

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie
قسم الآليات والالكترونقتي
Département d'Automatique et électrotechnique



Mémoire de Master

Filière : Électrotechnique
Spécialité : Machines électriques

Présenté par

BOUALOUANA Djamel Eddine

&

BOUNAR Hocine Lotfi

Analyse et dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque

Proposé par : H.KAHLANE

Année Universitaire : 2022-2023

Remerciements

En premier lieu, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné le courage et la volonté d'accomplir ce travail de recherche. Au terme de ce projet, nous tenons à exprimer notre gratitude à Monsieur KAHLANE Hamza, notre promoteur de mémoire, pour ses conseils précieux, le support qu'il nous a fourni, et sa disponibilité durant toute la période de réalisation de ce projet.

Puisque qu'on n'avance pas seul, nos sincères remerciements à Monsieur Ben GHALIA Zakaria, qui nous a aidés à accomplir notre travail malgré ses circonstances. Ainsi que tout le groupe de L'école technique de Blida Sonelgaz.

Hocine & Djamel Eddine

Dédicace

Je dédié ce travaille à mes chers parents qui représente pour moi

la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas

cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Aussi a mes frères et à toute ma famille, et surtout à ma grand-

mère (HBIBA) que dieux l'accueille dans son paradis. Et à mon

collègue du travail Boualouana Djamel Eddine.

BOUNAR HOCINE LOTFI

Je dédié ce travaille à mes chers parents qui représente pour moi

la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas

cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Aussi a mes frères, mes sœurs et à toute ma famille, Et à mon

collègue du travail Bounar Hocine Lotfi, et mes amis Abdsamie,

Anis, Nadir Oussama, Zaki, Djaloul,et Karim.

BOUALOUANA DJAMEL EDDINE

ملخص

تشهد الطاقة الشمسية الكهروضوئية حاليًا نموًا كبيرًا وتقدم حلاً مثاليًا لإمدادات المياه، خاصة في المناطق النائية والمعزولة حيث لا توجد شبكة كهرباء. يعتبر استخدام الطاقة الكهروضوئية في ضخ المياه من أكثر المجالات الواعدة في تطبيقها. تركز الدراسة المقدمة على تحسين استخدام الطاقة الكهروضوئية في نظام الضخ دون استخدام البطاريات.

يقترح هذا العمل طريقتين لتحديد حجم أنظمة الضخ الكهروضوئية. يعتمد الأول على حسابات تحليلية، بينما يستخدم الثاني برنامجًا تفاعليًا يسمى بفسيسست. تتيح هاتان الطريقتان إمكانية تحديد حجم تركيب المضخة الكهروضوئية لتلبية احتياجات المياه المحددة. وهي تعتمد بشكل أساسي على تقييم الاحتياجات المائية، وحساب احتياج المائي، وتحديد الطاقة الشمسية المتاحة واختيار المكونات المناسبة.

الكلمة المفتاحية: الكهروضوئية - نظام الضخ - PVsyst - الطاقة الشمسية - احتياج المائي.

Résumé

L'énergie solaire photovoltaïque connaît actuellement une croissance significative et offre une solution idéale pour l'approvisionnement en eau, en particulier dans les régions éloignées et isolées où il n'y a pas de réseau électrique. L'utilisation de l'énergie photovoltaïque pour le pompage d'eau est considérée comme l'un des domaines les plus prometteurs de son application. L'étude présentée se concentre sur l'optimisation de l'utilisation de l'énergie photovoltaïque dans un système de pompage sans l'utilisation de batteries Sans stockage.

Ce travail propose deux méthodes de dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque. La première repose sur des calculs analytiques, tandis que la seconde utilise un logiciel interactif appelé PVsyst. Ces deux méthodes permettent de dimensionner une installation de pompage photovoltaïque afin de répondre aux besoins en eau spécifiques. Elles se basent principalement sur l'évaluation des besoins en eau, le calcul de l'énergie hydraulique requise, la détermination de l'énergie solaire disponible et le choix des composants appropriés.

Mot clé : photovoltaïque – système de pompage -PVsyst- Energie solaire – Energie hydraulique.

Abstract

Photovoltaic Solar Energy is currently experiencing significant growth and offers an ideal solution for water supply, especially in remote and isolated areas where there is no electricity grid. The use of photovoltaic energy for water pumping is considered one of the most promising areas of its application. The presented study focuses on the optimization of the use of photovoltaic energy in a pumping system without the use of batteries.

This work proposes two methods for sizing photovoltaic pumping systems. The first is based on analytical calculations, while the second uses interactive software called PVsyst. These two methods make it possible to size a photovoltaic pumping installation to meet specific water needs. They are mainly based on the assessment of the water needs, the calculation of the hydraulic energy required, the determination of the solar energy available and the choice of the appropriate components.

Key word: photovoltaic – pumping system -PVsyst- Solar energy – Hydraulic energy.

Listes des acronymes et abréviations

AC : alternative courante.

B : besoin.

CdTe : Cellules solaires au tellure de cadmium.

CIGS : Cellules solaires au sulfure de cuivre indium gallium.

CIS : Cellules solaires au di-séléniure de cuivre indium.

Cs : le couple statique.

DC : direct courant.

DSSC: Dye-sensitized solar cells.

Eh : énergie hydraulique.

Ej : énergie journalière.

g : Accélération de la pesanteur (9,81m /s).

H : hauteur.

h : heure.

Hdy : hauteur dynamique.

HMT : Hauteur manométrique totale.

Hr : hauteur réservoir.

hrabat : hauteur de rabattement.

hstat :hauteur statique.

Hz : hertz.

Icc : Courant de court-circuit.

IP : étanchéité.

Ipm : Courant de fonctionnement optimale.

I-U : courant-tension.

J : jour.

kr : coefficients de proportionnalité.

L : litre.

m :mètre.

m³ :mètre cube.

MPP : Maximum Power Point.

N : newton.

N : nombre de panneaux.

Ni-Cd : Batteries au nickel-cadmium.

η :rendement.

p :puissance.

Pc : puissance crête.

Pmax : Puissance maximale.

PV : photovoltaïque.

P-V : puissance-tension.

Q : Dédit d'eau.

rad :radian.

s :seconde.

Upm : Tension de fonctionnement optimale.

V : volt.

v : volume d'eau.

Vpm : Tension de fonctionnement optimale.

W : watt.

ρ : La masse volumique de l'eau étant de 1000kg/m³.

ω : La vitesse de rotation de la MAS.

Sommaire

Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques	
I.1 Introduction.....	5
I.2 Le soleil.....	5
I.3 Rayonnement solaire.....	6
I.3.1 Rayonnement direct	7
I.3.2 Rayonnement diffus	7
I.3.3 Rayonnement solaire réfléchi (albedo au sol)	7
I.3.4 Rayonnement globale	8
I.4 Gisement solaire en Algérie	8
I.5 conversion photovoltaïque	9
I.6 Définition d'une cellule photovoltaïque	10
I.7 Panneaux Photovoltaïques	12
I.8 Champ photovoltaïque	13
I.9 Les différents montages des champs photovoltaïques	14
I.9.1 Le montage de panneaux PV en série	14
I.9.2 Le montage de panneaux PV en parallèle	14
I.9.3 Le montage de panneaux PV hybride (en série et en parallèle)	15
I.10 Les caractéristiques électriques des panneaux PV-Cellule PV	16
I.10.1 Modèle électrique d'une cellule P	16
I.10.1.1 courbe I (U).....	17
I.10.1.2 courbes P (V).....	18
I.11 Technologies des modules (cellules) PV.....	19
I.11.1 Cellules solaires en silicium cristallin.....	19
I.11.2 Cellules solaires à couche mince.....	20
I.11.3 Cellules solaires organiques.....	21
I.12 Type des systèmes photovoltaïque.....	22

I.12.1 Installations photovoltaïques raccordées au réseau.....	22
I.12.2 Installations photovoltaïques hybride.....	23
I.12.3 Installations photovoltaïques autonomes.....	23
I.12.4 pompage photovoltaïque.....	27
I.13 Conclusion.....	28

Chapitre II : les types des pompes dans le pompage photovoltaïque

II.1 Introduction.....	30
II.2 Pompe photovoltaïque.....	30
II.3 Les composants d'un système de pompage photovoltaïque.....	31
II.4 Différentes types des pompes.....	33
II.4.1 Classification Selon le moteur.....	33
1- La pompe solaire DC.....	33
A- Moteur à courant continu.....	34
a) -Les moteurs à balai.....	35
a)-Brushless	35
B- La pompe solaire AC	35
2- Le moteur alternatif	36
a. Les moteurs synchrones.....	36
b. Moteur à induction (asynchrone)	37
II.4.2 Selon la catégorie.....	37
II.5 Les pompes volumétriques.....	37
II.5.1 Immergée.....	38
II.5.2 Surfacique.....	39
II.6 Les avantages et les inconvénients de la pompe volumétrique.....	40
II.6.1 Avantages des pompes volumétriques.....	40
II.6.2. Inconvénients des pompes volumétriques	40
II.7 Pompe centrifuge	40
II.8 Constitution	41

II.9 Les avantages et les inconvénients des pompes centrifuges.....	42
a) Les avantages	42
b) Les inconvénients.....	42
II.10 Exemple sur une pompe.....	42
II.10. 1 Description sur l'exemple.....	43
II.11 Les caractéristiques de la pompe.....	44
II.11.1 La hauteur Q(H).....	44
II.11.2 Débit	45
II.11.3 Caractéristique couple-vitesse C(ω) de la pompe	45
II.11.4 Caractéristique de la puissance	45
II.12 Conclusion.....	46

CHAPITRE III : Dimensionnement analytique et logiciel

III.1 Introduction	48
III.2 Dimensionnement analytique	48
III.3 Les différents logiciels de dimensionnement d'un système de pompage PV	50
III.3.1 PVGIS.....	50
III.3.2 PVSOL	50
III.3.3 PVsyst.....	51
III.4 Les Approche de base de notre projet sur PVsyst.....	51
III.5 Conclusion.....	56

Chapitre IV : Analyse et dimensionnement (Résultat et discussion)

IV.1 Introduction.....	58
IV.2 Dimensionnement et calcul analytique.....	58
IV.3 Dimensionnent sur PVsyst.....	59
IV.3.1 Création de la première variante	59
IV.3.2 Comparaison entre les données de notre projet et les caractéristiques de la pompe choisi	64
IV.3.3 Le choix des composants	65

A-Module photovoltaïque	65
B-Le régulateur	66
IV.4 Exécution et simulation	67
IV.5 Rapport et résultat obtenu	68
IV.6 Commentaires et discussions des résultats.....	73
IV.6.1 Première page du rapport	73
A-Résumer de projet	73
B-Résumer du système	73
C-Résumer du résultat	73
IV.6.2 Deuxième page du rapport	74
IV.6.3 Troisième page du rapport.....	74
IV.6.4 Quatrième page du rapport.....	74
IV.7 Conclusion.....	75
Conclusion générale	75
Annexes	77
Bibliographie	81

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I-1 : Le soleil source de l'énergie solaire	6
Figure I-2 : Composantes du rayonnement solaire.....	7
Figure I-3 : les quatre types de rayonnement solaire	8
Figure I-4 : Irradiation globale journalière reçue sur un plan horizontal sur le territoire Algérien.....	9
Figure I-5 : <i>Transformation</i> de l'énergie lumineuse en énergie photovoltaïque	10
Figure I-6 : schéma d'une cellule photovoltaïque.....	11
Figure I-7 : les composantes de panneau photovoltaïque.....	12
Figure I-8 : Montage de 2 panneaux en série.	14
Figure I-9 : Montage de 2 panneaux en parallèle	15
Figure I-10 : montage hybride.....	16
Figure I-11 : caractéristiques courant / tension	17
Figure I-12 : caractéristiques puissance / tension	18
Figure I-13 : Cellule monocristalline	20
Figure I-14 : Cellule polycristalline	20
Figure I-15 : Cellule photovoltaïque Amorphe	21
Figure I-16 : Cellule solaires organique	21
Figure I-17 : schéma globale d'une installation PV raccordé au réseau	22
Figure I-18 : schéma d'une installation d'un système hybride	23
Figure I-19 : Installation photovoltaïque autonome	24
Figure I-20 : Figure réelle d'un onduleur PV	25

Figure I-21 : principe de fonctionnement d'un système de pompage solaire PV	28
--	----

Chapitre II :

FigureII-1 : système de pompage.....	31
---	----

FigureII-2 : système de pompage.....	32
---	----

FigureII-3 ; Schéma des différents types de moteur	33
---	----

FigureII-4 : moteur a aiment	34
---	----

Figure II-5 : moteur brushless	35
---	----

FigureII-6 : pompe AC	36
------------------------------------	----

Figure II-7 : moteur asynchrone triphasé (courant alternatif)	37
--	----

FigureII-8 : Pompe volumétrique.	38
--	----

FigureII-9 : caractéristique d'une pompe volumétrique	38
--	----

FigureII-10 : pompe solaire immerge.	39
--	----

FigureII-11 : pompe solaire de surface	39
---	----

Figure II-12 : vue en face d'une pompe centrifuge.	41
--	----

Figure II-13 : Constitution d'une pompe centrifuge.	41
---	----

Figure II-14 : plaque signalétique.	42
---	----

Figure II-15 : Courbe H(Q) de la pompe centrifuge et la caractéristique de canalisation.....	44
---	----

CHAPITRE III :

Figure III-1 : Logo du logiciel PVGIS	50
--	----

Figure III-2 : logo du logiciel PVSOL	51
--	----

Figure III-3 : logo du logiciel PVyst.....	51
---	----

Figure III-4 : Page principale du PVsyst.....	52
--	----

Figure III-5 : Bases des données.	53
Figure III-6 : Liste de sites géographique disponible	53
Figure III-7 : le point exact de notre projet sur la carte interactive.	54
Figure III-8 : Cordonnées géographique	54
Figure III-9 : Météo mensuel.	55
Figure III-10 : Liste de site disponible après avoir mentionner la place de notre projet.....	55
Figure III-11 : Tableau de bord	56

Chapitre IV :

Figure IV-1 : Tableau de bord	59
Figure IV-2 : le type de champ pour l'installation solaire et les angles d'inclinaison et d'azimut.....	60
Figure IV-3 : circuit hydraulique de pompage.....	61
Figure IV-4 : définition de besoin d'eau et de pression.	62
Figure IV-5 : fiche technique de la pompe choisie.....	63
Figure IV-6 : Courbe du rendement de la pompe en fonction de la puissance.....	64
Figure IV-7 : définition de la pompe.....	64
Figure IV-8 : Fiche technique du module PV	65
Figure IV-9 : La courbe I(V) du module PV choisi	66
Figure IV-10 : Conception du sous champ	66
Figure IV-11 : Bouton de simulation.	67
Figure IV-12 : Paramètres de simulation.	67
Figure IV-13 : paramètre du système de rapport.....	67
Figure IV-14 : caractéristiques de champ PV et de pompe.	68

Figure IV-15 : pertes de système.....	68
Figure IV-16 : résultats principaux du projet.....	69
Figure IV-17 : diagramme de pertes	70

Introduction générale

Introduction générale

Le défi de la production d'énergie est de la plus haute importance pour les années à venir, car la demande énergétique des pays industrialisés continue d'augmenter et les pays en développement ont besoin de plus d'énergie pour leur croissance et leur progrès.

De nos jours, une part importante de l'énergie mondiale est générée à partir de combustibles fossiles non renouvelables. La consommation de ces sources d'énergie entraîne l'émission de gaz à effet de serre, entraînant une augmentation des niveaux de pollution. De plus, une menace imminente est l'épuisement des ressources naturelles dû à leur utilisation excessive, qui peut s'avérer périlleuse pour les générations futures. À la lumière de cela, la science s'est tournée vers les ressources renouvelables, qui sont cruciales pour le développement durable et occupent une place de choix dans le domaine de la recherche et du développement, en particulier au milieu des multiples crises économiques et pétrolières. Dans cette ère moderne, il existe de nombreuses options pour acquérir des énergies renouvelables, y compris les sources hydroélectriques, géothermiques, biomasse, éoliennes et photovoltaïques (qui seront au centre de cette thèse). Le principal avantage de l'utilisation de ces sources renouvelables est leur nature respectueuse de l'environnement : elles ne contribuent pas à la pollution atmosphérique et ne génèrent pas de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et les oxydes d'azote, qui ont été identifiés comme les principaux responsables du réchauffement climatique.

Dans les pays en développement, l'accès sécurisé à l'eau potable est un luxe pour la moitié de la population. Ce manque d'accès est responsable de 80% des maladies et de la pauvreté vécues dans ces zones. Afin de lutter contre ce problème, l'accent a été mis sur la mise en œuvre de programmes tels que le pompage de l'eau. Cependant, dans certaines régions, la seule solution pour atteindre cet objectif passe par l'utilisation des eaux souterraines. Dans les zones où les réseaux électriques sont inaccessibles, plusieurs options sont disponibles pour utiliser ces sources, notamment les pompes manuelles, les pompes diesel et les pompes solaires.

Aujourd'hui, le pompage de l'eau à l'aide de l'énergie photovoltaïque est une technologie émergente caractérisée par des coûts de plus en plus faibles. Depuis leur première installation à la fin des années 1970, les systèmes de pompage d'eau solaire ont eu une part importante des applications de l'énergie solaire et sont aujourd'hui parmi les applications les plus importantes de l'énergie photovoltaïque. Ceci est principalement dû au fait qu'il n'est pas économiquement faisable de connecter ces sites distants au réseau.

Ce travail comprendra une introduction générale, suivie d'un premier chapitre décrivant les principes généraux des systèmes photovoltaïques, y compris la conversion de l'énergie solaire en électricité. Les différents types de cellules solaires et les configurations de montage seront également abordés.

Le deuxième chapitre portera spécifiquement sur les pompes solaires, en présentant les différents types disponibles et les moteurs qui les alimentent. Les avantages et les inconvénients de chaque type de pompe seront discutés, et les caractéristiques des pompes centrifuges seront présentées.

Le troisième chapitre mettra en évidence les lois analytiques qui guideront notre travail, puis présentera le logiciel PVsyst et les étapes initiales du processus de recherche.

Enfin, le dernier chapitre présentera les résultats des calculs analytiques et des étapes suivies avec PVsyst. Les résultats obtenus à partir du logiciel seront discutés, et le travail se terminera par une conclusion générale.

Chapitre I

I.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable qui utilise la lumière du soleil pour produire de l'électricité. Elle offre une solution propre, durable et abondante pour répondre aux besoins croissants en énergie tout en réduisant l'impact sur l'environnement. Les systèmes solaires photovoltaïques convertissent directement l'énergie solaire en électricité à l'aide de cellules solaires spéciales.

I.2 Le soleil

Le soleil est la source essentielle de tout rayonnement reçu par la terre, ce dernier lui procure l'énergie, la chaleur et la lumière qui sont nécessaires à toute forme de vie. [1]

L'énergie solaire vient de la fusion nucléaire qui se produit au centre du soleil. Elle se propage dans le système solaire et dans l'univers essentiellement sous forme d'un rayonnement électromagnétique de photons et de rayonnement infrarouge. L'énergie solaire reçue en un point du globe dépend de : la latitude, la saison et l'heure, qui influent sur la hauteur du soleil et donc sur l'énergie reçue au sol par unité de surface, ainsi que sur la nébulosité en fonction du climat local.[2]

Le soleil est une source d'énergie. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir des panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires. L'énergie solaire est propre, n'émet aucun gaz à effet de serre et sa matière première, le soleil bien que distant de plus de 150 millions de kilomètres de nous. Cette distance varie peu au cours de l'année (+/- 1.65 %) car l'excentricité de l'orbite terrestre est peu accentuée, d'où la terre suit une révolution elliptique autour du soleil (en réalité elle est légèrement circulaire). La période de révolution est définie à une année. L'angle entre l'axe de rotation de la terre et le plan écliptique est de 66.55° , ce qui donne un angle de 23.45° entre l'équateur et le plan de l'écliptique. [1]

Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire est réduite à 1000 W/m^2 à cause de l'absorption dans l'atmosphère. Albert Einstein a découvert en travaillant sur l'effet photoélectrique que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie est portée par des particules, les photons.

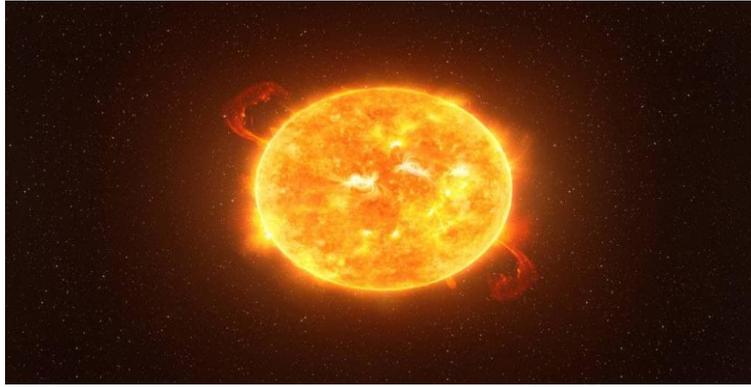


Figure I-1 : Le soleil source de l'énergie solaire. [2]

I.3 Rayonnement solaire

Après son voyage dans l'espace le rayonnement solaire atteint l'atmosphère, une certaine quantité de ce rayonnement est absorbée par l'atmosphère, les nuages et les particules en suspension dans l'atmosphère, une autre partie est réfléchi dans l'espace et une certaine quantité est absorbée par la surface de la terre. La surface de la terre renvoie aussi une certaine partie sous forme d'un rayonnement de différentes longueurs d'ondes en raison de la température superficielle de la terre. Environ 70% du rayonnement solaire total reste dans la surface de la terre et dans l'atmosphère. La rotation de la terre autour de son axe produit des variations horaires dans l'intensité du rayonnement reçue par un emplacement donné pendant le jour et aboutit même à l'extinction complète pendant la nuit. [1]

L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement à :

- 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 ($>0,8 \mu\text{m}$). [4]

L'utilisation du rayonnement solaire comme source d'énergie pose un problème bien particulier. En effet, le rayonnement solaire n'est pas toujours disponible, on ne peut ni l'emmagasiner ni le transporter. Le concepteur d'un système qui emploie le rayonnement solaire comme source d'énergie doit donc déterminer la quantité d'énergie solaire disponible à l'endroit visé ainsi que le moment où cette énergie est disponible.

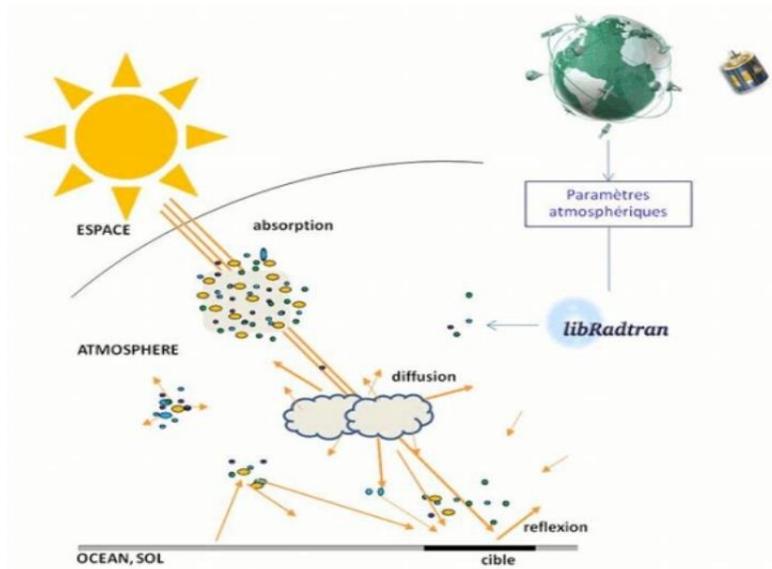


Figure I-2 : Composantes du rayonnement solaire. [8]

En effet, il y a quatre types de rayonnement solaire :

I.3.1 Rayonnement direct

Le rayonnement direct, comme son nom l'indique, est le rayonnement solaire reçu à tout point sur Terre vient directement du soleil sans aucune interférence. La réflexion est principalement le retour de la surface de réception, et cette composante est relativement importante au Sahara.

Toute quantité de rayonnement solaire quel point sur la surface de la Terre dépend de l'emplacement du point, de la période de l'année, de la diffusion atmosphérique, de la couverture nuageuse, de la forme et de la réflectivité de la surface de réception.

I.3.2 Rayonnement diffus

C'est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire global par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages et les aérosols. Il peut être mesuré par un pyranomètre avec écran masquant le soleil.

I.3.3 Rayonnement solaire réfléchi (albedo au sol)

C'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface du sol. Cet albedo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

I.3.4 Rayonnement globale

Le rayonnement global est subdivisé en rayonnements directs, diffus et reflété par le sol. Il est mesuré par un pyranomètre ou un solarimètre sans écran.

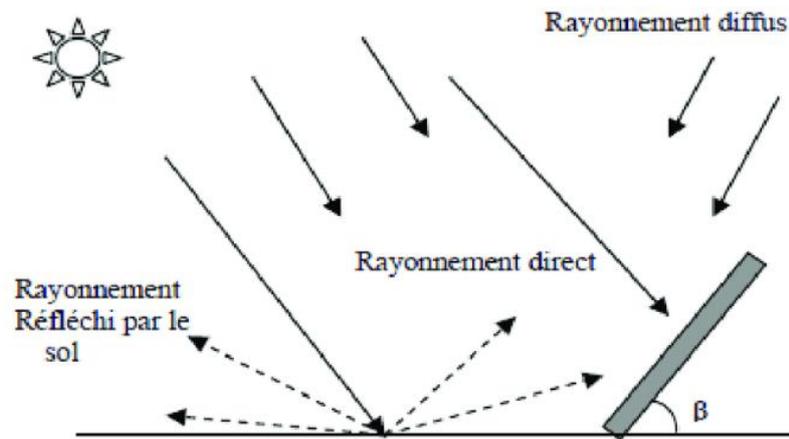


Figure I-3 : les quatre types de rayonnement solaire. [8]

I.4 Gisement solaire en Algérie

Un champ solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible pour un lieu donné et sur une période de temps donnée. Son évaluation peut être effectuée en fonction des données globales de rayonnement solaire.

L'Algérie possède l'un des plus grands gisements solaires au monde. Presque tous les territoires du pays reçoivent plus de 2000 heures d'ensoleillement par an, atteignant 3900 heures (l'Altiplano et le désert du Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² de surface horizontale représente environ 5 kWh dans la majeure partie du pays, soit près de 1700 kWh/m²/an dans le nord du pays et 2263 kWh/m²/an dans le sud du pays.

L'énergie moyenne reçue quotidiennement sur une surface inclinée à la latitude est d'environ 7kWh/m²/jour. Elle est répartie comme suit :

- Au Nord : 5,6 kWh/m²/jour.
- Au Sud : 7,2 kWh/m²/jour. [2]

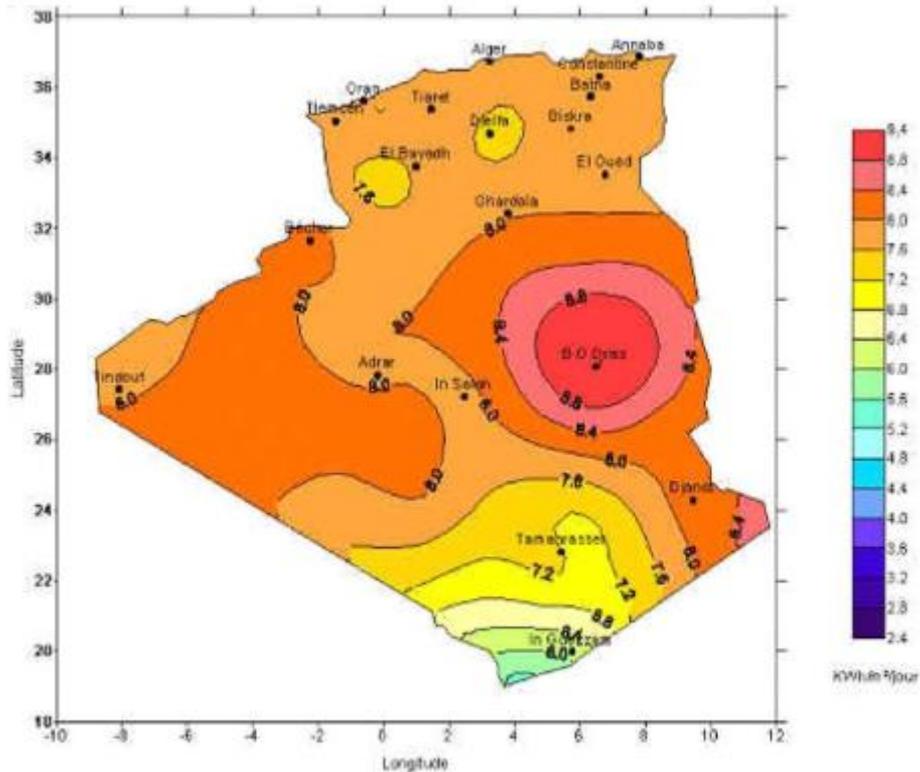


Figure I-4 : Irradiation globale journalière reçue sur un plan horizontal sur le territoire Algérien. [1]

I.5 conversion photovoltaïque

La conversion photovoltaïque est le processus par lequel l'énergie lumineuse est convertie en électricité à l'aide de cellules solaires photovoltaïques. Lorsque la lumière frappe la surface d'une cellule solaire, elle excite les électrons dans le matériau semi-conducteur, ce qui crée un courant électrique. Ce courant peut ensuite être utilisé pour alimenter des appareils électriques ou être stocké dans des batteries pour une utilisation ultérieure.

L'efficacité de conversion photovoltaïque est généralement mesurée par le rendement des cellules solaires, qui représente le pourcentage d'énergie lumineuse captée qui est convertie en électricité. Les cellules solaires commerciales les plus courantes atteignent actuellement des rendements allant de 15% à 22%.



Figure I-5 : Transformation de l'énergie lumineuse en énergie photovoltaïque. [8]

Le schéma **I-5** représente les étapes de la conversion photovoltaïque :

1. Source de lumière : Cela peut être la lumière du soleil ou toute autre source de lumière appropriée. Les photons de lumière provenant de la source frappent la cellule photovoltaïque.
2. Cellule photovoltaïque : La cellule photovoltaïque, composée de couches de semi-conducteurs, convertit la lumière incidente en électricité à l'aide de l'effet photovoltaïque. Lorsque les photons de lumière sont absorbés par la cellule, des électrons sont libérés de leurs atomes, créant ainsi un courant électrique.
3. Courant électrique : Le courant électrique généré par la cellule photovoltaïque est collecté et dirigé vers les appareils électriques ou un système de stockage, tels que des batteries. Ce courant peut être utilisé pour alimenter divers équipements et systèmes électriques.

I.6 Définition d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque, également appelée cellule solaire, est un dispositif électronique qui convertit directement l'énergie lumineuse en électricité à l'aide de l'effet photovoltaïque. C'est l'unité de base d'un panneau solaire.

Une cellule photovoltaïque est généralement composée d'un matériau semi-conducteur, le plus souvent du silicium, qui est doté de propriétés spéciales permettant la conversion de la lumière en électricité. Le silicium peut être de type monocristallin, polycristallin ou amorphe, et chaque type présente des caractéristiques différentes en termes de rendement et de coût.

Les cellules photovoltaïques sont largement utilisées pour la production d'électricité à partir de la lumière du soleil. Elles offrent une source d'énergie propre, renouvelable et durable, contribuant à la réduction des émissions de carbone et à la transition vers une économie basée sur les énergies renouvelables.

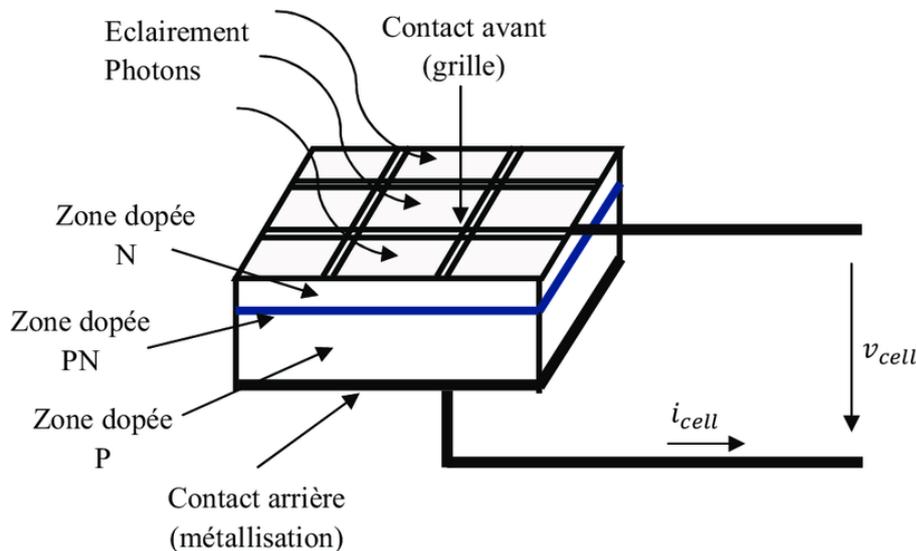


Figure I-6 : schéma d'une cellule photovoltaïque. [8]

La cellule photovoltaïque comprend les éléments suivants :

1. Substrat semi-conducteur : C'est la base de la cellule, généralement en silicium. Il est dopé avec des impuretés pour créer une jonction p-n.
2. Couche p-n : Cette couche est formée par la jonction p-n, où une partie du matériau est dopée avec des impuretés de type p (trous) et une autre partie avec des impuretés de type n (électrons).
3. Couche antireflet : Il s'agit d'une couche mince transparente qui réduit la réflexion de la lumière incidente, augmentant ainsi l'absorption de la lumière par la cellule.
4. Contacts métalliques : Des contacts métalliques sont placés sur la face supérieure et inférieure de la cellule pour collecter le courant électrique généré. Le contact supérieur est généralement réalisé sous forme de grille pour permettre le passage de la lumière.

I.7 Panneaux Photovoltaïques

Un panneau photovoltaïque, également appelé module solaire, est un dispositif composé de plusieurs cellules photovoltaïques interconnectées. C'est l'une des principales formes d'installation solaire utilisée pour générer de l'électricité à partir de la lumière du soleil.

Les modules photovoltaïques sont conçus pour être installés sur des structures, telles que des toits, des supports au sol ou des structures de suivi solaire, afin de capturer la lumière solaire et de produire de l'électricité. Lorsque la lumière du soleil frappe les cellules photovoltaïques, elle génère un courant électrique continu, qui peut être utilisé directement ou converti en courant alternatif à l'aide d'onduleurs pour alimenter des appareils et des systèmes électriques.

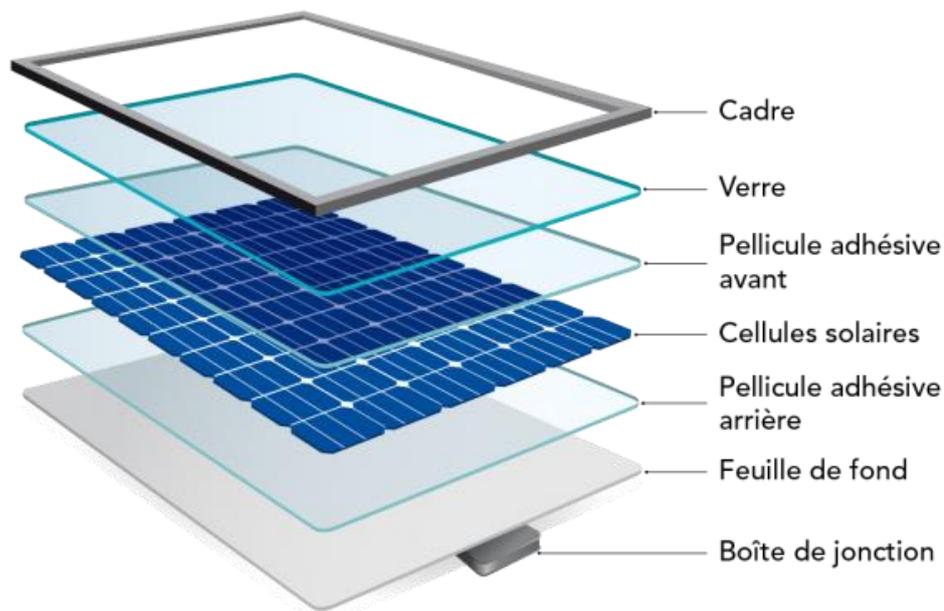


Figure I-7 : les composantes de panneau photovoltaïque. [8]

Comme vu dans la **Figure I-7** un panneau photovoltaïque est généralement constitué des éléments suivants :

1. Cellules photovoltaïques : Les cellules photovoltaïques, souvent en silicium, sont les composants de base du panneau. Elles sont responsables de la conversion de la lumière solaire en électricité.

2. Encapsulation : Les cellules photovoltaïques sont encapsulées entre une couche supérieure en verre transparente et une couche inférieure en matériau plastique ou en verre. Cela protège les cellules contre les intempéries et les dommages mécaniques.
3. Couche antireflet : Une couche antireflet est généralement appliquée sur la face supérieure du panneau pour réduire la réflexion de la lumière et augmenter l'absorption de la lumière solaire.
4. Encadrement : Les panneaux photovoltaïques sont généralement encadrés avec des cadres en aluminium pour les renforcer structurellement et faciliter leur installation.
5. Câbles de connexion : Des câbles de connexion sont attachés au panneau pour permettre la collecte du courant électrique généré par les cellules. Ces câbles peuvent être reliés à un système de conversion de puissance ou à d'autres panneaux en série ou en parallèle.

Les panneaux photovoltaïques sont largement utilisés dans les installations solaires résidentielles, commerciales et industrielles, ainsi que dans les centrales solaires à grande échelle. Ils offrent une source d'énergie renouvelable, propre et durable, contribuant à la réduction des émissions de carbone et à la transition vers une économie basée sur les énergies propres.

I.8 Champ photovoltaïque

Le terme "champ photovoltaïque" fait référence à une installation composée de plusieurs modules photovoltaïques connectés entre eux pour former un système de production d'électricité à partir de l'énergie solaire. C'est une configuration où plusieurs panneaux solaires sont regroupés et installés ensemble pour former un ensemble cohérent.

Les champs photovoltaïques sont devenus une solution populaire et rentable pour la production d'énergie renouvelable, contribuant à la réduction des émissions de carbone et à la transition vers des sources d'énergie plus propres et durables.

I.9 Les différents montages des champs photovoltaïques

I.9.1 Le montage de panneaux PV en série

Pour une installation sur mesure, on raccorde les panneaux en série ou en parallèle, voire une combinaison des deux. Le montage de panneaux photovoltaïques en série est l'option à retenir pour additionner les voltages des panneaux en préservant un ampérage identique. On relie le pôle positif d'un panneau au pôle négatif de l'autre qui a le même ampérage. En effet si l'on relie deux panneaux d'ampérage différent, l'ensemble s'aligne sur l'ampérage le plus faible.

[3]

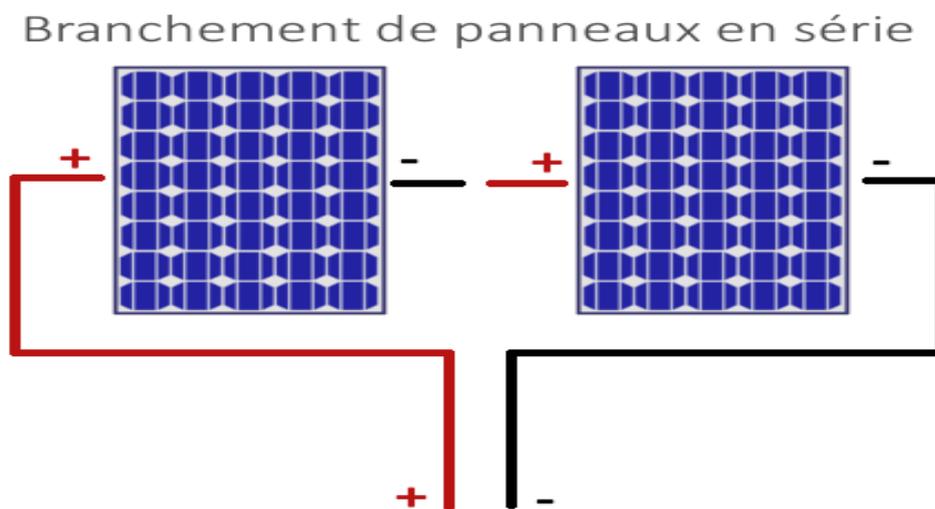


Figure I-8 : Montage de 2 panneaux en série.[3]

I.9.2 Le montage de panneaux PV en parallèle

En additionnant des cellules ou des modules identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche.[1]

Branchement de panneaux en parallèle

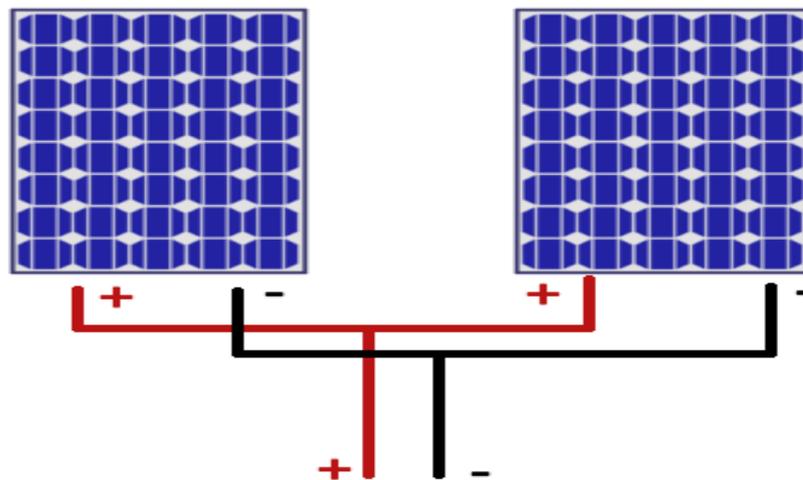


Figure I-9 : Montage de 2 panneaux en parallèle. [3]

I.9.3 Le montage de panneaux PV hybride (en série et en parallèle)

Le montage hybride est une méthode courante utilisée pour connecter les panneaux solaires photovoltaïques (PV) entre eux afin de former un système solaire. Ces configurations permettent d'obtenir des tensions et des courants électriques adaptés aux besoins spécifiques de l'installation.

Le montage en série consiste à connecter les bornes positives d'un panneau solaire à la borne négative du panneau suivant, et ainsi de suite, jusqu'à ce que tous les panneaux soient connectés en série. Les bornes positives du premier panneau et les bornes négatives du dernier panneau du circuit en série sont utilisées pour la connexion externe du système. Ce type de montage augmente la tension totale du système tout en maintenant le courant constant.

Le montage en parallèle consiste à connecter les bornes positives de tous les panneaux solaires ensemble et les bornes négatives ensemble. Ainsi, toutes les bornes positives sont connectées à un câble commun et toutes les bornes négatives sont également connectées à un autre câble commun. Ce type de montage maintient la tension constante tout en augmentant le courant total du système.

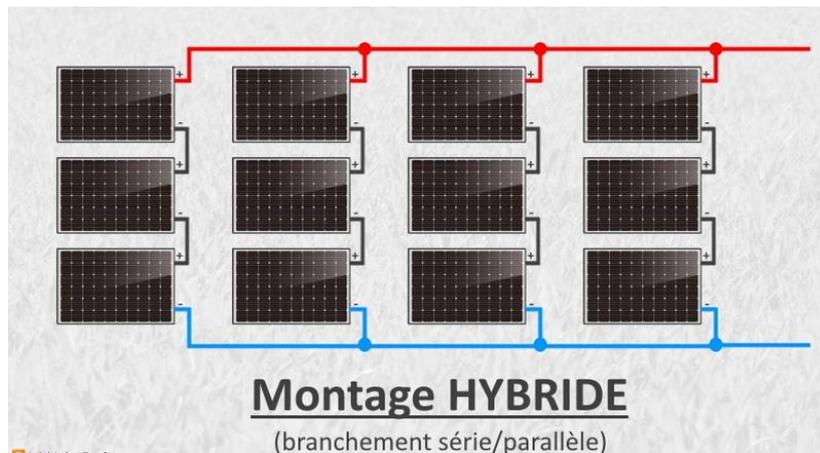


Figure I-10 : montage hybride. [8]

I.10 Les caractéristiques électriques des panneaux PV-Cellule PV

I.10.1 Modèle électrique d'une cellule PV

L'équation de modèle électrique d'une cellule photovoltaïque (PV) est généralement exprimée sous la forme d'un courant en fonction de la tension, Voici l'équation générale de ce modèle :

$$I = I_{ph} - I_0 * (\exp ((V + I R_s) / (n * V_T)) - 1) - (V + I R_s) / R_{sh}. \dots\dots(I.1)$$

- I est le courant de sortie de la cellule PV.
- I_{ph} est le courant de photo-génération, qui dépend de l'intensité de la lumière incidente.
- I_0 est le courant de saturation inverse de la diode, qui représente les pertes par recombinaison dans la cellule.
- V est la tension aux bornes de la cellule PV.
- I_{R_s} est la chute de tension due à la résistance série interne de la cellule.
- n est le facteur d'idéalité de la diode, généralement compris entre 1 et 2.
- V_T est la tension thermique, égale à $(k * T) / q$, où k est la constante de Boltzmann, T est la température absolue en Kelvin et q est la charge élémentaire.
- R_{sh} est la résistance de dérivation, qui représente les pertes par courants de fuite.

Le modèle électrique d'une cellule photovoltaïque (PV) est utilisé pour représenter le comportement électrique d'une cellule solaire. Il permet de décrire les caractéristiques courant-

tension (I-V) de la cellule et de prédire sa performance dans différentes conditions d'éclairement solaire et de température.

Il est important de noter que le modèle à une diode est une simplification du comportement réel d'une cellule PV.

I.10.1.1 courbe I (U)

La courbe I-U (courant-tension) d'un panneau solaire photovoltaïque représente la relation entre le courant électrique généré par le panneau et la tension à laquelle il fonctionne. Cette courbe est obtenue en mesurant le courant de sortie du panneau à différentes tensions.

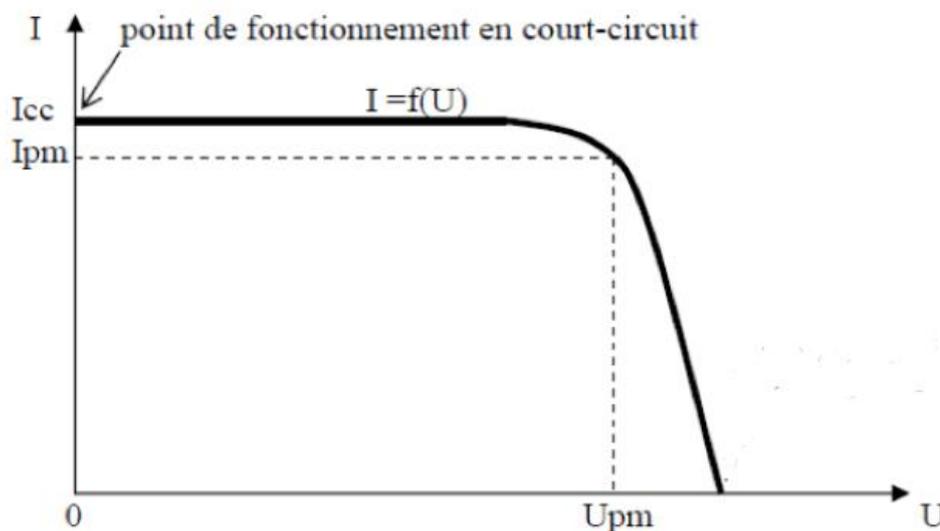


Figure I-11 : caractéristiques courant / tension. [8]

La courbe I-U typique d'un panneau solaire présente les caractéristiques suivantes :

1. Courant de court-circuit (I_{cc}) : Le courant de court-circuit correspond au courant qui circule à travers le panneau lorsqu'il est court-circuité, c'est-à-dire lorsqu'aucune charge n'est connectée. C'est le courant maximal que le panneau peut fournir.
2. Courant de fonctionnement optimale (I_{pm}) : Le courant de fonctionnement optimal correspond au courant à la tension de fonctionnement optimale du panneau. Il est généralement indiqué dans les spécifications du panneau solaire.

3. Tension de fonctionnement optimale (U_{pm}) : La tension de fonctionnement optimale correspond à la tension à laquelle la puissance de sortie du panneau est maximale. C'est généralement la tension à laquelle le panneau est dimensionné pour fonctionner.

La forme de la courbe I-U dépend des caractéristiques spécifiques du panneau solaire, telles que le type de cellule, la température ambiante, l'intensité lumineuse, etc. En général, la courbe I-U a une forme légèrement courbée, où le courant diminue avec l'augmentation de la tension.

I.10.1.2 courbes P(V)

La courbe P-V (puissance-tension) d'un panneau solaire photovoltaïque représente la relation entre la puissance électrique générée par le panneau et la tension à laquelle il fonctionne. Cette courbe est obtenue en mesurant la puissance de sortie du panneau à différentes tensions.

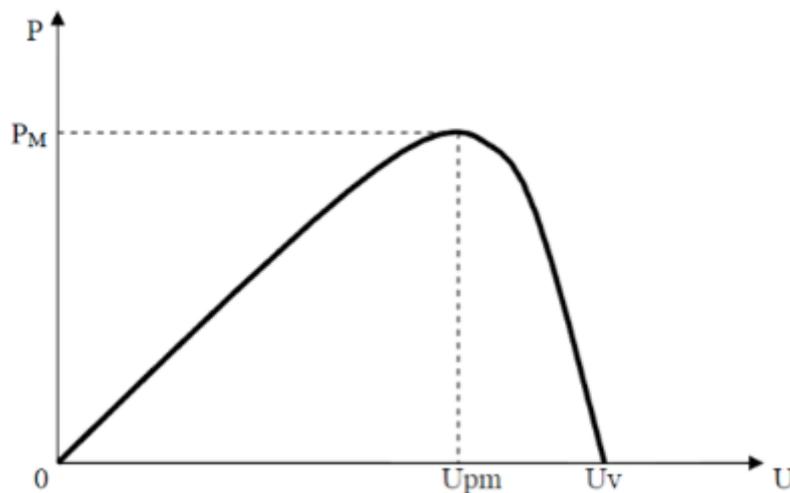


Figure I-12 : caractéristiques puissance / tension. [8]

La courbe P(V) typique d'un panneau solaire présente les caractéristiques suivantes :

1. Puissance maximale (P_{max}) : La puissance maximale correspond au point de la courbe où la puissance de sortie du panneau est maximale. C'est le point où le panneau fonctionne à son rendement optimal.
2. Tension de fonctionnement optimale (V_{pm}) : La tension de fonctionnement optimale correspond à la tension à laquelle la puissance de sortie du panneau est maximale. C'est généralement la tension à laquelle le panneau est dimensionné pour fonctionner.

La forme de la courbe P-V peut varier en fonction des caractéristiques spécifiques du panneau solaire, telles que le type de cellule, la température ambiante, l'intensité lumineuse, etc.

I.11 Technologies des modules (cellules) PV

Il existe plusieurs types de cellules photovoltaïques (PV) qui diffèrent par leurs matériaux, leur structure et leur efficacité. Voici une description des principaux types de cellules PV :

I.11.1 Cellules solaires en silicium cristallin

Ces cellules sont les plus répandues sur le marché et sont fabriquées à partir de cristaux de silicium. On distingue deux types de cellules en silicium cristallin :

A. Cellules solaires monocristallines : Elles sont composées de cellules en silicium provenant d'un seul cristal, ce qui leur confère un rendement élevé. Elles ont une couleur uniforme et un rendu esthétique élevé.

B. Cellules solaires polycristallines : Elles sont fabriquées à partir de multiples cristaux de silicium, ce qui réduit leur rendement par rapport aux cellules monocristallines. Elles ont une couleur bleuâtre et sont généralement moins chères à produire.



Figure I-13 : Cellule monocristalline. [8]

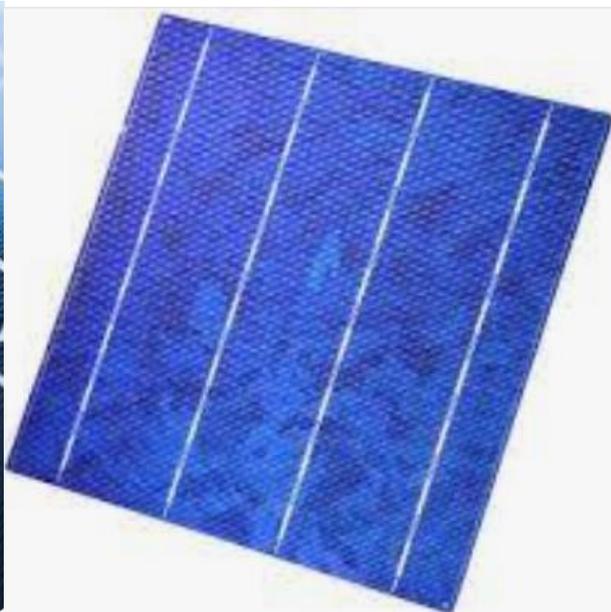


Figure I-14 : Cellule polycristalline. [8]

I.11.2 Cellules solaires à couche mince

Les cellules solaires à couche mince sont un type de cellules photovoltaïques qui utilisent des couches très minces de matériaux semi-conducteurs pour absorber la lumière et générer de l'électricité. Contrairement aux cellules solaires traditionnelles à base de silicium cristallin, les cellules à couche mince nécessitent beaucoup moins de matériau pour leur fabrication, ce qui peut réduire les coûts de production.

A- L'amorphe : L'amorphe est un matériau semi-conducteur utilisé dans certaines cellules photovoltaïques, notamment les cellules solaires à base de silicium amorphe (a-Si). Contrairement au silicium cristallin utilisé dans les cellules solaires traditionnelles, le silicium amorphe ne possède pas de structure cristalline ordonnée. Il est plutôt caractérisé par une structure désordonnée, ce qui lui confère certaines propriétés particulières.

On trouve aussi 3 types de ce genre (couche mince) :

- B- Cellules solaires au tellure de cadmium (CdTe).
- C- Cellules solaires au sulfure de cuivre indium gallium (CIGS).
- D- Cellules solaires au di-séléniure de cuivre indium (CIS).

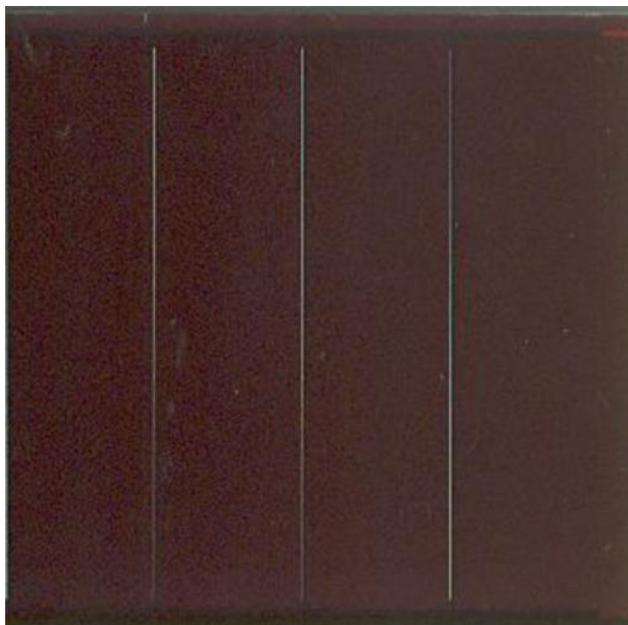


Figure I-15 : Cellule photovoltaïque Amorphe. [8]

I.11.3 Cellules solaires organiques

Les cellules solaires organiques, également appelées cellules solaires polymères, sont un type de cellules photovoltaïques qui utilisent des matériaux organiques à base de polymères pour convertir la lumière solaire en électricité. Les cellules solaires organiques sont fabriquées à partir de matériaux souples et légers, offrant ainsi une plus grande flexibilité et des possibilités d'intégration dans des applications variées.

On peut aussi citer autre type de cellules comme :

- A- Cellules solaires à colorant (Dye-sensitized solar cells - DSSC).
- B- Cellules solaires à hétérojonction (HIT).
- C- Cellules solaires à pérovskite.

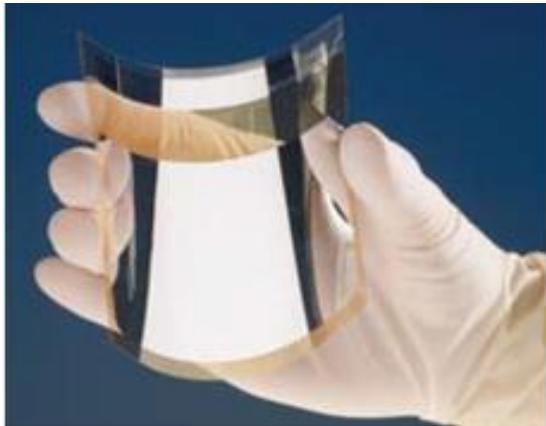


Figure I-16 : Cellule solaires organique. [8]

I.12 Type des systèmes photovoltaïque

I.12.1 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).

C'est en fait 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.

Deux compteurs d'énergie sont nécessaires :

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 ». [7]

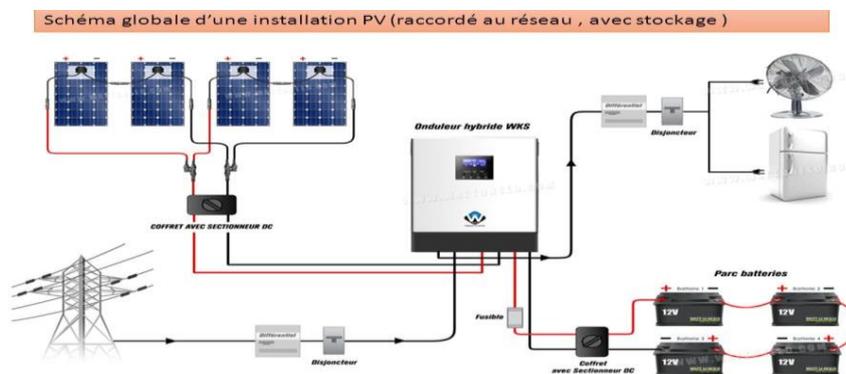


Figure I-17 : schéma globale d'une installation PV raccordé au réseau. [8]

I.12.2 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. 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.[2]

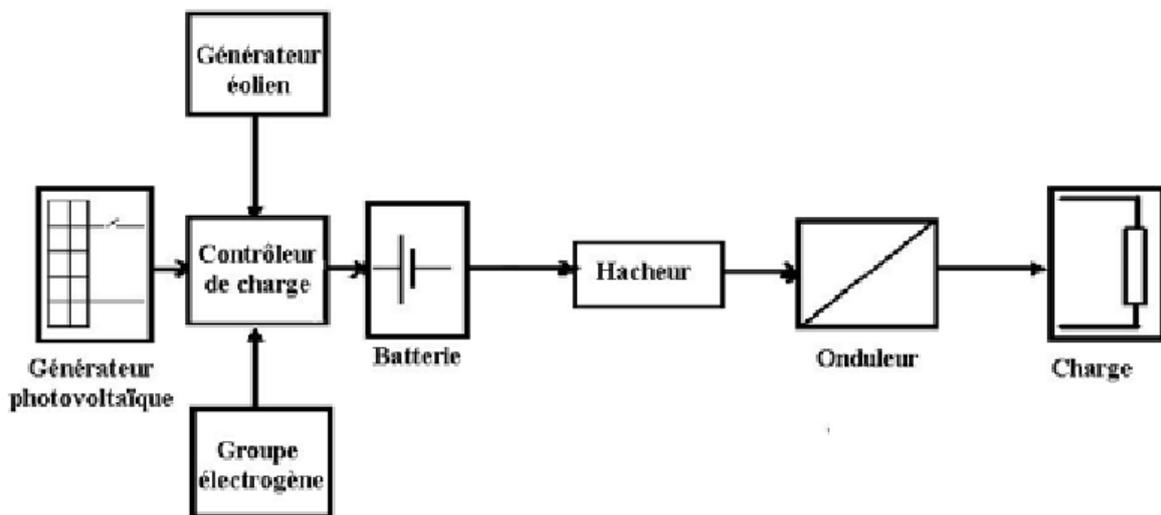


Figure I-18 : schéma d'une installation d'un système hybride. [8]

I.12.3 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.



Figure I-19 : Installation photovoltaïque autonome. [8]

Voici les composants typiques d'une installation photovoltaïque autonome :

1. **Panneaux solaires** : Les panneaux solaires, souvent appelés modules photovoltaïques, sont installés pour capturer l'énergie solaire et la convertir en électricité. Ils peuvent être de différents types, tels que des panneaux en silicium cristallin, des panneaux à couche mince ou des panneaux organiques.
2. **L'onduleur** : Un onduleur est un dispositif permettant de transformer l'énergie continue en alternative, ils sont utilisés en électrotechnique pour fournir des tensions ou des courants alternatifs de fréquence et amplitudes variables, citons comme exemple le cas des onduleurs servant à alimenter des moteurs à courant alternatif qui devant tourner à vitesse variable.

Et aussi pour Fournir une ou des tensions alternatives de fréquence et d'amplitude fixe, citons comme exemple le cas des alimentations de sécurité destinées à se substituer au réseau en cas de défaillance de celui-ci par exemple : L'énergie stockée dans les batteries de secours est restituée sous forme continue. [3]



Figure I-20 : Figure réelle d'un onduleur PV. [8]

3. **Le régulateur de charge** : Le régulateur de charge est un dispositif électronique qui contrôle la charge de la batterie en régulant la tension et le courant provenant des panneaux solaires. Il protège également la batterie contre une surcharge ou une décharge excessive.

Ces taches sont :

- ✓ Impliquer une vigilance continue pour éviter les surcharges et les décharges profondes que la batterie peut produire.
- ✓ Protection de la batterie contre les situations extrêmes afin de ne pas l'endommager.
- ✓ Prendre de l'information sur l'état de charge du système et la comparer avec les valeurs maximales et minimales admissibles pour que la batterie n'endure pas de surcharges ou de décharges extrêmes. [1]

3.1 Régulateur MPPT

Est une technique utilisée dans les systèmes de conversion d'énergie photovoltaïque pour maximiser la production d'électricité à partir des panneaux solaires. Les panneaux solaires ont un point de puissance maximale (Maximum Power Point - MPP) qui dépend de la tension et du courant à travers le panneau. Le MPPT est un algorithme de contrôle qui ajuste en temps réel les paramètres de fonctionnement du système pour maintenir le panneau solaire à son point de puissance maximale.

L'avantage principal du MPPT est qu'il permet d'optimiser le rendement du système solaire en maximisant la production d'énergie, ce qui se traduit par une meilleure utilisation de l'énergie solaire disponible. Cela peut conduire à une augmentation significative de la production d'électricité et à une utilisation plus efficace des panneaux solaires, en particulier dans des conditions de faible luminosité ou de variations de température.

4. **Batterie :** Le rôle de la batterie est de stocker une partie de l'énergie générée par les panneaux (c'est-à-dire la partie de l'énergie qui n'est pas immédiatement consommée) il est donc Disponible pendant les périodes de rayonnement solaire faible ou inexistant. Le stockage est Fabriqué sous forme d'électricité à l'aide de piles, généralement au plomb acide. Une batterie est composée de plusieurs "éléments" connectés en série "piles", contenant chacune deux électrodes de plomb dissoutes électrolyse. Il y a une différence de potentiel de presque deux volts entre les deux électrodes est valable, la valeur instantanée dépend de l'état de charge de la batterie. Batterie le plus Tension nominale de 12 ou 24 volts pour les applications photovoltaïques.

Il existe plusieurs types de batteries utilisées dans les systèmes solaires pour stocker l'énergie produite par les panneaux solaires comme :

- Batteries au plomb-acide : sont les batteries solaires les plus anciennes et les plus répandues
- Batteries au lithium-ion : sont de plus en plus populaires dans les systèmes solaires en raison de leurs avantages en termes de durée de vie, d'efficacité et de faible entretien.
- Batteries à flux redox : également appelées batteries à flux, sont des batteries à électrolyte liquide qui stockent l'énergie sous forme de composés chimiques dissous dans l'électrolyte.
- Batteries au nickel-cadmium (Ni-Cd) : sont robustes et peuvent résister à des conditions difficiles, comme des températures extrêmes et des cycles de charge/décharge profonds.

5. Câbles et connecteurs : Les câbles et les connecteurs sont utilisés pour relier les différents composants du système photovoltaïque, tels que les panneaux solaires, le régulateur de charge, la batterie et l'onduleur.

I.12.4 pompage photovoltaïque

Le pompage photovoltaïque est une application des installations solaires autonomes où l'énergie solaire est utilisée pour alimenter une pompe afin de fournir de l'eau ou d'autres liquides à des fins d'irrigation, d'approvisionnement en eau potable, d'élevage, d'aquaculture ou d'autres besoins similaires. Cette technique permet d'utiliser l'énergie solaire renouvelable pour des applications de pompage dans des zones éloignées où l'accès à l'électricité traditionnelle est limité ou coûteux.

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. [1]

Il présente plusieurs avantages. Il utilise une source d'énergie renouvelable et propre, réduisant ainsi l'empreinte carbone et les coûts liés à l'utilisation de carburants fossiles. De plus, il permet d'accéder à l'eau dans des régions éloignées où les infrastructures électriques sont limitées. Il

offre également une solution durable pour les activités agricoles, l'approvisionnement en eau potable et d'autres besoins en eau.

La conception et le dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque dépend des besoins spécifiques de l'application, tels que le débit requis, la profondeur de la source d'eau, la distance de pompage, etc. Il est important de réaliser une étude approfondie pour garantir l'efficacité et la fiabilité du système.

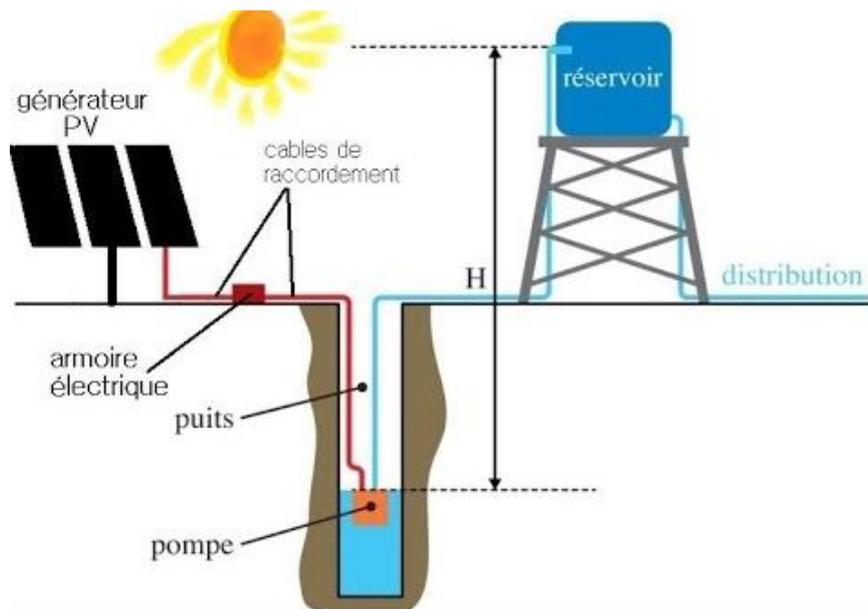


Figure I-21 : principe de fonctionnement d'un système de pompage solaire PV. [8]

I.13 Conclusion

En conclusion, Les systèmes photovoltaïques offrent une solution durable et respectueuse de l'environnement pour la production d'électricité. Ils sont utilisés dans diverses applications et permettent de réduire la dépendance aux combustibles fossiles. Avec l'évolution de la technologie et des politiques en faveur des énergies renouvelables, les systèmes photovoltaïques deviennent de plus en plus répandus dans le monde entier.

Chapitre **II**

II.1 Introduction

Les pompes à eau solaires sont très appréciées dans le domaine des micro-adductions d'eau potable. Historiquement, les générateurs diesel ont été largement utilisés pour résoudre le problème de l'alimentation des stations de pompage dans les zones rurales. Or, faire tourner un moteur diesel nécessite de nombreuses heures d'entretien (changement des filtres, remplissage du réservoir, vidange). En revanche, les pompes à énergie solaire nécessitent une attention minimale et certains types peuvent même fonctionner jusqu'à 5 ans sans aucune intervention. Leurs opérations quotidiennes sur le Soleil sont automatisées et non supervisées. Ce type de solution est idéal pour les applications hors réseau et les environnements où la maintenance et la surveillance des solutions diesel sont difficiles. Pompage pour la plupart des besoins : Les besoins domestiques, l'adduction d'eau potable, l'élevage et l'irrigation

II.2 Pompe photovoltaïque

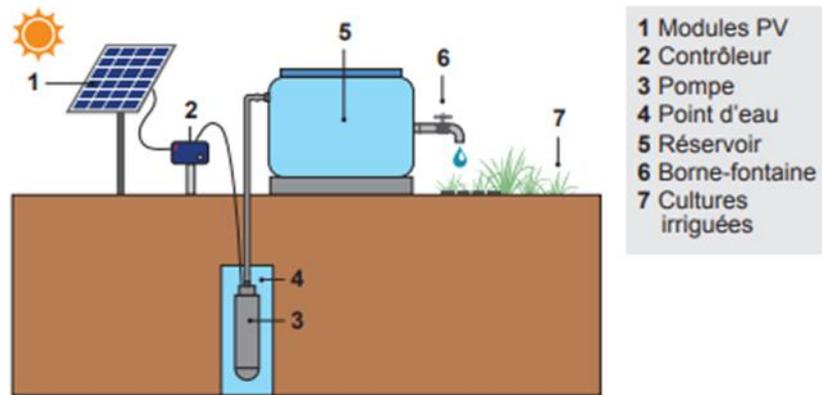
Une pompe est une machine qui convertit la puissance d'entrée mécanique en puissance de sortie liquide. Il est directement couplé au moteur et se caractérise par le couple, la vitesse et le débit. Une bonne adéquation entre la pompe et le moteur donnera de bons résultats. Une pompe est tout appareil qui aspire un fluide d'une zone de basse pression pour le refouler vers une zone de haute pression. Donc, par cette définition, on peut dire que la fonction de la pompe est d'augmenter la pression du fluide. L'augmentation de la pression du liquide refoulé par la pompe se produit après conversion de l'énergie mécanique fournie par le moteur entraînant la pompe en une augmentation de l'énergie hydraulique obtenue par le liquide entre l'entrée et la sortie de la pompe.

Le volume de l'eau pompée dépend de quatre facteurs essentiels :

- Le niveau de rayonnement qui est une mesure de l'énergie disponible du soleil.
- Le générateur photovoltaïque.
- L'efficacité de conversion de la rangée photovoltaïque.
- La température ambiante.

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. [2]



FigureII.1 : système de pompage. [19]

II.3 Les composants d'un système de pompage photovoltaïque

La figure (II.2) montre le schéma des différents composants d'un système de pompage photovoltaïque, il est constitué du :

_ générateur photovoltaïque : Un générateur photovoltaïque produit de l'électricité à partir des rayons du soleil. Son fonctionnement est simple : le panneau photovoltaïque est formé de nombreuses cellules photovoltaïques qui créent du courant continu. Ensuite, à l'aide d'un onduleur, le courant est transformé en courant alternatif.

_ Les convertisseurs : Un convertisseur est un système permettant d'adapter la source d'énergie électrique à un récepteur donné en la convertissant. Les premiers convertisseurs de puissance électrique ont été réalisés avec des machines électriques couplées mécaniquement. Avec l'apparition des semi-conducteurs et de l'électronique de puissance, avec les diodes, les transistors, thyristors etc. les systèmes de conversion deviennent de plus en plus élaborés et ne nécessitent plus de machines tournantes.

_ Le groupe de motopompe : Un groupe motopompe est un ensemble composé d'un moteur électrique ou thermique entraînant une pompe hydraulique. Il comprend souvent des équipements électroniques ou mécaniques pour la régulation de la pression, du débit ou d'autres paramètres.

_ L'électronique de commande : Le régulateur de charge MPPT est la meilleure solution sur le marché. Il contrôle le courant et la tension à la sortie des panneaux. La technologie MPPT offre à votre régulateur solaire une très haute performance. Il calcule en temps réel le point de puissance optimal pour délivrer toute la puissance aux batteries. De plus, le régulateur MPPT permet une utilisation totale de la tension des panneaux.

_ Les éléments du stockage : les batteries

_ Un câblage électrique : les câbles

_ Circuit hydraulique : la tuyauterie, les coudes, etc. [11]

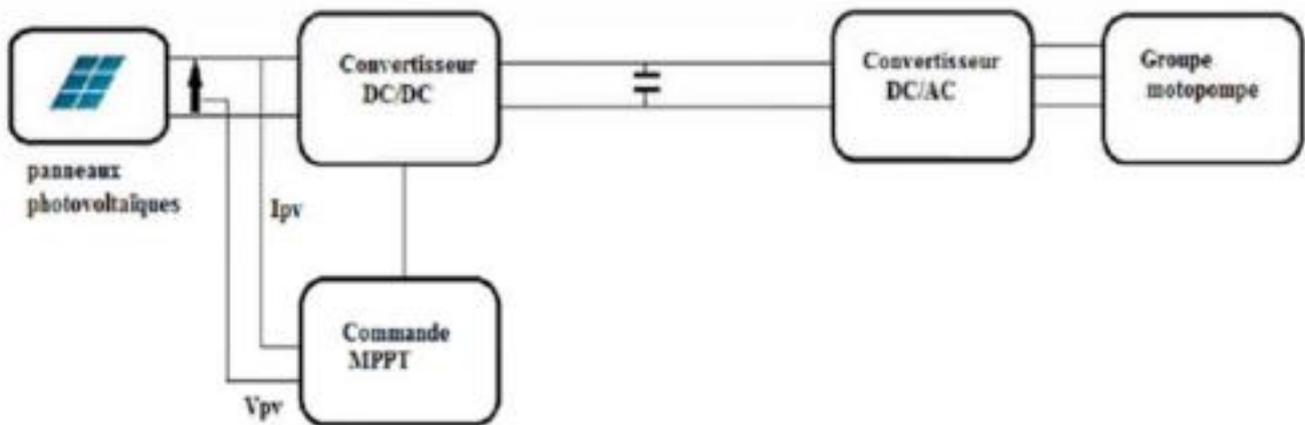


Figure. II.2: Différents composants d'un système de pompage photovoltaïque [11]

II.4 Différentes types des pompes

Les principaux types de pompes solaires

Il existe plusieurs types de pompes solaires, votre choix doit dépendre de la configuration du lieu de pompage (pompes de surface si le niveau d'eau de la source de prélèvement est inférieur à 2 mètres, pompes submersibles si la profondeur est supérieure). Une pompe AC si votre installation solaire comprend un onduleur DC/AC, ou une pompe DC si elle n'en a pas. [10]

II.4.1 Classification Selon la machine

Un moteur électrique est un dispositif électromécanique permettant la conversion l'énergie Électrique en énergie mécanique. Il existe deux types de moteurs : à courant continu et Alternatif. [16]

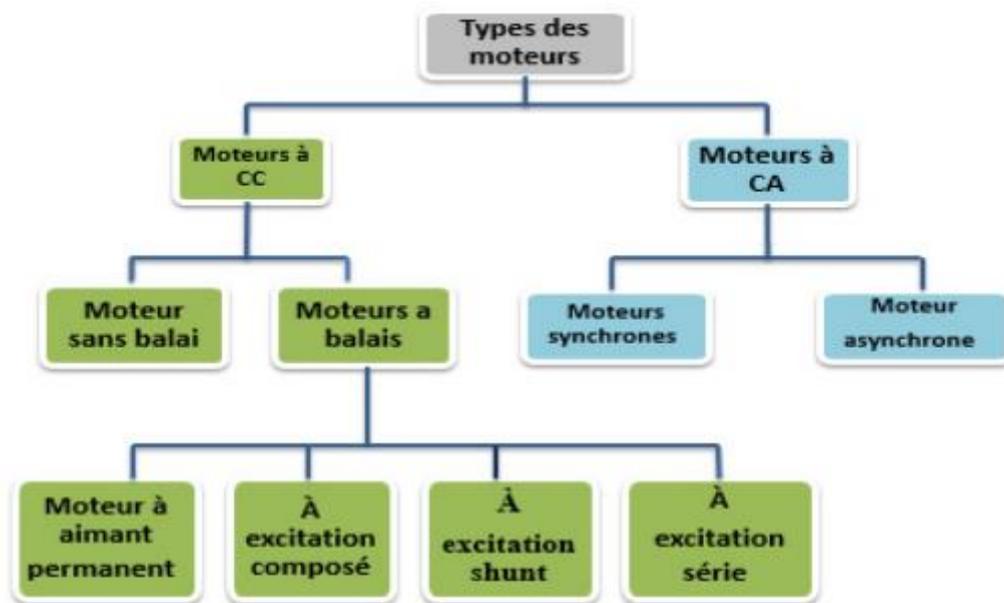


Figure II.3 : Schéma des différents types de moteur. [16]

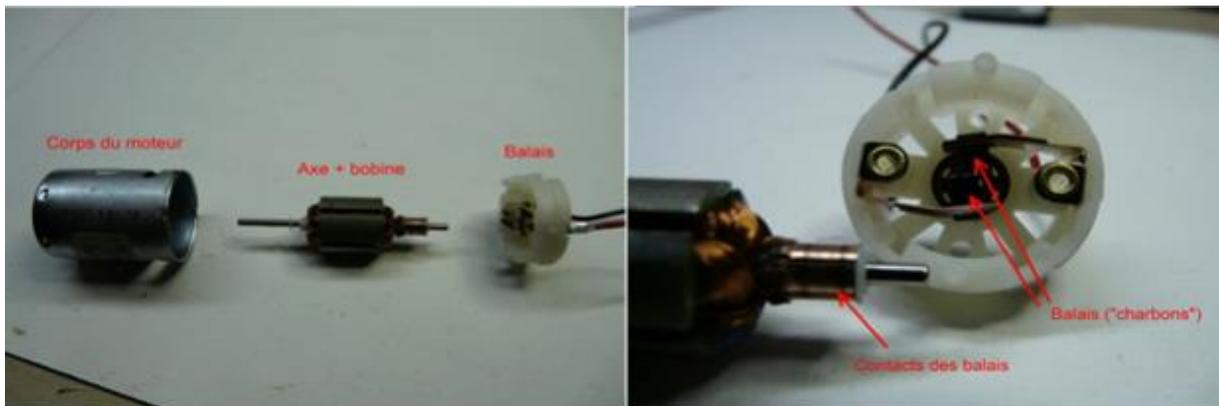
1- La pompe solaire DC

La pompe solaire DC est une pompe à eau avec une tension électrique en continu, à brancher directement sur un panneau photovoltaïque. Autrement dit, il n'y a pas d'onduleur. Les pompes solaires avec un courant continu sont les plus performantes sur le marché. Ce type de dispositif solaire possède plusieurs atouts à commencer par sa durabilité. On peut également citer son système de démarrage automatique qui fonctionne, même avec des rayons solaires faibles. Bien évidemment, la qualité du rayonnement solaire détermine sa performance. [10]

A- Moteur à courant continu

L'énergie électrique appliquée à un moteur est transformée en énergie mécanique en variant le sens Du courant circulant dans un induit (habituellement le rotor) soumis à un champ magnétique produit Par un inducteur (habituellement le stator). La commutation du courant dans le rotor d'un moteur à Courant continu est effectuée à l'aide de balais composés de charbon

et de graphite ou par Commutation électronique. Dans un moteur à courant continu, le champ magnétique de l'inducteur est produit soit par des Aimants permanents, soit par un bobinage électromagnétique. Dans ce dernier cas, les moteurs Peuvent être de type série, de type parallèle (moteur shunt) ou de type à excitation composée (Moteur compound) selon la manière dont l'induit et l'inducteur sont alimentés. L'enroulement Inducteur d'un moteur série à bobinage électromagnétique est en série avec l'induit et le couple Moteur est relativement grand à faible vitesse et décroît à mesure que la vitesse augmente. Lorsque Le courant décroît rapidement, la vitesse augmente et peut prendre des valeurs dangereuses. En Régime de démarrage, à faible vitesse, le couple moteur est important et permet de fournir l'énergie Cinétique suffisante pour la mise en route d'un équipement présentant une grande inertie. À vitesse Normale, le couple décroît, mais le moteur n'a plus qu'à vaincre les divers frottements. Ce type de Moteur est donc bien adapté à un pompage solaire. [16]



FigureII.4 : moteur a aiment. [17]

a) -Les moteurs à balais

Sont les plus communs, mais leurs 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. De plus, l'isolation du moteur ne doit pas être compromise afin de ne pas la fragiliser aux infiltrations d'eau, ce qui n'est pas évident sur le site. Certains fabricants offrent des moteurs à balais de longue durée, réduisant cet entretien à toutes les 5000 heures de fonctionnement. [1]

b) -Brushless

Les moteurs Brushless réduisent certains problèmes liés aux moteurs à balais les plus courants

(Durée de vie limitée pour des applications à usage intensif) et leur conception mécanique est beaucoup plus simple (sans balais). Le contrôleur de moteur utilise des capteurs à effet Hall pour détecter la position des rotors, et le contrôleur peut ainsi commander le moteur de façon précise via le courant dans les bobines du rotor pour réguler la vitesse. Les avantages de cette technologie sont une longue durée de vie, peu d'entretien et un haut rendement (85-90 %), tandis que les inconvénients sont des coûts élevés et des contrôleurs plus compliqués. Ces types de moteurs sont généralement utilisés dans le contrôle de positionnement et de vitesse avec des applications telles que les ventilateurs, pompes et compresseurs, qui nécessitent fiabilité et robustesse.

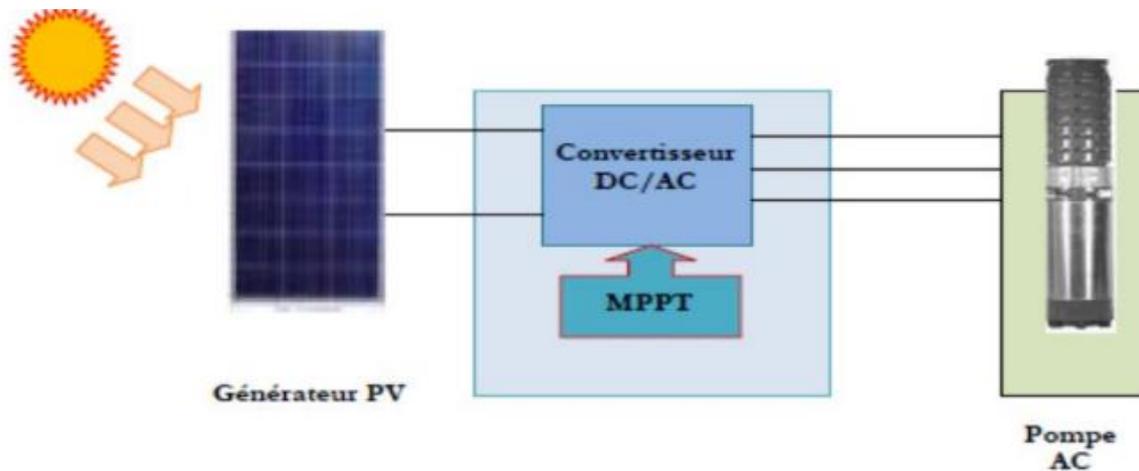


Figure II.5 : moteur brushless.[16]

B- La pompe solaire AC

La pompe solaire AC est une pompe à eau avec une tension électrique alternative, à brancher avec un onduleur. Contrairement au DC qui est directement branché sur le panneau solaire, la pompe solaire AC doit d'abord convertir le courant électrique de continu (tel qu'il est produit par les panneaux solaires) à alternatif (tel qu'il sera consommé par la pompe). Elle peut aussi fonctionner directement avec le courant du réseau.

Il s'agit là du modèle de pompe solaire le plus répandu sur le marché. De ce fait, si vous cherchez une pompe solaire à moindre coût, la pompe solaire AC est recommandée. [10]



FigureII.6 : pompe AC. [2]

2- Le moteur alternatif

Les moteurs à courant alternatif font preuve d'une grande souplesse en termes de fonctionnalités, Comme notamment le contrôle de vitesse et sont largement employés dans l'industrie. [15]

Pour le pompage solaire est habituellement de type asynchrone, triphasé et à rotor en court-circuit (Rotor à cage). Celui-ci tourne autour de deux paliers lubrifiés par le liquide de refroidissement dont Est rempli le moteur. Le stator est noyé dans une résine, qui lui assure une bonne tenue mécanique, Une bonne dispersion calorique et une étanchéité parfaite. Ces moteurs sont conçus pour être Immergés et utilisés dans une eau d'une température maximale d'environ 35 °C. Ils doivent Nécessairement être alimentés par un onduleur qui convertira le courant continu des modules PV en Courant alternatif. [16]

a. Les moteurs synchrones

Dans ce type de moteur, la rotation du rotor est synchronisée avec la fréquence du courant

D'alimentation et la vitesse reste constante sous charges variables, ce qui le rend idéal pour du Matériel de pilotage à vitesse constante, et il est utilisé dans les appareils de positionnement de Grande précision comme les robots, l'instrumentation, les machines et le contrôle de processus

b. Moteur à induction (asynchrone)

Ce type de moteur utilise l'induction électromagnétique du champ magnétique du bobinage du stator Pour produire un courant électrique dans le rotor et donc du couple. C'est le type de moteur à Courant alternatif le plus courant et important dans l'industrie du fait de sa capacité de charge, les Moteurs à induction monophasés étant principalement utilisés pour de plus petites charges, comme Dans les appareils électroménagers, tandis que les moteurs à induction triphasés sont davantage Utilisés dans les applications industrielles telles que les compresseurs, pompes, systèmes de Convoyeurs et le matériel de levage. [16]

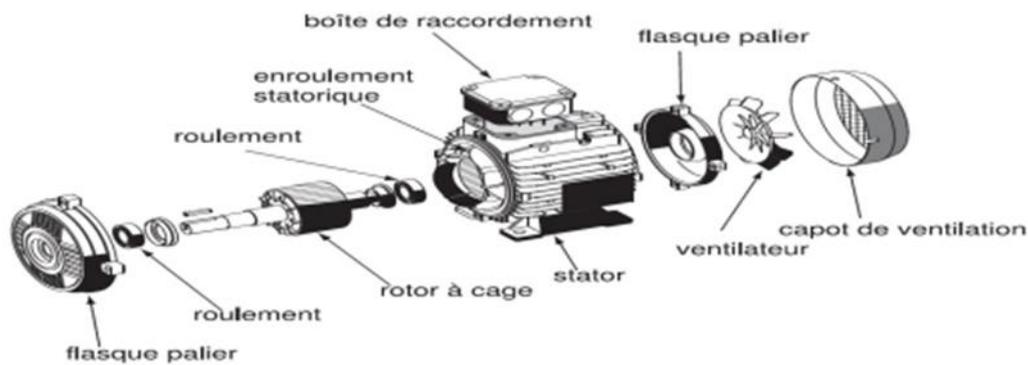


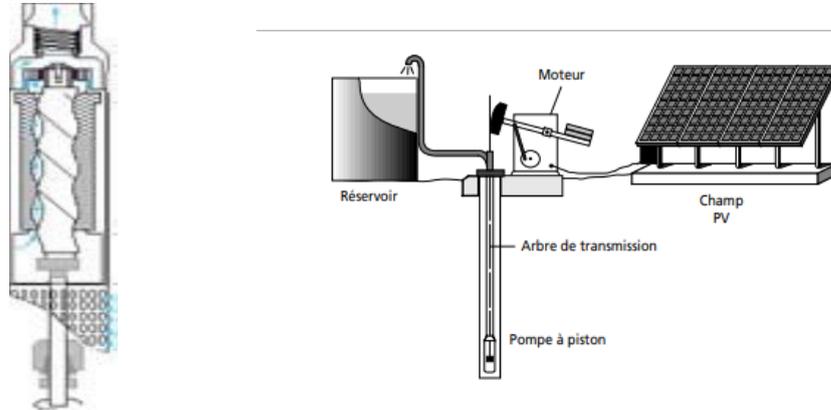
Figure II.7: moteur asynchrone triphasé (courant alternatif).[8]

II.4.2 Selon la catégorie

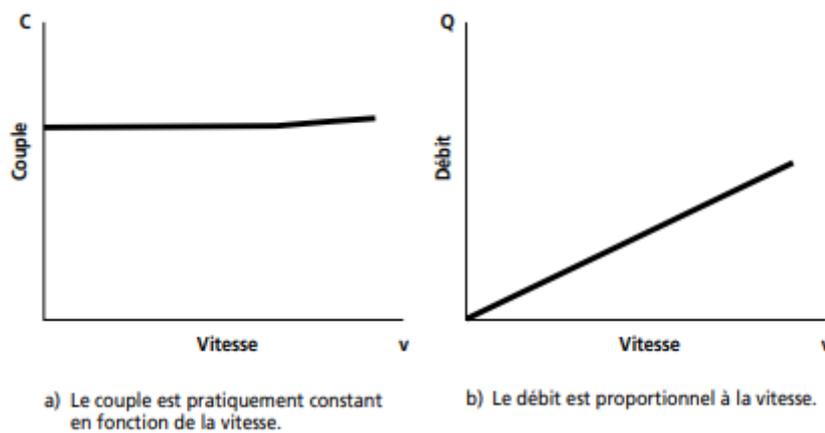
1- Les pompes volumétriques

Les pompes volumétriques transfèrent l'énergie cinétique du moteur d'avant en arrière, ce qui fait que le fluide surmonte la gravité en changeant Un volume continu de volumes reliés alternativement à la bouche d'aspiration et au port de déchargement. Les pompes volumétriques comprennent les pompes à vis, les pompes à palettes, à pistons et à membranes. Deux derniers Type pour une utilisation dans des puits profonds ou des forages (plus de 100 m). L'entraînement est généralement assuré par un arbre d'entraînement de long, à partir d'un moteur monté en surface. Les pompes volumétriques ont un débit d'eau proportionnel à la vitesse moteur. Mais son couple varie surtout en fonction de l'altitude manomètre total (HMT) et est pratiquement constante en fonction de la vitesse du moteur. Par conséquent, le couple de démarrage est pratiquement indépendant du débit et directement proportionnel au HMT. Là La puissance consommée sera directement proportionnelle à la vitesse. C'est pourquoi ces Les pompes sont souvent utilisées dans les puits et les forages avec de grandes profondeur et courants faibles. Ils sont parfois utilisés comme pompes Lorsque le couple est lent et irrégulier

et que le débit requis est faible, par exemple pour les pompes à main et les pompes éoliennes multi-lame. [9]



FigureII.8 : Pompe volumétrique. [9]



FigureII.9 : caractéristique d'une pompe volumétrique. [9]

2- Immersée

Comme son nom le laisse à devenir, la pompe est immergée dans l'eau. Ce type de pompe est surtout utilisé pour pomper l'eau des puits et des forages.

Noter que selon le modèle, le moteur peut être immergé ou situé à la surface. Le moteur est immergé si la pompe solaire est monobloc. À l'inverse, si le moteur est séparé de la pompe, il reste à la surface à côté du puits. Dans les deux cas, le choix de la taille est décisif pour assurer un fonctionnement optimal.

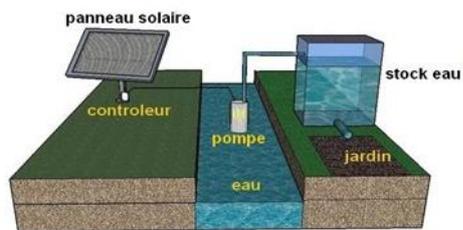


Figure II.10 : pompe solaire immergée. [8]

3- Surfacique

La pompe solaire de surface est surtout sollicitée pour l'aspiration d'eau de citerne et de réservoir. Mais notez que la pompe solaire de surface est pratique pour remonter de l'eau des profondeurs. En général, ce type de pompe solaire sert à faire remonter de l'eau à pression faible ou moyenne. Puisque le dispositif est à la surface, l'utilisation des panneaux solaires photovoltaïques est possible.



Figure II.11 : pompe solaire de surface.[8]

II.5 Les avantages et les inconvénients de la pompe volumétrique

II.5.1 Avantages des pompes volumétriques

- Grande constance dans le débit de la pompe, quelle que soit la pression de refoulement à vaincre.
- Débit ajustable aisément permettant le dosage
- Possibilité de grande pression de refoulement
- Capacité d'amorçage importante
- Très faible vitesse de rotation, générant moins d'usure
- Possibilité de viscosité importante de l'effluent. [12]

II.5.2 Inconvénients des pompes volumétriques

- Pression de refoulement variable en fonction de l'étude du réseau, demandant parfois des soupapes de sécurité.
- Débit pulsatoire pour certaines gammes de pompes.
- Débit maximum plus faible.
- Puissance installée souvent importante.
- Empreinte au sol plus importante.
- Passage libre plus faible.
- Rendement hydraulique plus faible. [12]

II.6 Pompe centrifuge

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide. Le mouvement de rotation d'une roue à aubes ou d'une lame. L'eau entre le centre de la pompe et est poussé vers l'extérieur et vers le haut. La force centrifuge de la lame. Pour augmenter la pression, donc l'altitude de décharge, plusieurs étages d'aubes peuvent être juxtaposés le même arbre de transmission. Chaque couche laisse passer l'eau à la suivante. Augmentez la pression jusqu'à l'étage final, en envoyant une certaine quantité d'eau au Haute pression. Ces pompes comprennent des pompes

submersibles avec des moteurs de surface ou submersibles, des pompes flottantes et Pompe aspirante rotative. [9]

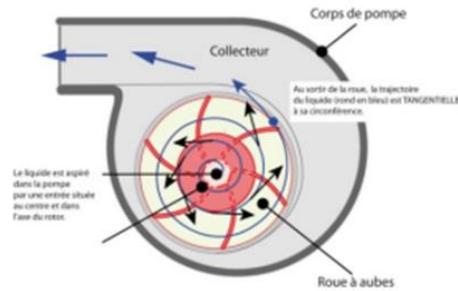


Figure II.12: vue en face d'une pompe centrifuge. [1]

II.7 Constitution

Une pompe centrifuge est constituée par

- _ Une roue à aubes tournant autour de son axe
- _ Un distributeur dans l'axe de la roue
- _ Un collecteur de section croissante, en forme de spirale. [17]

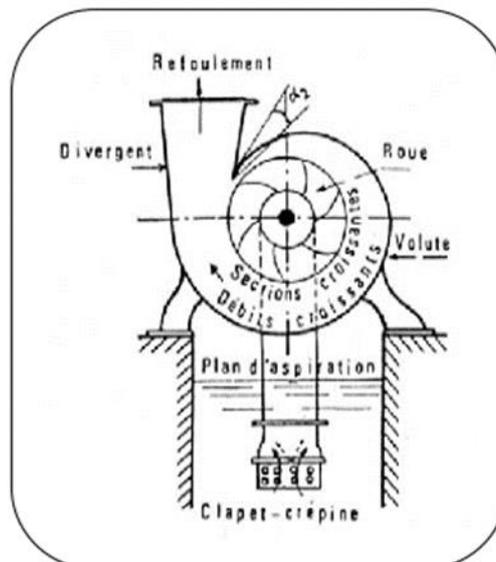


Figure II .13 : Constitution d'une pompe centrifuge. [2]

II.8 Les avantages et les inconvénients des pompes centrifuges

a) Les avantages

- Construction simple en générale, une seule pièce en mouvement : le rotor
- Prix peu élevé.
- Encombrement réduit.
- Jeu assez large, donc facilité de manipuler les liquides contenant des solides en suspension.
- Entretien en générale peu coûteux.
- Peu d'influence de l'usure ou la corrosion sur les caractéristiques
- Grand flexibilité d'utilisation
- Ajustement automatique du débit à la pression.
- Puissance absorbée limite donc sans danger. [13]

b) Les inconvénients

- Limitation de la viscosité.
- En effet la pompe centrifuge est limitée pratiquement à des viscosités de l'ordre de (100cst : centistokes) et son rendement chute rapidement au-delà de cette valeur
- Débit légèrement instable, dans les basses valeurs : difficulté de contrôler le débit. [13]

II.9 Exemple sur une pompe

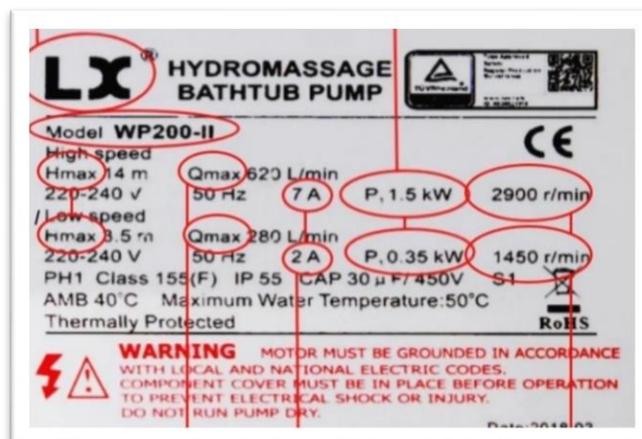


Figure II.14: plaque signalétique.[17]

II.9.1 Description sur l'exemple

Vitesse de rotation :

La vitesse de rotation du moteur est exprimée en tours par minute (RPM en anglais, pour révolutions per minute). Tubs propose exclusivement des pompes monophasées en 50 Hz, pour lesquelles il n'existe que deux vitesses de rotation standards :

- Environ 2800-2900 tours/minute, pour des moteurs à 2 pôles
- Environ 1400-1450 tours/minute, pour des moteurs à 4 pôles

De petites variations autour de ces valeurs n'ont pas d'importance. Votre ancienne pompe pourrait indiquer une vitesse de rotation de 2900 tours/minute, mais ça ne vous empêche absolument pas de la remplacer par une pompe de 2800 tours/minute.

Tension et fréquence : Toutes les pompes proposées sur tubs.fr sont adaptées à l'électricité du secteur européen, c'est à dire pour une tension de 220-240V, 50 Hz. Si vous avez une pompe qui s'alimente en 60 Hz ou avec une tension différente (110V ou 400V, par exemple),

Niveau d'étanchéité, IP : Un indice de protection, noté sur toutes les étiquettes de pompe par le sigle « IP », caractérise le niveau d'étanchéité de la pompe. On trouve le sigle IP associé à deux chiffres (exemple : IP67) pour indiquer le degré d'étanchéité contre les corps solides, comme la poussière (premier chiffre) et les liquides (deuxième chiffre). Un indice de protection IPX5 (photo 1) signifie que le fonctionnement de la pompe n'implique pas la nécessité de le protéger contre l'intrusion de solides, et qu'elle est protégée contre les jets d'eau à la lance. Un indice de protection IP55 (photos 2 et 3) signifie que la pompe est protégée contre les dépôts de poussière, et qu'elle est protégée contre les jets d'eau à la lance.

Débit maximal, Qmax : La mention « Qmax » que l'on retrouve sur certaines pompes correspond au débit maximum d'eau, en m³/heure, litres/minute ou gallons/minute (GPM), qui peut être fourni par la pompe avec un minimum de résistance. Notez que 1 gallon américain = 3,8 litres.

Résistance maximale, Hmax : Certaines étiquettes portent la mention « Hmax », suivi d'une valeur en mètres ou en pieds (1 pied = 0,3 mètres). Cette valeur représente la résistance maximale du circuit pour laquelle la pompe a été conçue. Plus cette valeur est élevée, plus la pompe sera capable de forcer de l'eau sur des longues distances et à travers des petites

canalisations et gicleurs, et plus elle sera capable de monter l'eau au-dessus du niveau de la pompe (d'où la valeur H_{max} exprimée en mètres). Chaque longueur de tuyau, coude, filtre, réchauffeur et buse augmente la résistance du circuit, et réduira le débit. [17]

II.10 Les caractéristiques de la pompe

II.10.1 La hauteur $Q(H)$

La relation liant la hauteur d'eau H avec le débit de la pompe Q est donnée par le modèle de

« P ELEIDER – P ET ERMANN »

$$H = a_0 \omega^2 - a_1 \omega * Q - a_2 * (Q^2) \quad (II.1)$$

Avec : a_0 ; a_1 ; a_2 sont des constantes de la pompe donnée par le constructeur.

La courbe $H(Q)$ est donnée par la figure suivante [2] :

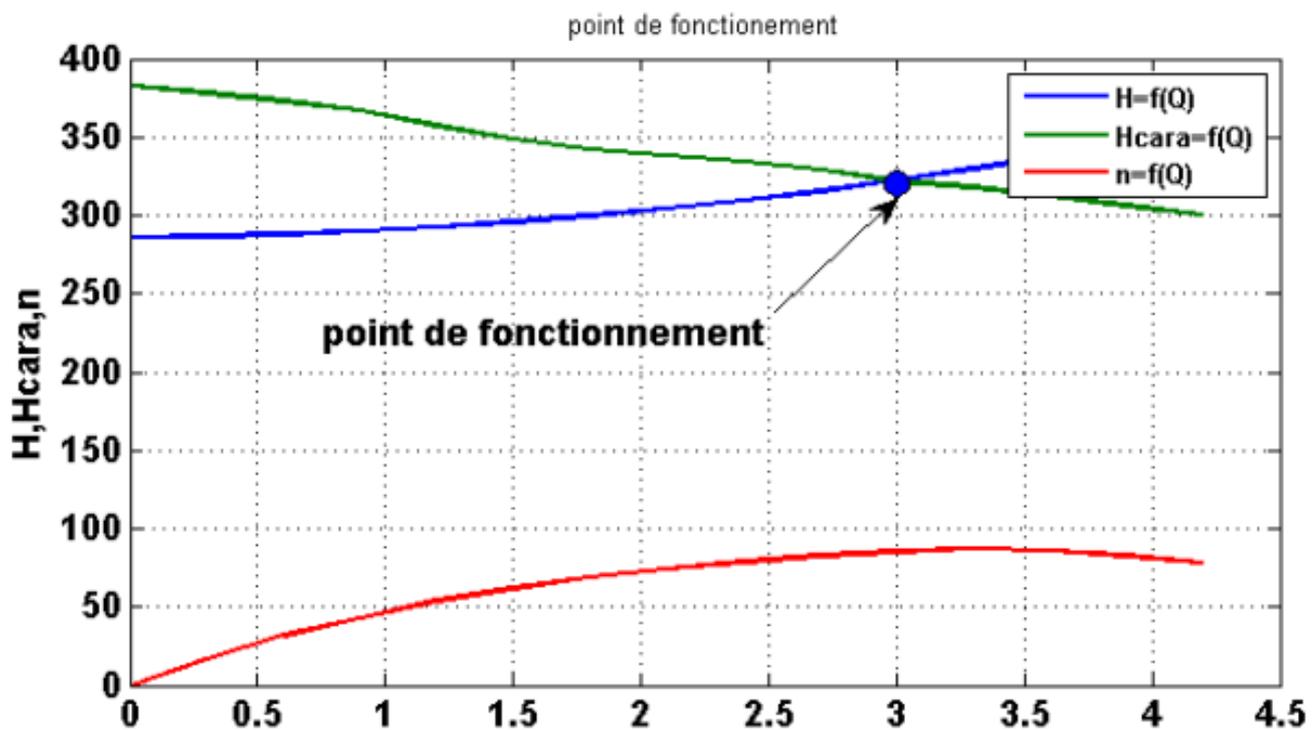


Figure II.15: Courbe $H(Q)$ de la pompe centrifuge et la caractéristique de canalisation. [2]

Le point de fonctionnement est l'intersection de ces deux caractéristiques. Alors pour une vitesse donnée, il y a seulement un point de fonctionnement qui dépend fortement des caractéristiques de tuyauterie d'une pompe indiquée. Par conséquent une bonne conception et une tuyauterie de bon choix donnent de bons résultats dans le système de pompage. [14]

II.10.2 Débit

Le débit d'eau de la pompe est la quantité d'eau que la pompe peut fournir durant un intervalle de temps donné. Le débit est donné en litre par heure (l/h) ou en mètre cube par seconde (m^3/s). [12]

II.10.3 Caractéristique couple-vitesse $C(\omega)$ de la pompe

Le couple du moteur augmente très rapidement en fonction de cette vitesse et la hauteur de refoulement est fonction du carré de la vitesse du moteur. La vitesse de rotation du moteur devra donc être très rapide pour assurer un bon débit. Parce que le couple de démarrage est limité au couple de frottement de la pompe à vitesse nulle (qui est plus important qu'en rotation), la pompe requiert une vitesse minimale à une HMT donnée pour obtenir un débit de départ non nul. Donc la pompe centrifuge oppose un couple résistant C_r :

$$C_r = C_s + k_r \cdot \omega^2 \quad (\text{II.2})$$

Avec :

- k_r : coefficients de proportionnalité [Nm/rads] ;
- C_s : le couple statique ;
- ω_r : La vitesse de rotation de la MAS ; [15]

II.10.4 Caractéristique de la puissance

Une pompe est une machine qui fournit de l'énergie à un fluide en vue de son

Déplacement d'un point à un autre. L'expression générale de la puissance hydraulique est

Donnée comme suit :

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot HMT \dots\dots\dots(\text{II.3})$$

Où :

- ρ : La masse volumique de l'eau étant de 1000 kg/m^3

- g : Accélération de la pesanteur (9,81 m/s).
- Q : Débit d'eau.
- HMT : Hauteur manométrique totale. [15]

II.11 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les types des pompes utilisés dans le système de pompage photovoltaïque, on a donné les classifications du moteur selon la catégorie ou l'alimentation avec définition de chaque type de ce dernier.

Chapitre III

III.1 Introduction

Ce chapitre se concentre sur l'étude analytique et logiciel des systèmes de pompage photovoltaïques. Pour faciliter la compréhension de cette étude, nous introduisons quelques notions fondamentales sur le pompage. De plus, nous explorons différents logiciels de pompage photovoltaïque. Nous examinons également les premières étapes de sélection du site de notre projet dans PVsyst.

III.2 Dimensionnement analytique

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

- Evaluation des besoins en eau.
- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire.
- Calcul de puissance crête.
- Calcul de nombre de panneaux.

□ Première étape :

Estimation des besoins d'eau dépend le cahier charge :

Besoins en eau

Humains

- ✓ 5 l/jour Survie
- ✓ 10 l/jour Minimum admissible
- ✓ 30 l/jour Conditions de vie normales en Afrique

Animaux

- ✓ Bœuf 40 l/jour
- ✓ Mouton, chèvre 5 l/jour
- ✓ Cheval 40 l/jour
- ✓ Âne 20 l/jour
- ✓ Chameau 20 l/jour (réserve de 8 jours) **Irrigation**

- ✓ Cultures à l'échelle du village 60 m³/jour/ha
- ✓ Riz 100 m³/jour/ha
- ✓ Graines 45 m³/jour/ha
- ✓ Canne à sucre 65 m³/jour/ha
- ✓ Coton 55 m³/jour/ha

D'où l'existence de trois normes pour le calcul des besoins en eau :

1. La norme relative à la quantité minimale pour la survie ;
2. L'objectif actuel des organismes de financement : 20 l/jour/personne qui n'inclut pas le bétail et le maraîchage ;
3. La quantité minimale nécessaire au développement économique de 50 l/jour/personne, incluant :
 - ✓ 20 l/jour/personne : pour les besoins personnels, 20 l/jour/personne : 0,5 tête de bétail par personne,
 - ✓ 10 l/jour/personne : 2 m² de maraîchage par personne.

Les normes 2 et 3 sont souvent sélectionnées comme « hypothèse de base » et

« Hypothèse d'amont » dans l'estimation des besoins en eau pour les programmes d'approvisionnement en eau des villages. [22]

Deuxième étape :

Calcul de l'Energie hydraulique à partir de cette équation :

$$\text{Besoins} = \frac{(v \cdot \rho \cdot g \cdot HMT)}{3600} \quad [20]$$

$$HMT = h_{\text{stat}} + h_{\text{rabit}} + (\text{pertes de charge}) \quad [21]$$

Troisième étape :

Calcul de la puissance crête nécessaire dans notre cas :

$$P_c = \frac{2.725 \cdot v \cdot HMT}{E_j \cdot \eta_{\text{global}}} \quad [20]$$

Quatrième étape :

Calcul de le nombre de module PV

$$N = \frac{P_c}{P_{\text{module}}} .$$

III.3 Les différents logiciels de dimensionnement d'un système de pompage PV

Il existe plusieurs logiciels de dimensionnement des systèmes photovoltaïques tels que :

III.3.1 PVGIS

C'est un excellent outil de simulation qui permet de calculer la production de systèmes photovoltaïques connectés au réseau en Europe en Afrique et maintenant en ASIE et en Amérique (et également pour site isolés).

A l'aide de son interface Google Maps intégré, il est très facile d'obtenir les données de production d'un système PV à partir des données d'ensoleillement précises du site (intégrant notamment les masques lointains liés au relief, collines, montagnes).

Par ailleurs PVGIS propose des cartes d'ensoleillement (irradiation en kWh/m²) et de température précises haute définition de la plupart des Pays du monde.



Figure III-1 : Logo du logiciel PVGIS. .[8]

III.3.2 PVSOL

PVSOL Standalone est un programme de conception et de simulation pour les installations photovoltaïques en système autonome. Après entrée des données du récepteur alimenté, le logiciel détermine la puissance nécessaire du générateur photovoltaïque ainsi que la taille de l'accumulateur d'après les critères de dimensionnement habituels. Le programme détermine

ensuite, dans la simulation correspondante, la part de revêtement solaire ainsi que d'autres paramètres caractéristiques significatifs.

Ce logiciel de simulation a été conçu pour répondre aux besoins des ingénieurs, bureaux d'études et installateurs de systèmes photovoltaïques.



Figure III-2 : logo du logiciel PVSOL. [8]

III.3.3 PVsyst

Le logiciel PVsyst est un logiciel d'étude et de simulation de système photovoltaïques, développée dans le cadre du groupe de physique Appliquée (GAP) de l'université de Genève par André Mermoud. [23]

PVsyst est un logiciel permettant le dimensionnement complet d'un projet photovoltaïque. De surcroît, une composante pompage d'eau avec l'énergie photovoltaïque est intégrée dans les possibilités de l'outil. Ce logiciel est alors d'une grande praticabilité et de nombreuses études s'en servent. [24]



Figure III -3 : logo du logiciel PVsyst. [8]

III.4 Les Approche de base de notre projet sur PVsyst

Comme est compris dans notre cas on va utiliser PVSYSY avec un système de pompage tel qui est défini dans PVSYSY car il ne peut pas être associé à aucun autre système PV, même un système autonome. Il doit réellement rester indépendant de tout autre système électrique.

Dès qu'on ouvre PVSYSY on se trouve dans la page principale qui donne la procédure complète pour le développement d'un système de pompage.

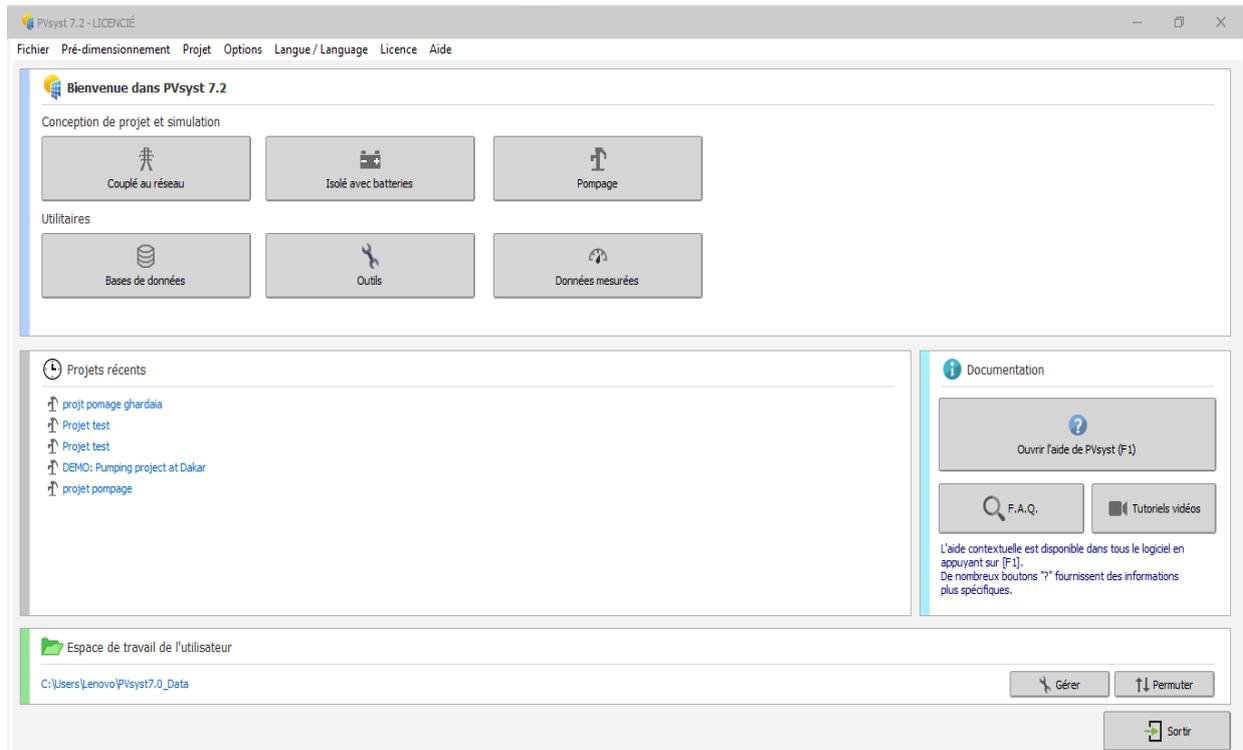


Figure III-4 : Page principale du PVSYSY.

On trouve dans la page des multi icones chaque icone correspond à un projet précis, et des icônes de paramètre.

Par exemple l'icône de « couplé au réseaux » est un instrument permettant aux architectes d'obtenir une évaluation rapide du potentiel photovoltaïque d'un bâtiment. La précision de cet outil est limitée et n'est pas destinée à être utilisée dans les rapports de vos clients.

« Bases de données » comprend la gestion des données climatiques qui consiste en des données mensuelles et horaires, la génération synthétique de valeurs horaires et l'importation de données externes. Les bases de données contiennent également les définitions de tous les composants impliqués dans les installations photovoltaïques comme les modules, les onduleurs, les batteries, etc. [2]

On clique sur cette icône, nous apparaît cette figure :

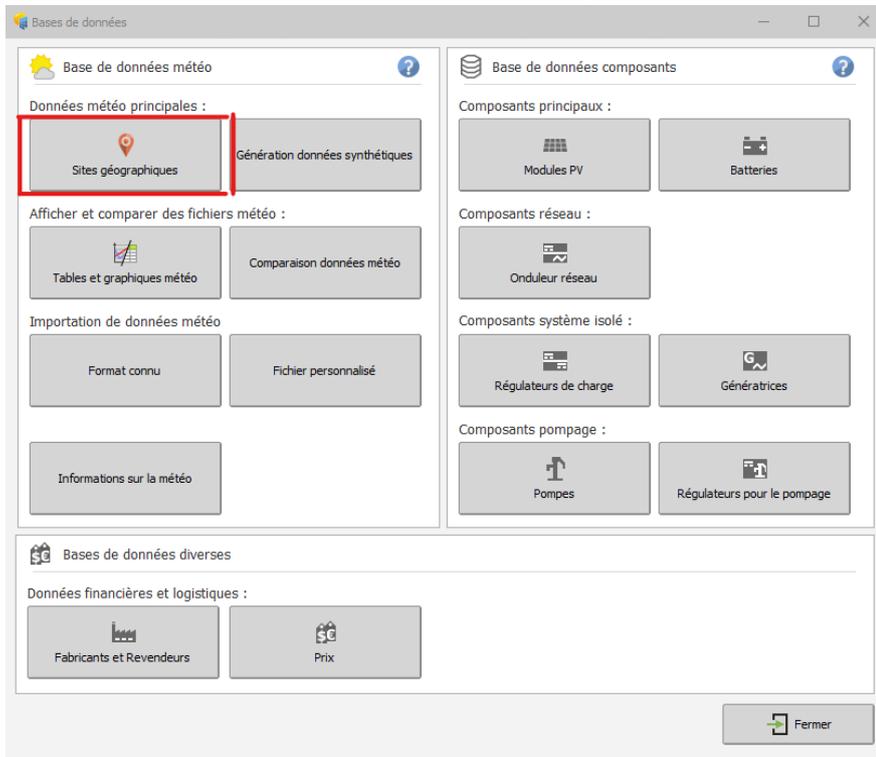
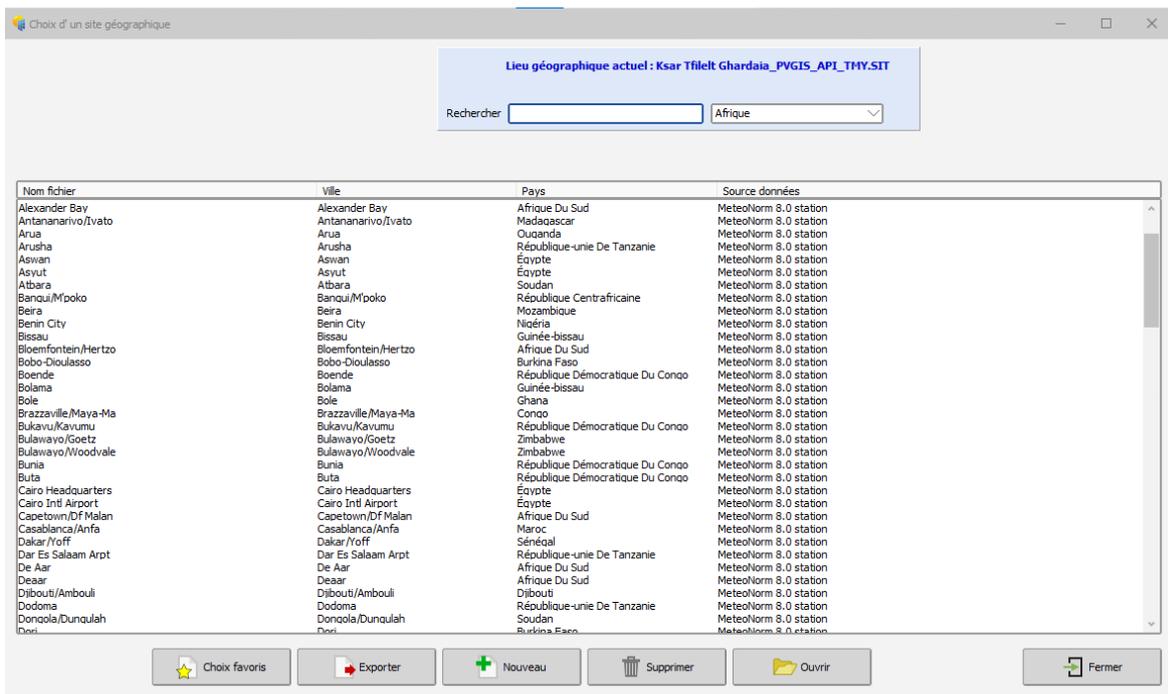


Figure III-5 : Bases des données.

On trouve 2 genres de basses dans cette figure « base de donnée composants » et « basses de donnée météo », dans cette dernière nous apparaît plusieurs icônes, on choisit comme est



designer sur la figure « site géographique » qui nous donne la main à créer un projet en spécifiant la localisation géographique et les données météorologiques.

Figure III-6 : Liste de sites géographique disponible.

On a l'accès à presque 200 sites géographiques dans le monde, mais on voit aussi que notre position de travail n'est pas disponible, alors il faut la créer par cliqué sur « nouveaux » pour trouver GHARDAIA – KSAR TAFILALT qui apparaît la après avoir sélectionnée un point de cette place

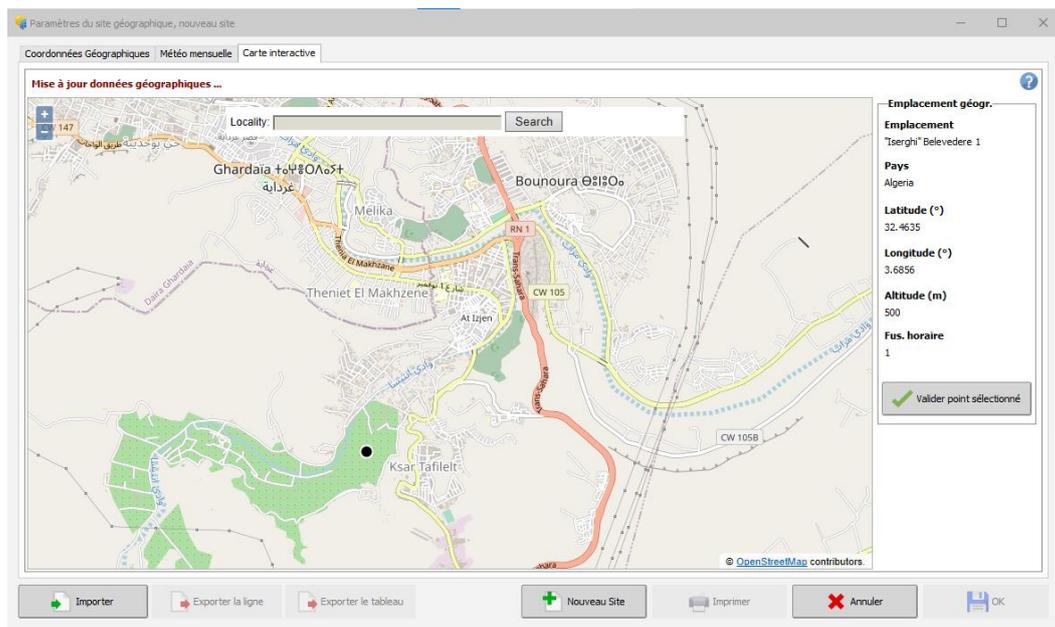


Figure III-7 : le point exact de notre projet sur la carte interactive.

Après avoir choisi le point exact de notre projet, on a l'accès à la fenêtre « coordonnées géographique ».

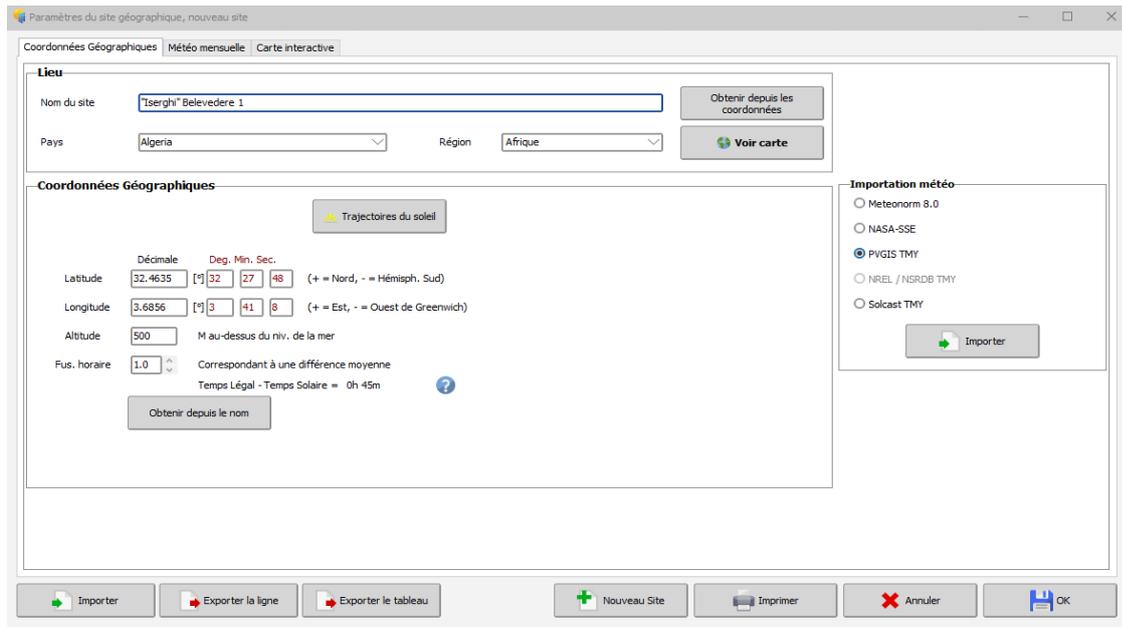


Figure III-8 : Cordonnées géographique.

Il faut choisir l'importation météo par choisir PVGIS TMY et après avoir cliqué sur importer automatiquement le PVSYST nous donne le tableau si dessous de la météo mensuelle.

Après avoir terminer les procédures précédentes, en revenant sur la liste de site géographique, on trouve le site que nous avons choisi pour notre projet.

	Irradiation globale horizontale kWh/m ² /mois	Irradiation diffuse horizontale kWh/m ² /mois	Température °C	Vitesse du vent m/s	Humidité relative %
Janvier	119.9	30.7	11.0	3.55	49.5
Février	133.7	37.1	11.6	3.58	41.8
Mars	182.5	53.3	15.9	4.48	32.8
Avril	205.3	61.4	21.2	4.89	32.8
Mai	237.4	72.7	25.4	5.27	23.5
Jun	247.9	68.6	29.2	4.43	22.1
Juillet	242.1	74.0	34.7	4.31	17.0
Août	226.3	66.8	33.6	3.51	21.1
Septembre	188.2	56.2	28.3	4.36	29.8
Octobre	153.6	47.6	22.6	3.88	39.3
Novembre	110.9	36.2	16.2	4.39	43.9
Décembre	111.0	29.8	10.0	3.91	60.3
Année	2158.8	634.3	21.6	4.2	34.5

Figure III-9 : Météo mensuel.

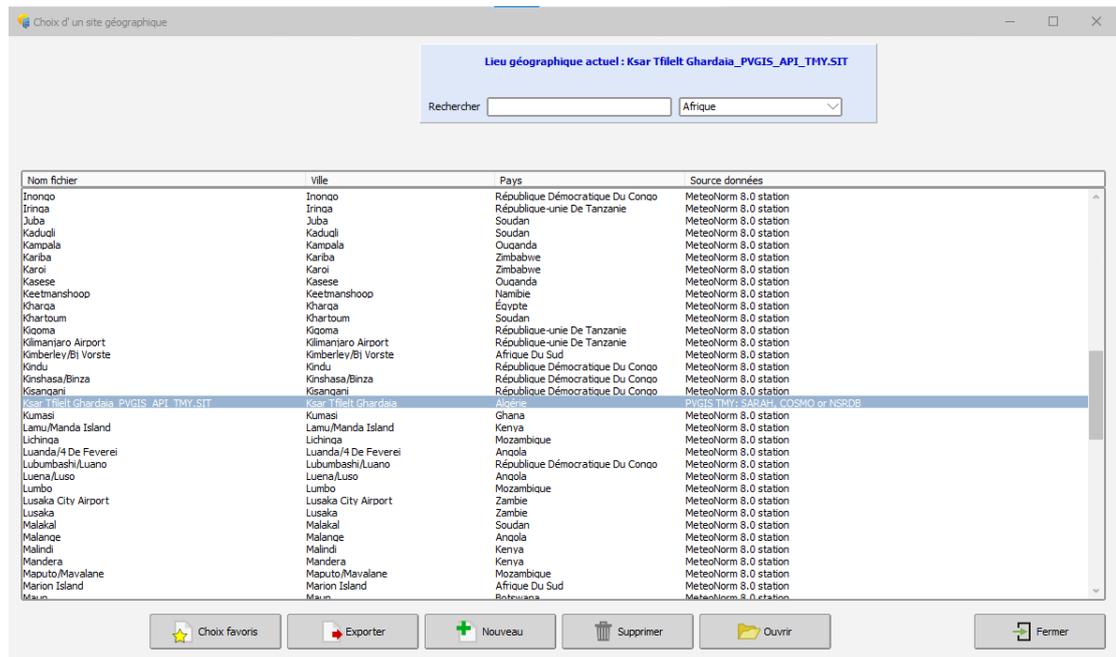


Figure III-10 : Liste de site disponible après avoir mentionner la place de notre projet.

Après avoir choisi le site exact de notre projet, en revenant à la page principale ou on clique sur l'icone « pompage » pour charger le site qu'on a créé et le sauver nécessairement après avoir donné un nom.

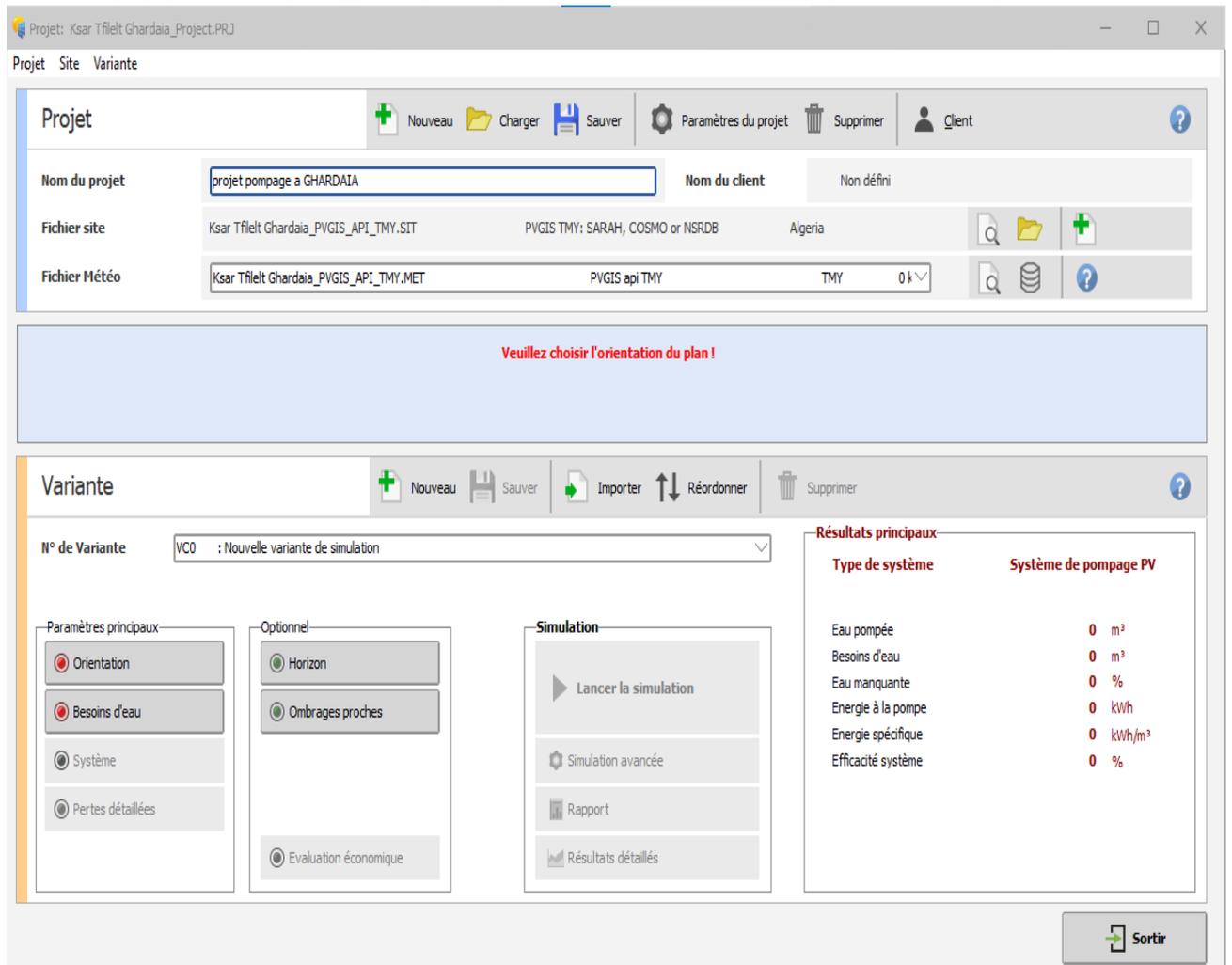


Figure III-11 : Tableau de bord.

III.5 Conclusion

Ce chapitre a présenté une approche complète pour l'étude d'un système de pompage photovoltaïque en utilisant à la fois des calculs analytiques et des outils logiciels dédiés. Nous avons abordé les notions de base du pompage et souligné l'importance de comprendre les besoins spécifiques du projet. Ensuite, nous avons examiné plusieurs logiciels de pompage photovoltaïque disponibles sur le marché, en mettant en évidence leurs fonctionnalités et avantages respectifs.

Chapitre **IV**

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous avons présenté en détail le dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque utilisant la méthode "au fil de soleil" (sans batterie) et nous avons opté pour le logiciel PVsyst pour la simulation de notre projet. Le stockage de l'eau est assuré par le biais d'un réservoir, qui sera utilisé pour l'irrigation d'une surface d'un hectare de palmiers et pour répondre aux besoins de cinq personnes. Nous avons choisi la région de Ksar-Tafilelt dans la wilaya de Ghardaia, caractérisée par un climat saharien sec. Cette zone connaît une évaporation très élevée, mais la région bénéficie d'un fort ensoleillement et de ressources importantes en eau souterraine.

IV.2 Dimensionnement et calcul analytique

- Besoin d'eau :

- On suppose qu'on a 1 hectare de palmes et 5 personnes.

1 hectare de palmes consomme : 32 m³/jour

5 personnes = 30L×5 = 150 L/jours = 0.15 m³/jours

B = 32 + 0.15 = 32.15 m³

On suppose que les besoin eau est 36 m³/jour.

- L'Energie hydraulique :

$$E_h = \frac{g \times \rho \times v \times HMT}{3600} \dots\dots\dots (IV.1) \quad [20]$$

$$HMT = H_r + H_d + H_{rabit} + (\text{Perte de charge}) \dots\dots\dots (IV.2) \quad [20]$$

HMT = 7.2 + 35 + 1 = 43.2 m.

Pertes de charge = 10% × HMT. [21]

Pertes de charge = 4.32 m.

HMT = 47.52 m.

$E_h = 4661.73 \text{ Wh/jour}$

- Puissance crête :

$$P_c = \frac{2.725 \times v \times HMT}{E_j \times \eta_{globale}} \dots\dots\dots (IV.3) \quad [20]$$

$P_c = 2282 \text{ w}_c$

- Nombre de panneaux :

$$N_p = \frac{P_c}{P_{module}} \dots\dots\dots(IV.4)$$

$$N_p = 8.7 \approx 9$$

C'est-à-dire on a 10 panneaux.

IV.3 Dimensionnement sur PVsyst

IV.3.1 Création de la première variante

Une fois que nous avons établi les données météorologiques de notre projet, nous identifions deux éléments essentiels qui doivent être complétés : le bouton d'orientation et les besoins en eau, elles doivent être nécessairement complétés.

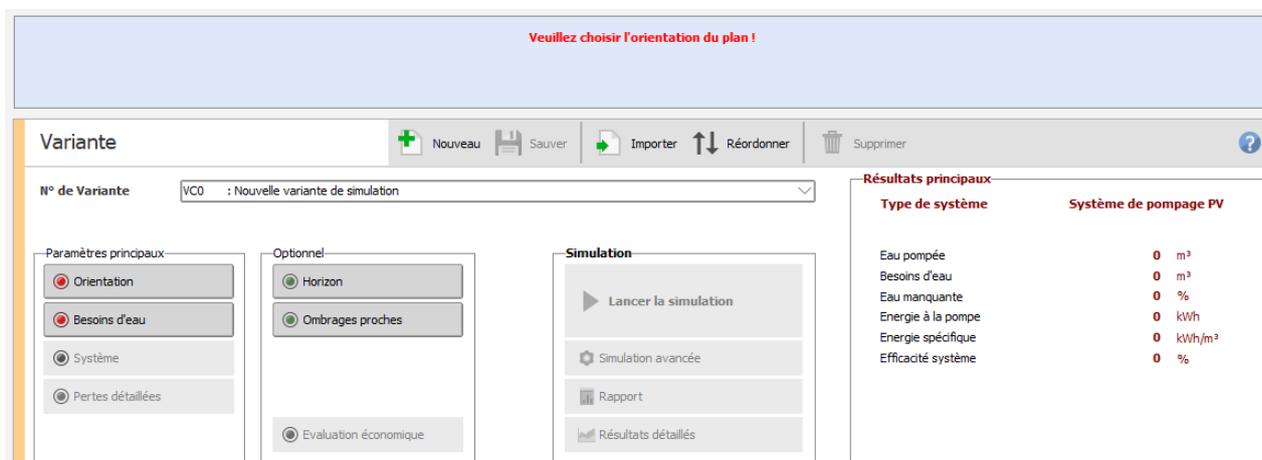


Figure IV-1 : Tableau de bord.

Nous avons cliqué sur "Orientation", une boîte de dialogue d'orientation apparaît, où nous sélectionnons les panneaux solaires à installer sur un plan fixe. Ensuite, sous la case "Type de champs", nous trouvons une autre case qui définit les "Paramètres du champ" que nous avons choisis. Nous déterminons ensuite l'inclinaison du plan et l'azimut, qui est l'angle entre la direction sud et la direction vers laquelle les panneaux sont orientés. À partir du dessin, nous obtenons les angles d'inclinaison du plan et d'azimut (respectivement 30° et 32.5° à l'ouest). Nous trouvons également une case d'optimisation rapide comprenant trois options, et nous sélectionnons l'irradiation annuelle.

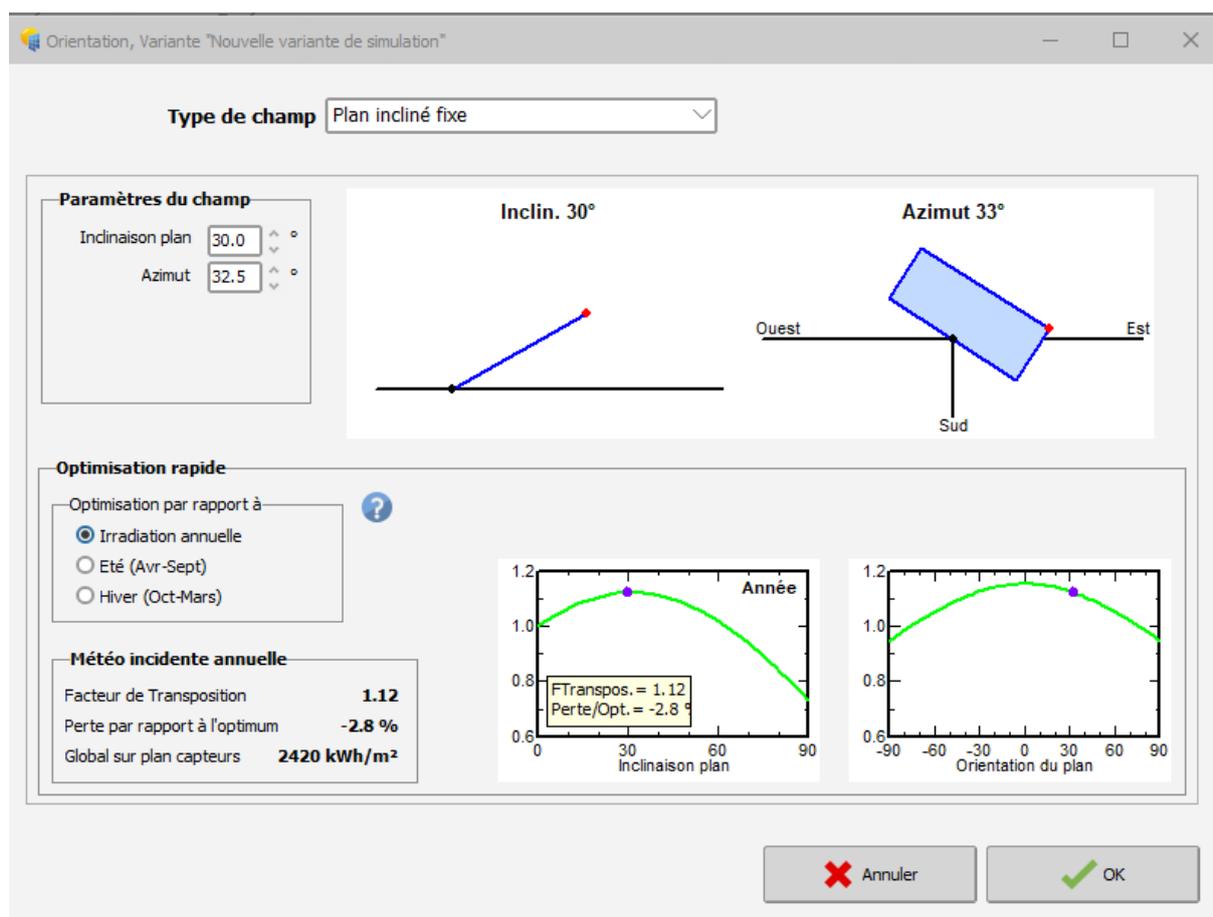


Figure IV-2 : le type de champ pour l'installation solaire et les angles d'inclinaison et d'azimut.

Nous avons réglé les valeurs correctes pour l'inclinaison et l'azimut, nous cliquons sur "OK" et le bouton "Orientation" devient vert. Ensuite, nous cliquons sur "Besoin d'eaux". Nous sommes confrontés à deux cases, commençant par "Circuit hydraulique de pompage". Nous sélectionnons le type de système "Forage vers réservoir" et nous complétons les caractéristiques du forage dans la case correspondante. La Figure IV.3 montre la case "Caractéristiques du forage" composée de plusieurs éléments, tels que le niveau statique, le rabattement et le diamètre du forage. PVsyst calcule automatiquement les autres paramètres. Ensuite, nous fournissons les caractéristiques du réservoir choisi, notamment le volume, la hauteur et l'altitude d'injection. La dernière case du circuit hydraulique de pompage concerne le "Circuit hydraulique". Dans notre projet, nous avons choisi un tuyau de type PE50, car il est le moins cher et le plus disponible sur le marché algérien. Sa longueur est de 55 mètres, car le niveau de la pompe est à 45 mètres et l'altitude d'injection est de 7,20 mètres, ce qui donne environ 53

mètres. Les deux mètres restants se trouvent entre le puits et le réservoir. Nous tenons compte de l'utilisation de 3 coudes.

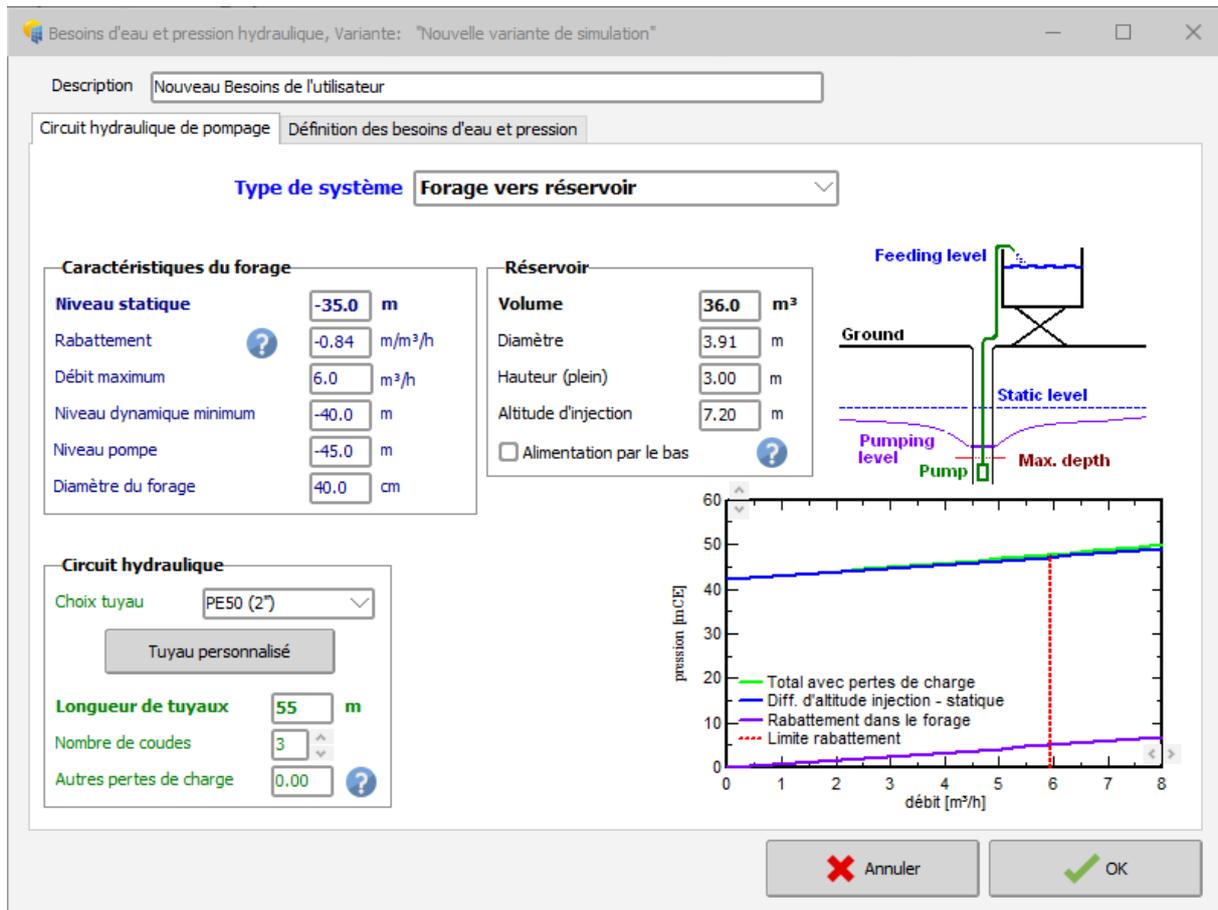


Figure IV-3 : circuit hydraulique de pompage.

Nous passons ensuite à la deuxième case intitulée "Définition des besoins d'eau et de pression". Dans notre cas, le besoin annuel est de 36 mètres cubes par jour, et le logiciel nous fournit une valeur constante tout au long de l'année. Il est important de noter que les unités hydrauliques utilisées sont le mètre cube par jour (m³/jour) pour le débit et le mètre colonne d'eau (mCE) pour la pression. Après avoir cliqué sur "Sauver" puis sur "OK", les besoins en eau sont correctement définis.

Figure IV-4 shows the software interface for defining water and pressure requirements. The window title is "Besoins d'eau et pression hydraulique, Variante: Nouvelle variante de simulation". The description is "Nouveau Besoins de l'utilisateur". The interface is divided into several sections:

- Besoins d'eau:** Radio buttons for "Moyenne annuelle" (selected), "Valeurs saisonnières", and "Valeurs mensuelles". A text box for "Besoins annuels" is set to "36.0 m³/jour".
- Variation du niveau statique dans le forage:** Radio buttons for "Constant sur l'année" (selected), "Valeurs saisonnières", and "Valeurs mensuelles". A text box for "Toute l'année:" is set to "35.0 mCE".
- Unités hydrauliques:** Dropdown menus for "Débit" (m³/h) and "Pression" (mCE).
- Résumé annuel:** A table showing:
 - Besoin d'eau moyen: 36.0 m³/jour
 - Besoins d'eau annuels: 13140 m³
 - Pression moy. annuelle: 42.2 mCE
 - Energie hydraulique: 1511 kWh
 - Besoin PV (très approx.): 5103 kWh
- Pressions suppl.:** A table showing:
 - Altitude d'injection: 7 m
 - Pressions dynamiques Tuyaux: 0.8 mCE
 - Pressions dynamiques Rabattement: 6.0 mCE
- Fichier modèle:** Buttons for "Charger" and "Sauver".

At the bottom are "Annuler" and "OK" buttons.

Figure IV-4 : définition de besoin d'eau et de pression.

Une fois que nous avons défini l'orientation des panneaux solaires et les besoins en eau, nous passons à la troisième case décrite dans la figure IV.1, intitulée "Système". Après avoir cliqué sur cette option, deux fenêtres apparaissent : "Définition de la pompe" et "Conception du sous-champ". Commençons par la première fenêtre.

Nous avons choisi la marque LORENTZ en raison de son efficacité, de sa fiabilité et de sa forte demande sur le marché algérien. En optant pour cette marque, PVsyst nous permet de sélectionner la pompe exacte en fonction des conditions prédéfinies dans les besoins en eau, notamment :

- La puissance du moteur intégré dans la pompe.
- Le débit d'eau requis.
- Le niveau de la pompe.

Après avoir examiné tous les modèles acceptés par PVsyst (affichés en vert), nous avons choisi la pompe portant le nom de "Well.DC. Centrifuge multi-étages PS2-1800C-S15-12". Cette pompe est disponible depuis 2017 et voici sa fiche technique.

PS2-1800 C-SJ5-12

Système de pompe solaire immergée pour puits 4"

Gamme de systèmes

Chute max. 70 m
Débit max. 7,6 m³/h

Données techniques

Contrôleur PS2-1800

- Commande et surveillance
- Entrées de commande pour protection contre le fonctionnement à sec, commande à distance, etc.
- Protection contre inversion de polarité, surcharge et surchauffe
- MPPT (Maximum Power Point Tracking) intégré
- Fonctionnement à batterie: protection intégrée contre la décharge profonde
- Sun Sensor intégré

Puissance max. 1,8 kW
Tension d'entrée max. 200 V
Optimal Vmp** > 102 V
Intensité du moteur max. 14 A
Efficacité max. 98 %
Temp. ambiante -40...50 °C
Classe de protection IP68

Moteur ECDRIVE 1200-C / ECDRIVE 1800-C

- Entretien minimal, moteur DC sans balais
- Rempli d'eau
- Matériel de haute qualité, acier inoxydable: AISI 304/316
- Moteur sans électronique à l'intérieur

Puissance nominale 1,7 kW
Efficacité max. 92 %
Vitesse du moteur 900...3 300 rpm
Classe d'isolation F
Classe de protection IP68
Submersion max. 150 m

Extrémité de la pompe PE C-SJ5-12

- Clapet anti-retour
 - Matériel de haute qualité, acier inoxydable: AISI 304
 - Centrifugal pump
- Efficacité max. 65 %

Pompe PU1800 C-SJ5-12 (Moteur, Extrémité de la pompe)

Diamètre de forage min. 4,0 in
Température de l'eau max. 50 °C



Figure IV-5 : fiche technique de la pompe choisie. [8]

PS2-1800 C-SJ5-12

Système de pompe solaire immergée pour puits 4"

Graphique de la pompe

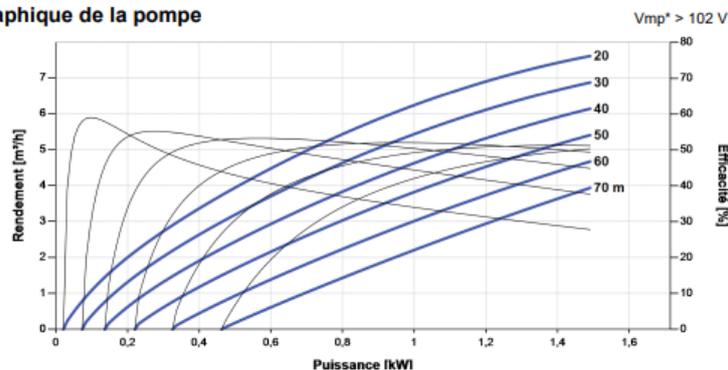


Figure IV-6 : Courbe du rendement de la pompe en fonction de la puissance. [8]

IV.3.2 Comparaison entre les données de notre projet et les caractéristiques de la pompe choisi

En comparant les données de notre projet avec la fiche technique, nous constatons ce qui suit :

- La puissance recommandée dans notre cas est de 1,6 kW, et la puissance de la pompe choisie est de 1,5 kW.
- Le débit d'eau requis dans notre cas est de 6 m³/h, tandis que la pompe a un débit de 7,7 m³/h.
- La hauteur de refoulement dans notre cas est de 45 m, et la pompe choisie fonctionne dans des conditions de 20 à 70 m.

Nous remarquons que les caractéristiques de la pompe sont adaptées à notre projet, car elles correspondent aux valeurs recommandées pour notre système.

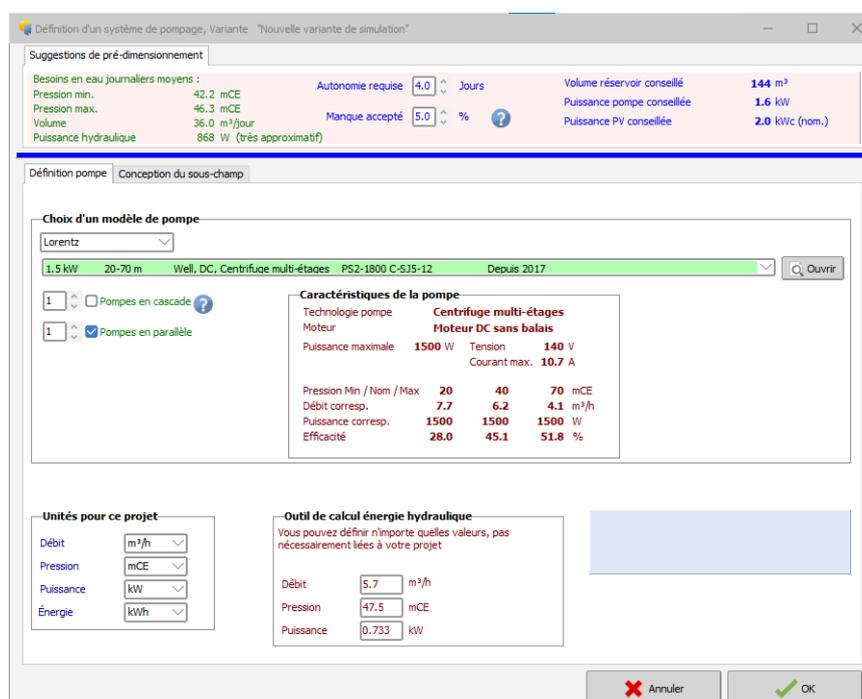


Figure IV-7 : définition de la pompe.

Une fois que nous avons sélectionné le modèle de pompe qui correspond à nos besoins et comparé ses caractéristiques avec les données de notre projet, nous passons à la deuxième fenêtre, "Conception du sous-champ". Dans cette étape, nous devons choisir avec précision le module photovoltaïque et le régulateur adaptés à notre système

IV.3.3 Le choix des composants

A- Module photovoltaïque : Dans le choix du module photovoltaïque, nous avons effectué une sélection parmi de nombreuses marques disponibles. Parmi ces dizaines de modules, nous avons opté pour celui qui porte la référence TP660P-260-L (voir annexe), en prenant en compte trois raisons principales :

- Sa composition en matériau silicium de technologie polycristalline a été privilégiée en raison de sa résistance élevée dans les conditions sahariennes, où les températures sont élevées.
- Ce module est moins coûteux que d'autres options disponibles sur le marché
- Il est également disponible en Algérie.

PV module - TP660P-260-L			
Manufacturer	Talesun Solar (suzhou)	Commercial data	
Model	TP660P-260-L	Availability :	Prod. Since 2019
		Data source :	Manufacturer 2019
Pnom STC power (manufacturer)	260 Wp	Technology	Si-poly
Module size (W x L)	1.002 x 1.665 m ²	Rough module area (Amodule)	1.67 m ²
Number of cells	1 x 60	Sensitive area (cells) (Acells)	1.51 m ²
Specifications for the model (manufacturer or measurement data)			
Reference temperature (TRef)	25 °C	Reference irradiance (GRef)	1000 W/m ²
Open circuit voltage (Voc)	37.2 V	Short-circuit current (Isc)	9.25 A
Max. power point voltage (Vmpp)	29.9 V	Max. power point current (Impp)	8.70 A
=> maximum power (Pmpp)	260.1 W	Isc temperature coefficient (mulsc)	5.5 mA/°C
One-diode model parameters			
Shunt resistance (Rshunt)	250 Ω	Diode saturation current (IoRef)	0.210 nA
Serie resistance (Rserie)	0.31 Ω	Voc temp. coefficient (MuVoc)	-123 mV/°C
Specified Pmax temper. coeff. (muPMaxR)	-0.40 %/°C	Diode quality factor (Gamma)	0.99
		Diode factor temper. coeff. (muGamma)	0.000 1/°C
Reverse Bias Parameters, for use in behaviour of PV arrays under partial shadings or mismatch			
Reverse characteristics (dark) (BRev)	3.20 mA/V ²	(quadratic factor (per cell))	
Number of by-pass diodes per module	3	Direct voltage of by-pass diodes	-0.7 V
Model results for standard conditions (STC: T=25 °C, G=1000 W/m², AM=1.5)			
Max. power point voltage (Vmpp)	30.0 V	Max. power point current (Impp)	8.71 A
Maximum power (Pmpp)	260.2 Wp	Power temper. coefficient (muPmpp)	-0.40 %/°C
Efficiency/ Module area (Eff_mod)	15.6 %	Fill factor (FF)	0.756
Efficiency/ Cells area (Eff_cells)	17.2 %		

Figure IV-8 : Fiche technique du module PV.

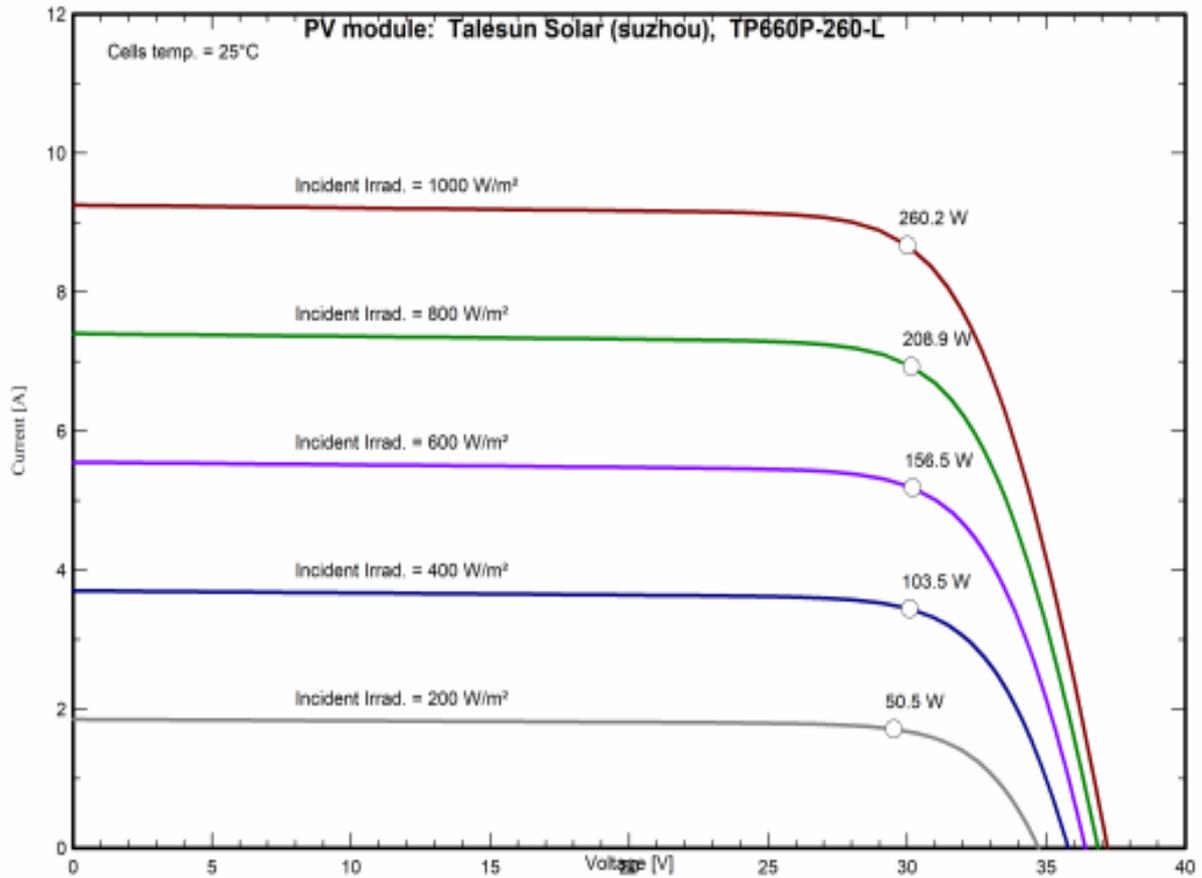


Figure IV-9 : La courbe I(V) du module PV choisi.

B- Le régulateur : Lors de l'utilisation du logiciel PVsyst, nous avons pu sélectionner le modèle de convertisseur MPPT-DC. Dans notre configuration, nous n'avons pas utilisé de batteries ni d'onduleur. Le PVsyst a automatiquement déterminé la référence du régulateur

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

Suggestions de pré-dimensionnement

Besoins en eau journaliers moyens :		Autonomie requise	4,0	Jours		Volume réservoir conseillé	144 m ³
Pression min.	42,2 mCE	Manque accepté	5,0	%	?	Puissance pompe conseillée	1,6 kW
Pression max.	46,3 mCE					Puissance PV conseillée	2,0 kWc (nom.)
Volume	36,0 m ³ /jour						
Puissance hydraulique	868 W (très approximatif)						

Définition pompe **Conception du sous-champ**

Information système

Pompe choisie	PS2-1800 C-SJ5-12	Pression	20,0 - 70,0 mCE
Technologie	Centrifuge multi-étages	Débit	7,70 - 4,07 m ³ /h
Puissance max.	1500 W		

Aide au dimensionnement

Pas de prédim. Entrez Pnom désirée kWc

... ou surface disponible m²

Sélection du module PV

Disponibles

Tous les fabricants

260 Wp 25V	Si-poly	TD660P(H)-260-L	Talesun Solar (suzhouManufacturer 2019)
------------	---------	-----------------	---

Modules nécessaires approx. N/A Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) 25,6 V
Vco (-10°C) 41,4 V

Choisissez le mode de régulation et le régulateur

Régulateur universel **mode de régulation** Convertisseur MPPT-DC

Tous les fabricants

1000 W	Convertisseur MPPT-DC	Universal MPPT - DC Converter	Generic device
--------	-----------------------	-------------------------------	----------------

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 seule possibilité 4

Perte surpuissance N/A

Rapport Pnom N/A

nbre modules 8 Surface 13 m²

Cond. de fonctionnement

Vmpp (60°C)	102 V
Vmpp (20°C)	123 V
Vco (-10°C)	166 V

Irradiance plan **1000 kWh/m²**

Impp	17,4 A
Isc	18,5 A
Isc (aux STC)	18,5 A

Puiss. max. en fonctionnement **1,9 kW**
(à 1000 W/m² et 50°C)

Puiss. nom. champ (STC) 2,1 kWc

✖ Annuler
✔ OK

Figure IV-10 : Conception du sous champ.

IV.4 Exécution et simulation

Sur le tableau de bord du projet, tous les boutons affichent maintenant la couleur verte, ce qui indique leur état actif. Le bouton "simulation" est également activé et nous sommes en mesure de le cliquer.

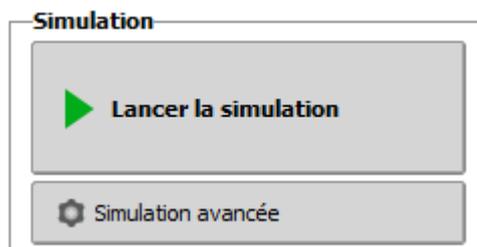


Figure IV-11 : Bouton de simulation.

Chapitre IV : Analyse et dimensionnement (Résultat et discussion)

Après avoir cliqué sur le bouton "Lancer la simulation", PVsyst affiche une figure qui présente toutes les données que nous avons utilisées, ainsi que le résultat final de notre projet dans son ensemble.

Paramètres de simulation		Champ PV		Résultats principaux			
Projet	projet pompage ghardaia			Eau pompée	13030 m ³ /an	Energie à la pompe	3224 kWh/an
Site	Ksar Tfilelt Ghardaia	Modules PV	TP660P-260-L	Pompe:	PS2-1800 C-SJ5-12	Besoins d'eau	13140 m ³ /an
Type système	Pompage	Puissance nominale	2.08 kWc	Puissance nom.	1500 W	Eau manquante	0.8 %
Simulation	01/01 au 31/12 (Données météo génériques)	Pression moy.	35.0 mCE	Type de système	Forage vers réservoir	Energie spécifique	0.25 kWh/m ³
		Besoin d'eau moy.	36.00 m ³ /jour	Configuration	Convertisseur MPPT-DC	Efficacité système	77.6 %
						Efficacité de la pompe	51.2 %
						Fraction inutilisée	10.8 % du EarrMpp

Figure IV-12 : Paramètres de simulation.

IV.5 Rapport et résultat obtenu

Résumé du projet		
Site géographique Ksar Tfilelt Ghardaia Algérie	Situation Latitude 32.46 °N Longitude 3.69 °E Altitude 504 m Fus. horaire UTC+1	Paramètres du projet Albédo 0.20
Données météo Ksar Tfilelt Ghardaia PVGIS api TMY		
Résumé du système		
Système de pompage PV Orientation plan capteurs Plan fixe Inclinaison/Azimut 30 / 33 °	Forage vers réservoir Besoins d'eau Constant sur l'année 36.00 m ³ /jour	
Information système Champ PV Nombre de modules 8 unités Pnom total 2080 Wc		
Résumé des résultats		
Eau Eau pompée 13030 m ³ Spécifique 1392 m ³ /kWc/bar Besoins d'eau 13140 m ³ Eau manquante 0.8 %	Énergie Energie à la pompe 3223 kWh Spécifique 0.25 kWh/m ³ Inutilisé (réservoir plein) Energie PV inutilisée 446 kWh Fraction inutilisée 10.7 %	Efficacités Efficacité système 77.6 % Efficacité de la pompe 51.2 %

Figure IV-13 : Rapport de paramètre du système.

Paramètres généraux					
Système de pompage PV		Forage vers réservoir			
Besoins du système		Caractéristiques du forage		Réservoir	
Pression de base	42 mCE	Prof. du niveau statique	-35 m	Volume	36.0 m ³
Besoins d'eau		Rabattement	-0.84 m/m ³ /h	Diamètre	3.9 m
Constant sur l'année	36.00 m ³ /jour	Diamètre	40 cm	Alimentation par le haut	
		Niveau pompe	-45 m	Altitude d'injection	7.2 m
		Niveau dynamique minimum	-40 m	Hauteur (niveau plein)	3.0 m
Circuit hydraulique		Orientation plan capteurs			
Longueur de tuyaux	55 m	Plan fixe			
Tuyaux	PE50	Inclinaison/Azimut	30 / 33 °		
Dint	54 mm				

Champ PV et pompe																								
Module PV		Pompe																						
Fabricant	Talesun Solar (suzhou)	Fabricant	Lorentz																					
Modèle	TD660P-260-L	Modèle	PS2-1800 C-SJ5-12																					
(Base de données PVsyst originale)		Technologie pompe	Centrifuge multi-étages																					
Puissance unitaire	260 Wc	Pompe immergée (forage)																						
Nombre de modules PV	8 unités	Moteur	Moteur DC sans balais																					
Nominale (STC)	2080 Wc	Convertisseur associé ou intégré																						
Modules	2 Chaînes x 4 En série	Type	MPPT																					
Aux cond. de fonct. (50°C)		Plage de tension	108 - 180 V																					
Pmpp	1873 Wc	Cond. de fonctionnement																						
U mpp	108 V																							
I mpp	17 A																							
Puissance PV totale																								
Nominale (STC)	2 kWc																							
Total	8 modules																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Pression min.</th> <th>Pression nom.</th> <th>Pression max.</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>20.0</td> <td>40.0</td> <td>70.0</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Débit corresp.</td> <td>7.70</td> <td>6.21</td> <td>4.07</td> <td>m³</td> </tr> <tr> <td>Puissance req.</td> <td>1500</td> <td>1500</td> <td>1500</td> <td>W</td> </tr> </tbody> </table>						Pression min.	Pression nom.	Pression max.			20.0	40.0	70.0	m	Débit corresp.	7.70	6.21	4.07	m ³	Puissance req.	1500	1500	1500	W
	Pression min.	Pression nom.	Pression max.																					
	20.0	40.0	70.0	m																				
Débit corresp.	7.70	6.21	4.07	m ³																				
Puissance req.	1500	1500	1500	W																				
Appareil de contrôle																								
Modèle : Appareil générique (optimisé selon ce système)																								
Configuration du système : Convertisseur MPPT-DC																								
Contrôle de fonctionnement du système																								
Régulateur générique, param. ajustés selon le système																								
Convertisseur de puissance																								
Type : Convertisseur MPPT-DC																								
Cond. de fonctionnement																								
puissance nominale	1500 W	Tension MPP minimale	108 V																					
Puissance seuil	15 W	Tension MPP maximale	180 V																					
Efficacité maxi	98.0 %	Tension champ max.	200 V																					
Efficacité EURO	97.0 %	Courant d'entrée maximum	14.0 A																					

Figure IV-14 : Caractéristiques de champ PV et la pompe.

Pertes système				
Fact. de pertes thermiques		Pertes câblage DC		Perte de qualité module
Température modules selon l'irradiance		Rés. globale champ	104 mΩ	Frac. pertes -0.8 %
Uc (const)	20.0 W/m²K	Frac. pertes	1.5 % aux STC	
Uv (vent)	0.0 W/m²K/m/s			
Pertes de mismatch modules		Perte de "mismatch" strings		
Frac. pertes	2.0 % au MPP	Frac. pertes	0.1 %	



PVsyst V7.2.0
 VCO, Simulé le :
 04/06/23 11:47
 avec v7.2.0

Projet: projet pompage a GHARDAIA

Variante: Nouvelle variante de simulation

Pertes système								
Facteur de perte IAM								
Effet d'incidence (IAM): Fresnel, anti-reflets, n(verre)=1.528, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Figure IV-15 : pertes de système.

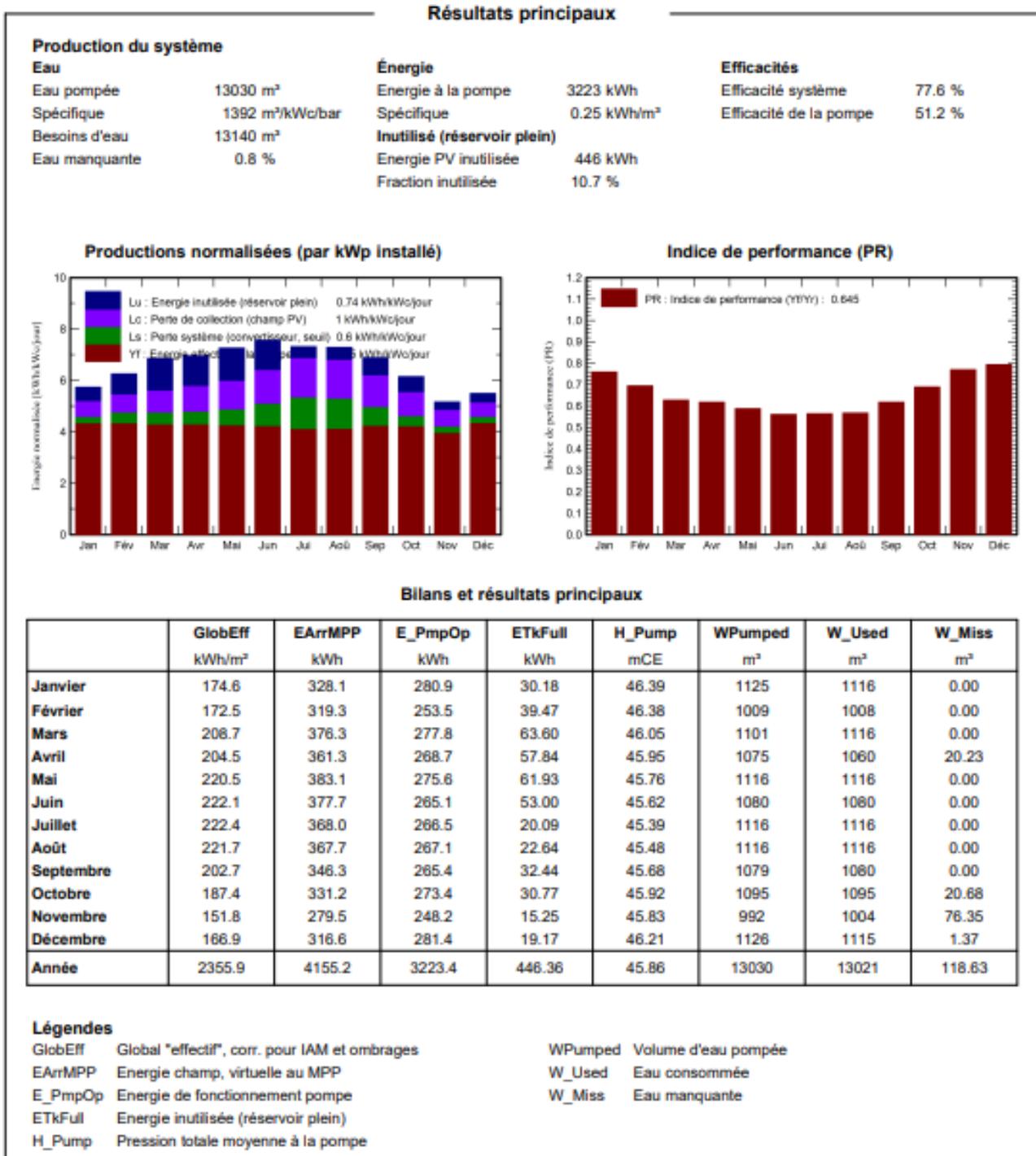


Figure IV-16 : Résultats principaux du projet.

avec v7.2.0

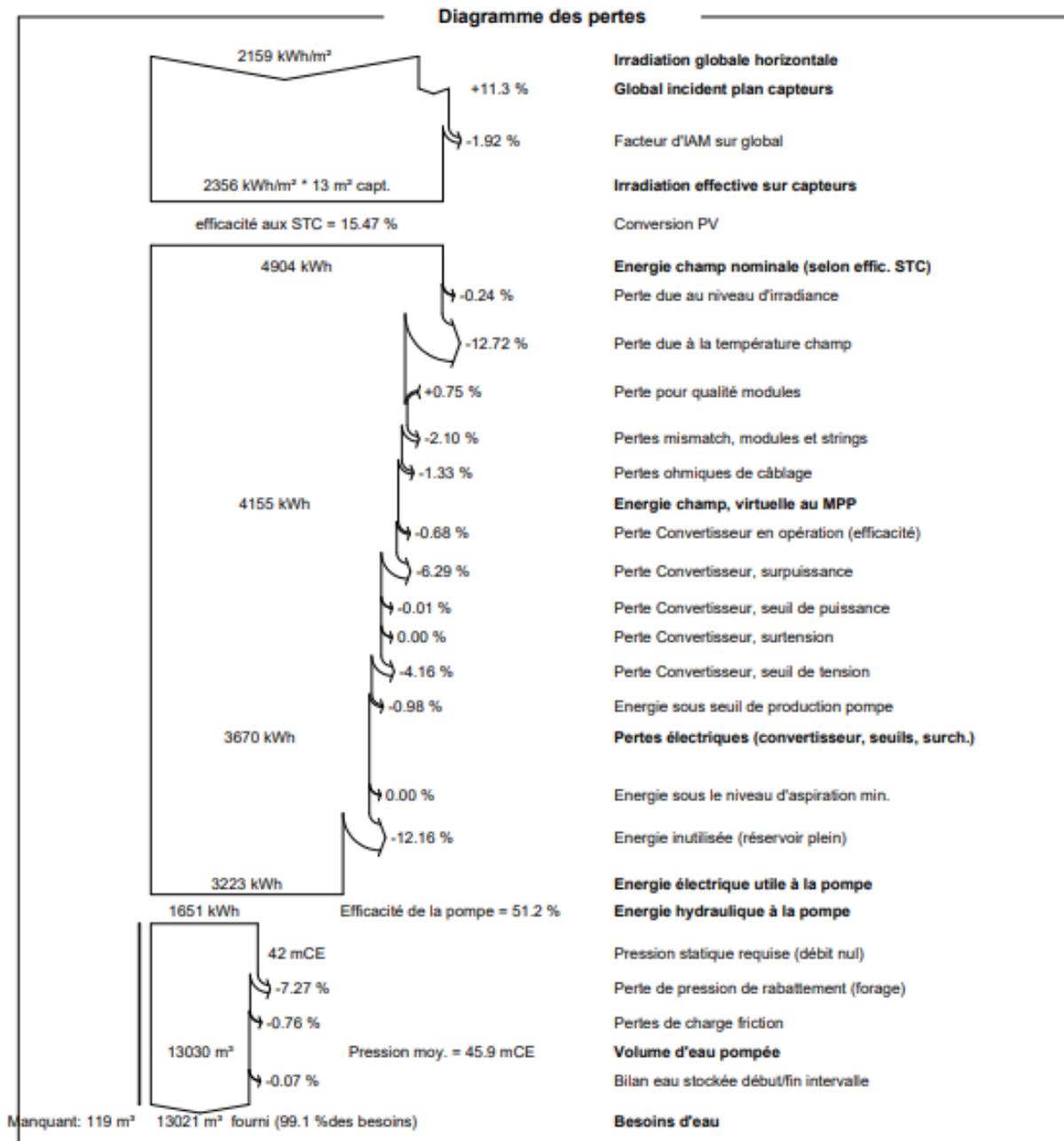


Figure IV-17 : Diagramme des pertes de notre projet.

IV.6 Commentaires et discussions des résultats

IV.6.1 Première page du rapport

Dans la première page du rapport, nous retrouvons les paramètres que nous avons sélectionnés pour le système de pompage. Ces paramètres sont résumés comme suit

1- Résumer de projet

Nous indiquons le site géographique précis choisi pour le projet, qui est Ksar Tafilalet-Ghardaïa, avec les informations suivantes concernant sa localisation :

Latitude : 32.46°N.

Longitude : 3.69°E.

Altitude : 504 m

2- Résumer du système :

Le système de pompage que nous avons utilisé est un système PV (photovoltaïque) de forage vers un réservoir. Le plan des capteurs solaires PV est orienté de la manière suivante :

- Plan fixe
- Inclinaison : 30°
- Azimut : 33°

Les besoins en eau sont constants tout au long de l'année, s'élevant à 36,00 m³/jour.

Concernant le champ PV, voici les informations pertinentes :

- Nombre de modules : 8
- Puissance crête : 2080Wc

3- Résumer du résultat

Les résultats de notre projet sont divisés en trois parties : eau, énergies et efficacité du système. L'efficacité globale du système s'élève à 77,6 %, tandis que l'efficacité de la pompe spécifiquement atteint 51,2 %.

IV.6.2 Deuxième page du rapport

La deuxième page du rapport contient des informations détaillées sur les paramètres généraux du système, de la pompe et du module PV, qui ont déjà été expliqués précédemment. Ces détails fournissent une vue d'ensemble approfondie de ces composants dans le cadre du projet.

IV.6.3 Troisième page du rapport

La deuxième page du rapport présente deux diagrammes :

1. Productions normalisées : Ce diagramme illustre les différentes productions et pertes du système. L'énergie consommée reste relativement stable tout au long de l'année, car la quantité d'eau pompée est constante. Cependant, l'histogramme vert représente les pertes du système, avec des pertes élevées observées en juillet et août, pendant la saison estivale.

L'histogramme violet représente les pertes de collection au niveau du champ PV, qui sont maximales en juin, juillet et août, en raison des températures élevées de l'été. L'histogramme bleu représente l'énergie inutile due au réservoir plein, avec des valeurs maximales en mars, avril, mai et juin. Cela est dû à un rayonnement solaire global élevé, mais également à un manque de gisement solaire, avec des radiations minimales.

2. Indice de performance : Ce diagramme met en évidence l'indice de performance du système. On observe une diminution de l'indice de performance en juin, juillet et août, en raison des températures élevées qui influencent négativement le rendement du module PV. En revanche, les mois de décembre, janvier et février présentent un indice de performance élevé, atteignant 0,78, soit une efficacité proche de 80%. Cela est dû à une température ambiante de 14°C .

IV.6.4 Quatrième page du rapport

Dans cette page on a le diagramme des pertes seulement, ce diagramme c'est un résumé de tout le projet, ce diagramme donne :

- pourcentage de toute les pertes (Perte Convertisseur en opération, Perte Convertisseur, surpuissance, Perte Convertisseur, seuil de puissance, Perte Convertisseur, surtension, Perte Convertisseur, seuil de tension)
- les énergies (énergie champ, énergie champ nominale, énergie électrique, énergie hydraulique)

- les paramètres hydraulique (Pression statique requise, Perte de pression de rabattement, Pertes de charge friction, Volume d'eau pompée, besoin d'eau, Manquant, fourni).

Finalement, Les résultats du calcul analytique et les résultats obtenus à partir du logiciel PVsyst convergent, mais il est également souligné que les résultats du logiciel sont plus précis. Les résultats de la simulation sur PVsyst ont joué un rôle essentiel dans l'analyse du processus de conception. L'efficacité du système, mesurée à 77,6 %, confirme la précision des paramètres de conception choisis, tels que le module PV, la pompe et le régulateur. Ces résultats renforcent la confiance dans les choix effectués pour le système et démontrent leur adéquation.

IV.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous détaillons les étapes nécessaires pour concevoir un système de pompage solaire photovoltaïque sans batterie, qui utilise une pompe centrifuge pour extraire l'eau d'un niveau bas et la refouler vers un réservoir situé à un niveau supérieur.

La puissance générée par le panneau solaire dépend étroitement de l'éclairement solaire, de la température et des conditions météorologiques quotidiennes. Ces facteurs ont un impact significatif sur les caractéristiques du système de pompage.

Pour évaluer et simuler notre système de pompage photovoltaïque, nous utilisons le logiciel PVsyst, qui prend en compte divers paramètres tels que les pertes et l'emplacement. Cela nous permet d'obtenir une estimation plus précise des pertes potentielles pouvant affecter la production globale du système.

Dans notre processus de conception, nous avons pris certaines décisions visant à minimiser les différentes pertes. Ces choix ont été faits afin d'optimiser les performances et l'efficacité du système de pompage.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les énergies renouvelables ont trouvé leur place dans les zones rurales et sahariennes pour répondre aux besoins locaux. Cependant, leur adoption ne se fera progressivement qu'après avoir prouvé leur efficacité. Le coût actuel reste élevé, même si le prix de l'eau pompée reste bas. Le matériel de pompage vise principalement les agriculteurs qui sont naturellement méfiants envers les acronymes tels que "Énergie Renouvelable - Photovoltaïque", et il faudra du temps pour les convaincre de cette technologie. Plutôt que de chercher des alternatives aux sources d'énergie traditionnelles dans les zones rurales et sahariennes, où la consommation énergétique est faible, l'accent devrait être mis sur la fourniture de services qui sont actuellement indisponibles.

La dispersion de l'énergie solaire présente un avantage en réduisant le coût des équipements solaires, ce qui permet aux personnes de mettre en œuvre la technologie de pompage photovoltaïque pour leurs projets. Dans notre cas, nous avons choisi d'utiliser le logiciel PVsyst qui optimise les calculs et les résultats du projet de manière plus favorable que notre approche de dimensionnement analytique précédente.

Annexes

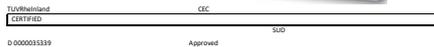
FEATHER TP660P

Polycrystalline Solar Module
60 Cell Series



TALESUN

KEY FEATURES



10 years PID Free 25 years

lighter

Material & workmanship warranty

Certified by TÜV Rheinland

Linear power output warranty

- Robust design: Certified to withstand up to 2400 Pa wind load and up to 5400 Pa snow load
- Fully automated production line: Better and more consistent product quality
- Four busbar cell: Improve the efficiency of modules

QUALITY WARRANTY

TALESUN guarantees that defects will not appear in materials and workmanship defined by IEC61215, IEC61730 and UI-1703 under normal installation, use and maintenance as specified in Talesun's installation manual for 10 years from the warranty starting date.

ABOUT TALESUN

Suzhou Talesun Solar Technologies Co., Ltd. is one of the world's largest integrated PV manufacturers. Its standard and high-efficiency product offerings are among the most powerful and cost-effective in the industry. With over 6 GW of modules installed globally, we are a leading solar energy company built upon proven product reliability and sustainable performance.

- 2 mm thin front glass and 30 mm thin frame

PowerGuard

SPECIALTY IN SOLAR CELL SERVICES SOLARIF

PERFORMANCE WARRANTY

Polycrystalline Solar Cell Modules

- During the first year, TALESUN guarantees the nominal power output of the product will be no less than 97.5% of the labeled power output.
- From year 2 to year 24, the nominal power decline will be no more than 0.7% in each year; by the end of year 25, the nominal power output will be no less than 80.7% of the labeled power output.

a) From year 2 to year 24, the nominal power decline will be no more than 0.7% in each year; by the end

of year 25, the nominal power output will be no less than 80.7% of the labeled power output.

ELECTRICAL PARAMETERS

Maximum Power (Pmax/W)	260	265	270	275
Operating Voltage (Vmpp/V)	30.6	31.0	31.3	31.7
Operating Current (Impp/A)	8.50	8.56	8.63	8.69
Open-Circuit Voltage (Voc/V)	37.9	38.2	38.5	38.7
Short-Circuit Current (Isc/A)	8.97	9.04	9.09	9.17
Module Efficiency	16.0	16.3	16.6	16.9

TEMPERATURE COEFFICIENT

Temperature Coefficient Pmax	-0.40%/OC
Temperature Coefficient Voc	-0.31%/OC
Temperature Coefficient Isc	+0.060%/OC
NOCT	45±2 C

Performance at STC (Power Tolerance 0 - +3%)

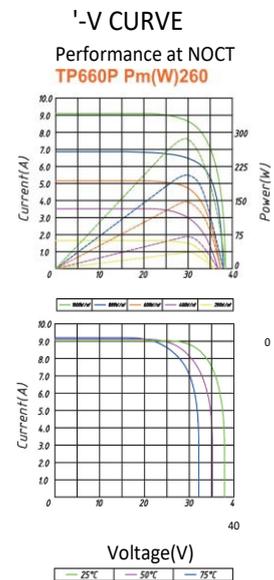
Maximum Power (Pmax/W)	192	196	199	203
Operating Voltage (Vmpp/V)	28.3	28.7	28.9	29.2
Operating Current (Impp/A)	6.78	6.83	6.90	6.97
Open-Circuit Voltage (Voc/V)	35.0	35.2	35.5	35.7
Short-Circuit Current (Isc/A)	7.26	7.32	7.36	7.42

*STC: 1000W/m², 25C, AM 1.5

*NOCT: 800W/m², 20C, AM 1.5, Wind Speed: 1m/s

MECHANICAL SPECIFICATION

Cell Type	Poly Crystalline
Cell Dimensions	156.75*156.75mm(6inch)
Cell Arrangement	60(6*10)
Weight	14kg(30.81bs)



TECHNICAL DRAWINGS

Specifications subject to technical changes without notice. Talesun Solar Rev. 2017.7

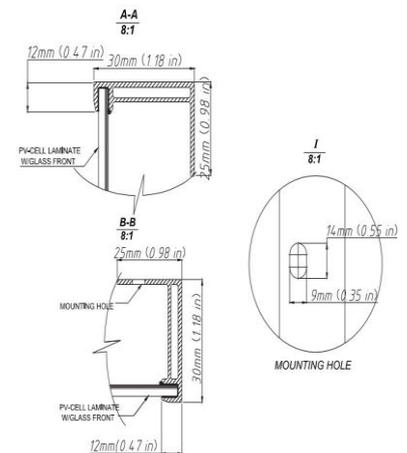
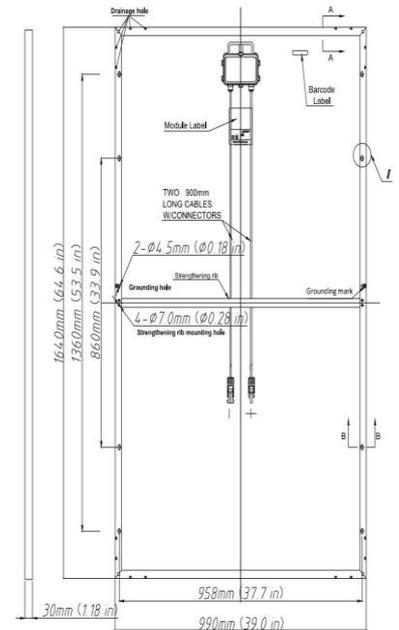
Cable Length	900mm(35.4inch)
Cable Cross Section Size	4mm ² (0.006sq.in)
Front Glass	2.0mm High Transmission, Tempered Glass
No.of Bypass Diodes	
Packing Configuration (1)	35pcs/Pallet, 980pcs/40hq
Packing Configuration (2)	35pcs+6pcs/Pallet, 1064pcs/40hq
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP65/IP67

OPERATING CONDITIONS

Maximum System Voltage	1000V/DC(IEC)
Operating Temp.	-40 c-+85 c
Maximum Series Fuse	15A
Static Loading	5400Pa
Module Dimensions	1640*990*30mm(64.6*39.0*1.2inch)
Conductivity at Ground	< 0.IQ
Safety Class	II Safety
Class	
Resistance	≥100MQ
Connector	MC4 Compatible

SUZHOU TALESUN SOLAR TECHNOLOGIES CO.,LTD.

Email: sales@talesun.com Web: www.talesun.com Tel: + 86 400 885 1098



Bibliographie

- [1] Tarek TAS, Mohammed SELLAM, « Analyse d'une installation de pompage photovoltaïque appliquée à un site agricole saharien », Mémoire fin d'étude master, Université de Bouira.
- [2] CHAARAOUI NESRINE & SENOUSSAOUI FELLA, « Etude et dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque », Mémoire fin d'étude master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2021.
- [3] Chadlia Hanene, Baghana Chems Edine, « installation d'une centrale photovoltaïque dans le réseau isole d'adrar (P.I.A.T) » Mémoire fin d'étude master, Université annaba-mokhtar badji, Juin 2019.
- [4] MEKLIICHE Said, « Etude et Simulation des paramètres électriques d'une cellule solaire photovoltaïque à base de Silicium » Mémoire fin d'étude master, Université MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, Année universitaire 2016/2017.
- [5] BENBOUZA Naima, « Etude Technico-économique des Systèmes Photovoltaïques Pour Application dans la Région de Batna », Thèse de doctorat, Université de Batna 2 – Mostefa Ben Boulaïd, Décembre 2018.
- [6] GUETTARI Anissa Hafsia, « étude et dimensionnement d'un système d'énergie électrique mixte : photovoltaïque et éolien », Mémoire fin d'étude master, Université Aboubakar Belkaïd-Tlemcen, 2018.
- [7] Sofiane FELLOUAH, Siham MESBAHI, « Etude d'un système photovoltaïque connecte à réseau », mémoire fin d'étude master, Université Mouloud Mammeri de tizi-ouzou, 2015.
- [8] Internet google image.
- [9] CHAARAOUI NESRINE SENOUSSAOUI FELLA, « Etude et dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque », Mémoire fin d'étude, université Mohamed Boudiaf m'sila, 2021.
- [10] Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric Schiller, Bocar Sada Sy, «Le pompage Photovoltaïque », Manuel de cours, Université d'Ottawa.
- [11] site web: <https://senegrid.sn.com>.
- [12] Ziad Boukerche et Mouad Boulahdjila, « Dimensionnement D'un Système De Pompage

Photovoltaïque», Mémoire fin d'étude, Université Mohamed Seddik Ben Yahia - Jijel , 2019/2020.

[13] <https://www.hydro-group.com>.

[14] HAMID Mestouri; BENZIANE Bentaleb, «Modélisation d'un système de pompage photovoltaïque», Mémoire fin d'étude université yahia fares de Médea, 2017.

[15] Bilal Hamdaoui et Ismail Bourdji, « Étude d'un système de pompage photovoltaïque au fil Soleil, Mémoire fin d'étude», Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, 2016.

[16] BOUKHALFA SAIDA, « Etude d'un système de pompage photovoltaïque», Mémoire fin d'étude, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene , 2011.

[17] M. BOUKHELF Abderrahim. M. SAMMA Abdelmalek, « Pompes solaire avec batterie de stockage », mémoire fin d'étude, universite akli mhand oulhaj bouira, le 31/10/2018.

[18] <https://energieplus-lesite.be/techniques/ascenseurs7/moteur-asynchrone/>

[19] <https://www.tubs.parts/fr/comment-lire-letiquette-dune-pompe-p-3976.html>

[20] <https://energieplus-lesite.be/techniques/ascenseurs7/moteur-asynchrone/>

[21] Asenath W. Kiprono Alberto Ibáñez Llario. « le pompage solaire pour l'approvisionnement en eau, Livre, 2021.

[22] BEN SAADA Bachir, «CHAHBOUNIA MISSOUM, Dimensionnement D'un système de pompage PV destiné à l'irrigation Agricole », memoire fin d etude, Université de MEDEA, 2022.

[23] Christien Roecker, Jacques Bonvin «PVSYST 3.0 Ergonomie et fonctionnalité», Rapport, octobre 2000.

[24] Théo DELPECH, « Conception d'un système de pompage d'eau solaire photovoltaïque expérimental pour régions isolées : mécanique, simulations et perspectives d'implantation », université du Québec, juin 2022.