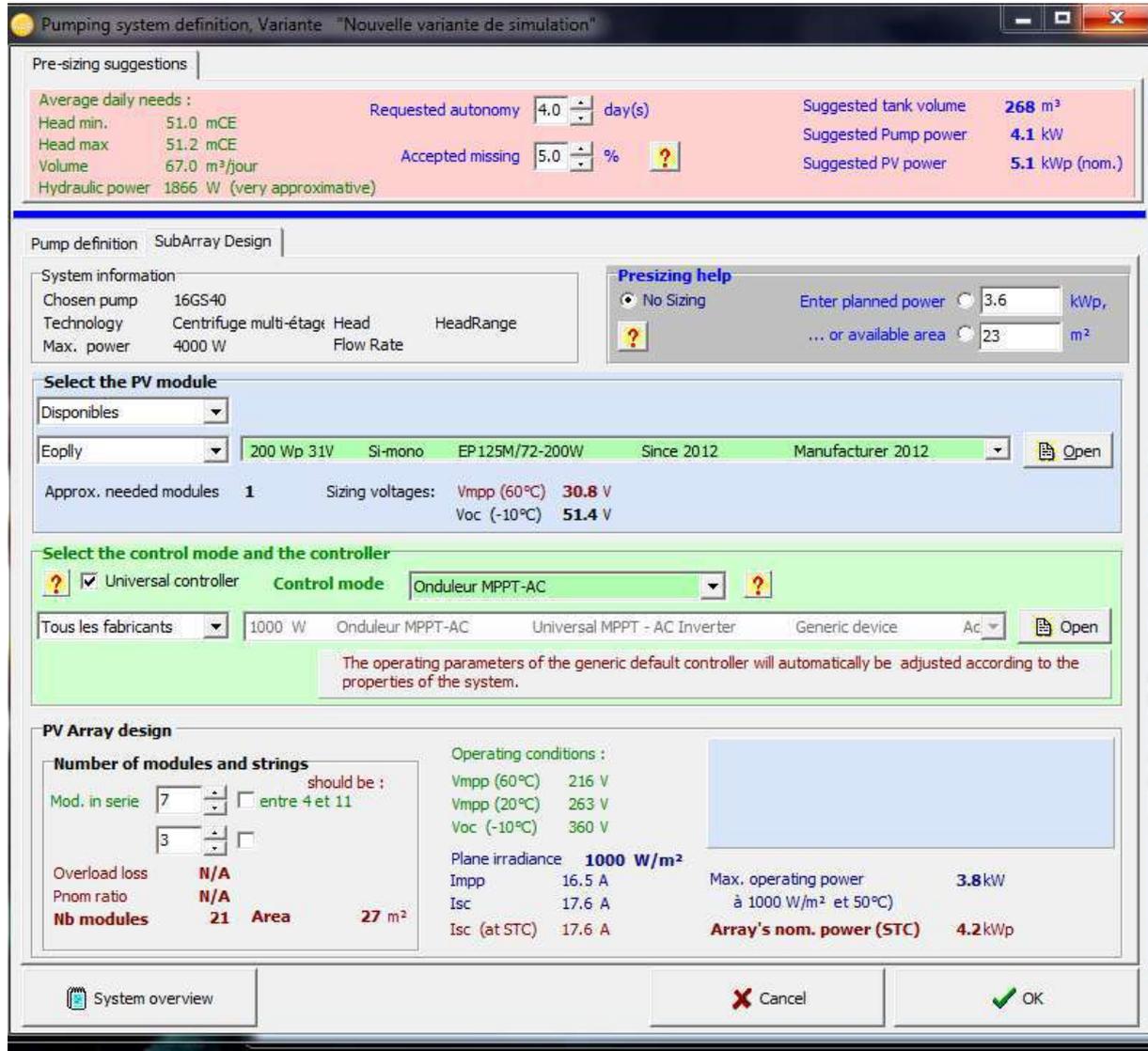


Figure (III.11): Choisissez un module PV

III.8.4.5. Rapport finale :

PVSYST V6.88		26/05/22		Page 1/5	
Système de pompage PV: Paramètres de simulation de base					
Projet : Nouveau Projet					
Site géographique		Ouargla		Pays Algérie	
Situation		Latitude: 30.68° N		Longitude: 5.27° E	
Temps défini comme		Temps légal Fus. horaire TU+1		Altitude: 204 m	
Données météo:		Ouargla		Meteonorm 7.2 (1986-2005), Sat=100% - Synthétique	
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation					
Date de la simulation: 26/05/22 à 12h29					
Paramètres de simulation					
Paramètres système de pompage		Type de système		Puits vers réservoir	
Caractér. du puits (Diamètre 0 cm)		Prof. du niveau statique		45 m	
		Prof. de la pompe		60 m	
Réservoir		Volume		134.0 m ³	
Alimentation par le haut		Altitude d'injection		6.0 m	
Circuit hydraulique		Longueur de tuyaux		90 m	
Besoins d'eau		Constant sur l'année:		67.00 m ³ /jour	
Pompe		Modèle		16GS40	
		Fabricant		Lowara	
Technologie de la pompe		Centrifuge multi-étages		Pompe immergée (puits)	
Convertisseur associé ou intégré		Type		MPPT	
Conditions de fonctionnement		pression min.		pression nom.	
Débit maximum correspondant		22.20		16.20	
Puissance requise		3529		3900	
Orientation plan capteurs		Inclinaison		31°	
		Azimut		0°	
Caractéristiques du champ de capteurs					
Module PV		Si-mono		Modèle	
Base de données PVsyst originale		Fabricant		Sun Earth Solar Power Co Ltd	
Nombre de modules PV		En série		7 modules	
Nombre total de modules PV		Nbre modules		21	
Puissance globale du champ		Nominale (STC)		5.36 kWc	
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp		215 V	
Surface totale		Surface modules		40.8 m ²	
				Surface cellule	
				36.1 m ²	
Appareil de contrôle		Modèle		Appareil générique (optimisé selon ce système)	
		Configuration du système		Onduleur MPPT-AC	

PVsyst Evaluation mode

Figure (III.12): Résultat de rapport 1/5

PVSYST V6.88		26/05/22		Page 2/5	
Système de pompage PV: Paramètres de simulation détaillés					
Projet :		Nouveau Projet			
Variante de simulation :		Nouvelle variante de simulation			
Principaux paramètres système	Type de système	Puits vers réservoir			
Besoins du système	pression de base	51.0 mCE	Besoins d'eau	67.0 m ³ /jour	
Pompe	Modèle / Fabricant	16GS40 / Lowara			
Champ PV	Modèle / Fabricant	TDB156X156-72-P 255W / Sun Earth Solar Power Co Ltd			
Configuration du système	Nombre de modules	7 S x 3 P	Puissance du champ	5355 Wc	
	Stratégie de régulation	Onduleur MPPT-AC			
Contrôle de fonctionnement du système		(Appareil générique, param. ajustés selon le système)			
Convertisseur de puissance		Onduleur MPPT-AC			
Conditions de fonctionnement	Tension MPP minimale	100 V	puissance nominale	4000 W	
	Tension MPP maximale	600 V	Puissance seuil	40 W	
	Tension champ max.	600 V	Efficacité maxi	96.0 %	
	Courant d'entrée maximum	20.0 A	Efficacité EURO	94.0 %	
Remarques et Caractéristiques techniques					
Generic regulator for pumping systems. For pumping systems with MPPT inverter. The parameters are pre-setted according to the system (pumps and Array), at the beginning of the simulation. Unlike exceptions, they are not modifiable by the user.					
Facteurs de perte du champ PV					
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m ² K	Uv (vent)	0.0 W/m ² K / m/s	
Perte ohmique de câblage	Rés. globale champ	167 mOhm	Frac. pertes	1.5 % aux STC	
Perte de qualité module			Frac. pertes	1.5 %	
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes	1.0 % au MPP	
Perte de "mismatch" strings			Frac. pertes	0.10 %	
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo	0.05	
<i>PVsyst EVALUATION</i>					
<i>PVsyst EVALUATION</i>					

Figure (III.13): Résultat de rapport 2/5

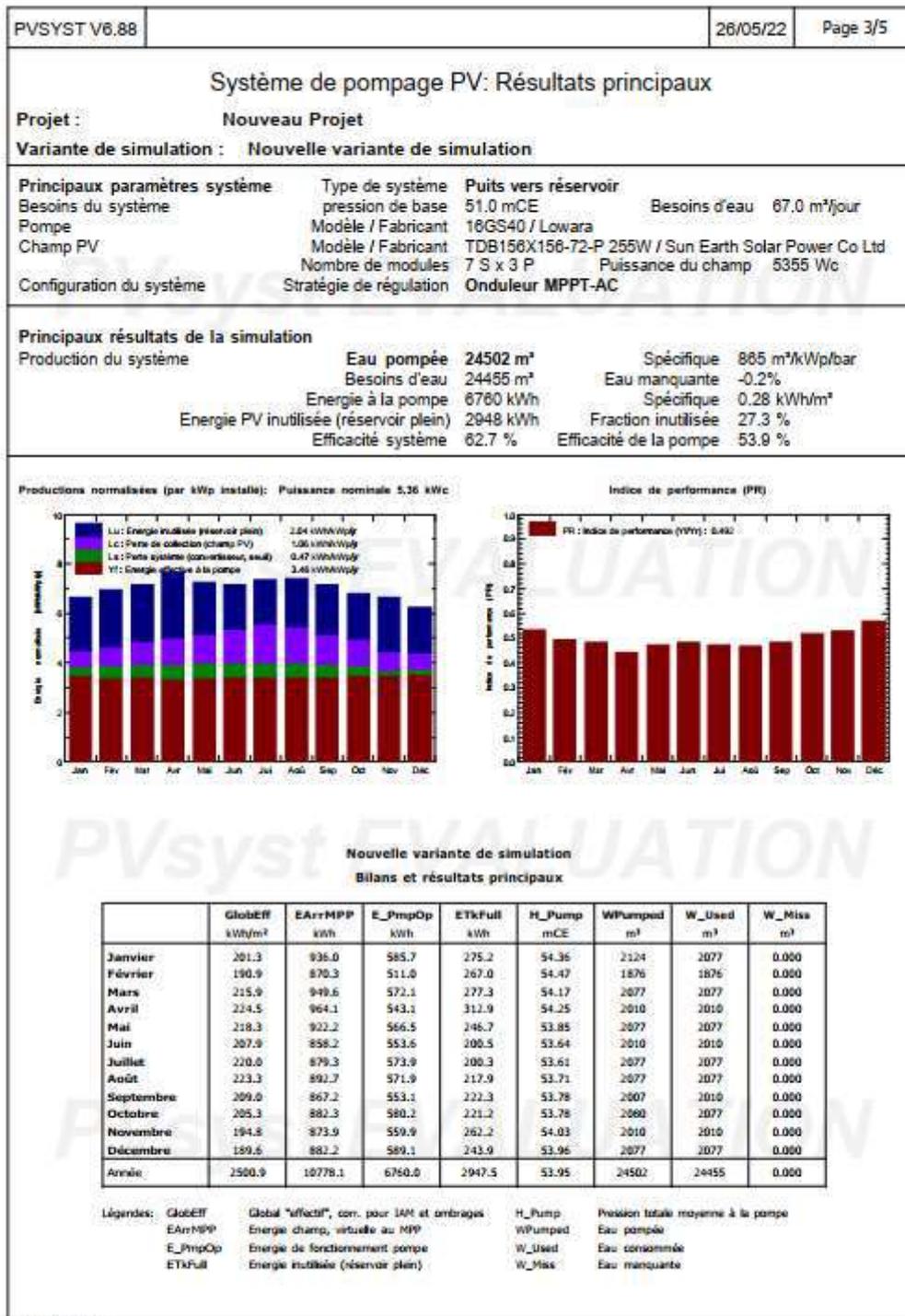


Figure (III.14): Résultat de rapport 3/5

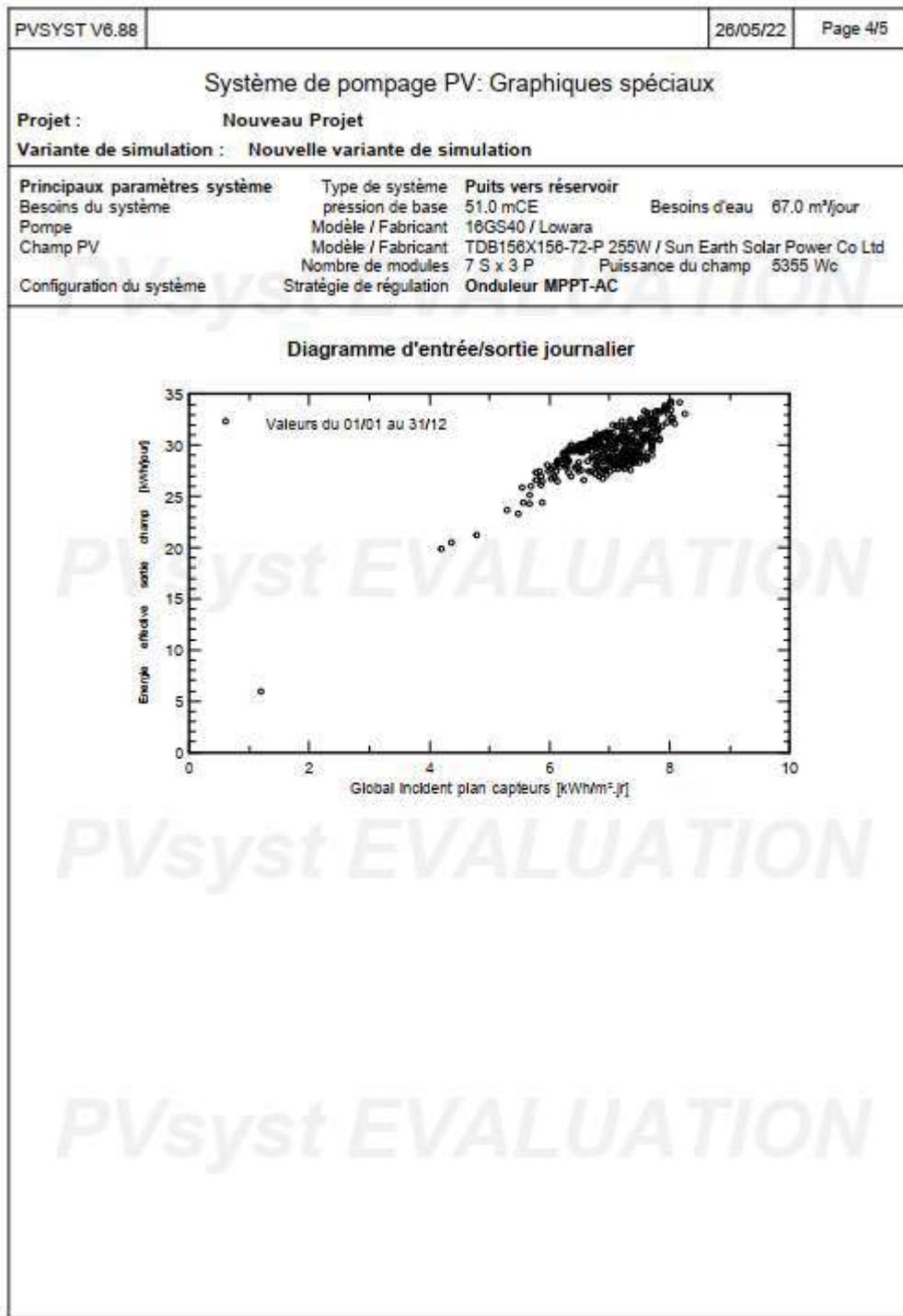


Figure (III.15): Résultat de rapport 4/5

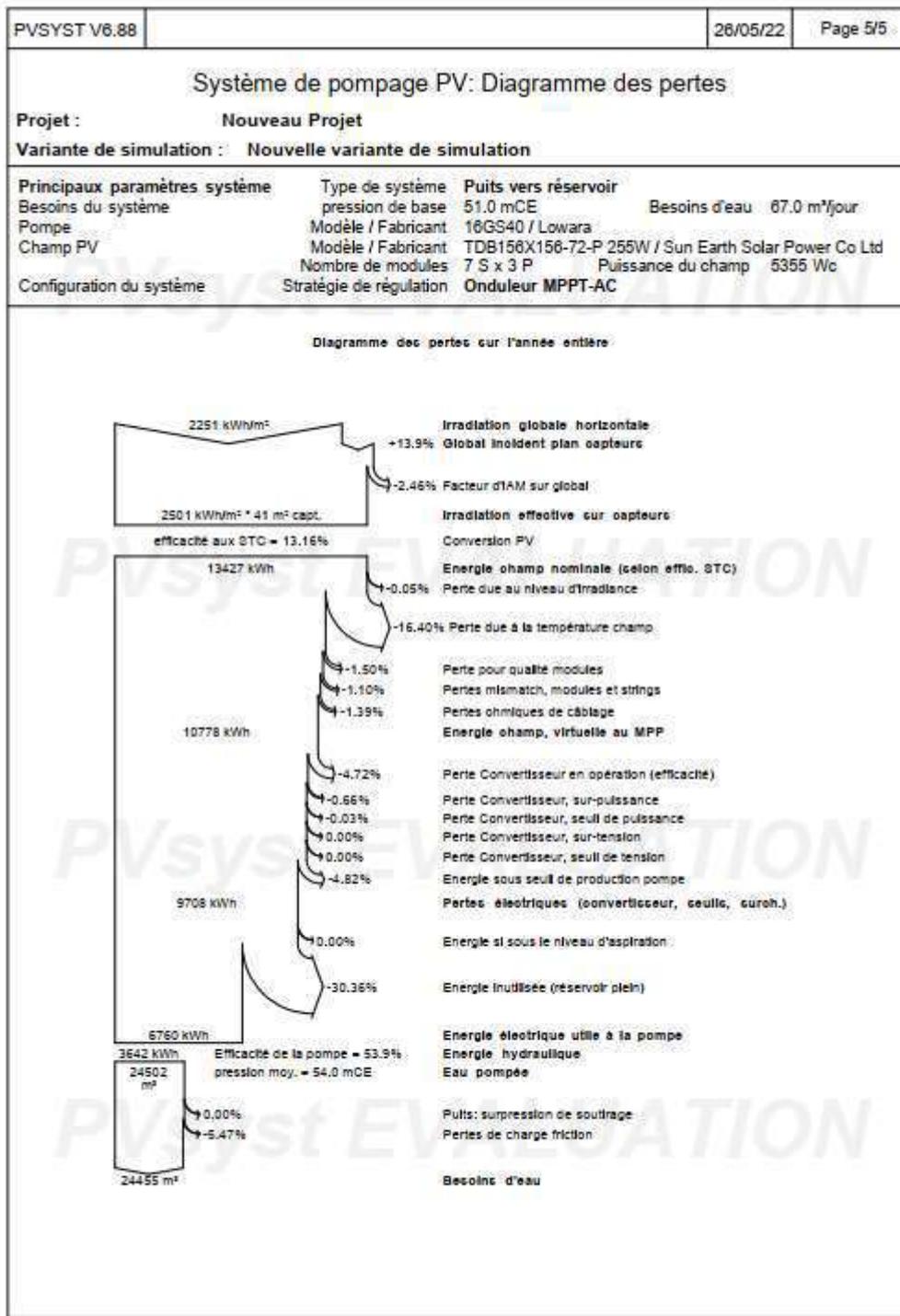


Figure (III.16): Résultat de rapport 5/5

III.9. Conclusion :

Dans ce dernier chapitre ,nous avons présenté tous les résultats après le conception d'un système de pompage photovoltaïque pour irriguer un hectare de palmiers dans la région de Ouargla ,après avoir défini et estimer les deux éléments plus importants qui sont : le volume de besoin en d'eau et le volume d'énergie nécessaire comme première étape ,qui est considérée comme importante car sur la base de laquelle nous avons choisi une épaule les composants de base tels que la pompe ,le générateur et autres selon l'étude

Conclusion générale

Conclusion générale

On peut comprendre et justifier l'intérêt de l'énergie solaire pour le pompage de l'eau à travers plusieurs facteurs importants ,dont une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuit, d'autre part ,c'est un élément essentiel pour répondre aux besoins des zones rurales et isolées .Dans ce travail nous avons dimensionner et appliqué un système photovoltaïque pour irriguer un hectare de Palmiers à la région de Ouargla, nous avons choisi précisément cette zone à étudier car elle bénéficie d'un taux d'ensoleillement élevé, surtout en été. Le travail est une étude technique. Nous sommes appuyés sur le système de pompage au fils de soleil (sans stockage de l'énergie), ce qui procure une grande facilité du fonctionnement. Les techniques de pompage solaire révèlent une multitude de solutions, L'optimisation des rendements et des coûts ne permet pas de généraliser une seule technique.

Notre étude ont montré que le pompage au fils de soleil reste une solution d'avenir par excellence, on note cependant qu'une meilleure connaissance des conditions nécessaires sur le terrain pour une utilisation optimale de l'investissement, il ne reste plus qu'à l'intégrer dans des projets de développement de plus vastes pour se rapprocher à des conditions d'une véritable autonomie. Le développement d'énergie photovoltaïque décentralisé, en particulier dans le sud de notre pays qui s'entend sur une grande superficie, également d'une grande réserve d'eau souterraine est très recommandé puisqu'il permet l'accès à l'eau facilement dans n'importe quel endroit.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *J. Royer, T. Djiako, E. Schiller, B. Sada Sy, « le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, IEPF/Université d'Ottawa /EIER/CREPA/ IEPF/CREPA.*
- [2] *M. Capderou, « Atlas solaire de l'Algérie », Office des publications universitaire Tome 1' Tome 2, Algérie 1986.*
- [3] *M. Belhadj Mohammed « Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque autonome » Mémoire de Magister , Centre Universitaire De Bechar ,2008.*
- [4] *A. VIAL, Étude des lignes de déclinaison d'un cadran solaire horizontal 2006, site internet "kaekoda.free.fr/bup/bup1".*
- [5] *Thomas B. Greenslade, Jr., « Heliostats », Jules-Célestin Jamin — « Cours de physique de l'École polytechnique. Tome 3 - Fasc. 2 » Gauthier-Villars et fils (Paris) - 1885-1906.*
- [6] *Arafa KADDOURI, « Conception et réalisation d'un suiveur solaire à deux axes », Ingénieur d'Etat en Système Electronique et Télécommunication, Université Mohamed Ben Abdellah Faculté des Sciences et Techniques Fès Département Génie Electrique, 2015.*
- [7] *MEZALANI Faiza , « détermination du gisement solaire par traitement d'images MSG » ,Mémoire de Magister , Département d'électronique , Option :télétection , université mouloud mammeri de tizi-ouzou 2007.*
- [8] *ZIDANE Ammar, « Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque au niveau d'un puits de gaz » Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa (Promotion Juin 2012).*
- [9] *AKLI YAMINA ET RAHALI DJAMILA, "Modélisation D'un Panneau Photovoltaïque Et Etude Comparative", Thèse De Master U. Tizi-Ouzou 2012.*
- [10] *Site D'informations Sur La Vie À Barfleur(3 Juin 2019 Antho).*
- [11] *El AZZOUZY Chaymae, « Dimensionnement d'une installation photovoltaïque », Rapport de fin d'étude, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah de Fes-Maroc (15 Juin 2015).*
- [12] *BOUKLI-HACENE Omar, « Conception et Réalisation d'un Générateur Photovoltaïque Muni d'un Convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Energétique », Thèse de Magister, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen (Décembre 2011).*

BIBLIOGRAPHIE

- [13] G. Dzimano, « Modeling of photovoltaic systems », Master thesis, The Ohio State University, USA, 2008.
- [14] A. Oi. « Design and simulation of photovoltaic water pumping system », These de Doctorate, California Polytechnic State University San Luis Obispo, 2005.
- [15] J. C. BERNÈDE, « ORGANIC PHOTOVOLTAIC CELLS : HISTORY, PRINCIPLE AND TECHNIQUES », Journal of the Chilean Chemical Society, vol. 53, p. 1549–1564, sept. 2008.
- [16] [www.assainissement-grand-paris.com].
- [17] M.G. Thomas, 'Water Pumping.- The Solar Alternative', Photovoltaic Design Assistance Center, Sandia National Laboratories, NM 8718 5, Albuquerque, 58 p., 1987.
- [18] ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales.
- [19] Labouret et M. Viloz, « Energie Solaire Photovoltaïque - 4ème édition », France : Dunod, 2009.
- [20] M. Angel, C. Pastor, « Conception et réalisation de modules Photovoltaïque électroniques », Thèse de Doctorat « Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse 2015 .
- [21] LAFIA SEIDOU IMOROU « Etude et dimensionnement des systèmes de pompage photovoltaïque dans les localités rurales du Bénin : cas de Adjakpata », Mémoire de master, 2017.
- [22] B. Molle, « Les stations de pompage individuelles pour l'irrigation », juin 1996.
- [23] A. HAMMIDAT, A. HADJ ARAB et M.T. BOUKADOUM « Performances et coûts des systèmes de pompage PV en Algérie », Revue des Energies Renouvelables. Vol. 8 pp (157 - 166), 2005.
- [24] A.SOUALMIA « Intégration de la production décentralisée dans un système de pompage photovoltaïque », Mémoire de Magister, Université de Constantine1, 2014.
- [25] MATALLAH Sorya, « Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla », Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah de Ouargla (07/06/2015).
- [26] A. Hadj Arab, M. Benghanem et A. Gharbi, « Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque », Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19 – 26.
- [27] S. LABED. « Le pompage photovoltaïque et le développement des régions sahariennes », Colloque International sur les Ressources en Eau Souterraines dans le Sahara (CIRESS) Ouargla - 12 et 13 décembre 2005. Pompage Photovoltaïque 'Rev.

BIBLIOGRAPHIE

- [28] B. Multon, H. B. Ahmed, N. Bernard, « Les moteurs électriques pour applications de grande série », Pierre-Emmanuel CAVAREC Antenne de Bretagne de l'École Normale Supérieure de Cachan, Revue 3EI juin 2000.
- [29] « Machines tournantes- les pompes centrifuges- technologie et fonctionnement des pompes.
- [30] www.legarrec.com/entrprise/differents-types-pompes-industrielles
- [31] THIERRY, K. Y. et MAURICE, S. **Système Photovoltaïque: Dimensionnement pour pompage d'eau, pour une irrigation goutte-à-goutte** Mémoire de DEA en Physique ; université de OUAGADOUGOU, 2007.
- [32] « Les Pompes », TOTAL Manuel de Formation : EXP-PR-EQ070 Révision 0.1, Dernière Révision : Mai 2007.
- [33] Guide d'Algérie : paysages et patrimoine, Algérie, Média-Plus, 1996, 319 p. ([ISBN](https://www.isbn-international.org/number/9961-9-2200-X) 9961-9-2200-X), p. 100.
- [34] www.climatsetvoyages.com
- [35] BEN KHELIFA Zahia, DEROUICHE Wafa « Etude de l'irrigation d'un champ agricole par le pompage photovoltaïque dans la région de Hassi Ben Abdallah Ouargla », Mémoire de Master, université de kasdi merbah Ouargla, 2017.
- [36] A. BOUCHAKOUR « Modélisation et simulation d'un système de pompage Photovoltaïque », Thèse de doctorat, université de Djillali labiés de sidi-bel- Abbes, 2018.
- [37] AMARENE Samir «Dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour un site (BTS, BSC) du réseau télécom wania», Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaia (19/09/2012).
- [38] A.DJAFOUR, « Etude d'une station de pompage photovoltaïque dans une région saharienne», Thèse de magistère, université de Ouargla, 2000.
- [39] www.panellipumps.it
- [40] www.salicru.com
- [41] www.condor.dz SPA condor Électronique Division Energies renouvelables.
- [42] Mohamed Lakhdar LOUAZENE, «Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le cite de Ouargla», Mémoire de magistère, Université el hadj Lakhdar – BATNA, 2007.
- [43] T.Ben aoun, S.Mouissi, « Etude d'un système couplant un générateur photovoltaïque

BIBLIOGRAPHIE

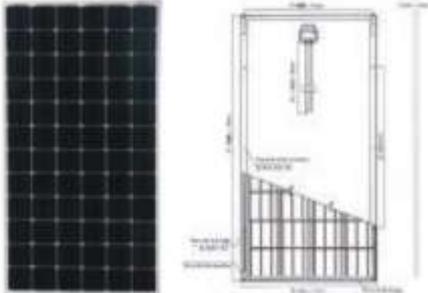
- et une charge électrolytique » Mémoire Master, Université Ouargla, 2015.*
- [44] *BOUKHLIF Hamza, « Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque De 300kw », Mémoire de Master, Université M'hamed Bougara de Boumerdes, promotion juin 2017 .*

BIBLIOGRAPHIE

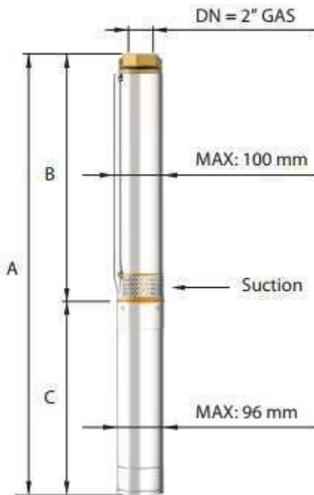
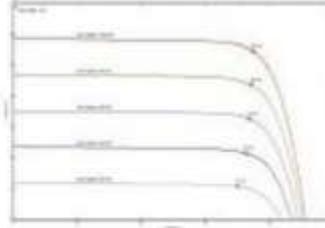
Module solaire photovoltaïque

Monocristallin 72 cellules

190/195/200Wc



Courbe I-V



Versioni disponibili
Available versions
Versions disponibles
Versiones disponibles



95 PR
Gabbia di aspirazione e mandata in ottone.
Suction cage and delivery bowl in brass



95 PRX
Gabbia di aspirazione e mandata in AISI 304 microfuso
Suction cage and delivery bowl in AISI 304 casted



95 PRG
Gabbia di aspirazione e mandata in ghisa con trattamento di cataforesi
Suction cage and delivery bowl in cast iron with CED (Cathode Electro Deposition)

n% = Rendimento della pompa
n% = Rendement de la pompe
n% = Pump efficiency
n% = Rendimiento de la bomba

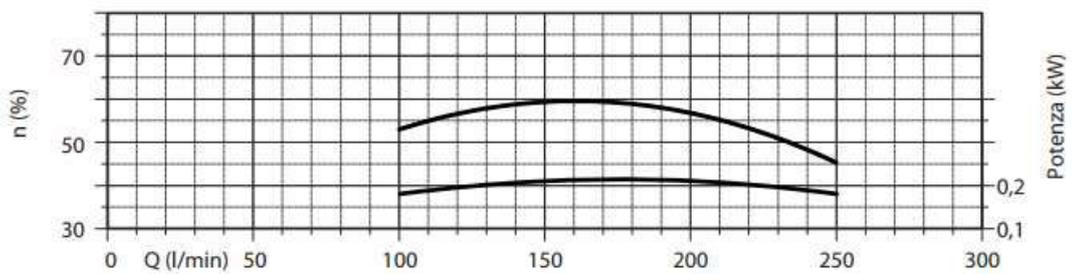
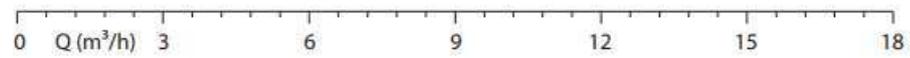
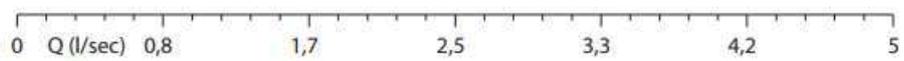
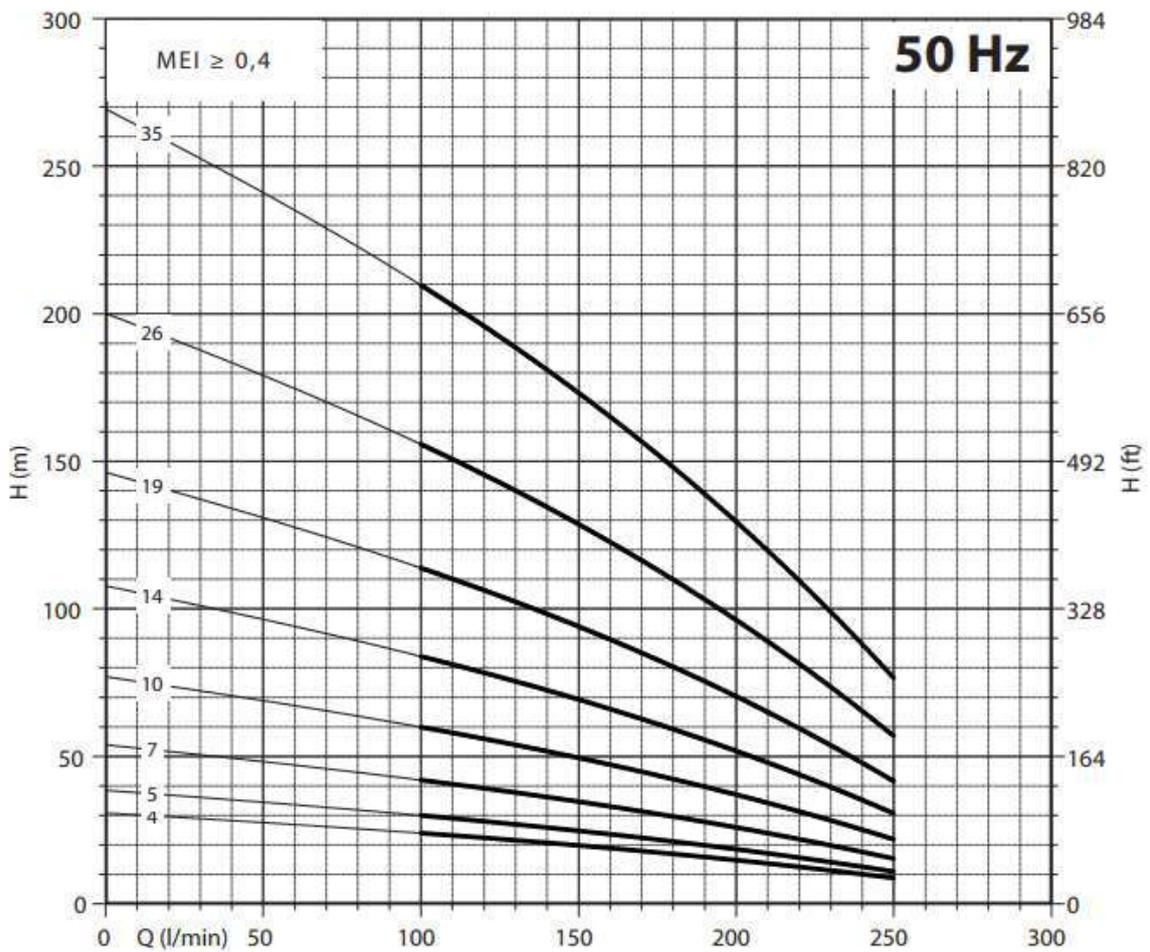
Max 60%

kW/st = Assorbimento per stadio
kW/st = Absorption par étage
kW/st = Stage absorption
kW/st = Potencia absorbida por etapa

Max 0,210

Tolleranze secondo UNI ISO 9906 livello 3B - Tolerances according to UNI ISO 9906 grade 3B

Annexes



NPSH (m)		25%	50%	75%	100%	
95 PR 10	95 PRX 10	95 PRG 10	2,2	2,2	3	4,8

Résumé

Le travail que nous présentons dans ce mémoire fait l'objet d'une étude de dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque dans une région saharienne Ouargla L'utilisation de l'énergie solaire dans les sites isolés pour différentes applications, tel que le pompage d'eau, présente un intérêt pour la population des pays en voie de développement qui n'a pas d'accès sûr à l'eau potable. Mais les générateurs photovoltaïques possèdent deux inconvénients majeurs qui sont un rendement faible et un coup élevé. Dans le but d'augmenter le rendement de ces systèmes. Une adaptation adéquate entre le générateur solaire et la charge permet de diminuer le coût de l'installation.

Le travail présenté dans ce mémoire concerne la modélisation, la simulation, le dimensionnement et la réalisation d'un système de pompage photovoltaïque fonctionnant au fil du soleil. Ce système est constitué d'un ensemble d'éléments se trouvant en interaction ; à savoir les panneaux photovoltaïques, l'onduleur de tension, le moteur asynchrone, la pompe centrifuge et le circuit hydraulique.

Mots-clés : Panneaux photovoltaïque, Energie solaire, Modélisation, Simulation, Dimensionnement et Réalisation ,Pompe centrifuge.

المخلص

إن العمل الذي تقدمه في هذه المذكرة هو موضوع دراسة تصميم نظام الضخ الكهروضوئي المخصص للري في منطقة صحراوية ورقلة

يعد استخدام الطاقة الشمسية في مواقع معزولة لتطبيقات مختلفة ، مثل ضخ المياه ، من الاهتمامات الرئيسية للأشخاص في البلدان النامية الذين لا يحصلون على مياه آمنة الشرب. لكن المولدات الكهروضوئية لها عيبان رئيسيان هما العائد المنخفض وضربة عالية.

من أجل زيادة أداء هذه الأنظمة. التكيف السليم بين المولد الشمسي والحمل يقلل من تكلفة التركيب. يتعلق العمل المقدم في هذه الأطروحة بالنمذجة والمحاكاة والتحجيم وتحقيق نظام الضخ الكهروضوئي الذي يعمل فوق الشمس. يتكون هذا النظام من مجموعة من العناصر المتفاعلة ؛ وهي الألواح الكهروضوئية ، ومحول التيار الكهربائي ، والمحرك غير المتزامن ، ومضخة الطرد المركزي ، والدائرة الهيدروليكية

كلمات مفتاحية : الألواح الضوئية ، الطاقة الشمسية ، النمذجة ، المحاكاة ، التحجيم والإدراك ، الحد الأقصى لتتبع ، مضخة الطرد المركزي

Abstract

The work how we present is the subject of a design study of a photovoltaic pumping system intended for irrigation in a Saharan region Ouargla.

The use of solar energy in isolated sites for different applications, such as water pumping, is of primary interest to people in developing countries who do not have safe access to water drinking. But photovoltaic generators have two major drawbacks that are a low yield and a high blow.

In order to increase the performance of these systems. Proper adaptation between the solar generator and the load reduces the cost of installation.

The work presented in this memory the modeling, simulation, sizing and realization of a photovoltaic pumping system operating over the sun. This system consists of a set of interacting elements; namely the photovoltaic panels, the voltage inverter, the asynchronous motor, the centrifugal pump and the hydraulic circuit.

Keywords: Photovoltaic panels, Solar energy, Modeling, Simulation, Sizing and Realization, Maximum Power Point Tracking (MPPT), Centrifugal Pump