

# République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Blida 1

Faculté des technologies

Département des Énergies Renouvelables



## Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de Master

Option : conversion Photovoltaïque

Thème

### Pompage solaire goutte à goutte

Etude technico-économique pour la mise en place d'un système de  
pompage solaire pour une irrigation goutte à goutte cas d'un terrain  
à Bougara wilaya de Blida

Par le Binôme : Ahmed RAHMOUNI  
Rym HAMADOUCHE

Soutenu devant le jury composé par :

M. BOUZAKI	MCB	U.S.D.B	Président
M. BENHMED	MCB	U.S.D.B	Examineur
T. DOUMAZ	MAA,	U.S.D.B	Promoteur

Blida, juin 2023

## REMERCIEMENT

Cher le chef de département M. BOUZAKI Moustafa, cher le chef d'option M. DOUMAZ Toufik, Les membres du jury et à tous ceux qui nous ont apporté leur aide précieuse.

Nous tenons à exprimer notre plus sincère gratitude et nos remerciements les plus chaleureux. Votre soutien inestimable tout au long de notre parcours d'étude a été d'une importance capitale pour notre réussite.

En tant que chef de département, vous avez joué un rôle clé dans la direction et la coordination de notre programme d'études. Votre engagement envers l'excellence académique et votre dévouement envers notre éducation ont été une source d'inspiration pour nous. Votre soutien constant et vos conseils éclairés ont contribué à façonner notre parcours académique et professionnel.

À notre chef d'option, nous tenons à vous remercier pour votre expertise et votre passion communicative dans votre domaine d'expertise. Votre encadrement attentif et votre encouragement constant nous ont permis d'approfondir notre compréhension et de développer des compétences essentielles dans notre domaine d'étude.

Aux membres du jury, nous vous sommes reconnaissants pour le temps et l'attention que vous avez consacrés à l'évaluation de notre travail. Vos commentaires constructifs et vos suggestions avisées ont grandement contribué à l'amélioration de notre étude. Nous sommes honorés d'avoir pu bénéficier de votre expertise et de votre évaluation rigoureuse.

Merci infiniment à Mr. DOUMAZ Toufik notre promoteur durant nos recherches et merci pour avoir encadré ce travail de mémoire de fin d'étude. Ces quelques lignes ne suffisent pas à exprimer toutes nos gratitudes... Entre autres, nous le remercions pour toute la rigueur qu'il a apportée, pour le temps et les conseils qu'il n'a pas comptés, pour l'enthousiasme insatiable dont il fait preuve pour la recherche. Qualités que nous aimerions timidement imiter. Monsieur, merci encore une fois d'être le rapporteur du mémoire et pour l'intérêt que vous y avez porté, et pour les différentes remarques constructives dont vous avez fait preuve. La pertinence de vos remarques, de vos conseils, des échanges que nous avons pu avoir, a éclairé notre chemin durant cette année. Je le remercie également pour ses grandes qualités humaines.

Merci à mr. CHADLI et m. RAHMOUNI de nous avoir accueillis dans l'institut I.N.S.F.P et pour les informations nécessaires qu'ils nous donnent durant la période du stage.

Enfin, nous aimerions exprimer notre gratitude à tous ceux qui nous ont apporté leur soutien et leur aide tout au long de notre parcours. Que ce soit par des conseils, des encouragements ou des ressources, votre contribution a été inestimable et a contribué à notre succès. Votre appui constant nous a donné la confiance nécessaire pour persévérer et atteindre nos objectifs.

## **DÉDICACE**

Mes premiers remerciements iront à M. HAMADOUCHE Ali Cherif et Dr. Moussa RAHMOUNI, Nos parents, de nous avoir aider et de nous financier durant ces années.

Un spécial dédicace à nos mères qui nous ont toujours soutenu et encouragés dans ces longues études. Je souhaiterais également remercier toutes nos familles.

Nos derniers mots iront à nos amies qui nous ont soutenus. Nous savons que cela n'a pas été toujours facile, surtout ces derniers mois. Nous les remercions de tous nos cœurs !

Milles excuses et merci également à ceux que j'ai pu oublier !

## المخلص

يتناول موضوع الماستر المعنون 'دراسة تقنية وإقتصادية لنظام ضخ شمسي للري بالتقطير بقطعة ارض متواجدة بمدينة بوقرة ولاية البليدة' الجوانب التقنية والإقتصادية لإستخدام مضخات شمسية في الري الزراعي.

يقدم الفصل الأول نظرة عامة حول أنظمة الطاقة الشمسية والري، ويوفر فهما شاملا لكل من المجالين. يركز الفصل الثاني على المضخات الشمسية، حيث يشرح عملها وخصائصها.

يقدم الفصل الثالث عملية التصميم والنتائج المحصلة. يتم حساب احتياجات الماء للمحاصيل بإستخدام الصيغ وأدوات البرمجيات. يتم بعد ذلك تحديد حجم الخزان المائي، تليها عملية تصميم المضخة الشمسية بطريقة تحليلية باستخدام الرسوم البيانية والطرق الحسابية. بالإضافة إلى ذلك، يتم تحديد نظام مجموعة الخلايا الشمسية وتقييم عدد الوحدات المطلوبة وفقا لذلك.

يسلط الفصل الرابع الضوء على الجانب الإقتصادي للحل المقترح. وتوضح الدراسة أن التكلفة المطلوبة معقولة وتضيف قيمة مضافة للسوق، بفضل توفيرات كبيرة في استهلاك الماء والطاقة، وتكاليف التشغيل المنخفضة. يضمن الري الفعال المحقق جودة المنتج مع تقليل التأثيرات البيئية.

يسلط هذا الموضوع الضوء على أهمية أنظمة الضخ الشمسية في الري الزراعي، مع تسليط الضوء على مزاياها التقنية والإقتصادية. تقدم رؤى قيمة لتنفيذ حلول مستدامة.

الكلمات المفتاحية : الضخ بالطاقة الشمسية، الطاقات المتجددة، الطاقة الكهروضوئية، الري، التقطير، بوقرة، البليدة.

## RÉSUMÉ

Le mémoire de master intitulé « Étude technico-économique pour la mise en place d'un système de pompage solaire pour une irrigation goutte à goutte cas d'un terrain à Bougara wilaya de Blida » explore les aspects techniques et économiques de l'utilisation de pompes solaire pour l'irrigation agricole.

Le premier chapitre met en contexte les systèmes solaires et l'irrigation, offrant une vue d'ensemble des deux domaines. Le deuxième chapitre sur les pompes solaires, examinant leur fonctionnement et leurs caractéristiques.

Le troisième chapitre présente le dimensionnement et les résultats obtenus. Le calcul des besoins en eau nécessaires pour les cultures est effectué à l'aide de formules et de logiciels. Ensuite, le réservoir de stockage est déterminé. Suivi du dimensionnement analytique et par la méthode des abaques de la pompe solaire. De plus, le champ photovoltaïque est dimensionné et le nombre de panneaux nécessaires est évalués en conséquence.

Le quatrième chapitre se concentre sur l'aspect économique de la solution proposée. L'étude démontre que l'investissement requis est abordable et offre une valeur ajoutée sur le marché, grâce à des économies considérables d'eau et d'énergie, ainsi qu'à des coûts d'exploitation réduits. L'irrigation efficace obtenue grâce à ce système contribue à garantir un produit de qualité tout en minimisant les impacts environnementaux.

Ce mémoire de master souligne l'importance des systèmes de pompage solaire dans l'irrigation agricole.

**Mots clés :** Pompage solaire, énergies renouvelables, photovoltaïque, au fil du soleil, irrigation, goutte à goutte, Bougara, Blida.

## ABSTRACT

The master's thesis entitled "Technical and economic study for the installation of a solar pumping system for drip irrigation case of a land in Bougara the state of Blida" explores the technical and economic aspects of using solar pumps for agricultural irrigation.

The first chapter provides an overview of solar systems and irrigation, giving a comprehensive understanding of both fields. The second chapter focuses on solar pumps, examining their operation and the characteristics.

The third chapter presents the sizing and results obtained. The calculation of water requirements for crops is performed using formulas and software tools.

Subsequently, the storage reservoir is determined, followed by the analytical sizing of the solar pump using charts and the abacus method. Additionally, the photovoltaic array is sized, and the required number of panels is assessed accordingly.

The fourth chapter emphasizes the economic aspect of the proposed solution. The study demonstrates that the required investment is affordable and provides added value to the market, due to substantial savings in water and energy consumption, as well as reduced operating costs. The achieved efficient irrigation ensures excellent product quality while minimizing environmental impacts.

This master's thesis highlights the significance of solar pumping systems in agricultural irrigation, showcasing advantages. It offers valuable insights for implementing sustainable and cost-effective solutions in the agricultural sector.

**Keywords:** Solar pumping, Renewables energies, photovoltaic, solar wire, irrigation, drip irrigation, Bouguara, Blida.

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

A : ampère.

AC : courant alternative.

AM : Air de Mass.

APRUE : Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie.

°C : degré Celsius.

Da : densité apparente.

DA : dinars Algérien.

DC : Courant Continue.

D : pente de la courbe de pression de vapeur saturante [kPa °C-1].

Dr : Le débit de la rampe.

Ds : Le débit de secteur.

DT : Le débit horaire de la superficie de l'exploitation.

E0 : Constante solaire.

ea : pression de vapeur réelle [kPa].

EG : espacement des goutteurs.

es : pression de vapeur saturante [kPa].

es-ea : déficit de pression de vapeur saturante [kPa].

ET0 : L'évapotranspiration de référence.

ETM : l'évapotranspiration maximale.

FCFA : franc de la communauté financière africaine.

G : densité de flux de chaleur dans le sol.

g : constante psychrométrique [kPa °C-1].

Hcc : Humidité a la capacité aux champs.

Ha : La hauteur d'aspiration.

H<sub>pf</sub> : Humidité au point de flétrissement.

Hr : La hauteur de refoulement.

$\eta_m$  : rendement du moteur.

$\eta_p$  : rendement de la pompe.

Kc : le coefficient culturel pour chaque culture considérée.

kPa : Kilo Pascal.

KWh: Kilo Watt heure.

Km : Kilo mètre.

Lr : longueur de rampe.

m : mètre.

m<sup>2</sup> : mètre care.

mm : millimètre.

µm : micro mètre.

Nd : Le niveau dynamique.

N : négatif.

Ng : nombre de goutteurs.

Ns : Le niveau statique.

P : positif.

Pc : les pertes de charges.

Pcl : frottement de l'eau sur la conduite.

Pcs : frottement de l'eau dans les coudes.

Pc : puissance crête.

Pe : puissance électrique.

Peff : est la pluie efficace [mm].

Ph : puissance hydraulique.

Pm : puissance mécanique.

Pn : positif négatif.

PV : Photovoltaïque.

PVsyst : PV système.

Pu : La pression utile.

Q : Le débit horaire.

R : Le rabattement.

RFU : La réserve facilement utile.

Rn : rayonnement net à la surface de la culture.

S : second.

T : température journalière moyenne de l'air.

$u_2$  : vitesse du vent à une hauteur.

V : Volt.

Wc : watt crête.

W/m<sup>2</sup> : Watt par mètre care.

Y : degré de tarissement.

Z : profondeur d'enracinement en mm.

$\Delta P$  : La perte de charge.

$\Theta$  : l'angle de latitude.

$\Phi$  : l'angle de longitude.

# TABLEAU DE MATIERES

REMERCIEMENT

DÉDICACE

RÉSUMÉ

LISTE DES ABRÉVIATIONS

TABLEAU DE MATIERES

LISTE DES TABLEUAX

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION GÉNÉRALE ..... 1

## Chapitre I : Généralités

Introduction ..... 4

I.1. Le rayonnement solaire et son potentiel en Algérie ..... 4

    I.1.1. La trajectoire apparente du soleil ..... 4

    I.1.2. Le rayonnement hors atmosphère ..... 5

    I.1.3. Le rayonnement perçu au sol ..... 5

        I.1.3.1. Le rayonnement direct ..... 5

        I.1.3.2. Le rayonnement diffus ..... 6

        I.1.3.3. Le rayonnement réfléchi (L'albédo) ..... 6

        I.1.3.4. Le nombre d'air-masse ..... 6

        I.1.3.5. Le spectre solaire ..... 6

I.2. Le système photovoltaïque ..... 7

    I.2.1. L'effet photovoltaïque ..... 7

    I.2.2. Les différents types de cellules photovoltaïque ..... 7

        I.2.2.1 Les cellules Monocristallins ..... 8

        I.2.2.2. Les cellules Polycristallins ..... 9

        I.2.2.3. Les cellules amorphes ..... 9

    I.2.3 Les différents types de systèmes photovoltaïques ..... 10

        I.2.3.1. Le système autonome (off grid) ..... 10

        I.2.3.2. Le système raccordé au réseau (On grid) ..... 10

        I.2.3.3. Le système hybride ..... 10

I.3. Généralité sur l'irrigation ..... 11

    I.3.1. Méthodes d'irrigation ..... 11

        I.3.1.1. L'irrigation de surface ..... 11

I.3.1.2. L'irrigation par aspersion .....	11
I.3.1.3. L'irrigation par goutte à goutte.....	12
I.3.2. Type d'irrigation par goutte à goutte : .....	12
I.3.2.1. Système de surface .....	12
I.3.2.2. Systèmes souterrains.....	13
I.3.2.3. Irrigation goutte à goutte mobile : .....	14
Avantages de l'irrigation par goutte à goutte .....	14
Inconvénients de l'irrigation par goutte à goutte .....	15
Conclusion .....	17

## **Chapitre II : Le pompage solaire**

Introduction .....	19
II.1. Description générale du principe de fonctionnement du système .....	19
II.2. Les pompes solaires .....	20
II.2.1. Les types des pompes .....	21
II.2.1.1. Pompe centrifuge ou immergée .....	21
II.2.1.2. Pompe volumétrique ou surfacique .....	21
II.3. Les types de pompage solaire .....	21
II.4. Notion hydraulique .....	22
II.4.2. Le débit horaire (Q) .....	22
II.4.3. La pression utile (Pu) .....	22
II.4.4. La perte de charge ( $\Delta P$ ) .....	22
II.4.5. Le niveau statique (Ns) .....	23
II.4.6. Le niveau dynamique (Nd) .....	23
II.4.7. Le rabattement (R) .....	23
II.4.8. La hauteur de refoulement (Hr) .....	24
II.4.9. La hauteur d'aspiration (Ha) .....	24
II.4.10. La HMT (Hauteur Manométrique Totale) .....	24
Conclusion .....	24

## **Chapitre III : Dimensionnement et résultats**

III.1. Présentation de la méthode de dimensionnement .....	26
III.2. Présentation du site.....	26
III.2.1. Données collectées sur le site .....	27
III.3. L'étude technique .....	29
III.3.1. Les besoins en eau d'irrigation .....	29

III.3.1.1. Calcul des besoins en eau d'irrigation .....	29
III.3.2. L'évapotranspiration de référence (ET0) .....	29
III.3.2.1. Calcul de l'évapotranspiration de référence .....	29
III.3.2.2. Formule Modifiée de Penman_Monteith.....	30
III.3.2.3. Estimation des coefficients culturaux (Kc) .....	31
III.3.3. Le type de sol.....	32
III.3.3.1. Le triangle de texture du sol .....	32
III.3.4. Calcul de la pluie efficace.....	33
III.3.5. Calcul de la réserve en eau du sol .....	33
III.3.6. Estimation des besoins en eau des agrumes .....	34
III.3.7 Etude du stockage d'eau.....	35
III.4. Choix et dimensionnement de la pompe.....	36
III.4.1. Choix de la pompe graphiquement .....	36
III.4.2. Choix de la pompe Analytiquement.....	37
III.4.3. Choix de la pompe par le logiciel PVsyst.....	38
III.5. Dimensionnement du champ photovoltaïque.....	38
III.6. Installation de système .....	40

#### **Chapitre IV : Etude économique**

Introduction .....	42
IV.1. Coût d'investissement .....	43
Conclusion .....	45
CONCLUSION GÉNÉRALE .....	46
REFERENCES.....	48
ANNEXES .....	50

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1 : Les différents cultures dans le verger. ....	26
Tableau III.2 : Les valeurs du coefficient cultural (Kc).....	31
Tableau III.3 : La texture du sol. ....	32
Tableau III.4 : Calcul des besoins en eau pour les agrumes. ....	34
Tableau III.5 : La durée d'irrigation. ....	34
Tableau IV.6 : Les coûts d'investissement.....	43

## LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Les trois composantes du rayonnement incident sur le capteur.....	6
Figure I.2 : répartition spectrale du rayonnement solaire. ....	7
Figure I.3 : Alexandre-Edmond Becquerel.....	7
Figure I.4 : Principe de fonctionnement d'un cellule PV.....	8
Figure I.5 : cellule monocristalline. ....	8
Figure I.6 : cellule polycristallin.....	9
Figure I.7 : cellule amorphe. ....	9
Figure I.8 : Les Méthodes d'irrigation. ....	11
Figure I.9 : irrigation par goutte à goutte.....	12
Figure I.10 : irrigation par goutte à goutte systèmes de surface. ....	13
Figure I.11 : Irrigation par goutte à goutte systèmes souterrains. ....	13
Figure I.12 : Irrigation goutte à goutte mobile. ....	14
Figure II.1 : schéma explicative générale du pompage solaire. ....	19
Figure II.2 : pompe centrifuge.....	21
Figure II.3 : pompe volumétrique. ....	21
Figure II.4 : schéma du pompage solaire.....	23
Figure III.1 : une photo satellitaire du verger. ....	27
Figure III.2 : une schéma explicative du verger. ....	28
Figure III.3 : Photo réel du champ PV installer dans le verger. ....	28
Figure III.4: Evapotranspiration de référence ET <sub>0</sub> calculée par le logiciel COPWAT.	31
Figure III.5 : Le triangle de la texture du sol.....	32
Figure III.6 : Précipitations par mois de la ville de Bouguara. ....	33
Figure III.7 : schéma de l'installation goutte à goutte. ....	35
Figure III.8 : Le réservoir. ....	36
Figure III.9 : graphe de la pompe choisie.....	37
Figure III.10 : schéma explicative de le HMT.....	37
Figure III.11 : Résultat depuis le logiciel PVsyst. ....	38
Figure III.12 : La fiche technique. ....	39
Figure III.13 : Schéma de module.....	39

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Au cours des dernières années, la consommation mondiale d'énergie a été étroitement liée au développement de l'industrie. Environ 68 % [5] de la production mondiale d'énergie provient de ressources non renouvelables telles que le pétrole, le charbon, le gaz naturel et l'énergie nucléaire. Cependant, des études et des prévisions récentes nous alertent sur l'épuisement inévitable de ces réserves et les conséquences néfastes sur l'environnement, notamment la pollution et le réchauffement climatique dû à l'effet de serre, Cette menace compromet sérieusement l'avenir de l'humanité. Il devient donc urgent de maîtriser notre consommation énergétique, de diversifier nos sources d'énergie et de promouvoir les énergies renouvelables.

Parmi les sources des énergies renouvelables, l'énergie solaire photovoltaïque offre un potentiel important. Elle est propre, silencieuse, inépuisable, gratuite et disponible sur une grande partie de la planète. De plus, sa durée de vie peut atteindre environ 30 ans selon les experts. À l'échelle mondiale, la production d'énergie solaire photovoltaïque atteint déjà plusieurs gigawatts et elle pourrait devenir la principale source d'énergie électrique. Elle est particulièrement adaptée aux sites non raccordés au réseau électrique centralisé et aux pays en développement, ainsi qu'aux pays développés. Son installation et sa maintenance sont flexibles et faciles, ce qui en fait la solution technique et économique la plus appropriée.

En Algérie, l'eau constitue un défi majeur en raison de la croissance démographique rapide et des besoins croissants liés au bien-être et au développement économique ainsi que le secteur agricole (l'élevage et irrigation) et pour l'industrie.

Les agriculteurs ont longtemps utilisé des pompes à essence et diesel pour irriguer leurs cultures, mais ces méthodes ont des coûts élevés en termes de combustibles et d'entretien, ainsi qu'une empreinte carbone importante.

Le pompage solaire est une technologie relativement nouvelle dans le monde de l'agriculture, en utilisant l'énergie du soleil pour pomper de l'eau des puits ou des réservoirs. L'utilisation de systèmes de pompage solaire photovoltaïque en Algérie s'avère être une solution fiable et pratique pour l'exhaure de l'eau, en particulier dans les zones isolées. Cette source d'énergie est abondante. De plus, de nombreuses localités agricoles rurales en Algérie sont éloignées du réseau électrique conventionnel, et l'exploitation de l'énergie solaire photovoltaïque permettrait de fournir de l'électricité à ces sites sans avoir à construire de nouvelles lignes électriques, ce qui nécessiterait généralement d'importants investissements.

De plus, l'intensité maximale du rayonnement solaire correspond souvent à la période de besoins en eau les plus importants.

Un système d'irrigation goutte à goutte est un autre élément important de l'agriculture durable. Cette méthode permet aux agriculteurs de distribuer l'eau directement à la racine des plantes, Cela réduit le gaspillage d'eau et peut améliorer la croissance des plantes.

Lorsque ces deux technologies sont combinées, le résultat est un système solaire d'irrigation durable.

L'étude dans ce mémoire est dans un institut qui possède un système d'irrigation solaire, mais il est insuffisant et ne répond pas aux besoins du verger car il a été installé comme prototype (dimensionnement non définitif).

En fonction de la consommation actuelle du verger en eau et en électricité, nous serons en mesure à l'issue de cette étude de déterminer avec précision le bénéfice tiré de l'utilisation du système d'irrigation goutte à goutte par le système solaire. Et essayer de trouver une règle générale pour différents types de cultures.

Le mémoire est divisé en quatre chapitres Le premier chapitre présente un état de l'art dans le domaine étudié et quelques généralités sur l'énergie solaire et les différentes techniques d'irrigation. Le deuxième chapitre présente une revue bibliographique détaillée des systèmes de pompage photovoltaïque, ainsi que des informations sur les différents types de systèmes de pompage photovoltaïque et leurs composants principaux. Le troisième chapitre aborde une présentation de la zone d'étude, une définition de son périmètre agricole en exposant tous les paramètres nécessaires à la conception et au dimensionnement de notre système d'irrigation et le dimensionnement d'un système de pompage solaire photovoltaïque en décrivant les étapes à suivre. Enfin, le quatrième chapitre se concentre sur l'étude économique et la comparaison.

# Chapitre I

Généralité

## **Introduction**

L'Algérie, en tant que pays riche en ressources naturelles, s'efforce activement de développer des solutions énergétiques durables pour répondre à ses besoins croissants en énergie, tout en modernisant son secteur agricole. Dans ce contexte, les énergies renouvelables, et en particulier les systèmes photovoltaïques, jouent un rôle crucial. Ces technologies offrent une alternative prometteuse en matière d'électricité verte et ouvrent la voie à des applications agricoles innovantes, telles que le pompage solaire pour l'irrigation goutte à goutte. Dans ce chapitre, nous explorerons les différents types de cellules et de systèmes photovoltaïques. Nous mettrons en évidence de l'importance de ces systèmes pour le développement durable de l'agriculture, en permettant une utilisation efficace de l'eau et en réduisant l'empreinte environnementale de l'irrigation. De plus, nous examinerons les avantages et les défis de systèmes d'irrigation goutte à goutte, tout en soulignant leur contribution potentielle à la promotion de pratiques agricoles durables en Algérie.

### **I.1. Le rayonnement solaire et son potentiel en Algérie**

Le rayonnement solaire est la source d'énergie à la base de la technologie photovoltaïque. Le soleil émet un rayonnement électromagnétique, composé de photons, qui se déplace dans l'espace à une vitesse de 299 792 km/s [1]. Ce rayonnement se compose de différentes longueurs d'onde, allant de 0,22  $\mu\text{m}$  à 10  $\mu\text{m}$ . La quantité de rayonnement solaire qui atteint la Terre dépend de nombreux facteurs, tels que l'heure de la journée, la saison, la latitude et la couverture nuageuse.

En Algérie, le potentiel solaire est élevé, en raison de son emplacement géographique dans une zone caractérisée par un ensoleillement abondant. Selon l'Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE), le pays dispose d'un potentiel solaire moyen annuel de 2 244 kWh/m<sup>2</sup>/an [1]. Ce potentiel est encore plus élevé dans les régions du sud, où l'ensoleillement est plus important. Cette abondance d'énergie solaire représente une opportunité pour le développement de la technologie photovoltaïque en Algérie, en particulier dans le cadre de la transition énergétique vers une économie plus durable. Cependant, malgré ce potentiel, l'utilisation de l'énergie solaire reste encore limitée en Algérie, et des efforts supplémentaires sont nécessaires pour exploiter pleinement cette ressource naturelle.

#### **I.1.1. La trajectoire apparente du soleil**

Lorsqu'on se trouve sur la surface de la Terre, la trajectoire apparente du soleil varie en fonction de la latitude et de la longitude du lieu d'observation. Autrement dit, la position du soleil dans le ciel dépend de l'emplacement géographique de l'observateur. [2]

**La latitude** : est l'angle  $\theta$  que fait la verticale du lieu avec le plan équatorial :

Si  $\theta > 0$ , le site se trouve dans l'hémisphère nord

Si  $\theta < 0$ , il est dans l'hémisphère sud.

Si  $\theta = 0$ , le site se trouve à l'équateur. [2]

**La longitude** : est l'angle  $\varphi$  formé par deux plans méridiens passant par l'axe des pôles, l'un étant pris pour origine (méridien de Greenwich), et l'autre déterminé au lieu considéré. A tout écart de  $1^\circ$  de longitude correspond à un écart de 4mn de temps. La longitude  $\varphi$  est comprise entre  $-180^\circ$  et  $+180^\circ$ . [2]

**L'altitude** : correspond à la distance verticale  $d$ , exprimé en mètres, séparant le point considéré du relief terrestre du niveau de la mer, pris comme surface de référence. [2]

### I.1.2. Le rayonnement hors atmosphère

En première approximation, on peut considérer que l'énergie du rayonnement qui se propage hors de l'atmosphère suit la loi du rayonnement du corps noir. Cette loi indique que l'énergie augmente pour des longueurs d'ondes courtes, c'est-à-dire que plus la température de l'émetteur est élevée, plus son rayonnement est énergétique, et la longueur d'onde correspondant à l'émission la plus intense diminue. La température de surface du soleil est estimée à  $5760^\circ\text{C}$ . Le flux énergétique provenant de cette étoile et intercepté par la Terre dans un angle solide donné est appelé la "constante solaire" et est égal à  $E_0 = [\text{valeur numérique à insérer}]$ . [3]

### I.1.3. Le rayonnement perçu au sol

L'énergie solaire qui se propage en ligne droite vers notre planète ne peut pas atteindre la surface terrestre dans son intégralité. En effet, cette énergie subit des transformations lorsqu'elle traverse l'atmosphère en raison de l'absorption et de la diffusion. L'atmosphère terrestre est principalement composée d'azote (78%) et d'oxygène (21%), mais elle contient également de l'argon, du dioxyde de carbone, de la vapeur d'eau ainsi que la couche d'ozone qui joue un rôle de filtre contre les rayons ultraviolets. Les particules en suspension dans l'air, telles que la poussière et la fumée, entraînent également une variation spectrale. En revanche, les nuages, qui sont formés de minuscules gouttelettes d'eau, sont importants dans la diffusion du rayonnement solaire. [4]

#### I.1.3.1. Le rayonnement direct

Il s'agit d'une fraction du rayonnement solaire qui est reçue directement, sans avoir été diffusée par l'atmosphère. Ces rayons sont parallèles entre eux et peuvent être collectés par des systèmes optiques à concentration. Cette partie directe du rayonnement est accessible sans avoir à la filtrer à travers les différents composants de l'atmosphère. [4]

### I.1.3.2. Le rayonnement diffus

Il s'agit de la lumière qui est diffusée par l'atmosphère, comprenant l'air, la nébulosité et les aérosols. La diffusion est un phénomène qui divise un faisceau parallèle en plusieurs faisceaux se propageant dans toutes les directions. Ainsi, la lumière diffusée n'a pas d'orientation particulière et ne peut pas être concentrée à l'aide de lentilles optiques. [5]

### I.1.3.3. Le rayonnement réfléchi (L'albédo)

C'est la partie du rayonnement solaire qui est réfléchi par le sol et qui dépend de l'environnement du site. Par exemple, la neige réfléchit énormément de rayons lumineux. Par conséquent, le rayonnement qui atteint le sol est constitué d'au moins deux composantes : une composante diffuse et une composante directe. Ensemble, elles forment le rayonnement global qui est pris en compte pour évaluer le rendement des cellules solaires. **Voir la figure I.1.** Le rayonnement solaire global reçu au niveau du sol est donné en fonction de l'épaisseur atmosphérique effectivement traversée (Air Mass  $x$ ,  $AMx$ ) par rapport à l'épaisseur normalisée à 1 ( $x = 1$ ) pour un soleil au zénith (Air Mass one,  $AM1$ ). [6]

**I.1.3.4. Le nombre d'air-masse :** On appelle masse d'air ou Air Mass en anglais, le rapport entre l'épaisseur d'atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol et l'épaisseur traversée à la verticale du lieu. [6]

**I.1.3.5. Le spectre solaire :** Le spectre du soleil est la distribution spatiale en fonction de la longueur d'onde ou de la fréquence du rayonnement électromagnétique émis par le soleil. [5]

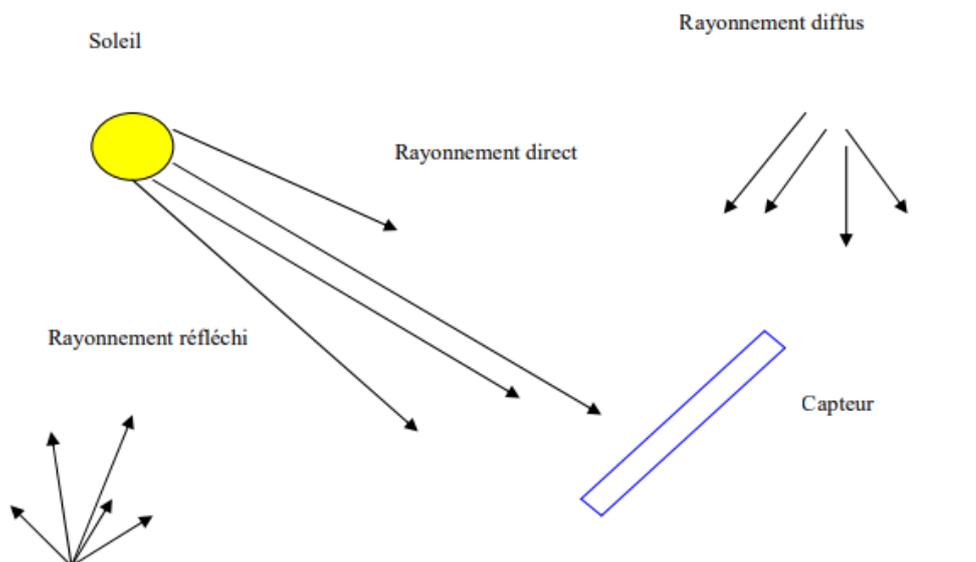


Figure I.1 : Les trois composantes du rayonnement incident sur le capteur [5].

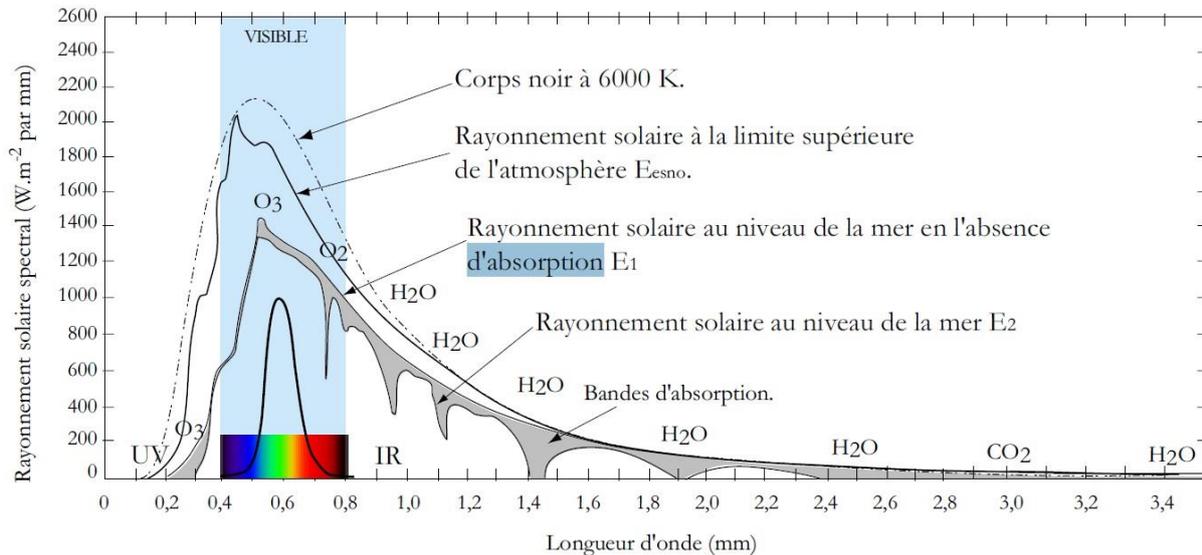


Figure 1.2 : répartition spectrale du rayonnement solaire. [6]

## I.2. Le système photovoltaïque

### I.2.1. L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Alexandre-Edmond Becquerel. Ce phénomène physique se produit dans certains matériaux, tels que les semi-conducteurs, lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Lorsque la lumière pénètre la surface du matériau, elle peut provoquer une excitation des électrons dans le matériau, qui se déplacent ensuite, créant ainsi un courant électrique. Ce courant peut être collecté à l'aide de contacts métalliques situés sur la surface du matériau et utilisé pour alimenter des charges externes, telles que des appareils électroniques. [7]

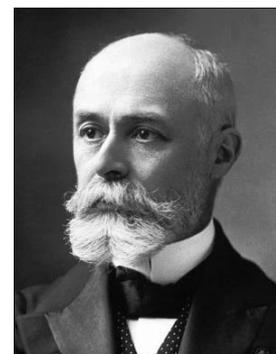


Figure 1.3 : Alexandre-Edmond Becquerel. [7]

### I.2.2. Les différents types de cellules photovoltaïques

Les cellules solaires photovoltaïques sont des dispositifs qui utilisent l'effet photovoltaïque pour convertir l'énergie solaire en électricité. Elles sont constituées d'un matériau semi-conducteur (généralement du silicium) qui est dopé avec des impuretés pour créer des régions p et n, créant ainsi une jonction p-n. Lorsque la lumière frappe la cellule solaire, les électrons dans la région p sont excités et se déplacent vers la région n, créant ainsi une différence de potentiel électrique entre les deux régions. Cette différence de potentiel peut être utilisée pour générer un courant électrique en connectant la cellule solaire à un circuit électrique externe. [7]

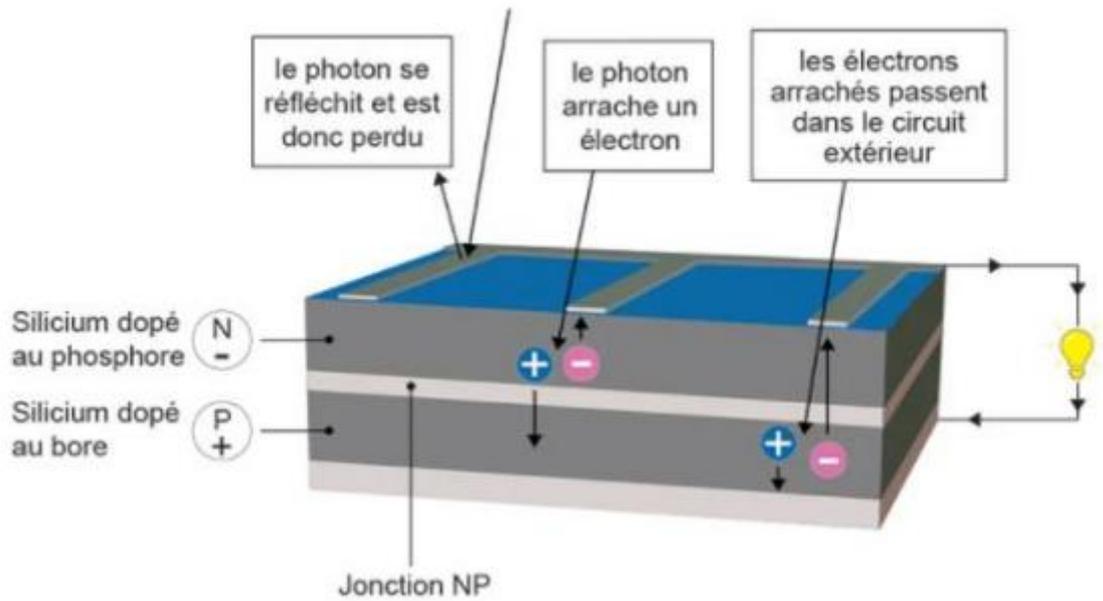


Figure I.4 : Principe de fonctionnement d'un cellule PV. [16]

**I.2.2.1 Les cellules Monocristallines** : Les cellules solaires monocristallines sont fabriquées à partir d'un seul cristal de silicium pur, ce qui leur confère une structure uniforme et régulière. Cette structure cristalline permet aux électrons de se déplacer plus facilement, ce qui se traduit par un rendement élevé. Les cellules monocristallines ont également un aspect uniforme et lisse, avec une couleur sombre caractéristique. Cependant, la production de cellules monocristallines est plus coûteuse car elle nécessite un processus de fabrication plus complexe et un matériau de départ plus pur. De plus, la forme carrée ou rectangulaire des cellules monocristallines ne permet pas d'optimiser l'espace disponible sur les panneaux solaires, ce qui peut être un inconvénient pour les installations où l'espace est limité. [8]

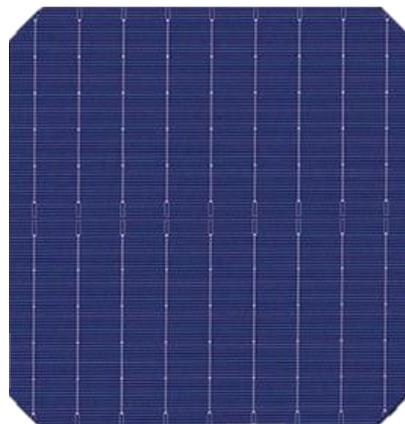


Figure I.5 : cellule monocristalline.

### I.2.2.2. Les cellules Polycristallins

Les cellules photovoltaïques polycristallines sont fabriquées à partir de lingots de silicium fondus, qui sont ensuite refroidis et solidifiés pour former des plaquettes. Contrairement aux cellules monocristallines, les plaquettes de silicium polycristallines ne sont pas découpées dans un seul cristal, mais plutôt dans un bloc de silicium avec des cristaux multiples. Cette méthode de production est moins coûteuse que celle des cellules monocristallines, car elle permet d'utiliser plus efficacement le matériau de base et nécessite moins de temps et d'énergie pour produire des plaquettes. Les cellules photovoltaïques polycristallines ont une apparence granuleuse avec une couleur bleu foncé. Elles ont également un rendement légèrement inférieur à celui des cellules monocristallines, généralement compris entre 15% et 18%. Cependant, elles sont également moins chères à produire et ont une meilleure résistance aux dommages causés par les chocs et les vibrations. [9]



Figure I.6 : cellule polycristallin. [20]

### I.2.2.3. Les cellules amorphes

Le silicium amorphe est un matériau apparu en 1976. Contrairement au silicium cristallin, sa structure atomique est désordonnée mais cristallisée. Il a l'avantage d'avoir un coefficient d'absorption supérieur à celui du silicium cristallin, mais il perd en revanche en mobilité des charges électriques, ce qui entraîne un faible rendement de conversion. Malgré cela, sa production coûte bien moins cher que celle du silicium cristallin. Le rendement de conversion des modules en silicium amorphe est seulement de 5 %, tandis qu'il atteint 14 % en laboratoire. Il peut également fonctionner sous un éclairage très faible. [9]



Figure I.7 : cellule amorphe.[20]

### **I.2.3 Les différents types de systèmes photovoltaïques**

Les systèmes photovoltaïques sont des systèmes qui convertissent l'énergie solaire en énergie électrique utilisable. Il existe différents types de systèmes photovoltaïques qui sont adaptés à différents besoins et applications. Parmi ces types de systèmes, on peut citer les systèmes photovoltaïques autonomes, les systèmes photovoltaïques raccordés au réseau, les systèmes hybrides photovoltaïques. Chacun de ces types de systèmes a des caractéristiques et des avantages différents qui les rendent adaptés à des utilisations spécifiques. [3]

#### **I.2.3.1. Le système autonome (off grid)**

Un système photovoltaïque autonome est un système qui n'est pas connecté au réseau électrique public. Il est généralement utilisé dans des endroits éloignés où il n'y a pas d'accès au réseau, tels que des sites isolés, des bâtiments éloignés ou des zones rurales. Le système est composé de panneaux solaires, d'un régulateur de charge, d'une batterie et d'un onduleur. Les panneaux solaires convertissent la lumière du soleil en électricité, qui est stockée dans la batterie via le régulateur de charge. L'onduleur convertit ensuite l'électricité stockée en courant alternatif utilisable pour alimenter les appareils électriques. Les systèmes photovoltaïques autonomes sont une solution économe et écologique pour l'électrification des zones isolées. [3]

#### **I.2.3.2. Le système raccordé au réseau (On grid)**

Un système solaire connecté au réseau est un système photovoltaïque qui est raccordé au réseau électrique public. Il permet de produire de l'électricité grâce à l'énergie solaire et d'injecter le surplus dans le réseau. Cela permet de réduire la consommation d'énergie provenant du réseau et de générer des économies sur la facture d'électricité. Les systèmes connectés au réseau peuvent être de différentes tailles et peuvent être installés sur les toits des bâtiments ou sur des terrains. [7]

#### **I.2.3.3. Le système hybride**

Le système solaire hybride combine deux sources d'énergie différentes pour alimenter un même système électrique. En général, il combine une installation solaire photovoltaïque avec un système de stockage de batterie et une source d'énergie alternative, comme un groupe électrogène ou une connexion au réseau électrique. Le but est de maximiser l'utilisation de l'énergie solaire tout en garantissant une alimentation continue en cas de mauvaises conditions météorologiques ou de besoins énergétiques élevés. Ce type de système est souvent utilisé dans des zones isolées ou dans des zones sujettes à des coupures de courant fréquentes. [9]

### **Partie II :**

Dans le présent mémoire on s'intéresse à une application du bibliographique à l'irrigation :

### I.3. Généralité sur l'irrigation

L'irrigation est un processus dont l'objectif principal est de fournir de l'eau au sol pour assurer une croissance optimale des plantes. Toutefois, cette pratique a également d'autres avantages, tels que la régulation de la température du sol et de l'air ambiant pour créer un environnement favorable à la croissance des plantes. L'irrigation permet également de laver le sol et de se débarrasser des sels accumulés dans la couche supérieure. En outre, arroser la terre avant de la labourer facilite le travail de labour et réduit la force nécessaire pour travailler le sol. Enfin, l'irrigation peut être utilisée pour dissoudre les engrais avec l'eau d'irrigation, ce qui améliore l'efficacité de leur utilisation. [10]

#### I.3.1. Méthodes d'irrigation

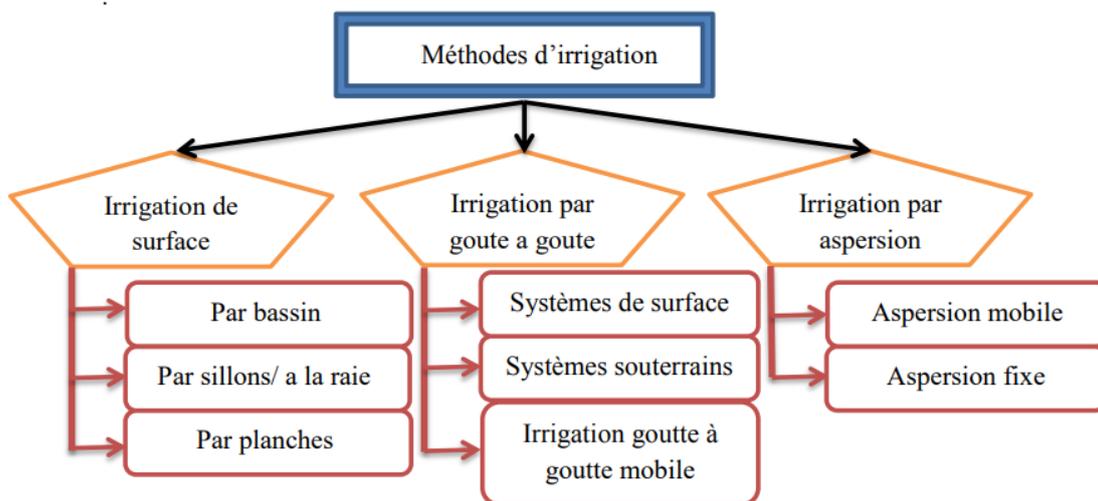


Figure I.8 : Les Méthodes d'irrigation. [15]

**I.3.1.1. L'irrigation de surface :** L'irrigation de surface est une technique d'arrosage qui consiste à distribuer l'eau à la parcelle par simple écoulement à la surface du sol, sans l'utilisation de dispositifs particuliers. Cette méthode utilise les propriétés hydriques du sol et la topographie du terrain pour répartir l'eau de manière optimale. Elle est également connue sous le nom d'irrigation traditionnelle, car elle était largement utilisée avant le développement de techniques plus modernes. Les canaux ouverts étaient alors utilisés pour transporter l'eau jusqu'aux cultures. [11]

**I.3.1.2. L'irrigation par aspersion :** L'irrigation par aspersion est une méthode d'irrigation qui consiste à apporter de l'eau aux cultures sous une forme similaire à la pluie naturelle. L'eau est pompée sous pression et distribuée via un réseau de canalisations. Des rampes d'arrosage équipées d'asperseurs projettent de l'eau sous forme de jet qui se répartit en gouttelettes sur le sol. Le choix des dispositifs de pompage et des asperseurs, ainsi que la gestion appropriée de l'eau, visent à garantir une répartition uniforme de l'eau d'irrigation. Cette technique a été initialement utilisée pour l'irrigation des jardins au début du XXe siècle, avant d'être adaptée pour l'irrigation des cultures en plein champ et sous serres. Après la Seconde Guerre mondiale, l'irrigation par aspersion a connu un essor considérable. [12]

### I.3.1.3. L'irrigation par goutte à goutte

L'irrigation par goutte à goutte, également appelée micro-irrigation, est une méthode qui consiste à distribuer l'eau en gouttelettes sur la surface du sol à un débit faible (de 2 à 20 litres par heure). Les conduites d'eau en plastique sont équipées de petits orifices appelés goutteurs, qui diffusent l'eau au voisinage immédiat des plantes. Cette méthode d'irrigation permet de limiter l'humidification à la zone racinaire des plantes, ce qui rend son utilisation plus efficace que les méthodes d'irrigation de surface ou par aspersion, où l'humidification concerne l'ensemble du sol sous la plantation. Avec l'irrigation par goutte à goutte, la fréquence des arrosages est généralement plus élevée que pour les autres méthodes (généralement tous les 1 à 3 jours), ce qui maintient une humidité constante du sol, favorable à la croissance des cultures. [12]



*Figure I.9 : irrigation par goutte à goutte.[15]*

### I.3.2. Type d'irrigation par goutte à goutte

**I.3.2.1. Système de surface :** c'est l'un des systèmes dans lesquels des lignes de goutteurs sont placées à la surface du sol et sont utilisées dans des plantes distantes telles que les arbres fruitiers. Ces systèmes se caractérisent par une installation, une inspection, un entretien et une désinfection faciles des goutteurs. De plus nous avons, avec ce système, la possibilité de remarquer la formation d'humidité sur la surface du sol et de mesurer les niveaux d'alimentation des goutteurs. [15]



Figure I.10 : irrigation par goutte à goutte systèmes de surface.[16]

**I.3.2.2. Systèmes souterrains** : c'est l'un des systèmes dans lesquels les canalisations sur les quelles sont installer les goutteurs, ou les tubes des goutteurs sont enterrés sous la surface du sol. Ces goutteurs peuvent être utilisés pour irriguer les légumes dans les serres et certains arbres fruitiers. Les systèmes de goutte à goutte souterrains sont caractérisés par l'absence de pertes résultant de l'évaporation, et une température réduite des tubes et des goutteurs ; parce qu'ils ne sont pas exposés au soleil. Cela procure une grande humidification du sol. D'autres parts les risques causés par les rongeurs et les humains sont réduits. La facilité d'installation des lignes en début de saison et la facilité de déplacement des lignes à la fin de la saison agricole des systèmes souterrains sont également un autre avantage. Le problème le plus important de ce type de système est le blocage causé par les particules de sol ou les racines des plantes. Mais ce problème peut être partiellement surmonté. [15]



Figure I.11 : Irrigation par goutte à goutte systèmes souterrains.[18]

### **I.3.2.3. Irrigation goutte à goutte mobile**

Ce système combine les avantages de l'irrigation par aspersion mobile, qui offre la flexibilité et la mobilité, avec les avantages de l'irrigation par goutte à goutte, qui garantit une distribution précise et homogène de l'eau tout en économisant l'eau d'irrigation et en réduisant les pertes par évaporation. L'irrigation par goutte à goutte mobile utilise les installations d'irrigation par aspersion axiale ou à déplacement droit, où les arroseurs sont remplacés par des tubes flexibles scellés avec des goutteurs. Ce système est moins coûteux que l'irrigation par goutte à goutte traditionnelle pour les cultures lourdes. Dans la conception des systèmes d'irrigation par goutte à goutte mobiles sur un dispositif coaxial, le taux de disposition des goutteurs doit augmenter linéairement avec l'augmentation du rayon pour assurer une irrigation uniforme. [14]



*Figure I.12 : Irrigation goutte à goutte mobile.[19]*

### **Avantages de l'irrigation par goutte à goutte**

- L'économie de l'eau.
- Arrosage localisé : arrosage au plus proche des racines.
- Gain du temps d'arrosage (par programmeur ou un simple robinet).
- Arrosage au ras du sol : on évite le mouillage des feuilles (pas de maladies cryptogamiques).
- Arrosage racinaire : on évite la pousse des adventifs (mauvaises herbes).
- Arrosage à basse pression (gravitation).
- Région ventée : l'arrosage par aspersion ne donne pas l'eau là où il faut (grande diffusion de l'eau par le vent).

## Inconvénients de l'irrigation par goutte à goutte

- Goutteurs qui se bouchent : l'eau des puits contenant des impuretés ou par le calcaire de l'eau.
- Il faut un système de filtrage (augmentation dans le coût).
- Prix d'installation de système goutte à goutte élevé.
- Temps d'installation : grand.
- La durée de vie est courte (au bout de 5 ans il faut changer le système).
- Pour les rotations des parcelles, il faut refaire l'installation.
- Nécessite des techniciens qualifiés.

Nous présentons maintenant les différentes contributions concernant le pompage solaire pour l'irrigation trouvé dans la littérature :

- En 2008, **Mohamed Lakhdar LOUAZENE** a réalisé une étude portant sur les aspects techniques et économiques d'une installation de pompage d'eau utilisant l'énergie solaire photovoltaïque pour l'irrigation dans la Wilaya de Ouargla [21].

L'auteur a commencé par fournir des explications générales sur le potentiel solaire et a abordé quelques notions fondamentales d'astronomie. Il a également traité de l'importance de l'inclinaison des panneaux solaires sur la quantité d'énergie collectée.

Par la suite, il a présenté les caractéristiques principales et les technologies des composants d'un générateur photovoltaïque. Ensuite, l'auteur a abordé les aspects théoriques de l'installation, ce qui a permis de dimensionner et de mettre en œuvre un système de pompage photovoltaïque fonctionnant selon la méthode dite "au fil de soleil" pour l'irrigation d'un hectare de palmiers.

Enfin, une étude comparative technico-économique entre les deux sources d'énergie pour le pompage d'eau, à savoir le groupe électrogène classique et le générateur solaire photovoltaïque, a été réalisée afin de mieux comprendre les avantages et les inconvénients de chaque source. Cette étude comparative a permis de mettre en évidence les différences entre les deux approches sur le plan technique et économique. [21]

- En 2012, L'étude réalisée par **Lary LIGRING** [7]

Elle porte sur la mise en place d'un système de pompage solaire pour irriguer neuf hectares en utilisant l'irrigation goutte à goutte à Seheba au Tchad. L'objectif de cette étude est de proposer une solution économiquement viable pour augmenter la production agricole. De plus, cette étude vise à évaluer la possibilité de généraliser cette approche à l'ensemble du Tchad et à proposer une analyse institutionnelle pour sa mise en œuvre à grande échelle. Dans un premier temps, toutes les données techniques relatives au potentiel énergétique et à la disponibilité en eau (eau de surface, nappe souterraine) ont été recensées sur le site.

Ensuite, une analyse et un dimensionnement de chaque composant du système de pompage solaire photovoltaïque ont été réalisés pour le champ de neuf hectares

utilisant l'irrigation goutte à goutte. Les résultats ont conduit à la sélection de 26 modules photovoltaïques de 256W et 12V, d'une pompe centrifuge PS4000 C-SJ17-4 d'une puissance de 3,5 kW, et d'un réservoir d'eau d'une capacité de 90 m<sup>3</sup>. Une évaluation de la rentabilité économique de cette installation de pompage solaire a été effectuée en utilisant la méthode de la valeur actuelle nette (VAN) et le taux de rendement interne (TRI).

Les résultats de cette analyse démontrent que ce projet enrichit économiquement son investisseur. Cette étude met en évidence les avantages économiques de l'utilisation de systèmes de pompage solaire photovoltaïque et constitue une base solide pour envisager la généralisation de cette approche dans d'autres régions agricoles du Tchad. [7]

- En 2017, **Lafia Seidou Imorou** [22] fait une étude concerne le dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque dans les zones rurales du Bénin.

L'objectif de ce travail est d'améliorer l'accès à l'eau potable dans les zones rurales. L'étude se concentre sur la localité d'ADJAKPATA en tant que lieu pilote du projet. Dans cette localité, malgré la disponibilité de l'eau dans le forage, l'approvisionnement en eau potable par le système hydraulique villageois existant présente un débit d'exploitation faible et ne parvient pas à répondre à la demande de la population.

Pour atteindre cet objectif, les chercheurs ont d'abord effectué une recherche documentaire sur le sujet. Ensuite, ils ont mené une enquête et des entretiens auprès de la collectivité locale chargée de la gestion du système hydraulique villageois de la localité, afin de recueillir les données nécessaires pour évaluer les besoins en eau et tenir compte de l'opinion des populations dans la réalisation du système de pompage photovoltaïque. Par la suite, ils ont présenté l'approche analytique adoptée pour dimensionner le système de pompage photovoltaïque et le réseau de distribution d'eau pour la localité d'Adjakpata.

L'analyse économique a permis d'évaluer les coûts associés à l'installation du système de pompage alimenté par l'énergie solaire photovoltaïque, notamment les coûts d'investissement, de renouvellement, d'entretien et de maintenance. Le coût par mètre cube d'eau obtenu avec le système photovoltaïque est de 84 FCFA, tandis que la population de la localité étudiée paie 400 FCFA pour la même quantité d'eau avec le système existant. Cette comparaison indique que le système de pompage d'eau alimenté par l'énergie solaire photovoltaïque est la meilleure solution énergétique et la plus économique en termes de coût par mètre cube d'eau pour la localité d'étude.[22]

## **Conclusion**

En conclusion, ce chapitre nous a permis d'explorer les systèmes photovoltaïques en tant que solution prometteuse pour répondre aux besoins énergétiques croissants de l'Algérie, tout en modernisant son secteur agricole. Nous avons examiné les principes de fonctionnement des cellules photovoltaïques, les différents types de cellules disponibles sur le marché, ainsi que les technologies de panneaux photovoltaïques. Nous avons également souligné les avantages et les inconvénients de l'irrigation goutte à goutte. De plus, nous avons mis en évidence l'importance de l'intégration des systèmes photovoltaïques dans l'irrigation goutte à goutte, en permettant une utilisation efficace de l'eau et en réduisant l'empreinte environnementale de l'agriculture. Les systèmes photovoltaïques offrent ainsi une contribution significative au développement durable de l'agriculture en Algérie, favorisant des pratiques agricoles plus durables et soutenant la sécurité alimentaire.

# Chapitre II

Le pompage solaire

## Introduction

Le présent chapitre est consacré à une étude approfondie du système de pompage PV. Cette étude se focalise sur le fonctionnement du système et l'exploration des diverses techniques utilisées dans ce domaine. Cette exploration nous permettra d'acquérir une compréhension approfondie des aspects techniques, des composants clés, des applications spécifiques et des défis potentiels liés aux systèmes de pompage photovoltaïque.

### II.1. Description générale du principe de fonctionnement du système de pompage solaire

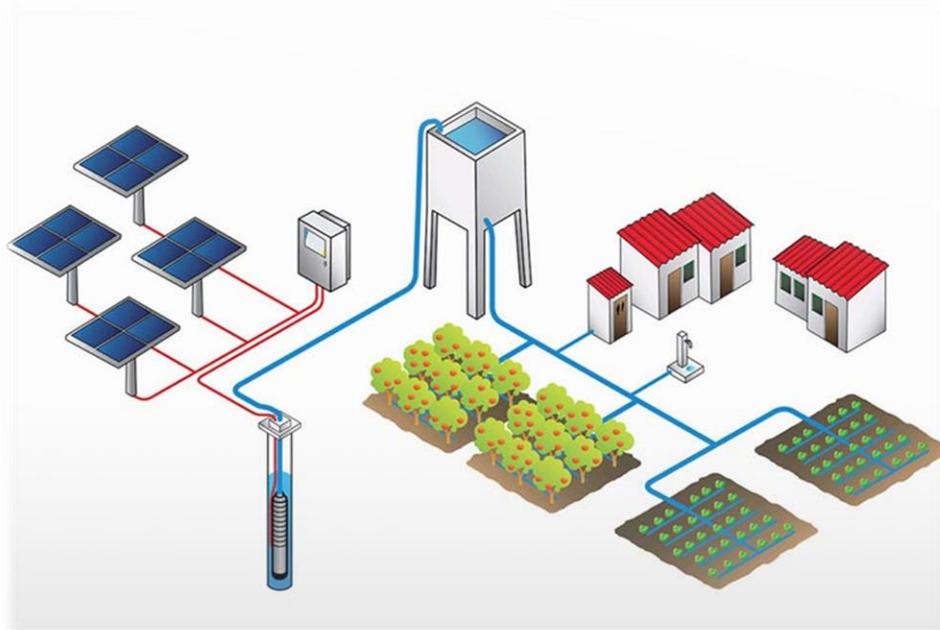


Figure II.1 : schéma explicative générale du pompage solaire. [20]

La différence entre un système de pompage solaire et un système de pompage conventionnel (classique) est l'utilisation de panneaux photovoltaïques, d'un convertisseur et d'une pompe adéquate. Selon les conditions d'utilisation, les pompes peuvent être de type surfacique (volumétriques) ou immergées (centrifuges).

Les panneaux solaires photovoltaïques génèrent de l'énergie électrique sous forme de courant continu qui est ensuite converti en courant alternatif par un convertisseur statique. Ce courant est utilisé pour alimenter un groupe moto-pompe, qu'il soit immergé ou flottant. Le groupe moto-pompe est composé d'un moteur à courant alternatif 'monophasé, biphasé ou triphasé' ou d'un moteur à courant continu

à commutation électronique qui est couplé à une pompe centrifuge à plusieurs étages, une pompe volumétrique ou un autre type de pompe en fonction du débit souhaité.

Dans une pompe centrifuge, l'énergie cinétique du moteur est transmise au fluide par un mouvement de rotation des roues à aubes. Alors que dans une pompe volumétrique, l'énergie du moteur est transmise par un mouvement hélicoïdal, permettant ainsi de propulser l'eau à la surface.

Les systèmes de pompes solaires sont composés de modules photovoltaïques montés sur un châssis de support incliné en fonction de la latitude du site afin d'optimiser la production photovoltaïque, il peut également être monté sur un support rotatif pour suivre la course du soleil (trackeur solaire). Le dispositif est complété par un convertisseur statique est également installé pour convertir le courant continu produit par les panneaux solaires en courant alternatif (onduleur) ou continu (hacheur) afin d'alimenter le moteur qui est couplé à la pompe.

Le système de pompage peut être à entraînement direct (au fil du jour) ou à l'aide de batteries. Les deux systèmes nécessitent une capacité de stockage d'eau. Le pompage au fil du jour ce fait durant la période d'ensoleillement alors que le système à batterie offre une plus grande plage horaire de pompage (24/24h) ce qui lui correspond une grande consommation électrique. [30]

## **II.2. Les pompes solaires**

Les pompes solaires peuvent être conçues de différentes technologies. Elles peuvent être volumétriques (Shurflo), centrifuges ou hélicoïdales (Lorentz). Elles sont utilisées à des fins diverses telles que le pompage de surface (étangs, lacs, rivières, réservoirs) ou immergé (puits, forage). [20]

La principale caractéristique qui distingue une pompe "solaire" des pompes conventionnelles connectées au réseau 220/380 V AC est sa tension d'alimentation continue, d'un minimum de 12V et 24V à plus de 200V, qui peut être obtenue à l'aide de panneaux solaires ou de batteries. [20]

L'avantage de cette alimentation DC est que nous pourrions ajuster la vitesse de rotation en fonction de l'énergie disponible, permettant de pomper même en ciel ombragé ou en cas de faible tension de la batterie. Aussi, on s'affranchit des pics de courant au démarrage, soit grâce à la technologie, soit via le contrôleur. [20]

## II.2.1. Les types des pompes : Il existe 2 types de pompes :

### II.2.1.1. Pompe centrifuge ou immergée

Les pompes centrifuges tirent parti des changements de vitesse du liquide pompé pour augmenter la pression. L'énergie mécanique du moteur est transférée au liquide, lui donnant une certaine vitesse cinétique. Cette énergie cinétique est ensuite convertie en énergie de pression. [31]

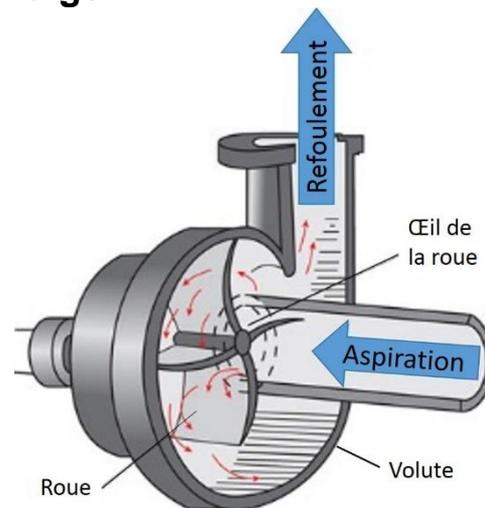


Figure II.2 : pompe centrifuge. [28]

### II.2.1.2. Pompe volumétrique ou surfacique

Les pompes volumétriques, également connues sous le nom de pompes à cavité progressive, utilisent des variations de volume du fluide pompé pour augmenter la pression. Le fluide est aspiré en augmentant le volume, puis refoulé en diminuant ce même volume. [31]

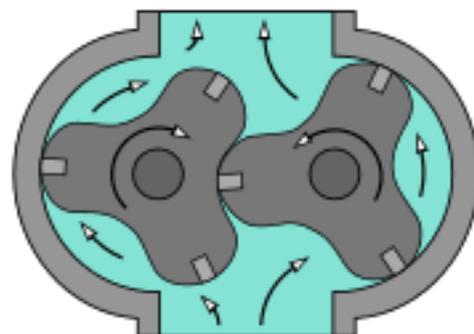


Figure II.3 : pompe volumétrique. [28]

## II.3. Les types de pompage solaire : Il existe 2 types de pompages :

Les pompes peuvent être installées de différentes manières, soit en fonctionnant au fil du soleil (Direct), soit avec une batterie, avec ou sans réservoir de stockage. [29]

**II.3.1. Direct avec un stockage hydraulique :** C'est en fonctionnant au fil du jour, c'est une méthode de pompage solaire qui utilise un réservoir de stockage hydraulique pour stocker l'eau pompée par la pompe solaire pendant la journée. Cette eau peut ensuite être utilisée pendant la nuit ou les périodes de faible ensoleillement. Le réservoir est généralement placé à une altitude supérieure à celle de la zone à irriguer, ce qui permet à l'eau de s'écouler par gravité jusqu'aux champs ou aux installations à irriguer.

L'avantage de ce système est qu'il permet de stocker de l'eau pendant les périodes de forte luminosité et de la distribuer lorsque le soleil n'est pas suffisamment présent pour faire fonctionner la pompe solaire. Cela permet d'avoir un approvisionnement en eau plus constant et plus fiable, même dans les régions où l'ensoleillement est irrégulier.

### **II.3.2. Avec batteries ou sans réservoir de stockage**

La plupart des fabricants ne recommandent pas l'utilisation de pompes avec batterie, sauf si elles sont utilisées, par exemple, en plein champ pour l'abreuvement du bétail. Si la pompe est installée dans une habitation qui a déjà un système photovoltaïque pour d'autres usages, il est avantageux de la faire fonctionner sur le parc de batteries du système pour supprimer le réservoir de stockage qui peut être encombrant et ne fournir qu'une pression limitée à sa hauteur par rapport au sol. [29]

**Remarque :** On se limite au système à entraînement direct.

## **II.4. Notion hydraulique**

**II.4.1. Les besoins d'eau journalière :** c'est la quantité d'eau nécessaire pour une journée d'irrigation ou bien le volume du bassin à remplir.

**II.4.2. Le débit horaire (Q) :** est la quantité d'eau que la pompe est capable de fournir pendant une période de temps donnée. Il est généralement exprimé en m<sup>3</sup>/h ou en L/min. Pour le pompage solaire, le débit est souvent exprimé en m<sup>3</sup>/h.

**II.4.3. La pression utile (Pu) :** C'est le besoin en pression (bars) à l'arrivée du système d'irrigation (ou sortie du réservoir). Pour un réseau domestique, dans une habitation par exemple, la pression utile est en général de 3 bars, il est donc important d'en tenir compte dans le dimensionnement de la pompe. [20]

**II.4.4. La perte de charge ( $\Delta P$ ) :** Correspond aux pertes de pression et de débit provoquées par les frottements de l'eau sur les parois des tuyaux. Cette perte de charge augmente avec la longueur du tuyau et le débit de l'eau qui y circule. Elle est exprimée en pourcentage (%) ou en bars. En général, on considère qu'il y a une perte de 1 bar de pression pour chaque tranche de 10 mètres de dénivelé ou de 100 mètres de tuyau linéaire. [20]

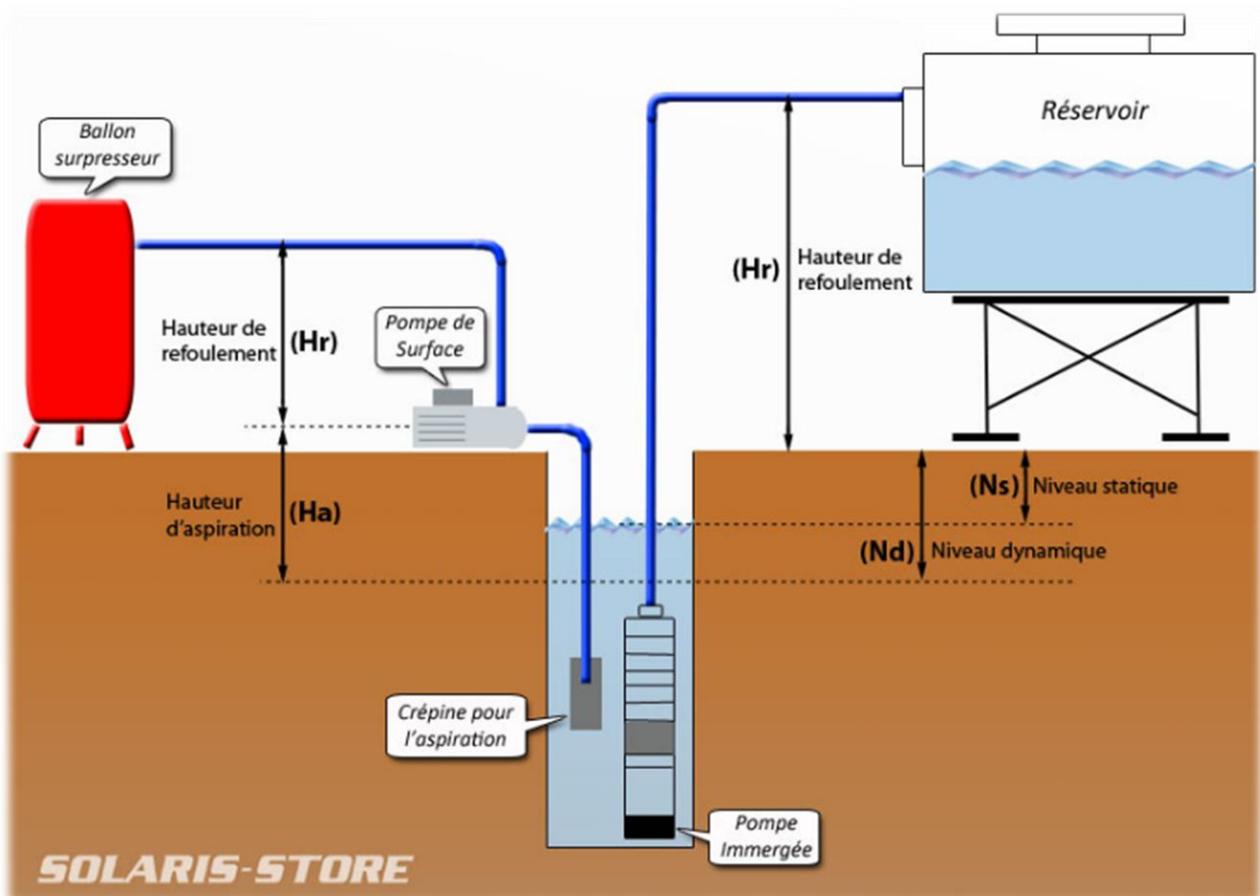


Figure II.4 : schéma du pompage solaire. [20]

**II.4.5. Le niveau statique ( $N_s$ ) :** Correspond à la différence de dénivelé ou d'altitude en mètres (m) entre le niveau d'eau et le sol, lorsqu'il n'y a pas de variations de niveau et que la pompe est arrêtée. [20]

**II.4.6. Le niveau dynamique ( $N_d$ ) :** Correspond à la différence de dénivelé ou d'altitude en mètres (m) entre le niveau d'eau et le sol lorsque la pompe est en marche. Le niveau peut varier, parfois de manière importante, en fonction de la saison (évaporation) et/ou la profondeur du forage. Cette information est généralement fournie par le foreur. [20]

**II.4.7. Le rabattement ( $R$ ) :** C'est la différence entre le niveau dynamique et le niveau statique. [23]

**II.4.8. La hauteur de refoulement (Hr) :** Correspond à la différence de dénivelé ou d'altitude en mètres (m) entre le sol et le point le plus haut de la cuve, du réservoir, du robinet, du surpresseur, ou tout autre point d'arrivée de l'eau. [24]

**II.4.9. La hauteur d'aspiration (Ha) :** Concerne uniquement les pompes de surface et correspond à la différence de dénivelé ou d'altitude en mètres (m) entre le niveau d'eau dynamique et la pompe. [20]

**II.4.10. La HMT (Hauteur Manométrique Totale) :** La Hauteur Manométrique Totale (HMT) correspond à l'ensemble des forces hydrauliques qui s'appliquent à la pompe. Elle est calculée en prenant en compte plusieurs éléments, tels que la Hauteur d'aspiration (Ha), la Hauteur de refoulement (Hr), le Niveau dynamique (Nd), la longueur de tuyau (L), les pertes de charge ( $\Delta P$ ) et la pression utile à l'arrivée (Pu). Tous ces paramètres sont exprimés en mètres (m). L'HMT est une mesure importante dans le dimensionnement de la pompe, car elle permet de déterminer la puissance nécessaire pour répondre aux besoins du système hydraulique.

Pour une pompe de surface :  $H_a + H_r + L + P_u + \Delta P$

Pour une pompe immergée :  $N_d + H_r + L + P_u + \Delta P$

## Conclusion

L'utilisation d'un système de pompage solaire présente de nombreux avantages, notamment la réduction des coûts d'énergie et l'indépendance vis-à-vis du réseau électrique. C'est une solution pratique et économique pour l'approvisionnement en eau dans les zones rurales et/ou isolées. Avec une connaissance approfondie des notions hydrauliques, du choix de la pompe et des différentes composantes du système, il est possible de concevoir et d'installer un système de pompage solaire efficace et fiable.

Le pompage solaire est devenu une alternative écologique et économique pour l'approvisionnement en eau dans les zones rurales et/ou isolées.

# Chapitre III

Dimensionnement et résultats

### III.1. Présentation de la méthode de dimensionnement

Le dimensionnement de notre système solaire vise deux objectifs principaux : la conservation de l'eau et l'économie financière. En d'autres termes, un système photovoltaïque utilisé pour le pompage d'eau dans le cadre d'une irrigation goutte à goutte doit être dimensionné de manière à répondre aux besoins énergétiques requis, tout en étant économiquement avantageux à la fois lors de son installation et lors de sa phase de production. De plus, il doit fonctionner pendant une période raisonnable garantissant son amortissement.

C'est pourquoi, trois (3) phases ont été détectées pour parvenir à un dimensionnement optimal :

Phase 1 : Détermination des besoins en eau du champ à irriguer.

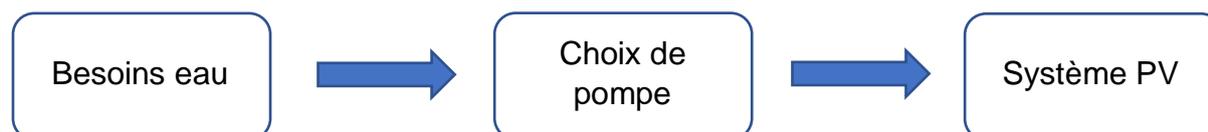
Cela nécessite une connaissance du type de plantes à irriguer, la nature de sol et les données météorologiques (vents, humidités, etc.) ; Un choix sur l'autonomie recherchée doit être fait pour définir une capacité de stockage.

Phase 2 : dimensionnement et choix du type de la pompe.

Cette phase est en fonction de la profondeur du forage, de la hauteur de stockage, du débit de la pompe.

Phase 3 : dimensionnement et montage du système PV.

Ce dimensionnement tient compte (en gros) de la puissance nominale de la pompe et l'ensoleillement du site.



### III.2. Présentation du site

Nous avons choisi comme étude de cas un verger situé à l'Institut National de l'Agriculture à « Bouguara, Wilaya de Blida ». Ce verger couvre une superficie de 1,2 hectares (100\*120 m) et abrite 450 arbres d'agrumes de différentes variétés.

Tableau III.1 : Les différents cultures dans le verger.

verger	superficie	variétés	nombre	observation
Verger agrume	12000 m <sup>2</sup> (100*120)	Orange: Washington Navel	300	(variété + porte greffe)
		Cirtonnier	20	
		Mandarine	15	
		Figuier (variété française)	06	
		Bejaoui	26	
		Nectarine	16	
		Abricotier	02	
		Pommier	12	
		Poirier	23	
		Plaquemine	06	
		Olivier	02	
		Pacancier	22	



Figure III.1 : une photo satellitaire du verger. Via google earth 2023

La coopérative possède un terrain agricole sans obstacles majeurs, et elle souhaite irriguer les cultures d'agrumes en utilisant un système de pompage solaire associé à l'irrigation goutte à goutte.

### III.2.1. Données collectées sur le site

Elle est faite à travers des visites au site pour collecter les données nécessaires au dimensionnement des équipements de pompage solaire et pour discuter avec les responsables du site sur les perspectives de développement. Les données collectées se présentent comme suit :

C'est un nouveau verger qui n'a pas encore produit, par contre 450 divers arbres d'agrumes (présenter dans le tableau) ont été planté à une distance de 6 m l'une de l'autre dans la même ligne de 17 arbres, et de 4 m de distance entre les 26 lignes.

Il existe un forage de 120 m de profondeur situé à côté du site équipé d'une pompe de 3,5 chevaux opérée par le réseau électrique. Et un château d'eau de 45 m<sup>3</sup> à une distance de 3 m de forage.

Le verger possède un système solaire de 2kW qui alimente une pompe surfacique dédié à l'irrigation des cultures et les besoins domestiques. On a proposé aux propriétaires du verger d'investir dans la construction d'un château suspendu pour éliminer les pompes d'irrigation et de changer le type d'alimentation du pompage du réseau électrique à un pompage solaire. Ce château doit garantir le débit nécessaire pour une irrigation goutte à goutte des cultures existants durant la nuit.

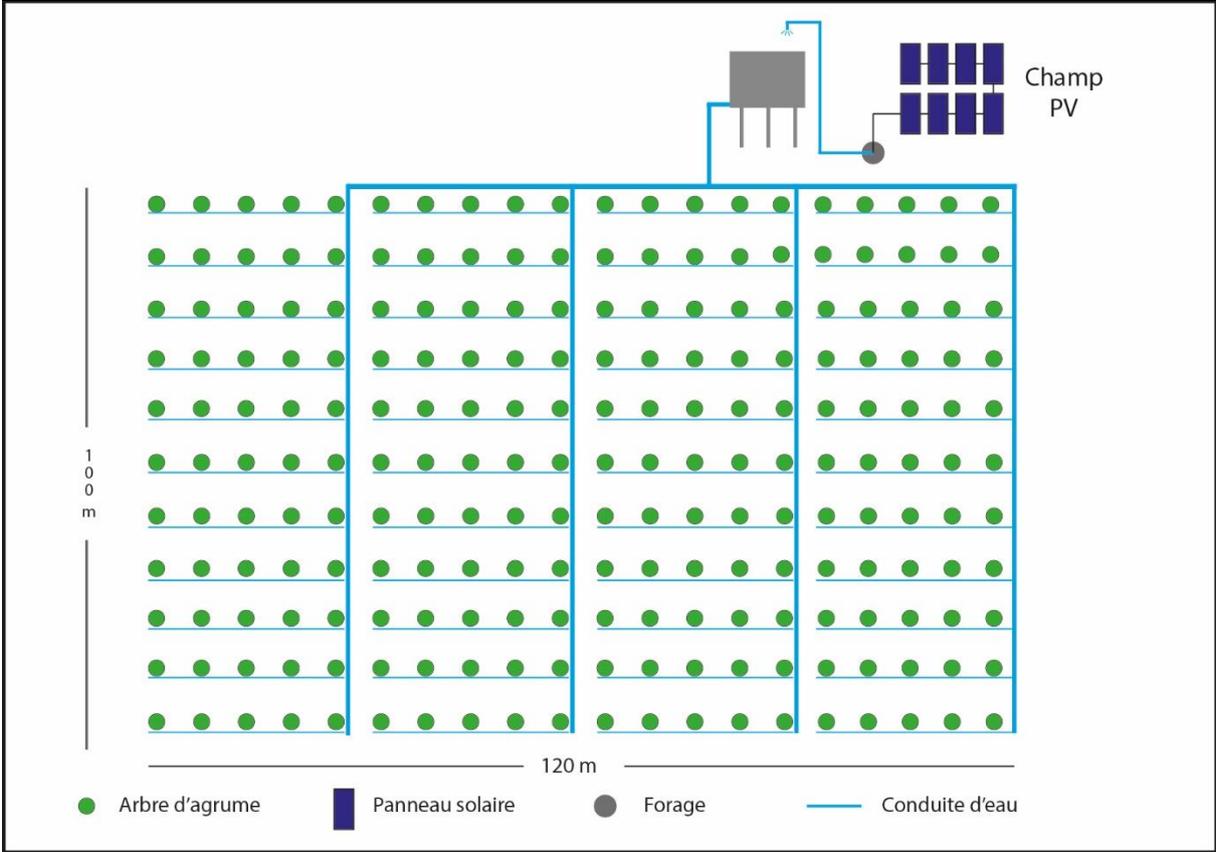


Figure III.2 : un schéma explicatif du verger.



Figure III.3 : Photo réelle du champ PV installer dans le verger.

### III.3. L'étude technique

#### III.3.1. Les besoins en eau d'irrigation

Les besoins en eau d'un périmètre sont déterminés par le volume d'eau nécessaire pour chaque arbre. Les besoins en eau d'irrigation viennent compenser le déficit de pluviométrie. Avant d'évaluer ces besoins, il est important de prendre en compte certains paramètres relatifs aux plantes, ainsi que les données climatiques et pédologiques spécifiques à la région. [26]

##### III.3.1.1. Calcul des besoins en eau d'irrigation

Le calcul des besoins en eau d'irrigation à apporter pour la culture est réalisé en effectuant le bilan hydrique suivant :

$$B_i = ETM - (P_{eff} + RFU)$$

Où :

- ETM : est l'évapotranspiration maximale ou besoins des cultures en mm (ETM=ET0\*kC)
- Kc : le coefficient culturel pour chaque culture considérée.
- Peff : est la pluie efficace [mm].
- RFU : La réserve facilement utile (la quantité d'eau retenue dans la couche supérieure du sol en mm). [26]

#### III.3.2. L'évapotranspiration de référence (ET0)

C'est une mesure de l'évapotranspiration maximale qui se produit lorsque toutes les conditions sont idéales. Elle est calculée en considérant les facteurs climatiques et en supposant qu'une couche uniforme de gazon bien irrigué couvre le sol sur une parcelle de taille adéquate. Cela permet d'obtenir une valeur de référence standard pour estimer les besoins en eau des cultures dans une région donnée. Le calcul de l'ET0 peut être effectué à l'aide de différentes méthodes, telles que la méthode de Penman-Monteith, la méthode de Hargreaves, ou d'autres équations empiriques en fonction des données climatiques disponibles et de la précision requise. [26]

##### III.3.2.1. Calcul de l'évapotranspiration de référence

Il existe plusieurs méthodes Pour le calcul de l'évapotranspiration de référence, ces méthodes sont réparties en deux classes :

- Les méthodes directes et les méthodes indirectes.

Les méthodes directes :

- La cuve lysimétrique.
- Le bac évaporant.

Les méthodes indirectes :

Ces méthodes permettent de calcul l'ET0 à partir de formules basées sur des paramètres climatiques qu'on appelle des formules empiriques dont les principales sont :

- Priestley- Taylor      - Blaney      - Hargreaves      - Penman Monteith
- Makkink - Turc      - Cridle      - Thornthwaite

Dans notre cas, nous l'avons évaluée par la méthode la plus utilisée « Penman\_Monteith ». [27]

### III.3.2.2. Formule Modifiée de Penman\_Monteith

En 1948, les chercheurs Penman et Monteith ont développé une méthode qui combine un bilan énergétique avec un transfert de masse pour calculer l'évapotranspiration d'une surface libre d'eau. Ils ont créé une équation qui utilise les enregistrements climatologiques tels que l'ensoleillement, la température, l'humidité et la vitesse du vent. Depuis lors, la formule modifiée de Penman-Monteith est largement utilisée et recommandée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) [27], détaillée comme suit :

$$ET0 = \frac{0.408 \Delta(Rn - G) + \gamma \frac{Cste}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)}$$

Avec :

ETo : évapotranspiration de référence [mm jour-1],

Rn : rayonnement net à la surface de la culture [MJ m-2 jour-1],

G : densité de flux de chaleur dans le sol [MJ m-2 jour-1],

T : température journalière moyenne de l'air à une hauteur de 2 m [°C]

u2 : vitesse du vent à une hauteur de 2 m [m s-1],

es : pression de vapeur saturante [kPa],

ea : pression de vapeur réelle [kPa],

es-ea : déficit de pression de vapeur saturante [kPa],

D : pente de la courbe de pression de vapeur saturante [kPa °C-1],

g : constante psychrométrique [kPa °C-1]

Nous avons utilisé le logiciel CROPWAT (FAO, 2008) pour calculer l'évapotranspiration de référence en utilisant la méthode de Penman-Monteith. Nous avons entré les données mensuelles nécessaires pour effectuer le calcul.

- Température : Les températures minimales et maximales mensuelles.
- Humidité de l'air : l'humidité relative de l'air exprimée en pourcentage (%).

- Insolation journalière : donnée en heures d'insolation.
- Vitesse de vent : La vitesse du vent peut être introduite en m/s.

Voici un récapitulatif des résultats de l'évapotranspiration de référence (ET<sub>0</sub>) à Bouguara calculés à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0 en utilisant la formule de Penman-Monteith. Les données sont présentées dans la figure suivante :

Mois	Temp Min °C	Temp Max °C	Humidité %	Vent m/s	Insolation heures	Ray. MJ/m²/jour	ET <sub>0</sub> mm/jour
Janvier	3.0	21.0	89	2.6	5.0	8.8	1.57
Février	0.0	21.0	83	2.7	6.0	11.8	2.15
Mars	6.0	27.0	73	2.3	6.5	15.2	3.30
Avril	8.0	28.0	72	2.3	7.0	18.5	4.09
Mai	10.0	26.0	62	2.1	9.0	22.8	4.66
Juin	13.0	33.0	53	2.2	10.0	24.8	6.11
Juillet	18.0	34.0	38	2.5	11.0	25.9	7.13
Août	18.0	42.0	41	2.5	10.0	23.1	7.74
Septembre	15.0	34.0	54	2.2	8.5	18.6	5.22
Octobre	13.0	34.0	65	1.8	7.5	14.2	3.78
Novembre	7.0	28.0	71	2.3	6.0	10.1	2.77
Décembre	3.0	24.0	87	2.5	5.5	8.5	1.80
<b>Moyenne</b>	<b>9.5</b>	<b>29.3</b>	<b>66</b>	<b>2.3</b>	<b>7.7</b>	<b>16.9</b>	<b>4.19</b>

Figure III.4 : Evapotranspiration de référence ET<sub>0</sub> calculée par le logiciel CROPWAT.

### III.3.2.3. Estimation des coefficients cultureux (K<sub>c</sub>)

Les valeurs du coefficient culturel (K<sub>c</sub>) de différentes cultures ont été ressorties selon les valeurs établies par Doorenbos (FAO, 2003), en fonction du stade végétatif de la plante, et du climat considéré : ils sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.2 : Les valeurs du coefficient culturel (K<sub>c</sub>).

Culture	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Mai	Avr	Juin	Juill	Aout
Agrumes	0.75	0.75	0.75	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.75	0.75
Olivier	0.75	0.75	0.75	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.75	0.85	0.85	0.85
Vigne	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.2	0.45	0.60	0.70	0.70	0.45
Courgette	0.40	0.50	0.80	0.95	0.60	-	-	-	-	-	-	-
Haricots	0.85	-	-	-	-	-	-	-	-	0.50	0.65	0.95
Tomate	-	-	-	-	-	0.50	0.70	1.00	0.75	-	-	-
Ail	-	0.5	0.75	0.85	0.90	0.70	0.55	-	-	-	-	-
Oignon	-	0.5	0.75	0.95	0.90	0.70	-	-	-	-	-	-

### III.3.3. Le type de sol

Nous avons effectué une expérience pratique dans le laboratoire de l'institut national de l'agriculture à Bouguara [24] pour déterminer la texture du sol. Nous avons utilisé un échantillon de terre dans un tamiseur pendant deux périodes de 10 minutes chacune. Voici les résultats obtenus :

Tableau III.3 : La texture du sol.

N°	Taille (µm)	Taille (mm)	Masse vide (g)	Masse plein (g)	Masse refus (g)	Pourcentage %		
9	4000	4	566	627	61	6.1 %	18.3%	50 µm < Sable < 2 mm
8	2000	2	542	664	122	12.2%		
7	1000	1	503	778	275	27.5%	78.1%	2 µm < Limon < 50 µm
6	500	0.5	464	679	215	21.5%		
5	250	0.25	404	569	129	12.9%		
4	125	0.125	426	533	107	10.7%		
3	63	0.063	418	473	55	5.5 %		
2	45	0.45	411	438	27	2.7 %	3.9%	Argile < 2 µm
1	40	0.40	413	422	9	0.9 %		
Fond	0	0	547	550	3	0.3%		

#### III.3.3.1. Le triangle de texture du sol

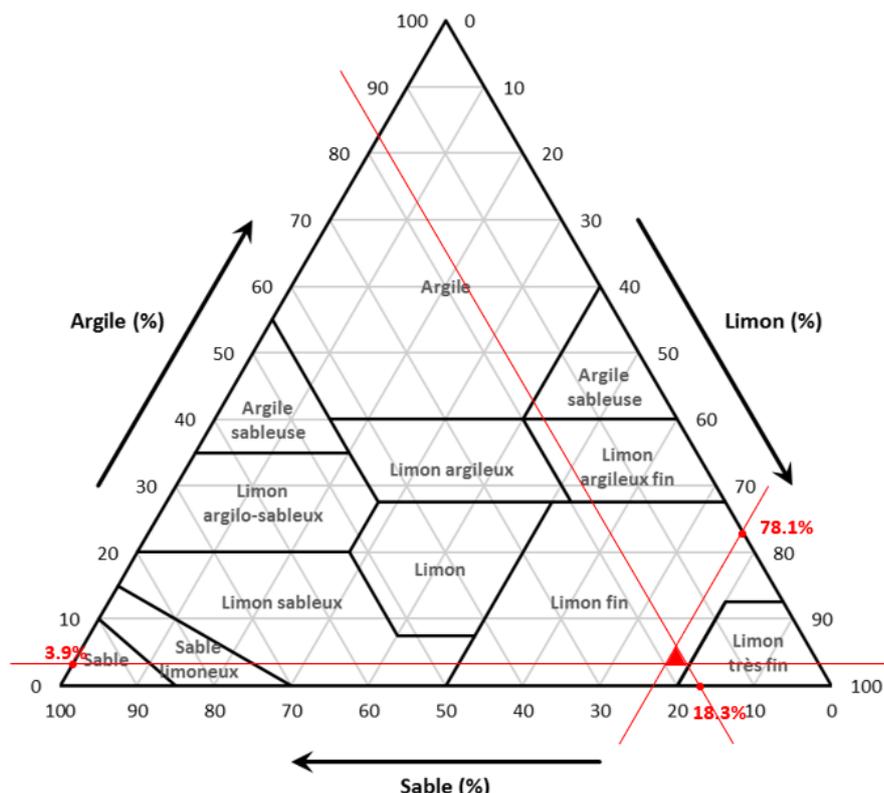


Figure III.5 : Le triangle de la texture du sol.

Le résultat du test de la texture du sol est « un limon fin ».

### III.3.4. Calcul de la pluie efficace

La fraction des précipitations totales réellement utilisée par la culture dépend de la région, de la nature des précipitations et du type de sol. Il existe plusieurs méthodes pour estimer ces précipitations. Dans notre étude, Nous avons utilisé le logiciel CROPWAT (FAO, 2008) pour calculer la pluie efficace, (les données ont été extraites de « National Solar Radiation Data base [25] », Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous :

	Pluie	Pluie eff.
	mm	mm
Janvier	74.0	65.2
Février	81.0	70.5
Mars	68.0	60.6
Avril	45.0	41.8
Mai	42.0	39.2
Juin	9.0	8.9
Juillet	1.0	1.0
Août	10.0	9.8
Septembre	38.0	35.7
Octobre	60.0	54.2
Novembre	125.0	100.0
Décembre	106.0	88.0
<b>Total</b>	<b>659.0</b>	<b>574.9</b>

Figure III.6 : Précipitations par mois de la ville de Bouguara.

### III.3.5. Calcul de la réserve en eau du sol

Il s'agit de la quantité d'eau présente dans la couche de sol explorée par les racines, située entre le point de ressuyage et le point de flétrissement. Cependant, les plantes rencontrent des difficultés croissantes pour extraire l'eau lorsque l'humidité se rapproche du point de flétrissement.

La réserve facilement utilisable (RFU) se calcul par la formule suivante :

$$RFU = (hcc-hpf)*Y*Da*Z$$

- Hcc : Humidité a la capacité aux champs (26%).
- Hpf : Humidité au point de flétrissement (16%).
- Da : densité apparente (1.4).
- Y : degré de tarissement (2/3).
- Z : profondeur d'enracinement en mm.

**Remarque** : La RFU réelle est égale au maximum en hiver. En été égale à 0 mm et au printemps ou en automne elle est égale à 2/3 ou 1/2 ou 1/3 de la RFU d'hiver.

### III.3.6. Estimation des besoins en eau des agrumes

Dans notre cas, le verger contient des agrumes mais on a simulé différents scénarios pour différentes cultures. Le tableau (III.4) présente les résultats pour les agrumes.

Tableau III.5 : Calcul des besoins en eau pour les agrumes.

Mois	Pmoy (mm)	Peff (mm)	ET <sub>0</sub> (mm/mois)	Z(m)	RFU (mm)	RFU reel (mm)	Kc	ETM (mm)	B <sub>net</sub> (mm/mois)
Jan	74	65.2	47.1	1.50	170.4	85.2	0.75	35.32	0
Fev	81	70.5	64.5	1.50	170.4	85.2	0.75	48.37	0
Mars	68	60.6	99	1.50	170.4	85.2	0.75	74.25	0
Avr	45	41.8	122.7	1.50	170.4	85.2	0.65	79.75	0
Mai	42	39.2	139.8	1.50	170.4	85.2	0.65	90.87	0
Juin	9	8.9	183.3	1.50	170.4	0.00	0.65	119.14	110.24
Juil	1	1	213.9	1.50	170.4	0.00	0.65	139.03	138.03
Aout	10	9.8	232.2	1.50	170.4	0.00	0.65	150.93	141.13
Sep	38	35.7	156.6	1.50	170.4	0.00	0.65	101.79	66.09
Oct	60	54.2	113.4	1.50	170.4	0.00	0.65	73.71	19.51
Nov	125	100	83.1	1.50	170.4	85.2	0.75	62.32	0
Dec	106	88	54	1.50	170.4	85.2	0.75	40.5	0

Selon les résultats obtenus, il est nécessaire d'irriguer 5 mois par an, de juin à octobre, avec des quantités d'eau mensuelles varient de 19,51 mm (en octobre) à 141,13 mm (en août). Les besoins journaliers varient entre 319,5 l/j et 2326,5 l/j (en prenant en considération que l'efficacité d'irrigation goutte à goutte est égale à 90%).

En prenant en compte le débit des goutteurs utilisés dans ce verger est (1.5 l/h), la durée d'irrigation varie entre 3.5 h/j et 0.5 h/j.

Tableau III.6 : La durée d'irrigation.

Mois	B <sub>net</sub> (mm)	B <sub>Journalier</sub> (mm/j)	B <sub>Brut</sub> (mm/j)	Débit (l/h)	Duré d'irrigation (h)
Juin	110.24	3.67	4.03	1.5	2.69
Juill	138.03	4.6	5.06	1.5	3.37
Août	141.13	4.7	5.17	1.5	3.5
Sep	66.09	2.2	2.42	1.5	2.2
Oct	19.51	0.65	0.17	1.5	0.5

La superficie de l'exploitation est de 1,2 ha. Sa longueur est de 120 m et sa largeur de 100 m. l'étude a défini un nombre de secteur d'arrosage (Ns). Chaque secteur a une superficie de 0.3 ha dont la longueur = 100 m, et la largeur = 30 m. ce qui fait 4 secteurs (comme le montre la figure 23).

Chaque ligne sera irriguée à partir d'une rampe de longueur  $L_r = 30$  m portant des goutteurs espacés de 4 m ( $E_g$ ) et ayant un débit de 1,5 l/h à une pression de 1 bar.

Le nombre de goutteurs par rampe sera :  $N_g = L_r / E_g = 7$  goutteurs par rampe.  
Le débit de la rampe  $D_r = N_g \times D_g = 7 \times 1,5 = 10,5$  l/h.

Les rampes sont placées de 6 m de distance l'une de l'autre. Alors on a  $N_r = 17$  rampes par secteur.

Le débit de secteur est  $D_s = N_r \times D_r = 17 \times 10,5 = 178,5$  l/h.

Le débit horaire de la superficie de l'exploitation :  $D_T = D_s \times N_s = 178,5 \times 4 = 714$  l/h.

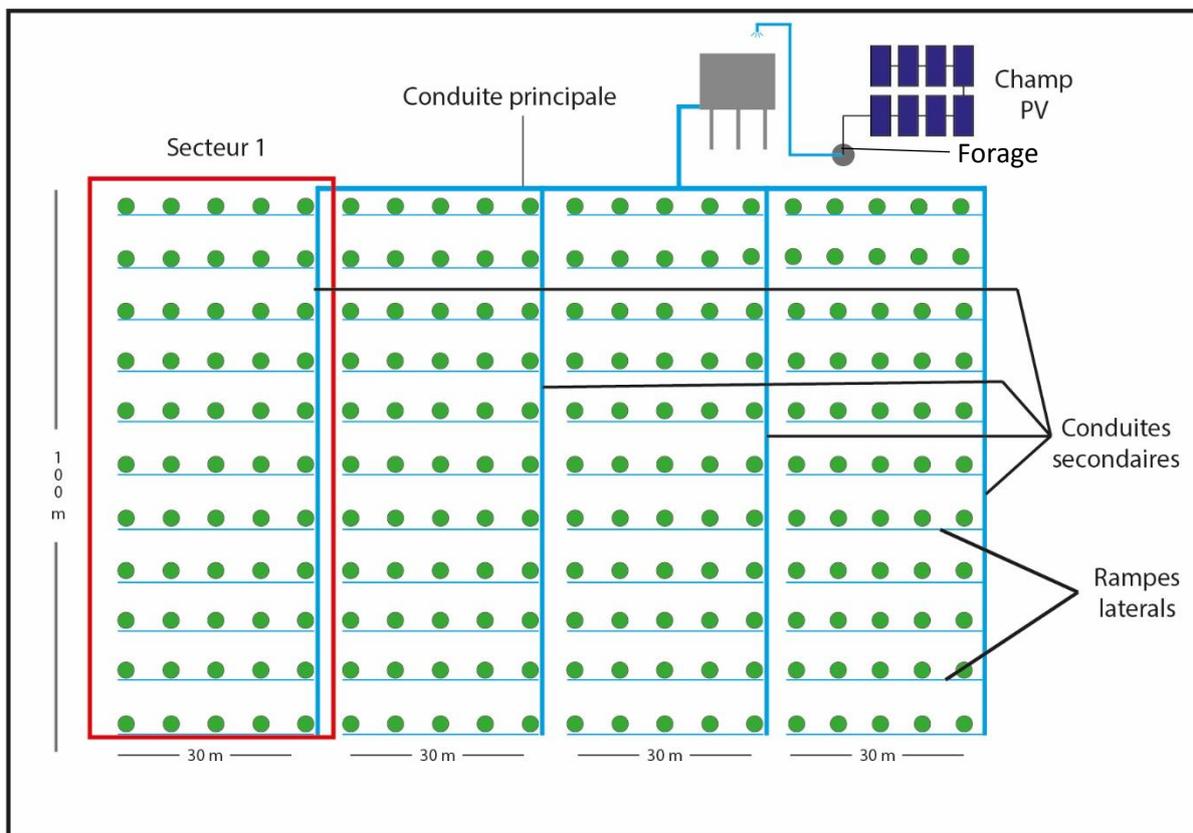


Figure III.7 : schéma de l'installation goutte à goutte.

### III.3.7 Etude du stockage d'eau

Le stockage de l'eau est une étape indispensable dans le cadre de l'irrigation goutte à goutte. Il permet de compenser le décalage entre la disponibilité de l'énergie solaire (en son apogée à midi) et les besoins en eau (le matin, le soir, la nuit). L'utilisation d'un réservoir de stockage surélevé offre l'avantage d'avoir un débit constant au niveau des goutteurs, indépendamment de l'ensoleillement. Cela diffère de l'utilisation d'une pompe d'irrigation qui augmenterait également les coûts d'exploitation. La construction d'une cuve est nécessaire pour assurer une réserve d'eau supplémentaire, en particulier lors des périodes d'ensoleillement insuffisant. Dans notre cas, nous choisissons de stocker 100% du volume moyen quotidien d'eau irriguée, ce qui correspond à une autonomie de deux jours.

Le débit horaire de la surface d'exploitation est :  $D_T = 714 \text{ l/h}$ .

En mois de juillet on a la durée d'irrigation la plus longue : 3,5h.

La capacité totale de la cuve doit être :  $2 \times 3,5 \times 714 = 4998 \text{ L} \approx 5000 \text{ L}$ .

Nous avons dimensionné pour deux jours d'autonomie à une hauteur de 5 m.

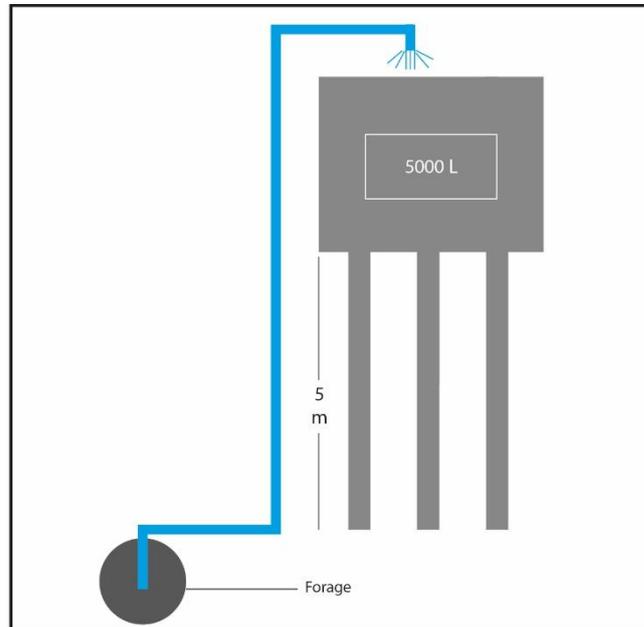


Figure III.8 : Le réservoir.

### III.4. Choix et dimensionnement de la pompe

On peut dimensionner la pompe par plusieurs méthodes : graphique (utilisée pour choisir la pompe), Analytique (en se basant sur les calculs), par logiciel (PVsyst par exemple).

#### III.4.1. Choix de la pompe graphiquement

Nous estimons en se basant sur le profil solaire de « Bouguara » que la pompe solaire qui sera choisie fonctionnera 6h par jour (de 10h à 16h). Pour alimenter une cuve de 5000 L, on a besoin d'un débit horaire de  $0,9 \text{ m}^3/\text{h}$ . La pompe sera immergée à une profondeur de 120 m sans oublier les 6 m de hauteur de refoulement dans le réservoir, avec un ensoleillement de  $800 \text{ W} / \text{m}^2$  (qui est la moyenne à Bouguara).

En utilisant la méthode des abaques, on choisit la pompe PS2-1800 HRE-07H système de pompage immergée pour puits de la marque allemande Lorentz avec une puissance de 0.5 kW (la fiche technique de la pompe est dans l'annexe).

### Graphique de la pompe

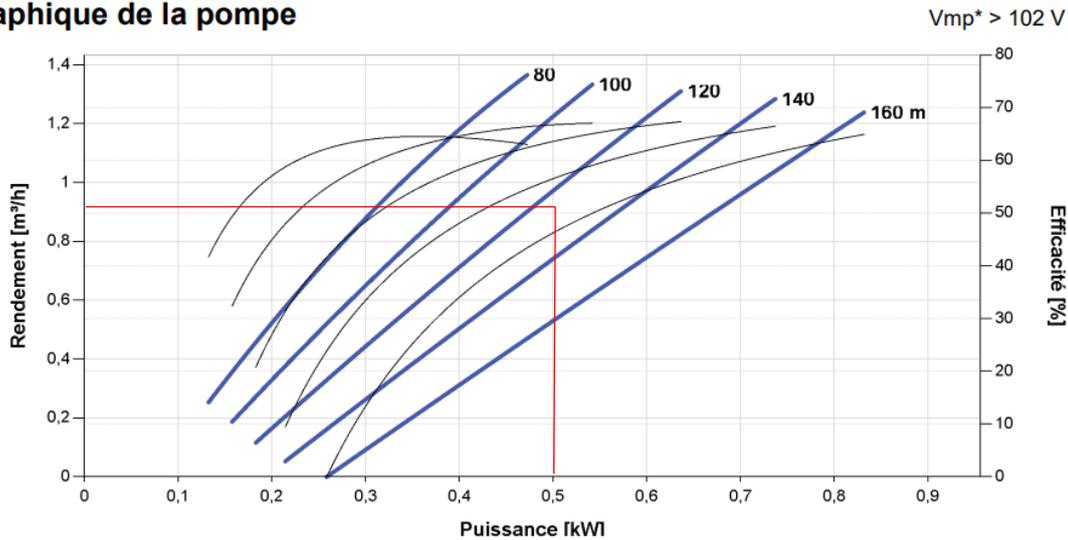


Figure III.9 : graphe de la pompe choisie. [20]

### III.4.2. Choix de la pompe Analytiquement

Les calculs vont être effectués pour un système de pompage solaire au fil du soleil avec une pompe centrifuge équipée d'un moteur à courant continu dont le rendement est  $\eta = 0,92$ .

Calcul de la Hauteur manométrique (HMT) :

On a  $HMT = h_a + h_r + P_c + P_r$ . Avec :

$h_a$  : la hauteur d'aspiration = 0 (la pompe immergée).

$h_r$  : la hauteur de refoulement = 120 m + 6 m = 126 m.

$P_c$  : les pertes de charges (linières ( $P_{cl}$ ) + singulières ( $P_{cs}$ )).

$$P_c = P_{cl} + P_{cs}.$$

$P_{cl}$  = frottement de l'eau sur la conduite.

$P_{cs}$  = frottement de l'eau dans les coudes.

$P_c$  : Généralement estimées à 10% de la longueur de la conduite (130 m).

$$P_c = 13 \text{ m}.$$

$P_r$  : la pression de refoulement = 0 (refoulement à l'air libre).

$$\text{Alors : } HMT = 0 + 126 + 13 + 0 = \mathbf{139 \text{ m}}.$$

La puissance hydraulique de la pompe :  $P_h = 2,725 \times Q \times HMT$

Tel que :

Q : le débit nécessaire =  $0,9 \text{ m}^3$ .

HMT : Hauteur manométrique totale = 139 m.

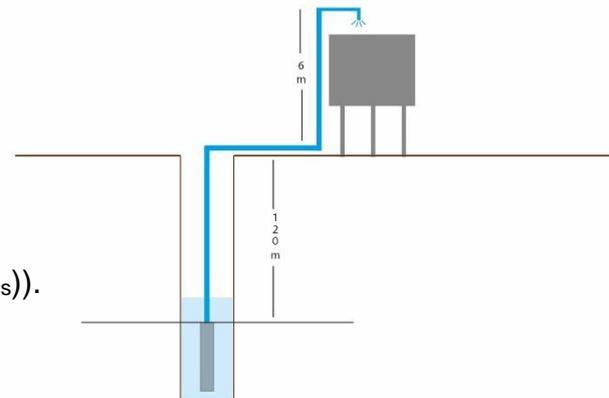


Figure III.10 : schéma explicative de la HMT.

$$P_h = 340 \text{ W.}$$

Calcul de la puissance mécanique :  $P_m = P_h / \eta_p$ . ( $\eta_p$  rendement de la pompe = 0,74)

$$P_m = 340 / 0,74 = 460 \text{ W.}$$

Calcul de la puissance électrique du moteur :  $P_e = P_m / \eta_m = 460 / 0,92 = 500 \text{ W}$ .

Alors, on est besoin d'une pompe de 500 W pour remplir le réservoir en 6h, ce qui correspond bien à la pompe « PS2-1800 HRE-07H » de la marque Lorentz choisie précédemment.

### III.4.3. Choix de la pompe par le logiciel PVsyst

Après l'exécution des données nécessaires pour notre cas d'étude, on trouve les résultats suivants :

Besoins en eau journaliers moyens :		Autonomie requise	2.0	Jours	Volume réservoir conseillé	5.0 m <sup>3</sup>
Pression min.	11.28 bar	Manque accepté	5.0	%	Puissance pompe conseillée	488 W
Pression max.	11.62 bar				Puissance PV conseillée	617 Wc (nom.)
Volume	0.6 m <sup>3</sup> /jour					
Puissance hydraulique	39 W (très approximatif)					

Figure III.11 : Résultat depuis le logiciel PVsyst.

Sachant que la pompe choisie est la même.

Donc les trois 3 méthodes de calcul confirment que la pompe « PS2-1800 HRE-07H » comprenant le contrôleur, moteur et extrémité de pompe de la marque Lorentz est le choix optimal qui répond aux besoins demandés.

### III.5. Dimensionnement du champ photovoltaïque

Pour bien déterminer le champ photovoltaïque pour fournir l'énergie suffisante, il faut déterminer d'abord le besoin journalier en énergie nécessaire pour alimenter la pompe. Comme nous l'avons vu dans l'étape précédente que la puissance nominale de la pompe choisie est de 500 W. La pompe fonctionne 6h par jour, ce qui fait une énergie journalière de 3 kWh/jour.

Les cinq 5 mois d'irrigation (de juin à octobre) représente les mois les plus ensoleillés de l'année avec une moyenne de 800 w/m<sup>2</sup> (c'est l'éclairement moyenne dans la ville de Bougara).

La puissance crête du générateur PV :  $P_c = 500 / 0,8 = 625 \text{ W}$ .

Le générateur tenu des pertes dû à la température élevée, la chute de tension et dans les déférents câblages de système estimons à 10%, ce qui fait :

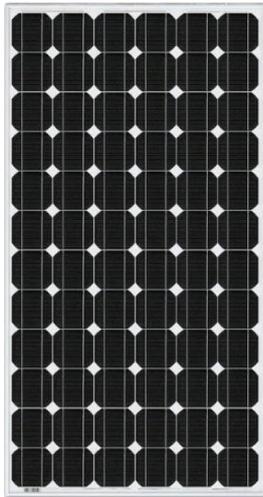
$$P_c = 625 / 0,9 = 694,44 \approx 700 \text{ Wc.}$$

Donc on est besoin d'un générateur de 700 watts crête.

Vu que l'espace réservé à l'installation photovoltaïque est limité, on a décidé de choisir un panneau de puissance élevé et de cellule monocristallin pour minimiser la surface occupée par les panneaux.

D'après le marché, on a choisi le panneau suivant : (La fiche technique dans l'annexe)

### BlueSolar monocristallin 215 W



<b>Puissance Nominal PMPP (W)</b>	<b>215</b>
<b>Tension de puissance VMPP (V)</b>	<b>37.4</b>
<b>Courant de puissance IMPP (A)</b>	<b>5.75</b>
<b>Tension de circuit ouvert Voc (V)</b>	<b>45.82</b>
<b>Courant de court-circuit Isc (A)</b>	<b>6.30</b>

Figure III.12 : La fiche technique.

D'après la fiche technique de la pompe Lorentz (annexe), on trouve que la tension de fonctionnement doit être supérieure à 102 V et un maximum de 200V. on prend une valeur au milieu :  $V = 150 \text{ V}$ .

Le courant de la pompe ne dépasse pas 14 A.

Calcul le nombre de panneau en série :

$$N_s = 150 / 37,4 = 4,01 \text{ qui peut être arrondi à } 4.$$

On doit installer 4 panneaux en série.

Confirmation :  $4 \times 45,82 = 183,28 < 200$ . (La valeur maximale qu'on ne doit pas dépasser).

On remarque que la puissance totale de 4 panneaux en série = 860 W. qui couvre largement la puissance demandée par la pompe.

Le courant de 4 panneaux en série =  $6,3 < 14 \text{ A}$  (La valeur maximale qu'on ne doit pas dépasser).

Alors : le générateur photovoltaïque à être installé sera constitué de 4 modules de 215W dans un seul branchement de 4 modules en série.

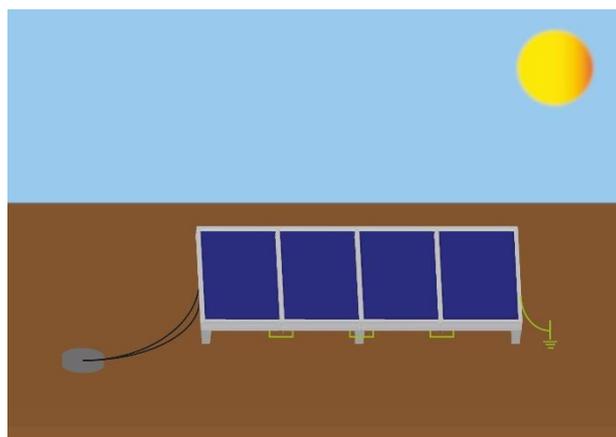


Figure III.13 : Schéma de l'installation PV.

### **III.6. Installation de système**

L'installation d'un champ photovoltaïque doit se conformer à des normes de sécurité rigoureuses. Pendant la réalisation des raccordements électriques, il est nécessaire de protéger les modules en les recouvrant d'une bâche ou d'un autre matériau approprié. Il est crucial de respecter la polarité des bornes lors des connexions. Il est également important de s'assurer d'un serrage adéquat des câbles et des connecteurs MC4, ainsi que d'assurer une étanchéité correcte aux différents points d'entrée des câbles.

Il est essentiel d'installer un système de mise à la terre dans le système photovoltaïque afin de le protéger contre les surtensions potentielles causées par la foudre ou les fuites de courant. Toutes les parties métalliques doivent être connectées entre elles, comme illustré dans la figure, à un seul point qui est relié à un piquet de mise à la terre. Il est également recommandé d'inclure un parafoudre, des fusibles, un sectionneur de coupure et un disjoncteur pour protéger le système contre les surcharges et les courts-circuits, et pour faciliter les interventions de maintenance en cas de panne. La maintenance préventive est obligatoire et doit être intégrée à l'exploitation du système afin de garantir un fonctionnement optimal et des résultats fiables.

Pour garantir la sécurité et la protection du système photovoltaïque installé sur le terrain du verger, il est nécessaire de le sécuriser à l'aide d'un enclos métallique ou d'une clôture entourant les modules. Cela permet d'éviter les risques liés à la présence d'animaux et assure également la sécurité des travailleurs de l'institut.

De plus, il est important de confier la maintenance et les interventions sur le système à des spécialistes ou à des professionnels qualifiés dans le domaine. Ces experts possèdent les connaissances et l'expertise nécessaires pour effectuer ces tâches de manière adéquate.

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons examiné en détail les différentes étapes de l'installation d'un système de pompage solaire pour l'irrigation goutte à goutte. Nous avons constaté qu'une planification minutieuse est essentielle pour réussir l'installation d'un système efficace, tout en évitant tout gaspillage d'eau, qui est l'objectif principal à la fois du système solaire et de l'irrigation goutte à goutte. Il est crucial de déterminer avec précision la quantité d'eau nécessaire pour irriguer les cultures ainsi que les périodes d'irrigation, afin de dimensionner adéquatement le réservoir de stockage et la quantité d'eau à pomper chaque jour. Cette approche nous permet d'investir judicieusement dans un système solaire rentable à long terme, tout en préservant l'eau précieuse.

# Chapitre IV

Étude économique

## **Introduction**

Dans ce chapitre on se concentre sur l'étude économique d'une combinaison prometteuse : l'installation photovoltaïque. Elle permet de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire et l'irrigation goutte à goutte qui offre une méthode efficace et précise pour fournir de l'eau aux cultures.

Nous examinerons l'impact économique de cette combinaison en analysant différents aspects tels que les coûts initiaux d'installation, les économies d'énergie réalisées, les avantages liés à la réduction de la consommation d'eau et les gains de productivité potentiels. De plus, nous évaluerons les incitations financières et les subventions disponibles pour encourager l'adoption de ces technologies dans le secteur agricole.

En explorant les avantages économiques potentiels de l'installation photovoltaïque et de l'irrigation goutte à goutte, nous espérons fournir des informations précieuses aux agriculteurs, aux décideurs et aux acteurs du secteur agricole, afin de les aider à prendre des décisions éclairées concernant l'adoption de ces pratiques durables.

## IV.1. Coût d'investissement

Le tableau ci-dessous donne les coûts d'investissements à titre indicatifs :

Tableau IV.1 : Les coûts d'investissement.

N	Composant	Quantité	P. unite HT (DA)	Montant (DA)
1	Panneau solaire Mono 215W	4	18000.00	72000.00
2	Pompe immergée LORENTZ	1	144375.00	144375.00
3	CONTRÔLEUR 1.8 KVA LORENTZ	1	115290.00	115290.00
4	LORENTZ CABLE SPLICE KIIT 2.5mm (100m)	2	1890.00	3780.00
5	STRUCTURE PORTEUSE DE 4 PANNEAUX	1	20000.00	20000.00
6	Construction du réservoir	1	7500/m <sup>2</sup>	50000.00
7	Goutteurs	450	5	2250.00
8	Tuyaux DN 100mm (Forage)	150 m	130/m	19500.00
9	Tuyaux d'irrigation rouleau 100m	20	1000	20000.00
10	Armoire électrique	1	20000	20000.00
	<b>Total</b>			<b>467195.00</b>

Le coût total indiqué dans le tableau est de 467 195,00 DA, en tenant compte de la haute qualité (premier choix) de tous les produits choisis. Le coût d'installation d'un système photovoltaïque varie selon l'installateur et la région. En Algérie, la moyenne est de 3 000 DA par panneau (on a 4) ainsi que l'armoire électrique, soit 15 000 DA au prix total. Ce qui équivaut approximativement à 500 000,00 DA. La durée de vie d'une installation photovoltaïque est de 25 ans. La pompe et le contrôleur fonctionnent pendant 5 mois par an à des régimes réduits, et non à leur plein potentiel. Par conséquent, on estime que la durée de vie sera prolongée de 5 ans à 10 ans (soit une durée de vie environs 2 fois plus longue) grâce aux régimes réduits et la petite période de fonctionnement.

La durée de vie du système d'irrigation goutte à goutte est de 5 ans, ce qui signifie qu'il est nécessaire de remplacer les goutteurs et les tuyaux d'irrigation. Les dépenses d'exploitation sont calculées à 5 fois le prix initial des goutteurs et des tuyaux d'irrigation, soit 111 250,00 DA (22 500 DA x 5). Cela donne un investissement total sur 25 ans, tous frais compris, de **848 415,00 DA** soit **33 935,00 DA/AN**.

L'installation photovoltaïque et l'irrigation goutte à goutte offrent de nombreux avantages et bénéfices :

- Pendant la période d'exploitation, nous générons des revenus grâce à l'énergie produite par le système photovoltaïque.
- Les coûts d'installation puissent être légèrement élevés, ils sont facilement remboursés au cours de la durée de fonctionnement.
- En utilisant l'irrigation goutte à goutte, nous bénéficions d'une gestion efficace de l'eau, ce qui est extrêmement important.
- L'utilisation de l'irrigation goutte à goutte permet de réduire considérablement le volume de stockage d'eau nécessaire, ce qui se traduit par des économies dans la construction de réservoirs ou de cuves de stockage.
- L'irrigation goutte à goutte assure une irrigation précise et ciblée des plantes, ce qui favorise une croissance saine et une production agricole optimale. Les plantes sont bien irriguées, ce qui se traduit par des rendements élevés et des cultures de meilleure qualité.
- L'installation photovoltaïque nous permet d'éliminer les coûts d'exploitation liés au carburant des groupes diesel utilisés pour l'irrigation. Cela constitue une solution économique et écologique, notamment dans les sites isolés où l'accès à l'électricité traditionnelle peut être limitée ou coûteuse.

Enfin, il convient de souligner les avantages environnementaux de ces systèmes. L'énergie solaire est une source d'énergie renouvelable et propre, réduisant ainsi notre dépendance aux combustibles fossiles et contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. De plus, l'utilisation de l'irrigation goutte à goutte permet une utilisation plus efficace de l'eau (irrigation racinaire), préservant ainsi cette ressource précieuse.

## **Conclusion**

L'installation photovoltaïque et l'irrigation goutte à goutte offrent des avantages économiques, environnementaux et agricoles significatifs. Les coûts initiaux sont rapidement amortis grâce aux économies réalisées et un meilleur rendement pendant la période d'exploitation. Ces systèmes permettent de générer des revenus, de réduire les coûts d'exploitation, de garantir une irrigation précise, de favoriser une production agricole de qualité supérieure et de contribuer à un environnement plus durable

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail consiste une étude d'un système de pompage solaire photovoltaïque pour une irrigation de goutte à goutte dans la ville de Bouguara, la Wilaya de Blida. Les principales conclusions découlant de ce travail sont :

En conclusion, cette étude de mémoire de fin d'études de master a examiné de manière approfondie l'étude technique et économique d'un système de pompage solaire pour une irrigation goutte à goutte.

Dans le premier chapitre, nous avons exploré les généralités des systèmes photovoltaïques et de l'irrigation, en soulignant leur importance pour le développement durable de l'agriculture.

Le deuxième chapitre s'est concentré sur les pompes et les notions hydrauliques, fournissant les bases nécessaires pour comprendre le fonctionnement du système de pompage solaire.

Dans le troisième chapitre, nous avons effectué des calculs de dimensionnement en déterminant les besoins en eau des agrumes, en dimensionnant le volume de stockage d'eau requis, ainsi qu'en dimensionnant la pompe appropriée et le champ photovoltaïque. Les résultats obtenus dans cette phase de dimensionnement nous ont permis de concevoir un système optimal adapté aux besoins spécifiques de l'irrigation goutte à goutte des agrumes.

Dans le chapitre suivant, nous avons abordé l'aspect économique de notre étude. Nous avons analysé les coûts d'investissement associés à l'installation du système de pompage solaire, y compris les coûts des équipements et de l'installation. De plus, nous avons évalué les gains potentiels découlant de l'utilisation de ce système, en tenant compte des économies d'eau, de la productivité accrue des cultures et des avantages environnementaux. L'étude économique a démontré que malgré les coûts initiaux plus élevés, l'utilisation d'un système de pompage solaire pour une irrigation goutte à goutte peut être rentable à long terme, grâce aux économies de carburant et aux avantages environnementaux.

Privilégier le stockage d'eau dans des réservoirs hydrauliques plutôt que l'accumulation d'énergie électrique dans des batteries présente des avantages indéniables. Non seulement cela permet de simplifier et de réduire les coûts, mais cela contribue également à préserver l'environnement en évitant les émissions toxiques associées aux batteries. Ce système de pompage est spécifiquement conçu pour un approvisionnement en eau continu et directement lié à l'énergie solaire disponible, souvent appelé approvisionnement "au fil du soleil".

De plus, en surélevant le réservoir, il est possible d'éliminer l'utilisation de pompes d'irrigation supplémentaires, ce qui contribue à réduire davantage les coûts et la consommation d'énergie. Cette approche permet une utilisation plus efficace de l'énergie solaire captée, en maximisant directement l'utilisation de la gravité pour alimenter l'irrigation. Ainsi, en combinant le stockage d'eau dans des réservoirs hydrauliques et l'élimination des pompes d'irrigation grâce à la surélévation du réservoir, ce système de pompage solaire offre une solution économique et écologique pour l'approvisionnement en eau.

En somme, cette mémoire a permis d'intégrer les aspects techniques et économiques de manière holistique pour évaluer la viabilité d'un système de pompage solaire pour une irrigation goutte à goutte. Les résultats obtenus fournissent des informations précieuses aux agriculteurs, aux décideurs et aux professionnels de l'industrie agricole en montrant les avantages et le potentiel économique d'une telle solution. En adoptant des systèmes de pompage solaire, l'agriculture peut non seulement améliorer son efficacité et sa durabilité, mais aussi contribuer à la transition vers des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement et à la sécurité alimentaire à long terme.

**Perspective :** Pour les futurs étudiants intéressés par ce domaine, il existe plusieurs perspectives à explorer. Ils peuvent se concentrer sur l'optimisation de l'automatisation, en rendant le processus d'irrigation et de remplissage entièrement automatisé. L'utilisation de technologies de contrôle à distance, comme les réseaux de capteurs sans fil, permettra la surveillance et la commande à distance du système. L'intégration de l'intelligence artificielle offre des opportunités pour améliorer les prévisions des besoins en eau des cultures et optimiser les paramètres du système. En adoptant une approche éco-responsable, les étudiants peuvent intégrer des pratiques et des technologies durables pour réduire l'impact environnemental. Enfin, les études de viabilité économique permettront d'évaluer les coûts et les bénéfices à long terme du système automatisé. Ces perspectives offrent un large éventail d'opportunités aux futurs étudiants pour contribuer au développement de systèmes d'irrigation et de remplissage automatiques.

## REFERENCES

- [1] Souhila EDDRIEF-CHERF, Algérie énergie : Revue du ministère l'Énergie n° 609, septembre-octobre 2012.
- [2] L. BOUDRAHEM « Commande non linéaire d'un système de pompage photovoltaïque » Mémoire de Master, Université de Bejaïa
- [3] N. BENYAHIA, K. SRAIRI, M. MIMOUNE « Commande de la machine asynchrone par orientation du flux rotorique » Revue, courrier du savoir vol. N°06, pp. 147- 150, Université Biskra, 2005
- [4] K. AMOKRANE « Etude des Performances des systèmes de pompage photovoltaïque destinés pour l'alimentation en eau potable ». Mémoire de Magister, Université de Bejaïa, 2008.
- [5] Ikram SAYAH, mémoire fin d'étude, Etude d'une installation de pompage solaire photovoltaïque destinée à l'irrigation, 2020.
- [6] M. L. LOUAZENE. Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla, Thèse de Magister, Université El Hadj Lakhdar-Batna, Juin 2008.
- [7] L. LIGRING. Etude pour la mise en place du système de pompage solaire d'un champ de neuf hectare pour une irrigation goutte à goutte à Seheba au Tchad, Mémoire de Master, Institut International d'Ingénierie-Ouagadougou 01-Burkina Faso, Octobre 2012.
- [8] Y. SOULA. Optimisation et dimensionnement d'un système solaire de pompage d'eau, Mémoire de Master, Université Larbi Ben M'Hidi-Oum El Bouaghi, Juin 2016.
- [9] I. LAFIA SEIDOU. Etude et dimensionnement des systèmes de pompage photovoltaïque dans les localités rurales du Bénin : cas de Adjakpata, Mémoire de Master, Institut International d'Ingénierie-Ouagadougou 01-Burkina Faso, Juin 2017
- [10] H. HADJOU SMIR, A. GHOGUEUR. Etude technico-économique de l'irrigation par pompage solaire photovoltaïque, d'une palmeraie de palmiers : Etude de cas, Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, Juin 2018.
- [11] A. DJAFOUR, M.S. AIDA. Etude d'un système de pompage photovoltaïque pour l'irrigation d'une palmeraie à Ouargla, Article, Université Kasdi Merbah Ouargla, Université de Constantine.
- [12] Boukhers Djamil « optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au pompage », université de Constantine 28.11.2007
- [13] HADJOU SMIR Hachmi CHOGUEUR Amine, Etude technico-économique de l'irrigation par pompage solaire photovoltaïque, d'une palmeraie de palmiers. Etude de cas, Septembre 2020.
- [14] LALAMI Wahid BOUKERRAM Rabah, MEMOIRE de fin d'étude, Contrôle vectoriel d'un système de pompage photovoltaïque avec stockage, 2019.

- [15] ABDI Mohammed Saber et BOUMAKEL Omar Daoud, Etude et réalisation d'un système d'irrigation automatisé avec monitoring, 2020.
- [16] Soula Youcef, Mémoire de fin d'études Optimisation et dimensionnement d'un système solaire de pompage d'eau, 2016.
- [17] site : [www.maisondesagrumes.com](http://www.maisondesagrumes.com) (consulté juin 2023).
- [18] site : [www.paysantarnais.com](http://www.paysantarnais.com) (consulté mai 2023).
- [19] site : [www.agriexpo.online](http://www.agriexpo.online) (consulté mai 2023).
- [20] site : [www.solaris-store.com](http://www.solaris-store.com) (consulté mai 2023).
- [21] M. L. LOUAZENE. Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla, Thèse de Magister, Université El Hadj Lakhdar-Batna, Juin 2008.
- [22] I. LAFIA SEIDOU. Etude et dimensionnement des systèmes de pompage photovoltaïque dans les localités rurales du Bénin : cas de Adjakpata, Mémoire de Master, Institut International d'Ingénierie-Ouagadougou 01-Burkina Faso, Juin 2017
- [23] HAMMADI Hanane, mémoire de fin d'étude, « Pompage solaire », 2022.
- [24] Le laboratoire de l'institut national de l'agriculture à Bouguara « Blida », 2023.
- [25] site : National Solar Radiation Database [www.nsrdb.nrel.gov](http://www.nsrdb.nrel.gov) (consulté juin 2023).
- [26] HETTAK Nesrine, Étude aménagement hydro-agricole du périmètre Achaacha à partir du barrage Kramis (W. Mostaganem) 2020.
- [27] OUIR Fatma Zohra, Aménagement hydroagricole du périmètre d'El Eulma (1160ha) secteur 4 à partir du Barrage Draa Diss avec (W.Setif) 2022.
- [28] Djihed BENSAAD, « Diagnostic de fuites internes dans une pompe à pistons axiaux », Septembre 2019.
- [29] Hubert BONNEVIOT, Michel COURILLON, Yves MAIGNE « technologies européennes du pompage solaire photovoltaïque », décembre 2004.
- [30] Mr. KY Thierry S. Maurice, "Système photovoltaïque : Dimensionnement pour pompage d'eau pour une irrigation goutte à goutte" Université Joseph KI-ZERBO, UFR-SEA Ouagadougou, Burkina Faso, Février 2007.
- [31] M. Zakaria BENGHALIA, « Formation de pompage solaire », IFEG, 2022.

## **ANNEXES**

### **Liste des annexes**

**Annexe A** : Fiche technique de la pompe LORENTZ.

**Annexe B** : Fiche technique du panneau solaire BlueSolar monocristallin 215 W.

**Annexe C** : Rayonnement global de la ville de bouguara.

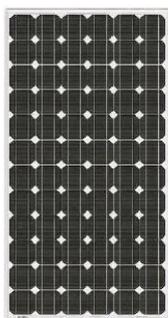
**Annexe A**



## Annexe B



## Panneaux monocristallins BlueSolar

[www.victronenergy.com](http://www.victronenergy.com)


BlueSolar monocrystallin 305 W

- Un coefficient de température de tension faible améliore un fonctionnement à température élevée.
- Performance de faible luminosité exceptionnelle et sensibilité élevée pour illuminer le spectre solaire complet.
- Garantie limitée de 25 ans sur la production et la performance de puissance.
- Garantie limitée de 5 ans sur les matériaux et la qualité d'exécution.
- La boîte de connexion est multifonctionnelle, étanche et scellée, ce qui permet un niveau de sécurité élevé.
- Les diodes de dérivation à haute performance minimisent les chutes de puissances en cas de manque de rayonnement.
- Système avancé d'encapsulation EAV (Éthylène-Acétate de Vinyle) avec une feuille isolante arrière à trois couches respectant les exigences de sécurité les plus rigoureuses pour un fonctionnement sous tension élevée.
- Un cadre en aluminium anodisé robuste permet de monter facilement les modules sur un toit avec une variété de systèmes de montage standard.
- Verre trempé de la plus haute qualité offrant une transmission élevée et fournissant une résistance à l'impact et une dureté améliorées.
- Modèles à haute puissance avec un système de connexion rapide précâblé avec des connecteurs MC4 (PV-ST01).

Référence de l'article	Description	Poids net	Données électriques sous STC (1)				
			Puissance Nominale	Tension de puissance	Courant de puissance	Tension de circuit ouvert	Courant de court-circuit
			PMPP	VMPP	IMPP	Voc	Isc
		Kg	W	V	A	V	A
SPM040201200	20W-12V Mono 440 x 350 x 25mm séries 4a	1.9	20	18.5	1.09	22.6	1.19
SPM040301200	30W-12V Mono 560 x 350 x 25mm séries 4a	2.2	30	18.7	1.61	22.87	1.76
SPM040401200	40W-12V Mono 425 x 668 x 25mm séries 4a	3.1	40	18.3	2.19	22.45	2.40
SPM040551200	55W-12V Mono 545 x 668 x 25mm séries 4a	4	55	18.8	2.94	22.9	3.22
SPM040901200	90W-12V Mono 780 x 668 x 30mm séries 4a	6.1	90	19.6	4.59	24.06	5.03
SPM041151200	115W-12V Mono 1015 x 668 x 30mm séries 4a	8	115	19.0	6.04	23.32	6.61
SPM041151202*	115W-12V Mono 1030 x 668 x 30mm séries 4b	8	115	19.0	6.04	23.32	6.61
SPM041751200	175W-12V Mono 1485 x 668 x 30mm séries 4a	11	175	19.4	9.03	23.7	9.89
SPM041401200	140W-12V Mono 1250 x 668 x 30mm séries 4a	9	140	19.4	7.22	23.6	8.05
SPM042152400	215W-24V Mono 1580 x 808 x 35mm séries 4a	15	215	37.4	5.75	45.82	6.30
SPM043052000	305W-20V Mono 1640 x 992 x 35mm séries 4a	18	305	32.5	9.38	39.7	10.27
SPM043052002*	305W-20V Mono 1658 x 1002 x 35mm séries 4b	19	305	32.5	9.38	39.7	10.27
SPM043602400	360W-24V Mono 1956 x 992 x 40mm séries 4a	22	360	38.4	9.38	47.4	10.24
SPM043602402*	360W-24V Mono 1980 x 1002 x 40mm séries 4b	23	360	38.4	9.38	47.4	10.24

Module	SPM 040201200	SPM 040301200	SPM 040401200	SPM 040551200	SPM 040901200	SPM 041151200	SPM 041151202	SPM 041401200	SPM 041751200	SPM 042152400	SPM 043052000	SPM 043052002	SPM 043602400	SPM 043602402
Puissance nominale (± 3 % tolérance)	20W	30W	40W	55W	90W	115W	115W	140W	175W	215W	305W	305W	360W	360W
Type de cellule	Monocristal													
Nombre de cellules en série	36						72		60		72			
Tension de système maximale	1000V													
Coefficient de température de MPP (%)	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C
Coefficient de température de Voc (%)	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C
Coefficient de température de Isc (%)	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C
Plage de température	-40 °C à +85 °C													
Capacité de charge maximale en surface	200 kg/m <sup>2</sup>													
Résistance à la grêle disponible	23 m/s, 7,53 g													
Type de boîte de connexion	PV-LH0805		PV-LH0806		PV-LH0801		PV-LH0808		PV-LH0701			PV-JB002		
Longueur des câbles/Type de connecteur	Pas de câble						900 mm MC4							
Tolérance de sortie	+/-3 %													
Cadre	Aluminium													
Garantie du produit	5 ans													
Garantie sur les performances électriques	10 ans 90 % + 25 ans 80 % de production de puissance													
Unité d'emballage la plus petite	1 panneau													
Quantité par palette	380	260	200	140	72	72	36	48	42	42	42	42	37	37

\*Nouvelles dimensions : remplacera le modèle 4a

1) STC (Conditions de tests standard) : 1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C AM (Air Mass - Masse d'air) 1,5

## Annexe C

## Bouguara

