



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة أمّار تليجي بالأغواط
UNIVERSITÉ AMAR TELIDJI LAGHOAT
Département GENIE MECANIQUE



Memoire de fin d'Etude En vue de l'obtention du diplôme
MASTER
GENIE MECANIQUE : Energie Renouvelable

Theme

Etude d'une station de pompage avec les panneaux solaires

Presente par :

- Bendjemaa salah eddine elayoubi
- Ghozlane aymen farouk

Propose par : Dr.Mohamed belhadj

Annee universitaire 2024 / 2025

Remerciements

En premier lieu, nous remercions Dieu qui nous a procuré ce succès

Un grand remerciant à l'encadrant "**Dr. M.Belhadj** " pour ses conseils précieux et pour toutes les commodités et essences qu'elle nous a apportées durant l'étude et la réalisation de ce travail.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aux messieurs, le président et les membres du jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail Sans omettre bien sûr de remercier profondément tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à réalisation du présent travail.

Et enfin, que nos chers parents et familles, et bien avant tout, trouvent ici

l'expression de nos remerciements les plus profonds en reconnaissance de leurs sacrifices, aide, soutiens et encouragements afin de nous assurer cette formation dans les meilleures conditions.

Nomenclature

GPV : générateur photovoltaïque

PV : photovoltaïque

MPPT: Maximum Power Point Tracking

DC: Direct current

AC : Alternating current

Hz : Hertz

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

E_h: Énergie hydraulique [kWh/j]

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

Q : Volume d'eau [m³/j]

H_{MT}: Hauteur manométrique total [m]

g : La gravité terrestre [9.81m/s²]

ρ : Densité de l'eau [1000kg/m³]

E_e : Energie électrique exprimé en [kWh/j]

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

η_{ond} : Le rendement d'onduleur.

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

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

A : La surface active du générateur (m²).

G : L'éclairement dans les conditions CSM.

F_m : Facteur de couplage.

γ: Coefficient de température des cellules.

P_c : La puissance crête du générateur.

P_m : La puissance du module PV.

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

V_M : La tension nominale du module.

E_i : énergie consommée par jour (kWh/j)

P_i : la puissance consommée (W)

t_p : temps de pompage par jour (h)

Sommaire

<i>I Introduction.....</i>	<i>04</i>
<i>I.1. Definition de l'énergie renouvelable.....</i>	<i>04</i>
<i>I.2. Le rayonnement solaire.....</i>	<i>05</i>
<i>I.3. Composition du rayonnement solaire</i>	<i>06</i>
• <i>Rayonnement direct</i>	<i>06</i>
• <i>Rayonnement diffus</i>	<i>07</i>
• <i>Rayonnement réfléchi (L'albédo.....</i>	<i>07</i>
• <i>Rayonnement global</i>	<i>07</i>
 <i>I.4. L'énergie solaire photovoltaïque I.....</i>	<i>08</i>
<i>I.5. Rayonnement solaire par L'effet photovoltaïque.....</i>	<i>08</i>
<i>I.6. Cellule photovoltaïque.....</i>	<i>09</i>
<i>I.7. Les types des panneaux solaires photovoltaïques.....</i>	<i>10</i>
• <i>Monocristallines.....</i>	<i>10</i>
• <i>Poly-cristallin</i>	<i>10</i>
• <i>Amorphes.....</i>	<i>10</i>
<i>I.8. Avantage et inconvénients du système PV</i>	<i>11</i>
<i>I.9.Applications des systèmes photovoltaïques.....</i>	<i>11</i>
• <i>Systèmes autonomes.....</i>	<i>11</i>
• <i>Système hybrides.....</i>	<i>12</i>
• <i>Systèmes couplés auréseau.....</i>	<i>12</i>
• <i>Systèmes fonctionnant au fil du soleil (Pompage Photovoltaïque.....</i>	<i>13</i>
<i>I.10.Configuration typique d'un système de pompage photovoltaïque.....</i>	<i>13</i>
• <i>Systèmes de petite puissance (50-400W.....</i>	<i>13</i>
• <i>Les systèmes de moyenne puissance (400-1500 W).....</i>	<i>14</i>
 <i>II.1 Spécification du site de Bouchaker.....</i>	<i>18.</i>
<i>II.2 Composants et fonctionnement du système de pompage d'eau solaire photovoltaïque 18 ..</i>	
<i>II.2.1 Le générateur photovoltaïque.....</i>	<i>19</i>
<i>II.2.2 L'électronique de commande et de contrôle.....</i>	<i>20</i>
<i>II.2.3 Le groupe électropompe.....</i>	<i>21</i>
<i>II.2.4 La partie stockage.....</i>	<i>21</i>
<i>II.3 Les étapes de dimensionnement de l'installation.....</i>	<i>21</i>
<i>II.3.1 Estimation des besoins en eau.....</i>	<i>22</i>
<i>II.3.2 Rayonnement solaire.....</i>	<i>22</i>
<i>II.3.3 Hauteur manométrique total.....</i>	<i>24</i>

II.4 Dimensionnement de la station de pompage.....	24
II.4.1 Choix de la pompe.....	25
II.4.2 Onduleur MPPT-AC.....	26
II.4.3 Calcul de l'énergie hydraulique quotidienne requise.....	26
II.4.4 Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise.....	26
II.4.5 Taille du générateur PV.....	27
II.5 Calcul de l'énergie consommée par la pompe (en kWh/j)	31
II.6 La capacité du réservoir.....	31
Conclusion.....	32
Chapitre III Simulation et discussion du système de pompage photovoltaïque	
Introduction.....	38
III.1 Mode de conception.....	38
III.1.1 Description.....	38.
III.1.2 Le mode d'irrigation proposé.....	39
III.1.3 Conception du projet.....	39
III.1.4 Orientation et inclinaison.....	39
III.1.5 Besoins d'eau.....	41
III.2 Les caractéristiques des composantes du système.....	42
III.2.1 Efficacité de l'onduleur MPPT-AC.....	42
III.2.2 Le générateur PV.....	43
III.2.3 Rendement des panneaux photovoltaïques.....	43
III.2.4 La pompe	46
III.3 Mode de simulation.....	46
III.3.1 Bilans et résultat principal	46
III.3.2 Ratio de performance.....	47
III.3.3. Diagramme des pertes.....	48
III.3.4 L'utilisation de l'électricité non consommé.....	50
III.4 Étude économique comparative pompage solaire / réseau électrique.....	50
III.4.1 Systèmes de pompage par réseau électrique.....	50
III.4.2 Réseau Sonelgaz.....	51
III.4.3 Le système de pompage au fil de soleil.....	53
III.5 Les émissions de gaz à effet de serre (GES)	54
III.5.1 Comparaison de nouveau et l'ancien du système	54
Conclusion.....	
Conclusion générale	
Références	

Liste des figures

Figure 1 : *L'énergie Solaire*

Figure 2 : *Analyse spectrale du rayonnement solaire.*

Figure 3 : *Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné*

Figure 4: *Mono- cristallines*

Figure 5 : *Cellule poly-cristallines*

Figure 6: *Cellules amorphes*

Figure 7 : *Installation de système autonome*

Figure 9 : *Installation de système hybride*

Figure 10 : *Installation de système couplée au réseau*

Figure 11 : *Eléments d'une installation de pompage photovoltaïque*

Figure 12 : *Systèmes de petite puissance.*

Figure 13 : *Les systèmes de moyenne puissance.*

Figure 14 : *site de Laghouat*

Figure 15: *Schéma synoptique du système étudié.*

Figure 16 : *Système de pompage utilisant le moteur à courant alternatif.*

Figure 17 : *La région agricole étudiée (1 hectare de culture des palmiers).*

Figure 18 : *Durée d'insolation (h) à BOUCHAKER].*

Figure 19 : *Rayonnement solaire (KWh/m^2) à BOUCHAKER.*

Figure 20 : *Hauteur manométrique total.*

Figure 20 : *Les étapes du calcul de la taille du générateur*

Figure 21 : *Schéma du système.*

Figure 22 : *Ligne d'horizon à Bouchaker*

Figure 23 : *Orientation du plan par PVsyst.*

Figure 24 : *Besoins d'eau mensuels.*

Figure 25 : *Diagramme du pompage photovoltaïque.*

Figure 26 : *L'Efficacité de l'onduleur en fonction de la puissance (w).*

Figure 27 : *Groupement de N_{MS} module en série et N_{MP} en parallèle.*

Figure 28 : *Température de la cellule du module SPR-P3-410-COM-1500.*

Figure 29 : *Efficacité à P_{max} [%] en fonction l'irradiation incidente global.*

Figure 30 : *Ratio de performance de l'installation pendant l'année.*

Figure 31 : *Production d'énergie normalisée par installation.*

Figure 32 : *Diagramme des pertes.*

Figure 33 : *La production d'électricité en Algérie – g CO₂/kWh[46].*

Liste des tableaux

Tableau 1 : Longueurs d'ondes et spectre lumineux

Tableau 2: Quelques valeurs d'albédo.

Tableau 3 : Spécifications du site de BOUCHAKER

Tableau 4 : Les besoins journaliers moyens mensuels en eau des palmiers / hectare.

Tableau 5 : Les valeurs globales de l'irradiation journalière mensuelle.

Tableau 6 : Caractéristiques électriques d'une gamme de pompes Lowara (Annexe B).

Tableau 5 : Caractéristiques électriques de l'onduleur

Tableau 7 : Caractéristique le panneau solaire choisi (annexe A).

Tableau 8 : Caractéristique de la pompe.

Tableau 9 : Bilans et résultat principal

Tableau 10 : La consommation électrique **1^{er}** trimestre.

Tableau 11 : La consommation électrique **2^{ème}** trimestre

Tableau 12 : La consommation électrique **3^{ème}** trimestre

Tableau 13 : La consommation électrique **4^{ème}** trimestre

Tableau 14 : Les coûts d'investissement

الملخص

يتجه العالم حاليًا نحو دعم استخدام الطاقة الشمسية في الفلاحة، وذلك ضمن الجهود المبذولة لتقليل انبعاث الكربون ومواجهة تحديات تغير المناخ. يعتبر القطاع الزراعي من أهم القطاعات التي تستفيد من الطاقة الشمسية، وذلك من خلال استخدام مضخات آبار الري التي تعتمد على الكهرباء المنتجة من مصادر الطاقة النظيفة، بدلًا من مصادر الطاقة التقليدية مثل الغاز أو الوقود الأحفوري.

قمنا بدراسة تصميم نظام ضخ كهروضوئي لري هكتار من النخيل يحتوي على 200 نخلة في منطقة بوشاكر ولاية الاغواط بالجزائر، يتكون هذا النظام من 14 لوح شمسي ومضخة غاطسة وعاكس كهروضوئي وقمنا بمحاكاته باستعمال

برنامج PVSyst.

كما قمنا باجراء مقارنة اقتصادية وبيئية بين هذا النظام الذي تم تصميمه والنظام القديم الذي يعمل على الشبكة الكهربائية الوطنية.

كلمات مفتاحية : نظام ضخ كهروضوئي , لوح شمسي, الشبكة الكهربائية, برنامج PVSyst.

RÉSUMÉ

Le monde s'oriente actuellement vers un soutien à l'utilisation de l'énergie solaire dans l'agriculture, dans le cadre des efforts visant à atteindre la neutralité carbone et à relever les défis du changement climatique. Le secteur agricole est l'un des secteurs les plus importants qui bénéficient de l'énergie solaire, grâce à l'utilisation de pompes de puits d'irrigation qui dépendent de l'électricité produite à partir de sources d'énergie propres, au lieu de sources d'énergie traditionnelles telles que le gaz ou les combustibles fossiles.

Nous avons étudié la conception d'un système de pompage photovoltaïque pour irriguer un hectare de palmiers contenant 200 palmiers dans la zone de BOUCHAKER de laghouat, en Algérie, composé de 14 panneaux solaires, d'une pompe submersible et d'un onduleur, et nous l'avons simulé à l'aide du logiciel PVSyst. Nous avons également effectué une comparaison économique et environnementale entre ce système conçu et l'ancien système qui fonctionne sur le réseau national.

Mots-clés : système de pompage photovoltaïque, panneau solaire, réseau, logiciel PVSyst.

ABSTRACT

The world is currently moving towards supporting the use of solar energy in agriculture, as part of efforts to achieve carbon neutrality and address the challenges of climate change. The agricultural sector is one of the most important sectors that benefit from solar energy, through the use of irrigation well pumps that rely on electricity produced from clean energy sources, instead of traditional energy sources such as gas or fossil fuels.

We studied the design of a photovoltaic pumping system to irrigate a hectare of palm trees containing 200 palm trees in the BOUCHAKER area of Laghouat in Algeria, consisting of 14 solar panels, a submersible pump and an inverter, and simulated it using PVSyst software.

We also made an economic and environmental comparison between this designed system and the old system that runs on the national grid.

Keywords: photovoltaic pumping system, solar panel, grid, software PVSyst.

Introduction Générale

Introduction générale

Dans un contexte mondial où la transition énergétique est devenue une priorité, l'exploitation de l'énergie solaire représente une solution durable et adaptée, notamment dans les régions arides et semi-arides. La wilaya de Laghouat, et plus particulièrement la zone de Bouchaker, bénéficie d'un ensoleillement important qui constitue un atout considérable pour le développement de systèmes énergétiques renouvelables.

Le présent mémoire, intitulé « Étude d'une station de pompage d'eau alimentée par l'énergie solaire photovoltaïque dans la région de Bouchaker (wilaya de Laghouat) », s'inscrit dans cette dynamique. Il vise à analyser les possibilités d'implantation d'une station de pompage solaire et à évaluer ses performances techniques, économiques et environnementales dans un climat chaud et sec.

L'étude se concentre sur l'identification des besoins en eau, la caractérisation du site, ainsi que sur le dimensionnement des principaux composants du système (générateur photovoltaïque, équipements de commande et de contrôle, groupe électropompe et stockage). Une simulation sera également réalisée afin d'évaluer l'efficacité et la rentabilité du système par rapport aux solutions de pompage traditionnelles.

Ce travail ambitionne de démontrer la faisabilité et la pertinence de l'utilisation du pompage photovoltaïque comme alternative durable et autonome pour l'approvisionnement en eau dans la région de Bouchaker, contribuant ainsi à une meilleure

Le choix de la pompe, le rôle de l'onduleur MPPT-AC ainsi que les calculs énergétiques nécessaires au dimensionnement optimal du générateur photovoltaïque et du réservoir ont été présentés en détail. Ce chapitre s'est conclu par une synthèse des éléments essentiels, servant de base aux simulations et aux analyses développées par la suite.

Le troisième chapitre est consacré à la simulation et à l'évaluation des performances du système de pompage photovoltaïque. Après une introduction générale, il expose les principes de conception et les paramètres retenus, notamment l'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires ainsi que la détermination des besoins en eau.

Les caractéristiques techniques des principaux composants du système ont ensuite été étudiées, avec une attention particulière portée à l'efficacité de l'onduleur MPPT-AC, au générateur photovoltaïque et à la pompe. La méthode de simulation adoptée a été présentée, permettant de reproduire les conditions réelles d'exploitation.

Enfin, une analyse économique et environnementale a été effectuée, comparant le système de pompage photovoltaïque aux solutions traditionnelles alimentées par le réseau électrique (Sonelgaz). Le chapitre s'achève par une synthèse des résultats obtenus et une discussion des implications pratiques ainsi que des avantages potentiels de ce système dans un climat chaud et sec.

Chapitre I :

I. INTRODUCTION

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancées sur le plan technologiques et industriel, en effet le silicium est l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice non toxique. L'énergie solaire ne nécessite aucun apport extérieur de combustible ; de plus, le générateur lui-même ne contient aucune pièce mobile et ne requiert donc pratiquement pas d'entretien. Par conséquent, les coûts récurrents d'opération et de maintenance sont relativement faibles. Pour ces raisons, cette source d'énergie convient particulièrement bien pour les utilisations en milieu rural où les populations sont réparties dans de petites communautés et où la demande énergétique est relativement faible. Son utilisation au niveau du pompage s'est répandue rapidement dans les régions rurales des pays en développement et dans les zones hors-réseaux des pays plus industrialisés. Dans ce chapitre, on fait en premier lieu une généralité sur l'énergie solaire son utilisation et les caractéristiques principales du générateur photovoltaïque. En second lieu il expose en générale le fonctionnement et spécifications des systèmes de pompage photovoltaïque, les différents systèmes de pompes existants, sans stockage d'énergie électrique et avec batterie et rappelle les éléments qui constituent le système.

I.1. Définition de l'énergie renouvelable

Les énergies renouvelables désignent un ensemble de moyens de produire de l'énergie électrique à partir de sources ou des ressources théoriquement illimitées. Les énergies renouvelables sont également désignées par le terme « énergie vertes » ou « énergie propre ». Le faible impact environnemental de leur exploitation en fait un élément majeur des stratégies RSE des entreprises en matière de développement durable.



Figure 1 : L'énergie Solaire

Parmi les énergies renouvelables L'énergie solaire photovoltaïque est une possibilité de développement efficace assez rapide pour qu'elles puissent être considéré comme une puissance à l'échelle du temps humaine. C'est pour cela que les recherches scientifiques se développent dans le sens de généraliser, améliorer et optimiser l'exploitation des systèmes solaires. L'optimisation des systèmes solaires est basée sur des critères de dimensionnement et de maximisation de la puissance générée pour avoir un bon rendement. Depuis l'aube des temps, l'humanité a vécu au rythme de la lune et du soleil. Certaines civilisations les ont défiés. A la base du développement des premières sociétés humaines. Structurées, on trouve des techniques liées aux sources naturelles d'énergies dont le soleil est le moteur. Il est donc important de réfléchir à la conception des systèmes utilisant cette ressource qui est gratuitement disponible et en quantité inépuisable. L'auto-consommation est une solution bien utile. L'avantage principal de cette énergie renouvelable est que son utilisation ne pollue pas l'atmosphère et elle ne produit pas de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et les oxydes d'azote qui sont responsables du réchauffement de la terre. Notre étude traite l'énergie solaire photovoltaïque et l'installation d'un système solaire autonome.

1.2. Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire : Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet ($0,2 \mu\text{m}$) à l'infrarouge lointain ($2,5 \mu\text{m}$). L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement de :

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

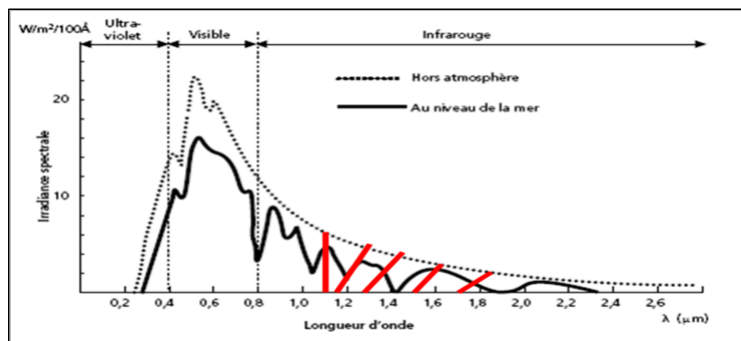


Figure 2 : Analyse spectrale du rayonnement solaire.

Le tableau 1 donne les valeurs énergétiques caractéristiques des photos pour diverses longueurs d'ondes, ainsi que les zones correspondantes au spectre lumineux.

Tableau 1 : Longueurs d'ondes et spectre lumineux

λ (μm)	E_{ph} (eV)	Zone
0.2	6.2	Ultra-violet
0.4	3.1	Visible bleu
0.5	2.48	Visible jaune-vert
0.78	1.59	Visible rouge
1	1.24	Infrarouge
2	0.62	Infrarouge
4	0.31	Infrarouge

Les capteurs d'énergie solaire doivent donc être compatibles avec ces longueurs d'ondes pour pouvoir piéger les photos et les restituer sous forme de chaleur ou d'électrons. Pour que le rayonnement solaire produise un courant électrique dans un matériau donné, faisant alors office de capteur, il faut que les photons soient tout d'abord absorbés par un ou plusieurs matériaux sensibles à la longueur d'onde des photons, qui sont ensuite collectés afin de constituer un courant électrique global.

1.3.Composition du rayonnement solaire :

Suite à l'atténuation du rayonnement solaire par les différents phénomènes atmosphériques, le rayonnement solaire sur une surface au sol est composé comme suit :

- **Rayonnement direct :** C'est la fraction du rayonnement solaire qui arrive directement au sol, dont le trajet est « linéaire » (il y a, en fait, de légères déviations) et unique à un instant donné.

Si I est le rayonnement direct.

Avec : h hauteur du soleil.

- **Rayonnement diffus :**

Le rayonnement diffus est le rayonnement provenant de toute la voûte céleste. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages. Ainsi, par ciel serein, il constitue 20% de l'énergie globale. Par ciel couvert, il correspond à la totalité de l'énergie reçue au sol.

- **Rayonnement réfléchi (L'albédo) :**

Le rayonnement solaire réfléchi est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Ce rayonnement dépend de l'albédo du sol et il peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

$$L' \text{ albédo } ALB = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie reçue}}$$

Il y a quelques valeurs de L'albédo selon la surface du sol.

Tableau 2: Quelques valeurs d'albédo.

Surfaces du sol	Albédo
Surface d'eau	0.01 à 0.1
Forêt	0.05 à 0.2
Sol cultivé	0.07 à 0.14
Pierres et rochers	0.15 à 0.25
Champs et prairies	0.1 à 0.3
Sol nul	0.15 à 0.4
Neige ancienne	0.5 à 0.7
Neige fraîche	0.8 à 0.95

- **Rayonnement global :**

- Une surface horizontale

C'est l'ensemble du rayonnement d'origine solaire qui parvient sur une surface horizontale sur le globe terrestre. Il comprend donc la composante verticale du rayonnement solaire direct et rayonnement solaire diffus.

- Une surface inclinée

Rayonnement global sur une surface inclinée est la somme des rayonnements : Direct, Diffus et Réfléchi.

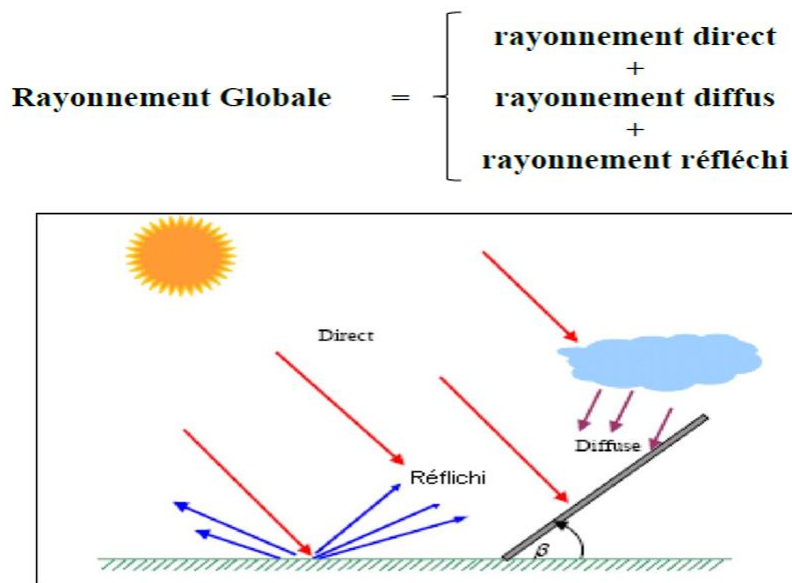


Figure 3 : Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné.

I.4. L'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire grâce à des panneaux ou des centrales solaires photovoltaïques.

La cellule photovoltaïque, composant électronique de base du système, utilise l'effet photoélectrique pour convertir en électricité les rayonnement émises par le Soleil. Plusieurs cellules reliées entre elles forment un module ou capteur solaire photovoltaïque ces modules regroupés entre eux forment une installation solaire. L'électricité est consommée ou stockée sur place, ou transportée par le réseau de distribution et de transport électrique

I.5 Rayonnement solaire par L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à Appelés "semiconducteurs" qui exposés à la lumière, produisent de l'électricité. Le plus connu d'entre eux est le silicium cristallin qui est utilisé aujourd'hui dans les majorités les panneaux solaires produits dans le monde. Cet effet est obtenu par l'excitation d'un électron de la bande de valence vers la bande de conduction créant une tension ou un courant électrique. Cet effet est notamment utilisé dans les panneaux solaires photovoltaïques.

I.6. Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque, ou cellule solaire, est un composant électronique qui exposé à la lumière, produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque. La puissance électrique obtenue est proportionnelle à la puissance lumineuse incidente et elle dépend du rendement de la cellule. Celle-ci délivre une tension continue et un courant la traverse dès qu'elle est connectée à une charge électrique (en général un onduleur, parfois une simple batterie électrique).

Le circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque est présenté dans la figure Il inclut une source de courant, une diode, une résistance série et une résistance shunt.

Le courant généré par la cellule pourra être présenté par l'équation suivante :

$$I-I_{ph}-I_d-I_{sh}$$

Ou:

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp\left(\frac{q(V+I \cdot R_s)}{nKT}\right) - 1 \right) - \frac{(V+I \cdot R_s)}{R_{sh}}$$

Avec:

- I: Courant fourni par la cellule PV ;
- I_{ph} : Courant photogénérer ;
- I_d : Courant traversant la diode;
- I_s : Courant de saturation inverse de la diode;
- V: Tension de sortie;
- q: Charge de l'électron ($1.6 \times 10^{-19}C$)

I.7. Les types des panneaux solaires photovoltaïques :

- **Monocristallines:** sont issues d'un seul bloc de silicium fondu, elles sont donc très "pures". Elles offrent le meilleur rendement (entre 16 et 20%), mais sont aussi plus chères à la production, donc à la vente. Ces cellules sont en général octogonales et d'une couleur uniforme foncée (bleu marine ou gris).

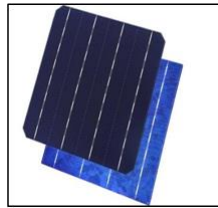


Figure 4: Mono- cristallines

- **Poly-cristallin:** sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vues de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux. Elles ont un rendement de 14 à 18%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines. Elles sont en général de forme rectangulaire et sont couleur bleu nuit avec des reflets.

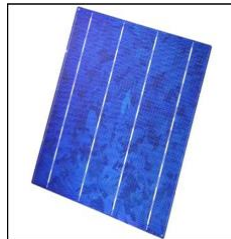


Figure 5 : Cellule poly-cristallines

- **Amorphes:** La cellule au silicium amorphe est constituée d'un silicium ayant une structure atomique désordonnée, c'est à dire non-cristallisé. Ce matériau absorbe beaucoup plus la lumière qu'un silicium cristallin, car ce type de cellule est bon marché et la technologie est utilisable sur de nombreux supports, notamment des supports souples. Le problème c'est que son rendement est 2 à 3 fois plus faible que les cellules monocristallines.



Figure 6: Cellules amorphes

I.8. Avantage et inconvénients du système PV :

Avantage	Inconvénients
• Technologie sûre et sans risque. • Énergie propre, nonpolluante. • Pas de combustion • Des systèmes fiables et stables.	• Le rendement des cellules PV reste assez faible. • Le coût d'investissement est relativement élevé. • Il n'y a aucune production d'électricité le soir et la nuit

I.9. Applications des systèmes photovoltaïques

- **Systèmes autonomes**

Autonomes ou « stand-alone », ces installations isolées ne sont pas connectées au réseau, mais elles doivent assurer la couverture de la demande de la charge en tout temps. Le système photovoltaïque autonome permet de fournir du courant électrique à des endroits où il n'y a pas de réseau. Donc l'énergie produite est utilisée immédiatement (pompage, l'éclairage, etc....) ou stockée dans des batteries pour une utilisation

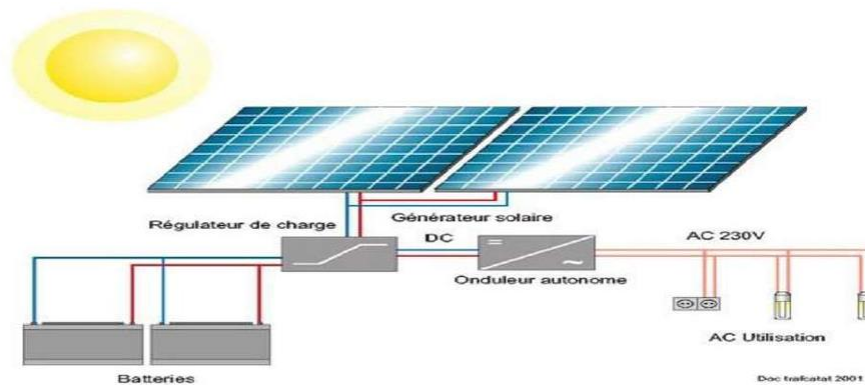


Figure 7 : Installation de système autonome

- **Système hybrides**

Les systèmes d'énergie solaire hybride sont des systèmes d'énergie hybride qui combinent L'énergie solaire d'un système photovoltaïque avec une autre source d'énergie génératrice. Les systèmes hybrides solaires comprennent les systèmes éoliens-solaires. La combinaison de l'éolien et du solaire a l'avantage que les deux sources se complètent, car les pics de fonctionnement de chaque système se produisent à des moments différents de la journée et de l'année. La production d'électricité d'un tel système hybride est plus constante et fluctue moins que celle de chacun des deux sous-systèmes composants.

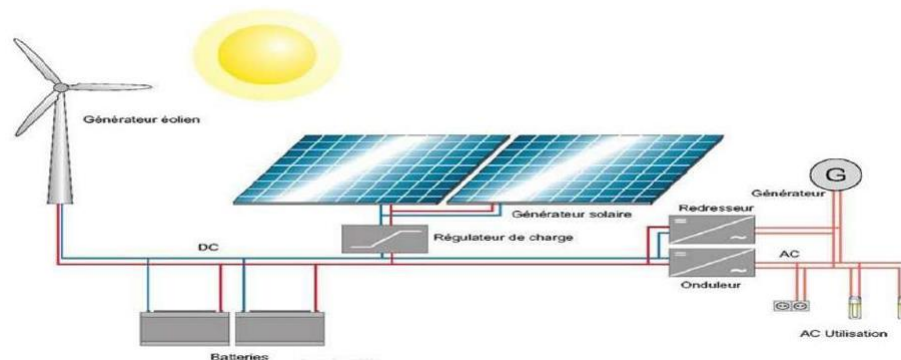


Figure 9 : Installation de système hybride

- **Systèmes couplés au réseau**

Les systèmes photovoltaïques connectés au réseau ou interactifs avec le service public sont conçus pour fonctionner en parallèle et être interconnectés avec le réseau électrique.

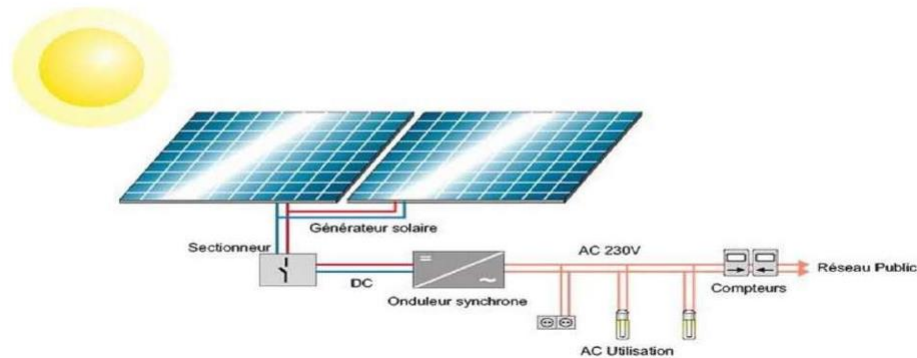


Figure 10 : Installation de système couplée au réseau

- **Systèmes fonctionnant au fil du soleil (Pompage Photovoltaïque)**

Généralement, les systèmes de pompage photovoltaïque sont constitués d'un générateur photovoltaïque, un convertisseur du courant électrique qui peut être un convertisseur DC/AC pour un moteur à courant alternatif ou un convertisseur DC/DC pour un moteur à courant continu et d'un groupe motopompe. Le générateur photovoltaïque est responsable de la conversion instantanée de l'énergie solaire en énergie électrique grâce à l'effet photovoltaïque

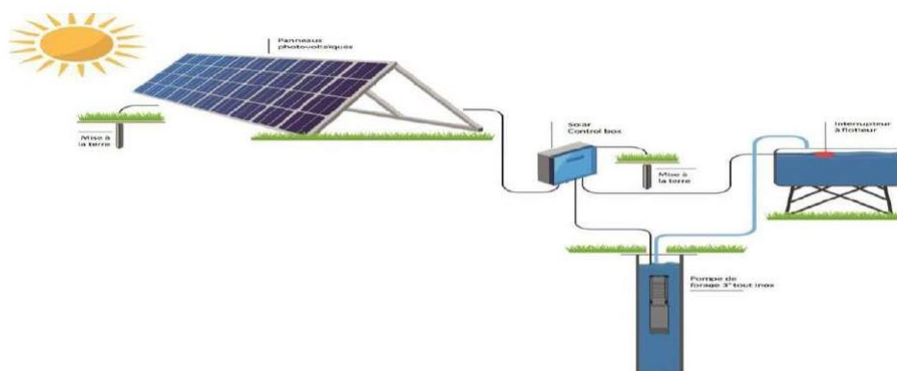


Figure 11 : Eléments d'une installation de pompage photovoltaïque

I.10. Configuration typique d'un système de pompage photovoltaïque :

Les éléments d'un système de pompage photovoltaïque doivent être conçus pour fonctionner comme un seul ensemble pour la maximisation des performances globales du système. Différentes solutions peuvent être adoptées pour pomper un certain volume d'eau à une certaine hauteur en fonction des plages de puissance nécessaire dans une application spécifique. Bien que les pompes sont installées en surface ou bien flottante, la configuration la plus commune est une pompe immergée installée dans un puit de forage. La configuration d'un système de pompage PV est déterminée par la définition du type de générateur photovoltaïque, le type de pompe et de type moteur; ainsi que le type de conditionnement de puissance. On peut distinguer les types de systèmes de pompage photovoltaïques suivants :

- **Systèmes de petite puissance (50-400W):**

Dans ce type de systèmes, il est utilisé principalement un moteur à courant continu entraînant une pompe centrifuge ou à déplacement positif. Entre le générateur PV et le moteur/pompe on intercale un convertisseur DC/DC pour améliorer son adaptation. Les applications de cette configuration est généralement destinée au pompage des volumes d'eau pouvant atteindre jusqu'à 150m/Jour.

Les principaux constituants de ces systèmes sont:

- Le Générateur photovoltaïque.
- le convertisseur DC/DC (facultatif).
- Moteur à courant continu.
- Pompe
- Entrepôt de stockage (facultatif).

La figure(1.9) montre le schéma simplifié d'un système de pompage utilisant le moteur à courant continu. Le couplage est direct (sans stockage électrique) avec optimisation de générateur par un hacheur adaptateur de puissance commandé par son rapport cyclique. L'installation ainsi définie nécessite une électronique relativement simple mais présente l'inconvénient du moteur à courant continu: un entretien régulier.

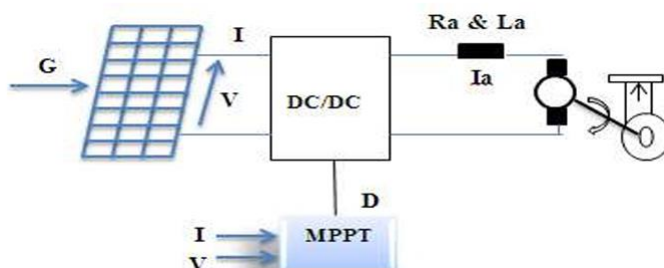


Figure 12 : Systèmes de petite puissance.

- **Les systèmes de moyenne puissance (400-1500 W):**

Il est composé essentiellement d'une pompe immergée centrifuge entraînée par un moteur à induction à courant alternatif via un convertisseur DC/AC triphasé travaillant à fréquence variable, comme le montre la figure (1.12). Un convertisseur DC/DC est généralement intercalé entre le générateur PV et le convertisseur DC/AC pour l'adaptation d'impédance et la recherche du point de puissance maximale (MPPT). Ces types de systèmes sont caractérisés par leur haute fiabilité ainsi que de leur large utilisation depuis les premières installations de pompage photovoltaïque. Les volumes d'eau pouvant être pompés varie entre 150 jusqu'à 1500 m/Jour.

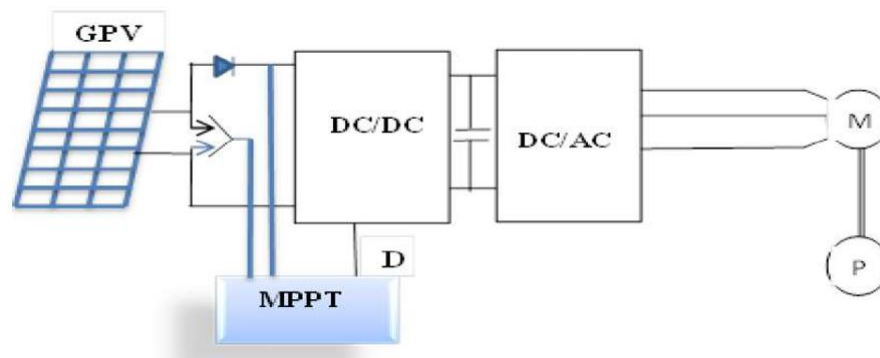


Figure 13 : Les systèmes de moyenne puissance.

Les éléments clés de ces types de systèmes sont :

- Générateur photovoltaïque
- Le convertisseur DC/DC (MPPT).
- Le convertisseur DC/AC.
- Moteur AC.
- Pompe immergée.
- Entrepôt de stockage (facultatif).

Chapitre II :
Dimensionnement d'un Système
de Pompage Photovoltaïque
dans le Site de BOUCHAKER

Introduction

L'énergie solaire est convertie en électricité au moyen de cellules photovoltaïques. Le convertisseur DC/AC transforme le courant continu produit par les panneaux solaires en un courant alternatif triphasé pour actionner le groupe moteur pompe. Les panneaux solaires et le convertisseur sont des éléments statiques, la seule partie en mouvement du système est le groupe moteur-pompe.

Les modules photovoltaïques produisent un courant continu sous l'influence des rayonnements solaires. Pour l'utiliser pour l'alimentation de la pompe, le variateur de fréquence intervient et convertit le courant continu généré en courant alternatif. De plus, il permet de modifier la fréquence et la tension en fonction de l'énergie disponible. La pompe alimentée par un courant alternatif provenant de la source solaire pompe l'eau d'une hauteur basse (comme le puits ou le forage) à une hauteur élevée de la surface de la terre (comme un réservoir d'eau) afin de l'utiliser pour différentes applications. Il s'agit d'une pompe au fil du soleil dont le fonctionnement dépend uniquement de la disponibilité d'une intensité solaire adéquate[33].

II.1 Spécification du site de BOUCHAKER

BOUCHAKER est une commune de la wilaya de Laghouat en Algérie, pour le site de BOUCHAKER les spécifications sont données dans le tableau suivant :

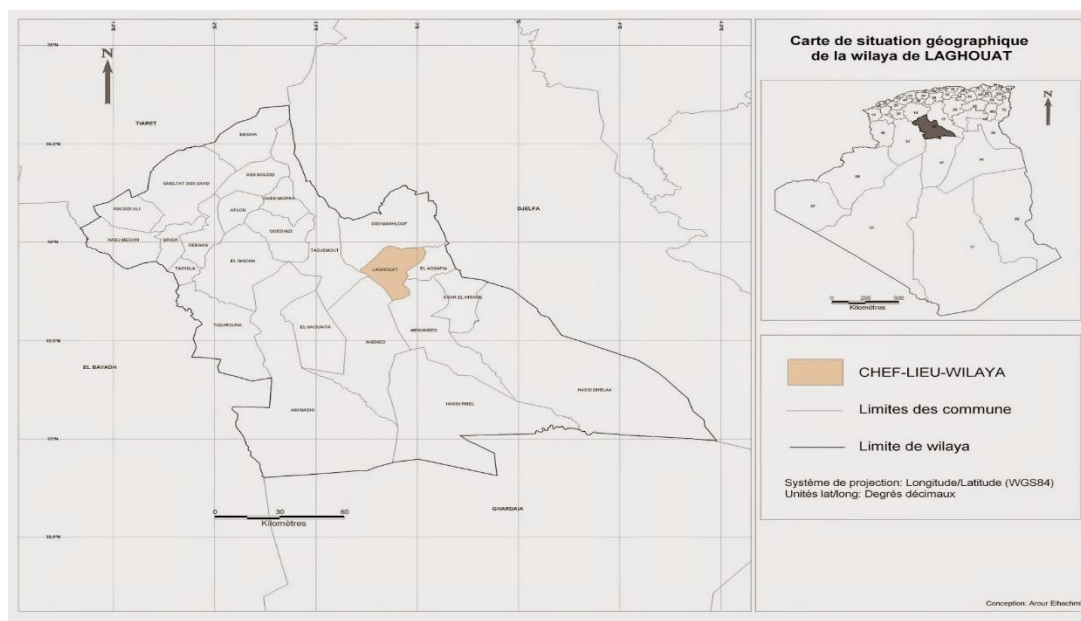


Figure 14 : site de Laghouat

Tableau 3 : Spécifications du site de BOUCHAKER

Latitude	33,766 °N
Longitude	2,786 °E
Altitude	785 m
Albédo	0.2

II.2 Composants et fonctionnement du système de pompage d'eau solaire photovoltaïque :

Le SPESPV a pour objectif principal de produire de l'eau à sa sortie. Pour ce faire, il commence par capturer l'énergie solaire et la convertir en énergie électrique grâce à des panneaux photovoltaïques. Cette énergie est ensuite utilisée pour alimenter un moteur qui la transforme en énergie mécanique. Le fluide, l'eau, commence à circuler lorsque cette énergie mécanique est utilisée par la pompe pour la convertir en énergie hydraulique (Figure 15)[34].

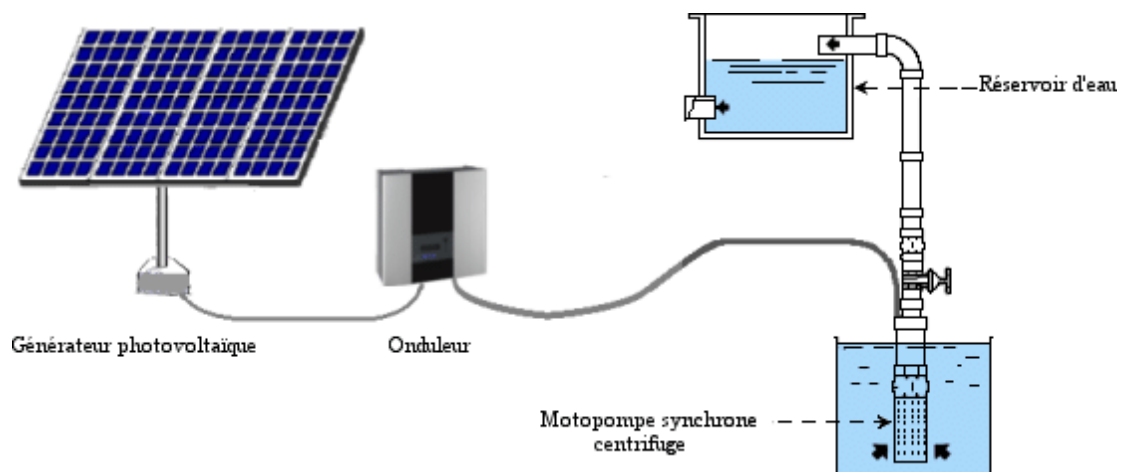


Figure 15: Schéma synoptique du système étudié.

En général, le système de pompage solaire se compose de [1]:

- le générateur Photovoltaïque,
- l'électronique de commande et de contrôle,
- le groupe moteur-pompe,
- la partie stockage.

II.2.1 Le générateur photovoltaïque

Les cellules solaires sont généralement associées en série et en parallèle, puis encapsulées sous verre pour obtenir un module photovoltaïque. Un générateur PV est constitué de modules interconnectés pour former une unité produisant une puissance continue élevée compatible avec le matériel électrique usuel. Les modules PV sont habituellement branchés en série-parallèle pour augmenter la tension et l'intensité à la sortie du générateur. Les modules interconnectés sont montés sur des supports métalliques et inclinés suivant l'angle désiré en fonction du lieu, cet ensemble est souvent désigné par champ de modules[36].

II.2.2 L'électronique de commande et de contrôle

Le générateur photovoltaïque fournit une énergie coûteuse, même si le coût du watt-crête a diminué. Il est donc essentiel de mettre ces générateurs en marche à leur pleine puissance. Le problème est résolu en intégrant un convertisseur statique (hacheur ou onduleur) entre le générateur et le récepteur afin d'assurer un transfert de puissance optimal. Un paramètre de contrôle est utilisé pour contrôler le convertisseur, à savoir le rapport cyclique pour le hacheur et la fréquence pour l'onduleur.

Ainsi, l'emploi d'un moteur asynchrone (à courant alternatif triphasé) plus résistant, moins coûteux et sans entretien devient une option plus abordable et plus pratique, même si cela représente un coût plus élevé pour un circuit électronique de commande plus complexe[1].

L'utilisation d'un moteur asynchrone augmente ainsi l'autonomie et la fiabilité de l'installation. Le moteur est alimenté par un onduleur (convertisseur DC/AC) qui assure l'optimisation du générateur (Figure 16).

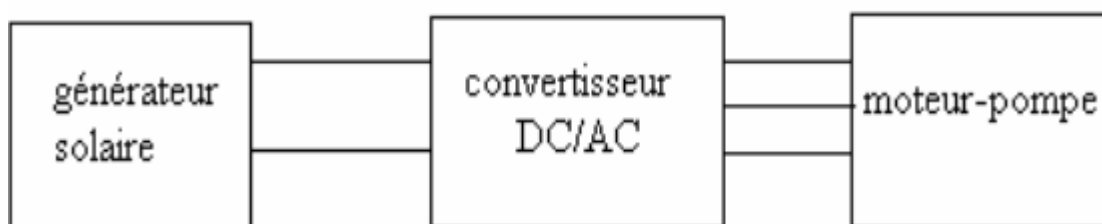


Figure 16 : Système de pompage utilisant le moteur à courant alternatif.

II.2.3 Le groupe électropompe

Les moteurs asynchrones alternatifs sont les plus fréquemment utilisés dans diverses applications industrielles. Par exemple, ce genre de moteur est utilisé depuis longtemps dans les pompes sur réseau. Le pompage immergé dans les forages et les puits ouverts est principalement utilisé. Grâce à l'émergence d'onduleurs performants, il est possible d'utiliser ce genre de moteurs dans les applications de pompage solaire. Une solution plus économique et plus pratique, même au prix d'un circuit électronique de commande plus complexe, est l'utilisation d'un moteur asynchrone (à courant alternatif triphasé) plus robuste et moins cher (aussi faible besoin de maintenance). Grâce à l'emploi d'un moteur asynchrone, l'installation devient plus autonome et plus fiable. Un onduleur (convertisseur DC/AC) alimente le moteur, ce qui permet d'optimiser le générateur photovoltaïque.

II.2.4 La partie stockage

Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons : stockage d'énergie électrique ou stockage d'eau. Cette dernière méthode est souvent adoptée car il est plus pratique de stocker l'eau dans des réservoirs que l'énergie électrique dans des accumulateurs lourds coûteux et fragiles, de plus le rendement énergétique est meilleur quand il n'y a pas d'accumulateurs[1].

II.3 Les étapes de dimensionnement de l'installation

Les différentes étapes pour le dimensionnement d'un système de pompage sont [4]:

- Evaluation des besoins en eau
- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire
- Détermination de l'énergie solaire disponible
- Choix des composants



Figure 17 : La région agricole étudiée (1 hectare de culture des palmiers)

II.3.1 Estimation des besoins en eau

La distance idéale entre les palmiers est 7×7 m ou 8×8 m Pour être plus abondant et de qualité[38], mais dans le cas étudié, nous avons 200 palmiers par hectare.

Les besoins d'eau nécessaire pour l'irrigation varient en fonction du type de culture, de la technique d'irrigation et des conditions météorologiques (température, humidité, vitesse du vent, évaporation du sol et saison de l'année). Toutefois, la pratique et l'expérience locale demeurent toujours extrêmement essentielles pour une évaluation adéquate des besoins. Le tableau ci-dessous présente les besoins d'eau des palmiers pour la région de BOUCHAKER :

Tableau 4 : Les besoins journaliers moyens mensuels en eau des palmiers / hectare.

Période	L'Evert			Le printemps		
Mois	Déc	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai
Eau(m ³ /j)	13	10	22	36	49	62
Période	L'été			L'automne		
Mois	Jun	Juil	Aout	Sep	Oct.	Nov.
Eau(m ³ /j)	67	66	64	50	35	18

II.3.2 Rayonnement solaire

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de rayonnement global journalier calculées sur la moyenne mensuelle pour des rayons incidents sur un plan incliné d'un angle optimal saisonnier sur le site de BOUCHAKER .

Tableau 5 : Les valeurs globales de l'irradiation journalière mensuelle.

Période	L'hiver			Le printemps		
Mois	Déc	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai
$\bar{H}_{TO}$ [KWh/m ² /j]	3.24	3.55	4.34	5.42	6.50	6.86
Période	L'été			L'automne		
Mois	Jun	Juil	Aout	Sep	Oct.	Nov.
$\bar{H}_{TO}$ [KWh/m ² /j]	7.25	7.51	6.84	5.57	4.67	3.93

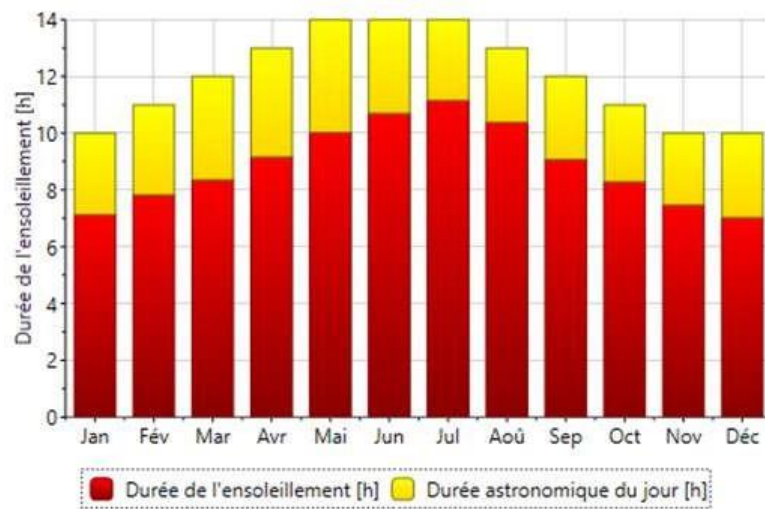


Figure 18 : Durée d'insolation (h) à BOUCHAKER .

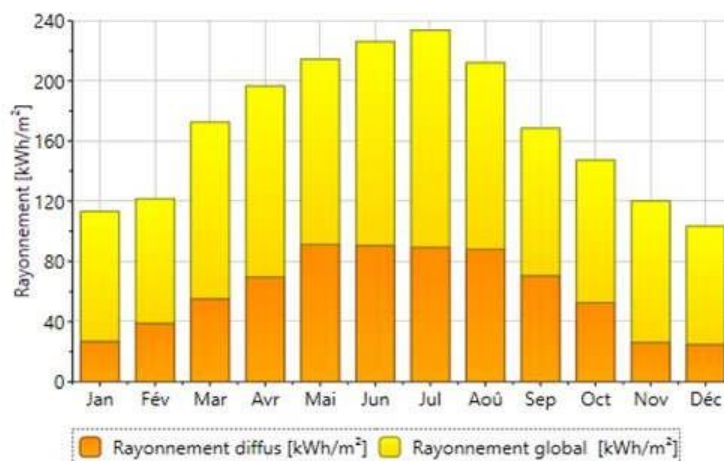


Figure 19 : Rayonnement solaire (KWh/m²) à BOUCHAKER.

II.3.3 Hauteur manométrique total

La hauteur manométrique totale (HMT) d'une pompe est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Elle est donnée par :

$$HMT = H_g + P_c$$

H_g : hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation (voir figure 7). Elle est calculée par la formule suivante :

$$H_g = A + B + C$$

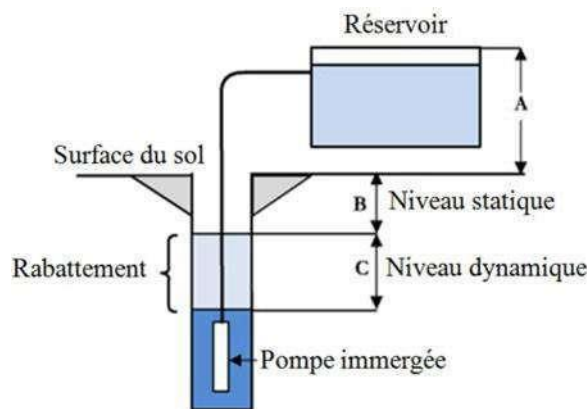


Figure 20 : Hauteur manométrique total.

P_c = pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites. Ces pertes sont fonction de la distance des conduites, de leur diamètre et du débit de la pompe. Elle s'exprime en mètres d'eau.

Pour notre station de pompage, nous avons opté pour un total de **83.2 m** de hauteur manométrique. La nappe du Mio-Pliocène correspond à celle qui sert depuis 1883 à l'irrigation des palmiers.

II.4 Dimensionnement de la station de pompage

Le dimensionnement du système de pompage PV concerne : le calcul du système de pompage photovoltaïque implique : l'évaluation de la puissance crête du générateur photovoltaïque, la sélection de la pompe et de l'onduleur qui répondent aux exigences de service dans les conditions de référence. Cet ajustement tient compte des deux conditions suivantes [5] :

- ✚ Choisir les besoins journaliers en eau durant la période de besoin maximal.
- ✚ Choisir le mois où l'ensoleillement maximal est le plus faible.

Pour notre exemple, le débit journalier maximal requis est de **67 [m³/j]** pendant le mois de juin et l'énergie d'ensoleillement la plus faible pour la saison d'été est égale à **6.84 [KWh/m²/j]** pendant le mois d'août.

Pour dimensionner la station de pompage, nous suivons les étapes suivantes :

II.4.1 Choix de la pompe

La sélection de la pompe est basée sur le débit et la hauteur manométrique totale.

Débit horaire :

Il est calculé par la formule suivante :

$$Q_h = \frac{Q \left[\frac{m^3}{jour} \right]}{h}$$

Avec h : le nombre d'heures d'ensoleillement maximal ;

Dans notre cas, nous prenons :

$$\begin{cases} h = 7 \text{ heures} \\ Q = 67 [m^3/j] \end{cases}$$

Par conséquent, le débit horaire est le suivant :

$$Q = 9.6 [m^3/h]$$

Rappelons que la hauteur manométrique total est de 83.2 m.

Dans notre étude, le choix de la motopompe utilisée est porté sur une gamme de pompes immergées proposées par le constructeur **Lowara**. Cette gamme est constituée de pompes de dimensions différentes ; chaque type de pompe est disponible avec un nombre de roues variables afin d'obtenir le point de fonctionnement requis.

Les types des pompes sont donnés dans le tableau 4.

Selon nos besoins, d'une part, un débit horaire de **9.6 [m³/h]**, et une hauteur manométrique totale de **83.2 m**, d'autre part, la motopompe adéquate sera alors la pompe **Lowara 12GS40**.

Tableau 6 : Caractéristiques électriques d'une gamme de pompes Lowara (Annexe B).

Pompe	P (kW)	Φ max (m³/h)	H max(m)
Lowara 4GS22	2.2	5.4	162 m
Lowara 6GS30	2.9	8	150 m
Lowara 12GS40	4.2	15	110 m
Lowara 16GS75	7	21	132 m
Lowara 12GS75	7.5	15	185 m
Lowara 8GS30	8	21	100 m

II.4.2 Onduleur MPPT-AC

Le rôle de ce dispositif est de convertir le courant continu généré par les panneaux en un courant alternatif similaire à celui du réseau. Ainsi, il est essentiel pour alimenter les charges à courant alternatif. Les caractéristiques électriques de la pompe alimentée (puissance, tension) influencent le choix de l'onduleur. Pour les besoins de notre étude, le convertisseur choisit est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Caractéristiques électriques de l'onduleur

Type D'onduleur	Puissance (Watts)	Tension D'entrée (V)	Tension Sortie (V)	Efficacité (%)
MPPT-AC Inverter	4200	100	600	96

II.4.3 Calcul de l'énergie hydraulique quotidienne requise

Après avoir établi les besoins en volume d'eau pour chaque mois de l'année et les caractéristiques du puits, il est possible de calculer l'énergie hydraulique moyenne quotidienne et mensuelle requise en utilisant la relation suivante :

$$E_h = C_h \cdot Q \cdot H_{MT} \quad (2)$$

Avec :

E_h : Énergie hydraulique [kwh/j]

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

Q : Volume d'eau [m³/j]

H_{MT} : Hauteur manométrique total [m]

Où :

$$C_h = g \cdot \rho / 3600$$

g : La gravité terrestre [9.81m/s²]

ρ : Densité de l'eau [1000kg/m³]

II.4.4 Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise

On calcule l'énergie requise pour soulever une quantité d'eau donnée sur une hauteur donnée pendant une journée en utilisant l'équation suivante : 3

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

Où :

E_e : Energie électrique exprimé en [kwh/j]

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

η_{Ond} : Le rendement d'onduleur.

II.4.5 Taille du générateur PV

Il existe deux méthodes différentes pour évaluer la dimension des systèmes de pompage photovoltaïque : une méthode analytique et une méthode graphique. Grâce à ces techniques, il est possible de mesurer la taille d'une installation de pompage photovoltaïque afin de répondre aux besoins en eau d'une consommation spécifique[4]. (Dans cette étude nous utilisons la méthode analytique).

Après avoir identifié le volume quotidien Q [m^3/j], la hauteur manométrique totale **HMT** et l'irradiation moyenne quotidienne incidente sur le plan du générateur, on peut calculer la puissance nominale correspondante du générateur photovoltaïque P_C selon l'expression suivante :

$$P_C = \eta_g \cdot A \cdot G \quad (4)$$

Avec :

P_C : La puissance de sortie du générateur (w) sous CSM (puissance crête).

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

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

G : L'éclairement dans les conditions CSM.

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

$$E_e = \eta_{PV} \cdot A \cdot (\beta) \quad (5)$$

Où :

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

(β) : L'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison (β).

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

$$\eta_{PV} = [1 - (T - T_r)]_g \quad (6)$$

Où :

F_m : Facteur de couplage.

γ : Coefficient de température des cellules.

T : Température moyenne journalière des cellules.

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

En substituant les équations (4), (5) et (6) dans (3), nous obtenons la puissance crête du générateur :

$$P_c = \frac{G}{F_m[1-\gamma(T-T_r)]G_d(\beta)} \cdot \frac{E_h}{\eta_{MP} \cdot \eta_{Ond}} \quad (7)$$

Où η_{MP} , η_{Ond} , sont respectivement, les rendements du groupe motopompe, de l'onduleur et F_m le facteur de couplage. Après le calcul de la puissance du générateur PV, on détermine le nombre de modules constituant le générateur suivant la puissance du module PV choisie.

Après le calcul de la puissance du générateur PV, on détermine le nombre de modules constituant le générateur suivant la puissance du module PV choisie.

II.4.5.1 Nombres de modules

Le nombre total de modules () constituant le générateur PV est calculé par la formule suivante : (8)

$$Nm = \frac{P_c}{P_m}$$

Avec :

P_c : La puissance crête du générateur.

P_m : La puissance du module PV.

II.4.5.2 Nombre de modules en série

Pour trouver la tension convenable à l'alimentation d'une charge donnée par la mise en série de plusieurs modules PV, le nombre de ces modules est calculé par l'expression suivante :

$$N_{MS} = \frac{V_{CH}}{V_M} \quad (9)$$

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

V_M : La tension nominale du module.

II.4.5.3 Nombre de modules en parallèle

La mise en parallèle de modules donne l'intensité nécessaire à la charge. Le nombre de branches est calculé par l'équation suivante :(10)

$$N_{MP} = \frac{N_M}{N_{MS}}$$

II.4.5.4 Correction de la puissance crête

Dans la plus part des cas, les nombres de modules (en séries et/ou en parallèles) calculés ne sont pas des entiers ; il faut donc les arrondir pour trouver la nouvelle puissance corrigée[6]. Le schéma ci-dessous (figure 8) explique les démarches à suivre pour la détermination de la taille du générateur PV.

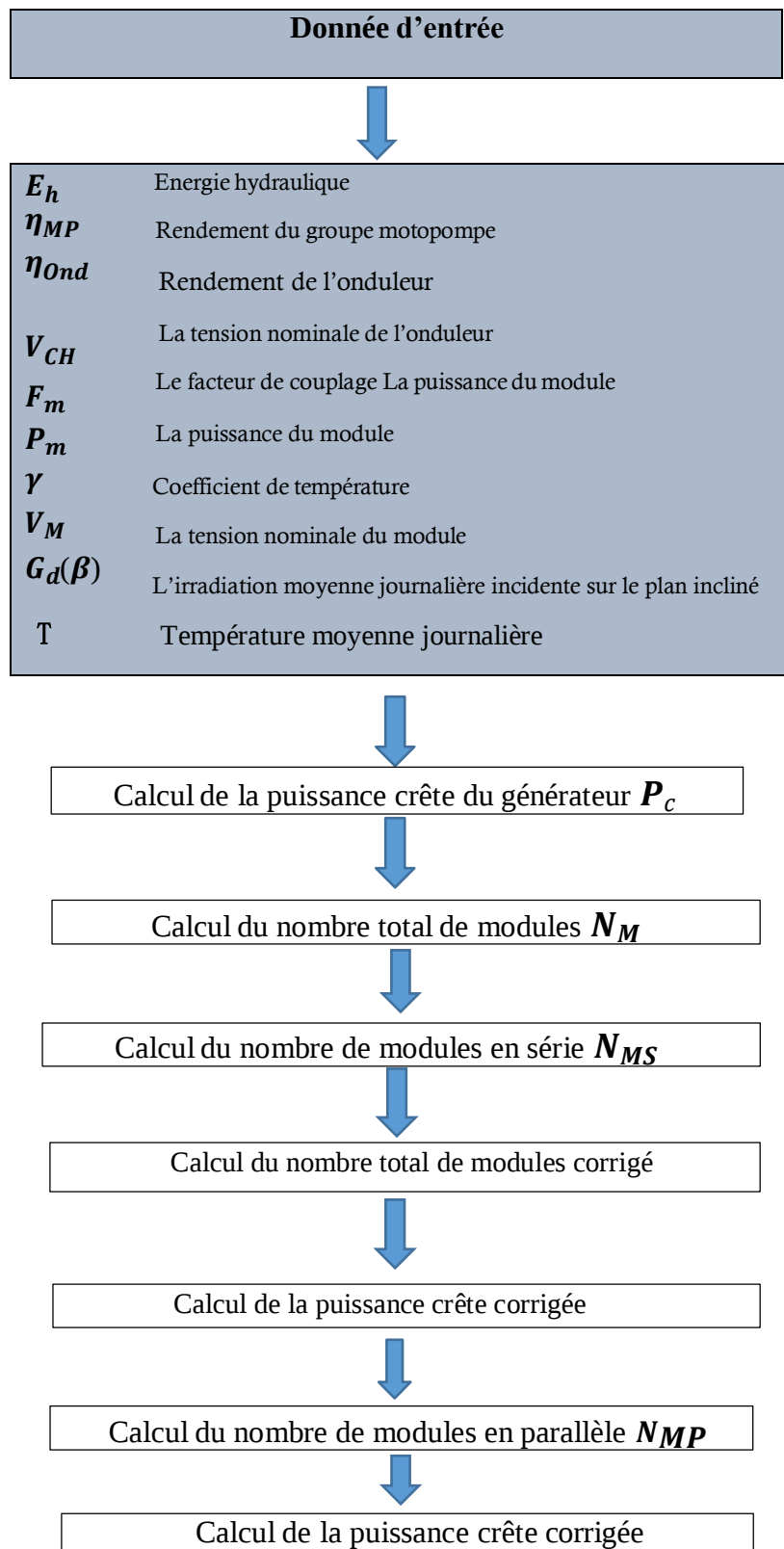


Figure 7 : Les étapes du calcul de la taille du générateur

II.5 Calcul de l'énergie consommée par la pompe (en kWh/j)

Le besoin journalier en énergie est donc égal au produit de la puissance consommée par l'application, par le temps d'utilisation par jour.

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

$$E_i = P_i * t_p$$

Avec :

E_i : énergie consommée par jour (kWh/j)

P_i : la puissance consommée (W)

t_p : temps de pompage par jour (h)

II.6 La capacité du réservoir

Rappelons que la technique de pompage choisi pour notre cas est le pompage dit « au fil de soleil ». Le stockage de l'eau est effectué dans un réservoir. La capacité de ce dernier est calculée pour répondre au besoin d'eau pendant les jours d'autonomie. Celui-ci varie d'un à plusieurs jours. Pour notre exemple, la capacité de stockage est calculée pour assurer plusieurs jours pendant la saison hivernale en cas de mauvaises conditions météorologiques (nuages, brouillard ...etc.) qui affectent l'efficacité du système de pompage.

Conclusion

Ce chapitre présente une méthode de pompage photovoltaïque au fil du soleil. Nous avons mis en évidence l'importance du pompage appelé « au fil du soleil ». Selon l'état actuel de l'art, les systèmes de pompage photovoltaïque les plus répandus sont composés le générateur photovoltaïque, l'électronique de commande et de contrôle, le groupe moteur- pompe, la partie stockage. Le générateur photovoltaïque sans batteries alimente le moteur, grâce à un onduleur triphasé à fréquence variable spécialement conçu pour cette application. Nous avons également fourni les définitions essentielles et indispensables pour comprendre l'étude pratique exposée dans le chapitre suivant.

Nous avons exploré en détail les divers aspects nécessaires à la conception et à l'installation d'un tel système. À partir de la spécification du site et des composants du système jusqu'aux étapes de dimensionnement précises, nous avons couvert chaque élément essentiel. Le calcul minutieux des besoins en eau, du rayonnement solaire disponible, ainsi que de la puissance requise pour le générateur photovoltaïque, a été essentiel pour assurer une performance optimale et une efficacité énergétique maximale de l'installation. En intégrant ces données, nous avons déterminé les spécifications techniques nécessaires pour chaque

composant, garantissant ainsi une conception adaptée aux conditions spécifiques du site de
BOUCHAKER

Chapitre III :
Simulation et discussion du système
de pompage photovoltaïque

Introduction

Dans ce chapitre on va simuler le système en utilisant le logiciel PVsyst pour déterminer toutes les caractéristiques visées, nous présentons les résultats de simulation du système de pompage PV obtenus.

Le logiciel PV SYST est un logiciel de dimensionnement permettant d'obtenir diverses informations telles que la production d'énergie, l'irradiation et le coût de l'installation, la surface nécessaire et la production annuelle d'énergie. Un mode avancé permet d'obtenir beaucoup plus d'informations pour une étude très complète.

Le logiciel comprend principalement deux modes de fonctionnement. Le premier est une application de pré dimensionnement assez simple à prendre en main et accessible au néophyte. Le deuxième permet une étude beaucoup plus approfondie et prend en compte beaucoup plus de paramètres. De plus il se base sur du matériel concret pour ses calculs, contrairement au premier mode qui effectue ses calculs pour un cas très général.

III.1 Mode de conception

III.1.1 Description

Un hectare de palmiers contient 200 palmiers dans une ferme à Bouchaker sont arrosés au goutte-à-goutte

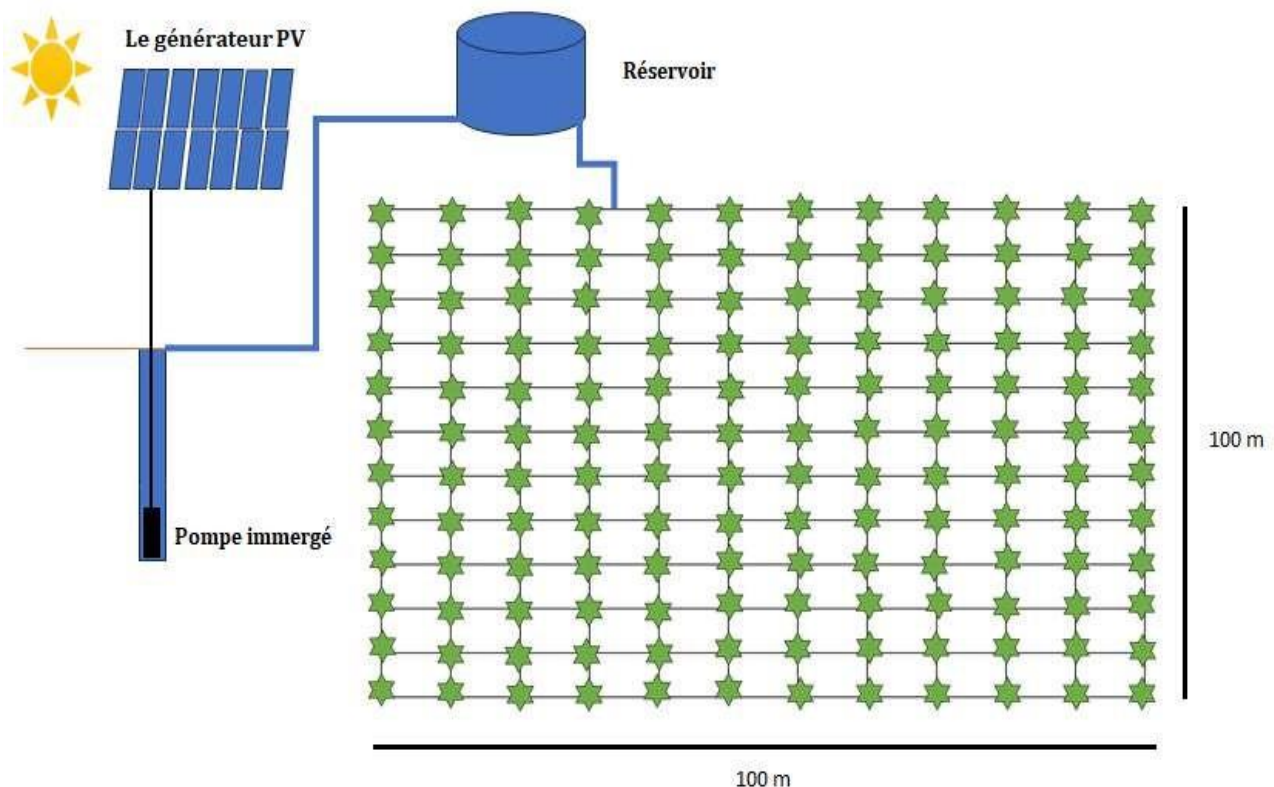


Figure 21 : Schéma du système.

III.1.1 Le mode d'irrigation proposé

Les techniques d'irrigation choisies pour le périmètre en projet, est le « goutte à goutte », l'utilisation de cette technique pour les zones sahariennes permet d'obtenir de bons résultats, que ce soit sur le plan production, ou sur le plan hydraulique (meilleure efficience).

III.1.2 Conception du projet

PVsyst est un logiciel pour la conception et la simulation des systèmes photovoltaïques. On commence par créer un projet, entrer les informations sur le site et les conditions climatiques, puis choisir les composants du système (panneaux, onduleurs). Le logiciel simule les performances du système et affiche les résultats sous forme de graphiques et de détails. Un rapport complet peut être généré pour des présentations ou des études de faisabilité.

Pour réaliser ce projet, on va suivre les étapes suivantes :

- ✚ Saisir les données du site du projet. (Lieu géographique et météo),
- ✚ Choisir l'orientation des panneaux,
- ✚ Définir l'horizon s'il existe,
- ✚ Placer l'ombrage proche des panneaux,
- ✚ Choisir les dimensions du système,
- ✚ Choisir la section des conducteurs,
- ✚ Simulation et résultats du système,

III.1.2 Orientation et inclinaison

Tout comme dans la section préliminaire design, on choisira ici l'orientation (inclinaison et azimuth du panneau). Néanmoins ici on pourra choisir entre différent types d'ajustement en plus de ceux déjà vus :

- ✚ Un panneau fixe,
- ✚ Un panneau possédant deux inclinaisons : une pour l'hiver et une pour l'été,
- ✚ Un panneau suivant le soleil sur les deux axes, il faudra alors déterminer les butées,
- ✚ Un panneau qui change seulement son azimuth sur un axe incliné, on réglerà aussi les butées,
- ✚ Un panneau qui change seulement son inclinaison, on choisira l'azimut et les buttées,
- ✚ Deux panneaux avec des positions et des tailles différentes, ou plusieurs panneaux posés sur le sol ou contre un mur.

On choisit le type de champ avec un **Ajustement saisonnier d'inclinaison**. C'est les deux l'inclinaisons optimales données par le logiciel PVsyst.

L'optimisation du système PV dépend de deux caractéristiques : la première est l'orientation en fonction de la trajectoire solaire, l'angle horaire au midi solaire local est mentionné dans la figure 10 (1 : 22 juin, 2 : 22 mai etc....), la seconde est l'inclinaison toutes deux visent à obtenir un rayonnement solaire maximal. La figure III.3 décrit l'étude de la structure :

-Réglage saisonnier de l'inclinaison : l'angle d'inclinaison est titré (Avr. Mai. Jun. Jul. Aout. Sep.), à 20° pour l'été et à 50° pour l'hiver (Oct. Nov. Déc. Jan. Fév. Mar.).

Trajectoire du soleil à Laghouat Bouchaker, (Lat. 33.7663° N, long. 2.8768° E, alt. 758 m) - Temps légal

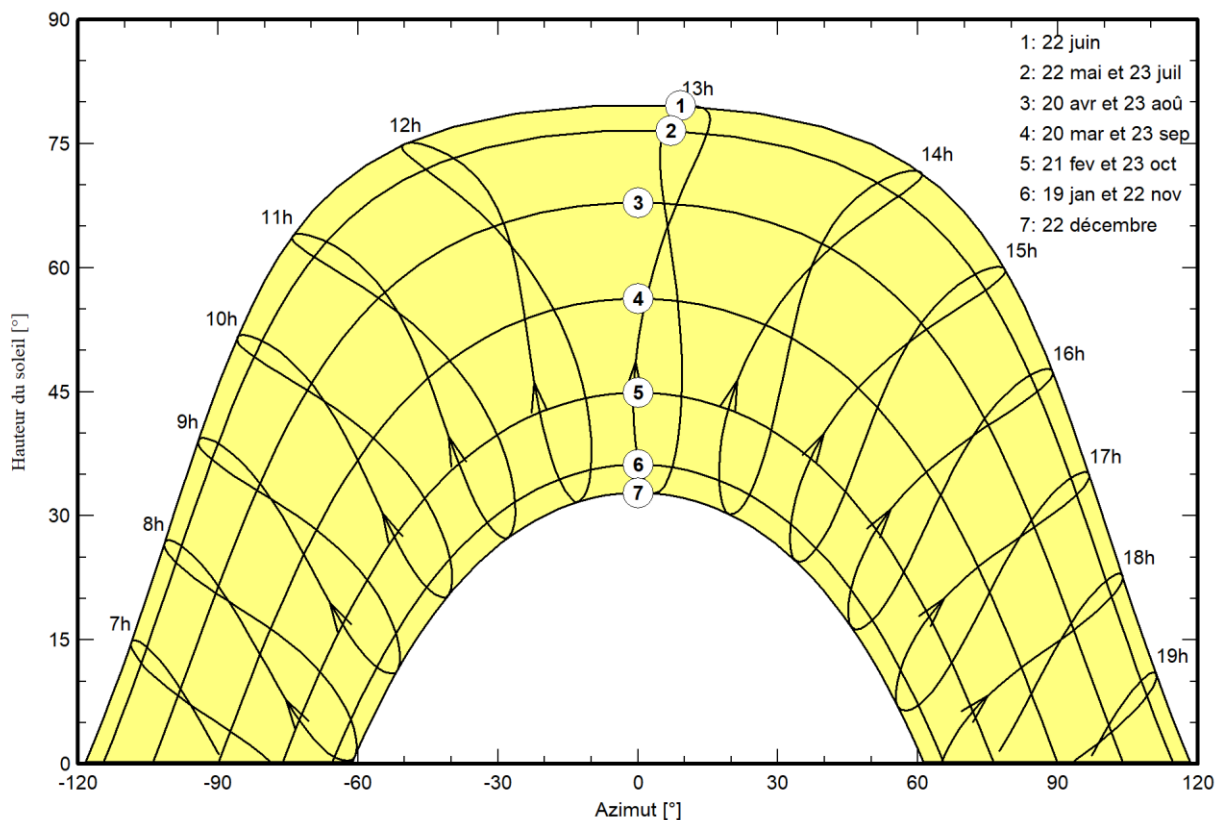


Figure 22 : Ligne d'horizon à Bouchaker

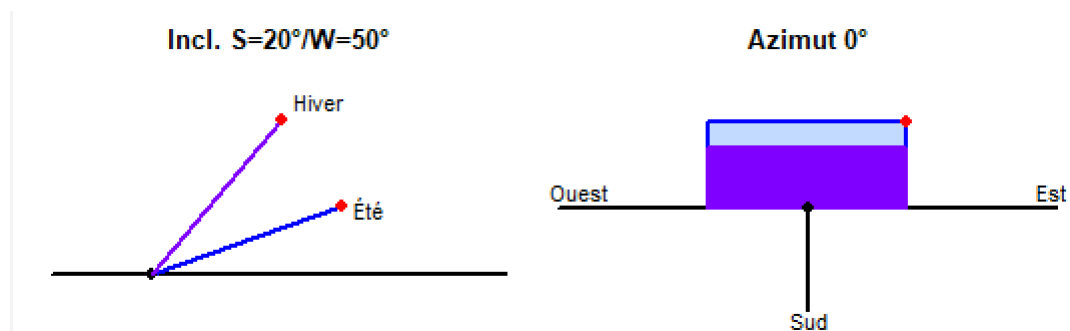


Figure 23 : Orientation du plan par PVsyst.

III.1.1 Besoins d'eau

Pour dimensionner le système il faut choisir le type de systèmes de pompage dans PVSYST :

Type de pompage :

-  Forage
-  Lac ou rivière

Notre cas est le type est un puits.

On fait remplir les paramètres dans cette situation

-  Les paramètres du puits (La hauteur manométrique totale est 83.2 m)
-  Définir les longueurs et diamètres des tuyaux ($L = 100$ m, $D = 25$ mm)
-  Volume du réservoir de stockage éventuel (90 m^3)

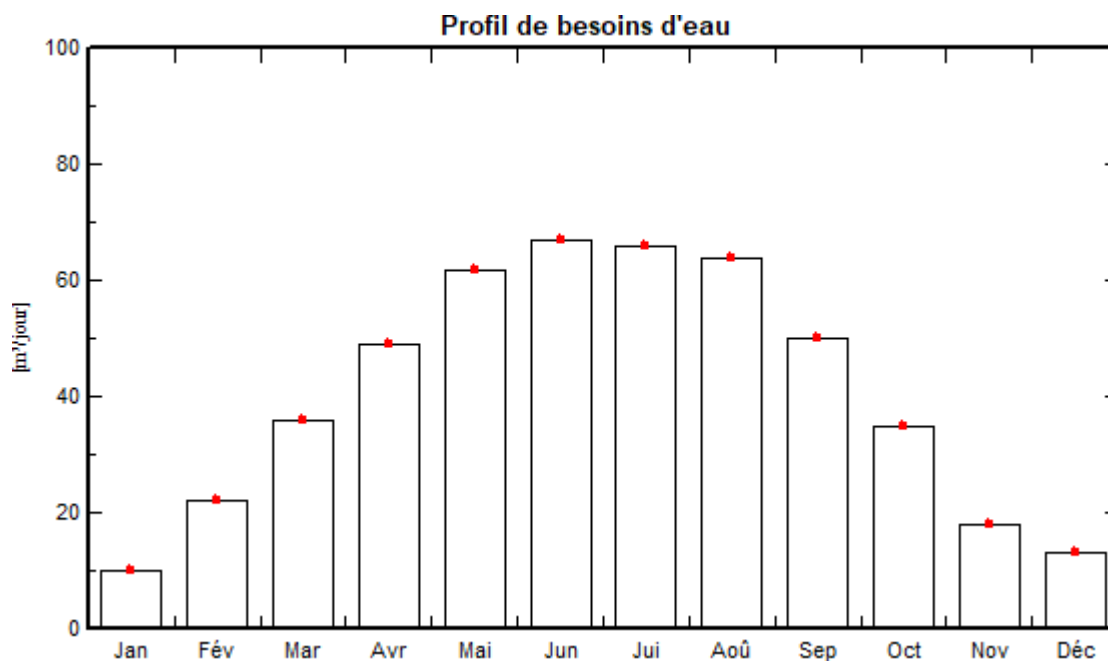


Figure 24 : Besoins d'eau mensuels.

Les besoins en eau d'un palmier varient en fonction du climat et de la saison. Les basses températures, comme en hiver, ralentissent la croissance et réduisent l'évaporation, ce qui diminue ou arrête les besoins en eau. Au fur et à mesure que les basses températures augmentent, la croissance et l'évaporation augmentent et les besoins en eau atteignent leur maximum en juin et juillet.

III.2 Les caractéristiques des composantes du système

Les composantes principales du système de pompage photovoltaïque sont le générateur et la motopompe et l'onduleur et plusieurs composantes mineures (les câbles et les tuyaux).

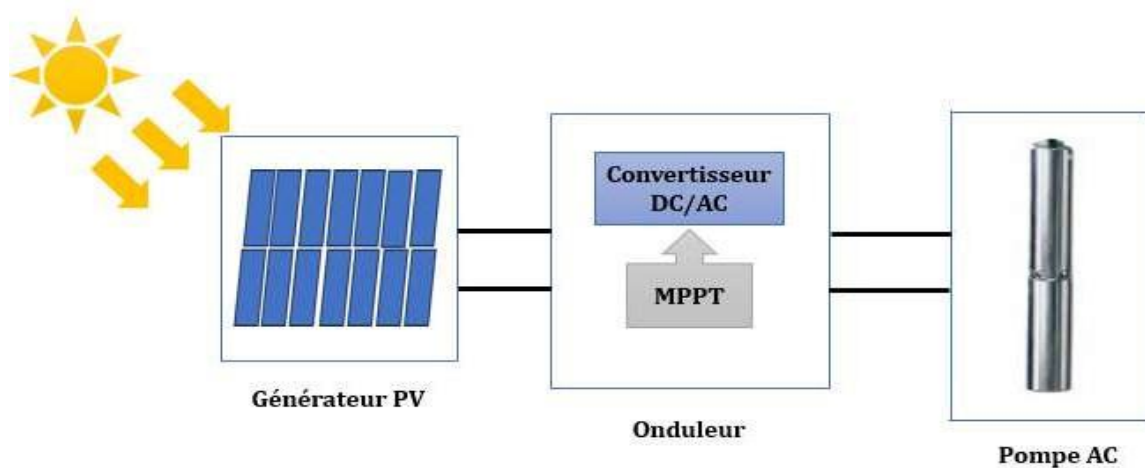


Figure 25 : Diagramme du pompage photovoltaïque.

III.2.1 Efficacité de l'onduleur MPPT-AC

Le rendement de l'onduleur η_{ond} est le rapport entre la puissance de sortie AC P_{AC} et la puissance d'entrée P_{DC} de l'onduleur, comme le montre l'équation (12)[44]:

$$\eta_{ond} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

L'onduleur utilisé est l'onduleur MPPT-AC de la société Generic, d'une puissance nominale de 4.2 KW. La tension d'entrée est proche de 100-600 V avec un rendement maximum de 90% présenté dans la figure 14.

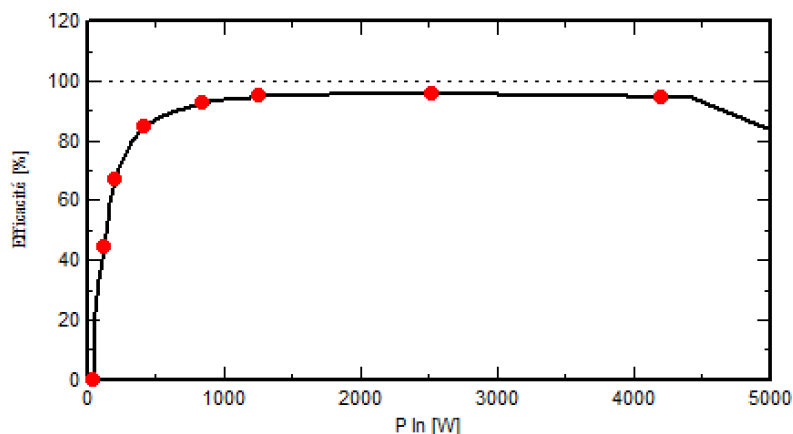


Figure 26 : L'Efficacité de l'onduleur en fonction de la puissance (w).

L'efficacité de l'onduleur utilisé est 96 %, l'efficacité de 100% est impossible, car il y aura forcément une perte même si elle est minime.

III.2.2 Le générateur PV

Le champ PV est contenu 2 chaînes x 7 en série type de SPR-P3-410-COM-1500 de la société Sun power, d'une puissance maximale de 410 W.

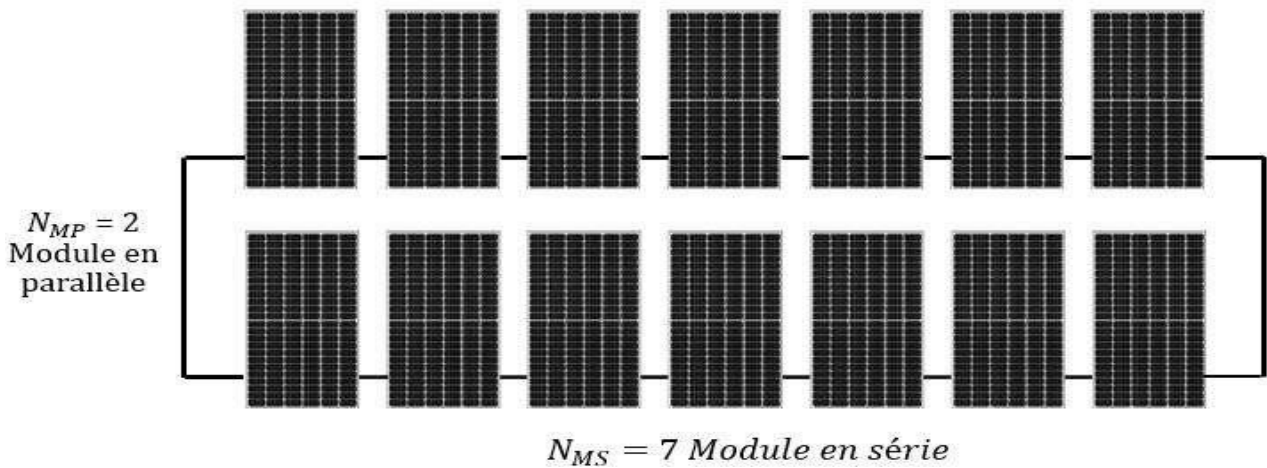


Figure 27 : Groupement de N_{MS} module en série et N_{MP} en parallèle.

III.1.1 Rendement des panneaux photovoltaïques

Le rendement de l'énergie photovoltaïque η_{systeme} est le rapport entre l'énergie injectée E_{Actual} dans le réseau et le rayonnement total G_{Total} présent sur le plan du collecteur. Il peut être calculé comme indiqué dans l'équation :

$$\eta_{\text{systeme}} = \frac{E_{\text{Actual}}}{E_{\text{total}}}$$

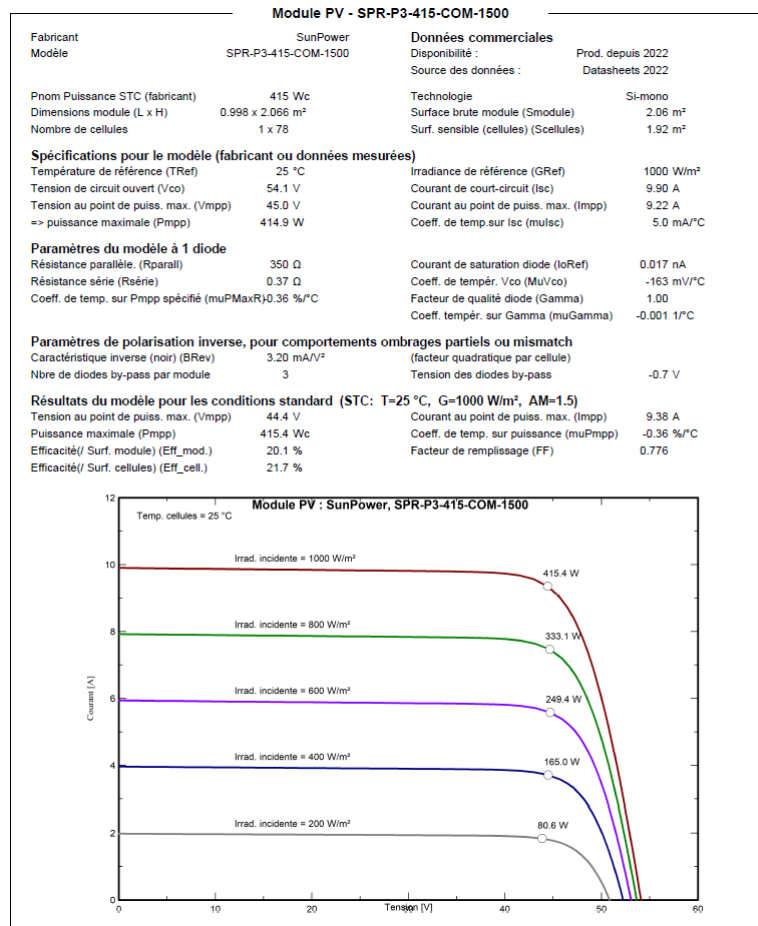


Figure 28 : Module PV : SunPower, SPR-P3-415-COM-1500

Le module photovoltaïque **SunPower SPR-P3-415-COM-1500** est un panneau solaire monocristallin de haute performance, offrant une puissance nominale de 415 W avec un rendement de plus de 20 %. Ses caractéristiques électriques, telles qu'une tension de fonctionnement autour de 45 V et un courant de 9,4 A, le rendent adapté aux installations de moyenne et grande puissance. Les courbes I-V et P-V montrent une bonne stabilité des performances selon l'irradiance, tandis que son coefficient de température (-0,36 %/°C) indique une légère baisse de production en cas d'élévation thermique, ce qui en fait un choix efficace et fiable pour la production d'énergie solaire.

L'efficacité de module PV augmente avec l'augmentation de l'irradiation solaire et diminution de la température du module PV.

Tableau 7 : Caractéristique le panneau solaire choisi (annexe A)

Marque	SUNPOWER
Garantie	25 ans
Référence fabricant	SPR-P3-410-COM-1500
Puissance	415 W
Tension à puissance max (V _{mpp})	45 V
Courant à puissance max (I _{mpp})	9.4 A
Technologie	Monocristallin
Rendement	19,9%
Température	-40°C à +85°
Poids	22kg

III.1.1 La pompe



PVsyst V7.4.7

Fabricant

Modèle

Lowara

12GS40

Données commerciales

Source des données : Datasheets 2012

Remarques et Caractéristiques techniques

Centrifugal pump, 11 stages

May be mono or triphased

MPPT converter included in the pump's definition

Dimensions

Largeur

Hauteur

Profondeur

Poids

98 mm

1252 mm

1252 mm

30.40 kg

Paramètres généraux de la pompe

Disposition

Pompe immergée (forage)

Technologie

Centrifuge multi-étages

Moteur

Moteur AC asynchrone, mono

Convertisseur de puissance

Convertisseur MPPT

Cond. de fonctionnement

	Pression min.	Pression nom.	Pression max.	
Débit corresp.	47.0	82.0	110.0	m
Puissance req.	3842	4154	3597	m ³ /h
Efficacités	50.0	58.1	50.0	%

Autres paramètres

Absolute maximum ratings

Plage de tension MPPT

Efficacité convertisseur

PMax abs.

U Min

Efficacité EURO

4200 W

100.0 V

94.0 %

U Max abs.

Vmax

Efficacité maxi

600 V

600.0 V

96.0 %

I Max abs.

20.0 A

La pompe immergée utilisé est LOWARA 12GS 40.

Tableau 8 : Caractéristique de la pompe.

Marque	Lowara
Référence fabricant	12GS40
Puissance	4.2 KWh
Courant max	16.6 A
Tension	240 V
Profondeur d'aspiration max	110 m
Poids	29kg

III.2 Mode de simulation

Dans cette simulation, nous intéressons particulièrement à l'énergie injectée dans le réseau et aux éventuelles pertes qui peuvent surgir, ainsi qu'à la rentabilité d'un tel système installé à BOUCHAKER.

III.2.1 Bilans et résultat principal

Tableau 9 : Bilans et résultat principal

Mois	GlobEff (kWh/ m ²)	EArrMPP (kWh)	E_PmpOp (kWh)	ETkFull (kWh)	H_Pump (mCE)	WPumped (m ³ /jour)	W_Used (m ³ /jour)	W_Miss (m ³ /jour)
Janvier	162.9	887	567.9	241.6	55.54	2102	2077	0.000
Février	164.0	883	504.6	289.0	55.55	1879	1876	0.000
Mars	196.4	1036	556.7	373.2	55.58	2077	2077	0.000
Avril	202.8	1057	540.6	416.1	55.56	2010	2010	0.000
Mai	198.2	1020	563.2	380.3	55.49	2077	2077	0.000
Juin	196.8	988	544.1	371.0	55.50	2010	2010	0.000
Juillet	208.4	1020	551.9	383.7	55.55	2077	2077	0.000
Août	210.3	1032	550.5	397.2	55.57	2077	2077	0.000
Septembre	188.5	952	539.8	334.7	55.52	2010	2010	0.000
Octobre	194.7	1000	563.7	351.2	55.53	2074	2077	0.000
Novembre	176.3	935	530.0	321.2	55.60	1976	1976	33.62
Décembre	163.3	885	554.6	258.3	55.57	2072	2072	5.45
Année	2262.7	11695	6567.8	4117.3	55.55	24441	24416	39.08

GlobEff Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages. **H_Pump** Pression totale moyenne à la pompe.

EArrMPP Energie champ, virtuelle au MPP. **WPumped** Volume d'eau pompée.

E_PmpOp Energie de fonctionnement pompe. **W_Used** Eau consommée.

ETkFullEnergie inutilisée (réservoir plein). **W_Miss** Eau manquante.

III.2.3 Ratio de performance

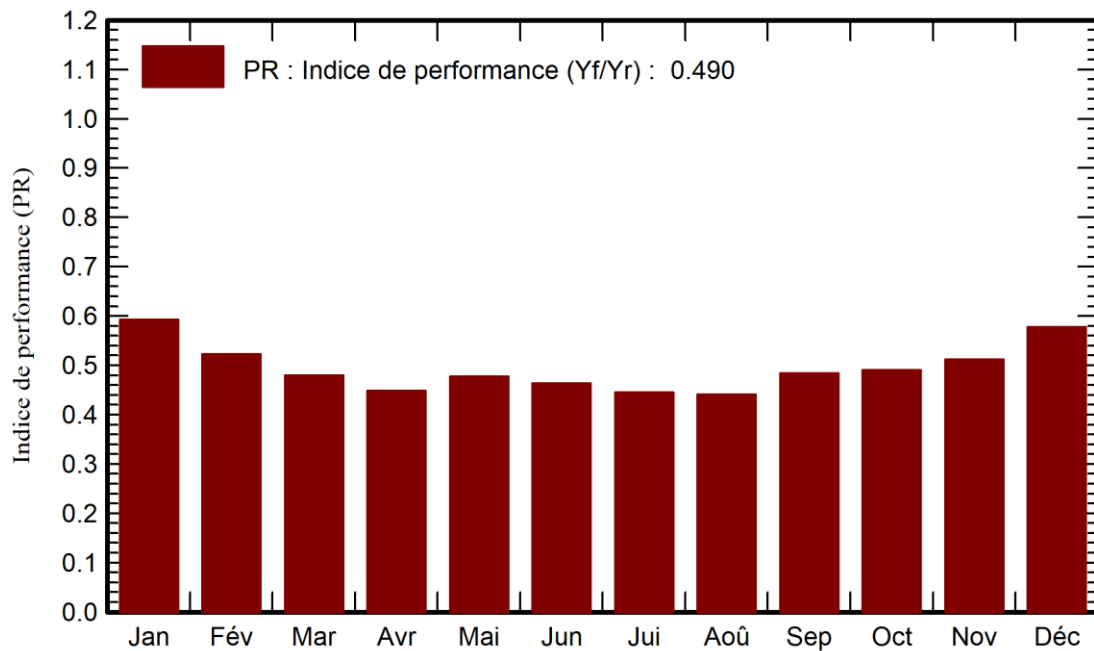


Figure 30 : Ratio de performance de l'installation pendant l'année.

Le ratio de performance est le rapport entre le rendement final du système PV (Y_f) et le rendement de référence (Y_r). Il représente l'ensemble des pertes du système, c'est-à-dire l'énergie passant de la puissance nominale en courant continu à la puissance en courant alternatif. En raison de la composante globale du système (transformateur, onduleur, réseau interne, etc. ...), le PR peut être calculé comme indiqué dans l'équation :

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r}$$

Le ratio de performance de l'installation pendant l'année de ce système est $PR = 49\%$.

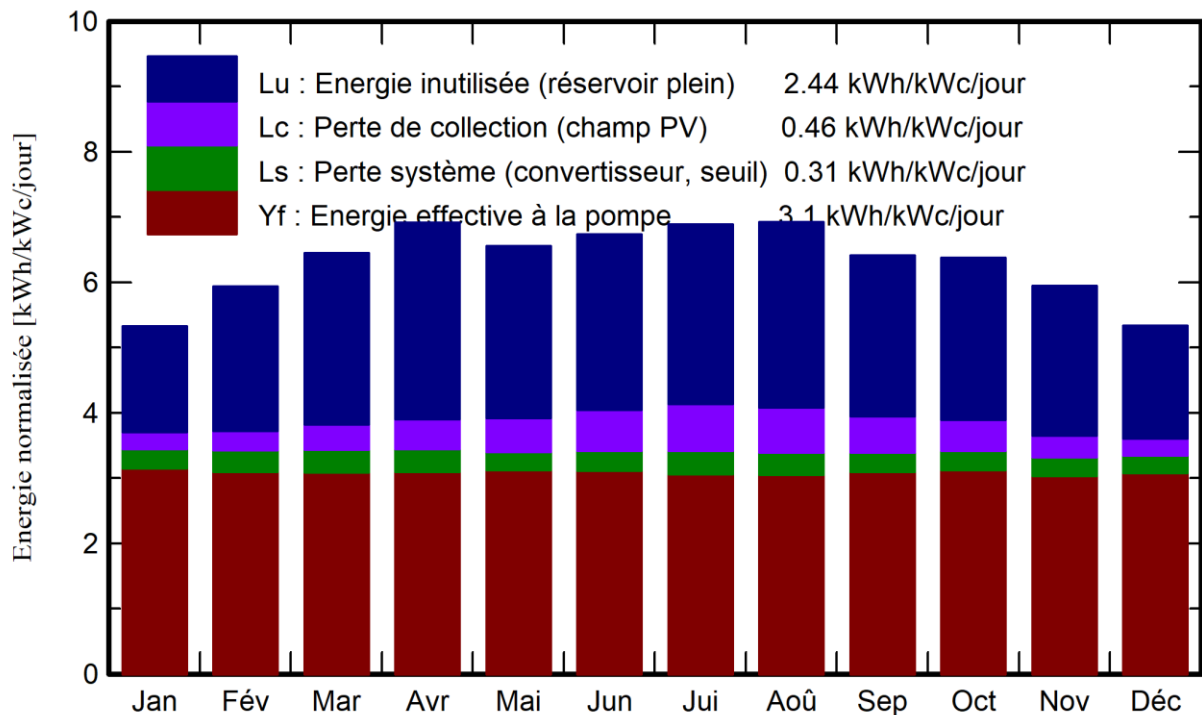


Figure 31 : Production d'énergie normalisée par installation.

On remarque l'Energie non consommé égale 2.44 KWh/KWc/jour, cette valeur est maximale dans la saison d'hiver et minimale dans la saison d'été, l'énergie effective à la pompe est 3.1 KWh/KWc/jour Augmente avec l'augmentation de la température.

Les pertes de collection et de système sont 0.46 KWh/KWc/jour et 0.31 KWh/KWc/jour respectivement.

III.2.4 Diagramme des pertes

Le diagramme de pertes du système solaire PV représente le diagramme de pertes du système solaire PV. Les pertes du système solaire PV sont indiquées étape par étape dans le diagramme des pertes. Un certain nombre de pertes se produisent dans les modules et les panneaux solaires photovoltaïques, telles que la perte ohmique du câblage, la perte de désadaptation du module, la perte de qualité du module, la perte du convertisseur pendant le fonctionnement, la perte dans le convertisseur due à la puissance de seuil, la perte d'efficacité de la batterie, la perte d'efficacité du courant de charge/décharge, la perte dans l'onduleur due à la puissance de seuil, etc. Après avoir rectifié les pertes de l'onduleur, l'entrée du réseau est calculée.

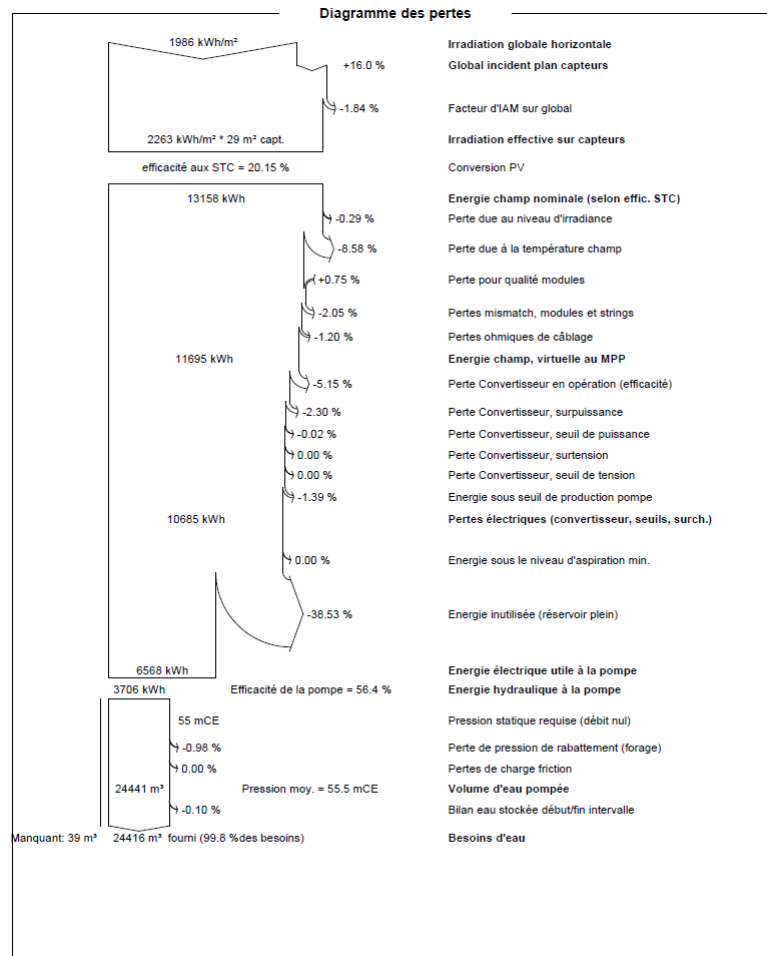


Figure 32 : Diagramme des pertes.

La figure 33 présente l'analyse graphique de l'énergie produite au cours de l'année, y compris les pertes du champ PV et les pertes du système à savoir : les pertes ohmiques du câblage, effet d'incidence, pertes dues à la température du champ, pertes dues à la qualité des modules...etc.

Le modificateur de l'angle d'incidence (IAM) est presque de + 16 %, l'irradiation globale horizontale égale 1986 KWh/m^2 exposé à le facteur d'IAM sur global Il perd un pourcentage de -1.84 %.

L'énergie nominale du champ est 13158 KWh exposé à certains facteurs comme perte de qualité module est +0,75% et pertes ohmiques de câblage est -1.20% et perte due à la température champ est -10.53 %, il perd une partie de sa valeur jusqu'à 10685 KWh.

L'énergie électrique produite et non consommé au cours d'une année est égale à 3970 KWh équivalent à 38 % d'énergie produite.

La quantité d'eau pompé par le système est 24416 m³ fourni (99.8 %des besoins) et la quantité manquant d'eau est 39 m³.

III.2.5 L'utilisation de l'électricité non consommé

- Peut être utilisé pour l'éclairage à l'intérieur de la ferme.
- L'électricité non consommé peut être utilisée dans un petit projet d'élevage de volailles pour chauffer et refroidir le poulailler.
- Chauffer les serres placées entre les palmiers et y planter des cultures saisonnières telles que des légumes.
- Vente d'électricité à Sonelgaz.

Les prix auxquels Sonelgaz achète de l'électricité à des particuliers sont les suivants :

Tranche 1 : de 0 à 250 KWh : 4.1789 DA.

Tranche 2 : supérieur à 250 KWh jusqu' à 1000 KWh : 4.1820 DA.

Tranche 3 : supérieur à 100 KWh : 5.4796 DA.

L'énergie électrique produite et non utilisée au cours d'une année est égale à 3970 KWh.

L'énergie non consommé peut être vendue à 17 000 DA Au cours de l'année.

III.3 Étude économique comparative pompage solaire / réseau électrique

III.3.1 Systèmes de pompage par réseau électrique

Pour la station de pompage préexistante opérant sur le réseau électrique national est composé par :

- Le réseau électrique
- Le groupe électropompe
- La partie stockage (réservoir)
- Les accessoires

III.3.2 Réseau Sonelgaz

La tarification est opérée sur quatre tranches, la première tranche concerne la consommation inférieure à 125 kW au prix de 1.7787 DA/kWh, la deuxième entre 125 et 250 kW au prix de 4,1789 DA/kWh, la troisième entre 250 et 750 kW au prix de 4,8120 DA/kWh et la dernière tranche concerne la consommation supérieure à 750 kW au prix de 5,4796 DA/kWh[45].

Le besoin journalier en énergie est calculé par l'équation suivante : $E_i = P_i * t_p$ (kWh/j)

La puissance nominale de la pompe à HMT nominal est 4.15 kW et le débit nominal à HMT nominal est $10.8 \text{ m}^3/\text{h}$

Le besoin d'énergie en janvier est $E_i = 4.15 * 31 = 128.65 \text{ kWh}$

Le besoin d'énergie en février est $E_i = 4.15 * 2 * 28 = 232.4 \text{ kWh}$

Le besoin d'énergie en mars est $E_i = 4.15 * 3.4 * 31 = 437.41 \text{ kWh}$

1^{er} Trimestre (Jan, Fév, Mar) la consommation d'électricité est **798.46 KWh**

Tableau 10 : La consommation électrique 1^{er} trimestre.

Tranche	<i>Tranche₁</i>	<i>T₂</i>	<i>T₃</i>	<i>T₄</i>
Quantité (kWh)	125	125	750	48
Prix unitaire (DA)	1.7787	4,1789	4,8120	5,4796
Montant (DA)	222.34	522.36	3609	263.02
Montant total (DA)	4616.72			

Le besoin d'énergie en avril est $E_i = 4.15 * 4.6 * 30 = 572.7 \text{ kWh}$

Le besoin d'énergie en mai est $E_i = 4.15 * 5.8 * 31 = 746.17 \text{ kWh}$

Le besoin d'énergie en juin est $E_i = 4.15 * 6.2 * 30 = 771.9 \text{ kWh}$

2^{ème} Trimestre (Avr, Mai, Jun) la consommation d'électricité est **2090.77 KWh**

Tableau 11 : La consommation électrique 2^{ème} trimestre

Tranche	T_1	T_2	T_3	T_4
Quantité (kWh)	125	125	750	1340.77
Prix unitaire (DA)	1.7787	4,1789	4,8120	5,4796
Montant (DA)	222.34	522.36	3609	7346.88
Montant total (DA)	11700.58			

Le besoin d'énergie à juillet est $E_i = 4.15 * 6.15 * 31 = 791.2 \text{ kWh}$

Le besoin d'énergie à aout est $E_i = 4.15 * 6 * 31 = 771.9 \text{ kWh}$

Le besoin d'énergie à septembre est $E_i = 4.15 * 4.7 * 30 = 585.15 \text{ kWh}$

3^{ème} Trimestre (**Jui, Aout, Sep**) la consommation d'électricité est **2148.25 KWh**

Tableau 12 : La consommation électrique 3^{ème} trimestre

Tranche	T_1	T_2	T_3	T_4
Quantité (kWh)	125	125	750	1398.25
Prix unitaire (DA)	1.7787	4,1789	4,8120	5,4796
Montant (DA)	222.34	522.36	3609	7661.84
Montant total (DA)	12015.54			

Les besoins d'énergie en octobre est $E_i = 4.15 * 3.3 * 31 = 424.55 \text{ kWh}$

Les besoins d'énergie en novembre est $E_i = 4.15 * 1.7 * 30 = 211.65 \text{ kWh}$

Les besoins d'énergie en décembre est $E_i = 4.15 * 1.2 * 31 = 154.38 \text{ kWh}$

4^{ème} Trimestre (**Oct, Nov, Déc**) la consommation d'électricité est **790.58 KWh**

Tableau 13 : La consommation électrique 4^{ème} trimestre

Tranche	<i>T</i> ₁	<i>T</i> ₂	<i>T</i> ₃	<i>T</i> ₄
Quantité (kWh)	125	125	750	40.58
Prix unitaire (DA)	1.7787	4,1789	4,8120	5,4796
Montant (DA)	222.34	522.36	3609	222.36
Montant total (DA)	4576.06			

Le coût total qui paie à Sonelgaz chaque année est **32 908.9 DA**.

III.3.3 Le système de pompage au fil de soleil

Afin de convertir le système de pompage du réseau électrique en un système de pompage solaire, nous concevons un générateur photovoltaïque composé de 14 panneaux solaires et d'un onduleur.

Tableau 14 : Les coûts d'investissement.

Composant	Quantité	P. unité HT (DA)	Montant (DA)
Panneau solaire SUNPOWER 410W	14	15 000.00	210 000.00
Onduleur Generic device	1	79 000.00	79 000.00

Le coût total indiqué dans le tableau est de **289 000.00 DA**. Donc pour recouvrer les dépenses (le cout d'investissement) qui égale plus de 32 000 da (voir ci-dessus) il faut une durée d'exploitation d'une 9ans (un taux de retour à propos de **9 ans**).

III.4 Les émissions de gaz à effet de serre (GES)

Un gaz à effet de serre (GES) est un gaz présent dans l'atmosphère qui retient une partie de la chaleur reçue des rayons solaires. Certains GES sont d'origine naturelle (par exemple, la vapeur d'eau ou le dioxyde de carbone) et/ou issus des activités humaines.

L'utilisation d'énergies renouvelables pour le pompage et l'irrigation permet non seulement de réduire les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi de limiter les coûts liés à l'achat d'électricité tout en améliorant les revenus des agriculteurs à petite et grande échelle. En outre, les régions hors réseau ou sans accès fiable à l'électricité en raison des coupures de courant constantes peuvent tirer parti des énergies renouvelables. La mise en place de méthodes d'irrigation efficaces telles que le goutte-à-goutte permet d'économiser les ressources en eau et d'augmenter les superficies de cultures irriguées, apportant ainsi une source de revenus supplémentaire.

III.4.1 Comparaison de nouveau et l'ancien du système

Nous avons comparé l'ancien système (système de pompage du réseau électrique) et le nouveau système (système de pompage solaire) afin de démontrer l'impact de chacun sur l'environnement et de calculer L'émission de gaz à effet de serre.

III.4.1.1 L'ancien système

En 2021, la consommation d'électricité en Algérie provient principalement de l'Énergie Fossile avec 76,63 TWh (Térawatt-heure), dont une grande majorité présente sous forme de Gaz à hauteur de 75,3 TWh. La production d'électricité en Algérie en 2021 est 97.1 % Gaz, 1.7 % énergie fossile non spécifique, 1 % énergie solaire[46].

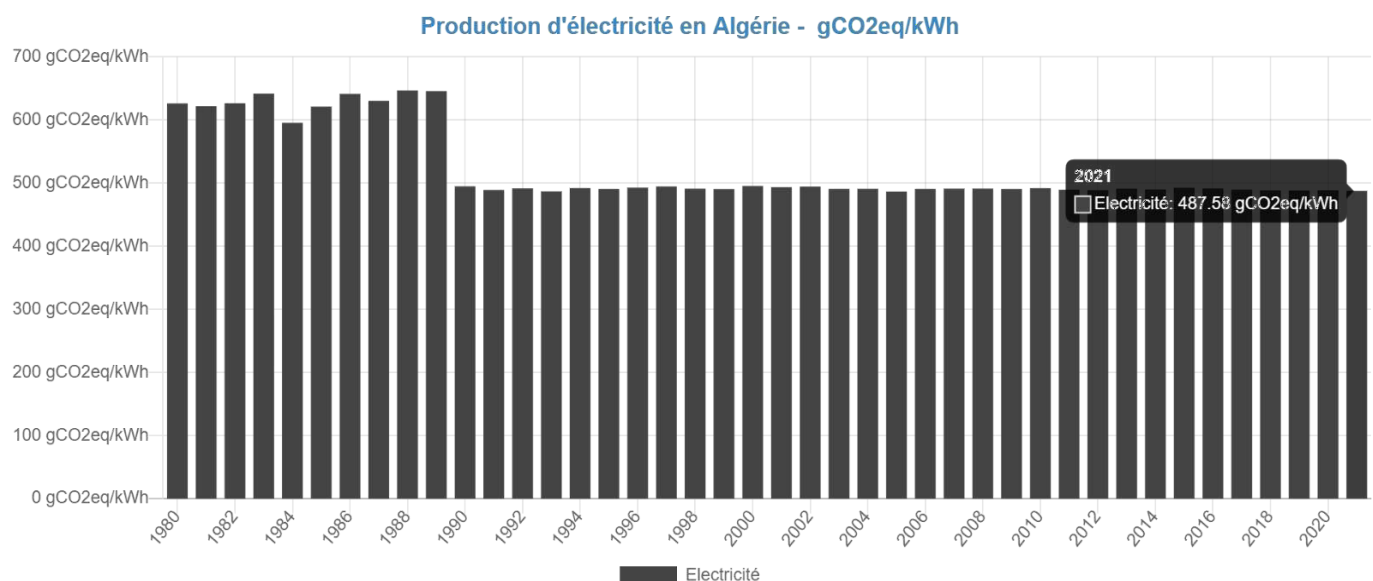


Figure 33 : La production d'électricité en Algérie – g CO₂/kWh[46].

L'émission de gaz à effet de serre pendant la production 1 kWh en Algérie est 487.58 g CO₂/kWh.

L'ancien système consommer **5828.06 KWh** d'électricité pendant une année, donc l'émission de gaz à effet de serre dans l'année qui a suivi l'utilisation de l'ancien système est **2 841.65 kg CO₂/kWh**. Donc pendant 25 ans est **71 041.25 kg CO₂/kWh** (La durée de vie des modules photovoltaïques).

III.4.1.2 Nouveau système

Un panneau solaire installé en France émet entre 25 et 43 grammes d'équivalent CO₂ par kWh d'électricité produite. La différence entre ces deux valeurs s'explique principalement par le lieu de fabrication du module : plus il est fabriqué loin de son lieu d'installation et plus son impact environnemental est important[47].

-  Panneaux solaires fabriqués en Chine : 0,0439 kg éq. CO₂/kWh ;
-  Panneaux photovoltaïques fabriqués en Europe : 0,0323 kg éq. CO₂/kWh ;
-  Panneaux solaires fabriqués en France : 0,0252 kg éq. CO₂/kWh.

Nous avons choisi des panneaux solaires de société française (Sun power) donc le CO₂ émis est 0,0252 kg éq. CO₂/kWh.

L'émission de gaz à effet de serre pendant la production des 14 panneaux solaire qu'utilisé dans le système de pompage photovoltaïque est seulement **0.3528 kg CO₂/kWh**.

Le nouveau système est plus respectueux de l'environnement que l'ancien.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exploré de manière approfondie chaque aspect crucial de la conception et de l'évaluation de cette technologie durable dans le contexte spécifique de BOUCHAKER. À travers une méthodologie rigoureuse, nous avons décrit le mode de conception du projet, à l'aide de Logiciel PVsyst de modélisation de notre système et d'essayer d'optimiser le nombre et la qualité des panneaux photovoltaïque, et des onduleurs en prenant compte des paramètres réels envisageables (le besoin en eau, la disposition du site sur le terrain, les contraintes en termes de puissance, les paramètres constructeur etc.) ce qui nous permet de simuler un fonctionnement dans des conditions réelles très précises (température, ensoleillement, puissance, etc).

Les caractéristiques détaillées des composants du système, tels que l'onduleur MPPT-AC, le générateur PV et la pompe, ont été examinées en profondeur pour assurer une efficacité optimale. Les simulations ont produit des résultats précis concernant les performances du système, les ratios d'utilisation d'énergie et les pertes éventuelles, consolidant ainsi la viabilité technique du système photovoltaïque proposé.

L'étude économique comparative a mis en évidence les avantages potentiels sur le plan

financier et environnemental par rapport aux systèmes traditionnels alimentés par le réseau électrique. En particulier, l'analyse des émissions de gaz à effet de serre a souligné l'importance de réduire l'empreinte carbone en favorisant l'adoption de sources d'énergie renouvelables comme le solaire photovoltaïque. En conclusion, cette étude démontre que le système de pompage photovoltaïque est non seulement techniquement faisable mais également économiquement viable et écologiquement bénéfique pour la région de BOUCHAKER. Ces résultats encouragent une transition continue vers des solutions énergétiques durables et renouvelables, alignées avec les défis environnementaux globaux et les besoins locaux en matière d'approvisionnement en eau et d'irrigation agricole.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a été consacré à une étude d'un système de pompage photovoltaïque dans le site de Bouchaker. On peut rapidement comprendre et justifier l'intéressement à l'énergie solaire pour pomper l'eau. L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. C'est d'ailleurs ce qui explique que son utilisation connaît une croissance significative dans le monde, essentiellement pour les besoins des zones rurales et les sites isolés.

Les résultats nous ont bien confirmé que la meilleure inclinaison des panneaux solaires photovoltaïques est 50° pour les mois d'hiver (Oct. Nov. Déc. Jan. Fév. Mar.) et 15° pour les mois d'été (Avr. Mai. Jun. Jul. Aout. Sep.), pour notre site d'application de Bouchaker.

Nous avons montré que dans un souci de simplification et de minimisation des coûts, il est plus intéressant d'utiliser un stockage de l'eau dans des réservoirs hydrauliques au lieu de stocker l'énergie électrique dans des batteries. Le système obtenu est alors avec un fonctionnement autonome, et donc à priori très fiable et à coût minimum.

Nous avons présenté plusieurs résultats obtenus d'une étude qui a conduit au dimensionnement d'une installation de pompage photovoltaïque pour irriguer un hectare de palmiers contient 200 palmiers situé sur Bouchaker. Nous avons montré que ce site de présente un climat favorable à ce type d'énergie nouvelle, une coïncidence très importante favorise est la demande d'eau, surtout dans l'agriculture, atteint son maximum par temps chaud et sec où c'est justement le moment où l'on a accès au maximum d'énergie solaire.

Le nouveau système est plus coûteux au début de l'utilisation (Lorsque vous achetez le système au comptant). La balance devienne clairement en faveur de la solution de pompage par énergie solaire photovoltaïque après quelques années d'utilisation, et respectueux de l'environnement que l'ancien.

L'influence sur l'environnement et sur la politique de transition énergétique nationale algérienne

L'utilisation de systèmes de pompage photovoltaïque a un impact significatif sur l'environnement et la politique de transition énergétique en Algérie. Voici quelques points à considérer :

1. Environnement :

-  Énergie propre : Les systèmes de pompage photovoltaïque utilisent une énergie propre et renouvelable, réduisant ainsi les émissions de gaz à effet de serre.
-  Décentralisation : Ils permettent de fournir de l'eau dans des zones éloignées sans dépendre du réseau électrique centralisé.
-  Conservation des ressources : En utilisant l'énergie solaire, ces systèmes préservent les ressources naturelles et minimisent l'impact sur les écosystèmes locaux.

2. Politique de transition énergétique :

-  Diversification : L'intégration de systèmes photovoltaïques diversifie le mix énergétique national, réduisant la dépendance aux combustibles fossiles.
-  Autosuffisance : Les systèmes de pompage photovoltaïque contribuent à l'autosuffisance énergétique en produisant de l'électricité localement.
-  Développement rural : Ils encouragent la population à rester dans leurs zones d'origine en fournissant de l'eau pour l'irrigation et d'autres besoins agricoles.

En somme, l'utilisation de ces systèmes favorise la durabilité environnementale et soutient la transition vers une énergie plus propre en Algérie.

Recommandations

1. Évaluer les besoins en eau des palmiers :

- Avant de commencer la conception, déterminez les besoins en eau des palmiers. Cela dépendra des facteurs environnementaux (la température, l'humidité et le type de sol).
- Utilisez un calendrier d'irrigation pour déterminer le moment optimal pour l'irrigation

2. Choisir les panneaux solaires :

- Calculez l'énergie requise pour faire fonctionner la pompe à eau. Basez-vous sur les besoins des palmiers et l'efficacité du système.
- Optez pour des panneaux solaires haute efficacité adaptés au climat désertique.

3. Étude de faisabilité économique :

- Comparez le système de pompage solaire avec l'utilisation du réseau électrique en termes de coûts et d'efficacité.

4. Entretien et soins :

Nettoyez régulièrement les panneaux solaires pour maintenir leur efficacité

Références

- [1] M. T. Boukadoum and A. H. N. Ourabia, "Le Pompage Photovoltaïque," *Rev. Energ. Ren. Zo. Arid.* 69-73, pp. 69–73, 2002.
- [2] A. H. Arab and M. Benghanem, "Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque," vol. 8, pp. 19–26, 2005.
- [3] A. D. M. S. Aida, U. Kasdi, M. Ouargla, and U. De Constantine, "ETUDE D ' UN SYSTEME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE POUR L ' IRRIGATION D ' UNE PALMERAIE A OUARGLA," no. 1, pp. 17–23, 2009.
- [4] M. L. LOUAZENE, D. KORICHI, and B. AZOUI, "The International Conference on Electronics & Oil: From Theory to Applications (ICEO'11)," p. 2011, 2013.
- [5] A. DAOUD, "Contrôle de la Puissance d'un Générateur Photovoltaïque pour le Pompage Solaire," p. 140, 2013.
- [6] M. L. LOUAZENE, "Contribution à l'optimisation des systèmes photovoltaïques utilisés pour l'irrigation dans les zones sahariennes – Application zone de Ouargla," *Univ. EL HADJ LAKHDAR - BATNA*, pp. 2010–2011, 2015.
- [7] P. E. Campana, "PV WATER PUMPING SYSTEMS FOR AGRICULTURAL APPLICATIONS," 2015.
- [8] M. A. Khlifi, "Study and control of photovoltaic water pumping system," *J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 117–124, 2016, doi: 10.5370/JEET.2016.11.1.117.
- [9] J. Chakchak, N. S. Çetin, and N. S. Çetin, "Çetin: Application of Rural Photovoltaic Water Pumping System Using Immersed Pump and DC Motor International Journal of Energy Applications and Technologies," 2017. [Online]. Available: <http://dergipark.gov.tr/ijeat/issue/31601>
- [10] A. Al-Badi, H. Yousef, T. Al Mahmoudi, M. Al-Shammaki, A. Al-Abri, and A. Al- Hinai, "Sizing and modelling of photovoltaic water pumping system," *Int. J. Sustain. Energy*, vol. 37, no. 5, pp. 415–427, May 2018, doi: 10.1080/14786451.2016.1276906.
- [11] G. Li, Y. Jin, M. W. Akram, and X. Chen, "Research and current status of the solar photovoltaic water pumping system – A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 79, pp. 440–458, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.055.
- [12] K. Assalaou, L. Bouhouch, and L. Elmahni, "Development and Optimization of a Photovoltaic Pumping Irrigation System.," *Int. J. Adv. Res.*, vol. 5, no. 4, pp. 513–521, 2017, doi: 10.21474/ijar01/3839.
- [13] R. A. Mejeed, S. S. Oudah, and R. Y. Abed, "Design of solar photovoltaic pressurized drip irrigation pumping system at al-salman district in Samawa Governorate," *Int. J.*

Références

Power Electron. Drive Syst., vol. 10, no. 3, pp. 1628–1637, 2019, doi: 10.11591/ijpeds.v10.i3.pp1628-1637.

- [14] M. M. Shebani and T. Iqbal, “Dynamic Modeling, Control, and Analysis of a Solar

