

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

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTÉ DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Études de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et Technologies**
Filière : **Électrotechnique**
Spécialité : **Energies Renouvelables**

Présenté par

Rachid HAMALI
Oussama AMARA

Thème

Etude d'un Système de Pompage Photovoltaïque : Application à une Zone Agricole située à Sikh Oumeddour, Tizi-Ouzou

Mémoire soutenu publiquement le 08/10/2024 devant le jury composé de :

M Mohamed Lamine HAMIDA

Maitre de Conférences Classe A,

UMMTO,

Président

M Mustapha ZAOUIA

Professeur,

UMMTO,

Encadrant

M Meziane HAMEL

Maitre de Conférences Classe A,

UMBB,

Examineur

M Ahmed NAIT OUSLIMANE

Maitre de Conférences Classe B,

UMMTO,

Examineur

Remerciements

Tout d'abord nous tenons à remercier et louons Dieu qui nous a donné la force, la patience et la volonté tout ou long des années de nos études.

Nous tenons à présenter nos plus vifs et chaleureux remerciements à notre promoteur **Pr. ZAOUIA Mustapha** pour son aide et ses remarques pertinentes, pour sa patience et sa disponibilité.

Nous tenons également à remercier ceux qui ont eu l'honneur de juger notre travail en particulier le président du jury les examinateurs.

Nous remercions les enseignants du département d'électrotechnique qui nous ont éclairés de leur savoir.

A toute personne ayant contribué à la limite du possible de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

A la mémoire de mon grand-père merci pour les précieux souvenirs et les valeurs que tu m'as transmises tu es toujours présent dans mon cœur.

A ma grande mère que j'aime beaucoup.

A mes parents grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux propice à la poursuite de mes études.

A mon oncle *et* mes tantes pour leurs soutiens indéfectibles tout au long de mon parcours.

A mes sœurs et mes frères chacun on son nom.

A ma grande famille.

A tous ceux qui m'ont encouragé et aidé dans la réalisation de ce projet.

A tous mes amis chacun on son nom.

A tous mes collègues de promotion 2024.

HAMALI Rachid

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

À mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien moral et leur confiance inébranlable qui m'ont toujours guidé.

À mon frère, et à mes sœurs, chacun de son nom pour leur présence bienveillante et leurs encouragements constants.

À tous mes amis, qui ont été une source de motivation et de réconfort, et plus particulièrement à Amar, Amine, Yacine, Ayham et Samy, pour leur amitié indéfectible et leur soutien inestimable.

À la promotion ETH 2024, pour tous les moments de partage, de travail et de camaraderie qui ont enrichi cette aventure.

À l'équipe de la salle des fêtes Yemma Ouardia, pour leur collaboration et l'ambiance de travail motivante.

AMARA OUSSAMA

Sommaire

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

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de pompage photovoltaïque

I.1 Introduction	3
I.2 Généralités sur le système photovoltaïque	3
I.2.1 Energie solaire photovoltaïque	3
I.2.2 Cellule photovoltaïque.....	3
I.2.3 Type des cellules photovoltaïques	4
I.2.4 Avantage et inconvénient de la cellule photovoltaïque.....	5
I.3 Modèle d'une cellule solaire	6
I.4 Association des cellules.....	6
I.4.1 Association série.....	6
I.4.2 Association parallèle.....	7
I.4.3 Association série-parallèle des cellules	7
I.5 Influence du rayonnement sur les cellules.....	8
I.6 Influence de la température sur le rendement des cellules	8
I.7 Module photovoltaïque (PV).....	9
I.7.1 Le générateur photovoltaïque	9
I.8 Type des systèmes photovoltaïque	10
I.8.1 Installations photovoltaïques raccordées au réseau	10
I.8.2 Installations photovoltaïques hybride	11
I.8.3 Installations photovoltaïques autonomes	11
I.9 Le pompage photovoltaïque	12
I.9.1 Méthodes de pompages.....	12
I.9.1.1 Pompage au fil de soleil.....	12
I.9.1.2 Pompage avec batterie	13
I.10 Composants d'un système de pompage PV.....	14
I.11 Groupe électropompe	16
I.11.1 La pompe	16
I.11.2 Pompes centrifuges.....	16
I.11.3 Constitutions d'une pompe centrifuge.....	16
I.11.4 Principe de fonctionnement de la pompe centrifuge	17
I.12 Pompes volumétriques.....	17
I.13 Les pompes de surface et les pompes immergées	18
I.13.1 Classification des moteurs utilisés dans le pompage.....	18
I.14 Moteur à courant continu.....	19

I.15 Moteur à courant alternatif	20
I.16 Les moteurs synchrones	20
I.17 Les moteurs asynchrones.....	21
I.18 Avantages et inconvénients du pompage photovoltaïque.....	22
I.18.1 Avantages	22
I.18.2 Inconvénients.....	22
I.19 Conclusion.....	22

Chapitre II : Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque

II.1 Introduction	23
II.2 Hauteur manométrique totale HMT	23
II.3 Rabattement.....	24
II.4 Le débit.....	24
II.5 Etapes de dimensionnement du système pompage photovoltaïque.....	24
II.5.1 Evaluation des besoins en eau	24
II.5.2 Calcul de l'énergie hydraulique.....	25
II.5.3 Calcul de l'énergie électrique quotidienne requis.....	25
II.5.4 Calcul de l'énergie consommée par la pompe.....	25
II.5.5 L'énergie produit journalière	26
II.5.6 Dimensionnement du champ photovoltaïque	26
II.6 Configuration du système de pompage	29
II.7 Système de pompage adapté.....	29
II.8 Principaux avantages de ce système de pompage photovoltaïque	29
II.9 Principaux inconvénients de ce système de pompage photovoltaïque.....	30
II.10 Conclusion.....	30

Chapitre III : Application au système de pompage photovoltaïque situé à Sikh Oumeddour Tizi-Ouzou

III.1 Introduction	31
III.2 Identification du site	31
III.2.1 Données météorologiques	32
III.3 Evaluation des besoins en eau	32
III.3.1 La hauteur manométrique HMT	33
III.4 Choix de la pompe :	34
III.5 L'énergie hydraulique.....	34
III.6 L'énergie électrique	34
III.7 Calcul de l'énergie consommée par la pompe	35

III.8	Calcul de l'énergie à produire	35
III.9	Calcul de la puissance crête P_c du générateur photovoltaïque.....	35
III.10	Choix de panneau photovoltaïque.....	35
III.10.1	Le nombre de panneaux du système N_m	36
III.10.2	Le nombre de panneaux en série N_s	36
III.10.3	Le nombre de panneaux en parallèle N_p	37
III.11	Correction de la puissance crête :	37
III.12	Choix de l'onduleur	37
III.13	Conclusion	37

Chapitre IV : Simulation par PVsyst du système pompage photovoltaïque

IV.1	Introduction	38
IV.2	Types de la simulation de l'ensemble PV.....	38
IV.2.1	Conception du projet	38
IV.3	Choix du système d'alimentation à étudier du projet.....	39
IV.3.1	Désignation du projet	39
IV.3.2	Données Météorologiques mensuelles du site Tizi-Ouzou	40
IV.3.3	Diagramme de la trajectoire du soleil du site Tizi-Ouzou.....	40
IV.3.4	Définition de l'orientation des panneaux photovoltaïques.....	41
IV.3.5	Evaluation des besoins hydrauliques.....	41
IV.4	Evaluation des besoins on eau	42
IV.5	Choix de la pompe :.....	43
IV.6	Dimensionnement du champ photovoltaïque	43
IV.7	Schéma de l'installation du système PV-Pompe :	45
IV.8	Résultats de simulation.....	45
IV.8.1	Caractéristiques $I=f(V)$ et $P=(V)$ en fonction des irradiations et de la température..	45
IV.9	Rapport de la simulation et interprétation	47
IV.10	Conclusion	53
	Conclusion générale	54

Références Bibliographies

Introduction générale

Introduction générale

L'accès à l'eau est un enjeu crucial pour de nombreuses régions du monde, particulièrement dans les zones rurales et isolées. Le pompage de l'eau représente une solution essentielle pour répondre aux besoins domestiques, agricoles et industriels, mais il est souvent limité par l'absence de réseaux électriques dans ces zones reculées. Dans ce contexte, le pompage photovoltaïque, qui utilise l'énergie solaire pour extraire l'eau, s'impose comme une solution à la fois durable et économiquement viable. L'utilisation de cette technologie permet de répondre aux besoins en eau tout en s'appuyant sur une ressource abondante et renouvelable : l'énergie solaire [1].

L'intégration du pompage photovoltaïque dans les systèmes d'irrigation agricole permet aux agriculteurs de renforcer leur autonomie énergétique tout en optimisant l'utilisation des ressources en eau. Cela favorise une gestion plus durable et efficace des ressources hydriques, essentielle dans un contexte de changement climatique où la disponibilité de l'eau devient de plus en plus incertaine. En outre, le pompage photovoltaïque contribue à accroître la résilience des systèmes agricoles face aux chocs climatiques et économiques, sécurisant ainsi les revenus des agriculteurs et réduisant la vulnérabilité des communautés rurales [1].

À travers cette étude, nous viserons à démontrer la pertinence et l'efficacité du pompage photovoltaïque, en tant que solution à long terme pour le développement durable, notamment dans les régions où l'accès à l'eau et à l'électricité demeure un défi majeur [2].

Ce mémoire a pour objectif de présenter une étude sur le dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque. Le travail est subdivisé en quatre chapitres.

Le premier chapitre sera consacré aux généralités sur les systèmes de pompage photovoltaïque, nous donnons les principes de base, les panneaux photovoltaïques et les différents types de pompes utilisés en fonction des conditions géographiques et ces besoins spécifiques en eau.

Le deuxième chapitre traitera le dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque. Ce chapitre s'intéressera aux étapes de calcul, notamment l'évaluation des besoins en eau, la détermination de l'énergie nécessaire et la conception du panneau photovoltaïque qui alimentera notre système de pompage.

Le troisième chapitre présentera une application d'un système de pompage photovoltaïque située dans la zone de Sikh Oumeddour, wilaya de Tizi-Ouzou. Il s'agit d'irrigation en eau d'un terrain agricole de six hectares comprenant 2000 arbres. Lors des calculs nous mettons en évidence les conditions météorologiques locales telles que l'irradiation solaire et les besoins en eau

Le dernier chapitre sera consacré à la simulation en utilisant le logiciel PVsyst. Les résultats qui seront obtenu à partir de logiciel seront discutés.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I :

Généralités sur les systèmes de pompage photovoltaïque

I.1 Introduction

Devant la demande croissante de l'énergie électrique, essentiellement pour les sites isolés (régions sahariennes, régions montagneuses), où le raccordement au réseau électrique public est très coûteux, l'énergie solaire photovoltaïque constitue la solution la plus avantageuse. Car elle est inépuisable, propre et offre une grande sécurité d'utilisation.

Ce chapitre présente des généralités sur l'énergie photovoltaïque en générale et en particulier le système de pompage solaire. La cellule photovoltaïque est l'élément fondamental de la conversion de l'énergie rayonnée par le soleil en quantité d'énergies électriques. Par ailleurs, les principales applications des systèmes photovoltaïques ont été discutées et les principes de fonctionnement des différentes configurations sont décrits. On s'est intéressé aux systèmes de pompage que nous avons passé en revue les configurations adoptées afin de nous guider ultérieurement à l'étude que nous avons projeté de mener dans ce mémoire. Et à la fin on va s'étaler sur les avantages et les inconvénients de système de pompage photovoltaïque [1].

I.2 Généralités sur le système photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques convertissent la lumière du soleil en électricité grâce à des cellules solaires :

I.2.1 Energie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire dans une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire ou module photovoltaïque. Plusieurs modules regroupés forment un champ photovoltaïque [2].

I.2.2 Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque fonctionne grâce au phénomène physique connu sous le nom d'un « effet photovoltaïque ». Lorsqu'elle est exposée à la lumière, une force électromotrice se manifeste à sa surface. La tension produite varie entre 0,3 V et 0,7 V, en fonction du matériau utilisé, de sa configuration, de la température de la cellule, ainsi que de son vieillissement. [1].

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium comme le montre la Figure I-1, le silicium a quatre électrons dans sa couche de valence, une des couches dopées au phosphore(P) a cinq électrons dans sa couche de valence (surplus d'électrons) et l'autre

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de pompage photovoltaïque

dopée au bore (B) a trois électrons dans sa couche de valence (déficit d'électrons) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel [2].

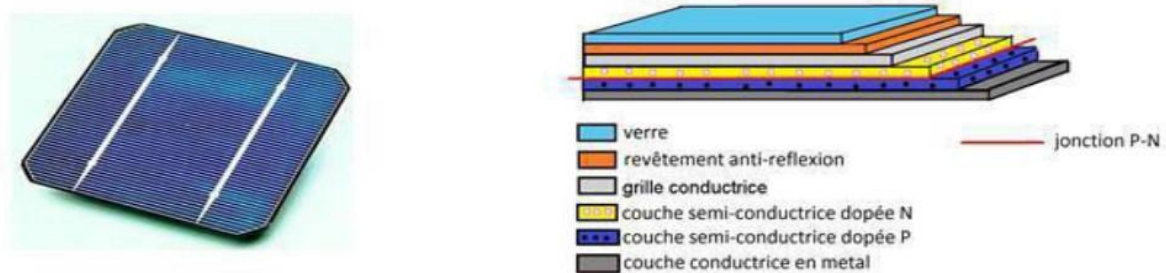


Figure I.1 : Structure d'une cellule solaire [3].

Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule [2].

I.2.3 Type des cellules photovoltaïques

Il existe plusieurs types de cellules photovoltaïques, chacune ayant un rendement et un coût spécifiques. Cependant, quel que soit le type, leur rendement reste relativement faible, variant entre 8 et 23 % de l'énergie reçue. Les trois principaux types de cellules sont les suivants (voir figure I.2). [1] :

- **Cellules monocristallines** : Elles ont le meilleur rendement (de 12 à 18% voir jusqu'à 24% en laboratoire) Cependant, elles coûtent trop chers dues à leur fabrication complexe.
- **Cellules poly-cristallines** : Leur conception est plus facile et leur coût de fabrication est moins important. Cependant leur rendement est plus faible (de 11% à 15% voir jusqu'à 19.8 en laboratoire).
- **Cellules amorphes** : Elles ont un faible rendement (de 5% à 8% voir jusqu'à 13% en laboratoire), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.

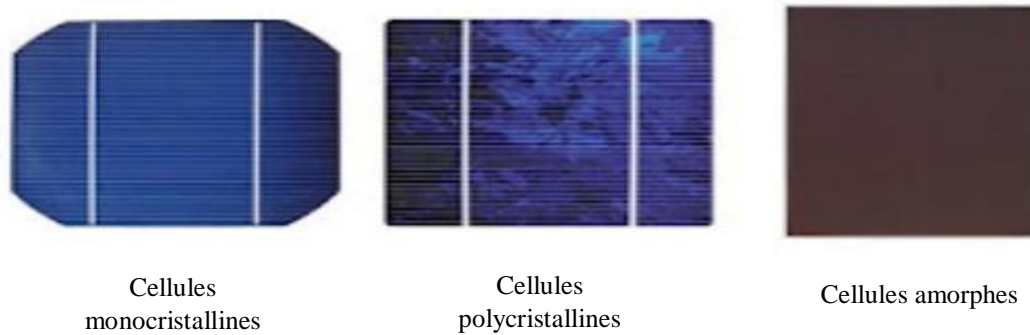


Figure I.2. Types de cellule photovoltaïque [3].

I.2.4 Avantage et inconvénient de la cellule photovoltaïque

Le tableau I.1 résume les principaux avantages et inconvénients des cellules photovoltaïques, permettant ainsi de mieux évaluer leur efficacité et leur pertinence :

Tableau I.1. Avantages et inconvénients d’une cellule photovoltaïque [4].

	Avantage	Inconvénient
Cellule monocristallines	<ul style="list-style-type: none"> •Bon ratio W_C/m^2 (Environ $150 W_C/m^2$). • Nombre de fabricants élevé. 	<ul style="list-style-type: none"> •Coût élevé. •Rendement faible sous un faible éclairement.
Les cellules polycristallines	<ul style="list-style-type: none"> •Cellule carrée (à coins arrondis dans le cas du Silicium monocristallin). •Permettant un meilleur foisonnement dans un module. •Moins chère qu’une cellule monocristalline. 	<ul style="list-style-type: none"> •Ratio W_C/m^2 moins bon que pour le monocristallin (environ $100 W_C/m^2$). •Rendement faible sous un faible éclairement.
Les cellules minces	<ul style="list-style-type: none"> •Fonctionne avec un éclairement faible ou diffus (même par temps couvert). •Un peu moins chère que les autres technologies. •Intégration sur supports souples ou rigides. 	<ul style="list-style-type: none"> •Nécessité de couvrir des surfaces plus importantes que lors de l’utilisation de silicium cristallin (ratio W_C/m^2 plus faible, environ $60 W_C/m^2$). •Performances qui diminuent avec le temps (environ 7%).

I.3 Modèle d'une cellule solaire

Une cellule photovoltaïque est souvent présentée comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant shuntée par une diode. Pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, le modèle est complété par deux résistances série R_s et R_p comme le montre le schéma équivalent de la Figure I.3 suivant [1].

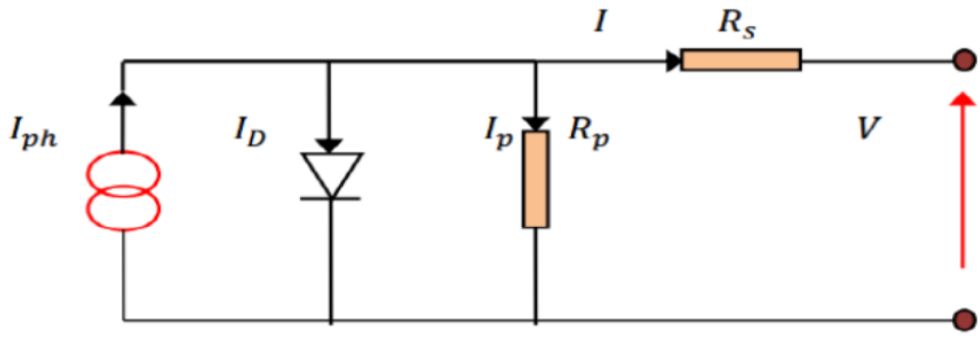


Figure I.3. Schéma équivalent de cellule PV [5]

La résistance série est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles. La résistance shunt est due à un courant de fuite au niveau de la jonction.

I.4 Association des cellules

Les différentes associations de cellules photovoltaïques, notamment les configurations en série, en parallèle et hybrides, ainsi que leurs implications sur la performance et l'efficacité des systèmes photovoltaïques.

I.4.1 Association série

Dans un groupement en série, les cellules sont parcourues par le même courant et la caractéristique globale du groupement en série est déterminée en additionnant les tensions pour un courant (voir la figure I.4) [6].

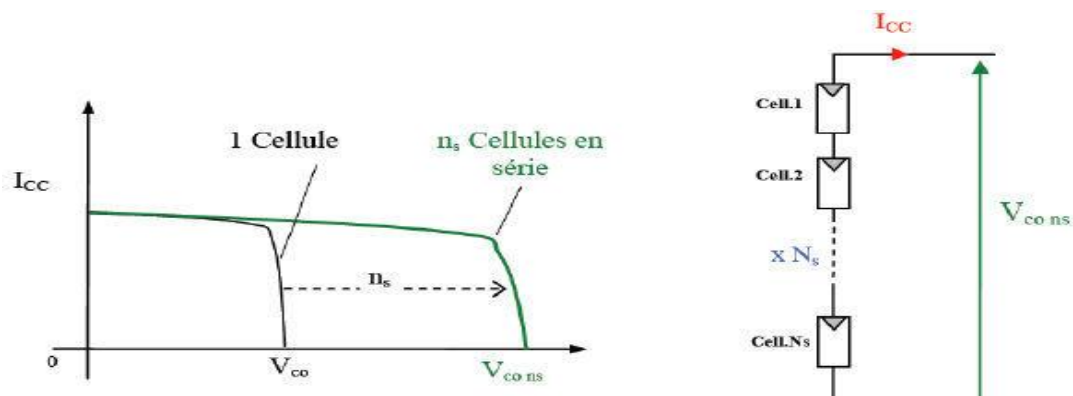


Figure I.4. Groupement des cellules en série [6].

I.4.2 Association parallèle

Lorsqu'on associe des photopiles en parallèle, le courant total est la somme des courants individuels, tandis que la tension reste égale à celle d'une seule cellule. La courbe de puissance pour N_p cellules (ou modules) en parallèle, comme illustrée dans la Figure I.5, est obtenue en maintenant une tension identique pour chaque élément, tandis que les courants se combinent en multipliant le courant de chaque cellule élémentaire par N_p pour chaque valeur de tension [7].

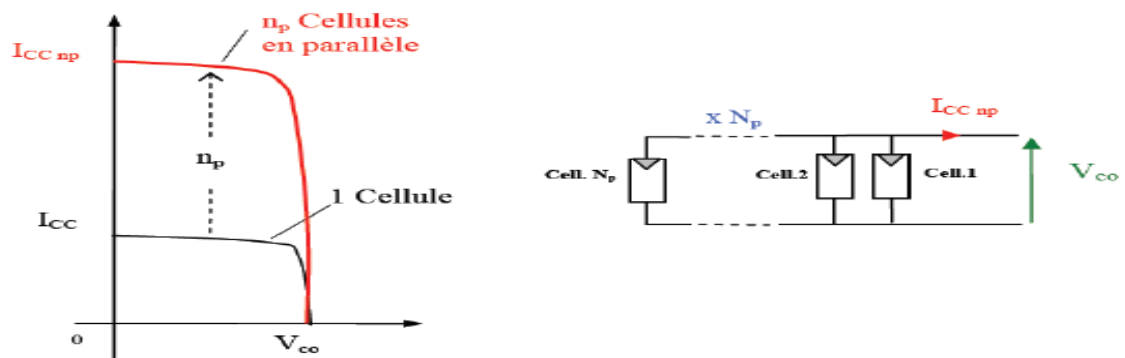


Figure I.5. Groupement des cellules en parallèle [7].

I.4.3 Association série-parallèle des cellules

Dans une association hybride série-parallèle, le courant total correspond à la somme des courants produits par chaque cellule individuelle, tandis que la tension totale est la somme des tensions générées par chacune des cellules présentées dans la Figure I.6 [8].

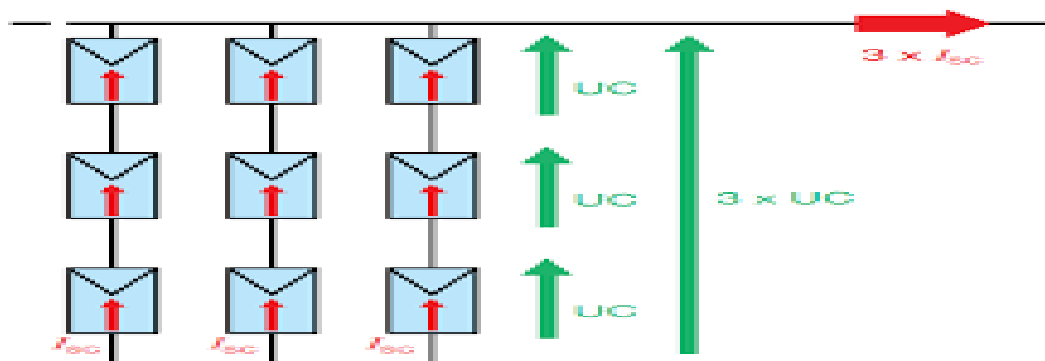


Figure I.6. Groupement série-parallèle des cellules [8].

I.5 Influence du rayonnement sur les cellules

La jonction PN réagit différemment selon l'énergie qu'elle reçoit. Plus elle reçoit d'énergie plus elle en restitue, mais toujours avec un coefficient de rendement très faible de l'ordre de 15%. La variation des caractéristiques est représentée par les courbes données par la Figure I.7. Pour différents niveaux d'irradiation, le changement du courant optimal est très important. Ceci confirme l'approximation faite classiquement sur le courant optimal délivré par un générateur PV qui est globalement proportionnel au niveau d'irradiation [5].

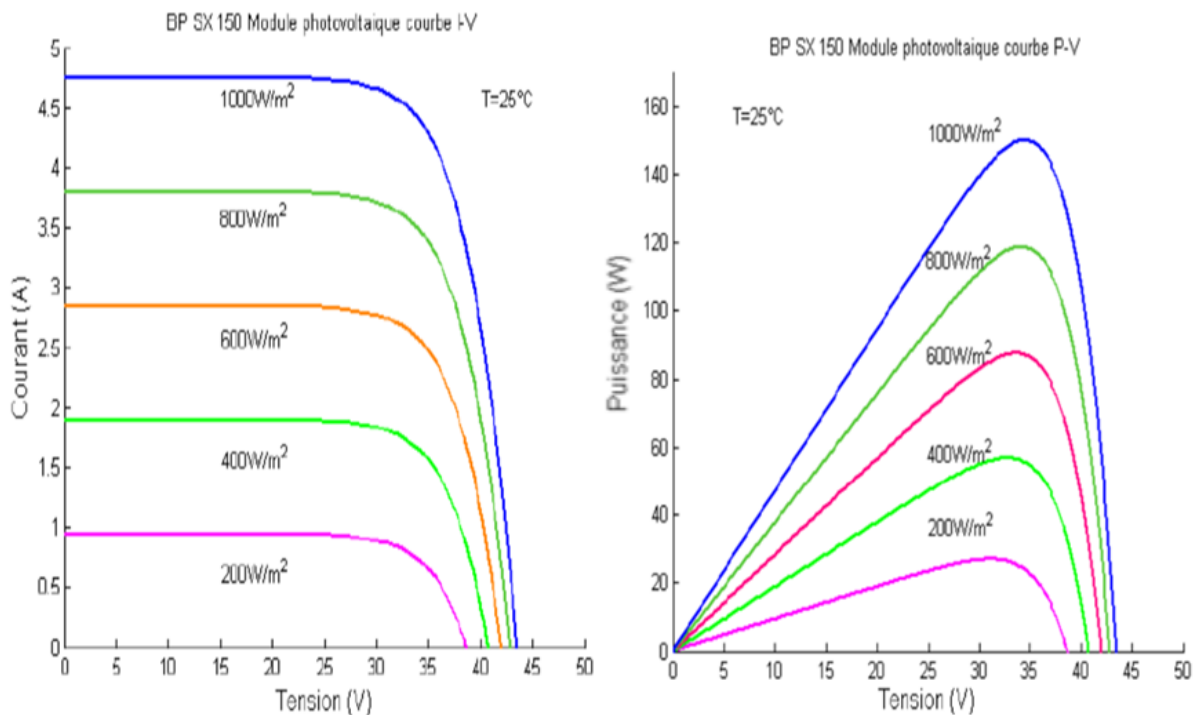


Figure I.7. Effet de l'éclairement sur les caractéristiques I-V, P-V [5].

I.6 Influence de la température sur le rendement des cellules

La figure (I.8) ci-dessous montre que la tension à vide d'une cellule solaire diminue avec l'augmentation de la température de la cellule. L'ordre de grandeur des pertes est de 2.3 mV par degré Celsius par cellule. Le courant de court-circuit, par contre, augmente légèrement avec la température de la cellule (environ 0.05 % à 0,1% de courant nominal par degré Celsius). La Figure I.8 ci-dessous montre clairement la baisse du rendement causée par l'augmentation de la chaleur sur la cellule [5].

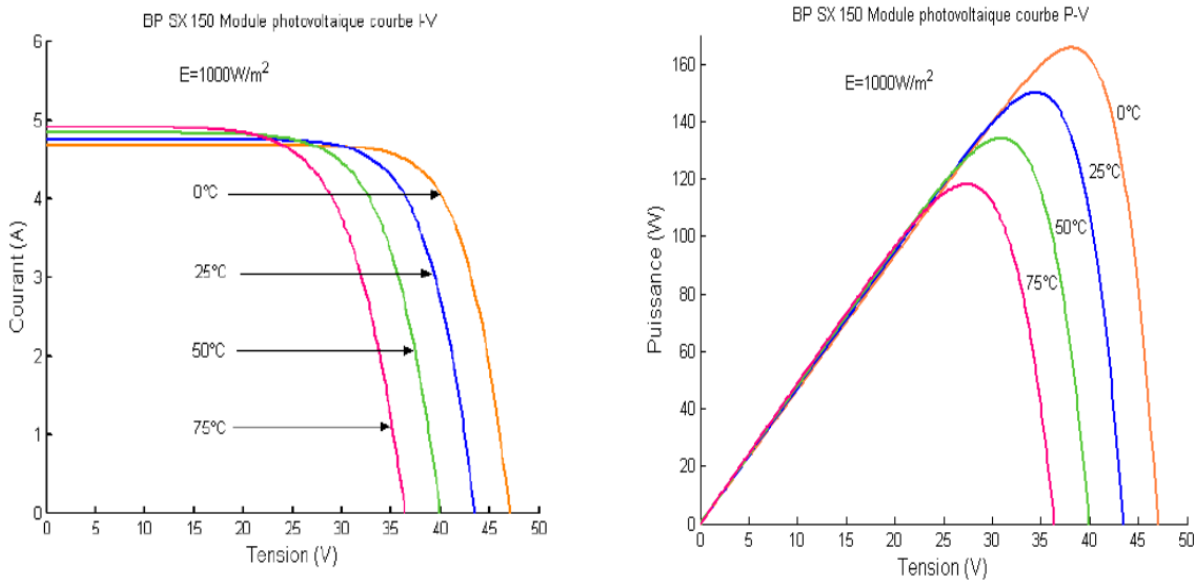


Figure I.8. Effet de la température sur les caractéristiques I-V, P-V [5].

I.7 Module photovoltaïque (PV)

Il est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement (voir la figure I.9) [1].



Figure I.9. Module photovoltaïque [1].

I.7.1 Le générateur photovoltaïque

L'interconnexion de plusieurs modules, en série ou en parallèle, permet d'obtenir une puissance plus grande, formant ainsi un générateur photovoltaïque (appelé aussi champ photovoltaïque) (voir la figure I.10) [1].



Figure I.10. Générateur photovoltaïque [1].

I.8 Type des systèmes photovoltaïque

Cette section se concentre sur les types de système photovoltaïque (PV), présentent leurs spécificités, leurs modalités de fonctionnement.

I.8.1 Installations photovoltaïques raccordées au réseau

Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau (Sonelgaz en Algérie). Généralement sur des habitations ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement. Un générateur photovoltaïque connecté au réseau n'a pas besoin de stockage d'énergie et élimine donc le maillon le plus problématique (et le plus cher) [16].

C'est le réseau dans son ensemble qui sert de réservoir d'énergie. Il y'a deux formes d'injection du courant photovoltaïque. Soit injecter la totalité de la production photovoltaïque au réseau. Soit injecter le surplus de la production photovoltaïque au réseau.

Il existe deux compteurs d'énergie qui sont nécessaire (voir figure I.11).

- Un compteur comptabilise l'énergie achetée au fournisseur d'énergie (consommation) et un autre compteur mesure l'énergie renvoyée sur le réseau électrique lorsque la production dépasse la consommation.
- Un troisième compteur est ajouté dans le cas où l'énergie produite est injectée en intégralité dans le réseau (compteur de non-consommation).
- Un onduleur pour la conversion du courant continu des panneaux en alternatif, et ce dernier doit être homologué par la compagnie d'électricité qui va recevoir ce courant, afin de s'assurer sur sa qualité « sinusoïdale ».

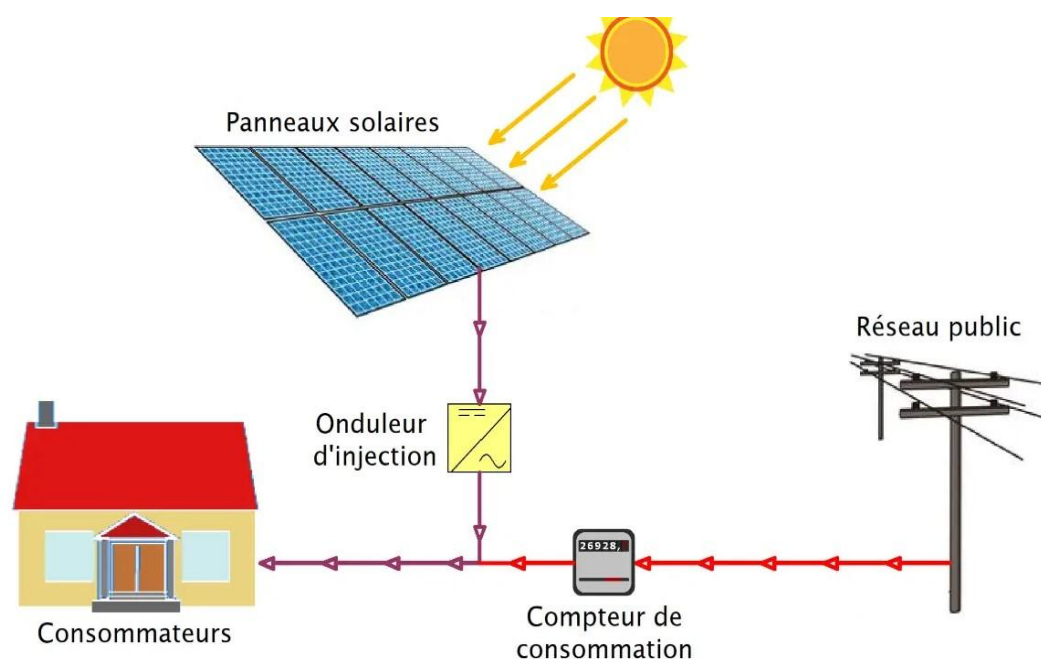


Figure I.11. Schéma globale d'une installation PV raccordé au réseau [16].

I.8.2 Installations photovoltaïques hybride

Les systèmes photovoltaïques hybrides intègrent un générateur photovoltaïque et un autre générateur : éolienne, groupe électrogène... et même parfois le réseau public d'électricité. En général, un système de batteries stocke l'énergie et permet ainsi de ne pas perdre l'énergie des sources aléatoires telles que le solaire ou l'éolien comme le montre dans la Figure I.12. La difficulté de ce type de système est d'équilibrer les différentes sources d'énergie de façon à toutes les optimiser, étant entendu que les sources thermiques et le réseau public, sont toujours les appoints de dernier recours [17].

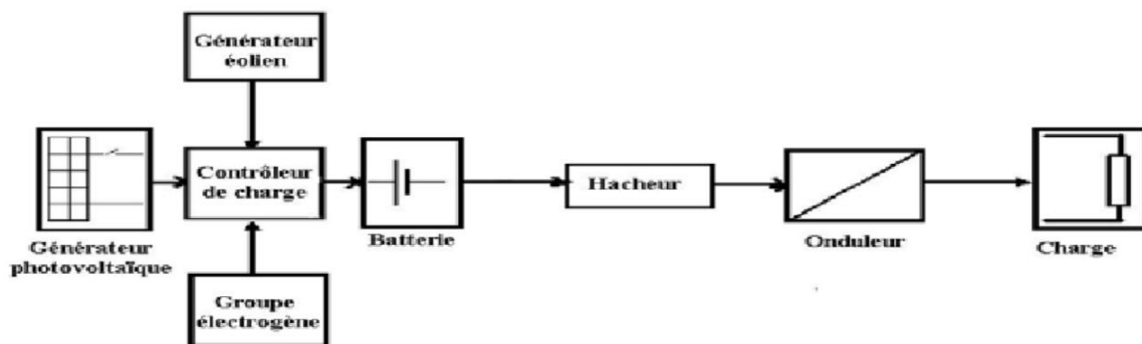


Figure I.12. Schéma d'une installation d'un système hybride [16].

I.8.3 Installations photovoltaïques autonomes

Les installations photovoltaïques autonomes sont des systèmes solaires conçus pour alimenter en électricité des installations ou des sites qui ne sont pas reliés au réseau électrique public. Ces installations sont généralement utilisées dans des zones isolées, telles que des zones rurales éloignées, des sites de camping, des refuges de montagne, des installations agricoles éloignées, des îles, etc. Elles offrent une solution énergétique indépendante et durable (voir la figure I.13) [17].

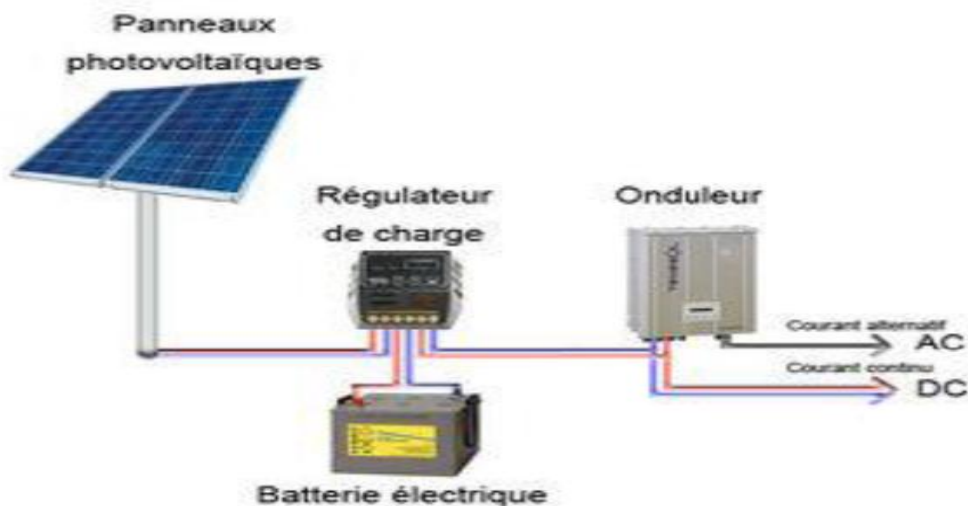


Figure I.13. Installation photovoltaïque autonome [16].

I.9 Le pompage photovoltaïque

Le pompage solaire représente la solution idéale pour l'approvisionnement en eau partout où le réseau électrique est absent (alimentation en eau pour un usage domestique, pour l'irrigation agricole, ...etc.). D'autre part, l'énergie photovoltaïque ne présente aucun risque de pollution de l'eau, contrairement aux générateurs diesel où des écoulements de combustible peuvent se produire [6].

I.9.1 Méthodes de pompages

Pour pomper l'eau avec un système photovoltaïque, deux techniques sont possibles : Dans la première technique, l'énergie solaire est consommée en « temps réel » ; On parle alors d'un « pompage au fil du soleil ». Cette solution nécessite un stockage de l'eau dans un réservoir (l'eau pompée pendant la journée est stockée afin d'être utilisée plus tard, le soir par exemple). La deuxième méthode consiste à utiliser un stockage de l'énergie, cette fois-ci, via des batteries. L'énergie stockée la journée peut être utilisée plus tard pour pomper l'eau [5].

I.9.1.1 Pompage au fil du soleil

Comme le montre la Figure I.14 la méthode de pompage "au fil du soleil" présente une alternative simplifiée, fiable et économique, Dans cette approche, l'eau elle-même est pompée et stockée lorsque l'ensoleillement est suffisant, ce qui constitue un système de stockage hydraulique. L'eau est stockée dans un réservoir situé en hauteur pour permettre une distribution par gravité au besoin. Il est important de noter que ces réservoirs peuvent être construits localement, nécessitent un entretien simple et peuvent être réparés sur place. La capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours selon les modèles disponibles [9].

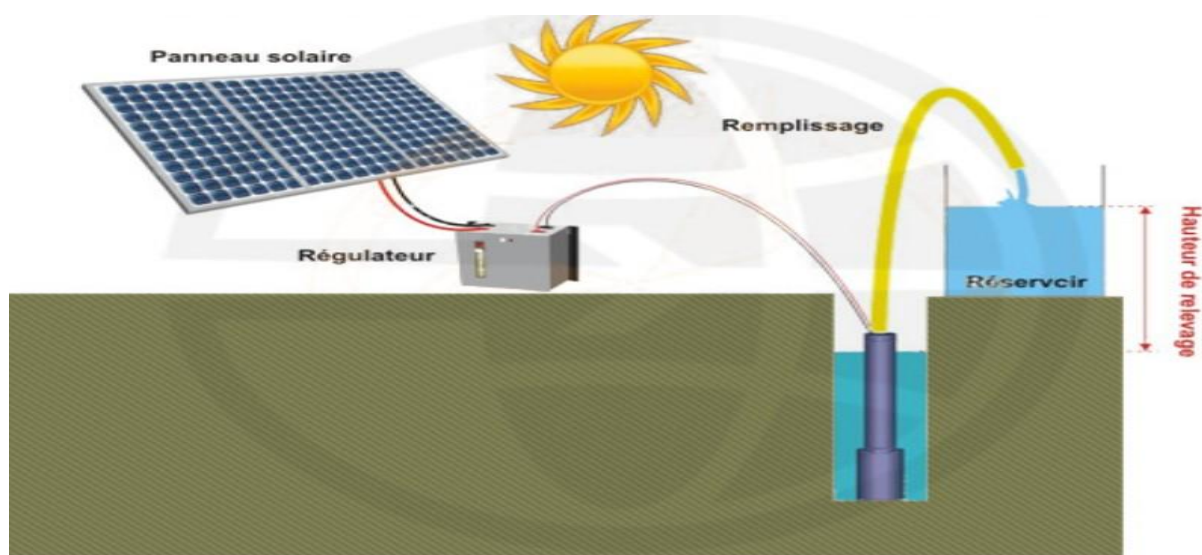


Figure I.14. Pompage photovoltaïque au fil du soleil [9].

I.9.1.2 Pompage avec batteries

Comme le montre la Figure I.15 cette technique consiste à utiliser un stockage d'énergie via des batteries. Ces batteries stockent l'énergie produite par les cellules photovoltaïques lors des périodes d'ensoleillement afin de pouvoir restituer cette énergie pour pomper l'eau en temps voulu. Le débit de pompage peut se faire à la demande, lorsque les utilisateurs en ont besoin [10].

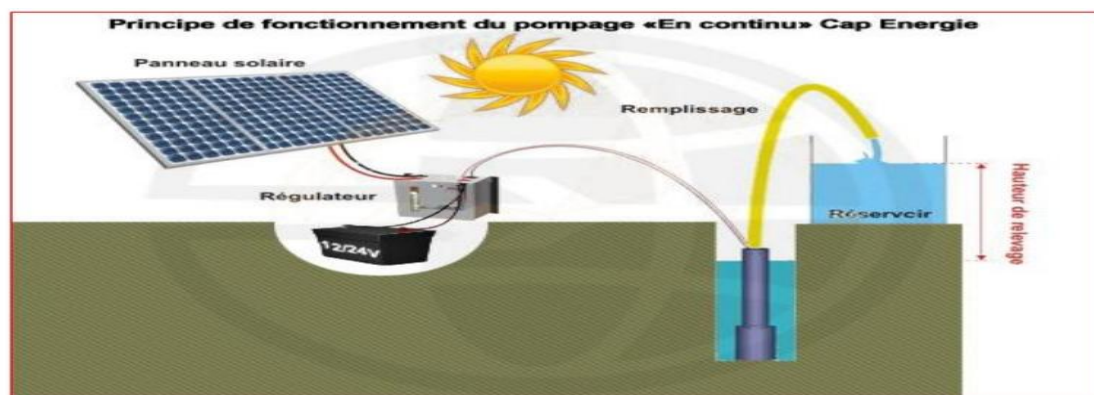


Figure I.15. Pompage avec batteries (stockage électrique) [10].

Le tableau ci-dessous présente les avantages et les inconvénients du pompage au fil du soleil :

Tableau I.2. Les avantages et les inconvénients des pompes au fil du soleil et avec batteries [10].

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

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de pompage photovoltaïque

I.10 Composants d'un système de pompage PV

Un système de pompage photovoltaïque est constitué de [11] :

- **Un générateur** : Il est composé de modules photovoltaïques, interconnectés électriquement pour constituer une unité de production de courant continu.
- **Un onduleur** : Un onduleur solaire, également appelé variateur solaire, convertisseur solaire, transforme le courant continu produit par les panneaux solaires en courant alternatif.
- **Un régulateur** : Un régulateur de charge/décharge est un composant essentiel associé à un générateur photovoltaïque. Son rôle principal est de superviser la charge de la batterie et de restreindre sa décharge.

Parmi les technologies de régulation disponibles, l'une est largement prédominante. La régulation (à modulation de largeur d'impulsions) avec deux types de couplage à savoir le couplage direct appelé **PWM** (Pulse width Modulation), et le couplage par adaptateur d'impédance appelé **MPPT** (Maximum Power Point Tracking).

Le tableau ci-dessous présente la différence entre les deux types :

Tableau I.3. Comparaison entre les contrôleurs PWM et MPPT [11].

Contrôleur de charge PWM	Contrôleur de charge MPPT
Couplage direct de champ PV sur la batterie	Charge de la batterie via un convertisseur abaisseur de tension
La tension nominale de la chaîne PV doit être compatible avec la tension de la batterie	La tension nominale de la chaîne PV peut être supérieure à la tension de la batterie
Typiquement adapter pour des petits systèmes PV 200 W _C	Plus adapté pour les puissances PV 200Wc
Nécessite l'utilisation de modules de 36 ou 72 cellules	Possibilité d'utiliser des modules quel que soit le nombre des cellules
Câble PV de grosse section et nécessite une boîte de jonction quand la puissance le justifié	Possibilité de s'affranchir de la boîte de la jonction dans certains cas et de réduire la section des câbles

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de pompage photovoltaïque

En résumé, le régulateur MPPT (voir la figure I.16) offre un gain de production de 5 à 30 % comparé au régulateur PWM. Il permet également une plus grande flexibilité dans le choix des panneaux solaires. Ainsi, pour les installations de grande puissance, le régulateur MPPT demeure le choix le plus avantageux [11].

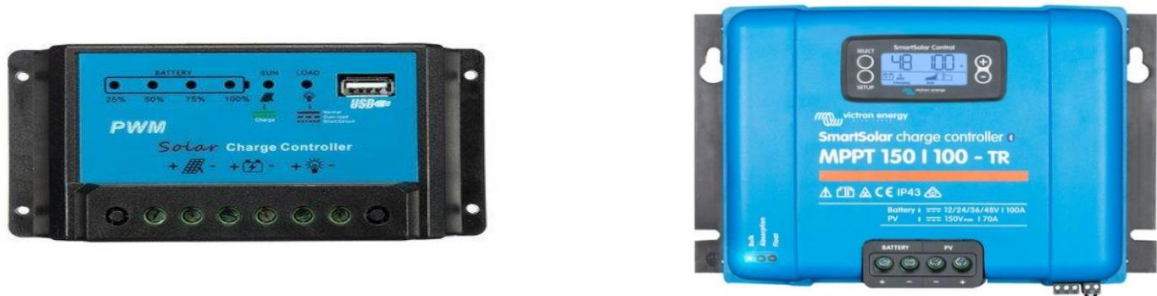


Figure I.16. Régulateurs réels [11].

➤ Groupe électropompe

Il est composé d'un moteur électrique à induction et d'une pompe qui peut adopter diverses technologies telles que les pompes volumétriques, centrifuges, ce système est utilisé pour une variété d'applications comme le pompage en surface (lacs, rivières, citernes) et le pompage immergé (puits, forages) (voir figure I.17).

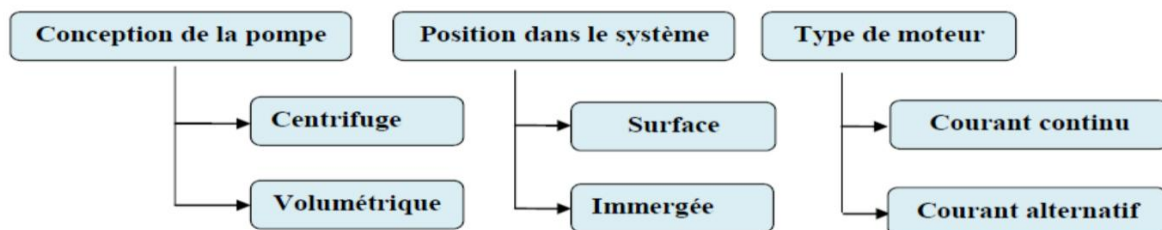


Figure I.17. Classification des pompes [13].

➤ Batteries

Dans une installation photovoltaïque autonome, également connue sous le nom de site isolé, on utilise une ou plusieurs batteries pour stocker l'énergie produite par les panneaux solaires. Ces batteries spécifiques sont désignées comme des "batteries à décharge lente", parfois appelées simplement batteries solaires [12].

Ces batteries sont spécialement conçues pour fournir un courant stable sur de longues périodes tout en conservant leur capacité de recharge, ce qui leur permet d'être utilisées de manière répétée sur de nombreux cycles. Elles sont souvent qualifiées de batteries stationnaires ou à décharge lente (voir figure I.18).



Figure I.18. Batteries photovoltaïques [12].

I.11 Groupe électropompe

I.11.1 La pompe

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. Il existe deux grands types de pompes : les pompes centrifuges et les pompes volumétriques [15].

I.11.2 Pompes centrifuges

Comme montres dans la Figure I .19 les pompes centrifuges exploitent les variations de vitesse du fluide pompé pour augmenter la pression. L'énergie mécanique du moteur est transmise au fluide, lui conférant une vitesse qui se traduit par une énergie cinétique. Cette énergie cinétique est ensuite convertie en énergie de pression [20].

I.11.3 Constitutions d'une pompe centrifuge

Les pompes se composent de deux éléments essentiels [18], [19] :

- Une roue qui impose au liquide un mouvement de rotation. Celle-ci est montée sur un arbre porté par des paliers et entraîné par un moteur.
- Un corps de pompe qui dirige l'écoulement vers la roue et l'en éloigne à nouveau sous plus haute pression. Le corps de pompe comprend une tubulure d'aspiration et une tubulure de refoulement, supporte les paliers et l'ensemble du rotor.



Figure I.19. Pompe centrifuge réels [19].

I.11.4 Principe de fonctionnement de la pompe centrifuge

La théorie des fonctionnements des pompes centrifuges montre qu'entre l'entrée et la sortie de la roue, l'énergie mécanique totale de la veine fluide est augmenté, cette augmentation provient d'une part d'un accroissement de l'énergie de pression et aussi d'un accroissement de l'énergie cinétique, cette dernière est transformée en énergie de pression par ralentissement progressif qui est obtenue dans une pièce placés à l'intérieur de la roue appelle limaçon, celle-ci se termine par un cône divergent [20].

I.12 Pompes volumétriques

Une pompe volumétrique (voir figure I.20) fonctionne en capturant une quantité fixe de fluide et en le poussant vers la sortie. Elle utilise l'énergie cinétique du moteur pour créer un mouvement de va-et-vient, permettant au fluide de surmonter la gravité par des changements alternés de volume entre l'orifice d'aspiration et l'orifice de refoulement. Les types de pompes volumétriques comprennent les pompes à vis, les pompes à palettes, les pompes à piston et les pompes à diaphragme. Les deux derniers types sont souvent utilisés dans les puits ou les forages profonds (plus de 100 mètres). L'entraînement est généralement réalisé par un arbre de transmission long, partant d'un moteur électrique installé en surface. Le principal intérêt des pompes volumétriques est de pouvoir véhiculer un fluide sous de très fortes pressions. C'est pourquoi ces pompes sont habituellement utilisées pour les puits et les forages à grande profondeur et à petit débit d'eau [12].



Figure I.20. Schémas d'une pompe volumétrique réels [20].

I.13 Les pompes de surface et les pompes immergées

Le choix d'une pompe se fera en fonction des caractéristiques hydrauliques de l'installation envisagée (débit, hauteur manométrique totale, etc.) mais également en fonction des conditions particulières d'utilisation (puits, forage, pompage de rivière, etc.). Une pompe à pistons placée en surface ne pourra pas relever l'eau au-delà d'un maximum théorique de 10,33 mètres. Au-delà de cette hauteur, il faut s'orienter vers une solution de pompe immergée. Cependant, on peut utiliser des pompes centrifuges avec une pression absolue à l'aspiration inférieure à 1 MPa. Les pompes immergées peuvent extraire de l'eau à plusieurs centaines de mètres. Les pompes centrifuges qui ont une forme adaptée aux puits et qui peuvent débiter à forte pression sont souvent utilisées [12].

I.13.1 Classification des moteurs utilisés dans le pompage

Le moteur d'un groupe motopompe convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Il peut être à courant continu ou alternatif. Dans ce dernier cas, un convertisseur électronique ou un onduleur est nécessaire pour convertir le courant continu provenant d'un générateur photovoltaïque en courant alternatif. Pour cette raison, le choix d'un moteur à courant continu peut sembler, plus intéressant, mais nous allons voir que l'évolution de convertisseurs électroniques permet également de choisir des moteurs alternatifs efficaces et surtout moins coûteux [13].

I.14 Moteur à courant continu

Les moteurs à courant continu utilisés dans les applications de pompage solaire, notamment les moteurs série, sont choisis pour leur capacité à fournir un fort couple au démarrage, nécessaire pour vaincre la résistance initiale des pompes, ainsi que pour leur capacité à gérer efficacement les variations de courant. Leur couplage peut être direct ou optimisé par un convertisseur de puissance à rapport cyclique variable, comme illustré dans la Figure I.21. Cette configuration nécessite une électronique relativement simple mais présente l'inconvénient commun aux moteurs à courant continu, qui nécessitent un entretien régulier. Les balais du moteur doivent être remplacés périodiquement, ce qui peut poser problème dans le cas des pompes à moteur immergées, nécessitant le retrait de la pompe du forage pour effectuer ces opérations. Ce type de moteur est particulièrement adapté pour le pompage dans les puits ouverts [4].

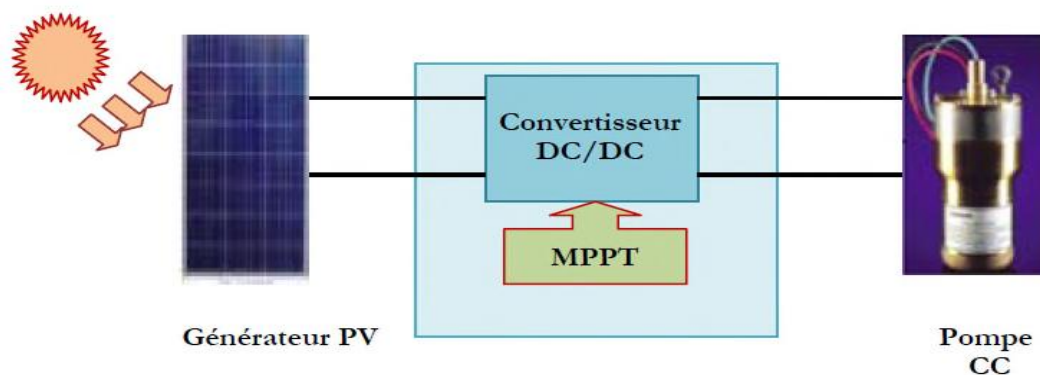


Figure I.21. Diagramme du pompage PV par motopompe à CC [14].

Récemment, certains fabricants ont développé des moteurs à courant continu à aimant permanent, avec un rotor fabriqué en alliage de terres rares, utilisant la commutation électronique. Contrairement aux moteurs traditionnels à courant continu avec balais, ces moteurs n'ont pas besoin d'entretien régulier car l'alimentation des bobinages est gérée. Ces moteurs sans entretien adoptent une architecture similaire à celle des moteurs immergés classiques, conçus pour être utilisés dans des conditions immergées comme les puits. Ils offrent une fiabilité accrue tout en présentant des performances supérieures en termes de couple et de rendement. De plus, leur interface de fixation avec l'équipement hydraulique est similaire à celle des moteurs à courant alternatif [15].

I.15 Moteur à courant alternatif

Pour les applications de faible et moyenne puissance (jusqu'à quelques kilos Watts), le réseau monophasé standard suffit. Pour des applications de forte puissance, les moteurs à courant alternatif sont généralement alimentés par une source de courants polyphasés. Le système le plus fréquemment utilisé est alors le triphasé utilisé par les distributeurs d'électricité (voir la figure I.22) [16].

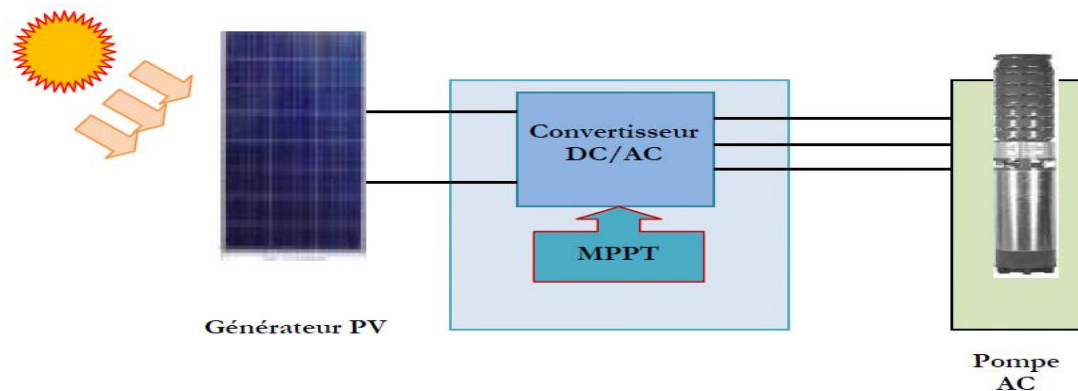


Figure I.22. Diagramme du pompage PV par motopompe à AC [14].

I.16 Les moteurs synchrones

Le moteur synchrone est souvent utilisé comme génératrice. On l'appelle alors « alternateur ». Mis à part pour la réalisation de groupe électrogène de faible puissance, cette machine est généralement triphasée. Pour la production d'électricité, les centrales électriques utilisent des alternateurs dont les puissances peuvent avoisiner les 15 MW. Comme le nom l'indique, la vitesse de rotation de ces machines est toujours proportionnelle à la fréquence des courants qui les traversent. Ce type de machine peut être utilisé pour relever le facteur de puissance d'une installation (voir la figure I.23) [17].

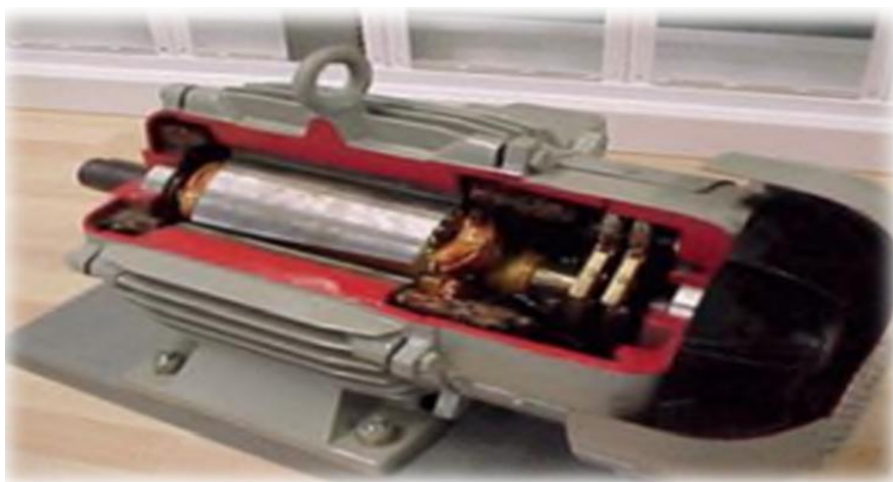


Figure I.23. Moteur synchrone [17].

I.17 Les moteurs asynchrones

Le moteur asynchrone comme le montre la Figure I.24, connue également sous le terme d'origine anglo-saxonne de « machine à induction », est une machine à courant alternatif sans alimentation électrique du rotor. Le terme anglais provient des courants induits dans le rotor par induction magnétique. Le terme « asynchrone » provient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas forcément proportionnelle à la fréquence des courants qui les traversent [17].



Figure I.24. Machine asynchrone [17].

Le moteur asynchrone a longtemps été fortement concurrencé par la machine synchrone dans les domaines de forte puissance, jusqu'à l'avènement de l'électronique de puissance. On la retrouve aujourd'hui dans de nombreuses applications, notamment dans le transport (métro, trains, propulsion des navires), de l'industrie (machines-outils), dans l'électroménager. Elles étaient à l'origine uniquement utilisées en moteur mais, toujours grâce à l'électronique de puissance, elles sont de plus en plus souvent utilisées en génératrice. C'est par exemple le cas dans les éoliennes. Toute fois les machines asynchrones sont les plus utilisées devant les machines synchrones pour une application pompage, grâce aux avantages suivants [20] :

- Sa disponibilité dans le marché avec un coût bas.
- Son entretien qui est nul de fait de l'absence complète de pièces en frottement.
- Son utilisation augmente l'autonomie et la fiabilité de l'installation.
- Disponible pour une large plage de charge.
- Le rapport puissance / poids est élevé.

I.18 Avantages et inconvénients du pompage photovoltaïque

Dans cette partie, nous allons parler sur des avantages et des inconvénients du pompage photovoltaïque [15].

I.18.1 Avantages

- Le pompage photovoltaïque utilise L'énergie solaire qui est inépuisable, propre et c'est aussi une source d'énergie électrique silencieuse.
- Cette technologie ne nécessite que de faibles coûts de maintenance (généralement limités au nettoyage de la pompe) et n'a besoin d'aucun apport en combustible extérieur (pétrole, électricité).
- Il donne un avantage majeur pour les agriculteurs (élevage, irrigation...) sur l'approvisionnement en eau, essentiellement aux régions isolées, là où le réseau électrique n'est pas disponible.

I.18.2 Inconvénients

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

I.19 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique en utilisant des panneaux photovoltaïques. Différentes configurations des systèmes photovoltaïques qui permettent d'exploiter l'énergie du soleil à diverses fins et qui constituent une source non polluante d'électricité qui peut convenir à toute une gamme d'applications ont été présentées. Parmi ces dernières nous nous sommes intéressés aux systèmes de pompage photovoltaïque. Nous avons présenté les différents types de pompes disponibles, ainsi que les moteurs utilisés dans ces systèmes, nous avons aussi présenté les avantages et les inconvénients de chaque type de pompage, tout en mettant en lumière l'importance de choisir le moteur adéquat pour optimiser l'efficacité et la durabilité.

Chapitre II :

Dimensionnement d'un système de pompage Photovoltaïque

Chapitre II : Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque

II.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons nous intéresser au dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque et les principales relations utilisées dans le dimensionnement qui incluent le calcul des besoins en eau, qui permet d'évaluer la quantité d'eau nécessaire, et la caractéristique de la pompe à utiliser dans ce système, parallèlement l'estimation du nombre de panneaux solaires nécessaires pour alimenter notre système de pompage.

II.2 Hauteur manométrique totale HMT

C'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 :

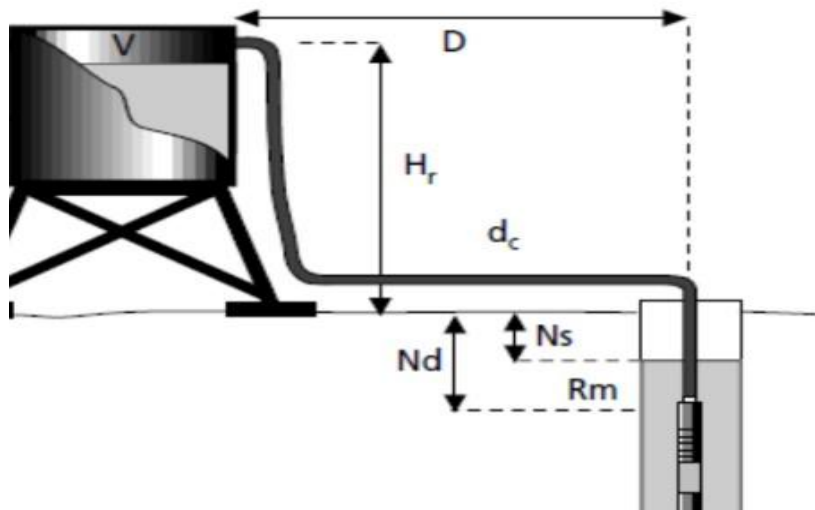


Figure II.1. Hauteur manométrique total [24].

$$HMT = H_g + P_c \quad (II.1)$$

$$H_g = N_s + N_d + H_r \quad (II.2)$$

HMT : Hauteur manométrique total [m].

H_g : hauteur globale [m].

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

Elles s'expriment en mètres colonnes d'eau et elles sont en fonction de la distance des conduites, de leur diamètre et du débit de la pompe.

$$P_c = 10\%(H_r + N_s + N_d) \quad (II.3)$$

Chapitre II : Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque

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

N_d : niveau dynamique d'un puits ou d'un forage est la distance de sol et la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné. Pour le calcul de la HMT, le niveau dynamique est calculé pour un débit moyen [m].

H_r : hauteur de réservoir [m].

II.3 Rabattement

Le rabattement est la différence entre le niveau dynamique et le niveau statique [23].

II.4 Le débit

Le débit fourni par une pompe est la quantité d'eau refoulée par un intervalle de temps donné. En pompage solaire, le débit est généralement exprimé en m^3 par jour [23].

II.5 Etapes de dimensionnement du système pompage photovoltaïque

Les différentes étapes pour le dimensionnement d'un système de pompage sont [22] :

- Evaluation 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

II.5.1 Evaluation 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 par jour. Les besoins d'eau pour l'irrigation dépendent du type de culture, des facteurs météorologiques comme la température, l'humidité, la vitesse de vent, l'évapotranspiration du sol, la saison de l'année considérée. La capacité de réservoir sera déterminée selon les besoins en eau journalières et l'autonomie requise du système [22].

Chapitre II : Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque

II.5.2 Calcul de l'énergie hydraulique

Une fois que les besoins en volume d'eau pour chaque mois de l'année et les caractéristiques du puits sont déterminés, nous pouvons estimer l'énergie hydraulique moyenne quotidienne et mensuelle requise en utilisant la relation suivante [23] :

$$E_h = g \times \rho_a \times Q_h \times HMT/3600 \quad (\text{II.4})$$

Où :

E_h : énergie hydraulique [kWh].

Q_h : volume d'eau [m^3 /h].

ρ_a : densité de l'eau [kg/m^3].

g : La gravité terrestre [m/s^2].

II.5.3 Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise

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 kWh. Ce calcul est fonction d'une constante hydraulique et est inversement proportionnel au rendement du groupe motopompe utilisé. L'énergie électrique quotidienne requise calculée par la relation suivante [13] :

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

Où :

E_e : Energie électrique exprimé en [kWh].

η_{MP} : Le rendement du groupe motopompe, en général entre 30% et 70%.

II.5.4 Calcul de l'énergie consommée par la pompe

Le besoin journalier en énergie est donc égal au produit de la puissance consommée par l'application, par le temps d'utilisation par jour elle est en [kWh/j] [20].

Pour calculer le besoin journalier en énergie d'une application, on utilise la formule suivante :

$$E_i = E_e \times t_i \quad (\text{II.6})$$

Chapitre II : Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque

Avec :

E_i : Énergie consommée par jour [kWh/j]

E_e : Énergie électrique [kWh].

t_i : Temps d'utilisation par jour [h]

II.5.5 L'énergie produit journalière

L'énergie produite journalière est calculer par la relation suivante :

$$E_p = \frac{E_i}{\eta_{\text{ond}}} \quad (\text{II.7})$$

E_p : L'énergie produit journalière [kWh/j].

η_{ond} : Rendement de l'onduleur [%].

II.5.6 Dimensionnement du champ photovoltaïque

Évaluer la puissance nécessaire pour répondre aux besoins énergétiques du système de pompage :

II.5.6.1 Détermination de l'énergie solaire disponible

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

II.5.6.2 Inclinaison du générateur photovoltaïque

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

II.5.6.3 La méthode de la moyenne annuelle

Cette méthode utilise l'irradiation journalière en ($\text{kWh/m}^2 / \text{j}$), mais pour une moyenne qui s'étend pour toute une année au lieu d'un seul mois. Donc on calcule la moyenne mensuelle de l'irradiation récupérable sur notre lieu pour les 12 mois de l'année et on faire la moyenne annuelle de celle-ci [25].

Chapitre II : Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque

II.5.6.4 Puissance crête d'un générateur photovoltaïque

La puissance crête des panneaux solaires à installer dépend de l'irradiation solaire moyenne du lieu d'installation. Elle se calcule selon la formule suivante [25] :

$$P_c = \frac{E_p}{K \times I_{rG}} \quad (\text{II.8})$$

P_c : Puissance crête de champ photovoltaïque [kW_C].

I_{rG} : Irradiation globale journalier [kWh /m²/jour].

K : Coefficient correcteur, ce coefficient tient compte.

- De l'incertitude météorologique.
- De l'inclinaison non corrigée des modules suivant la saison.
- Du point de fonctionnement des modules.
- Du rendement de régulateur (95%).
- Des pertes dans les câbles et connexions pour les systèmes avec batterie.

K est en générale compris entre 0,55 et 0,77.

II.5.6.5 Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser

A partir de la puissance crête des panneaux on peut déterminer le nombre de :

- Panneaux solaire nécessaires à l'installation :

$$N_m = \frac{P_c}{P_{cu}} \quad (\text{II.9})$$

N_m : Nombre de panneau photovoltaïque nécessaire.

P_{cu} : Puissance unitaire d'un panneau photovoltaïque [Wc].

- Le nombre de panneau photovoltaïque connectés en série sera égale à :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_m} \quad (\text{II.10})$$

Chapitre II : Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque

Avec :

N_s : Nombre de panneau photovoltaïque en série.

V_{ch} : La tension nominale de la charge [v].

V_m : La tension nominale du module [v].

➤ Le nombre de panneau photovoltaïque connectés en parallèles s'exprime par :

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} \quad (\text{II.11})$$

Avec :

N_p : nombre de panneau photovoltaïque en parallèle.

II.5.6.6 Choix de la pompe selon la HMT et le débit demandés

Le choix de la pompe dépend directement de la hauteur manométrique totale (HMT) et du débit requis, avec des options variées selon les conditions spécifiques du site [26].

Pour de petites HMT et de faibles débits journaliers, les pompes à main peuvent s'avérer plus intéressantes. On utilisera alors un seau pour pomper l'eau.

Pour les hauteurs de moins de 7 mètres, l'emploi de pompes à aspiration sera préféré. Cette pompe est généralement de type centrifuge à ailettes. Pour de faibles débits et une puissance disponible variable.

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

Pour les HMT supérieures à 35 mètres et de faibles débits journaliers (<20 m³), la pompe volumétrique sera la plus utilisée, surtout si une forte variation du rabattement de la nappe (donc de la HMT) est constatée.

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

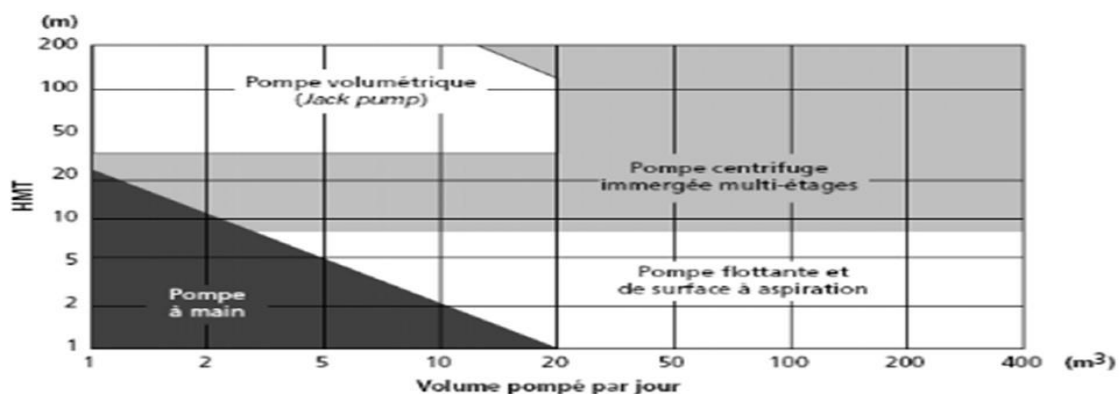


Figure II.2. Sélection du type de pompe [26].

Chapitre II : Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque

Pour choisie notre pompe on calcule le débit horaire par la formule suivante :

$$Q_h = \frac{Q}{h} \quad (\text{II.12})$$

Avec :

Q_h : Débit horaire.

Q : Débit [m^3 / j].

h : heure.

II.6 Configuration du système de pompage

La configuration des groupes moteur-pompe les plus utilisés sont :

- Ensemble moteur-pompe immergé.
- Ensemble moteur-pompe flottant.
- Ensemble moteur-pompe de surface.

Chaque configuration est utilisée selon le débit et la hauteur de pompage nécessaire. En générale les pompes immergées sont utilisées dans les forages profonds de petit diamètre. Les pompes flottantes sont utilisées dans des puits, lac de grand diamètre [22].

II.7 Système de pompage adapté

Dans les zones arides éloignées et semi-aride ou les besoins en eau sont importants et indispensables que ce soit pour l'eau potable ou pour l'irrigation, on aura besoin d'un système plus efficace et adapté qui est le suivant [22]:

- Un groupe électropompe immergé.
- Un générateur photovoltaïque de type silicium polycristallin.
- Un réservoir de stockage d'eau.

II.8 Principaux avantages de ce système de pompage photovoltaïque

- Pour les applications dans des climats chauds, le moteur est refroidi à l'eau et ne pose aucun problème de surchauffe.
- Grace au silicium poly-cristallin un démarrage du groupe moteur-pompe dès l'apparition d'un rayonnement solaire (ciel couvert ou nuageux, lever de soleil...), donc un temps de fonctionnement plus important.

Chapitre II : Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque

- Un stockage de l'eau permettant à l'utilisateur une autonomie de couvrir ses besoins en eau en dehors des heures d'ensoleillement. Ceci est d'autant plus intéressant en particulier pour les régions du sud où l'irrigation pendant la journée est difficile (température élevée, risque d'évaporation dans le cas d'irrigation gravitaire) [21].

II.9 Principaux inconvénients de ce système de pompage photovoltaïque

- L'installation des panneaux solaires, des batteries et des autres composants peut être coûteuse.
- Le système dépend directement de l'intensité et de la durée de l'ensoleillement, rendant son efficacité variable selon les saisons et la météo.
- Le stockage de l'énergie dans des batteries pour les périodes nuageuses ou nocturnes peut être limité et onéreux.
- Bien que les panneaux solaires nécessitent peu d'entretien, les batteries et les pompes peuvent exiger une maintenance régulière.
- La durée de vie des batteries et des composants électriques peut être limitée, ce qui entraîne des remplacements périodiques [21].

II.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les étapes de dimensionnement d'un système photovoltaïque. Nous avons montré l'évaluation des besoins en eau, et mettre en évidence les formules pour calculer l'énergie hydraulique et électrique nécessaire, ainsi que le dimensionnement de champ photovoltaïque. Enfin, nous avons souligné les avantages et les inconvénients du système pompage photovoltaïque.

Chapitre III :

Application au système de pompage

photovoltaïque situé à Sikh

Oumeddour Tizi-Ouzou

Chapitre III : Application au système de pompage photovoltaïque situé à Sikh Oumeddour Tizi-Ouzou

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons une méthode analytique de calcul d'un système de pompage photovoltaïque basée sur le dimensionnement présenté précédemment. Il prendra en compte l'évaluation des besoins en eau, et l'énergie électrique nécessaire et la détermination de l'énergie journalière disponible et le choix des composants, pour irriguer une superficie de 6 hectares.

III.2 Identification du site

Pour l'étude de notre projet, nous avons choisi le lieu-dit Sikh Oumeddour, qui située à 16 Km à l'est de la wilaya Tizi-Ouzou Algérie. Le climat de Sikh Oumeddour est typiquement méditerranéen, chaud et sec en été, doux, humide et pluvieux en hiver, avec une altitude de 108m. La figure III.1 montre la situation géographique de la zone.

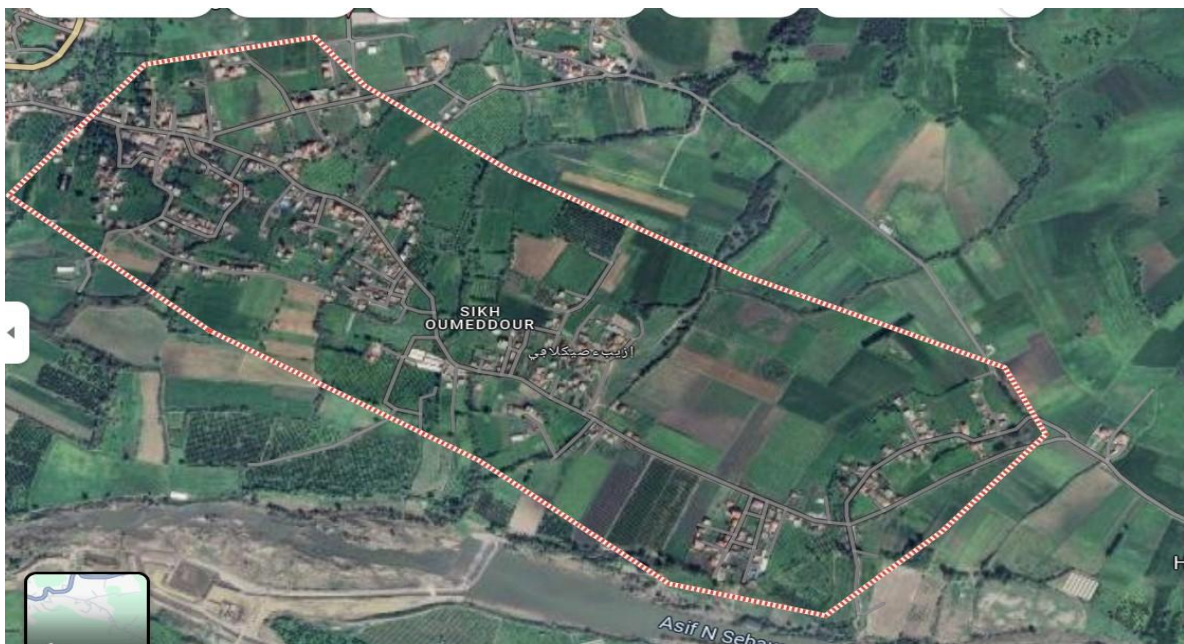


Figure III.1. Situation géographique de village Sikh Ou Meddour - wilaya Tizi Ouzou

Le tableau suivant présente les données géographiques du site de Sikh Oumeddour :

Tableau III.1. Caractéristiques géographiques du site de Sikh Oumeddour.

Caractéristiques	Longitude [°]	Latitude [°]	Altitude [m]
Site	4,1051	36,7010	108

Chapitre III : Application au système de pompage photovoltaïque situé à Sikh Oumeddour Tizi-Ouzou

III.2.1 Données météorologiques

Les bases de données des radiations solaires employées, sont extraites du logiciel PVsyste et elles sont données par le tableau ci-dessus.

Tableau III.2. Irradiation set températures mensuelles du site.

MOIS	Irradiation Global IrG (kWh/m ² /j)	Irradiation Diffus IrD (kWh/m ² /j)	Température T [°C]
Janvier	2,28	0,93	10.3
Février	3	1,44	10.7
Mars	4.13	1,96	13.5
Avril	5,32	2,46	15.6
Mai	6,06	2,98	18.9
Juin	7,20	2,99	22.8
Juillet	7,17	2,77	26.4
Août	6,47	2,57	26.8
Septembre	4,97	2,19	23.1
Octobre	3,77	1,67	20.1
Novembre	2,49	1,14	14.5
Décembre	2,13	1,03	11.5
Année	4,59	2,01	17.9

III.3 Evaluation des besoins en eau

Pour l'irrigation du terrain agricole de six hectares, comprenant 1000 oliviers et 1000 orangers, il s'agit de mettre en place un réservoir dédié au stockage de l'eau. Globalement, les besoins en eau sont d'environ 40m³/j, 20 litres pour un arbre. Dans le cadre de notre étude, il est prévu qu'un terrain de six hectares nécessite environ 40000 litres (40m³) d'eau pour arroser les 2000 arbres. Les besoins totaux en eau pour notre étude sont estimés à 40m³ afin de satisfaire les exigences de l'exploitation agricole.

Chapitre III : Application au système de pompage photovoltaïque situé à Sikh Oumeddour Tizi-Ouzou

Nous dimensionnons un système de pompage photovoltaïque (au fil de soleil), d'approvisionnement en eau pour un terrain agricole dans la zone de Sikh Oumeddour, wilaya de Tizi-Ouzou pour arroser 2000 arbres. Les données suivantes caractérisent le système :

- Projet : Irrigation de 6 hectares des oliviers et des orangers.
- Site : Sikh Oumeddour.
- Irradiation quotidienne : 4,59 kWh/m²/j.
- Débit maximum : 40m³/j.

Les caractéristiques du forage choisi pour notre étude sont présentées dans le Tableau III.3 :

Tableau III.3. Caractéristique de forage et réservoir.

Niveau statique (Ns)	Niveau dynamique (Nd)	Hauteur de Réservoir (Hr)	Perte de charge des conduites et rendement
25 m	30m	5 m	10% (Hr+Ns+Nd)

III.3.1 La hauteur manométrique HMT

En utilisant les relations (II.1) et (II.2) et (II.3) pour calculer HMT :

$$HMT = H_g + P_c$$

$$H_g = N_s + N_d + H_r$$

$$P_c = 0.1 \times (N_s + N_d + H_r)$$

$$H_g = 25 + 30 + 5$$

$$H_g = 60\text{m}$$

$$P_c = 0,1 \times (25 + 30 + 5)$$

$$P_c = 6\text{m}$$

$$HMT = 60 + 6$$

$$HMT = 66\text{m}$$

Chapitre III : Application au système de pompage photovoltaïque situé à Sikh Oumeddour Tizi-Ouzou

III.4 Choix de la pompe

Pour choisir la pompe à utiliser, on calcule le débit horaire Q_h par la formule (II.12) :

$$Q_h = \frac{Q}{h}$$

Avec nombre d'heure $h = 6,6$ heures

$$Q_h = \frac{40}{6,6} = 6 \text{ m}^3/\text{h}$$

La pompe utilisée pour notre étude présente les caractéristiques suivantes :

Tableau III.4. Caractéristiques de la pompe.

Caractéristiques	Valeurs
Puissance (W)	2000
Tension (V)	120
Courant (A)	12,5
Débit (m^3/h)	7,1
Pression (mCE)	30
Efficacité (%)	70

III.5 L'énergie hydraulique

Pour calculer l'énergie hydraulique E_h on utilise l'équation (II.4)

$$E_h = g \times Q_h \times \text{HMT}/3600$$

$$\rho_a = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2$$

$$g \times \rho_a/3600 = 2,725 \text{ kg s}/\text{m}^2$$

$$E_h = 2,725 \times 6 \times 66 = 1,0791 \text{ kWh}$$

III.6 L'énergie électrique

Pour calculer l'énergie électrique E_e on utilise la formule (II.5)

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{MP}}$$

Chapitre III : Application au système de pompage photovoltaïque situé à Sikh Oumeddour Tizi-Ouzou

$$\eta_{MP} = 70\%$$

$$E_e = \frac{1,0791}{0,7} = 1,541 \text{ kWh}$$

III.7 Calcul de l'énergie consommée par la pompe

Pour calculer l'énergie consommée E_i par la pompe on utilise l'expression (II.6) :

$$E_i = E_e \times h$$

$$E_i = 1,541 \text{ kWh}$$

$$h = 6,6 \text{ heures}$$

$$E_i = 1,541 \times 6,6 = 10,2 \text{ kWh/j}$$

III.8 Calcul de l'énergie à produire

On calcule l'énergie produite E_p par la relation (II.7) :

$$E_p = \frac{E_i}{\eta_{ond}}$$

$$\eta_{ond} = 95\%$$

$$E_p = \frac{10,2}{0,95} = 10,73 \text{ kWh/j}$$

III.9 Calcul de la puissance crête P_c du générateur photovoltaïque

Pour effectuer le calcul on utilise l'expression (II.8)

$$P_c = \frac{E_p}{K I_{rG}}$$

$$I_{rG} = 4,59 \text{ kWh/m}^2/\text{j}.$$

$$K = 0,77.$$

$$P_c = \frac{10,73}{0,77 \times 4,59} = 3,03 \text{ kW}_c$$

III.10 Choix de panneau photovoltaïque

Selon le choix de la puissance de la pompe et pour avoir la quantité d'eau pompée pour un éclairage et une température donnée, on peut dimensionner le générateur photovoltaïque par le choix de la meilleure combinaison entre les types et les nombres des modules. On choisit les panneaux de puissance $P = 310 \text{ W}$.

Chapitre III : Application au système de pompage photovoltaïque situé à Sikh Oumeddour Tizi-Ouzou

Les caractéristiques des modules PV choisi sont données dans le tableau suivant :

Tableau III.5. Caractéristique de module PV.

Modèle	JSM60-310 158B5
Puissance nominale	310Wc
Tension en circuit ouvert	40,5 V
Courant de court-circuit	9,98 A
Tension à Puissance max	33 V
Courant à Puissance max	9,4A
Nombre de cellules par module	60

III.10.1 Le nombre de panneaux du système N_m

Pour procéder au calcul du nombre de panneaux photovoltaïque on utilise la relation suivant (II.9) :

$$N_m = \frac{P_c}{P_{cu}}$$

$$N_m = \frac{3,03}{0,31}$$

$$N_m = 9,77$$

$$N_m = 10 \text{ modules}$$

III.10.2 Le nombre de panneaux en série N_s

Pour calculer nombre de panneaux en série en utilisent la relation (II.10) :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_m}$$

$$N_s = \frac{120}{30} = 4$$

$$N_s = 4 \text{ modules}$$

Chapitre III : Application au système de pompage photovoltaïque situé à Sikh Oumeddour Tizi-Ouzou

III.10.3 Le nombre de panneaux en parallèle N_p

Pour effectuer le calcul du nombre de panneaux en parallèle on utilise l'expression (II.11)

$$N_p = \frac{N_m}{N_s}$$

$$N_p = \frac{10}{4} = 2,5$$

$$N_p = 3 \text{ modules}$$

III.11 Correction de la puissance crête

Dans la grande majorité des cas, Le nombre de panneaux calculés (en série et/ou en parallèle) n'est pas un entier, il faut donc l'arrondir pour obtenir la puissance corrigée Le nombre du module total N_m :

$$N_m = N_p \times N_s \quad (\text{III.1})$$

$$N_m = 3 \times 4$$

$$N_m = 12 \text{ modules}$$

$$P_C = 12 \times 310$$

$$P_C = 3710 \text{ Wc} = 3,71 \text{ kWc}$$

III.12 Choix de l'onduleur

Pour le choix de l'onduleur on se base sur les données du matériel photovoltaïques inclus dans la base de données du logiciel PVsys, en tenant compte des caractéristiques et des conditions de l'utilisation de l'onduleur on utilise l'onduleur d'efficacité 95 %.

III.13 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons appliqué une méthode de calcul pour un système de pompage photovoltaïque pour irriguer un terrain agricole situé à Sikh Oumeddour. Nous avons évalué les besoins en eau, calculé l'énergie hydraulique et électrique nécessaires, puis nous avons déterminé la puissance crête du générateur photovoltaïque, et enfin nous sélectionné les composants adaptés pour assurer le bon fonctionnement du système.

Chapitre IV :

*Simulation par PVsyst du
système pompage photovoltaïque*

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons procéder à la simulation du système de pompage photovoltaïque situé à Sikh Oumeddour, Tizi-Ouzou pour irriguer un terrain agricole. Cette simulation est effectuée en utilisant le logiciel PVsyst. Afin de simuler ce système, nous devons introduire tous les paramètres nécessaires tels que l'évaluation des besoins en eau, choix de la pompe, choix de panneaux photovoltaïques.

PVsyst est un logiciel de dimensionnement permettant d'obtenir différentes informations telles que l'irradiation la production d'énergie, la surface nécessaire des panneaux et la production annuelle d'énergie.

IV.2 Types de la simulation de l'ensemble PV

Le PVsyst est utilisé pour simuler le dimensionnement de plusieurs types de systèmes alimenté par panneaux photovoltaïques. Il permet principalement :

- D'étudier des systèmes de pompage alimenté par panneaux photovoltaïques en site.
- D'étudier des systèmes d'alimentation par panneaux photovoltaïques couplés au réseau.
- D'étudier des systèmes d'alimentation par panneaux photovoltaïques en site isolé avec batterie.
- D'avoir données météorologiques et d'irradiation du site considéré.

IV.2.1 Conception du projet

La conception d'un projet est une étape importante qui permet de définir les objectifs, les besoins et les moyens nécessaires pour réaliser notre projet, on va suivre les étapes suivantes :

- Choix du site du projet tel que le lieu géographique et météo.
- Choisir l'orientation des panneaux.
- Définir l'horizon s'il existe.
- Choisir les sections des conducteurs.
- Simulation et résultats du système.

IV.3 Choix du système d'alimentation à étudier

La figure suivante montre l'étape qui permet de choisir le type d'alimentation (dans notre cas c'est le pompage).

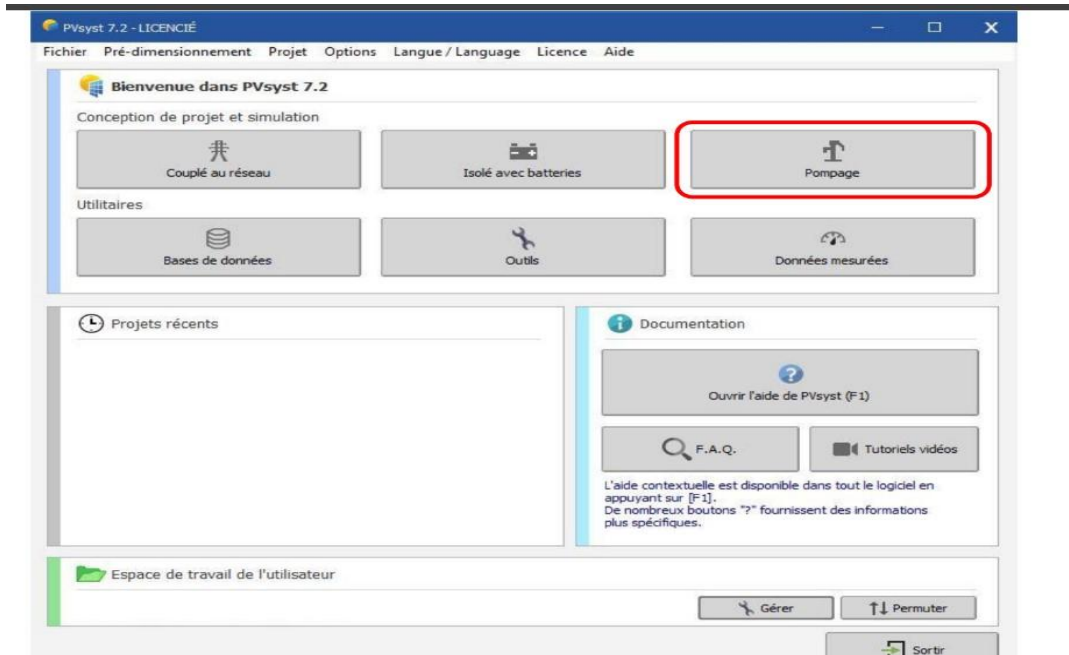


Figure IV.1. Etape du choix du type d'alimentation (pompage).

IV.3.1 Désignation du projet

Cette figure montre l'interface où on affecte un nom au projet à simuler et la définition du site géographique et le fichier météo horaire, dans notre cas le site géographique est la région de Sikh Oumeddour, Tizi-Ouzou.

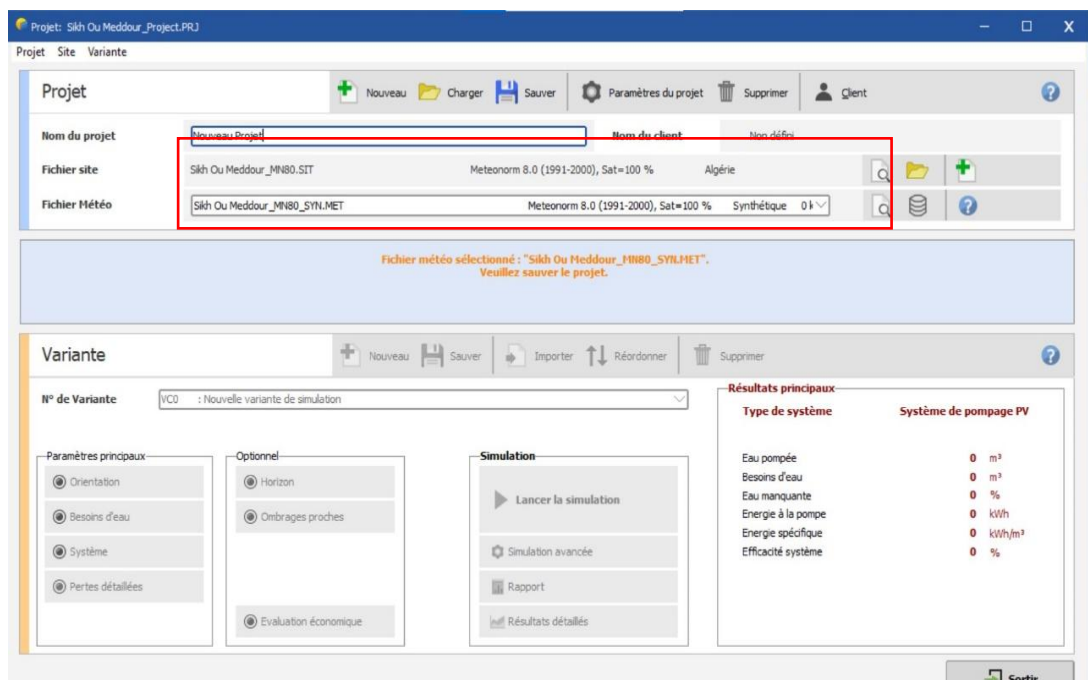


Figure IV.2. Désignation du projet dans PVsyst.

IV.3.2 Données Météorologiques mensuelles du site Tizi-Ouzou

La Figure. IV.3 donne principalement les différentes irradiations du site étudié nécessaire à la détermination du champ photovoltaïque.

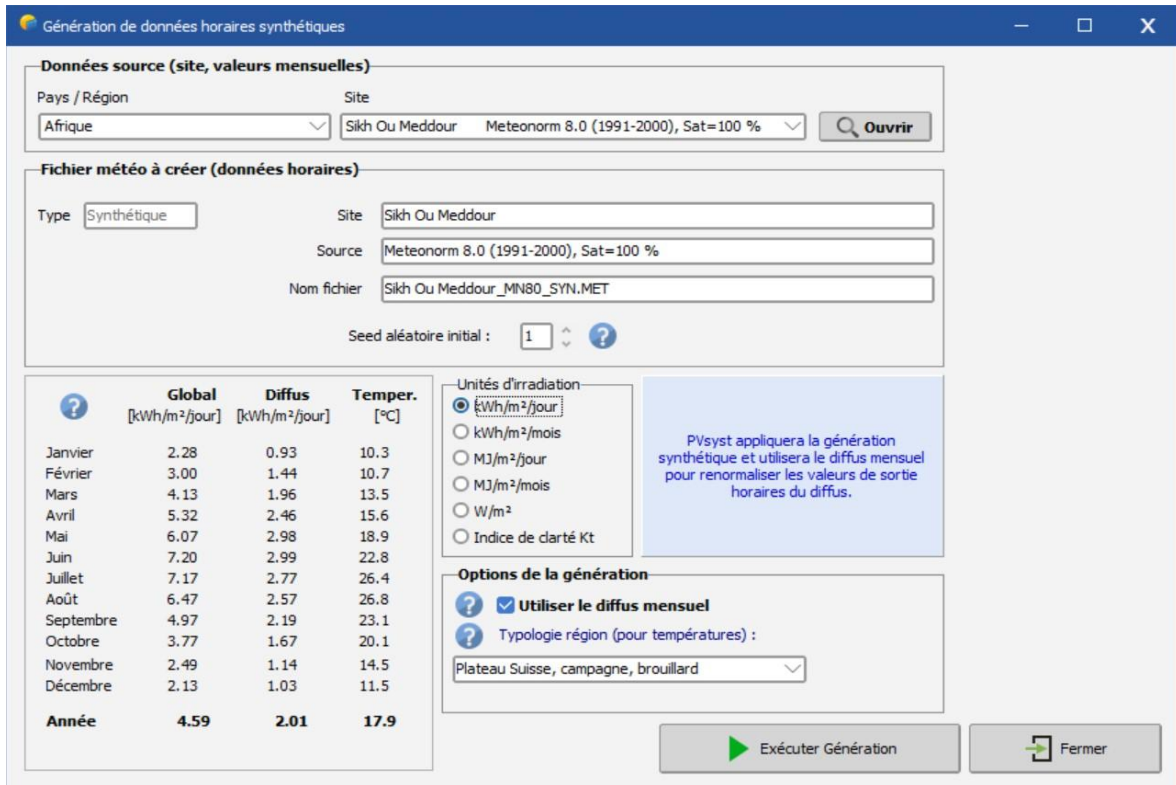


Figure IV.3. Différente donnée des irradiations du site considéré.

IV.3.3 Diagramme de la trajectoire du soleil du site Tizi-Ouzou

La Figure IV.4 donne la trajectoire du soleil de Sikh Oumeddour, Tizi-Ouzou. La connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point donné de la surface terrestre. La position du soleil est définie par deux les angles entre le soleil et le plan horizontal du lieu et son Azimut.

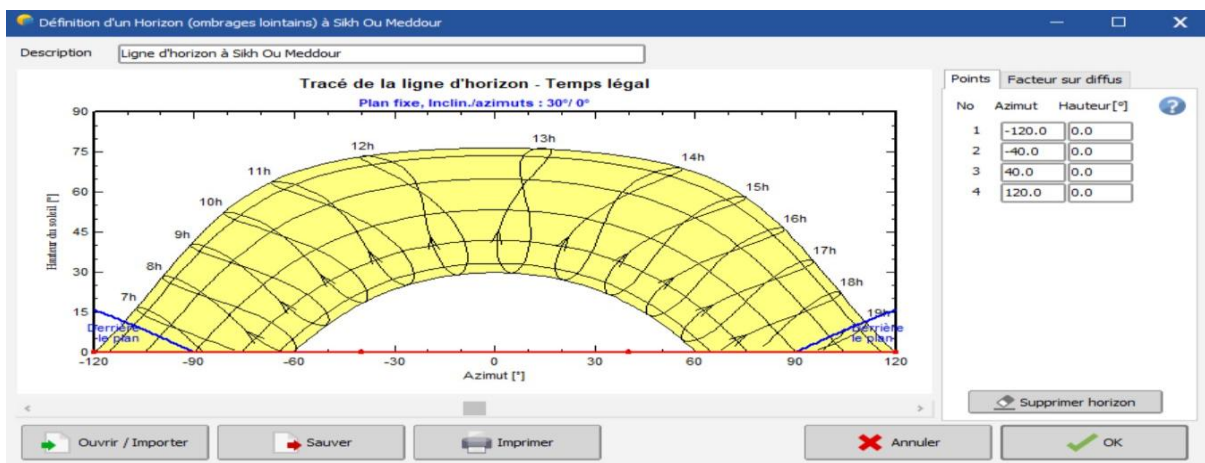


Figure IV.4. Trajectoire du soleil à Sikh Oumeddour.

IV.3.4 Définition de l'orientation des panneaux photovoltaïques

Il est important de choisir l'orientation du module PV pour avoir une production maximale d'énergie. Pour notre simulation, nous avons choisi le type de champs plan incliné fixe d'une inclinaison de 30° par rapport à l'horizontale, et par rapport à l'optimisation nous avons choisi une irradiation annuelle (voir la figure IV.5).

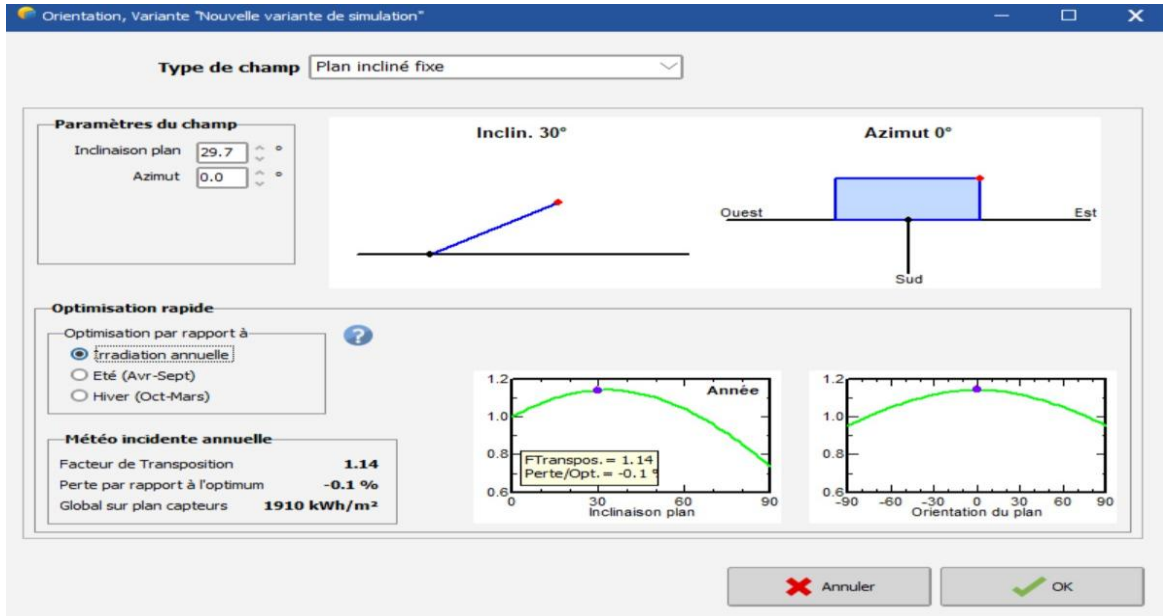


Figure IV.5. Plan d'inclinaison.

IV.3.5 Evaluation des besoins hydrauliques

Le logiciel PVsyst dispose d'une interface où nous pouvons intégrer les différents paramètres tel que les caractéristiques du forage ainsi que le réservoir et le circuit hydraulique de notre système de pompage comme la montre la Figure IV.6.

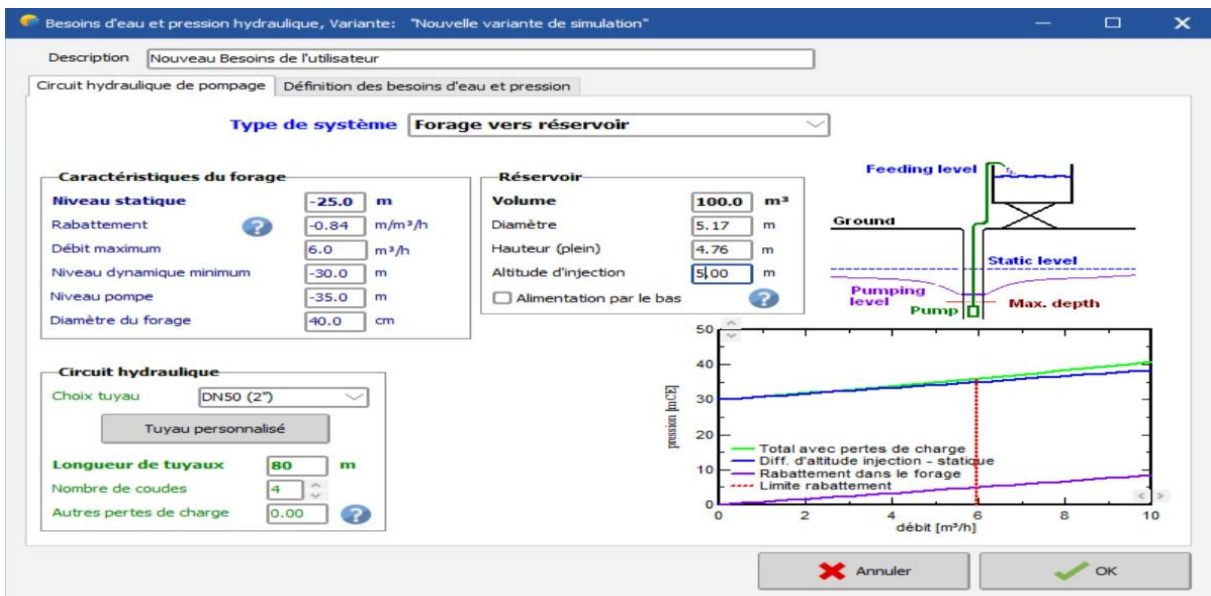


Figure IV.6. Paramètres du circuit hydraulique de système de pompage.

IV.3.5.1 Caractéristiques du forage

Les caractéristiques du forage sont comme suit :

- Niveau statique du puits = 25 m
- Profondeur de la pompe = 50 m
- Rabattement = 0,84 m /m³/h
- Longueur de la tuyauterie = 80 m
- Débit maximale = 6 m³ /h

IV.3.5.2 Réservoir

Les caractéristiques du réservoir sont comme suit :

- Réservoir de stockage = 100 m³
- Diamètre = 5,17 m,
- Hauteur = 5 m

IV.4 Evaluation des besoins on eau

Le logiciel PVsyst dispose d'une interface où nous pouvons définir les besoins en eau (m³/j), Le PVsyst donne une estimation d'énergie hydraulique (voir Figure IV.7).

The screenshot shows the 'Nouveaux Besoins de l'utilisateur' dialog box in PVsyst. It is divided into several sections:

- Description:** Nouveau Besoins de l'utilisateur
- Circuit hydraulique de pompage:** Définition des besoins d'eau et pression
- Besoins d'eau:** Moyenne annuelle (selected), Valeurs saisonnières, Valeurs mensuelles. Besoins annuels: 40.0 m³/jour
- Variation du niveau statique dans le forage:** Constant sur l'année (selected), Valeurs saisonnières, Valeurs mensuelles. Toute l'année: 25.0 mCE
- Pressions suppl.:** Altitude d'injection: 9 m; Pressions dynamiques (au débit de 8.0 m³/h): Tuyaux: 1.6 mCE, Rabattement: 6.7 mCE
- Unités hydrauliques:** Débit: m³/h, Pression: mCE
- Résumé annuel:**

Besoin d'eau moyen	40.0 m ³ /jour
Besoins d'eau annuels	14600 m ³
Pression moy. annuelle	34.0 mCE
Energie hydraulique	1353 kWh
Besoin PV (très approx.)	4568 kWh
- Fichier modèle:** Charger, Sauver
- Buttons:** Annuler, OK

Figure IV.7. Détermination du besoin d'eau.

IV.5 Choix de la pompe

Le logiciel PVsyst contient une bibliothèque d'un ensemble de pompes. La Figure IV.8 donne un aperçu du dimensionnement de pompage en fonction des besoins d'eau journaliers, des pressions, et du débit. Nous avons choisi une pompe de 2 kW sélectionnée pour répondre aux besoins du projet.

Suggestions de pré-dimensionnement

Besoins en eau journaliers moyens :		Autonomie requise	3.0	Jours	Volume réservoir conseillé	120 m ³
Pression min.	34.0 mCE	Manque accepté	5.0	%	Puissance pompe conseillée	1.9 kW
Pression max.	39.9 mCE				Puissance PV conseillée	2.4 kWc (nom.)
Volume	40.0 m ³ /jour					
Puissance hydraulique	806 W (très approximatif)					

Définition pompe | Conception du sous-champ

Choix d'un modèle de pompe

Grundfos

1.5 kW 5-50 m Well. AC, Centrifuge multi-étages SP 5A-7 120V

Pompes en cascade ?
 Pompes en parallèle

Caractéristiques de la pompe

Technologie pompe	Centrifuge multi-étages		
Moteur	Moteur AC asynchrone, tri		
Puissance maximale	1960 W	Tension	120 V
		Courant max.	12.5 A
Pression Min / Nom / Max	5	30	50 mCE
Débit corresp.	9.9	7.1	4.4 m ³ /h
Puissance corresp.	1500	1500	1500 W
Efficacité	9.0	38.7	39.9 %

Unités pour ce projet

Débit: m³/h
Pression: mCE
Puissance: kW
Énergie: kWh

Outil de calcul énergie hydraulique

Vous pouvez définir n'importe quelles valeurs, pas nécessairement liées à votre projet

Débit: 5.8 m³/h
Pression: 39.7 mCE
Puissance: 0.626 kW

Figure IV.8. Choix de la pompe.

IV.6 Dimensionnement du champ photovoltaïque

Le logiciel PVsyst contient une bibliothèque d'un ensemble de panneaux photovoltaïques dont les choix se fait selon les technologies et selon les puissances. Le dimensionnement des panneaux photovoltaïque est choisi selon plusieurs critères à savoir les besoins électriques particulièrement la puissance crête. La Figure IV.9 montre le type de panneau choisi pour la simulation de notre système qui est de type JONSOL JSM60-310 158B5, ainsi que le choix du type du régulateur, et de l'onduleur. La figure IV.10 présente les caractéristiques du panneau photovoltaïque considéré.

Chapitre IV Simulation par PVsyst du système pompage photovoltaïque

Définition d'un système de pompage, Variante "Nouvelle variante de simulation"

Suggestions de pré-dimensionnement

Besoins en eau journaliers moyens :	Autonomie requise	3.0	Jours	Volume réservoir conseillé	120 m ³
Pression min. 34.0 mCE	Manque accepté	5.0	%	Puissance pompe conseillée	1.9 kW
Pression max. 39.9 mCE				Puissance PV conseillée	2.4 kWc (nom.)
Volume 40.0 m ³ /jour					
Puissance hydraulique 806 W (très approximatif)					

Définition pompe Conception du sous-champ

Information système

Pompe choisie	SP 5A-7 120V	Pression	5.0 - 50.0 mCE
Technologie	Centrifuge multi-étages	Débit	9.90 - 4.39 m ³ /h
Puissance max.	1960 W		

Aide au dimensionnement

Pas de prédim. Entrez Pnom désirée kWc

Redimens. ... ou surface disponible m²

Sélection du module PV

Disponibles

Jonsol 310 Wp 28V Si-mono JSM60-310 158B5 Depuis 2019 Manufacturier 2019

Modules nécessaires approx. 12 Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) 28.6 V
Vco (-10°C) 44.7 V

Choisissez le mode de régulation et le régulateur

Régulateur universel mode de régulation Onduleur MPPT-AC

Tous les fabricants 1000 W Onduleur MPPT-AC Universal MPPT - AC Inverter Generic device Adaptabl

Les paramètres de fonctionnement du régulateur universel seront automatiquement ajustés selon les propriétés du système.

Conception champ PV

Nombre de modules et chaînes

Mod. en série doit être: seule possibilité 3 entre 3 et 5

Perte surpuissance N/A Rapport Pnom N/A nbre modules 12 Surface 20 m²

Cond. de fonctionnement

Vmpp (60°C)	86 V
Vmpp (20°C)	101 V
Vco (-10°C)	134 V

Irradiance plan 1000 kWh/m²

Imp	37.8 A	Puiss. max. en fonctionnement	3.4 kW
Isc	39.9 A	(à 1000 W/m ² et 50°C)	
Isc (aux STC)	39.9 A	Puiss. nom. champ (STC)	3.7 kWc

Figure IV.9. Choix du type des panneaux photovoltaïque.

Définition d'un module PV

Données de base Dimensions et Technologie Paramètres modèle Données additionnelles Commercial Graphiques

Modèle JSM60-310 158B5 Fabricant Jonsol

Nom fichier Jonsol_JSM60_310_158B5.PAN Source données Manufacturier 2019

Base de données PVsyst originale Prod. depuis 2019

Puissance nom. 310.0 Wc Tol. +/- 0.0 3.0 %

(aux STC) Technologie Si-mono

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence	GRef	1000	W/m ²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	9.980	A	Circuit ouvert Vco	40.50	V
Point de Puissance max.	Imp	9.400	A	Vmpp	33.00	V
Coefficient de tempér.	muIsc	5.0	mA/°C	Nbre cellules	60	en série
	ou muIsc	0.050	%/°C			

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall.	300 Ω
Rparall(G=0)	1200 Ω
R série model	0.28 Ω
R série max.	0.32 Ω
R série apparent	0.44 Ω

Paramètres modèle

Gamma	1.038
IoRef	0.10 nA
muVco	-123 mV/°C
muPMax fixé	-0.37 /°C

Résultats du modèle interne

Cond. de fonctionnement	GOper	1000	W/m ²	TOper	25	°C
Point de Puissance max.	Pmpp	310.2	W	Coeff. de température	-0.36	%/°C
	Courant Imp	9.40	A	Tension Vmpp	33.0	V
Courant de court-circuit	Isc	9.98	A	Circuit ouvert Vco	40.5	V
Efficacité	/ Surf. cellules	N/A	%	/ Surf. module	18.59	%

Voir optimisation Export vers table Imprimer Annuler OK

Figure IV.10. Caractéristiques du panneau photovoltaïque.

IV.7 Schéma de l'installation du système PV-Pompe

La Figure IV.11 montre le schéma simplifié du système de pompage photovoltaïque considéré.

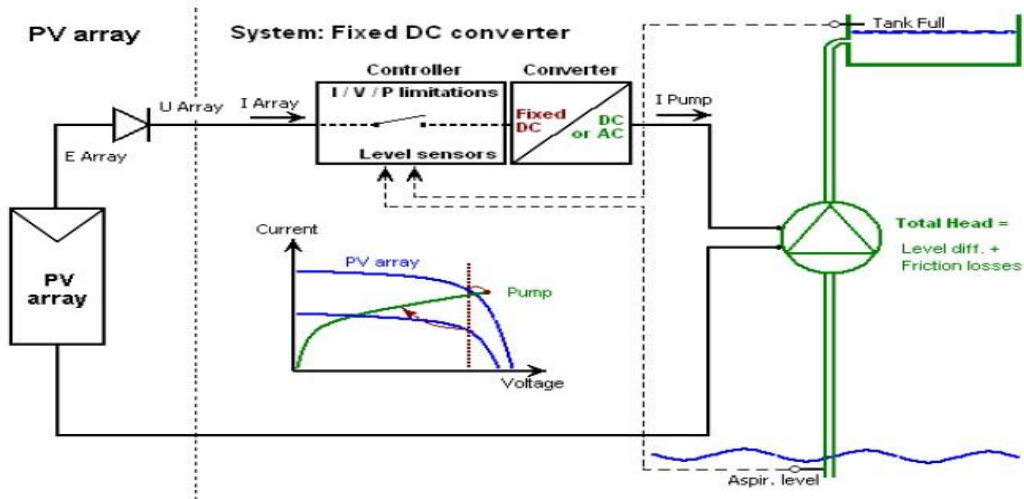


Figure IV.11. Schéma de l'installation de systèmes PV-Pompe.

IV.8 Résultats de simulation

Dans ce qui suit, nous présenterons les résultats de simulation obtenus à l'aide du logiciel PVsyst.

IV.8.1 Caractéristiques $I=f(V)$ et $P=(V)$ en fonction des irradiations et de la température

La Figure IV.12 donne la caractéristique $I=f(V)$ du système pour différentes valeurs d'irradiations et une température de 25°C.

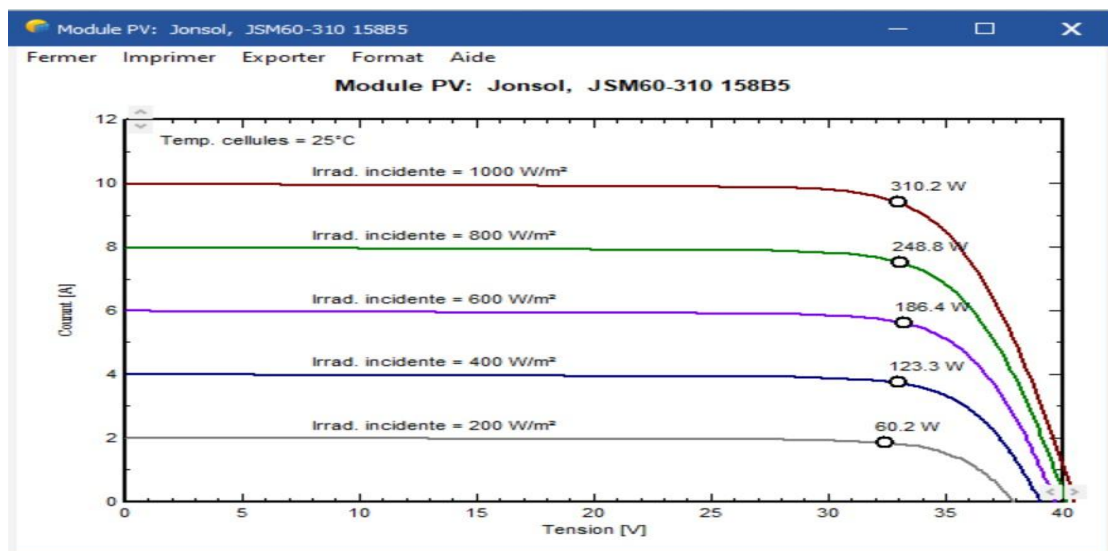


Figure IV.12. Caractéristique $I=f(V)$ du système pour différentes irradiations.

Chapitre IV Simulation par PVsyst du système pompage photovoltaïque

La Figure IV.13 donne la caractéristique $P=f(V)$ du système pour différentes valeurs d'irradiations et une température de 25°C.

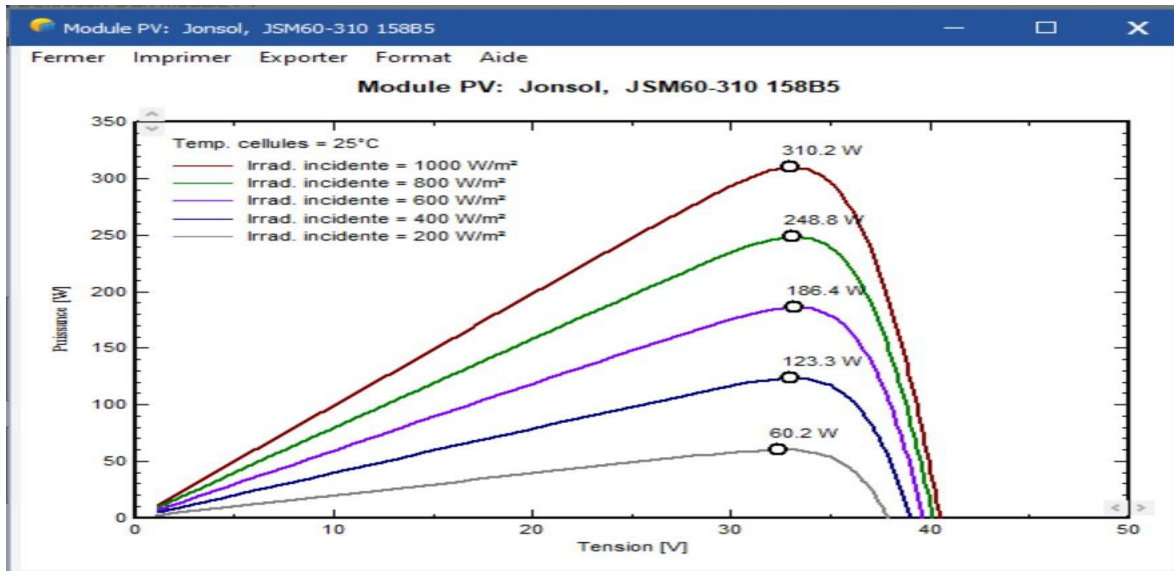


Figure IV.13. Caractéristique $P=f(V)$ du système pour différentes irradiations.

La Figure IV.14 donne la caractéristique $I=f(V)$ pour différentes valeurs de la température et une valeur de l'irradiation de 1000W/m²

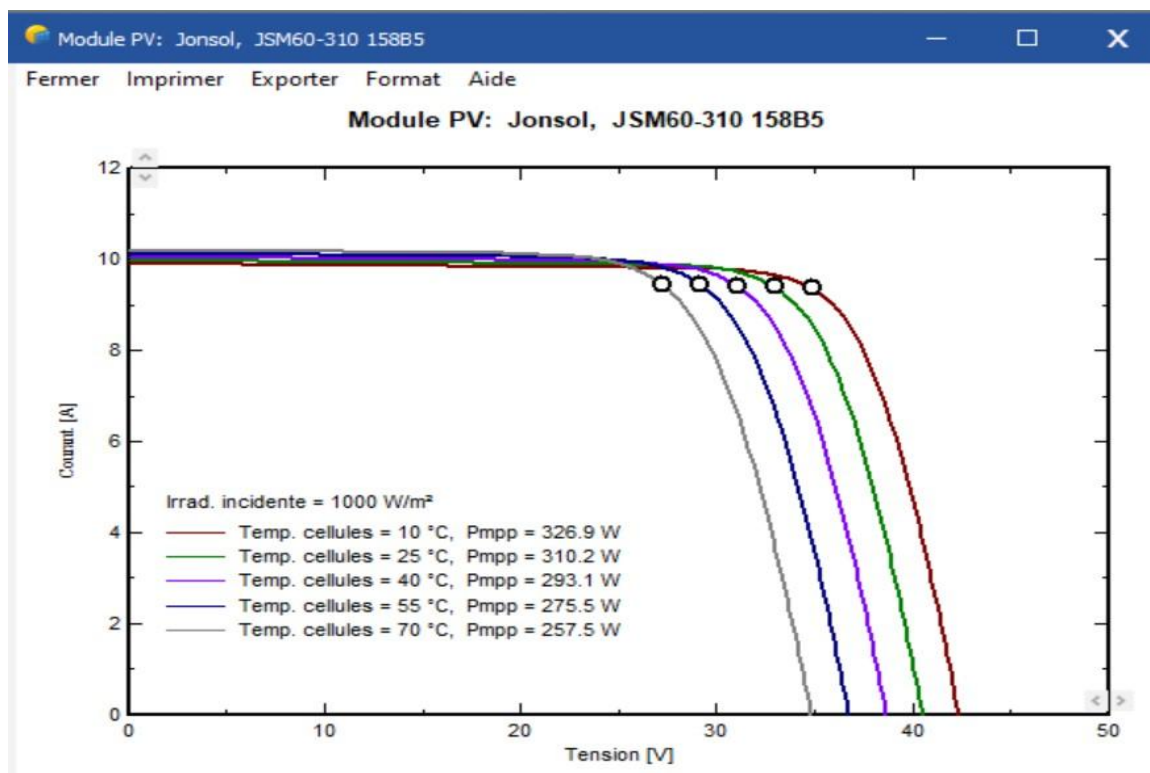


Figure IV.14. Caractéristique $I=f(V)$ du système pour différentes températures.

Chapitre IV Simulation par PVsyst du système pompage photovoltaïque

La Figure IV.15 donne la caractéristique $P = f(V)$ pour différentes valeurs de la température et une valeur de l'irradiation de 1000W/m^2 .

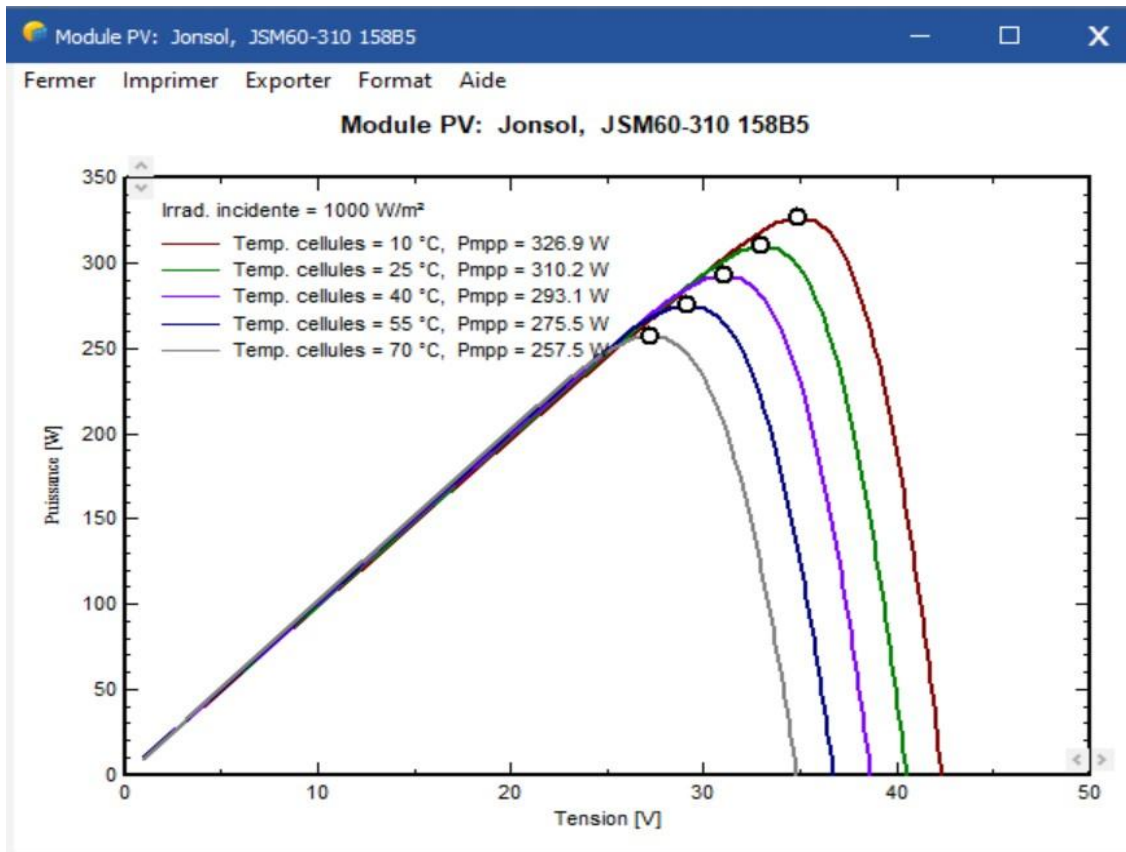


Figure IV.15. Caractéristique $P=f(V)$ du système pour différentes températures.

IV.9 Rapport de la simulation et interprétation

Dans ce qui suit nous présenterons le rapport donné par le logiciel PVsyst : La Figure IV.16 donne la situation géographique du site ainsi que un résumé sur le system de pompage photovoltaïque besoin en eau et le nombre de panneau photovoltaïque total.

La Figure IV.17 présente un rapport détaillé de la simulation concernant la pompe et le champ photovoltaïque, incluant le nombre de panneaux et la puissance crête dans les conditions (STC) ainsi que d'autres résultats complémentaires.

Project summary					
Geographical Site		Situation		Project settings	
Sikh Ou Meddour		Latitude	36.70 °N	Albedo	0.20
Algérie		Longitude	4.11 °E		
		Altitude	108 m		
		Time zone	UTC+1		
Meteo data					
Sikh Ou Meddour					
Meteonorm 8.0 (1991-2000), Sat=100 % - Synthétique					

System summary			
Pumping PV System		Deep Well to Storage	
PV Field Orientation		Water needs	
Fixed plane		Yearly constant	40.00 m³/day
Tilt/Azimuth	30 / 0 °		
System information			
PV Array			
Nb. of modules		12 units	
Pnom total		3720 Wp	

Results summary					
Water		Energy		Efficiencies	
Water Pumped	8958 m³	Energy At Pump	2336 kWh	System efficiency	38.2 %
Specific	654 m³/kWp/bar	Specific	0.26 kWh/m³	Pump efficiency	40.0 %
Water needs	14600 m³	Unused (tank full)			
Missing Water	38.6 %	Unused PV energy	0 kWh		
		Unused Fraction	0.0 %		

Figure IV.16. Résultats généraux de la simulation.

Chapitre IV Simulation par PVsyst du système pompage photovoltaïque

La Figure IV.18 nous renseigne sur l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques est l'énergie incidente :

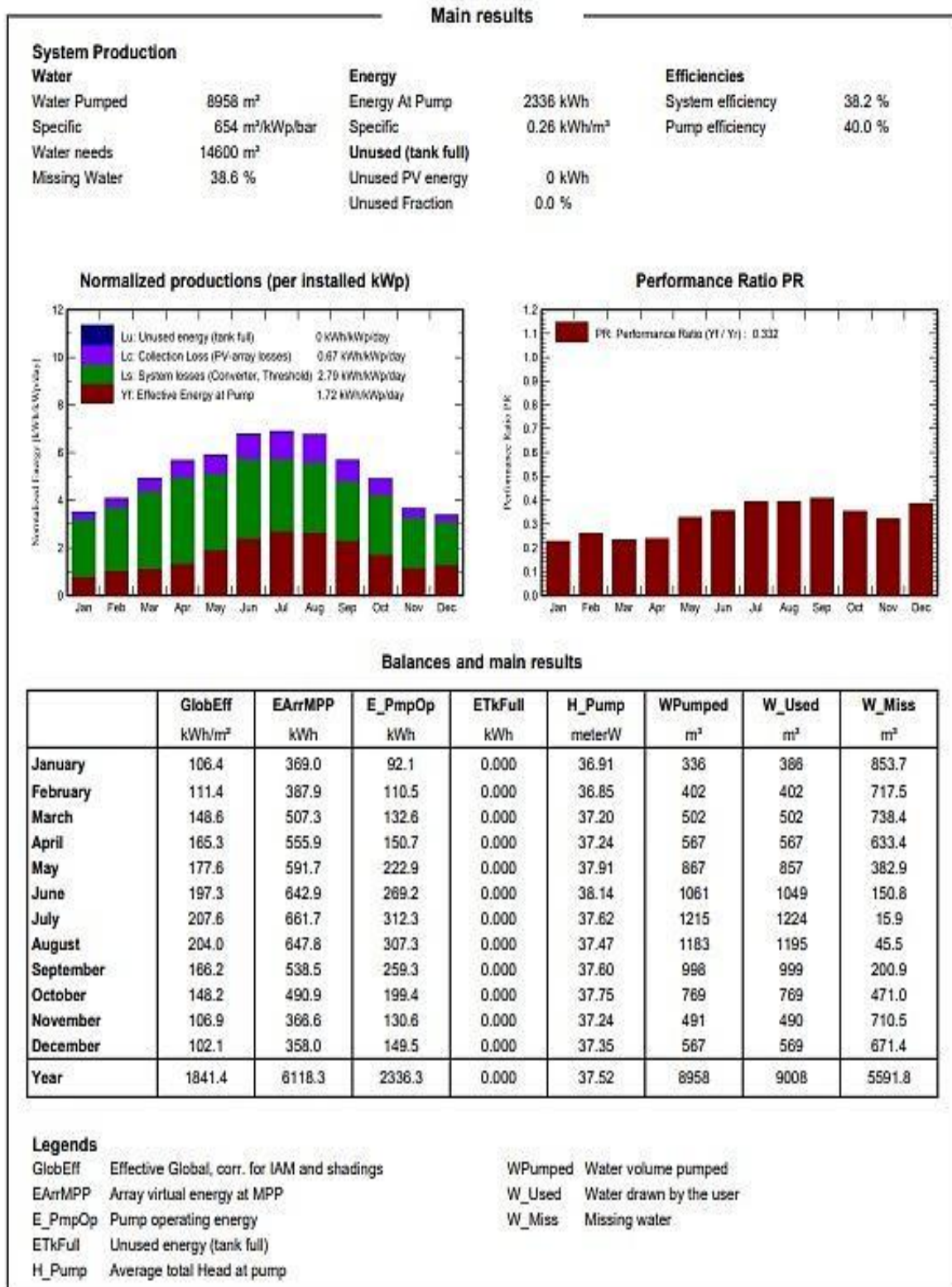


Figure IV.18. Résultats principaux de la simulation.

Chapitre IV Simulation par PVsyst du système pompage photovoltaïque

La Figure IV.19 montre le diagramme des pertes. Ces pertes sont liées à plusieurs paramètres de dégradations auxquelles est soumis notre système. Ce diagramme résume ces pertes principalement aux pertes de champ photovoltaïque dues à la température.

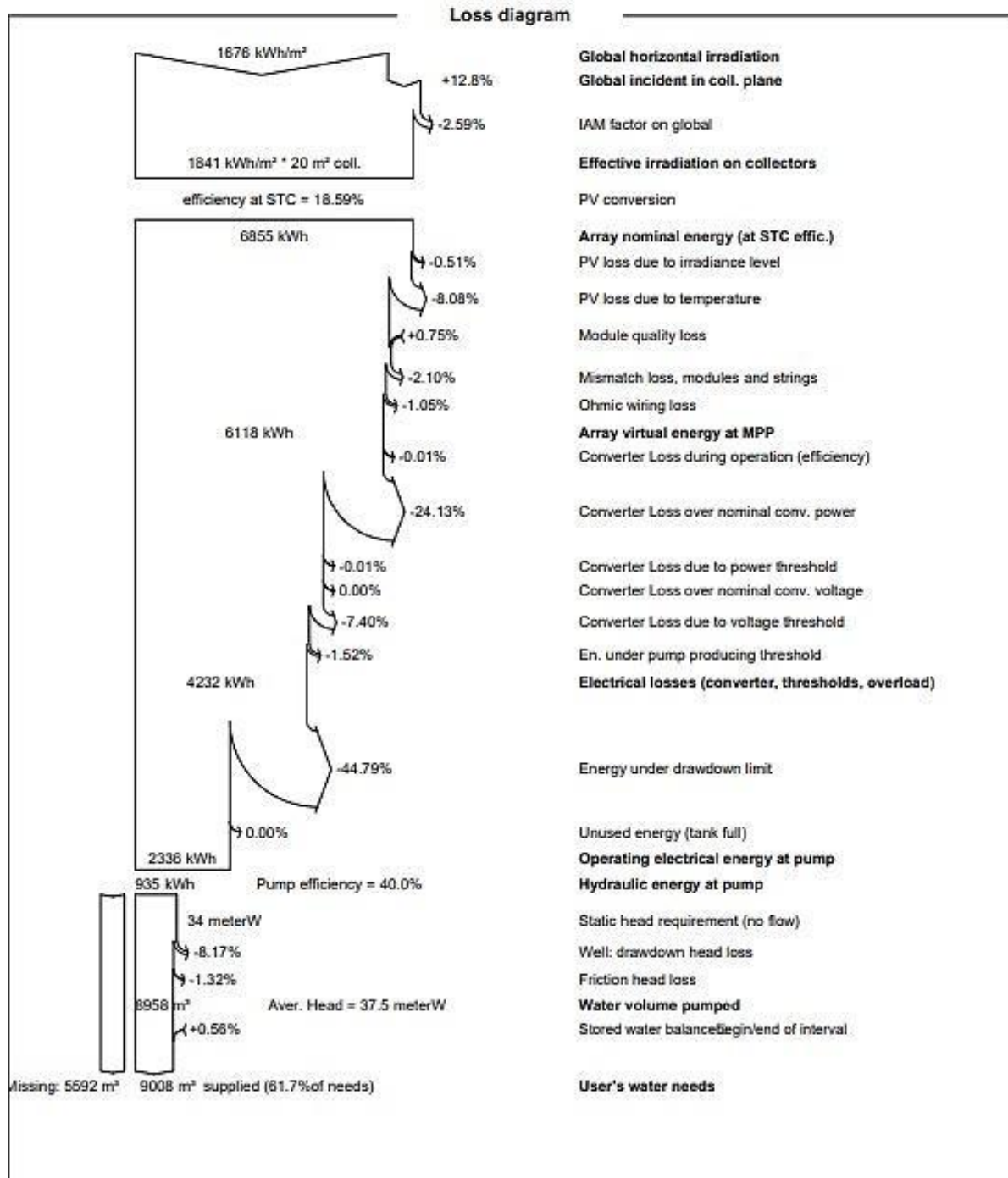


Figure IV.19. Diagramme des pertes.

Chapitre IV Simulation par PVsyst du système pompage photovoltaïque

La Figure IV.20 présente l'allure de la distribution de l'irradiation au quelle est soumis notre système durant l'année.

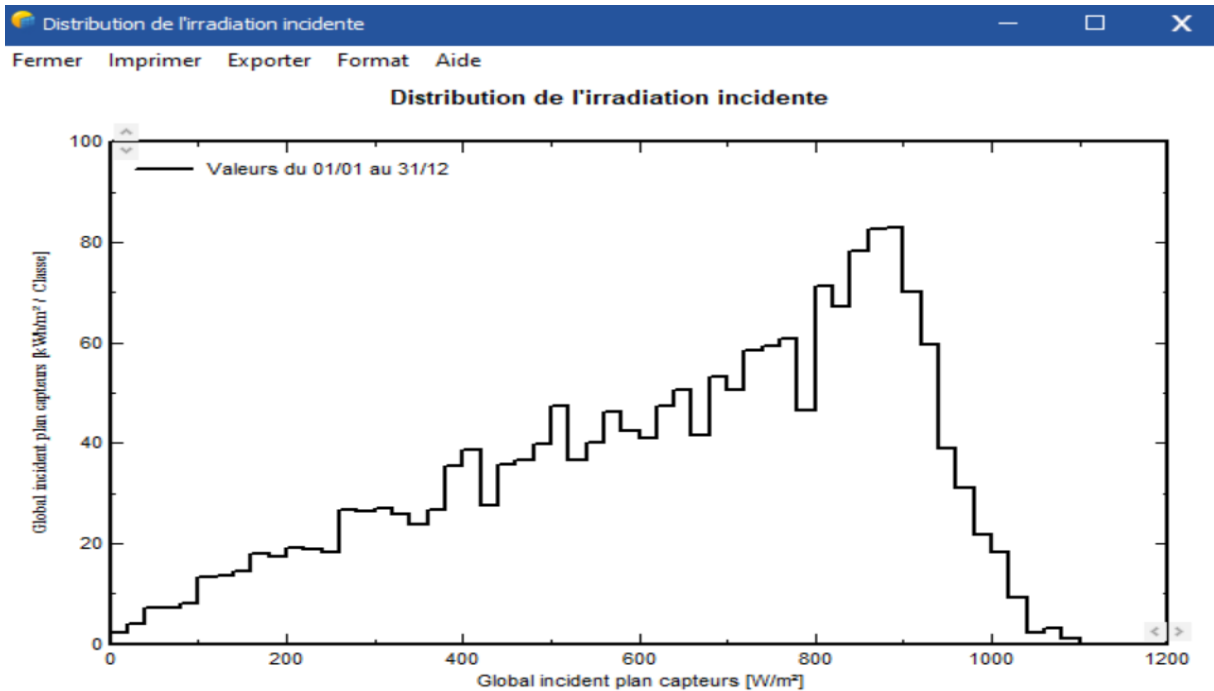


Figure IV.20 : Allure de la distribution de l'irradiation incidente.

La Figure IV.21 présente l'allure de la distribution de l'énergie effective de sortie de champ photovoltaïque durant l'année.

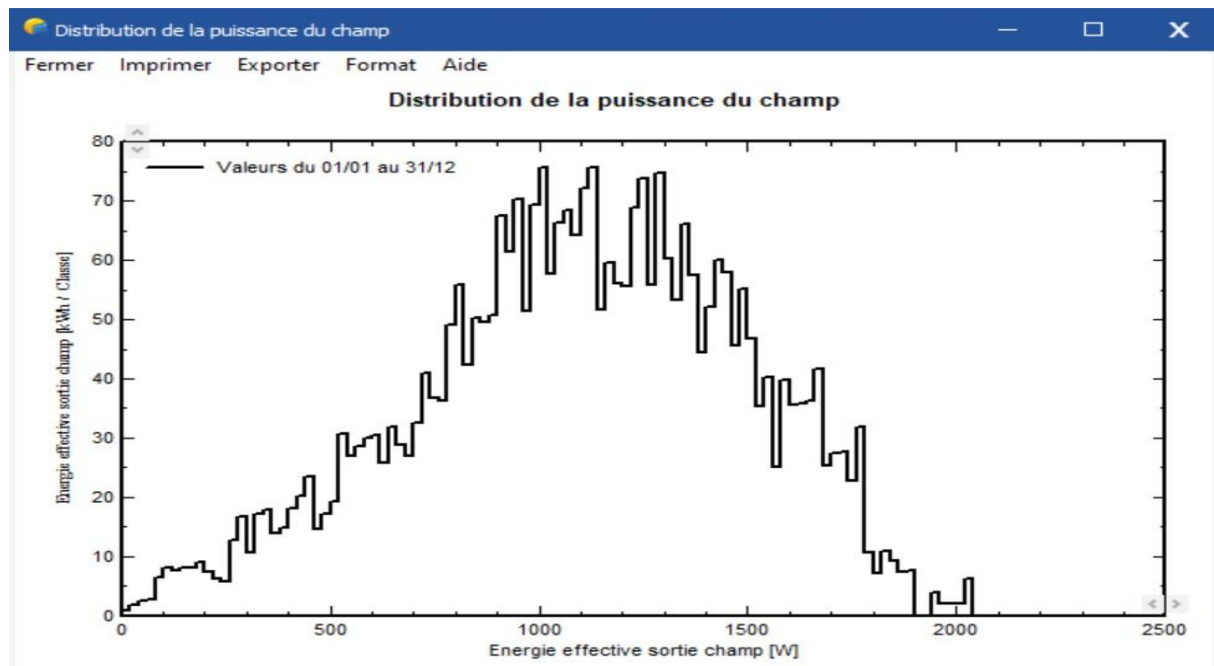


Figure IV.21. Allure de la distribution de la puissance.

IV.10 Conclusion

Le logiciel PVsyst nous a permis de simuler le système de pompage photovoltaïque destiné à l'irrigation d'un terrain agricole situé dans la zone Sikh Oumeddour, Tizi-Ouzou. La valeur l'énergie journalière totale utilisée pour le pompage a été déterminée par le logiciel PVsyst. Cette valeur est proche de celle obtenue par le calcul analytique. Le choix du panneau photovoltaïque est effectué en fonction de la puissance crête du champ PV après avoir introduit les paramètres hydrauliques nous permettant d'évaluer l'énergie journalière. Après simulation nous avons obtenus le nombre de panneaux en série et en parallèle ainsi que le type du régulateur et l'onduleur. Les résultats de la simulation obtenus par le logiciel PVsyst sont en bonne concordance avec ceux obtenus par le calcul analytique, tels que le nombre de panneaux photovoltaïques.

Conclusion générale

Conclusion générale

Un système de pompage photovoltaïque représente une solution écologique fiable et économique pour les besoins en eau, surtout dans des zones éloignées des infrastructures énergétiques traditionnelles. Grâce à un dimensionnement adéquat et à une conception bien pensée, il permet de répondre durablement aux besoins en eau tout en offrant une alternative propre aux méthodes de pompage conventionnelles.

Notre travail a porté sur le dimensionnement et la simulation d'un système de pompage photovoltaïque au fil de soleil à la zone de Sikh Oumeddour située à la wilaya de Tizi-Ouzou, pour irriguer une superficie de six hectares d'un terrain agricole comprenant 1000 arbres oliviers et 1000 orangers.

Nous avons présenté les étapes de dimensionnement du système de pompage photovoltaïque, en incluant l'évaluation des besoins en eau. Nous avons mis en avant les formules utilisées pour calculer l'énergie hydraulique et électrique nécessaires, ainsi que le dimensionnement du champ photovoltaïque. Nous avons déterminé la puissance crête du générateur photovoltaïque et calcul du nombre de panneaux photovoltaïques en fonction de ces besoins, ainsi que le régulateur et l'onduleur.

Par la suite nous avons procédé à la simulation de notre système en utilisant le logiciel PVsyst. Nous avons injecté les paramètres nécessaires, tels que la localisation géographique du site, l'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires, et les besoins en eau. Nous avons constaté que les résultats obtenus après simulation sont proches des résultats obtenus lors du dimensionnement théorique.

Ce projet illustre ainsi le potentiel des énergies renouvelables dans l'irrigation des terres agricoles en fournissant une solution fiable et respectueuse de l'environnement parfaitement adaptée à ce type de zone agricole.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Degla Mohammed, Larbi Ben Ahmed Bachir, « Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque », Mémoire de Master Professionnel, Spécialité Instrumentation, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2017.
- [2] Anne Labouret, Michel villoz, « Energie Solaire Photovoltaïque » 3e Edition, Dunod Paris 2006.
- [3] Helali Kamelia, « Modelisation D'une Cellule Photovoltaïque : Etude Comparative », Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri, 2012.
- [4] Abderrahmane Agroum, « Etude d'un Système Photovoltaïque autonome », Mémoire de Master, Electrotechnique, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2017.
- [5] Mohamed Lakhdar Louazene, « *Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla* », Mémoire de Magister, Electrotechnique, Université El hadj Lakhdar, Batna, 2008.
- [6] A Bilbao Learreta. « Réalisation De Technique MPPT Numérique », Stage Projet De Fin D'études Ingénieur, Electronique Industrielle, Université Rovira Virgile, Espagne, 2006.
- [7] Djenane Mohamed Salim, Kacimi El Hassani, Mohamed Abderrazak, « Etude et Commande d'un Onduleur triphasé à Structure Z-Source dans une chaîne photovoltaïque en mode isolé », Mémoire de Projet de Fin d'Etudes, Electrotechnique, Ecole Nationale Polytechnique Alger, 2016.
- [8] Djeriou Salim, « Simulation d'un système photovoltaïque alimentant une machine asynchrone », Mémoire de Magister, option Machines Electriques, Université Ferhat Abbas de Sétif, 2011.
- [9] M. R. Ben Tria. « Etude d'un système de pompage photovoltaïque pour des puits de parcours (cas de la région de Taïbet-Ouargla) », Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2017.
- [10] I. Lafia Seidou. « Etude et dimensionnement des systèmes de pompage photovoltaïque dans les localités rurales du Bénin (cas de Adjakpata) », Mémoire de Master, Institut International d'Ingénierie-Ouagadougou 01, Burkina Faso, 2017.
- [11] KY. Thierry, S. Maurice, « Système Photovoltaïque : Dimensionnement pour pompage d'eau, pour une irrigation goutte-à-goutte », Mémoire de Diplome d'Etude Approfondie, Physique Appliquée, Université de Ouagadougou, 2007.
- [12] Rachid Chenni « Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque dans un village solaire », Thèse Doctorat, Université Mentouri de Constantine, 2007.
- [13] Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric Schiller, Bocar Sada Sy, « Le pompage photovoltaïque », Éditions Multi Mondes, Université d'Ottawa, 1998.
- [14] B Multon, H B Ahmed, N Bernard, « Les moteurs électriques pour applications de grande série », Article, Cavarec Antenne de Bretagne de l'École Normale Supérieure, Cachan, 2000.

- [15] H Bonneviot, M Courillon, Y Maigne. « Technologies européennes du pompage solaire photovoltaïque » Fondation énergies pour le monde 2004.
- [16] Sofiane Fellouah, Siham Mesbahi, « Etude d'un système photovoltaïque connecté à réseau », Mémoire Fin d'Etude Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015.
- [17] Chaaraoui Nesrine, Senoussaoui Fella, « Etude et dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque », Mémoire Fin d'Etude Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2021.
- [18] A Saadi, « Etude Comparative Entre Les Techniques D'optimisation Des Systèmes De Pompage Photovoltaïque », Thèse de Magister, Université de Biskra 2001.
- [19] J M Hirtz, « Les stations de Pompage D'eau », 6^e Edition 1991.
- [20] Kara Omar Abdallah, « Etude Des performances des pompes centrifuge transportent des fluides complexes », Thèse de Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed-Boudiaf, 2018.
- [21] A Hadj Arab, M Benghanem, A Gharbi, « Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque », Article, Centre de Développement des Energies Renouvelables, Bouzaréah, Alger, Faculté de Génie Electrique, Université Science Technologie Houari Boumediene, Alger, 2005.
- [22] Djioua Chafiaa, Chiout Tinhinane, « Etude et simulation d'un système de pompage d'eau par énergie photovoltaïque », Mémoire de Master, Electrotechnique, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2014.
- [23] Debili Narimene, « étude et optimisation en environnement Matlab/Simulink d'un système de pompage photovoltaïque », Mémoire de Magister, Electronique, Université Constantine1, 2015.
- [24] Bengourain Issam, « Représentations des systèmes hybrides à énergie renouvelables », Mémoire de Master, Université Aboubakr Belkaïd, Tlemcen, 2022.
- [25] A Hamidat, A hadj Arab, F Chenlo, M Abella, « performances of the centrifugal and displacement pumps », Edition 1998.
- [26] Saïd Keddache, Rabah Baoudj, « étude et simulation de système de pompage d'eau par le procédé photovoltaïque », Mémoire de Master, Electrotechnique, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2013.