

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique urbaine

Par : **Boussaid Tahar Ayyoub**

Sujet

***Approche Numérique pour un Système d'Irrigation et un Pompage par Energie
Renouvelable Adapté à la Culture des Terres Agricole Steppiques***

Soutenu publiquement, le / / , devant le jury composé de :

Mr BOUCHELKIA Hamid	Pr	Université de Tlemcen	Président
Mme GUASMI Imen	MCA	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mr TERKI HASSAINE Taha El Amine	MCA	Université de Tlemcen	Encadreur
Mr BENMANSOUR Abdelhalim	Pr	Université de Tlemcen	Co-encadreur

Remercîments



Avant tout, louange à Dieu le miséricordieux, qui nous a donné savoir, force et patience pour faire cet humble travail. Tous mes remerciements vont à toutes les personnes, qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Par ailleurs, je tiens à remercier mes deux encadreurs Mr. TERKI HASSAINE Taha El Amine et Mr. BENMANSOUR Abdelhalim, pour leurs gentillesse, dévouement, travail et leurs judicieux conseils.

Enfin, je remercie chaudement, les membres du jury de m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.

Dédicace



Je dédie, ce modeste travail à mes parents, qui m'ont soutenu sans cesse, tout au long de ce périple, afin que je puisse terminer, mes études et faire aboutir ce travail en leur vivant.

A mes chers frères, ma grand-mère ainsi que mes tantes, à ma famille et à tous ceux qui m'ont aidé et encouragé, pour finaliser ce noble travail.

Résumé :

L'irrigation est un outil de gestion efficace pour faire face à la variabilité des précipitations. Cela contribue à rendre différentes cultures économiquement intéressantes. Sa tâche principale est d'augmenter la production. L'une des techniques les plus utilisées aujourd'hui est l'irrigation goutte à goutte. Il s'agit d'un système d'approvisionnement en eau et en nutriments très efficace qui peut être utilisé pour faire pousser des cultures. Elle permet de fournir de l'eau et des nutriments directement à la zone des racines de la plante, en quantité suffisante, au bon moment, afin que chaque plante obtienne exactement ce dont elle a besoin, au moment opportun, pour se développer de manière optimale. Afin d'offrir la quantité nécessaire à ce genre de culture, il est indispensable de recourir à une énergie permettant de pomper cette eau. La disponibilité d'une importante énergie solaire et la situation géographique de notre pays offre une opportunité intéressante d'un pompage solaire photovoltaïque surtout pour des sites isolés. L'utilisation de cette technique requiert un certain savoir quand à l'étude du dimensionnement du système d'irrigation choisi. Le travail que nous présentons dans ce projet de Master fait l'objet d'une étude d'un système de pompage photovoltaïque utilisé pour la technique d'irrigation au goutte à goutte d'un champ d'oliviers situé dans une région steppique (Terni-Tlemcen-Algérie). Notre choix est tombé sur une parcelle de terre située exactement à Meffrouche d'une superficie de 58.5Ha, et un périmètre de 4593m. Pour pallier au problème de la discontinuité solaire et au stockage de l'énergie dans des batteries, nous avons opté pour un pompage au fil de soleil. Le captage et le stockage de l'eau dans un réservoir surélevé, nous permettra d'irriguer la parcelle par écoulement gravitaire.

Mots clés : Irrigation, goutte à goutte, pompage, photovoltaïque, fil du soleil, Oliviers, Tlemcen.

ملخص

الري هو أداة إدارة فعالة ضد تقلبات هطول الأمطار. يساعد على جعل المحاصيل المختلفة مثيرة للاهتمام اقتصاديًا. تأثيره أحد أكثر التقنيات استخدامًا اليوم وهو نظام فعال (goutte à goutte) الأساسي هو تعزيز زيادة الغلة. يعد الري بالتنقيط للغاية لتوصيل المياه والمغذيات لزراعة المحاصيل. إنه يتيح أربع سنوات من الماء والمواد الغذائية مباشرة إلى منطقة جذر النبات ، بكميات كافية ، في جميع الأوقات ، حتى لو كان هذا النبات يحصل على ما يحتاجه بالضبط ، في ذلك الوقت المناسب ، لينمو على النحو الأمثل. من أجل توفير الكمية اللازمة لهذا النوع من الاستزراع ، من الضروري استهلاك طاقة كافية لضخ هذه المياه. يوفر توافر الطاقة الشمسية الهامة والموقع الجغرافي لبلدنا فرصة مثيرة للاهتمام لضخ الطاقة الشمسية الكهروضوئية ، وخاصة للعزل. يتطلب استخدام هذه التقنية معرفة معينة عند دراسة أبعاد نظام الري المختار. كان العمل الذي تقدمه في هذا المشروع الرئيسي موضوع دراسة لنظام الضخ الكهروضوئي الذي يمكن استخدامه للري بالتنقيط في وقع اختيارنا على قطعة أرض بالضبط في مفروش بمساحة 58.5 هكتار (Terni-Tlemcen-Algeria) منطقة السهوب ومحيط 4593 م. بالنسبة إلى مشكلة انقطاع الطاقة الشمسية وتخزين الطاقة في البطاريات ، اخترنا الضخ فوق الشمس. سيسمح لنا التقاط المياه وتخزينها في خزان مرتفع بري الأرض عن طريق تدفق الجاذبية.

الكلمات المفتاحية : الري ، قطرة قطرة ، ضخ ، فلتائي ضوئي ، خيط من الشمس ، أشجار زيتون ، تلمسان

Summary :

Irrigation is an effective management tool against the vagaries of rainfall. It helps to make the different crops economically interesting. Its main effect is to increase yields. One of the most widely used techniques today is drip irrigation, which is a very efficient water and nutrient delivery system for growing crops. It delivers water and nutrients directly to the plant's root zone, in sufficient quantity, at the right time, so that each plant gets exactly what it needs, at the right time, to thrive. Optimal. In order to provide the quantity necessary for this type of culture, it is essential to use energy to pump this water. The availability of significant solar energy and the geographical location of our country offers an interesting opportunity for photovoltaic solar pumping, especially for isolated sites. The use of this technique requires a certain knowledge when studying the sizing of the chosen irrigation system. The work that we present in this Master project is the subject of a study of a photovoltaic pumping system that can be used for drip irrigation in a steppe region (Terni-Tlemcen-Algeria). Our choice fell on a plot of land located exactly in Meffrouche with an area of 58.5Ha, and a perimeter of 4593m. To overcome the problem of solar discontinuity and the storage of energy in batteries, we opted for pumping over the sun. The capture and storage of water in an elevated reservoir will allow us to irrigate piece of land by gravity flow.

Keywords: Irrigation, drop-by-drop, pumping, photovoltaic, thread of the sun, olive trees, Tlemcen.

La liste des figures :

<i>Figure I.1</i> : irrigation de surface_.....	5
<i>Figure I.2</i> : Irrigation par Bassins	5
<i>Figure I.3</i> : Irrigation par Sillons/a la raie_.....	6
<i>Figure I.4</i> : Irrigation par Planches_.....	6
<i>Figure I.5</i> : Irrigation par Aspersion	7
<i>Figure I.6</i> : Schémas d'irrigation goutte à goutte.....	7
<i>Figure II.1</i> : Energie solaire : conversion_.....	15
<i>Figure II.2</i> : Rayonnement global horizontal.....	15
<i>Figure II.3</i> : Transformation de la lumière du soleil en électricité_.....	16
<i>Figure II.4</i> : Principe de conversion photovoltaïque d'une cellule solaire	16
<i>Figure II.5</i> : Courbe d'ensoleillement journalier	17
<i>Figure II.6</i> : Moyenne annuelle globale reçue sur une surface horizontale (Algérie 1992-2002).	17
<i>Figure II.7</i> : Installation solaire autonome	19
<i>Figure II.8</i> : Installation hybride.....	19
<i>Figure II.9</i> : Pompe Volumétrique à lobes_.....	20
<i>FIGURE II.10</i> Schéma d'une pompe centrifuge.....	21
<i>Figure II.11</i> : Éléments d'un pompage d'eau solaire	22
<i>Figure II.12</i> : Schéma du calcul de la hauteur manométrique totale.	24
<i>Figure II.13</i> : Nombre de modules configurés en série et en parallèle.	27
<i>Figure III.1</i> : Situation du périmètre agricole dans la région de Terni (Tlemcen).....	29
<i>Figure III.2</i> : Situation géographique du site étudié	30
<i>Figure III.3</i> : Evaporation moyenne mensuelle_.....	32
<i>Figure III.4</i> : Enssoleillement moyenne mensuelle de la station de Tlemcen.....	33

Liste des tableaux

<i>Tableau III.1</i> : Quotient d'Emberger_	32
<i>Tableau III.2</i> : Vitesse moyenne mensuelle des vents de la région étudiée durant la période de l'année 2019/2020	33
<i>Tableau III.3</i> : Humidité moyenne mensuelle de la région étudiée.....	34
<i>Tableau III.4</i> : Les résultats obtenus par le logiciel CROPWAT.	35
<i>Tableau III.5</i> : <i>Besoins en eau d'irrigation des oliviers</i>	36
<i>Tableau III.6</i> : Irradiation globale journalière moyenne mensuelle.....	36
<i>Tableau IV.1</i> : Les caractéristiques techniques de la motopompe et du contrôleur	40
<i>Tableau IV.2</i> : Caractéristiques électriques du module PV (VICTRON 175Wc-15V)	42
<i>Tableau IV.3</i> : Le coût total de l'investissement et l'amortissement du système PV	52
<i>Tableau IV.4</i> : Calcul de l'investissement et de l'entretien total de système PV.....	53
<i>Tableau IV.5</i> : Coût total de l'investissement et l'amortissement du système de pompage par le groupe électrogène	56
<i>Tableau IV.6</i> : Calcul de l'investissement et de l'entretien total de système de pompage par groupe électrogène..	57
<i>Tableau IV.7</i> : Calcul du coût total de l'exploitation du système de pompage par groupe électrogène	58
<i>Tableau IV.8</i> : Coût du m ³ d'eau pompé par les deux systèmes Photovoltaïque électrogène	58

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

RESUME

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Introduction générale	1
Chapitre I : Etude bibliographique des techniques d'irrigation	4
Introduction	4
I. Les méthodes d'irrigations	4
I.1. Irrigation de surface	4
I.2. Irrigation par bassins	5
I.3. Irrigation par sillons/a la raie	5
I.4. Irrigation par planches	6
I.5. Irrigation par aspersion	7
I.6. Irrigation goutte à goutte.....	7
II. Composition d'une installation goutte à goutte	8
II.1. L'unité de tête	8
II.2. Conduites et rampes.....	9
II.2.1. La conduite principale.....	9
II.2.2. La porte rampes.....	9
II.2.3. Les rampes	9
II.3. Les distributeurs	9
II.3.1. Différents types de distributeurs	9
II.4. Les types de goutteurs	9
II.4.1. Les goutteurs turbulents	10
II.4.2. Le goutteur intégré.....	10
III. La filtration	10
III.1. Le poste de filtration.....	10
III.2. Les types de filtres.....	10
III.2.1. Le filtre à sable	10

III.2.2. Les filtre à tamis	10
IV. La pression hydraulique	11
V. La mesure du débit	11
Conclusion	11
Chapitre II : Energie et pompage solaire	14
Introduction.....	14
I. Définitions et principes de la production d'énergie solaire [3]	14
I.1. Ressource solaire.....	14
I.2. Le rayonnement solaire.....	15
I.3. Le solaire photovoltaïque.....	15
I.4. Éléments d'un système solaire photovoltaïque	16
I.5. L'éclairement solaire	16
I.6. Courbe I-V et point de puissance maximale du module solaire	18
II. Configurations et composants d'un système de pompage solaire	18
II.1. Configurations des SPS	18
II.1.1. Pompes à eau.....	20
II.1.2. Pompes volumétriques ou centrifuges	20
II.1.3. Pompes de surface ou immergées	20
II.2. L'onduleur	21
III. Conception d'un système de pompage solaire	22
III.1. Étapes de la conception d'un système de pompage solaire.....	22
III.2. Notions élémentaires de conception de la pompe et du générateur	23
III.3. Débit de référence	23
III.4. Calcul de la hauteur totale	23
III.4. Dimensionnement du générateur.....	25
III.5. Calcul de la HMT	25
Conclusion	27
Chapitre III : Etude de la Région Etudiée.....	29
Introduction.....	29
I. Etude du milieu physique du site	29
I.1. Situation géographique	29
I.2. Topographie et relief.....	29

I.2.1. Superficie du périmètre d'étude	30
I.2.2. Situation géologique et hydrogéologique	30
I.2.3. Pédologie de la région	31
I.3. Etude climatologique	31
I.3.1. La température.....	31
I.3.1.1. Températures moyennes mensuelles.....	31
I.3.1.2. Températures moyennes maximales	31
I.3.1.3. Températures moyennes minimales.....	31
I.3.2. La pluviométrie	31
I.4. L'évaporation.....	32
I.5. L'insolation et éclairage.....	33
I.6. Le vent	33
I.7. L'humidité relative de l'air	33
II. Estimation des besoins en eau.....	34
II.1. Evapotranspiration (ET)	34
II.2. Evapotranspiration potentielle (ETP) ou (ET0).....	34
II.3. Evapotranspiration calculée.....	34
II.3.1. Présentation de logiciel CROPWAT 8.0.....	34
II.3.2- Besoin en eau d'irrigation (IB).....	35
II.3.3- Rayonnement solaire	36
Chapitre IV: Dimensionnement du système de pompage photovoltaïque.....	38
Introduction.....	38
I. Débit journalier maximal journalier	38
I.1. Choix de la pompe	38
I.2. Calcul du débit horaire.....	38
I.3. Calcul de la hauteur manométrique total (HMT).....	39
II. Capacité de réservoir	39
III. Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire.....	41
IV. Calcul de l'énergie électrique	41
IV.1. La taille du générateur photovoltaïque.....	42
IV.2. Taille de générateur photovoltaïque.....	42
IV.2.1. Calcul de la puissance crête.....	42
IV.2.2. Nombre de module nécessaire [8]	43

IV.2.3. Nombre de modules en série [8].....	43
IV.2.4. Nombre de modules en parallèle	44
V. Le logiciel de simulation PV SYST [9]	44
V.1. Présentation du Logiciel.....	44
V.2. Etape de la simulation d'un système de pompage solaire par PV SYST 7.2	45
VI. Analyse économique des systèmes de pompage photovoltaïque.....	50
VI.1. Evaluation du coût global actualisé de 1 m ³ d'eau pompé	50
VI.2. Calcul de l'investissement initial total	51
VI.3. Calcul des coûts de la durée de vie	51
VI.4. Calcul de l'amortissement total.....	51
VI.5. Calcul de l'entretien et de la maintenance total	52
VII. Etude comparative photovoltaïque-électrogène.....	54
VII.1. Groupe électrogène	54
VII.2. Système de pompage par groupe électrogène.....	54
VII.3. Calcul de puissance.....	54
VII.4. Calcul de l'investissement initial total.....	55
VII.5. Calcul de l'amortissement total	55
VII.6. Calcul de l'entretien et de la maintenance total.....	56
VII.7. Calcul l'exploitation annuel total.....	56
VIII. Résultats comparative	58
Conclusion générale.....	60
Bibliographie	61

Introduction générale

Introduction générale

L'agriculture est, de loin, l'industrie ayant la plus grande consommation d'eau. L'irrigation des régions agricoles représente environ 70% de l'eau utilisée dans le monde entier. Dans plusieurs pays en voie de développement, l'irrigation représente jusqu'à 95% de toutes les utilisations d'eau, et joue un rôle important dans la production de nourriture et par suite la sécurité alimentaire. Les futures stratégies de développement agricole de la plupart de ces pays dépendent de la possibilité de maintenir, d'améliorer et d'étendre l'agriculture irriguée [1]. En effet, selon les espèces et variétés cultivées, selon les terres, et selon les techniques utilisées, l'irrigation peut permettre d'obtenir de deux à cinq fois plus (et même dix en zone aride) de production. L'irrigation n'est pas uniquement un apport d'eau sur une terre cultivée en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et de permettre le plein développement des cultures Elle est considérée plutôt comme un ensemble d'actions de développement intégré des milieux agricole et rural. Ces actions se traduisent non seulement par l'augmentation de la production et l'amélioration du niveau de vie de l'agriculteur mais aussi par la préservation du milieu, notamment des terres agricoles, et par une économie de l'eau d'irrigation qui elle-même se traduit par une économie dans l'utilisation de l'énergie (électricité, fuel, etc.) [2].

La demande de produits alimentaires a considérablement augmenté ces dernières années par suite de l'essor démographique qui s'est manifesté dans la plupart des pays en voie de développement où, dans certains, la population double tous les 25 ou 30 ans. C'est la raison pour laquelle ces pays ne cessent de développer des techniques de plus en plus savantes en vue d'une autosuffisance alimentaire leur permettant de s'échapper de la famine et ses conséquences économiques et politique [3].

Plusieurs techniques sont utilisées en ce moment dans le monde entier, certaines sont à l'aube des premières civilisations humaines et d'autres très récentes basées sur des études scientifiques. L'une des plus importantes et récentes techniques en est la technique d'irrigation goutte à goutte qui possède plusieurs avantages ; elle permet de diminuer au maximum la consommation d'eau. Cette technique est utilisée dans la plus part des pays du monde, même les plus riches. Bien menée, cette technique permet de diminuer notablement la consommation d'eau ; elle n'humidifie que la portion de sol située au voisinage immédiat des racines et elle limite les pertes par évaporation, ruissellement ou infiltration profonde [4].

Cependant la disponibilité de l'eau demande des efforts variés suivant le site à irriguer. En effet l'eau d'irrigation peut provenir de plusieurs sources, la pluie, les barrages, les rivières, les puits, etc.

L'utilisation de l'eau de forage est très utilisée dans le monde surtout quand les conditions climatiques sont défavorables. L'énergie utilisée pour puiser de l'eau des puits est en plein cœur des préoccupations des pays à présent puisqu'elle n'est pas gratuite ! Les différents efforts à présents se concentrent à trouver des solutions adéquates et spécifiques pour chaque pays. Notre pays l'Algérie, que Dieu le préserve, possède des potentiels très variés concernant les domaines d'agriculture et d'énergie propre. L'une de ses vertus en est l'énergie solaire qui peut être utilisée dans toute sa superficie. En effet cette énergie peut être utilisée facilement pour puiser par exemple de l'eau des puits destinés à l'irrigation surtout dans les sites les plus reculés [5].

Le travail que nous présentons dans ce projet de Master fait l'objet d'une étude d'un système de pompage photovoltaïque utilisé pour la technique d'irrigation au goutte à goutte d'un champ d'oliviers situé dans une région steppique de Terni dans la wilaya de Tlemcen.

Pour cela, notre mémoire compte quatre chapitres.

Le premier chapitre, décrit succinctement les différentes techniques de l'irrigation, leurs avantages et désavantages.

Le deuxième, dévoilera le principe du phénomène photovoltaïque et son utilisation dans la production de l'énergie électrique qui va être utilisée dans le système de pompage photovoltaïque destiné à la méthode d'irrigation choisie. L'installation ainsi que le matériel que demande cette forme de production d'énergie sera discuté en vue d'optimiser la mise en œuvre de cette technique verte.

Le troisième chapitre présentera la zone d'étude, son climat, l'ensoleillement et la qualité du sol de la dite région. On y abordera aussi le système d'irrigation choisi et l'estimation des besoins en eau pour les oliviers du site choisi.

Dans le quatrième chapitre on procédera au dimensionnement du système de pompage photovoltaïque au fil du soleil pour une irrigation goutte à goutte de notre plantation.

Enfin notre Mémoire sera clôturé par une étude technico-économique succincte qui montrera l'efficacité ainsi que l'avantage de ces deux techniques, tous deux alliées, dans le domaine d'agriculture surtout pour notre pays.

CHAPITRE I

Etude bibliographique des techniques d'irrigation

Introduction :

Choisir le bon système d'irrigation a de profondes répercussions environnementales et économiques. La méthode choisie doit être adaptée au terrain, au type de plantes et aux objectifs de cultures, afin de maximiser la productivité des plantes et de minimiser la consommation d'eau et les coûts énergétiques. Comprendre les principaux avantages et inconvénients des systèmes d'irrigation peut aider à choisir celui qui convient le mieux aux besoins nécessaires. Les différentes méthodes passées en revue dans ce chapitre nous permettront de bien choisir la méthode d'irrigation adaptable au climat, au sol et aux types de plantes choisies. Nous rappelons que la méthode choisie dans ce travail de mémoire est la méthode d'irrigation goutte à goutte vu les conditions climatique de notre région ainsi que son type de sol et plantes choisies.

Une certaine quantité d'eau est nécessaire pour bien nourrir la culture. Lorsque cette eau n'est pas disponible naturellement, l'irrigation permet de compenser les déficits en eau. Même lorsque la quantité de pluie est suffisante, sa distribution spatiale et temporelle peut ne pas être aussi importante. L'arrosage non suffisant et l'arrosage excessif entraînent des problèmes de sol, des maladies des racines et du gazon, des carences nutritionnelles et une diminution du rendement des plantes. Pour assurer le succès du système d'irrigation, la surveillance, la gestion et l'entretien du système sont nécessaires [6-7].

Il existe actuellement plusieurs méthodes d'irrigation pour la desserte en eau des cultures. Chaque méthode présente en même temps des avantages et des inconvénients, qui doivent être pris en considération lors de la sélection de la méthode qui s'adapte le mieux aux conditions locales.

L'irrigation des grandes superficies, ou des périmètres d'irrigation, nécessite le recours à des méthodes d'irrigation plus perfectionnées. Les trois techniques les plus couramment utilisées sont: l'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion, et l'irrigation au goutte à goutte.

I. Les méthodes d'irrigations

I.1. Irrigation de surface :

L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité. L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion (irrigation par bassins), soit dans des sillons en terre (irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches) [8].



Figure I.1 : irrigation de surface [9]

I.2. Irrigation par bassins :

Les bassins sont constitués de cuvettes en terre, à fond à peu près plat, entourées de diguettes de faible hauteur ou levées. Ces levées sont conçues pour empêcher le passage de l'eau aux champs adjacents. Cette technique est utilisée, d'une façon générale, pour l'irrigation des rizières sur terrain plat, ou des terrasses à flanc de coteau. La méthode par bassins est aussi utilisée pour l'irrigation des arbres fruitiers; dans ce cas une petite cuvette (bassin) est aménagée autour de chaque arbre. En général, cette technique d'irrigation s'applique à toutes les cultures qui peuvent tolérer la submersion par les eaux pour une longue durée (12 à 24 heures) [6]



Figure I.2 : Irrigation par Bassins [10]

I.3. Irrigation par sillons/a la raie :

Les sillons sont des petites rigoles en terre, aménagées dans le sens de la pente du terrain, pour transporter l'eau entre les rangées de cultures. L'eau s'infiltre dans le sol, principalement par les côtés du sillon, tout le long de son trajet dans le sens de la pente du terrain. Généralement, les plantes sont cultivées sur les billons séparant les sillons. Cette technique est valable pour l'irrigation de toutes les cultures en lignes et pour toutes les cultures qui ne tolèrent pas la submersion par les eaux de leur

feuillage ou de leur collet pour une longue durée (12 à 24 heures). Les sillons sont alimentés par des prises d'eau aménagées sur les berges du canal d'amenée. Ces ouvrages de prise peuvent être soit de simples ouvertures aménagées sur les berges du canal d'amenée, soit des siphons, ou bien des tuyaux d'alimentation passant à travers la berge du canal d'amenée [6].



Figure I.3 : Irrigation par Sillons/a la raie [11].

I.4. Irrigation par planches :

Les planches sont des bandes de terrain, aménagées en pente douce et séparées par des diguettes. Elles sont aussi appelées calant ou planches d'arrosage. L'alimentation en eau des planches est faite de plusieurs façons: soit à l'aide de prises d'eau aménagées sur le canal d'amenée et équipées d'une vannette, soit par des siphons, ou bien par des tuyaux d'alimentation passant à travers les berges du canal d'amenée. La lame d'eau introduite ruisselle en descendant la pente de la planche, guidée par les diguettes des deux côtés de celle-ci [6].



Figure I.4 : Irrigation par Planches [12]

I.5. Irrigation par aspersion

La technique d'irrigation par aspersion est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle [6].



Figure I.5 : Irrigation par Aspersion [11].

I.6. Irrigation goutte à goutte :

L'irrigation au goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC; cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations. La zone humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes. Par conséquent, cette méthode d'irrigation a un haut degré d'efficacité de distribution d'eau (figure 6). L'irrigation au goutte à goutte est aussi appelée micro-irrigation [13].

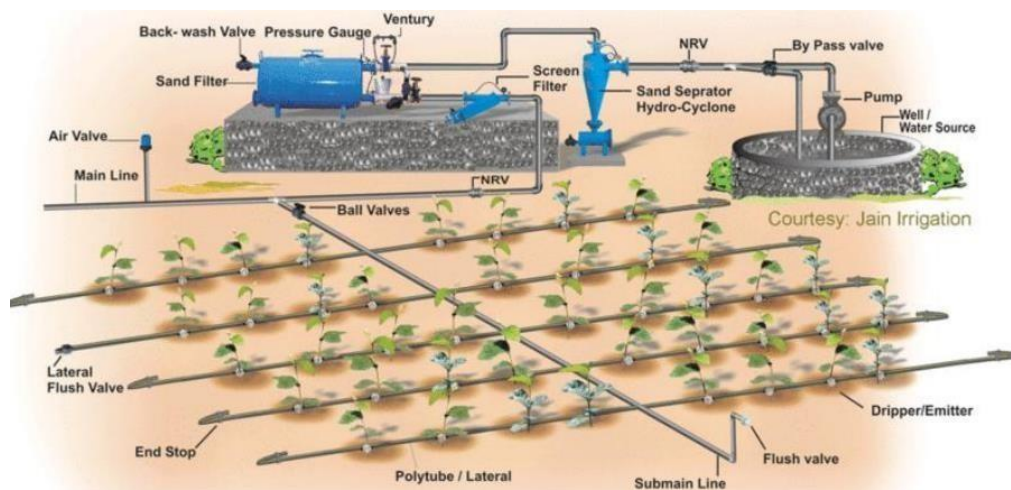


Figure I.6 : Schémas d'irrigation goutte à goutte [13]

Vu les conditions climatiques ainsi que le type de sol et de plantes choisis de notre région (Meffrouche Tlemcen), nous avons opté pour la méthode d'irrigation au goutte à goutte qui se voit généraliser de plus en plus par nos cultivateurs vu sa facilité de mise en œuvre ainsi que ses résultats satisfaisants. Nous allons nous étendre plus sur cette importante méthode d'irrigation connue pour ses différents avantages économiques et énergétiques.

L'irrigation localisée apporte l'eau nécessaire directement au pied des végétaux. Ce sont des systèmes très utilisés en maraîchage, en arboriculture et en horticulture. Le plus connu de ces principes est sans doute le «goutte à goutte », d'autres systèmes existent également tels que les tubes poreux alignés sur le sol ou mini-asperseurs. Ces derniers sont utilisés notamment en arboriculture.

L'irrigation améliore l'établissement des arbres, l'utilisation des éléments nutritifs, la surface du feuillage et la santé des arbres. Il améliore également la taille et la qualité du fruit.

L'irrigation goutte-à-goutte est fondée sur le concept de la prévention plutôt que le soulagement du stress hydrique.

La réponse des cultures à cette approche est positive. Les avantages de l'irrigation au goutte-à-goutte sont :

- l'automatisation de sa mise en œuvre qui s'avère une technique facile;
- l'arrosage qui peut se faire par temps venteux ou pendant la pulvérisation;
- le feuillage n'est pas mouillé, ce qui réduit les problèmes de maladies;
- l'eau n'entre pas en contact avec le produit, donc le risque de la salubrité des aliments lié à l'eau de qualité inférieure est réduit.

II. Composition d'une installation goutte à goutte :

Une crépine filtrante peut être nécessaire si la ressource en eau est constituée par un petit barrage ou un cours d'eau qui contient de la matière organique ou des particules en suspension, mais non si elle est relativement propre [15].

II.1. L'unité de tête :

Cette unité est reliée au point de fourniture d'eau elle permet de réguler la pression et le débit, de filtrer l'eau et d'y introduire des éléments fertilisants. Parfois, des régulateurs de pression et des filtres secondaires sont placés en tête des portes rampes ou même des rampes. Pour introduire des éléments fertilisants, on utilise le plus souvent un réservoir que l'on remplit d'engrais solubles, azote en particulier : c'est un petit récipient sous pression avec une entrée et une sortie.

II.2. Conduites et rampes :

II.2.1. La conduite principale :

C'est la conduite qui relie au point de fourniture d'eau les divers portes rampes. Elle peut être en amiante ciment, en PVC rigide, en polyéthylène (PE) à haute densité peut également être utilisé.

II.2.2. La porte rampes :

C'est la conduite qui alimente les rampes d'un seul côté ou des deux côtés. Ils peuvent être soit en polyéthylène moyenne densité (PE), soit en chlorure de polyvinyle rigide (PVC).

II.2.3. Les rampes :

Ce sont les conduites qui généralement en PEBD (polyéthylène basse densité), et sont équipés de distributeurs. Les distributeurs y sont fixés avec un espacement prédéterminé.

II.3. Les distributeurs :

Les distributeurs constituent la partie essentielle de l'installation. C'est à partir d'eux que l'eau sort, à la pression atmosphérique, en débits faibles et réguliers (quelques l/h). Il existe de nombreux types différents, des ajutages ou des mini diffuseurs dont le débit est un peu plus important (quelques dizaines de l/h).

II.3.1. Différents types de distributeurs :

-Goutteurs : les plus utilisés ont des débits de 2 l/h pour les cultures maraîchères et de 4 l/h pour les cultures pérennes.

-Gaines : destinée aux cultures maraîchères, peut être utilisée pour les vergers ; elles assurent conjointement un rôle de transport et de distributeur.

-Tubes poreux : la paroi à structure poreuse laisse passer l'eau, ils sont généralement enterrés.

-Mini diffuseurs : ils sont toujours placés en dérivation, fixés directement sur la rampe, fonctionnent comme de petits asperseurs statiques ne couvrant qu'une partie de la surface du sol au voisinage des cultures.

II.4. Les types de goutteurs :

Une installation d'irrigation goutte à goutte est un équipement qui s'installe pour 5 à 10 ans. Il faut donc bien choisir le matériel adapté à sa parcelle et à ses besoins.

II.4.1. Les goutteurs turbulents : sont indiqués pour les cultures dans les zones sans pentes ou les pentes lisses. Un goutteur turbulent est intégré, avec une résistance maximale à l'étanchéité, ce qui permet d'obtenir un écoulement parfaitement uniforme.

II.4.2. Le goutteur intégré : C'est un goutteur directement inclus dans le tube de polyéthylène à la fabrication. Il n'y a pas d'aspérité extérieure sur le tube ; il est donc facilement déroulable et enroulable.

III. La filtration :

Il n'y a pas d'irrigation localisée sans filtration. La filtration a pour objet d'extraire de l'eau, destinée à être injectée dans Le réseau d'irrigation, Les impuretés susceptibles d'obérer le bon fonctionnement de celui-ci notamment en obstruant les distributeurs. Les dispositifs de filtration installés doivent être adaptés aux caractéristiques de l'eau brute à traiter et à celles requises par les distributeurs de l'installation.

III.1. Le poste de filtration :

Le poste de filtration doit être conçu avec Le plus grand soin, afin de fournir une eau permettant un bon fonctionnement du réseau sans omettre de prendre en compte la nature de l'eau brute. [4]

III.2. Les types de filtres :

III.2.1. Le filtre à sable :

Le filtre à sable est une cuve à pression remplie d'une épaisse couche de sable calibré ; qui arrête les éléments solides en suspension dans L'eau qui la traverse. Il est indispensable pour arrêter les éléments organiques.

Le sable peut être roulé ou concasse. Le sable roulé, d'une seule granulométrie, permet une filtration plus homogène. L'emploi de couches de sable de granulométries différentes entraîne une variation de la porosité à la suite des lavages du filtre.

III.2.2. Les filtre à tamis :

Les filtres à tamis sont constitués d'une cuve à pression contenant une paroi filtrante ou tamis en matière plastique ou en acier inox, dont les mailles varient de 80 à 250 microns. Les particules de dimensions supérieures à cette maille sont arrêtées par le tamis. On obtient une bonne filtration pour une vitesse de passage de l'eau à travers le tamis du même ordre de grandeur qu'à travers un filtre à sable, soit 2,8 cm/s.

IV. La pression hydraulique :

Dans les conduites d'amenée ne doit pas nécessairement être créée par des pompes mécaniques. Il suffit d'installer le réservoir quelques mètres plus haut que la terre à arroser pour créer une pression de gravité suffisante pour irriguer au goutte-à-goutte une petite surface. En élargissant le diamètre des tubes et les orifices des goutteurs, et en augmentant la durée des arrosages, on peut compenser la faiblesse de la pression. On évitera ainsi de devoir placer des régulateurs de pression de précision, surtout si le terrain est relativement plat et si les canalisations latérales ne sont pas trop longues ou trop étroites.

V. La mesure du débit :

Est fondamentale pour garantir une utilisation efficace de l'eau. Si un système n'est pas équipé de débitmètres ou de valves doseuses, le débit doit être contrôlé en enregistrant la durée de chaque irrigation. Le volume de l'écoulement par unité de temps devrait être contrôlé et contrôlé périodiquement, de même que l'uniformité (ou la variabilité) du débit des goutteurs dans chaque canalisation latérale et dans les conduites qui se trouvent dans le champ. Pour ce faire, on peut enregistrer le temps qu'il faut pour que l'eau qui s'écoule remplisse une cuve d'un volume donné. Le volume d'eau déversé au cours de chaque période d'irrigation doit correspondre aux besoins estimés de la culture, compte tenu de son stade de croissance et des conditions météorologiques (pluviométrie et évapotranspiration depuis l'irrigation précédente). [16]

Conclusion :

Jusqu'à présent l'irrigation reste le seul moyen d'augmenter les rendements et de les régulariser dans bien des régions du monde. En effet, selon les espèces et variétés cultivées, selon les terres, et selon les techniques utilisées, l'irrigation peut permettre d'obtenir de deux à cinq fois plus de production (et même dix en zone aride).

L'irrigation n'est pas uniquement un apport d'eau sur une terre cultivée en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et de permettre le plein développement des cultures. Elle est considérée plutôt comme un ensemble d'actions de développement intégré des milieux agricole et rural qui doit se traduire non seulement par l'augmentation de la production et l'amélioration du niveau de vie de l'agriculteur, mais doit se traduire également par la préservation du milieu, notamment des terres agricoles, et par une économie de l'eau d'irrigation qui elle-même se traduit par une économie dans l'utilisation de l'énergie.

L'irrigation au goutte à goutte est peut-être la méthode la plus adaptée aux cultures de la plus part des pays en voie de développement vue les conditions climatiques et géologiques qui ne sont pas toujours favorables dans la plus part de ces pays. Elle présente une multitude d'avantages comme [17]:

- L'économie d'eau,
- L'amélioration de la croissance et du rendement des plantes,
- L'uniformité ainsi que la meilleure qualité des produits,
- L'utilisation efficace et économique des engrais,
- La rareté des mauvaises herbes,
- La possibilité d'utiliser de l'eau salée,
- L'économie d'énergie,
- La possibilité de son automatisation,
- L'amélioration de la production sur des terrains vallonnés,
- Absence d'érosion du sol,
- La flexibilité de fonctionnement,
- L'économie du travail,
- La non nécessité de préparation du terrain,
- L'infestation minimale de maladies et de ravageurs.

Toutes ces qualités nous ont menées à choisir cette méthode qui devient de plus en plus utilisée par nos agriculteurs. Investir dans ce domaine, théoriquement et pratiquement, est une bonne idée pour l'avenir de notre pays. C'est la raison essentielle de notre présent travail qui, pour nous, n'est qu'une première approche pour l'application de cette méthode dédiée principalement à nos petits agriculteurs cherchant à améliorer leurs productions agricoles avec peu de moyens matériels et financiers.

Chapitre II

Energie et pompage solaire

Introduction :

Dans le cadre de la transition énergétique mondiale vers les énergies renouvelables, on utilise de plus en plus la technologie photovoltaïque dans les projets d'approvisionnement en eau. Plusieurs facteurs tels que la réduction des coûts, une technologie fiable, des niveaux élevés de rayonnement solaire dans une grande partie de notre pays, et les préoccupations environnementales suscitent un regain d'intérêt pour les solutions d'énergie solaire dans le secteur agricole. De plus, les projets d'approvisionnement en eau sont souvent mis en œuvre dans des zones difficilement accessibles, du mauvais état des routes et des aléas climatiques.

D'une part, le soleil est une source potentielle d'énergie verte. Le pompage de l'eau avec l'énergie solaire PV convertit l'énergie solaire directement en électricité pour entraîner les pompes à eau, c'est le moyen le plus approprié d'assurer un approvisionnement en eau durable et fiable dans une variété de situations et de régions. Considéré ainsi comme une solution rentable sur le terrain. La distribution d'énergie photovoltaïque est donc une technologie particulièrement adaptée aux endroits où les réseaux électriques sont inexistantes ou en panne, et où les approvisionnements en carburant et la logistique nécessaire sont trop chers ou dangereuse. L'utilisation des sources d'énergie renouvelables se développe rapidement dans le monde, la capacité installée ayant doublé en 2018 pour la cinquième année consécutive.

Les avancées technologiques dans le domaine des pompes solaires ont permis de fabriquer des équipements robustes, polyvalents et nécessitant peu d'entretien. Les systèmes photovoltaïques peuvent désormais couvrir une large plage de puissance, permettant à un grand nombre de pompes submersibles et de surface d'être alimentées par l'énergie solaire [18-19].

I. Définitions et principes de la production d'énergie solaire : [20]

I.1. Ressource solaire :

La consommation mondiale d'énergie devrait doubler d'ici 2050. Grâce à la technologie photovoltaïque, nous avons un accès direct à de grandes quantités d'énergie solaire. Abondante dans la plupart des régions du monde en développement, l'énergie solaire peut être utilisée pour pomper l'eau potable et l'eau d'irrigation, en particulier dans des contextes humanitaires et de développement où de graves problèmes d'approvisionnement en eau et en énergie sont courants.

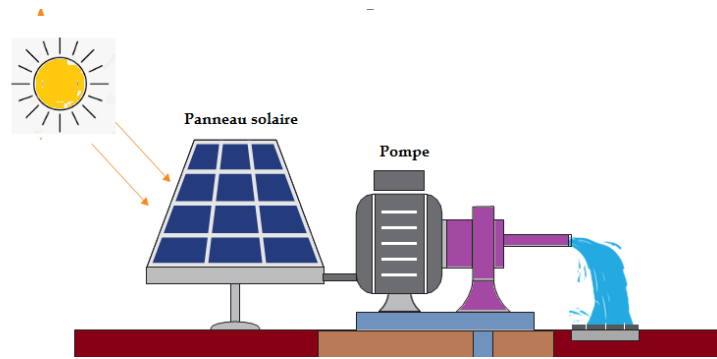


Figure II.1 : Energie solaire : conversion [21].

I.2. Le rayonnement solaire :

Dans l'espace, le rayonnement solaire est presque constant. Sur terre, elle varie selon la saison, l'heure de la journée, la latitude et les conditions atmosphériques. Le rayonnement solaire peut être converti en électricité à l'aide de technologies photovoltaïques telles que les modules PV. La quantité d'électricité produite par le module dépend de l'intensité de la lumière du soleil. Dans la conception et le dimensionnement des systèmes solaires, la quantification de la quantité d'énergie solaire atteignant un panneau solaire peut être exprimé en termes d'irradiance et d'ensoleillement.

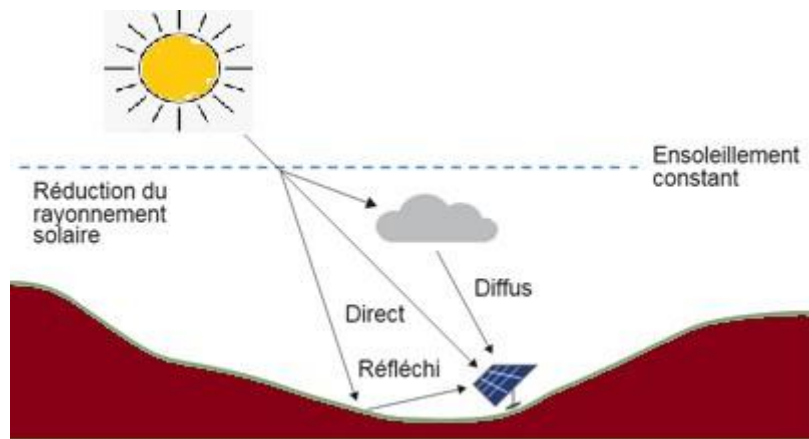


Figure II.2 : Rayonnement global horizontal [21]

I.3. Le solaire photovoltaïque

Les cellules solaires convertissent l'énergie solaire en électricité. L'effet photovoltaïque se produit lorsque des photons de lumière frappent une série de cellules solaires, provoquant la transition d'électrons excités vers des états d'énergie plus élevés et devenant des porteurs de charge, produisant un courant électrique. Ce courant est proportionnel à l'intensité du rayonnement incident sur le capteur.

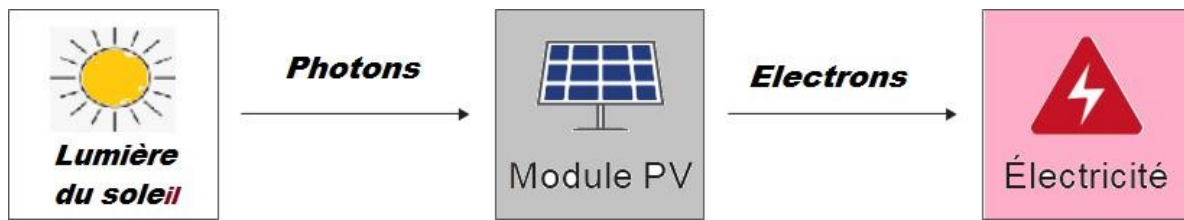


Figure II.3 : Transformation de la lumière du soleil en électricité [21].

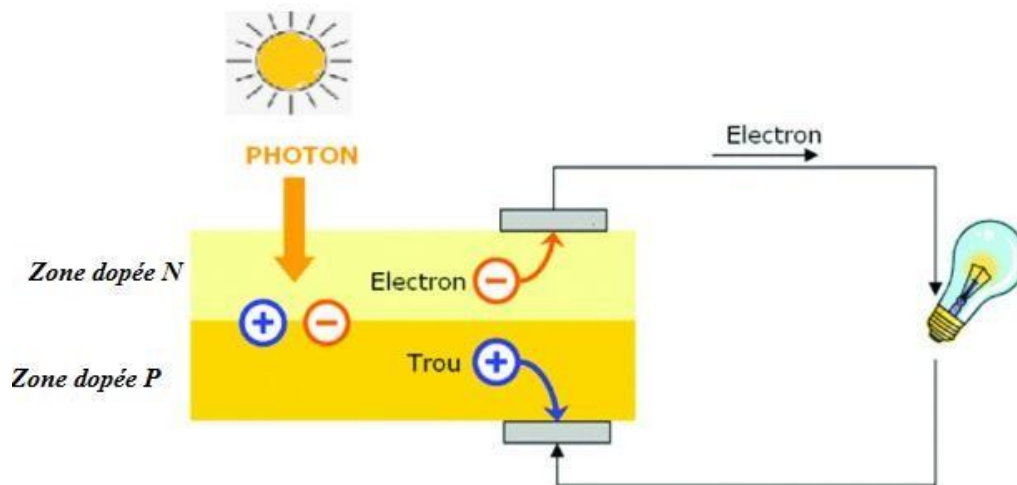


Figure II.4 : Principe de conversion photovoltaïque d'une cellule solaire [22].

1.4. Éléments d'un système solaire photovoltaïque :

Les éléments d'un système solaire photovoltaïque sont :

- **Cellule solaire** – La cellule photovoltaïque individuelle est l'élément de base de l'installation solaire. Elle transforme la lumière en électricité.
- **Module PV** – Également appelé panneau solaire, panneau PV ou module solaire, c'est un ensemble de cellules solaires interconnectées, généralement assemblées sur un châssis d'aluminium vitré.
- **Groupe photovoltaïque** – Plusieurs modules reliés électriquement en série ou en parallèle.
- **Générateur solaire** – Plusieurs groupes reliés électriquement en série et en parallèle pour augmenter la puissance disponible totale selon la tension et l'intensité requises.
- **Branche** – Ensemble de modules solaires reliés électriquement en série.

1.5. L'éclairement solaire :

Le rayonnement solaire fait référence à la puissance instantanée du rayonnement solaire reçu par unité de surface. Il est exprimé en W/m^2 ou kW/m^2 .

L'enseillement :

L'irradiation solaire est une mesure de l'éclairement énergétique cumulé d'une zone donnée sur une période de temps donnée, exprimée en Wh/m² ou en kWh/m². Elle est exprimée comme étant l'aire sous la courbe d'éclairement basée sur des données horaires, quotidiennes, mensuelles ou annuelles. La figure X montre la courbe représentant l'enseillement journalier.

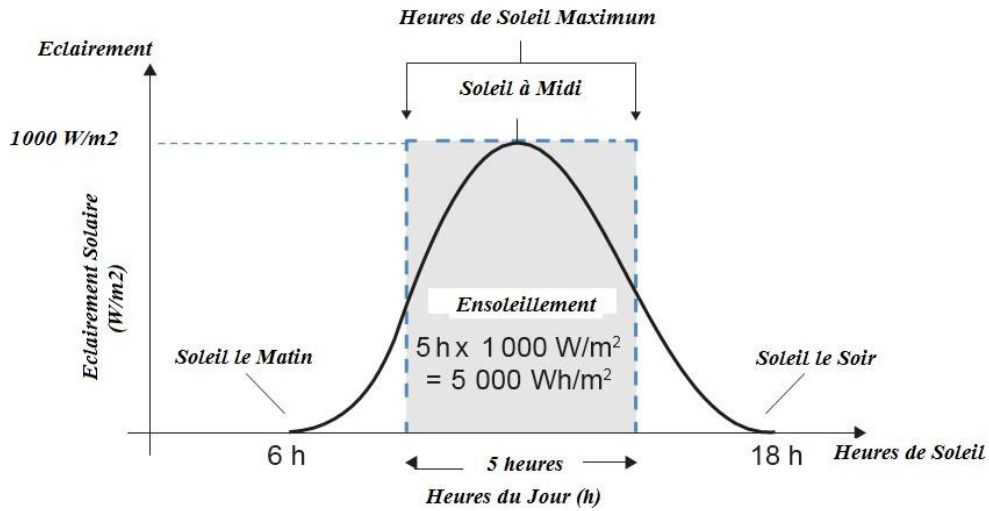


Figure II.5: Courbe d'enseillement journalier [21]

La carte de la figure II.6 représente la moyenne annuelle globale reçue sur une surface horizontale (Algérie 1992-2002) :

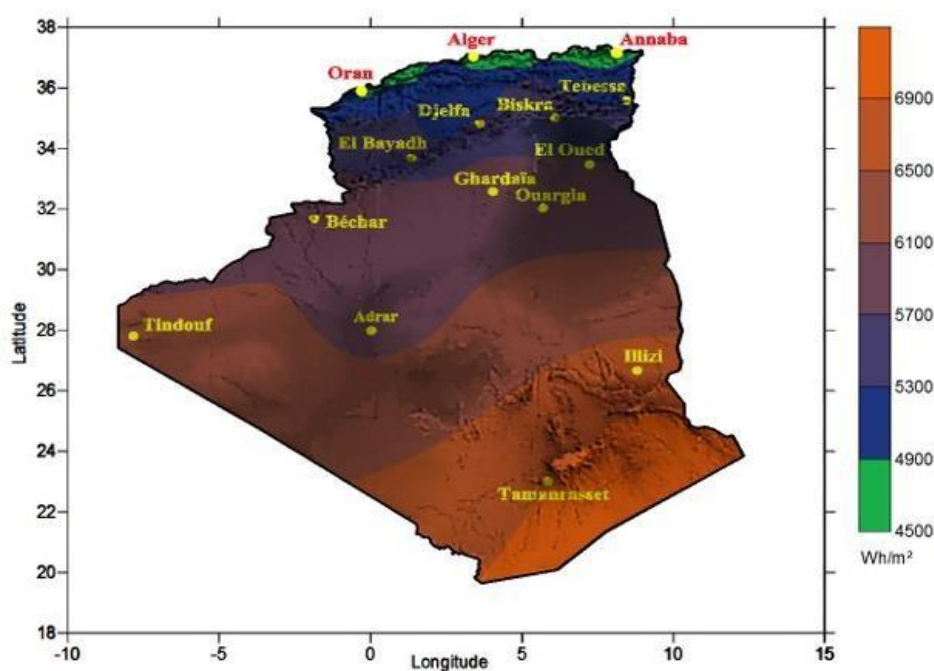


Figure II.6 : Moyenne annuelle globale reçue sur une surface horizontale (Algérie 1992-2002) [23].

Les caractéristiques électriques d'un module PV sont définies par la relation entre le courant et la tension. Les valeurs d'intensité du courant et de la tension varient de zéro au maximum et sont obtenues en exposant le module à un rayonnement et à une température constants, en modulant la résistance de la charge de zéro à l'infini et en mesurant l'intensité et la tension. Ces valeurs sont tracées sur les axes horizontal et vertical de la courbe de la figure II.1, respectivement, comme le montre la figure 2.13.

I.6. Courbe I-V et point de puissance maximale du module solaire :

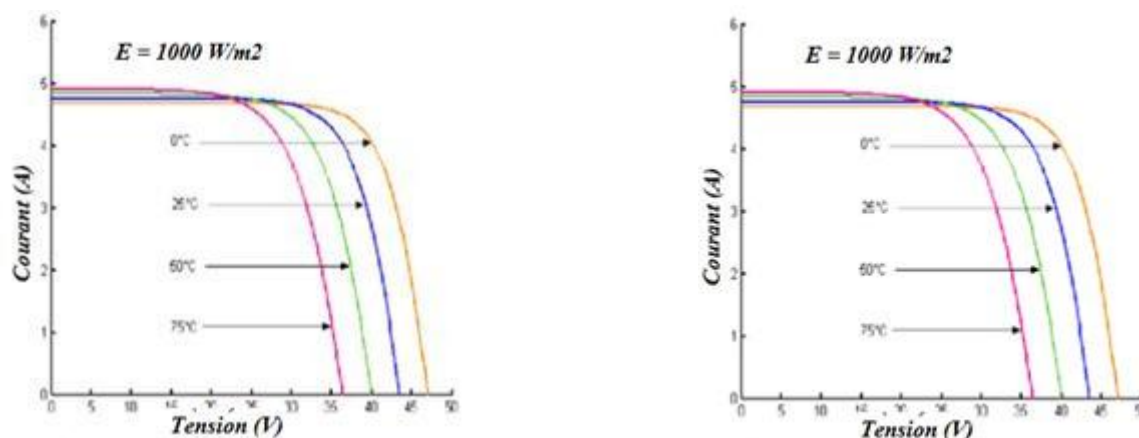


Figure II.7 : Courbes I-V pour 150 éléments BP SX [24]

Dans des conditions réelles, l'éclairage et la température ne sont pas constants, de sorte que le point de puissance maximal (*produit de la tension et de l'intensité est au maximum*) du module fluctuera avec les changements d'éclairage et de température. Étant donné que la puissance est le produit du courant et de la tension, la puissance de sortie diminue à mesure que l'irradiance diminue et que la température augmente.

II. Configurations et composants d'un système de pompage solaire :

Un système de pompe solaire (SPS) offre des plein d'avantages tels que : Simplicité, fiabilité, durabilité, modularité, maintenabilité. Dans un SPS, l'énergie solaire entraîne directement un moteur de pompe électrique via un contrôleur solaire. La pompe électrique peut être une pompe submersible, une pompe de surface, une pompe à courant alternatif ou une pompe à courant continu. Le contrôleur peut être soit un boîtier de commande, soit un onduleur.

II.1. Configurations des SPS :

Plusieurs configurations de pompes solaires sont possibles, selon la source d'énergie utilisée (système solaire autonome ou hybride) et le point d'eau utilisé (enterré ou hors sol).

Un système de pompage solaire autonome fonctionne uniquement à l'énergie solaire. Un ensemble PV connecté à un groupe motopompe via un contrôleur, comme illustré à la Figure suivante.

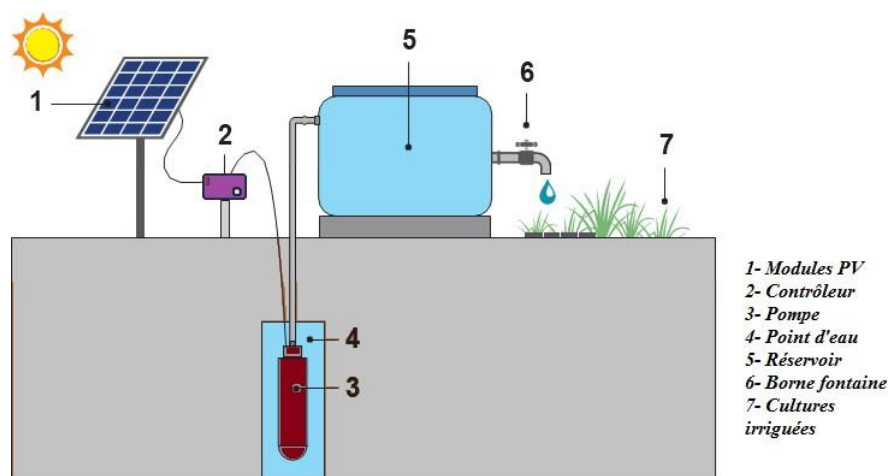


Figure II.8 : Installation solaire autonome [21].

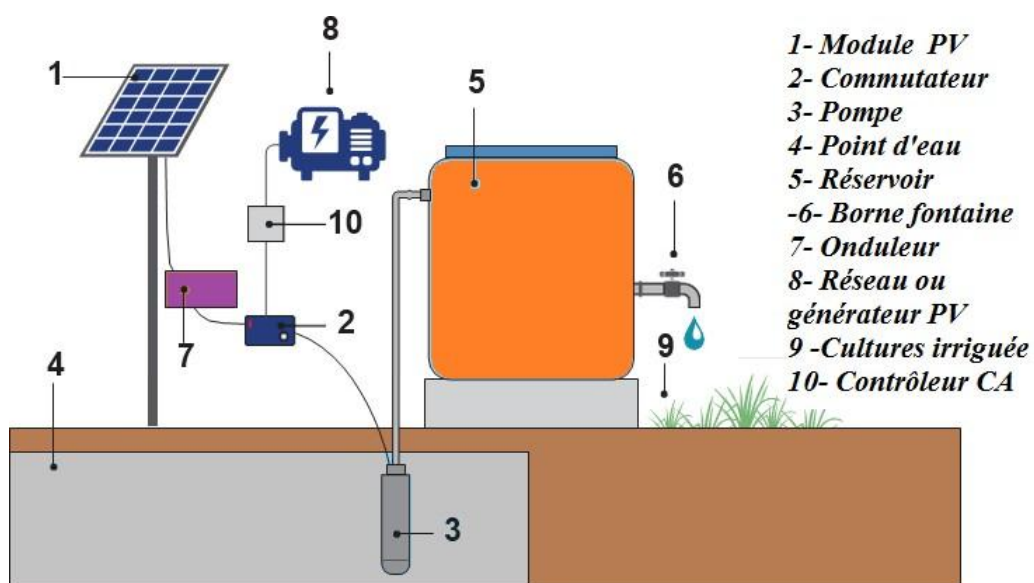


Figure II.9 : Installation hybride [21]

II.1.1. Pompes à eau :

Une pompe est calibrée pour le débit (m^3/h) et la hauteur manométrique et reliée à un moteur électrique calibré en kW. Le moteur est alimenté par une source d'énergie PV pour faire fonctionner la pompe et fournir l'eau.

Le choix du bon modèle de pompe dépend du point de fonctionnement, c'est-à-dire du débit et de la hauteur requise. On utilise souvent le logiciel du fabricant de la pompe ou les courbes de performance pour le déterminer.

II.1.2. Pompes volumétriques ou centrifuges :

Il existe de nombreux types de pompes à volumétriques, notamment les pompes à rotor en spirale, à membrane et à piston. L'eau est expulsée à chaque rotation et le débit d'eau augmente avec la vitesse, ce qui maintient l'efficacité de la pompe et un débit élevé même à de basses vitesses. Elles permettent d'atteindre une hauteur de refoulement de 450 m en maintenant un haut rendement. Une pompe centrifuge a besoin d'une vitesse minimale pour démarrer et pomper l'eau. Son débit peut atteindre $250 \text{ m}^3/\text{h}$, et son efficacité diminue à des profondeurs plus importantes et à des débits plus faibles. Pour cette raison, les pompes volumétriques sont utilisées dans la plupart des systèmes nécessitant une hauteur manométrique élevée et un faible volume. Les pompes centrifuges perdent de leur efficacité avec les fluctuations de vitesse, tandis que les pompes volumétriques fonctionnent efficacement sur une large plage de vitesses. Les pompes volumétriques peuvent également fournir des débits assez constants sur une large plage de pression.

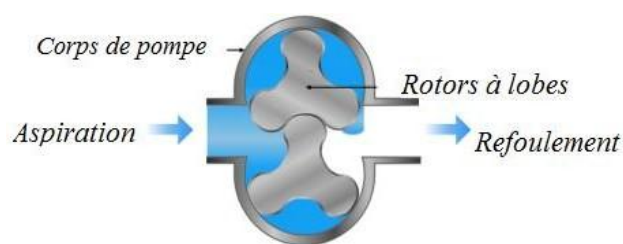


Figure II.9 : Pompe Volumétrique à lobes [21]

II.1.3. Pompes de surface ou immergées :

Les pompes immergées sont installées directement dans l'eau. Il est principalement utilisé pour le pompage de puits profonds. Les pompes immergées sont équipées de moteurs refroidis à l'eau ou à l'huile et ne doivent jamais fonctionner la présence d'eau.

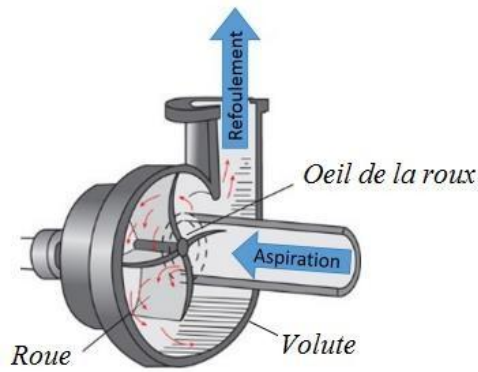


FIGURE II.10 Schéma d'une pompe centrifuge [21].

Les pompes de surface sont installées à l'extérieur de l'eau, elle ne peut pas être immergée. Elle est équipée d'un moteur refroidi par air et doit être installée dans un endroit bien aéré et protégé des intempéries.

II.2. L'onduleur :

Un onduleur solaire converti le courant continu produit par le groupe PV en courant alternatif en vue d'alimenter la pompe. Il produit une fréquence variable en fonction de l'énergie solaire disponible, il permet au moteur de la pompe de tourner à des vitesses variables et de fournir un débit variable en fonction de la quantité d'énergie disponible.

Modules solaires :

Pour générer de l'électricité utilisable, les cellules solaires sont connectées en série et en parallèle pour créer des panneaux solaires fournissant ainsi différents courants et tensions à la sorties. Il existe quatre principaux types de panneaux photovoltaïques. Silicium monocristallin, silicium polycristallin, silicium amorphe et couches minces. Outre les modules photovoltaïques, les pompes et les régulateurs solaires, les autres composants du système PV contiennent tous les éléments nécessaires à l'installation et au fonctionnement corrects du système photovoltaïque tels que le câblage, les coffrets de raccordement PV, les interrupteurs de déconnexion, les structures de fixation, les clôtures etc...

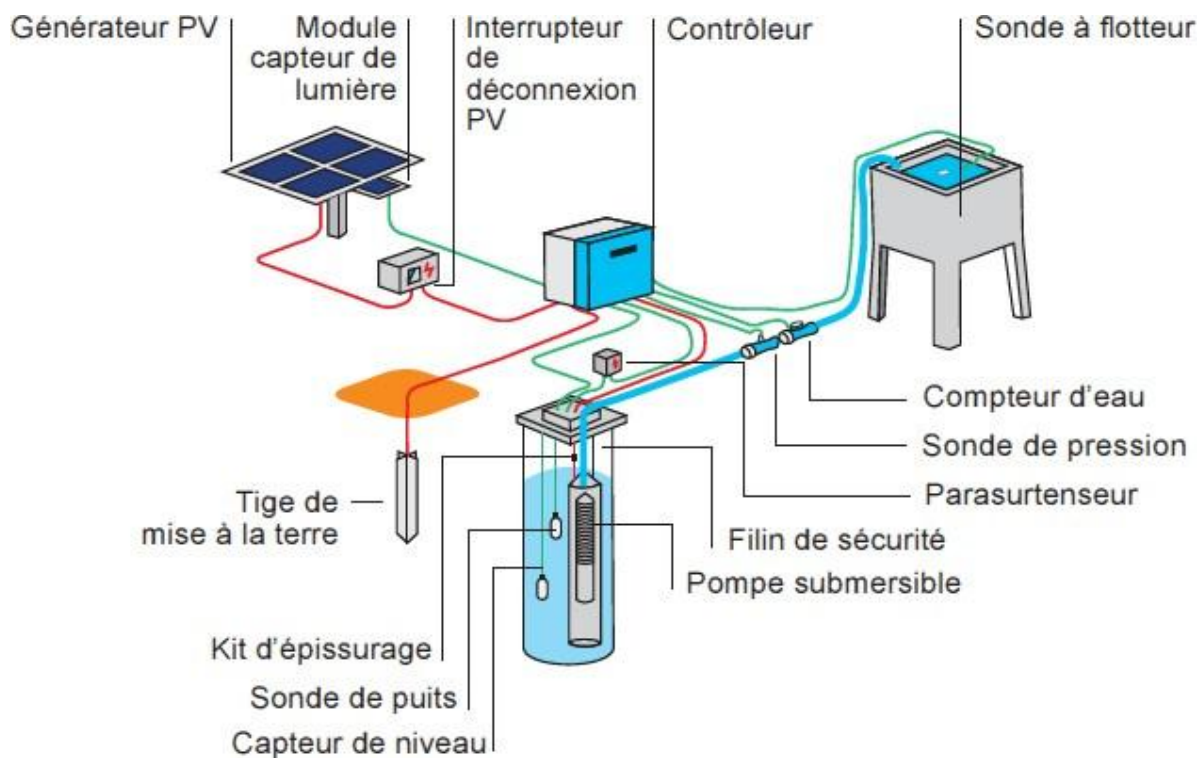


Figure II.11 : Éléments d'un pompage d'eau solaire [21].

III. Conception d'un système de pompage solaire :

III.1. Étapes de la conception d'un système de pompage solaire :

Pour obtenir les données dont on a besoin, on doit savoir si un système PV autonome peut répondre à la demande en eau choisie ou si un système hybride (système PV) peut répondre à la demande en eau ou si d'autres sources d'énergies sont nécessaires.

Les étapes de conception d'un système de pompage photovoltaïque sont :

1. Évaluation de la demande en eau et horizon de projet.
2. Évaluation du point d'eau, construction du forage et essai de débit.
3. Mois et débit de référence.
4. Calcul de la hauteur manométrique totale et sélection de la pompe.
5. Dimensionnement du groupe solaire PV, configuration, sélection de l'onduleur et des modules et orientation des panneaux solaires.
6. Emplacement des principaux composants.
7. Dimensions et emplacement du réservoir de stockage d'eau.
8. Configuration du système : solaire autonome ou hybride.
9. Exigences minimales du reste du système.

III.2. Notions élémentaires de conception de la pompe et du générateur :

Pour déterminer le point de fonctionnement d'un système d'approvisionnement en eau en vue de définir les spécifications de la pompe et celles d'un générateur, deux éléments doivent être considérés pour le choix de la pompe appropriée : le débit de référence (m^3/h) et la hauteur totale. Ces deux paramètres définissent le point de fonctionnement de la pompe requise.

III.3. Débit de référence :

Il existe deux façons de déterminer le débit de référence :

D'après les besoins en eau journaliers. On obtiendra le débit horaire requis en divisant la demande journalière par les heures de pompage.

$$\text{Débit de référence } (m^3/h) = \frac{\text{Demande journalière}(m^3/\text{jour})}{\text{Heures de fonctionnement}} \quad (1)$$

En fonction du potentiel maximal d'extraction du forage :

$$\text{Débit de référence } (m^3/h) = \text{Débit critique}(m^3/h) \quad (2)$$

III.4. Calcul de la hauteur totale :

Pour les forages, la hauteur manométrique est :

$$HMT = H_{ND} + H_{\text{élev}} + H_{\text{friction}} + H_{\text{résiduelle}} \quad (3)$$

Où

H_{ND} = niveau dynamique, c.-à-d. le niveau d'eau mesuré selon l'essai de débit à la surface du forage,

$H_{\text{élev}}$ = élévation/hauteur verticale entre la surface du forage/tête de puits et l'entrée du réservoir,

H_{friction} = perte de charge par friction,

$H_{\text{résiduelle}}$ = hauteur résiduelle, c.-à-d. pression supplémentaire requise au point de refoulement. Pour le pompage d'eau dans un réservoir, cette valeur se situe entre 0 m et 10 m.

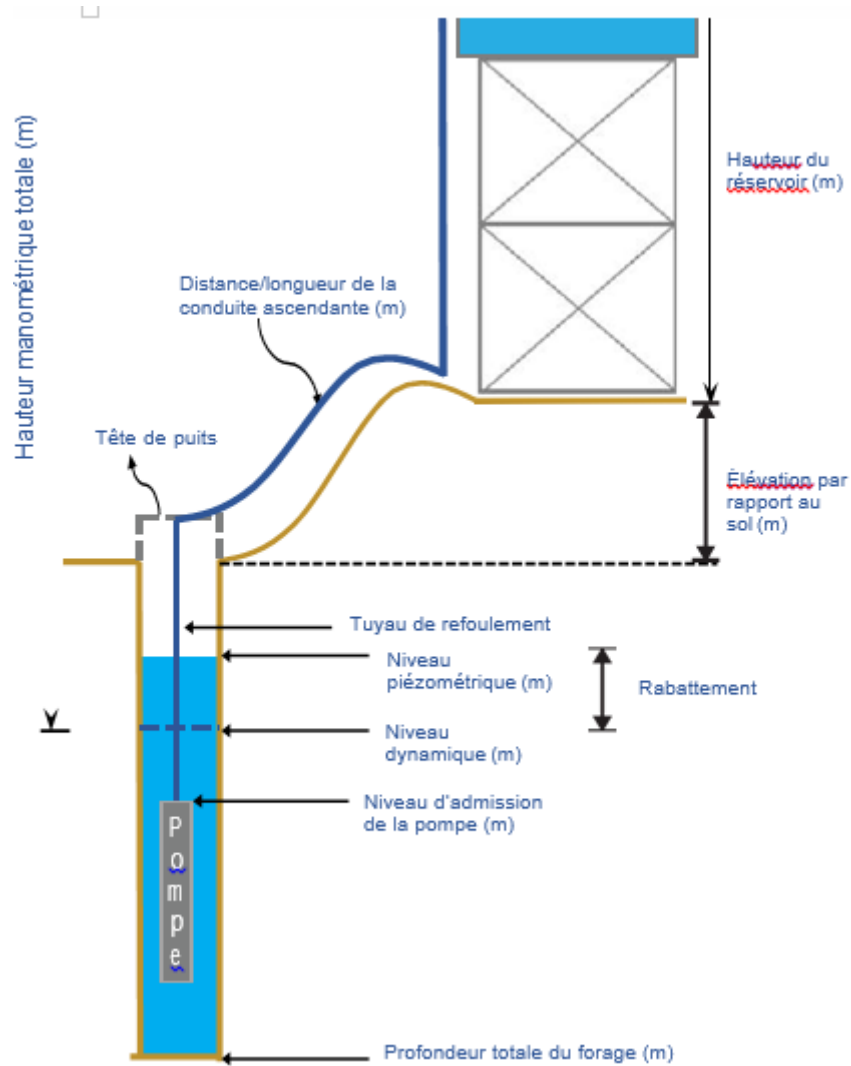


Figure II.12 : Schéma du calcul de la hauteur manométrique totale [21]

Pour les pompes de surface, la hauteur totale est :

$$HT = H_{aspiration} + H_{statique} + H_{friction} + H_{résiduelle} \quad (4)$$

Où,

$H_{aspiration}$ = hauteur verticale entre le niveau d'eau et l'orifice d'aspiration de la pompe lorsque le niveau d'eau est en dessous de l'orifice d'aspiration de la pompe,

$H_{statique}$ = élévation/hauteur verticale entre l'admission de la pompe et l'entrée du réservoir

$H_{friction}$ = perte de charge par friction.

$H_{résiduelle}$ = hauteur résiduelle.

Plusieurs facteurs ont une incidence sur la perte de pression due à la perte de charge par friction :

1. Longueur du tuyau – plus le tuyau est long, plus la perte de pression due à la friction est élevée.
2. Diamètre du tuyau – plus le tuyau est petit, plus la perte de pression est élevée.
3. Débit d'eau dans le tuyau – plus le débit est haut, plus la perte de pression est élevée.
4. Rugosité du tuyau – plus la paroi intérieure du tuyau est rugueuse, plus la chute de pression est élevée. Les tuyaux en PVC sont plus lisses et sont donc moins sujets à la friction que les tuyaux en fer galvanisé.
5. Accessoires et joints – chaque courbe, coude, raccord, débitmètre, vanne, crépine, etc. occasionne une chute de pression supplémentaire qui doit être prise en compte.

Tous ces facteurs augmentent la résistance à la circulation d'eau dans le tuyau et accentuent ainsi la chute de pression, ce qui rend l'utilisation nécessaire d'une pompe de puissance supérieure.

III.4. Dimensionnement du générateur :

Pour dimensionner le générateur, les ingénieurs multiplient généralement la puissance du moteur de la pompe par un facteur de deux à trois. Cette opération est souvent justifiée si l'on prête attention à tous les facteurs influant la mise en place du générateur.

Il faut par ailleurs prêter davantage attention au dimensionnement et éviter le problème du surdimensionnement des générateurs, qui entraîne une augmentation de la consommation de l'énergie et par suite des coûts de fonctionnement.

III.5. Calcul de la HMT :

Il ne faut pas d'abord perdre de vue les pertes comme par exemple la longueur de tuyau équivalente aux accessoires qui entraîne elle aussi des pertes dans le système. Cette longueur peut être calculée à l'aide de tableaux disponibles dans diverses sources disponibles en ligne (Tableau de Coulbrook) .

Compte tenu du débit de référence et de la HMT déterminée préalablement, le point de fonctionnement du système permet de sélectionner la pompe appropriée.

Sélection du générateur [24]:

Le dimensionnement du générateur pour une pompe doit être effectué selon les étapes suivantes :

- Prise en compte des pertes dues au rendement de l'alternateur.
- Surdimensionnement pour réduction de tension au démarrage.
- Calcul des facteurs de déterrage qui tient compte de l'altitude, la température et l'humidité.

On est parfois contraint de faire ces calculs manuellement par manque de logiciels adéquats comme par exemple avec certaines marques de pompes solaires ne fournissant pas de logiciel de conception pour le dimensionnement.

Quelle que soit la pompe, la puissance absorbée par le moteur à partir de la source d'alimentation P, peut être calculée de deux manières :

a- À l'aide des courbes spécifiques à la pompe par la relation suivante :

$$P_1 = \frac{\text{Puissance hydraulique}}{\text{Rendement de la pompe}} \quad (5)$$

b- D'après le point de fonctionnement (débit et hauteur)

$$P_2 = \frac{\text{Puissance hydraulique}}{\text{Rendement de la pompe} \cdot \text{Rendement du moteur}} \quad (6)$$

La puissance à l'arbre est celle qui est transmise par le moteur à l'arbre de la pompe (puissance absorbée par l'arbre de la pompe à un débit donné). Elle dépend du rendement de la pompe. Celui-ci est spécifié par le fabricant de la pompe.

Le nombre de modules requis peut être déterminé d'après la puissance de crête des modèles disponibles sur le marché.

$$\text{Nombre de modules } P = \frac{P_{\text{crête}}}{\text{Puissance nominale du module}} \quad (7)$$

Une fois le nombre de modules établi, on pourra décider de les connecter en série ou en parallèle. Notons que l'onduleur à utiliser aura une influence sur la configuration en série/parallèle. Sa sélection appropriée est fonction de la pompe choisie et de la taille du générateur PV. Il doit par ailleurs pouvoir admettre la puissance CC provenant du générateur PV et la traiter de façon à satisfaire les exigences de la pompe.

En outre, chaque module solaire a une tension maximale (V_{oc}) et une tension de crête (V_{mp})

qui sont inscrites sur le module et permettent de déterminer le nombre de modules qui seront connectés en série pour se situer entre la tension minimale et maximale du système. Le nombre total de modules est :

$$\text{Nombre total de modules} \quad P = M \times N \quad (8)$$

Avec M le nombre de modules en série et N , nombre de branches en parallèle

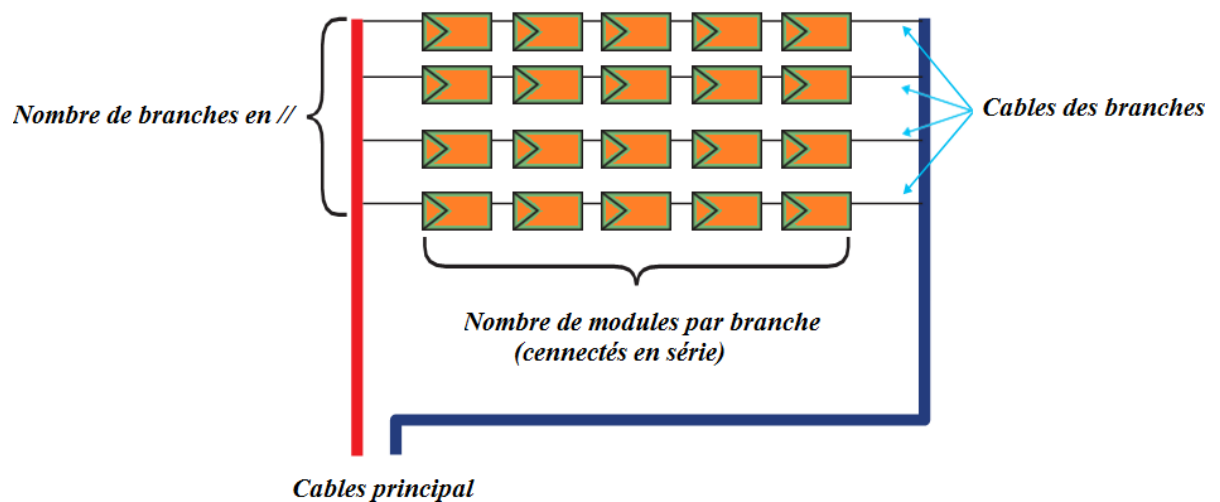


Figure II.13 : Nombre de modules configurés en série et en parallèle [21]

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons passé en revue les principales notions concernant l'énergie solaire ainsi que celles du pompage solaire. Ces notions sont d'une grande importance pour le dimensionnement des panneaux solaires destinés à l'alimentation des pompes dédiées à l'irrigation. Nous étions contraints d'étudier ces dernières dans le but d'en choisir une pour notre étude.

En menant ce chapitre nous avons pris conscience que l'ingénieur hydraulicien doit impérativement connaître mieux ces notions concernant ce grand chapitre de l'énergie qui devient de plus en plus à la mode de par ses avantages du point de vue économique et écologique.

Chapitre III

Etude de la Région Etudiée

Introduction

La collecte de données sur l'environnement physique de la zone d'étude fait appel à de nombreuses disciplines spécialisées dans la géologie, l'hydrogéologie, la climatologie, la pédologie et les ressources en eau. L'objectif de ce chapitre est de tenter de présenter la zone d'étude.

I. Etude du milieu physique du site :

I.1. Situation géographique :

Le site étudié est situé au sud-ouest du barrage Meffrouche à environ 5 Km à l'Ouest.

Le périmètre appartient administrativement à la commune de Terni ; daïra de Mansourah ; Wilaya de Tlemcen, il est distant de 6 Km à l'Est du chef-lieu communal et à 12 Km au Sud du chef-lieu de la Wilaya de Tlemcen.



Figure III.1 : Situation du périmètre agricole dans la région de Terni (Tlemcen) [25].

I.2. Topographie et relief :

Le relief de la zone d'étude varie d'une altitude de 1180m à 1120m ; le périmètre connaît des faibles pentes dans sa partie Nord ; par contre dans sa partie Sud sa topographie est marquée par une forte pente. Le point le plus haut qui nous servira d'y implanter notre réservoir est au sud de la plantation. La pente moyenne du périmètre est environ égale à 5.2%.

I.2.1. Superficie du périmètre d'étude :

Le périmètre d'étude de notre site à une superficie d'environ 1 Hectare pour un périmètre de 500 m.

I.2.2. Situation géologique et hydrogéologique :

Géologiquement, le périmètre agricole étudié enclave, le jurassique supérieur de type tithonien riche en dolomies cristallines, calcaires et marnes, cette formation est caractérisée par des épandages orientés vers le Sud/Est, le berriasiens-hauteriviens, caractérisé par les calcaires dolomités et marne et l'holocène, caractérisée par les alluvions récentes par endroit éboulis des pentes et accumulations de piémont, sables, graviers et argiles.



Figure III.2: Situation géographique du site étudié [25]

Point de vue hydrogéologique, le périmètre étudié repose sur la nappe aquifère de type karstique, avec une moyenne de plus de 50 Mm³/an fluctuant entre près de 100 Mm³/an dans les périodes humides et près de 12 Mm³/an en période sèche.

I.2.3. Pédologie de la région :

La nature de la roche mère de la région de Meffrouche permet de distinguer deux grands types de sols [33]:

- Les sols rouges méditerranéens formés sur les calcaires ou les dolomies.
- Les sols typiquement lessivés ou même les sols podzoliques que l'on trouve sur les grès séquanais.

I.3. Etude climatologique :

Pour développer des modèles climatiques fiables, il faut d'abord identifier les facteurs climatiques. Il y a deux façons de le faire : visualiser les saisons sèches et humides et enregistrer les indices climatiques annuels et mensuels.

I.3.1. La température :

I.3.1.1. Températures moyennes mensuelles:

La variation des Températures moyennes mensuelles montre que la température moyenne annuelle est autour de 12,25°C, la température moyenne la plus basse apparaît au mois de janvier avec 5,3°C, alors que la plus élevée se présente en aout où elle atteint 22,10°C.

La saison chaude s'étend de mai à octobre, mois pendant lesquels les températures mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle, alors que la saison froide s'étend de novembre jusqu'à mars.

I.3.1.2. Températures moyennes maximales :

La variation des Températures moyennes maximales montre que la température moyenne maximale est autour de 26,7°C alors que la température moyenne maximale la plus basse apparaît au mois de janvier avec 17,50°C, la plus élevée en juillet atteint les 36,5°C.

I.3.1.3. Températures moyennes minimales:

Les Températures moyennes minimales de notre région sont autour de 3,0°C, la température moyenne minimale la plus basse apparaît au mois de février avec -3,1°C, alors que la plus élevée se présente en aout où elle atteint 11,6°C.

I.3.2. La pluviométrie :

La station sélectionnée, est celle de Tlemcen qui par sa position semble être représentative de la région d'étude. La série de données pluviométriques utilisées est celle comprise entre 2005 et 2020.

Le mois le plus sec concernant notre région est juillet avec une moyenne de 3.21 mm et le mois le plus arrosé est le celui de novembre, qui présente la valeur maximale de précipitation, qui est égale à 89 mm.

Tableau III.1 : Quotient d'Emberger [26]

Mois	Pluviométrie	T° Max en °C	T° Min en °C
Septembre	26,68	31,99	7,39
Octobre	50,01	28,39	3,92
Novembre	89,03	22,13	0,29
Décembre	87,18	18,16	-2,68
Janvier	65,41	17,5	-2,89
Février	79,92	19,89	-3,11
Mars	66,22	23,27	-0,66
Avril	67,28	23,94	0,55
Mai	39,69	28,72	3,24
Juin	11,59	34,19	7,89
Juillet	3,21	36,51	11,03
Août	5,21	35,98	11,59
Pluviométrie annuelle		M (en °C)	m (en °C)
		36,51	-3,11
	591,4256	M (en °K)	m (en °K)
		309,66	270,04
Quotient (Q)		51,5	

En reportant le quotient pluviométrique trouvé sur le climatogramme d'Emberger, on détermine la zone climatique de la région considérée.

Nous remarquons que notre périmètre appartient à une zone à climat «humide»; présentant des Hivers froids.

I.4. L'évaporation :

La quantité d'eau évaporée dans la région de Meffrouche est influencée par le degré de température et les précipitations, elle augmente quand ceux-ci augmentent et vice versa.

La figure IV.4 montre la variation de l'évaporation moyenne mensuelle de la série étudiée. On constate généralement que la valeur la plus élevée avec 0,20 mm apparaît au mois juillet, la valeur la moins élevée est enregistrée au cours du mois de janvier (0,04 mm).

L'évaporation annuelle à la station de Tlemcen est de l'ordre 0,1mm.

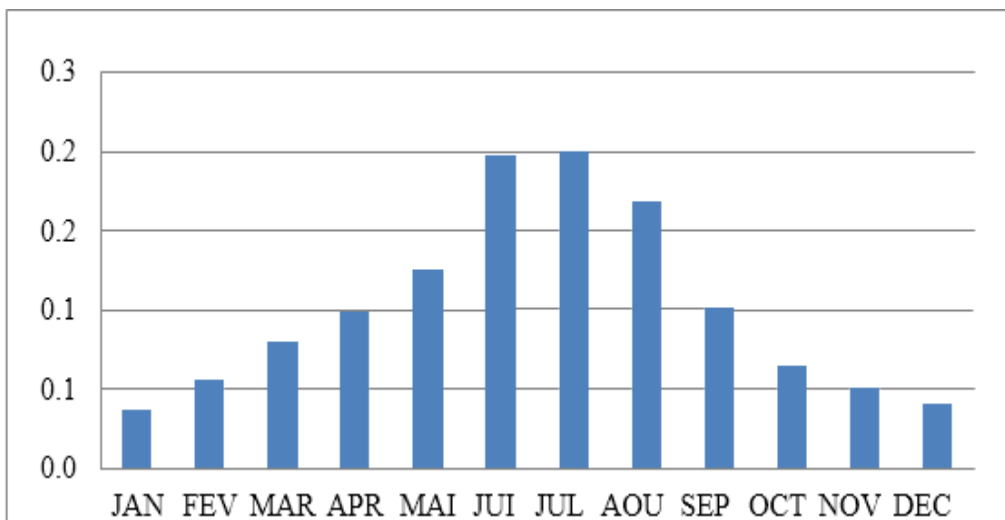


Figure III.3: Evaporation moyenne mensuelle [27].

I.5. L'insolation et éclairage :

Pour estimer les caractéristiques thermiques de la zone d'étude nous définissons :

- Le pourcentage d'heures diurnes du mois considéré par rapport au total annuel des heures diurnes (p) exprimé en %,
- La durée d'insolation effective (h) mesurée par héliographe,
- La durée du jour astronomique (H) en heures et
- La radiation maximale théorique (I0) en cal/cm².j.

La figure N°III.5 montre la variation mensuelle moyenne de l'ensoleillement au niveau de la station de mesure de Tlemcen. Le maximum d'ensoleillement est relevé en juin avec 14,29 h, et le minimum au mois de décembre avec 9,81 h

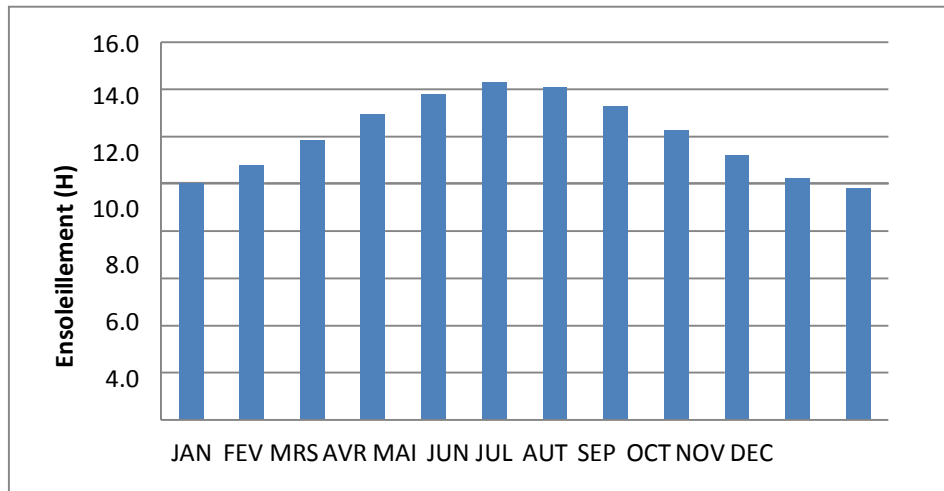


Figure III.4: Ensoleillement moyenne mensuelle de la station de Tlemcen [27].

I.6. Le vent :

Les vents sont généralement modérés avec un cycle très long durant l'année. Les vents dominants sont de directions Sud et Sud-Nord.

Le tableau suivant donne la vitesse moyenne du vent annuel.

Tableau III.2. Vitesse moyenne mensuelle des vents de la région étudiée durant la période de l'année 2019/2020 [27].

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Vmoy	3.8	4.9	4.8	2.6	3.8	2.7	2.8	2.3	2.2	2.7	2.5	2.6

I.7. L'humidité relative de l'air :

L'humidité relative Hr (%) s'exprime par le rapport en pourcentage de la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa), à la pression de vapeur saturante (Pr) dans les mêmes conditions de

température et de pression. L'humidité relative de l'air varie sensiblement en fonctions des saisons. Les valeurs minimales de l'humidité se produisent en Juin et Juillet ; par contre le mois de janvier marque des valeurs maximums. Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative varient entre 46% et 72%. Les données caractérisant l'humidité relative de l'air de la région de Terni (Meffrouche) sont reportées sur le tableau ci dessous :

Tableau III.3. Humidité moyenne mensuelle de la région étudiée [27].

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
H _r (%)	72.2	69.5	66.7	59.8	52.9	46	48.2	57.9	60.3	68.7	72	61.5

II. Estimation des besoins en eau :

La détermination des besoins en eau d'une culture nécessite la connaissance des données météorologique et le système d'irrigation qui dépendent eux aussi des paramètres caractérisant la plante elle-même [47]. Cependant l'expérience locale et la pratique restent toujours la meilleure méthode pour une évaluation correcte de besoins.

II.1. Evapotranspiration (ET) :

C'est la perte d'eau sous forme de vapeur, par évaporation de l'eau du sol, de la rosée, de l'eau de la pluie interceptée par les surfaces ainsi que de la transpiration de la plante. Ce terme s'exprime pour la période considérée soit en unité de masse ou de volume par unité de surface, soit en équivalent en hauteur d'eau.

II.2. Evapotranspiration potentielle (ETP) ou (ET0) :

Pour développer un modèle climatique fiable, il faut d'abord identifier les facteurs climatiques. Il existe deux méthodes : la visualisation des saisons sèches et humides et l'enregistrement des indices climatiques annuels et mensuels.

II.3. Evapotranspiration calculée :

Le calcul de l'évapotranspiration est réalisé à l'aide d'un logiciel CROPWAT 8.0.

II.3.1. Présentation de logiciel CROPWAT 8.0 :

Le CROPWAT 8.0 est un logiciel d'aide à la gestion de l'irrigation. Il a été mis au point par la FAO en 1992, il est basé sur la formule de Penman-monteith modifiée. Il permet de calculer les besoins en eau des cultures et les quantités d'eau d'irrigation, il offre également la possibilité de développer un calendrier en fonction de diverses pratiques culturales, et d'évaluer les effets du manque d'eau sur les cultures et l'efficacité de différentes pratiques d'irrigation.

Tableau III.4. Les résultats obtenus par le logiciel CROPWAT [28]

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	hours	MJ/m²/day	mm/day
January	-2.9	17.5	72	3.8	10.0	13.9	2.33
February	-3.1	19.9	70	4.9	10.8	17.5	3.36
March	-0.7	23.3	67	4.8	11.9	22.4	4.56
April	0.6	23.9	60	2.6	13.0	27.1	4.89
May	3.2	28.7	53	3.8	13.8	29.9	6.79
June	7.9	34.2	46	2.7	14.2	31.0	7.59
July	11.0	36.5	48	2.8	13.9	30.2	7.94
August	11.6	36.0	58	2.3	13.5	28.3	6.93
September	7.4	32.0	60	2.2	12.1	23.6	5.42
October	3.9	28.4	69	2.7	11.3	19.0	4.13
November	0.3	22.1	72	2.5	10.2	14.6	2.59
December	-2.7	18.2	62	2.6	9.8	12.8	2.20
Average	3.0	26.7	61	3.1	12.0	22.5	4.89

II.3.2- Besoin en eau d'irrigation (IB) :

Le besoin d'irrigation est défini comme étant le volume d'eau qui devra être apporté par irrigation. Pour calculer la quantité réelle d'eau à apporter à la culture il faut tenir compte des efficacités de transport, de distribution et d'application de l'eau

$$IB = \frac{IN}{eff}$$

$IN = ETR$

Pour calculer les besoins d'irrigation il faut connaître les besoins en eau réels des cultures (ETR) :

$$ETR = ET_0 \cdot Kc$$

IB : Irrigation brute (mm).

IN : Irrigation net (mm).

eff : L'efficacité d'irrigation (%). Il dépend du système d'irrigation utilisé, dans le cas de l'irrigation localisée ou micro-irrigation : $eff = 80\% - 90\%$.

ETR : Evapotranspiration réelles (mm/jour).

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm/jour).

Kc : Pour notre cas nous avons choisi le Kc proposé par la FAO qui varie entre (0-0,9).

- Pour le mois de juillet et avec une efficacité de 80%, le volume d'eau sera égal :

$$IB = \frac{ETP \cdot Kc}{eff} = \frac{7,94 \cdot 0,8}{0,8}$$

$$IB=7.94 \text{ mm /jour}$$

Avec :

$$Imm=10 \text{ m}^3/\text{hectare}$$

$$V= 7.94.10 =79.4 \text{ m}^3/\text{jour/hectare}$$

Tableau III.5 : Besoins en eau d'irrigation des oliviers [29]

Période	L'hiver			Le printemps			L'été			L'automne		
	Mois	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct
<i>Kc</i>	0	0	0	0	0,6	0,7	0,74	0,8	0,8	0,9	0,6	0
<i>ETP</i>	2,2	2,33	3,36	4,56	4,89	6,97	7,58	7,94	6,93	5,42	4,13	2,6
<i>ETR</i>	0	0	0	0	2,934	4,753	5,6092	6,352	5,544	4,878	2,478	0
<i>IB</i>	0	0	0	0	3,6675	5,94125	7,0115	7,94	6,93	6,0975	3,0975	0
<i>V</i>	0	0	0	0	36,675	59,41	70,11	79,4	69,3	60,97	30,8	0

II.3.3- Rayonnement solaire :

Les valeurs de l'irradiation globale journalière moyenne mensuelle pour une inclinaison optimale dans la région de Terni sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III.6 : Irradiation globale journalière moyenne mensuelle [30]

Période	L'hiver			Le printemps			L'été			L'automne		
	Mois	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct
H_T [Wh/m ² .j]	9919	10033	10174	10194	10413	10978	11426	11135	10549	10039	10120	10022

Chapitre IV

Dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

Introduction

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

- Evaluation des besoins en eau
- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire
- Détermination de l'énergie solaire disponible
- Choix des composants [32].

I. Débit journalier maximal journalier :

Le débit est la quantité d'eau que peut refouler la pompe sur une période de temps donné. Il est exprimé en m^3/j , L/h ou L/min. En pompage solaire, le débit est généralement exprimé en m^3/j . Concernant notre site d'étude (voir tableaux III.5 et III.6), le débit journalier maximal requis est de $79.4 (m^3/j)$ pendant le mois de juillet et l'énergie d'ensoleillement la plus faible pour la saison d'été est égale à $10549 (Wh/m^2.j)$.

I.1. Choix de la pompe :

Le choix de la pompe est fait en fonction du débit et de la Hauteur manométrique totale.

I.2. Calcul du débit horaire :

Le débit horaire est donné par la relation suivante :

$$Q_h = \frac{Q}{N_h} \quad (1)$$

Avec,

Q : Débit journalier

Q_h : Débit horaire ;

N_h : Le nombre d'heure d'ensoleillement maximale ;

$$N_h = \frac{10549}{1000} = 10.55 \text{ heures/jours}$$

Nous prenons :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{nombre d'heures d'ensoleillement } N_h = 10.55 \text{ heures} \\ \text{Débit journalier } Q = 79.4 (m^3/j) \end{array} \right.$$

D'où :

$$Q_h = \frac{79.4}{10.55} = 7.52 m^3/h$$

I.3. Calcul de la hauteur manométrique total (HMT) :

La hauteur manométrique totale (HMT) d'une pompe est la différence de pression en mètre de la colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement [33].

Elle est déterminée par la charge hydraulique géométrique et la perte de charge hydraulique. Les pertes de charge dépendent du diamètre, de la longueur, de la rugosité et du débit de la conduite, tandis que les pertes de charge singulières sont dues à la présence d'"accidents" dans la conduite, tels que les filtres, les clapets anti-retour, les vannes, les coudes, les débitmètres, etc. [34].

II. Capacité de réservoir :

Pour notre étude de pompage appelé « au fil de soleil » on doit d'abord estimer la quantité d'eau stockée dans le réservoir hydraulique. La capacité de réservoir doit être calculée pour répondre au besoin d'eau pendant les jours d'autonomie. Dans notre cas la capacité de stockage a été calculée pour assurer une journée d'autonomie à une hauteur choisie de 5m.

Etant donné que notre superficie à irriguer est de 1 hectare, la capacité de notre réservoir est estimée à environ 80 m³ (Voir Tableau III.5).

La HMT est donnée par la relation suivante :

$$HMT = H_g + \Delta H_T \quad (2)$$

$$H_g = N_d + H_r$$

H_g : Hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation ($H_r + N_d$).

N_d : Le niveau dynamique (ou la hauteur d'aspiration) pour notre station de pompage ;

il est de 80 m. En ce qui concerne la hauteur de refoulement, elle est de 35m.

D'où :

$$H_g = 80 + 30 + 5 = 115m$$

D'autre part, nos calculs, doivent tenir compte des pertes de charge ΔH_T produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites. Ces pertes sont fonction de la longueur des conduites (L), de leur diamètre (D_c) et du débit de la pompe (Q) et s'expriment en mètre d'eau. Le diamètre des conduites doit être calculé afin que ces pertes de charge correspondent au plus à **15%** de la hauteur géométrique totale [35].

Pour calculer les pertes de charge, on utilise le tableau de Coolbrook

Ceci nous mène à :

Une perte de charge singulière $\Delta H_s = 15\% \Delta H_L$

avec $\Delta H_L = j \cdot L$

L : la longueur de conduit (notre conduit $140m$)

J : perte de charge unitaire.

Le débit horaire étant de $7.52 \text{ m}^3/\text{h}$ et le diamètre normalisé de 100 mm , la perte de charge unitaire est déterminé en s'appuyant sur les résultats du tableau de Coolbrok.

Pour déterminer j à partir du tableau de Coolbrok, on prend $K = 2 \cdot 10^{-3}$, ceci nous mène à $j = 0,00003$.

On obtient alors :

$$\Delta H_l = 0,00003 \cdot 100 = 3 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta H_s = 15\% \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 4,5 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta H_T = 4,5 \cdot 10^{-4} + 3 \cdot 10^{-3} = 3,45 \cdot 10^{-3}$$

$$HMT = 115 + 3,45 \cdot 10^{-3} = 115,003 \text{ m}$$

Selon le catalogue de Lorentz la pompe immergée de type PSK2-C-SJ8-30 est capable de répondre à nos besoins : un débit horaire égale à $7.52 \text{ m}^3/\text{h}$ et une hauteur manométrique égale à 115m . Les caractéristiques techniques pour l'installation de pompage sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau IV.1: Les caractéristiques techniques de la motopompe et du contrôleur [36].

La pompe	
Marque	Lorentz
Type	Pompe immergée PSK2-C-SJ8-30
Débit maximal	$13 \text{ m}^3/\text{h}$
Hmt maximal	160 m
Moteur AC sans balais	
Efficacité maximal	85%
Submersion maximal	150 m
Contrôleur PS2-600	
Puissance maximal	8 KW
Tension nominale	$48-72$
Tension d'entrée	850 V
Intensité de moteur maximal	13 A
Efficacité maximal	98%
Température ambiante	$-40 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 50 \text{ }^\circ\text{C}$

III. Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire :

Une fois que les besoins en eau et les caractéristiques du puits pour chaque mois de l'année ont été déterminés, l'énergie hydraulique moyenne quotidienne et mensuelle peut être calculée. Celle-ci est donnée par l'équation suivante [37].

$$E_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \frac{HMT}{3600} \quad (3)$$

Avec :

E_h : Energie hydraulique (KWH/j).

ρ : Masse volumique de fluide en (Kg/m³).

g : La gravité terrestre (9.81 m/s²).

V : Volume d'eau (m³/j).

Après calculs, nous obtenons :

$$E_h = 10^3 \cdot 9,81 \cdot 79,4 \cdot \frac{115,003}{3600}$$
$$E_h = 24882,62 \text{ WH/j}$$

IV. Calcul de l'énergie électrique :

L'énergie nécessaire pour pomper une certaine quantité d'eau à une certaine hauteur pour une journée donnée peut être calculée en tant qu'énergie électrique à l'aide de l'équation 4 [37] :

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{MP} \cdot \eta_{ond}} \quad (4)$$

Avec :

E_e : Energie électrique exprimé en (KWh/j).

η_{MP} : Le rendement du groupe motopompe.

η_{ond} : Le rendement de l'onduleur.

Après calculs, nous obtenons :

$$E_e = \frac{24882,62}{0,85 \cdot 0,98}$$
$$E_e = 29871,1 \text{ WH/j}$$

IV.1. La taille du générateur photovoltaïque :

Nous avons choisi le panneau photovoltaïque VICTRON (175Wc - 15V) qui répond aux exigences de notre site d'étude. Le module est composé de 72 cellules solaire poly-cristallin connecté en série pour produire une puissance maximal à 175W. Les caractéristique électrique de ce module sont donné le tableau suivant :

Tableau IV.2 : Caractéristiques électriques du module PV (VICTRON 175Wc-15V) [38].

Puissance maximal (Pmax)	175W
Tension à Pmax (V _{mp})	18,3V
Courant à Pmax (I _{mp})	9,56A
Courant de court-circuit (I _{sc})	10,24A
Tension à circuit ouvert (V _{oc})	21,9V
Coefficient de température I _{sc} (%)	+0,04/°C
Coefficient de température V _{oc} (%)	-0,35/°C
Coefficient de la température de la puissance nominal (Pmax)	-0,45/°C
NOCT (Nominal operating Cell température)	-40°C à +85°C

Energie solaire disponible :

La méthode de dimensionnement utilisée dans ce mémoire est basée sur le calcul de la valeur moyenne mensuelle du rayonnement solaire obtenue à un angle d'inclinaison β du module solaire par rapport au plan horizontal. Ceci afin d'optimiser la conversion de l'énergie solaire en électricité [37].

IV.2. Taille de générateur photovoltaïque :

IV.2.1. Calcul de la puissance crête :

Pour calculer le nombre de modules nécessaires du générateur photovoltaïque, on doit connaître la puissance crête. Celle-ci est donnée par la relation suivante :

$$P_{crête} = \frac{G}{F_m \cdot G [1 - \gamma(T - T_{ref})]} \cdot \frac{E_h}{\eta_{MP} \cdot \eta_{ond}} \quad (5)$$

F_m : Facteur de couplage, définie comme le rapport entre l'énergie électrique générée sous les conditions d'exploitation et l'énergie électrique qui se générerait si le système travaillait au point de puissance maximale.

γ : Coefficient de température de cellule.

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

G_d : Irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules (kWh/m²/j).

E_h : Energie hydraulique (KWH/j).

G : L'éclairement dans les conditions standards de mesure CSM.

La relation donnant F_m est la suivante :

$$F_m = \frac{P_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

Avec :

P_{max} : Puissance maximal

I_{sc} : Courant à P_{max}

V_{oc} : Tension à circuit ouvert

Pour notre cas :

$$F_m = \frac{175}{21,9 \times 9,56}$$

$$F_m = 0,78$$

Ceci nous mène à une puissance crête de :

$$P_{crête} = \frac{1000}{0,78 \times 10549 \times [1 - 0,004(35 - 25)]} \times 27598,3$$

$$p_{crête} = 3781,58 W$$

IV.2.2. Nombre de module nécessaire [39]:

Le nombre de modules est donné par la relation suivante :

$$N_m = \frac{P_{crête}}{P_M} \tag{6}$$

$$N_m = \frac{3534,64}{175}$$

$$N_m = 21,6 \text{ soit environ } 22 \text{ modules}$$

IV.2.3. Nombre de modules en série [39] :

Le nombre de modules en serie est calculé suivant la relation suivante :

$$N_{ms} = \frac{V_{ch}}{V_{mp}} \quad (7)$$

Avec : V_{ch} : *tension nominale*

V_{mp} : *tension à puissance maximale*

$$N_{ms} = \frac{72}{18,3}$$

$N_{ms} = 3,93$ soit environ 4 modules

IV.2.4. Nombre de modules en parallèle :

Le nombre de modules en parallèle est calculé suivant la relation suivante :

$$N_{mp} = \frac{N_m}{N_{ms}}$$

$$N_{mp} = \frac{22}{4}$$

$N_{mp} = 5,5$ soit environ 6 modules

NB : Dans la plupart des cas, les nombres de modules (en séries et/ou en parallèles) calculés ne sont pas des entiers. Donc il faut les arrondir en majorant bien sûr pour trouver la nouvelle puissance corrigée.

V. Le logiciel de simulation PV SYST : [40]

V.1. Présentation du Logiciel :

PV SYST est un logiciel conçu pour les architectes, les ingénieurs et les chercheurs. Il s'agit d'un outil pédagogique très utile. Le logiciel fournit des informations sur la production d'énergie, le rayonnement solaire, les coûts d'installation, la surface nécessaire et la production annuelle d'énergie et peut être utilisé pour dimensionner les panneaux solaires. Pour des études plus poussées un mode avancé fournit plus d'informations et permet de réaliser une étude très complète.

Il dispose également d'une vaste base de données de panneaux, de régulateurs, de batteries, d'onduleurs et de pompes solaires, ainsi que d'une puissante base de données météorologiques couvrant plus de 95 pays.

V.2. Etape de la simulation d'un système de pompage solaire par PV SYST 7.2 :

Etape 01 : L'orientation du panneau :

The screenshot shows the 'Orientation' window in PV SYST 7.2. The 'Type de champ' is set to 'Plan incliné fixe'. Under 'Paramètres du champ', the 'Inclinaison plan' is 30.0 and 'Azimut' is 0.0. The 'Optimisation rapide' section shows 'Eté (Avr-Sept)' selected. The 'Météo incidente été' section shows a 'Facteur de Transposition' of 1.00 and a 'Perte par rapport à l'optimum' of -2.2%. Two graphs show the performance ratio vs. orientation for 'Eté'. The left graph shows a peak at 30 degrees, and the right graph shows a peak at 0 degrees. The 'Global sur plan capteurs' is 1153 kWh/m². At the bottom, there are 'Annuler' and 'OK' buttons.

Figure V.1 : Choix de l'orientation du panneau.

Etape 02 : Besoin en eau et hydraulique

Etape 02 : Besoin en eau et hydraulique

The screenshot shows the 'Besoins d'eau et pression hydraulique' window. The 'Type de système' is 'Forage vers réservoir'. Under 'Caractéristiques du forage', 'Niveau statique' is -70.0 m, 'Rabatement' is -10.00 m³/h, 'Débit maximum' is 0.9 m³/h, 'Niveau dynamique minimum' is -79.0 m, 'Niveau pompe' is -80.0 m, and 'Diamètre du forage' is 20.0 cm. Under 'Réservoir', 'Volume' is 185.8 m³, 'Diamètre' is 6.88 m, 'Hauteur (plein)' is 5.00 m, and 'Altitude d'injection' is 15.00 m. A diagram shows the well and reservoir levels: 'Feeding level', 'Ground', 'Static level', 'Pumping level', 'Pump', and 'Max. depth'. The 'Circuit hydraulique' section shows 'Choix tuyau' as PE50, 'Longueur de tuyaux' as 140 m, 'Nombre de coudes' as 3, and 'Autres pertes de charge' as 0.00. A graph shows 'pression [mCE]' vs 'débit [m³/h]' with curves for 'Total avec pertes de charge', 'Diff. d'altitude injection - statique', 'Rabatement dans le forage', and 'Limite rabattement'. At the bottom, there are 'Charger', 'Sauver', 'Annuler', and 'OK' buttons.

Etape 03 : Choix du modèle de pompe

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

Suggestions de pré-dimensionnement

Besoins en eau journaliers moyens :
 Pression min. 85.0 mCE
 Pression max. 95.0 mCE
 Volume 79.4 m³/jour
 Puissance hydraulique 3895 W (très approximatif)

Autonomie requise 2.0 Jours
 Manque accepté 5.0 %

Volume réservoir conseillé 79 m³
 Puissance pompe conseillée 9.1 kW
 Puissance PV conseillée 11.5 kWc (nom.)

Définition pompe Conception du sous-champ

Choix d'un modèle de pompe

Lorentz

8.0 kW 60-160 m Well, AC, Centrifuge multi-étages PSk2-7 C-SJ8-30 Depuis 1990

1 Pompes en cascade ?
 1 Pompes en parallèle

Caractéristiques de la pompe

Technologie pompe	Centrifuge multi-étages		
Moteur	Moteur AC triphasé		
Puissance maximale	8000 W	Tension	700 V
		Courant max.	9.0 A
Pression Min / Nom / Max	60	100	160 mCE
Débit corresp.	12.8	10.2	6.2 m ³ /h
Puissance corresp.	6300	6300	6300 W
Efficacité	33.2	44.2	42.9 %

Unités pour ce projet

Débit m³/h
 Pression mCE
 Puissance kW
 Énergie kWh

Outil de calcul énergie hydraulique

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

Débit 7.6 m³/h
 Pression 139.7 mCE
 Puissance 2.911 kW

Le débit de la pompe est légèrement sous-dimensionné par rapport aux besoins.

Annuler OK

Etape 04 : Choix du modèle PV.

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

Suggestions de pré-dimensionnement

Besoins en eau journaliers moyens :	Autonomie requise	2.0 Jours	Volume réservoir conseillé	79 m ³
Pression min. 85.0 mCE	Manque accepté	5.0 %	Puissance pompe conseillée	9.1 kW
Pression max. 95.0 mCE			Puissance PV conseillée	11.5 kWc (nom.)
Volume 79.4 m ³ /jour				
Puissance hydraulique 3895 W (très approximatif)				

Définition pompe Conception du sous-champ

Information système

Pompe choisie	PSk2-7 C-SJ8-30	Technologie	Centrifuge multi-étages	Pression	60.0 - 160.0 mCE
Puissance max.	8000 W	Débit	12.79 - 6.19 m ³ /h		

Aide au dimensionnement

Pas de prédim. Entrez Pnom désirée kWc

... ou surface disponible m²

Sélection du module PV

Disponibles

Victron Energy 175 Wp 15V Si-poly SPP-041751200-175Wc Depuis 2023

Modules nécessaires approx. N/D Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) 15.2 V
Vco (-10°C) 24.7 V

Choisissez le mode de régulation et le régulateur

Régulateur universel mode de régulation Onduleur MPPT-AC

1000 W Onduleur MPPT-AC Universal MPPT - AC Inverter Generic device Adaptabl

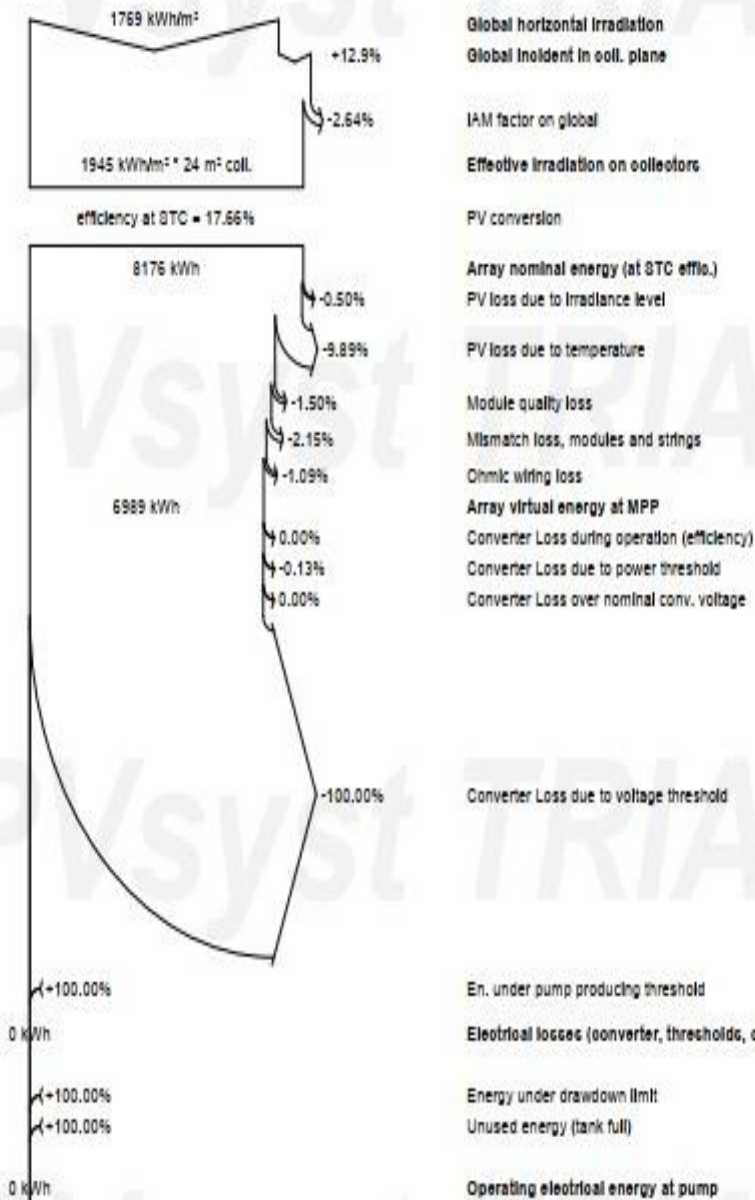
Les paramètres de fonctionnement du régulateur universel seront automatiquement ajustés selon les propriétés du système.

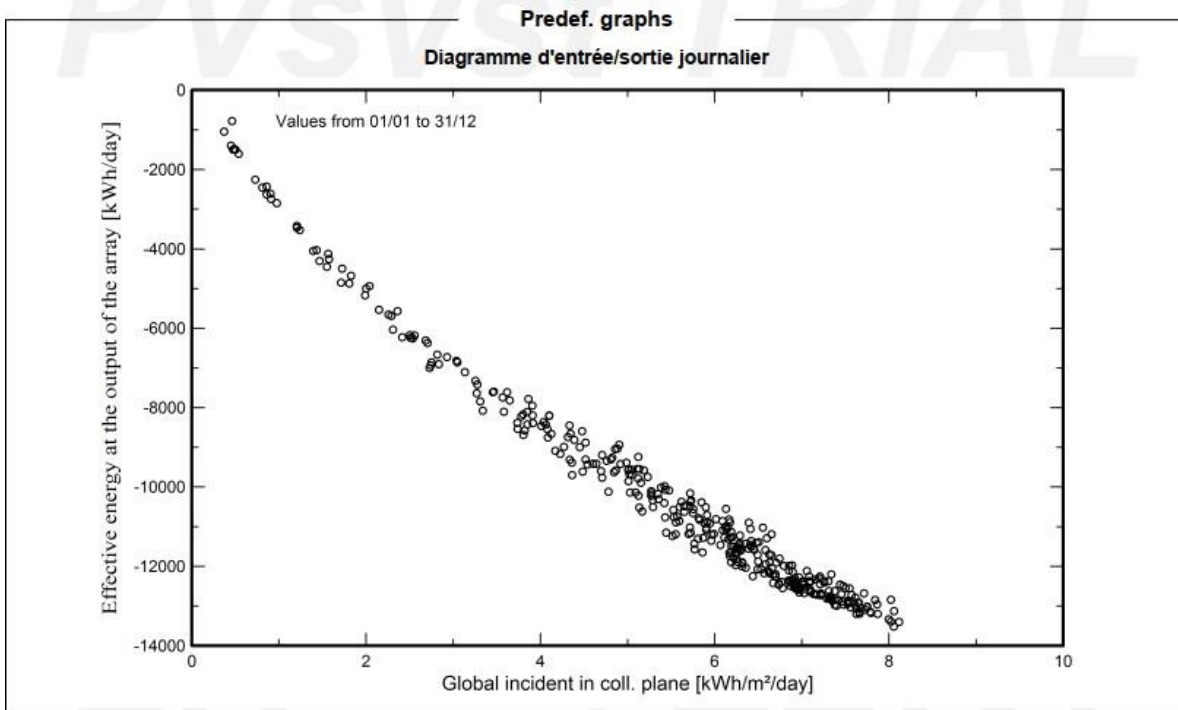
Conception champ PV

Nombre de modules et chaînes		Cond. de fonctionnement		Le débit de la pompe est légèrement sous-dimensionné par rapport aux besoins.
Mod. en série	4 <input type="button" value="↑"/> <input type="button" value="↓"/> doit être: entre 33 et 34	Vmpp (60°C)	61 V	
	6 <input type="button" value="↑"/> <input type="button" value="↓"/>	Vmpp (20°C)	74 V	
Perte surpuissance	N/A	Vco (-10°C)	99 V	
Rapport Pnom	N/A	Irradiance plan	1000 kWh/m ²	
nbre modules	24 Surface 24 m ²	Imp	58.2 A	
		Isc	61.4 A	
		Isc (aux STC)	61.4 A	
		Puiss. max. en fonctionnement (à 1000 W/m ² et 50°C)	3.7 kW	
		Puiss. nom. champ (STC)	4.2 kWc	

Figure V.4 : Choix du modèle PV.

Loss diagram





VI. Analyse économique des systèmes de pompage photovoltaïque :

En générale, le calcul des coûts de la production d'électricité par l'énergie solaire photovoltaïque obéit aux mêmes règles que les solutions classiques. Nous étudierons séparément les coûts d'exploitation (entretiens et maintenance).

VI.1. Evaluation du coût global actualisé de 1 m³ d'eau pompé :

Pour évaluer le coût global actualisé de 1m³ d'eau pompé, il est nécessaire d'avoir certaines données, à savoir [37] :

- la durée de vie de chaque composante.
- Le coût ou l'investissement initial.
- Les coûts de maintenances annuels relatifs au système photovoltaïque.
- Les coûts de remplacements des différents sous-systèmes.

Nous remarquons que parmi les données ci-dessus, quelques-unes sont connues, les autres sont estimées.

VI.2. Calcul de l'investissement initial total :

Pour savoir quel est le prix qu'il va devoir payer lors de l'installation du système il faut connaître l'investissement initial. Le coût total est calculé par la relation suivante [37] :

$$I_{total} = C_{GPV} + C_{MP} + C_{con} + C_{ACC} \quad (15)$$

Sachant que C_{GPV} est le coût du générateur PV calculé par :

$$C_{GPV} = P_M \times N_m \quad (16)$$

Avec :

P_M : Prix de modules

N_m : Nombre de modules

C_{MP}, C_{con}, C_{ACC} sont respectivement les coûts de l'électropompe, du contrôleur et des accessoires.

VI.3. Calcul des coûts de la durée de vie :

Le coût global annuel de la valeur actualisée est calculé par l'expression suivante :

$$C = A_{Total} + E_{Totale} \quad (17)$$

Avec :

A_{Total} : Amortissement total.

E_{Totale} : L'entretien et la maintenance totale.

VI.4. Calcul de l'amortissement total :

Pour calculer le coût de l'énergie en tenant compte de l'amortissement sur le temps, on prend en compte dans nos calculs, la durée de vie des composants ainsi que les profits réalisés sur toute la durée active du système [37].

$$A = \frac{C}{N} \quad (18)$$

Avec :

C : coût d'investissement initial de chaque composant.

N : Durée de vie active de composant.

Pour calculer l'amortissement annuel total du système par la formule suivante :

$$A_{Total} = A_{GPV} + A_{MP} + A_{con} + A_{Acc} \quad (19)$$

Sachant que l'amortissement de chaque composant calculé comme suite :

➤ Amortissement de générateur :

$$A_{GPV} = \frac{C_{GPV}}{N_1} \quad (20)$$

➤ Amortissement d'électropompe et contrôleur :

$$A_2 = \frac{C_2}{N_2} \quad (21)$$

➤ Amortissement des accessoires :

$$A_{Acc} = \frac{C_{Acc}}{N_3} \quad (22)$$

On note que les hypothèses retenues, relatives à la durée de vie pour chacun des éléments du système, sont données dans le tableau suivant [36] :

Tableau IV.3. Le coût total de l'investissement et l'amortissement du système PV.

Equipement	Investissement (DA)	Durée de vie (Ans)	Amortissement (DA)
Générateur PV (22 modules)	880000	20	44000
La pompe et son contrôleur	350000	10	35000
Accessoire	100000	20	5000
Total	1330000		84000

VI.5. Calcul de l'entretien et de la maintenance total :

Malgré la fiabilité des pompes solaires, il est indispensable de veiller à leur bon fonctionnement par un entretien périodique. Dans la mesure où les hypothèses de départ peuvent être différentes, le coût de l'entretien est très difficile à évaluer dans le temps. Pour calculer un coût moyen annuel, l'approche la plus raisonnable est basée sur une expérience vécue sur le terrain qui est aussi théorique qu'elle soit, donnerait un ordre de grandeur réaliste [37].

Le calcul de coût d'entretien total annuel du système est donné par l'expression :

$$E_{Tot} = E_{GPV} + E_{MP} + E_{con} + E_{Acc} \quad (23)$$

Sachant que le coût de l'entretien de chaque composant est calculé comme suit :

- Le coût de l'entretien du générateur :

$$E_{GPV} = C_{GPV} \times Rt_1 \quad (24)$$

- Le coût de l'entretien du groupe électropompe et le contrôleur :

$$E_2 = C_2 \times Rt_2 \quad (25)$$

- Le coût de l'entretien des accessoires :

$$E_{Acc} = C_{Acc} \times Rt_3 \quad (26)$$

Rt_1 , Rt_2 , Rt_3 Sont les coefficients d'estimations du coût de l'entretien par rapport à l'investissement initial des composants.

Tableau IV.4 : Calcul de l'investissement et de l'entretien total de système PV.

Equipement	Investissement (DA)	Rt (%)	Coût Entretien (DA)
------------	---------------------	--------	---------------------

Générateur PV (22 modules)	880000	2	17600
Pompe	280000	2	5600
Contrôleur	70000	5	1400
Accessoire	100000	2	2000
Total	1330000		26600

Nous remarquerons que le coût le plus important correspond au générateur photovoltaïque lui-même. La puissance du générateur qui fait varier le prix, la puissance des accessoires a très peu d'influence sur le coût de l'ensemble.

Le coût global annuel du système photovoltaïque est égal :

$$C = A_{Total} + E_{Totale} \quad (27)$$

$$C = 84000 \text{ DA} + 26600 \text{ DA}$$

$$C = 110600 \text{ DA}$$

D'autre part le besoin moyen annuel en eau est égal à 58228.45 m³/ans, pour calculer le coût de 1m³ d'eau pompé nous avons utilisé l'équation suivant :

$$C_m = \frac{C_g}{B_A} \quad (28)$$

Avec :

C : Le coût de 1m³ (DA).

C_g : Le coût global du système photovoltaïque (DA)..

B_A : Besoin moyenne annuel en eau m³/ans.

$$C_m = \frac{110600}{28981}$$

Le coût de 1m³ d'eau pompé est donc égale à

$$C_m = 3.81 \text{ DA}$$

VII. Etude comparative photovoltaïque-électrogène

VII.1. Groupe électrogène :

L'utilisation de générateurs dans les zones reculées est la meilleure solution pour alimenter les résidents, elle s'avère suffisante pour des besoins tels que l'agriculture. Cela s'explique en partie par le fait que le carburant n'est pas régulièrement disponible. [41]

VII.2. Système de pompage par groupe électrogène :

Pour la même station de pompage nous alimentons la motopompe par un groupe électrogène.

Le nouveau système est composé par :

- Le groupe électrogène.
- Le groupe électropompe.
- Les accessoires.

Le groupe électrogène est utilisé comme alimentation de secours ou sur le chantier pour produire l'électricité. Il est choisi sur la base de caractéristiques du groupe électropompe.

VII.3. Calcul de puissance :

La puissance P du groupe électrogène est calculée par la relation :

$$P = \frac{E_h}{\rho_{mp} \times t_p} \quad (28)$$

Avec :

E_h : L'énergie hydraulique (donné par le constructeur).

ρ_{mp} : Le rendement du groupe motopompe (donné par le constructeur).

t_p : Le temps nécessaire de pompage.

VII.4. Calcul de l'investissement initial total :

De la même manière que pour le système de pompage solaire, à partir du moment où les composants du système sont choisis, le coût total de l'investissement est calculé comme suit :

$$I_{total} = C_{GE} + C_{MP} + C_{ACC} \quad (29)$$

Sachant que :

C_{GE} : Coût de groupe électrogène :

C_{MP}, C_{ACC} Sont respectivement coût d'électropompe et accessoire.

VII.5. Calcul de l'amortissement total :

La même méthode est utilisée pour calculer l'amortissement annuel total du système:

$$A_{Total} = A_{GE} + A_{MP} + A_{Acc} \quad (30)$$

Sachant que l'amortissement de chaque composant est calculé comme suit :

➤ Amortissement du groupe électrogène :

$$A_{GPV} = \frac{C_{GE}}{N_1} \quad (31)$$

➤ Amortissement d'électropompe :

$$A_2 = \frac{C_2}{N_2} \quad (32)$$

➤ Amortissement des accessoires :

$$A_{Acc} = \frac{C_{Acc}}{N_3} \quad (33)$$

Les relations précédentes permettent de dresser les valeurs du tableau suivant :

Tableau IV.5 : Coût total de l'investissement et l'amortissement du système de pompage par le groupe électrogène.

Equipement	Investissement (DA)	Durée de vie (Ans)	Amortissement (DA)
Groupe électrogène	203000	5	40600
Motopompe	350000	10	35000
Accessoire	100000	20	5000
Total	653000		80600

VII.6. Calcul de l'entretien et de la maintenance total :

Le coût annuel de l'entretien et de la maintenance d'un groupe électrogène est déterminé par la formule suivante :

$$C_{e/m} = 5\% \times C_{GE} + X \times C_{Tran} + C_{divi} \quad (34)$$

C_{GE} : Coût du groupe électrogène.

X : la distance séparent le site d'installation à la ville.

C_{divi} : Le coût de prise en charge.

C_{Tran} : Coût du transport par Km.

Pour les autres composants, les coûts annuels d'entretien et de maintenance sont calculés de la même manière que pour les systèmes de pompes photovoltaïques.

Tableau IV.6 : Calcul de l'investissement et de l'entretien total de système de pompage par groupe électrogène.

Equipement	Investissement (DA)	Rt (%)	Coût Entretien (DA)
Groupe électrogène	203000	5	50000
La pompe	280000	2	5600
contrôleur	70000	5	3500
Accessoire	100000	2	2000
Total	653000		61100

VII.7. Calcul l'exploitation annuel total :

Les coûts d'exploitation du groupe électrogène sont évalués sur la base des données relatives à la plaque caractéristique électrique du groupe électrogène et à la consommation de carburant et d'huile de lubrification. Les coûts d'exploitation annuels totaux sont calculés en utilisant la relation suivante [6] :

$$C_{d/l} = C_d + C_l \quad (35)$$

Avec :

C_d : Le coût de carburant (essence)

C_l : Le coût des lubrifiants.

Sachant que :

$$C_d = P \times Cons/ans + X \times C_{Tran} \quad (36)$$

P : prix de litre du carburant (diesel 29DA)

: la distance séparent le site d'installation à la ville.

C_{Tran} : Coût du transport par Km.

$Cons/ans$: Consommation annuelle calculée par :

$$Cons/ans = Cons/j \times 365 \quad (37)$$

$$Cons/j = Cons/h \times NH \quad (38)$$

NH : Nombre d'heures de fonctionnement du groupe électrogène (11h).

$Cons/h$: Consommation horaires (2 DA).

Le coût de lubrifiant est donné par :

$$C_l = P \times Cons/ans \times 20\% \quad (39)$$

On déduit l'exploitation annuelle totale dans le tableau suivant:

Tableau IV.7 : Calcul du coût total de l'exploitation du système de pompage par groupe électrogène

	Invest (DA)	Carburant (DA)	lubrifiant
$Cons/h$	2	332870	46574
$Cons/j$	22		
$Cons/ans$	8030		
Prix de litre de carburant	29		
Coût totale d'exploitation (DA)		379444	

Le coût de $1m^3$ d'eau pompé est donné par:

$$C_m = \frac{C_g}{B_A} \quad (40)$$

Avec :

C : Le coût de $1m^3$ (DA).

C_g : Le coût global de groupe électrogène.

B_A : Besoin moyenne annuel en eau m^3/ans .

Le calcul du coût de $1m^3$ d'eau pompé donne :

$$C_m = \frac{521144}{28981}$$

$$C_m = 17.98 \text{ DA}$$

VIII. Résultats comparative :

Le tableau suivant illustre les résultats comparatifs des deux moyens d'alimentation Photovoltaïque et électrogène.

Tableau IV.8 : Coût du m³ d'eau pompé par les deux systèmes Photovoltaïque /électrogène.

Les coefficients de comparaison	Système PV	Groupe électrogène
Amortissement (DA)	84000	80600
Entretien (DA)	26600	61100
Exploitation (DA)	0	379444
Coût global (DA)	110600	521144
Coût de 1 m ³ d'eau (DA)	3.81	17.98

Pour mieux comparer ces résultats le tableau (V.7) montre simultanément les coûts globaux actualisés de 1 m³ d'eau pompé par les deux systèmes après 20 ans d'exploitation. Sur la base de notre cas particulier, nous constatons à première vue que le pompage d'eau par énergie solaire photovoltaïque est le plus intéressant.

Nous pouvons conclure que l'analyse de l'évolution des coûts d'exploitation au fil des années d'exploitation montre clairement qu'au début de l'exploitation, l'eau pompée par le générateur est moins chère, et qu'au fil des années, l'investissement initial dans une solution photovoltaïque devient rentable, tout en profitant des avantages de cette énergie propre. En 10 ans d'exploitation, les solutions photovoltaïques de pompage d'eau seront moins chères.

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'irrigation représente, dans les exploitations agricoles totalement dédiées à la production végétale, la part la plus importante de la consommation énergétique. Les systèmes de pompage sont, dans la presque totalité des exploitations, entraînés par des moteurs électriques ou des moteurs à combustion (gas-oil). Ceci alourdit de façon conséquente le coût d'exploitation. Cela englobe les grands périmètres d'irrigation à partir des grands barrages, les petits périmètres à partir des eaux des puits et de forages et l'épandage des eaux crues. La demande moyenne en eau par hectare, réellement irriguée, est évaluée à environ 6000 m³ avec toutefois de fortes disparités en fonction des types de cultures des différentes régions [42].

L'irrigation traditionnelle présente plusieurs inconvénients comme les pertes au niveau des parcelles, la mauvaise régularité de l'arrosage des parcelles ainsi qu'un faible taux de stockage dans le sol [43].

Par conséquent, l'optimisation du système d'irrigation permet une grande réduction des volumes pompés, ce qui engendre une réduction aussi bien de la facture énergétique que de la facture relative aux d'irrigation. L'irrigation localisée (goutte à goutte) est dans la plupart des cas le mode d'irrigation le plus économe et le plus fiable. Il permet une économie d'eau et donc d'énergie, d'environ 70% par rapport à l'irrigation gravitaire et de 30% par rapport à l'irrigation par aspersion [44].

Ce type d'irrigation est valable pour les pays de faible pluviométrie et où l'irrigation joue un rôle clé pour la production agricole. Pour optimiser l'utilisation de l'eau dans l'agriculture, il est possible de calculer les besoins en eau d'une culture en utilisant des Logiciels adéquats comme nous l'avons fait. Cela n'empêche pas que les principales informations sur la recharge des nappes phréatiques, les licences de prélèvement d'eau, et la gouvernance et la gestion de l'eau doivent être prises en compte pour garantir la durabilité des prélèvements d'eaux souterraines avant de planifier la mise en place d'un quelconque système d'irrigation. Si cela n'est pas fait, la surexploitation des nappes phréatiques peut conduire à des interférences entre les puits, à une salinisation des nappes phréatiques, à un épuisement des nappes phréatiques comme c'est le cas de la nappe de Maghnia. Heureusement pour nous, nous possédons à présent des techniques qui utilisent l'eau à bon escient, comme la technique de la goutte à goutte. Nous sommes tout à fait conscients de cet avantage, qui nous ouvrira des perspectives intéressantes pour le développement de l'agriculture dans notre pays. L'une de nos

motivations étant l'étude et la mise en place un système d'irrigation à la goutte à goutte à l'aide d'un pompage photovoltaïque.

Le pompage photovoltaïque permet justement d'irriguer des exploitations agricoles en sites isolés comme dans notre cas ainsi que celles raccordées au réseau. Pour utiliser l'énergie solaire le dispositif d'irrigation est complété par des panneaux photovoltaïques. Parmi les deux modes de pompages nous avons choisi le stockage qui permet la disponibilité de l'eau en dehors des heures d'ensoleillement via un réservoir de stockage remplis au fil du soleil.

Pour une hauteur manométrique totale moyenne, comme la nôtre, La pompe immergée centrifuge est généralement la plus efficace. Son rendement est étroitement lié à la HMT et son dimensionnement est réalisé en tenant compte de plusieurs facteurs liés aux conditions géologiques et climatique du site étudié, du type de cultures ainsi que du mode d'irrigation utilisé.

Une étude technico-économique était nécessaire dans notre cas, surtout pour nos cultivateurs qui ne se permettent pas le luxe d'un système très évolué. Nous avons essayé d'estimer l'installation du système proposé dans notre travail pour avoir une idée sur la faisabilité de cette tâche malgré le manque d'informations ainsi que les irrégularité des marchés concernant les différents matériels utilisé dans ce projet.

Pour conclure on peut dire que les deux techniques, agricole (le goutte à goutte) et énergétique (énergie solaire) utilisées simultanément sont de loin les techniques les plus prometteuses dans le domaine agricole surtout pour notre pays qui possède un potentiels énergétique propre colossale ainsi que des nappes phréatiques de très grandes étendues.

Bibliographie

- [1] <http://agronomie.info>
- [2] <https://www.unesco.org>
- [3] <https://reca-niger.org>
- [4] R. Khezzar. *Optimisation de chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque en énergie électrique, Thèse de Doctorat, Université El Hadj Lakhdar-Batna 1, Février 2017.*
- [5] <https://www.sines.fr>
- [6] <http://agronomie.info>
- [7] J. Jamin, J. Poussin. Article introductif *Les agricultures irriguées face à de nouveaux défis,* " Cah.Agric., vol. 20, pp. 10–15, 2011.
- [8] C. Brouwer, « *Méthodes d'irrigation* », *Manuel de formation n° 5, Division de la mise en valeur des terres et des eaux, FAO 1990.*
- [9] (<https://www.ecosources.org/irrigation>)
- [10] (https://fr.wikipedia.org/wiki/Canal_d%27irrigation)
- [11] (<https://www.researchgate.net/>)
- [12] (<https://www.researchgate.net/>)
- [13] (<https://www.plastiques-agricoles.com/>)
- [14] (<https://nicolabarbisan.files.wordpress.com/>)
- [15] <https://archzine.fr>
- [16] <https://www.mon-irrigation.com>
- [17] S. Amir, *Mémoire de Master, « Conception et réalisation d'un système d'irrigation intelligent » Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 2020.*
- [18] <https://futurepump.com>
- [19] Kiprono, A W., Llarío, A I., (2021) *Le pompage solaire pour l'approvisionnement en eau. Exploiter l'énergie solaire dans le contexte de l'action humanitaire et du développement, Royaume-Uni : Practical Action Publishing.*
- [20] J. Royer, T. Djiako, E. Schiller et B. Sada Sy « *Le Pompage photovoltaïque* », *Manuel de cours, IEPF/Université d'Ottawa/EIER/CREPA.*
- [21] Ajai Singh, « *An introduction to drip irrigation systems* », ISBN: 978-93-81274 - 18-7 First Edition 2012.
- [22] <https://www.monkitsolaire.fr>

- [23] <https://www.cder.dz>
- [24] *F. Maoulida and all, 6 ème Conférence Internationale des Energies Renouvelables (CIER-2018), Hammamet, Tunisie Décembre 19-22, 2018.*
- [25] *Google maps*
- [26] https://www.memoireonline.com/07/08/1372/m_memoire-etude-fructification-regeneration-cedre-atlas14.html
- [27] <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/lemcen/lemcen-990323/>
- [28] <https://www.pvsyst.com/fr/>
- [29] <http://www.iosfax.agrinet.tn>
- [30] *K. Kerkouche et all, Revue des Energies Renouvelables Vol. 16 N°2 (2013) 269 – 284*
- [31] *A. Hadj Arab, et all, Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19 – 26*
- [32] *Principe de dimensionnement et étude de cas, Pompage au fils du soleil, Cours.*
- [33] *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.*
- [34] *Ait atmane mohamed el hadj, Farhi Khireeddine. Etude et dimensionnement des systèmes de pompage solaire. Mémoire de Master, Université Larbi Ben M'hidi-Oum El Bouaghi.*
Juin 2011
- [35] <https://www.solaris-store.com>
- [36] *M. L. LOUAZENE. Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site d'Ouargla. Thèse de Magister, université EL Hadj Lakhdar-Batna, Juin 2008.*
- [37] <https://cdn.shopify.com/s/files/1/0017/8847/7489/files/Victron-BlueSolar-Monocrystalline-Panels-Datasheet.pdf?1506>.
- [38] *R. KHEZZAR. Optimisation de chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque en énergie électrique, Thèse de Doctorat, Université El Hadj Lakhdar-Batna 1, Février 2017.*

[39] <https://www.pvsyst.com>

[40] W. ABBASSI, S. BOULAL *Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site Adrar, Mémoire de Master Université Ahmed Draia Adrar Mai 2017.*

[41] <https://faolex.fao.org>

[42] <https://www150.statcan.gc.ca>

[43] <https://www.unesco.org>

[44] <https://www.cieau.com>