

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة ابي بكر بلقايد - تلمسان-

Université ABOU BEKR BELKAID



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

MEMOIRE

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en **Hydraulique**
Option : Ouvrage Hydraulique

Thème

Modélisation, dimensionnement et évaluation du coût d'un système d'irrigation avec pompage solaire photovoltaïque. Étude de cas : Périmètre SIDI MOKHFI-SIDI EL DJILLALI

Soutenue publiquement le : 29/11/2020

Présentée par :

BOUABDESSELAM Omar

Devant le jury :

M^r TERKI HASSAINE Taha El Amine

Président

M^r BENTALHA Chakib

Examineur

M^r BENMANSOUR Abdelhalim

Encadreur

M^r BOUCHELKIA Hamid

Co-Encadreur

Promotion 2017/2018

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir accordé la santé et la volonté d'initier et de compléter ce mémorandum. Ce travail ne sera pas riche et ne pourra voir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr. BENMANSOUR Abdelhalim et de Mr. BOUCHELKIA Hamid, professeurs au Département d'Hydraulique de l'Université de Tlemcen. Je les remercie pour la qualité exceptionnelle de leur encadrement, leur patience et leur soutien tout le long de la préparation de ce Projet de Fin d'Etude.

Je remercie le professeur TERKI HASSAINE Taha El Amine, en sa qualité de président du jury et le professeur BENTALHA Chakib, en sa qualité d'examineur de m'avoir fait l'honneur d'examiner ce modeste travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à Mr. TAHRAOUI Mohamed, Chef du Département des Opérations à la Direction des Activités Agricoles de la Wilaya de Tlemcen et à Mr. BELABASSI Abderrezak, Ingénieur à la Direction de l'Irrigation de la Wilaya de Tlemcen, de nous avoir défini le cas d'étude et de nous avoir assisté dans nos travaux et qui nous ont fourni des analyses du laboratoire du BNEDER. Nous adressons également nos sincères remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenus de près ou de loin pour faire aboutir ce travail.

Je remercie particulièrement Mr. BENADDA Lotfi, qui m'a beaucoup aidé.

Tous mes remerciements vont aux travailleurs de la Faculté de Technologie de l'Université Abou-Bakr BELKAID, Tlemcen.

Dédicaces

Je dédie cet humble travail à ma famille honorable, mes amis et mes compagnons, Aucun honneur ne peut égaler l'amour et la patience imparables de mes amis, avec mon immense gratitude pour leurs sacrifices, leur patience illimitée, leurs encouragements constants malgré les obstacles que nous avons traversés et leur aide formidable. Que Dieu leur accorde la santé et la longue vie.

A mes frères et sœurs pour leur grand amour et leur soutien pour moi et ma grande gratitude à tous les membres de ma famille, et à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à rendre ce projet possible,

Je dédie ce modeste travail à tous mes professeurs et à tous mes amis universitaires.

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius.

δ : La déclinaison.

ψ : L'attitude du lieu.

TSV : Le temps solaire vrai.

σ : Le taux d'insolation.

ISC : Le point du courant maximal.

VOC : Le point de la tension maximale de la cellule.

PPM : Le point de fonctionnement optimal.

GSC : La constante solaire.

B nette : besoin nette

B brutes : besoin brute

CE : conductivité électrique

Cm : cout de 1 m³ (DA)

Cg: cout globale de système photovoltaïque

Cu : coefficients d'uniformité

Dr : densité réelle

DA : densité apparente

Dfc : dose effective continue

Dp : dose pratique

Dn : diamètre normalisé en mm

dn : dose nette

dpl : dose pratique localisé

eg : espacement entre goutteurs

ETP : évaporation potentielle en mm

GPV : générateur photovoltaïque

HMT : hauteur manométrique total

Hg : hauteur géométrique

Δh_s : perte de charge singulière

j : perte de charge unitaire

K : potassium

K_c : coefficient de culture qui tient compte du stade de croissance de la plante

L_p : longueur de parcelle

H_g : Hauteur géométrique.

P_c : Pertes de charge.

N_g : Le niveau statique.

N_d : Le niveau dynamique.

Q_{Eh} : Energie hydraulique.

Ch : Constante hydraulique.

g : La gravité terrestre.

ρ : Densité de l'eau.

E_e : Energie électrique.

η_{Mp} : Le rendement du groupe motopompe.

η_{ond} : Le rendement d'onduleur.

P_c : La puissance de sortie du générateur.

η_g : Le rendement du générateur.

G : L'éclairement dans les conditions CSM.

CSM : les conditions standards de mesure.

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

G_d : L'irradiation moyenne journalière.

β : L'inclinaison optimal des modules.

F_m : Facteur de couplage.

γ : Coefficient de température.

T : Température moyenne journalière des cellules.

W : Watt.

V : Vent.

H_r : Humidité relative de l'aire.

Ins : Insolation.

V_j : Volume journalier mensuel d'eau d'irrigation.

N : fréquence d'arrosage

Nr : nombre de rampe

Ng : nombre de goutteurs

ONM : organisation national météo logique

t : La durée quotidienne d'arrosage

PV : photovoltaïque

P : précipitation moyenne mensuelle en mm

P (%80) : pluie de fréquence 80%

Pu : pluie utile

PH : potentiel hydrométrique

PM: La puissance du module PV

Pc : La puissance crête du générateur

Q : le débit

Qh : débit horaire de pompe

Qr : débit de rampe

Qpr : débit de la porte rampe

Qs : débit stocké

Qp : débit pompé

Qd : débit distribuée

Rs : résistances en série

Rp : résistances en série

RU : réserve utile

RFU : réserve facilement utilisable

T : température moyenne mensuelle en °C

Eg : Espace gouteur.

Ng : Le nombre de goutteurs par rampe.

Nr : Le nombre de rampe par secteur.

Nrpr : Le nombre total de rampe par porte rampe

V: la vitesse d'écoulement.

v : Vitesse (m/s).

m³ : Mètre cube.

CC : Courant continu.

AC : Courant alternative.

Ns : Module en série.

Np : Module en parallèle.

Ns : Nombre de secteur d'arrosage.

L0 : Longueur totale.

Lr : Longueur de la rampe.

.

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau I. 1: Caractéristiques principales du soleil | 6 |
| Tableau I. 2: caractéristiques l'intérieur soleil | 7 |
| Tableau I. 3: Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques | 16 |
| | |
| Tableau II. 1: Les différentes technologies des cellules solaires | 30 |
| Tableau II. 2: caractéristique des pompes centrifuges et les pompes volumétriques | 39 |
| Tableau II. 3: Les avantages et inconvénients des pompages au fil du soleil et avec batteries | 42 |
| | |
| Tableau III. 1: localisation du périmètre | 47 |
| Tableau III. 2: Répartition de la superficie du périmètre par classes de pente | 49 |
| Tableau III. 3: Caractéristiques des stations météo de références..... | 49 |
| Tableau III. 4: Évolution des précipitations mensuelle moyenne pour les quatuors année. (2000-2014) -périmètre de SIDI MOKHFI (station SEBDOU)..... | 50 |
| Tableau III. 5 : Moyenne des températures (°C.) mensuelles (station SEBDOU)..... | 51 |
| Tableau III. 6 : fréquence des gelées | 52 |
| Tableau III. 7: nombre moyen de jours de grêle | 53 |
| Tableau III. 8: vitesse moyenne des vents (m/s)..... | 54 |
| Tableau III. 9: Humidité de l'aire et tension de vapeur saturante..... | 54 |
| Tableau III. 10: Moyennes mensuelles de l'évaporation (en mm) (station EL ARICHA) | 55 |
| Tableau III. 11: Moyenne mensuelles de l'insolation de la région de Tlemcen pour les dix dernières années (2002-2012) | 56 |
| Tableau III. 12: les valeurs de rayonnement global journalier | 56 |
| Tableau III. 13: Inventaire des forages de la commune de SIDI DJILLALI..... | 57 |
| Tableau III. 14: résultats analytiques | 59 |
| Tableau III. 15: résultats analytiques | 60 |
| Tableau III. 16: Résultat de densité apparente..... | 61 |
| Tableau III. 17: Humidité équivalente | 61 |
| Tableau III. 18: Teneur en eau au point de flétrissement (P.F.), à la capacité au champ (C.C.) et réserve utilisable (R.U.) selon les types de sol | 62 |
| Tableau III. 19: paramètre expérimentale | 63 |
| Tableau III. 20: Cultures annuelles..... | 64 |
| Tableau III. 21: Cultures maraîchères..... | 64 |
| Tableau III. 22: Cultures arboricultures | 65 |
| Tableau III. 23: répartition générale des terres de la commune | 65 |
| Tableau III. 24: utilisation de la SAU | 66 |
| Tableau III. 25: consistance du cheptel de la commune par type d'élevage | 66 |
| Tableau III. 26: évolution de la population de la commune de SIDI DJILLALI..... | 67 |
| Tableau III. 27: répartition du parc logements de la commune de SIDI DJILLALI | 68 |
| Tableau III. 28: situation du réseau routier de la commune de SIDI DJILLALI | 68 |
| Tableau III. 29: Situation de l'éducation dans la commune de SIDI DJILLALI..... | 69 |
| Tableau III. 30: situation de l'encadrement médical dans la commune | 69 |
| Tableau III. 31: taux de raccordement aux réseaux | 70 |

| | |
|---|-----|
| Tableau IV. 1: avantages et inconvénients de l'irrigation localisée | 74 |
| Tableau IV. 2: taille des concessions..... | 80 |
| Tableau V. 1: Coefficient de culture pour chaque culture | 84 |
| Tableau V. 2: Profondeur utile pour les cultures existant en (mètre)..... | 85 |
| Tableau V. 3: résumé les RU et Rfu dans la zone d'étude..... | 85 |
| Tableau V. 4: Coefficients de corrélation et valeur de pluie utile..... | 86 |
| Tableau V. 5: Les résultats de l'évapotranspiration potentielle obtenus par la formule de Turc..... | 90 |
| Tableau V. 6: Comparaison des résultats de la formule de Turc et Penman. | 90 |
| Tableau V. 7: Besoins en eau d'irrigation des pêcher /abricot | 92 |
| Tableau V. 8: Besoins en eau d'irrigation des oliviers. | 93 |
| Tableau V. 9: Besoins en eau d'irrigation des figues. | 93 |
| Tableau V. 10: Besoins en eau d'irrigation des pruniers..... | 94 |
| Tableau V. 11: Besoins en eau d'irrigation globale | 94 |
| Tableau V. 12: Caractéristiques des goutteurs proposés | 96 |
| Tableau V. 13: Les caractéristiques du Goutteur choisi..... | 96 |
| Tableau V. 14: Paramètre d'arrosage..... | 97 |
| Tableau V. 15: Nombre et longueur de rampe par porte rampe et nombre de goutteur ... Erreur ! Signet non défini. | |
| Tableau V. 16: Dimensionnement des rampes et portes rampes :..... | 100 |
| Tableau V. 17: Débit à apporter pour chaque parcelle..... | 100 |
| Tableau V. 18: Données techniques – Onduleur Effekta KS-4000DT | 108 |
| Tableau V. 19: Caractéristiques électriques et mécaniques du module photovoltaïque CEM320M-72 [61]..... | 108 |
| Tableau V. 20: Coût total de l'investissement | 112 |
| Tableau V. 21: Devis quantitatif et estimatif de l'irrigation goutte à goutte par pompage PV | 113 |
| Tableau V. 22: Calendrier des actions de projet | 114 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure I. 1:Exemple de l'énergie solaire photovoltaïque | 5 |
| Figure I. 2:Structure du soleil. | 7 |
| Figure I. 3:Mouvement de la terre autour du soleil. | 9 |
| Figure I. 4: Rayonnement direct, diffus et réfléchi | 11 |
| Figure I. 5: Hauteur angulaire du soleil | 12 |
| Figure I. 6:Hauteur et azimut du soleil | 12 |
| Figure I. 7: héliographe. | 14 |
| Figure I. 8: Carte du monde de l'ensoleillement | 15 |
| Figure I. 9: Répartition territoriale des stations météorologiques en Algérie. | 17 |
| | |
| Figure II. 1: schéma de différentes énergies renouvelables | 20 |
| Figure II. 2 : Installation pour la transformation d'énergie hydraulique en énergie électrique | 21 |
| Figure II. 3: Energie marémotrice -Energie des vagues | 22 |

| | |
|--|----|
| Figure II. 4: Biomasse et biocarburant | 23 |
| Figure II. 5: Centrale géothermique, Island. | 23 |
| Figure II. 6: électrification par l'énergie éolienne | 24 |
| Figure II. 7: Les applications de l'énergie solaire | 25 |
| Figure II. 8: solaire thermique et photovoltaïque | 26 |
| Figure II. 9: Structure d'une cellule photovoltaïque | 27 |
| Figure II. 10: Schéma équivalent d'une cellule solaire | 28 |
| Figure II. 11: schéma simplifié opérationnel | 28 |
| Figure II. 12: Caractéristique courant- tension d'une cellule photovoltaïque | 29 |
| Figure II. 13: Caractéristique d'assemblage (tension-courants) des modules. | 31 |
| Figure II. 14: Caractéristique résultante du regroupement mixte | 32 |
| Figure II. 15: Convertisseur DC-DC. | 33 |
| Figure II. 16: schéma d'un onduleur monophasé en demi-pont..... | 34 |
| Figure II. 17: schéma d'un onduleur monophasé en pont | 34 |
| Figure II. 18: Schéma de L'onduleur triphasé. | 35 |
| Figure II. 19: Diagramme du pompage PV par motopompe | 35 |
| Figure II. 20: Moteur à courant continu avec balais au carbone | 36 |
| Figure II. 21: Moteur à courant continu sans balais | 37 |
| Figure II. 22: Moteurs à courant alternatif asynchrones | 37 |
| Figure II. 23: vue en face d'une pompe centrifuge et pompe volumétrique | 38 |
| Figure II. 24: coupe latérale d'une pompe centrifuge | 38 |
| Figure II. 25: coupe latérale d'une pompe volumétrique. | 39 |
| Figure II. 26: Courbes des caractéristiques d'une pompe centrifuge | 40 |
| Figure II. 27: Courbe caractéristiques d'une pompe volumétrique | 40 |
| Figure II. 28: Courbe caractéristiques débit-ensoleillement | 42 |
| Figure II. 29: Application pompage solaire | 43 |
| | |
| Figure III. 1: carte de délimitation et de localisation du périmètre au 1/25000. | 47 |
| Figure III. 2: Localisation du périmètre SIDI MOKHFI..... | 48 |
| Figure III. 3: histogramme des Précipitation moyennes mensuelles | 50 |
| Figure III. 4: histogramme représente la température mensuelle moyenne (station SEBDOU)..... | 52 |
| Figure III. 5: histogramme des fréquences mensuelles moyennes du vent | 54 |
| Figure III. 6: Histogramme représente l'humidité mensuelle moyenne en pourcentage | 55 |
| Figure III. 7: Utilisation agricole selon la SAU | 66 |
| Figure III. 8: représentation de la population de la commune de SIDI DJILLALI..... | 67 |
| | |
| Figure IV. 1: irrigation de surfaces..... | 73 |
| Figure IV. 2: Organigramme de système d'irrigation | 75 |
| Figure IV. 3: schéma de principe | 75 |
| Figure IV. 4: Hydrocyclone ou séparateur de sable | 76 |
| Figure IV. 5: Goutteurs autorégulant a pastille | 78 |
| Figure IV. 6: Bubbler | 78 |
| Figure IV. 7: Goutteurs incorporé | 79 |
| Figure IV. 8: Système de pompage solaire | 81 |

| | |
|---|-----|
| Figure V. 1: La variation de KC | 85 |
| Figure V. 2: Evaluation de l'ET0 par (CROPWAT 8) | 89 |
| Figure V. 3: schéma Le réseau d'irrigation goutte à goutte | 99 |
| Figure V. 4: le cheminement le plus défavorable dans la parcelle | 101 |
| Figure V. 5: profil de dénivellée de la conduite de distribution (tête morte)..... | 103 |
| Figure V. 6: Schéma Synoptique du système de pompage hydraulique photovoltaïque | 105 |
| Figure V. 7: ensoleillement moyenne journalière (kWh /m2. Jour) | 106 |
| Figure V. 8: Diagramme d'un système PV | 108 |
| Figure V. 9: Schéma d'installation. | 111 |

Résumé

L'objet de l'étude est de se prononcer sur la faisabilité d'un projet de proposition d'un programme d'actions et d'aménagement du périmètre de Sidi Mokhfi, par le biais de concession, en vue d'une mise en valeur hydroagricole. Pour ce faire un diagnostic a été établi à travers l'étude des milieux physique et socio-économique de la zone du projet ainsi que les caractéristiques du périmètre objet de la mise en valeur.

Dans ce mémoire il s'agit de faire ressortir les éléments porteurs d'une productivité agricole, tout en déterminant les actions d'aménagement et de définir les facteurs motivant le choix des techniques et des actions appropriées, ainsi que les conditions locales de réalisation.

L'objectif est d'identifier la zone d'étude. Il est alors intéressant d'appliquer les techniques étudiées sur le site réel et une culture bien déterminée. Pour l'étude pratique, nous avons choisi la commune de Sidi Djillali qui accueille le périmètre de Sidi Mokhfi, qui se situe au sud de la wilaya de Tlemcen. Nous avons choisi un système d'irrigation localisée (goutte à goutte) avec un pompage solaire au fil du soleil.

Le fort ensoleillement dans la zone d'étude nous a permis de choisir de pomper l'eau avec l'énergie solaire à l'aide d'un générateur d'énergie solaire composé de panneaux photovoltaïques et d'un onduleur. Son coût nous a permis de choisir le stockage hydraulique via un réservoir surélevé. Le projet est économiquement rentable à long terme.

Mots clés : Irrigation, Arboriculture, pompage solaire, fil du soleil, photovoltaïque, SIDI MOKHFI

summary

The purpose of the study is to comment on the feasibility of the project and to propose an action and development program for the hydro-agricultural development of the Sidi Mokhfi perimeter through a concession. To do this, a diagnosis was made through a study of the physical and socio-economic environments of the project area as well as the characteristics of the perimeter under development.

In the thesis, it is a question of highlighting the elements that promote agricultural productivity, while determining the development actions and defining the factors motivating the choice of techniques and appropriate actions, as well as the local conditions of realization.

The objective is to identify the study area. It is then interesting to apply the techniques studied on a real site and a specific culture. For this practical study, we chose the commune of Sidi Djillali which hosts the perimeter of Sidi Mokhfi is located in the south of the wilaya of Tlemcen, using the localized irrigation system (drip) using solar pumping

The strong sunshine in the study area allowed us to choose to pump solar water with solar energy from the sun using a solar energy generator made up of photovoltaic panels and an inverter. Sun cut allowed us to choose hydraulic storage via an elevated tank.

The project is economically profitable in the long term.

Key words: irrigation, afforestation, solar energy pumping, sun wire, photovoltaic, sir hidden.

الملخص

الغرض من الدراسة هو التعليق على جدوى المشروع واقتراح برنامج عمل وتطوير للتنمية المائية والزراعية لمحيط سيدي المخفي من خلال امتياز. للقيام بذلك، تم إجراء التشخيص من خلال دراسة البيئات المادية والاجتماعية والاقتصادية لمنطقة المشروع بالإضافة إلى خصائص المحيط قيد التطوير.

في الأطروحة ، يتعلق الأمر بإبراز العناصر التي تعزز الإنتاجية الزراعية ، مع تحديد إجراءات التنمية وتحديد العوامل التي تحفز اختيار الأساليب والإجراءات المناسبة ، وكذلك الظروف المحلية لتحقيقها.

الهدف هو تحديد منطقة الدراسة. ومن ثم فإنه من المثير للاهتمام تطبيق التقنيات المدروسة على موقع حقيقي وثقافة معينة. من أجل هذه الدراسة العملية ، اخترنا بلدة سيدي جلالى التي تضم محيط سيدي المخفي الواقعة جنوب ولاية تلمسان ، باستخدام نظام الري الموضعي (بالتنقيط) باستخدام الضخ الشمسي.

سمحت لنا أشعة الشمس القوية في منطقة الدراسة باختيار ضخ المياه الشمسية بالطاقة الشمسية من الشمس باستخدام مولد للطاقة الشمسية يتكون من الألواح الكهروضوئية وعاكس. سمح لنا القطع الشمسي باختيار التخزين الهيدروليكي عبر خزان مرتفع . المشروع مريح اقتصاديا على المدى الطويل.

مفتاح الكلمات: الري ، التشجير ، ضخ الطاقة الشمسية ، سلك الشمس ، الفولتية الضوئية ، سيدي المخفي..

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| INTRODUCTION..... | 1 |
| Chapitre I : Étude du potentiel solaire Algérien | 3 |
| I.1 Introduction :..... | 4 |
| I.2 L'énergie solaire :..... | 4 |
| I.3 Le soleil :..... | 5 |
| I.4 Le système terre-soleil :..... | 8 |
| I.4.1 Quelques définitions : | 9 |
| I.4.2 Le rayonnement solaire : | 10 |
| I.4.3 Position du soleil :..... | 11 |
| I.4.3.1 Déclinaison solaire (δ) :..... | 11 |
| I.4.3.2 Hauteur angulaire du soleil (h) | 12 |
| I.4.3.3 Azimut du soleil (a) : | 12 |
| | 12 |
| I.4.4 Les paramètres de temps :..... | 13 |
| I.4.5 La durée et le taux d'insolation | 13 |
| I.5 Le gisement solaire en Algérie :..... | 14 |
| I.5.1 Définition :..... | 14 |
| I.5.2 Évaluation du potentiel énergétique :..... | 14 |
| I.5.3 Potentiel solaire :..... | 15 |
| I.6 Conclusion :..... | 17 |
| Chapitre II : Énergie Solaire et l'effet photovoltaïques | 18 |
| II..... | 19 |
| II.1 Enjeux par rapport à l'énergie :..... | 19 |
| II.2 Les énergies renouvelables :..... | 19 |
| II.2.1 Définition :..... | 19 |
| II.2.2 Les différents types des énergies renouvelables :..... | 19 |
| II.2.2.1 L'énergie hydraulique : | 20 |
| II.2.2.2 L'énergie biomasse : | 22 |
| II.2.2.3 L'énergie géothermique : | 23 |
| II.2.2.4 L'énergie éolienne : | 24 |

| | | |
|--------------|--|----|
| II.2.2.5 | L'énergie solaire : | 24 |
| II.3 | Les applications de l'énergie solaire : | 25 |
| II.3.1 | Solaire thermique : | 25 |
| II.3.2 | Le solaire photovoltaïque : | 26 |
| II.4 | La conversion photovoltaïque : | 27 |
| II.4.1 | Modèle d'une cellule solaire : | 28 |
| II.4.2 | Caractéristiques électriques des modules : | 29 |
| II.4.3 | Les différentes technologies des cellules solaires : [33]..... | 29 |
| II.4.4 | Association en parallèle, série et mixte [15] | 30 |
| II.5 | Système pompage photovoltaïque : | 32 |
| II.5.1 | Le générateur photovoltaïque : | 32 |
| II.5.2 | L'électronique de commande et de contrôle : | 33 |
| II.5.2.1 | Le convertisseur DC/DC (hacheur) : | 33 |
| II.5.2.2 | Le convertisseur DC/AC (onduleur) : | 33 |
| II.5.2.3 | La commande de poursuite MPPT : [26], [31]..... | 35 |
| II.5.3 | Le groupe motopompe : | 36 |
| II.5.3.1 | Le moteur : | 36 |
| II.5.3.2 | La pompe : | 37 |
| A) | Caractéristiques graphique d'une pompe centrifuge : | 39 |
| B) | Caractéristiques graphique d'une pompe volumétrique : | 40 |
| II.5.4 | Stockage : | 40 |
| II.5.4.1 | Équipements électriques : | 40 |
| II.5.4.2 | Équipements hydrauliques : | 41 |
| II.6 | Méthodes de pompages photovoltaïques : | 41 |
| II.6.1 | Applications : | 43 |
| II.6.2 | Coûts du système de pompage photovoltaïque..... | 43 |
| II.7 | Conclusion | 44 |
| CHAPITRE III | Présentation de la zone d'étude..... | 45 |
| III..... | Caractéristiques de site du projet : | 46 |
| III.1 | Identification du périmètre : | 46 |
| III.2 | Localisation du périmètre : | 47 |

| | | |
|------------|--|----|
| III.3 | Milieu physique : | 48 |
| III.3.1 | Relief : | 48 |
| III.3.2 | Altitude : | 49 |
| III.3.3 | Climat : | 49 |
| III.3.3.1 | Stations de références : | 49 |
| III.3.3.2 | Pluviométrie : | 50 |
| III.3.3.3 | Température : | 51 |
| III.3.3.4 | Gelées : | 52 |
| III.3.3.5 | Grêle : | 53 |
| III.3.3.6 | Orages : | 53 |
| III.3.3.7 | Le vent : | 53 |
| III.3.3.8 | Humidité de l'air et tension de vapeur saturante : | 54 |
| III.3.3.9 | Évaporation : | 55 |
| III.3.3.10 | Insolation : | 56 |
| III.3.3.11 | Rayonnement solaire : | 56 |
| III.4 | Ressources en eau : | 56 |
| III.4.1 | Eau superficielles : | 56 |
| III.4.2 | Eaux souterraines : | 57 |
| III.5 | Ressources en sols : | 57 |
| III.5.1 | L'analyse granulométrie : | 58 |
| III.5.1.1 | les sols iso humiques : | 58 |
| III.5.1.2 | Densité apparente : | 61 |
| III.5.1.3 | Disponibilité d'eau dans le sol : | 61 |
| III.6 | Érosion : | 63 |
| III.7 | Occupation du sol et état de la végétation : | 63 |
| III.8 | Les aptitudes culturales : | 63 |
| III.8.1 | Méthodologie : | 63 |
| III.8.2 | Données sur l'agriculture et l'élevage : | 65 |
| III.8.2.1 | Agriculture : | 65 |
| III.8.2.2 | Elevage : | 66 |
| III.8.2.3 | L'activité agricole au niveau du périmètre : | 67 |
| III.8.3 | Analyse du milieu socio-économique : | 67 |

| | | |
|--|---|----|
| III.8.3.1 | Indicateur démographique :..... | 67 |
| III.8.3.2 | Infrastructures et équipements :..... | 68 |
| A | Infrastructure routière :..... | 68 |
| III.8.3.3 | Accessibilité :..... | 70 |
| III.8.3.4 | Desserte en énergie électrique :..... | 70 |
| III.8.3.5 | Raccordement aux réseaux :..... | 70 |
| Chapitre IV : Programme des actions agricoles à contribution au système photovoltaïque | | 71 |
| IV. | Les aménagements hydrauliques : | 72 |
| IV.1 | Irrigation :..... | 72 |
| IV.1.1 | Classification des systèmes d'irrigation..... | 72 |
| IV.1.1.1 | Irrigation de la surface :..... | 73 |
| IV.1.1.2 | Irrigation par aspersion :..... | 73 |
| IV.1.1.3 | Irrigation Goutte à Goutte : [48]..... | 74 |
| IV.1.2 | Équipement du système goutte à goutte :..... | 75 |
| IV.1.2.1 | Station de pompage :..... | 75 |
| IV.1.2.2 | Station de filtration : [48]..... | 76 |
| IV.2 | Mobilisation de l'eau : | 79 |
| IV.3 | Actions d'accompagnement : | 79 |
| IV.3.1 | Taille et type de concession :..... | 79 |
| IV.3.2 | Amélioration foncière :..... | 80 |
| IV.3.3 | Installation de brise-vent :..... | 80 |
| IV.3.4 | Corrections torrentielles : | 80 |
| IV.3.5 | Aménagement des pistes :..... | 80 |
| IV.3.6 | Apiculture :..... | 80 |
| IV.3.7 | Électrification des forages (pompage photovoltaïque) :..... | 81 |
| IV.4 | Composante agricole :..... | 81 |
| IV.4.1 | Les cultures maraichères :..... | 81 |
| IV.4.2 | Les cultures arboricoles : | 82 |
| Chapitre V : Dimensionnement et évaluation du coût du système optimisé | | 83 |
| V. | | 84 |
| V.1 | Besoin en eau des cultures :..... | 84 |

| | | |
|------------------|---|-----|
| V.1.1 | Exigence culturelle : | 84 |
| V.1.2 | Calcul des besoins en eau des cultures :..... | 86 |
| V.1.2.1 | Traitement des données pluviométriques :..... | 86 |
| V.1.2.2 | Evapotranspiration : | 87 |
| V.1.2.3 | Evaluation Théorique :..... | 90 |
| V.1.3 | Besoins réduits :..... | 96 |
| V.1.3.1 | Choix des goutteurs :..... | 96 |
| V.1.3.2 | Duré d'arrosage :..... | 97 |
| V.2 | Dimensionnement..... | 99 |
| V.2.1 | Dimensionnement des rampes, porte rampes et tête morte :..... | 99 |
| V.2.2 | Cote du réservoir :..... | 101 |
| V.2.3 | Dimensionnement du réservoir :..... | 103 |
| V.2.4 | Dimensionnement de la conduite de refoulement :..... | 104 |
| V.2.5 | Détermination de la hauteur manométrique totale : | 104 |
| V.3 | Choix de la pompe :..... | 105 |
| V.4 | Dimensionnement du Générateur Photovoltaïque (PV)..... | 106 |
| V.4.1 | Estimation des besoins énergétiques :..... | 106 |
| V.4.1.1 | Estimation de l'ensoleillement :..... | 106 |
| V.4.1.2 | L'orientation et l'angle d'indinaison :..... | 106 |
| V.4.1.3 | Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire..... | 107 |
| V.4.1.4 | Calcul L'énergie électrique : | 107 |
| V.4.2 | Convertisseur DC/AC (onduleur)..... | 107 |
| V.4.3 | Taille du Générateur PV :..... | 108 |
| V.4.3.1 | Calcul puissance crête nécessaire :..... | 109 |
| V.4.3.2 | Nombre de modules..... | 110 |
| V.4.3.3 | Nombre de modules en série :..... | 110 |
| V.4.3.4 | Nombre de modules en parallèle :..... | 110 |
| V.5 | Analyse économique et financière des systèmes de pompage photovoltaïque : | 111 |
| V.5.1 | Coût du 1 m ³ d'eau :..... | 112 |
| V.5.2 | Coût de l'énergie consommée :..... | 113 |
| CONCLUSION | | 115 |

INTRODUCTION

L'énergie est un facteur fondamental dans le développement social et économique d'un pays. Une énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme.

Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (photovoltaïque), le vent (éolien), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique). D'une manière générale, les énergies renouvelables sont des modes de production d'énergie utilisant des forces ou des ressources dont les stocks sont illimités. Ce sont donc des énergies inépuisables.

Elle présente à l'heure actuelle une réponse aux problèmes environnementaux et aux émissions de gaz à effet de serre qui menace la planète entière et une solution durable à la crise actuelle de l'énergie, avec la hausse du prix du baril de pétrole, ce qui place les énergies renouvelables, au centre des débats portant sur l'environnement, et plus généralement le développement durable.

Le recours aux énergies renouvelables est impératif pour un pays comme l'Algérie qui dispose d'un climat favorable pour le développement du secteur des énergies renouvelables surtout dans la production d'électricité. L'Algérie dispose d'un potentiel énergétique très important, notamment l'énergie solaire au Sud. Cette source d'énergie est abondante dans notre grand désert et nous avons un des plus importants gisements solaires au monde. En effet, la durée d'insolation ou l'ensoleillement peut atteindre les 3900 heures par an au le Sahara. L'énergie acquise quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m^2 est de l'ordre de 5KWh, soit près de $2263 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ au sud du pays.

Dans ce contexte la rationalisation de l'irrigation par la recherche permanente d'une meilleure efficacité de l'eau est une exigence qui s'impose à tous, la goutte à goutte est une des techniques la plus adaptées pour des conditions analogues à notre cas. Elle permet une économie de l'eau de 50 % à 70 % par rapport à l'irrigation gravitaire.

Par ailleurs, l'énergie solaire est un procédé durable, propre et le mieux adapté pour l'obtention de l'énergie électrique pour les besoins de pompage hydraulique.

Nous allons par la suite faire une étude de faisabilité technico-économique du projet pour vérifier la rentabilité du système de pompage solaire et de l'irrigation goutte à goutte, que l'on comparera avec l'énergie conventionnelle.

Nous avons divisé notre mémoire en cinq chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons donné des explications générales sur le gisement solaire définir le potentiel solaire algérien.

Le deuxième chapitre a été dédié à l'étude et la définition des énergies renouvelables et en particulier au solaire photovoltaïque. Aussi on a présenté les différentes techniques de pompage solaire et d'irrigation.

Dans le troisième chapitre nous avons présenté la zone d'étude et défini tous les paramètres nécessaires à la conception et au dimensionnement de notre système de pompage solaire et d'irrigation de palmier dattier. Nous avons aussi présenté les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau et du sol de la région.

Dans le quatrième chapitre présente les actions agricoles au niveau du périmètre avec les aménagements hydro-agricoles.

Le cinquième et dernier chapitre a été dédié au dimensionnement des systèmes de pompage solaire photovoltaïque et d'irrigation par goutte à goutte. Nous avons terminé ce chapitre par une étude économique.

Chapitre I : Étude du potentiel solaire Algérien

I.1 Introduction :

Sur Terre, l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau, du vent et de la photosynthèse du règne végétal. Le règne animal, y compris l'humanité, dépendent des végétaux sur lesquels sont fondées toutes les chaînes alimentaires

L'énergie solaire fait partie des énergies renouvelables. Elle présente à l'heure actuelle une réponse aux problèmes environnementaux et aux émissions de gaz à effet de serre qui menace la planète entière par le phénomène du réchauffement climatique. C'est aussi, une solution durable à la crise actuelle de l'énergie.

Dans ce chapitre, nous décrivons le potentiel Algérien en matière d'**Énergies Renouvelables** surtout **Solaire** et leur intégration dans une vision de développement durable. On présente des notions des paramètres régissant l'énergie solaire (l'irradiation, la durée d'insolation et la position du soleil). Ceci, permet d'étudier et évaluer le potentiel énergétique de l'Algérie.

I.2 L'énergie solaire :

L'énergie solaire est l'énergie diffusée par le rayonnement du Soleil. Le Rayonnement solaire est constitué par une gamme continue de radiations dont la longueur d'onde varie entre 0,1 micron ($1\mu\text{m}=0,000001$ mètre) et 24 microns. Tous ces rayonnements sont constitués de photons, les composants fondamentaux de la lumière et les vecteurs de l'énergie solaire. Ils se décomposent selon la longueur d'onde β de la manière suivante : [1], [2]

| | | |
|-----------------------|---|-------|
| L' Ultraviolet | $\beta < 0,40 \mu\text{m}$ | 09,2% |
| Le Visible | $0,40\mu\text{m} \leq \beta \leq 0,75\mu\text{m}$ | 42,4% |
| L' Infrarouge | $0,75 < \beta$ | 48,4% |

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables. Elle est à l'origine de la totalité des sources d'énergies utilisées par l'humain. Actuellement, il existe deux voies principales d'exploitation de l'énergie solaire (voir chapitre II) :

- Le Solaire **Photovoltaïque** qui transforme directement le rayonnement en électricité ;
- Le Solaire **Thermique** qui transforme directement le rayonnement en chaleur ;



Figure I. 1:Exemple de l'énergie solaire photovoltaïque [1]

I.3 Le soleil :

Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de la vie sur terre, qui permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques.

Le soleil est une étoile de forme pseudo-sphérique qui se compose de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments chimiques connus [4].

On estime d'énormes quantités d'énergies, environ à $3.7.10^{26}$ J/s, fournies par la transformation de 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'hélium à chaque instant. La différence de 4 millions de tonnes par seconde correspond à la différence d'énergie de liaison entre les protons d'hydrogène et ceux d'hélium donnant une énergie sous forme de rayonnement, [5]

Environ de 150 millions km de distance entre le soleil et la terre. La luminosité (puissance) totale, qu'il émet sous forme de photons, est à peu près égale à 4×10^{26} W. Une partie, de l'ordre de $1,7 \times 10^{17}$ W est interceptée par la terre. Elle nous parvient essentiellement sous forme d'ondes électromagnétiques ; 30% de cette puissance est réfléchiée vers l'espace, 47% est absorbée et 23% est utilisée comme source d'énergie pour le cycle d'évaporation précipitation de l'atmosphère [6].

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau (I.1) ci-dessous :

Tableau I. 1: Caractéristiques principales du soleil [4]

| Paramètre | Unité | Valeur |
|--------------------------------------|-------------------|----------------|
| Diamètre | km | 1392000 |
| Masse | kg | 2.10^{30} |
| Surface | km ² | $6.09.10^{12}$ |
| Volume | km ³ | $1.41.10^{18}$ |
| Masse volumique moyenne | kg/m ³ | 1408 |
| Vitesse | km/s | 217 |
| Distance du centre de la voie lactée | km | $2.5.10^{17}$ |

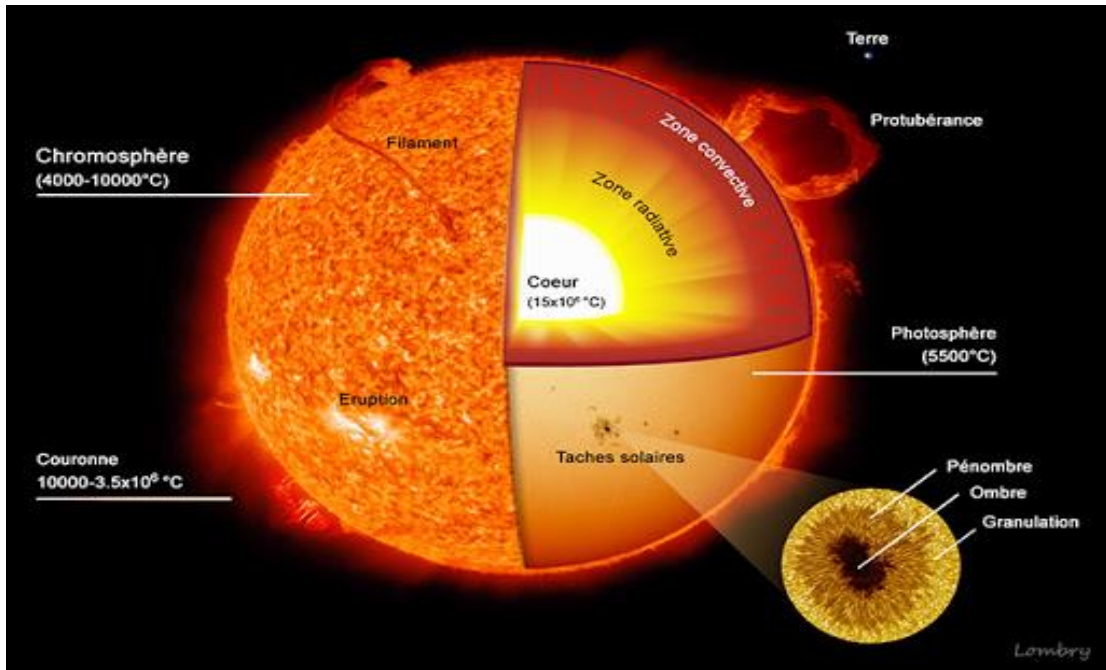


Figure I. 2:Structure du soleil. [5]

A/ L'intérieur : Est un réacteur de fusion nucléaire continue. Il contient 40% de la masse du soleil. Dans cette région est créé 90% de son énergie sous forme de rayons gamma et X, qui est ensuite totalement absorbée par les couches extérieures. Cette couche est répartie en trois zones, le noyau, la zone radiative et la zone convective. Ces caractéristiques sont représentées dans le tableau suivant [4], [6] :

Tableau I. 2: caractéristiques l'intérieur soleil.

| Paramètres | Épaisseur (Km) | Température (°C) | Pression (atm) | Densité (kg/m ³) |
|-----------------|--------------------|---|-------------------|---------------------------------|
| Noyau | 25.10 ⁴ | 15 10 ⁶ | 109 | 1015 |
| Zone radiative | 244160 | 10 10 ⁶ à 50.10 ⁴ | | |
| Zone convective | 199758 | 50 10 ⁴ à 6400 | | |

B/ La photosphère : C'est une couche opaque, très mince, son épaisseur est d'environ 500 km. Elle est responsable de grandes quantités du rayonnement. C'est la partie visible du soleil. L'ordre de grandeur de la température, décroît de 6400 °C à 4500 °C. [4]

C/ La chromosphère et la couronne solaire : Ce sont des régions à faible densité où la matière est très diluée. Elles constituent l'atmosphère du soleil. Une épaisseur de l'ordre 2000 km. Cette couche est caractérisée par un rayonnement émis très faible, bien que la température y très élevée environ 4200 °C à 10^4 °C. [5]

I.4 Le système terre-soleil :

La terre décrit autour du soleil une trajectoire légèrement elliptique, où le soleil occupe l'un des foyers. La distance moyenne entre les deux est de 149.6 millions de km, avec une variation de $\pm 1.7\%$. La révolution complète s'effectue en une période de 365,25 jours. [6]

La terre traverse le grand axe de l'ellipse le 2 janvier (position la plus proche) et le 2 juillet (la plus éloignée du soleil). Depuis la terre, le diamètre apparent du soleil est vu sous un angle de 0.5°.

C'est au solstice d'hiver (89 jours) que la terre est la plus proche du soleil : 147 millions de km. Au 22 juin la distance terre-soleil vaut 152 millions de km. C'est le jour où la terre est la plus éloignée. C'est le solstice d'été (93.6 jours). Le 21 mars et le 21 septembre sont appelés respectivement équinoxes de printemps et équinoxe d'automne. Aux équinoxes le jour et la nuit sont égaux. [7]

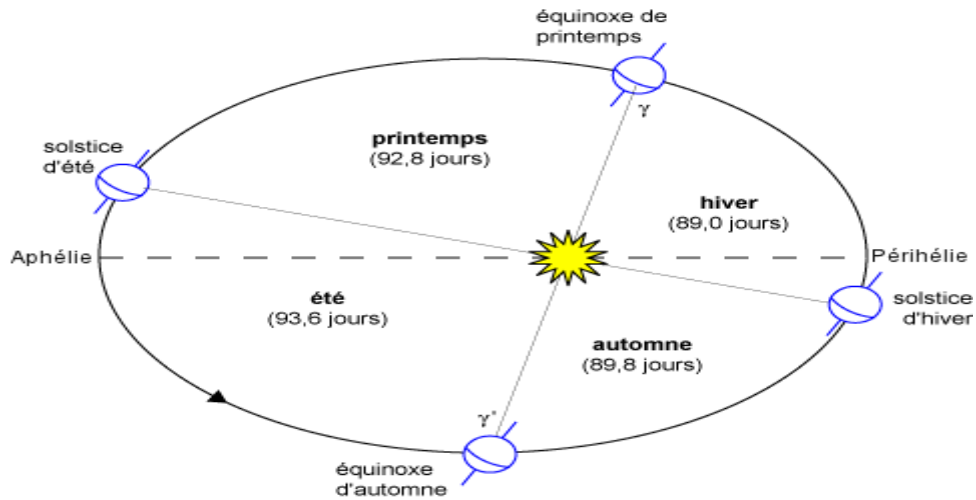


Figure I. 3: Mouvement de la terre autour du soleil. [1]

I.4.1 Quelques définitions :

A/ L'éclairement : Il représente la puissance reçue par une surface. Il s'exprime en W/m^2 (watt par mètre carré). Le S.I. (système international d'unités) recommande d'utiliser le symbole **E**. On l'appelle aussi le flux énergétique. [3]

L'éclairement extraterrestre, à la limite supérieure hors atmosphère, sur un plan horizontal, est calculé à partir de la constante solaire G_{SC} et du facteur de correction de la distance [6].

$$C^* = G_{SC} + 0.033 \times \cos(0.948 \times n) \quad (1.3)$$

Avec :

n : Le numéro de jour de l'année ($n=1$ pour le premier janvier, ...etc.)

G_{SC} : La constante solaire, $G_{SC} = 1353 [W/m^2]$.

B/L'irradiation ou rayonnement : L'irradiation solaire est la quantité d'énergie solaire horaire issue du rayonnement solaire incident reçu par unité de surface. Elle est exprimée

usuellement en wattheures par mètre carré (**Wh/m²**) ou en joules par mètre carré (**J/m²**) selon le système international d'unités. [3]

C/ Constante solaire :

Une surface plane d'un mètre carré perpendiculaire au rayonnement solaire et située à la limite de l'atmosphère terrestre reçoit une puissance rayonnée en fonction de la distance solaire terre.

Cette distance varie quelque peu au cours de l'année, compte tenu de la légère excentricité de l'orbite terrestre. Il en est de même de la puissance reçue par la surface en question. [5]

On appelle la constante solaire noté **C***, la valeur moyenne du flux solaire reçu à la limite de l'atmosphère terrestre.

Où : **C*** est la quantité d'énergie totale envoyée par le soleil a la limite de l'atmosphère terrestre sur une surface unité perpendiculaire au rayonnement solaire. [6]

I.4.2 Le rayonnement solaire : [4],[6],[8]

L'irradiation globale reçue sur une surface horizontale, peut être décomposée en trois composantes dont les proportions et l'intensité varient selon le lieu, le moment de la journée et la saison :

- ❖ **Le rayonnement direct :** qui a fait un trajet dans l'atmosphère sans déviation géométrique, et correspond donc à la portion du rayonnement incident dans la direction d'éclairement du Soleil,
- ❖ **Le rayonnement diffus :** qui résulte des diffractions du rayonnement direct par les nuages et les particules atmosphériques,
- ❖ **Le rayonnement réfléchi :** dû à l'albédo qui résulte de la réflexion du rayonnement par les surfaces proches. L'albédo d'un milieu considéré est le rapport entre le flux de rayonnement réfléchi et le flux de rayonnement incident. Ce coefficient est d'autant plus élevé que la surface est claire (étendue d'eau, neige, etc.).

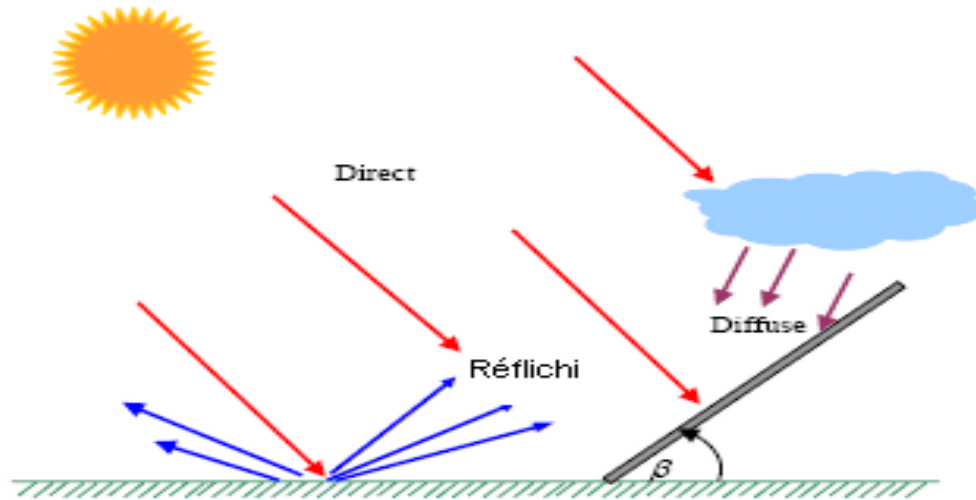


Figure I. 4: Rayonnement direct, diffus et réfléchi [1]

I.4.3 Position du soleil :

La connaissance de la position du soleil en fonction du temps est primordiale. Pour récupérer le maximum d'énergie en provenance du soleil, un récepteur doit être orienté au mieux par rapport aux rayons lumineux incidents. La position du soleil est déterminée par la **déclinaison**, l'**azimut** et la **hauteur** du soleil [8], [10]

I.4.3.1 Déclinaison solaire (δ) :

L'axe de rotation de la terre sur elle-même est incliné de $23^{\circ} 27'$ par rapport au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre). On appelle déclinaison l'angle formé par l'axe terre soleil, avec le plan de l'équateur à un moment donné de l'année. La déclinaison (δ) vaut donc $+ 23^{\circ}27'$ au solstice d'été, $- 23^{\circ}27'$ au solstice d'hiver, et est nulle aux équinoxes. Elle est calculée par une équation approximative, donnée par [8] [9] :

$$\delta = 23.45 \sin[360 (284 + j)/365] \quad (I.1)$$

1.4.3.2 Hauteur angulaire du soleil (h)

C'est l'angle formé par la direction du soleil et sa projection sur le plan horizontal. La hauteur du soleil varie à chaque instant de la journée et de l'année entre -90° et $+90^\circ$. [9]

- $h = 0$ aux lever et coucher du soleil
- $h > 0$ le jour
- $h < 0$ la nuit

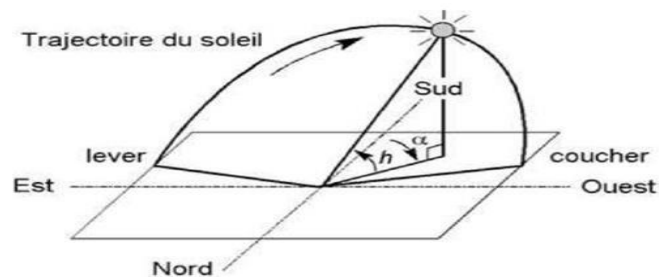


Figure I. 5: Hauteur angulaire du soleil [9]

1.4.3.3 Azimut du soleil (a) :

C'est l'angle formé par la projection du soleil sur le plan horizontal et la direction du Sud comme indiqué sur la Figure 1.2. L'azimut nul correspond à la direction Sud dans l'hémisphère Nord et à la direction Nord dans l'hémisphère Sud. L'orientation Est correspond à l'azimut $a = -90^\circ$, et l'orientation Ouest à l'azimut $a = +90^\circ$ [8]. [10]

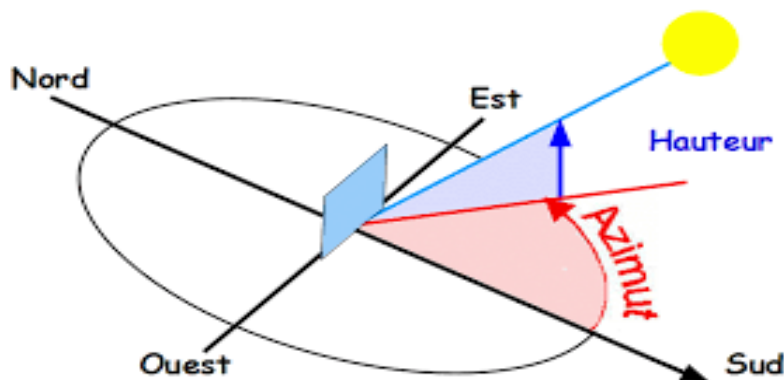


Figure I. 6: Hauteur et azimut du soleil [9]

I.4.4 Les paramètres de temps :

A-Temps solaire vrai :

C'est le temps solaire local corrigé par l'équation du temps, donnée astronomique universelle liée à l'excentricité de l'orbite de la terre autour du soleil [10] :

$$T_{SV}=T_{SL}+\Delta t \quad (1.9)$$

B-Temps universel

Le temps universel (T_U) est défini par l'heure de passage du soleil au méridien origine.

C-Temps solaire local

La différence entre temps solaire local et temps universel est appelée correction de longitude. Pour un lieu de longitude λ , il existe une correspondance directe entre l'angle horaire A_H , le temps solaire vrai T_{SV} , le temps solaire local T_{SL} et le temps universel T_U :

La correction de longitude est donnée par la formule : [10]

$$T_{SL}= T_U+ \lambda/15 \quad (1.10)$$

I.4.5 La durée et le taux d'insolation

Le principe classique des mesures d'éclairements est l'effet thermoélectrique : Un appareil à fibre optique capte le rayonnement solaire direct à chaque rotation (toutes les 36 secondes pour avoir le total en centième d'heure). Il est appelé l'**héliographe** et la mesure est exprimée en heures et dixièmes d'heure. [10]

Ce dernier se présente sous la forme d'un cylindre incliné en fonction de la latitude (fig 2.2). [2]

L'augmentation de sa température est mesurée par une série de couples thermoélectriques ; on enregistre donc une force électromotrice. Une mesure précise est toujours délicate d'autant plus que l'appareil est situé à l'extérieur. La mesure de la durée d'ensoleillement journalière est définie comme le temps pendant lequel l'éclairement énergétique solaire direct est supérieur à un seuil fixe de $120Wm^2$. [2]

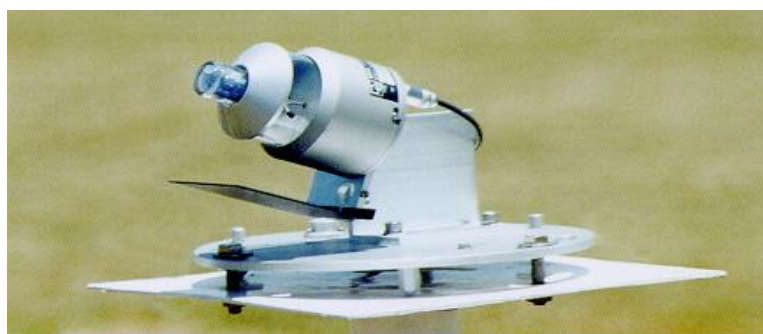


Figure I. 7: héliographe [2].

I.5 Le gisement solaire en Algérie :

I.5.1 Définition :

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement Solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire.

- Le gisement solaire est caractérisé par:
- La densité des stations pour lesquelles on a des données,
- Le nombre d'années de mesures disponibles,
- Le pas de temps des données (mois, jour, heure),
- La durée d'ensoleillement,
- L'albédo du sol ... [12,11]

I.5.2 Évaluation du potentiel énergétique :

Dans ce cadre, l'objectif de développement énergétique assignée une méthodologie qui a permis une estimation réaliste du gisement solaire pouvant être exploité à des fins énergétiques par les concepteurs de systèmes solaires. [12].

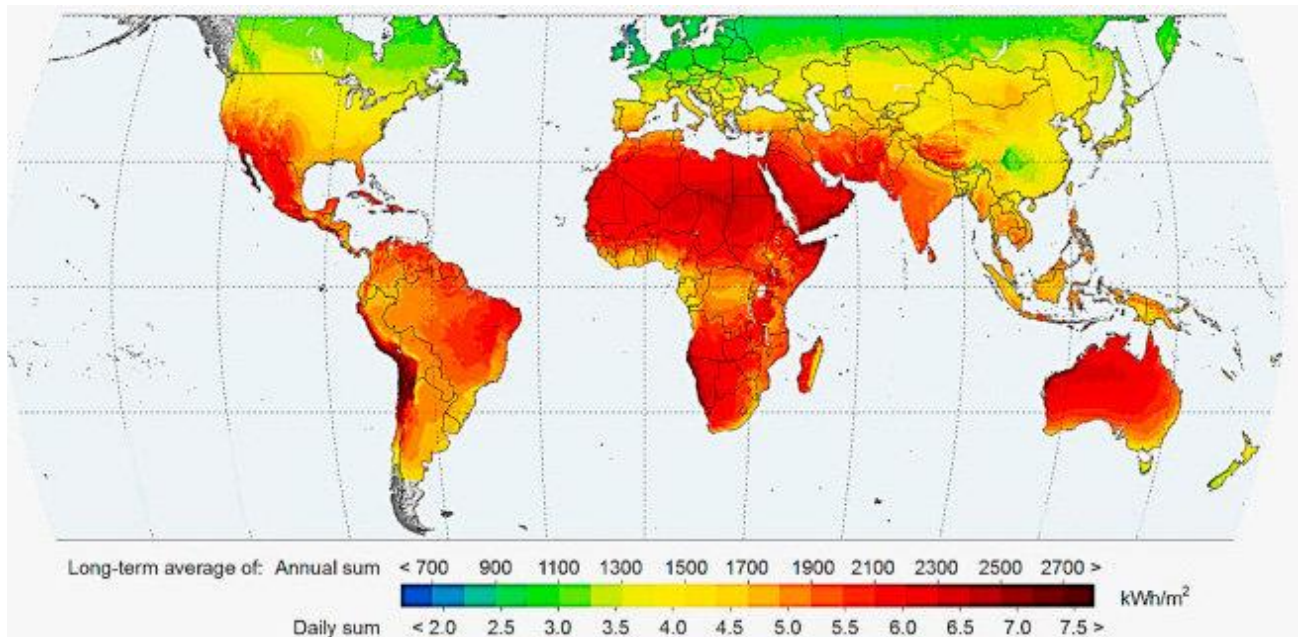


Figure I. 8: Carte du monde de l'ensoleillement [16]

Concernant la mesure du rayonnement solaire en Algérie, le réseau de mesures est peu dense relativement à la superficie du territoire. Pour pallier aux insuffisances des réseaux de mesures, des modèles sont proposés, ils sont basés essentiellement sur l'utilisation des données météorologiques en particulier la durée d'insolation

Les taux d'irradiation solaire effectués par satellites par l'Agence Spatiale Allemande DLR, montrent des niveaux d'ensoleillement exceptionnels de l'ordre de 1200 kWh/m²/an dans le Nord du Grand Sahara. Par contre, les meilleurs taux d'irradiation solaire en Europe sont de l'ordre de 800 kWh/m²/an limités à la partie sud de l'Europe. [12].

L'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque et 35 TWh/an pour l'éolien [13].

I.5.3 Potentiel solaire :

L'Algérie possède un potentiel solaire parmi les plus élevés dans le monde. Il est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La durée moyenne d'ensoleillement dans le Sahara algérien est de 3500 heures. Ce potentiel peut

constituer un facteur important de développement durable dans cette région. Le tableau suivant d'ensoleillement montre que la durée d'insolation sur la totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). [12,15].

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kwh/m²/an au Nord et 2650 kWh/m²/an au Sud du pays. [13]. La répartition de ce potentiel par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau (I.3) qui indique le taux d'ensoleillement reçu annuellement pour chaque région de l'Algérie [12] :

Tableau I. 3: Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques [14]

| Régions | Région côtière | Hauts Plateaux | Sahara |
|--|----------------|----------------|--------|
| Superficie (%) | 4 | 10 | 86 |
| Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an) | 2650 | 3000 | 3500 |
| Energie moyenne reçue (KWh/m ² /an) | 1700 | 1900 | 2650 |

En Algérie, il existe un réseau de 78 stations de mesure météorologiques de l'O.N.M réparties sur tout le territoire national (figure I-12) [13]. Cependant, seules 7 stations météorologiques assurent la mesure des composantes diffuses et globales du rayonnement solaire reçu sur un plan horizontal en raison, soit du manque de fiabilité des appareils de mesure, ou bien, du coût élevé d'un tel appareillage. La durée d'insolation quant à elle, est mesurée par un héliographe dans la majorité des stations de (O.N.M) à cause de la facilité de sa mise en œuvre. [17].

La figure (I.12) ci-dessous donne la répartition territoriale des stations météorologiques en Algérie :

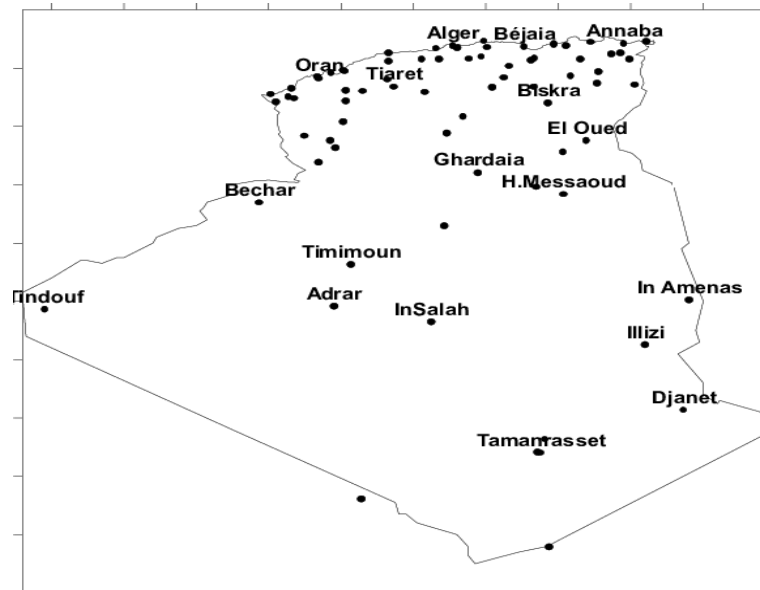


Figure I. 9: Répartition territoriale des stations météorologiques en Algérie. [12]

I.6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons parlé de quelques particularités du soleil. Aussi nous avons défini quelques grandeurs astronomiques nécessaires pour notre étude. Ceci, dans le but de choisir d'une manière optimale l'angle d'inclinaison mensuelle et récupérer par la suite l'énergie maximale. Encore plus pratique et plus intéressante, l'énergie reste maximale en changeant l'inclinaison des panneaux que quatre fois par an (saisonnement). Aussi Nous avons présenté dans ce chapitre quelques notions sur le potentiel solaire en Algérie, parmi les plus importants au monde, qui peut représenter un énorme marché pour la technologie solaire photovoltaïque.

Chapitre II : Énergie Solaire et l'effet photovoltaïques

II. Energie solaire et l'effet photovoltaïque :

Dans ce chapitre, nous présentons les énergies renouvelables et les différents types de leur utilisation à travers le monde. Nous nous intéressons à l'étude des systèmes de pompage photovoltaïques. Pour comprendre ces systèmes, nous abordons aussi le principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques et nous définirons le pompage solaire.

II.1 Enjeux par rapport à l'énergie :

À échelle humaine l'énergie solaire peut être considérée comme une solution qui résoudrait les problèmes énergétiques de l'humanité à long terme. L'enjeu économique est énorme dans un contexte où les prix du charbon, du gaz naturel et du pétrole sont amenés à augmenter avec la diminution drastique jusqu'à épuisement à long terme de ces ressources. Ce fort potentiel couplé à la nécessité de réduire les gaz à effet de serre font de l'énergie solaire un axe de développement privilégié.

L'Algérie, par sa situation géographique, bénéficie de conditions favorables pour l'utilisation des énergies renouvelables et en particulier l'énergie solaire. Sachant que l'Algérie est un vaste pays d'une superficie de 2.381.740 Km², l'une des possibilités de l'exploitation de l'énergie solaire est sa transformation directe en une énergie électrique, sans qu'elle soit transportée. [6]

II.2 Les énergies renouvelables :

II.2.1 Définition :

Les énergies renouvelables utilisent des flux inépuisables fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux. Elles ne sont pas sources de déchets ou d'émissions polluantes. Elles participent à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO₂ Dans l'atmosphère. Ces énergies de l'avenir, propres et inépuisables ne couvrent pourtant que 22% de la consommation mondiale d'électricité. [12]

II.2.2 Les différents types des énergies renouvelables :

Les différentes énergies renouvelables sont :

- Hydraulique (Eau : turbines).
- Biomasse (bois CO_2 de combustion = CO_2 de la croissance des arbres : photosynthèse).
- Énergie géothermique.
- Solaire (thermique et photovoltaïque)
- Éolienne (Vent).

Les grandes catégories de technologies de production d'électricité dépendent de l'ensemble du cycle de vie sur terre (Figure II.1).

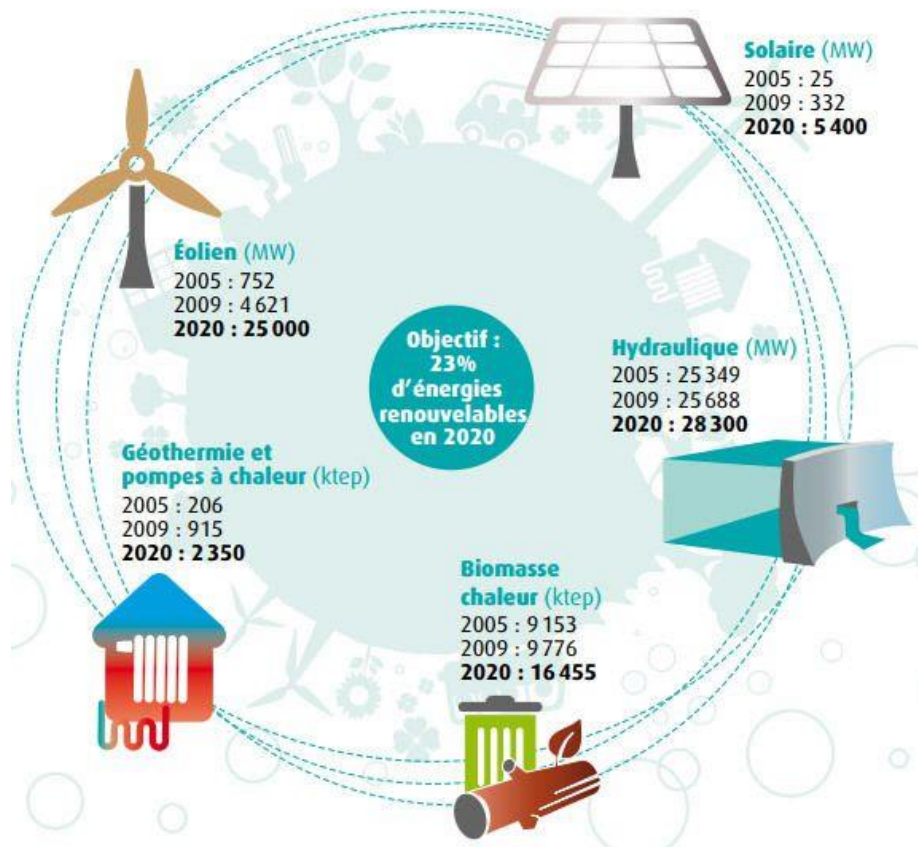


Figure II. 1: schéma de différentes énergies renouvelables [16]

II.2.2.1 L'énergie hydraulique :

L'énergie hydraulique résulte de la force motrice de l'eau qui est produite par le déplacement de la masse d'eau accumulée sur le long de pentes naturelle ou bien des barrages. Ce

déplacement va produire un travail mécanique qui est utilisé directement ou converti sous forme d'électricité. [18]

L'énergie hydraulique permet de produire de l'électricité dans les centrales hydroélectriques, la puissance disponible dépend de deux facteurs : la hauteur de la chute d'eau et le débit de l'eau.

Une centrale hydraulique est composée de 3 parties : (figure II.2)

- Le barrage qui retient l'eau,
- La centrale qui produit l'électricité
- Les lignes électriques qui véhiculent et transportent l'énergie électrique.

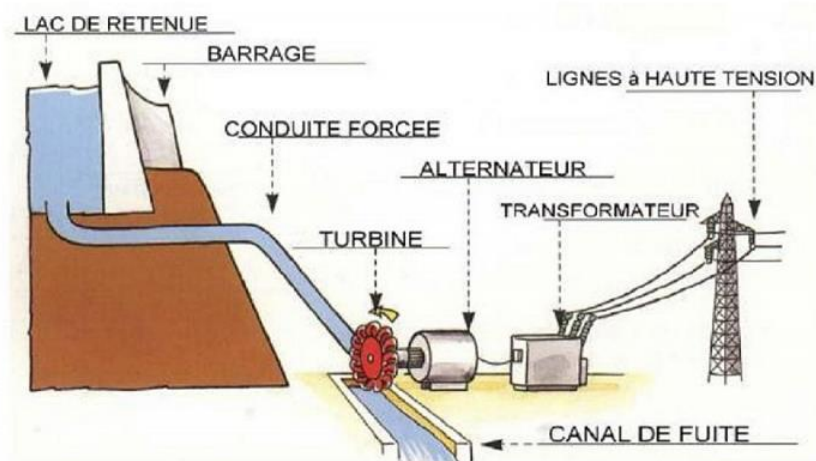


Figure II. 2 : Installation pour la transformation d'énergie hydraulique en énergie électrique [18]

On distingue plusieurs types de l'énergie hydraulique: Figure II.3

- Énergie des chutes d'eau : utilise le poids et l'inertie de la chute d'eau
- Énergie des vagues : utilise la puissance du mouvement des vagues.
- Énergie marémotrice : la variation du niveau de la mer et courants de marée créé mouvement de l'eau

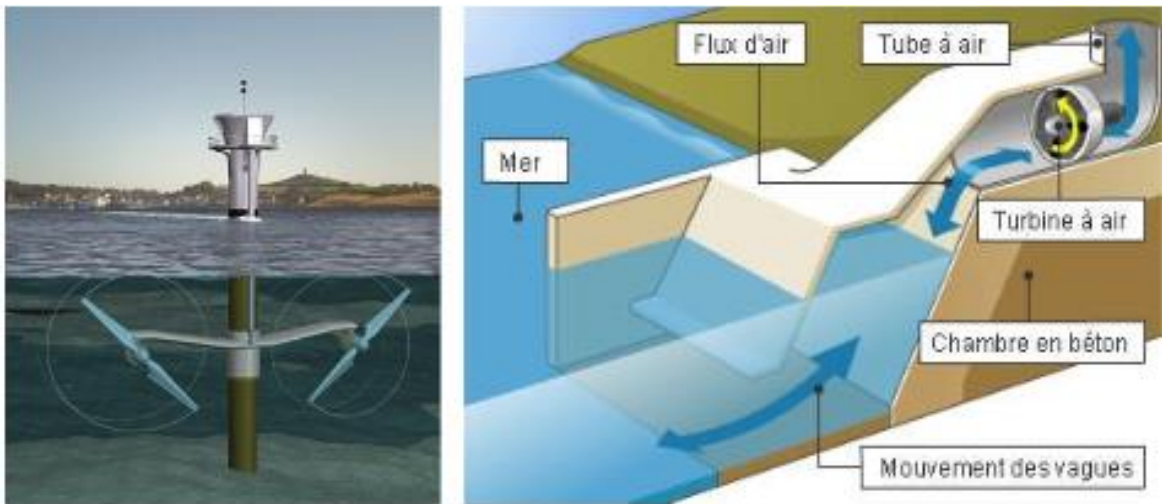


Figure II. 3: Energie marémotrice -Energie des vagues [18]

II.2.2.2 L'énergie biomasse :

La biomasse (masse des végétaux), le terme de biomasse regroupe l'ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergie. L'utilisation de la biomasse remonte au temps où l'homme découvrait le feu et se servait encore du bois pour se chauffer et cuire ses aliments

La biomasse provient de divers secteurs et matières comme le bois qui représente 14% de la consommation énergétique mondiale. Issu des déchets de la forêt ou des industries du bois, les récoltes, les résidus agricoles et forestiers, les déchets alimentaires et les matières organiques issues des déchets Municipaux et industriels, ils sont brûlés pour produire de la chaleur [20]. Il existe une variété large de technologies pour convertir l'énergie de la Biomasse en une forme réutilisable. Ces technologies changent l'énergie en formes utilisables directement (chaleur ou électricité) ou en d'autres formes telles que le biocarburant ou le biogaz. [1



Figure II. 4: Biomasse et biocarburant [21]

II.2.2.3 L'énergie géothermique :

L'énergie géothermique désigne l'énergie créée et emmagasinée dans la terre sous forme thermique. Elle est parfois libérée à la surface par des volcans ou des geysers, mais elle peut aussi être accessible à tout moment, comme dans les sources d'eau chaude. La géothermie peut servir à produire de l'électricité ou à chauffer et refroidir. L'énergie est extraite de réservoirs souterrains enfouis très profondément et accessibles grâce au forage, ou de réservoirs plus proches. [22]

Cette énergie Utilisant la chaleur du sous-sol, la géothermie peut permettre de chauffer des locaux (avec une température moyenne ou faible), ou de produire de l'électricité par vapeur interposée (avec une température élevée).



Figure II. 5: Centrale géothermique, Island. [23]

II.2.2.4 L'énergie éolienne :

L'éolienne est un dispositif destiné à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Elles sont généralement utilisées pour produire de l'électricité et rentre dans la catégorie des énergies renouvelables.

L'énergie du vent peut contribuer à diversifier la production d'énergie électrique, en outre, l'énergie éolienne est, une énergie propre, renouvelable qui peut pallier aux problèmes environnementaux. Plusieurs technologies sont utilisées pour capter l'énergie du vent (capteur à axe vertical ou à axe horizontal) et les structures des capteurs sont de plus en plus performantes. [20]

Les éoliennes sont installées sur terre et en mer dans des endroits où le vent atteint une vitesse élevée et constante.



Figure II. 6: électrification par l'énergie éolienne [12]

II.2.2.5 L'énergie solaire :

Ce terme désigne l'énergie fournie par les rayons du soleil. Le soleil est la source d'énergie la plus puissante et cette énergie est gratuite et inépuisable. L'énergie solaire est la fraction de l'énergie électromagnétique provenant du soleil et parvenant à la surface de la Terre, après filtrage par l'atmosphère terrestre.

Le Soleil envoie sur Terre une puissance de 90.000 térawatts (TW), 14 TW consommés, au niveau mondial. Dans ce chapitre nous spécialisons dictée le solaire voltaïque sous forme profond. [12]

II.3 Les applications de l'énergie solaire :

Il existe différentes techniques pour capter une partie de cette énergie (Fig. II.7) :

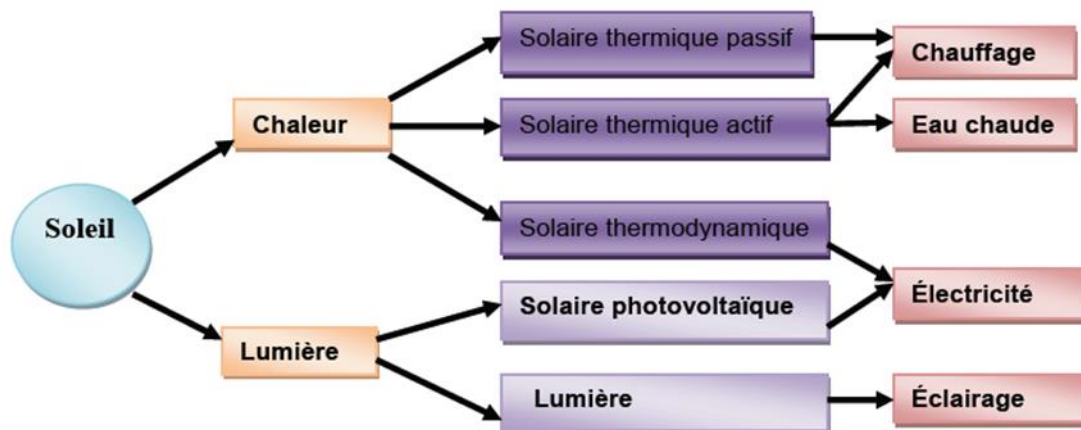


Figure II. 7: Les applications de l'énergie solaire [18]

II.3.1 Solaire thermique :

L'énergie solaire thermique est la transformation instantanée de l'énergie des rayons solaires en énergie thermique. Cette transformation peut être utilisée :

- Usage direct de la chaleur : chauffe-eau solaire, chauffage solaire, cuisinière et séchoir solaire. L'utilisation de la chaleur transmise par rayonnement qui est différente de système photovoltaïque où l'électricité est produite par l'énergie des photons. A l'aide des progrès technologiques, les techniques de captation directe d'une partie de l'énergie solaire sont nettement améliorées afin de rendre les systèmes solaires plus fiables, efficaces et rentables.
- Usage indirect où la chaleur sert pour un autre usage : centrales solaires thermodynamiques, froid solaire. Les trois types principaux de centrales utilisés sont :
 - Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques pour atteindre des températures entre 300 et 350°C.
 - Les centrales à capteurs paraboliques pour atteindre des températures de 1000°C ou plus.
 - Les centrales à tour pour atteindre 1000 °C [6]. [24]



Figure II. 8: solaire thermique et photovoltaïque [22]

II.3.2 Le solaire photovoltaïque :

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique à l'aide des cellules photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque.

Le mot " photovoltaïque " vient du grec " photo " qui signifie littérairement la« lumière électricité » et de " voltaïque " qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro Volta (1754 -1827) [26].

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est l'une des filières les plus prometteuses pour l'économie, l'emploi et l'environnement. La tendance mondiale à la baisse des coûts du PV rendra ce dernier compétitif dans un avenir proche. À terme de la future énergétique la filière PV peut jouer un rôle déterminant dans le développement économique du pays, en tant que secteur d'activité, mais également dans la réduction des centrales thermiques à gaz [25].

II.4 La conversion photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque est un processus de transformation de l'énergie émise par le soleil, sous forme de photons, en énergie électrique et la création d'une force électromotrice liée à l'absorption d'énergie lumineuse dans un solide. C'est le seul moyen connu actuellement pour convertir directement la lumière en électricité. La tension générée peut varier entre 0.3 et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule. [26]

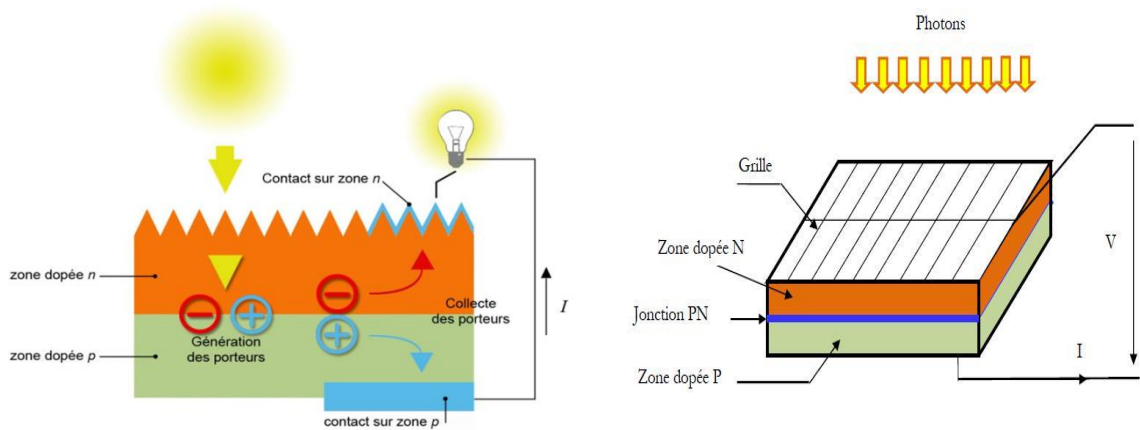


Figure II. 9: Structure d'une cellule photovoltaïque [27].

La cellule photovoltaïque constitue l'élément de base des panneaux solaires photovoltaïques. Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur est fabriquée à partir de deux couches de silicium.

La jonction p-n de ces deux matériaux fonctionne comme une diode. Lorsque cette diode est exposée à des photons elle crée un champ électrique interne permanent. C'est le but de la structure photovoltaïque :

- Une couche dopée avec du bore qui possède moins d'électrons que le silicium, cette zone est donc dopée positivement (zone P),
- Une couche dopée avec du phosphore qui possède plus d'électrons que le silicium, cette zone est donc dopée négativement (zone N).

Lorsqu'un photon de la lumière arrive, son énergie crée une rupture entre un atome de silicium et un électron, modifiant les charges électriques. Les atomes, chargés positivement, vont alors dans la zone P et les électrons, chargés négativement, dans la zone N. Une différence de potentiel électrique, c'est-à-dire une tension électrique, est ainsi créée. [28]

II.4.1 Modèle d'une cellule solaire :

La taille d'une cellule est environ de quelques centimètres carrés jusqu' à 100 cm² en plus sa forme est circulaire. Pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, le modèle est complété par deux résistances : R_s représente les diverses résistances de contact et de connexion, tandis que R_{sh} caractérise les courants de fuite dus à diode et aux effets de bord de la jonction, comme le montre la figure I.8. [29] [31]

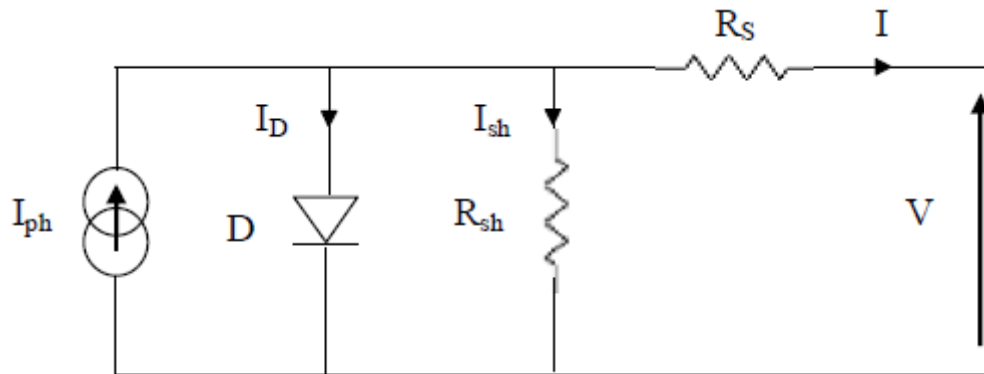


Figure II. 10: Schéma équivalent d'une cellule solaire [30]

On peut mettre le circuit électrique équivalent d'une cellule solaire en schéma simplifié opérationnel :

Input :

E : ensoleillement dans le plan de la cellule (W/m²).

T : température de la cellule (°C).

Output :

I : intensité de courant fournie par la cellule (A).

V : tension aux bornes de la cellule.

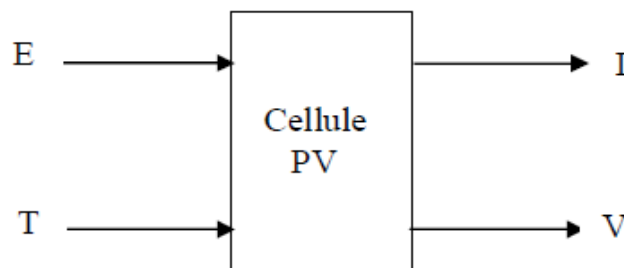


Figure II. 11: schéma simplifié opérationnel

La cellule solaire PV est caractérisée par la courbe $I(V)$ non linéaire qui dépend particulièrement des conditions d'ensoleillement et de température (figure II.9). [32]

La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul, cette tension est nommée tension de circuit ouvert VOC .

Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit ISC et dépend fortement du niveau d'éclairement

Le point de fonctionnement optimal PPM (la puissance maximale de la cellule).

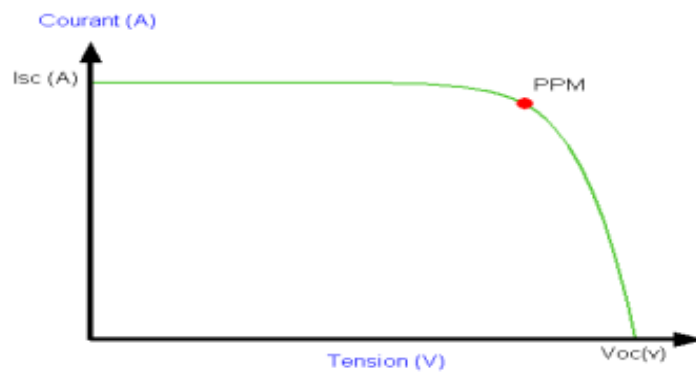


Figure II. 12: Caractéristique courant- tension d'une cellule photovoltaïque [32]

II.4.2 Caractéristiques électriques des modules :

Les caractéristiques électriques d'une seule cellule sont généralement insuffisantes pour alimenter les équipements électriques. Il faut associer les cellules en série pour obtenir un couple (tension-intensité) plus importante, dans les conditions optimales (orientation, inclinaison, ensoleillement, etc.) la puissance crête d'une installation photovoltaïque est la puissance maximale délivrée par un module. Elle s'exprime en Watt crête (Wc) : [32]


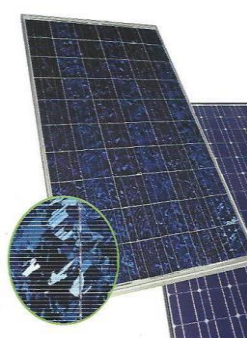
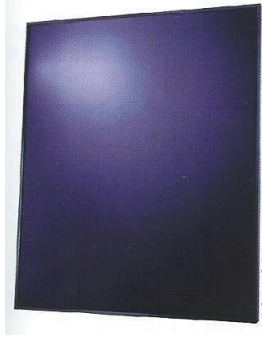
- $1000W/m^2$
- Température de cellule de $25\text{ }^\circ\text{C}$

II.4.3 Les différentes technologies des cellules solaires : [33]

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui sont propres :

- **Les cellules monocristallines** : Elles ont un très bon rendement (de 14% voir jusqu'à 20 %). Cependant, elles coûtent trop chères car leur fabrication est complexe. Leur durée de vie est importante (30 ans). La Puissance est de 100 à 150 Wc/m².
- **Les cellules poly cristallines** : Leur conception est plus facile et leur coût de fabrication est moins important. Cependant leur rendement presque bon de 11% à 15%. La durée de vie est importante (30 ans). Le coût de fabrication est meilleur marché que les panneaux monocristallins avec Puissance de 100 Wc/m².
- **Les cellules amorphes** : Elles ont un faible rendement (5% à 9%), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que les calculatrices solaires et les montres. Le coût de fabrication : peu onéreux par rapport aux autres technologies pour une Puissance de 50Wc/m². L'avantage de ce dernier type est le fonctionnement avec un faible éclaircissement (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment).

Tableau II. 1: Les différentes technologies des cellules solaires

| Technologie | Monocristallin | Polychristallin | Amorphe |
|-------------------|---|--|---|
| Cellule et module |  |  |  |
| Part de marché | 43 % | 47 % | 10 % |

II.4.4 Association en parallèle, série et mixte [15]

-Une association de (Ns) cellule en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque.

$$V_{coNs} = Ns \times V_{co} \quad (\text{II.1})$$

$$I_{ccNs} = I_{cc} \quad (\text{II.2})$$

V_{co} : La somme des tensions en circuit ouvert de Ns cellules en série.

I_{cc} : Courant de court-circuit de Ns cellules en série.

- En vue d'augmenter le courant du générateur, on associe "Np" modules en parallèle

$$(Voir\ figure\ II.13)\ I_{cc} = N_p \times I_{cc} \quad (II.3)$$

$$V_{co} = V_{co} \quad (II.4)$$

I_{cc} : La somme des courants de court circuit de (Np) cellule en parallèle.

V_{co} : Tension de circuit ouvert de (Np) cellule en parallèle.

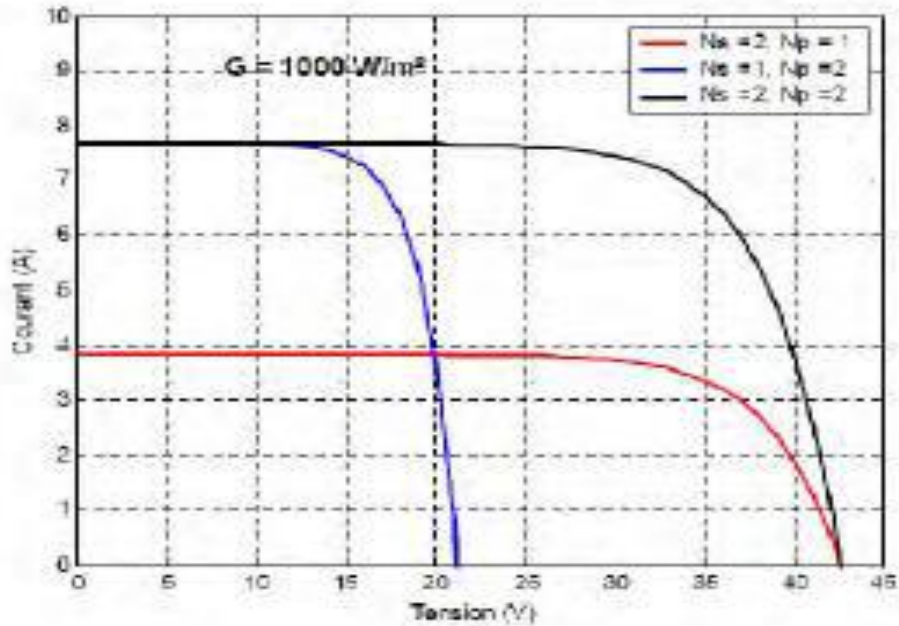


Figure II. 13: Caractéristique d'assemblage (tension-courants) des modules. [32]

-Une association des modules en série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque permet d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable. Le point de fonctionnement du générateur photovoltaïque est caractérisé par : [32]

$$I_{Gcc} = N_p \times I_g \quad (II.5)$$

$$V_{Gco} = N_s \times V_g \quad (II.6)$$

I_{Gcc} , V_{Gco} est le courant et la tension du générateur photovoltaïque et P_N , S_N sont les nombres des modules en parallèle et en série.

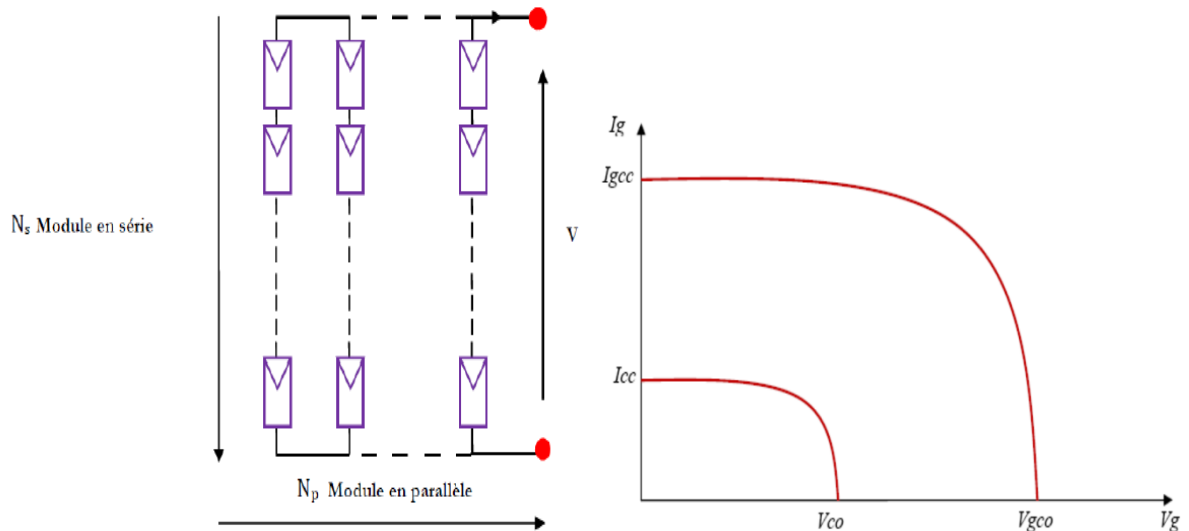


Figure II. 14: Caractéristique résultante du regroupement mixte [31]

II.5 Système pompage photovoltaïque :

Pompage photovoltaïque consiste à capter l'énergie solaire via des panneaux photovoltaïques pour produire de l'électricité qui alimente une pompe électrique permettant d'assurer un volume d'eau. La performance du pompage photovoltaïque dépend des caractéristiques du site (ensoleillement, température, obstacles géographiques), et du rendement des autres équipements (modules photovoltaïque, onduleur, moteur, pompe, etc..). [34]

Le système de pompage photovoltaïque est généralement composé de :

- Le générateur photovoltaïque ;
- L'électronique de commande et de contrôle ;
- Le groupe électropompe ;
- Le stockage ;

II.5.1 Le générateur photovoltaïque :

La structure topologique du générateur photovoltaïque est constituée des modules photovoltaïques qui sont associés en série ou en parallèle. Son rôle dans le système est de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Pour fournir une tension continue ou alternative à l'aide de dispositif de commande et de contrôle, on utilise un onduleur ou hacheur. Ce dernier permet de réaliser un transfert optimal de puissance entre le générateur et le groupe moto-pompe sous les conditions variables de la puissance produite et de la demande en puissance. Ce transfert est contrôlé par variation de fréquence. [32]

II.5.2 L'électronique de commande et de contrôle :

II.5.2.1 Le convertisseur DC/DC (hacheur) :

Aux bornes du générateur PV un convertisseur continue/continue permet de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension. Le moteur alimente la pompe par à courant continu. La technique utilisée d'adapter l'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle commandé par son rapport cyclique est appelée MPPT. Elle transfère le maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de la puissance maximale disponible [34].

Ce système a deux inconvénients pour un PV de faible puissance : [28].

- Prix élevé.
- Le gain énergétique annuel par rapport à un système moins complexe (cas d'une régulation de la tension) n'est pas important.

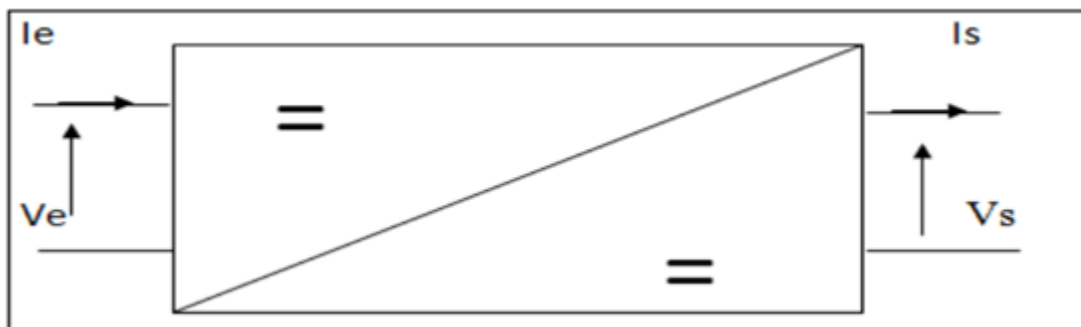


Figure II. 15: Convertisseur DC-DC. [31]

II.5.2.2 Le convertisseur DC/AC (onduleur) :

Le convertisseur DC/AC assure le transfert optimal de puissance électrique sous forme continue en une puissance sous forme alternative du générateur solaire vers le groupe électropompe, et protège la pompe contre le fonctionnement à vide lorsqu'il n'y a pas d'eau dans le puits. Le rendement de l'onduleur est généralement élevé pour valoriser au mieux l'énergie produite par le générateur. Il est de l'ordre de 95 % au point de fonctionnement nominal. Le choix de l'onduleur dépend des caractéristiques électriques de la pompe alimentée (puissance et tension) On cite : [34]

II.5.2.2.1 Onduleur monophasé :

Ce type d'onduleur délivrant de sortie une tension alternative monophasée, est généralement destiné aux alimentations de secours. Deux classes d'onduleurs monophasés :

A) Onduleur monophasé en demi-pont :

Comporte deux interrupteurs de puissance à commande complémentaire. La durée de conduction de chaque interrupteur équivaut à un demi-cycle (180°), correspondant à la fréquence du signal de sortie. En cas de déphasage, les diodes D1, D2, font la récupération et assurent la conduction d'un courant négatif par rapport à la tension aux bornes de la charge. [31].

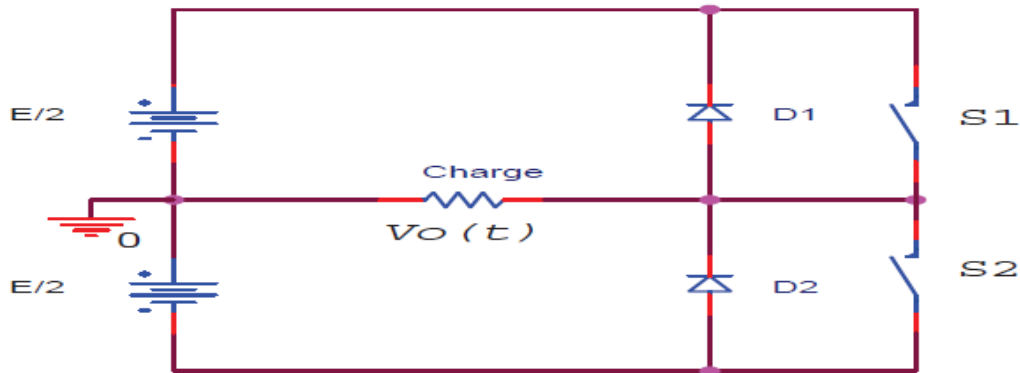


Figure II. 16: schéma d'un onduleur monophasé en demi-pont

B) Onduleur monophasé en pont :

Il comporte quatre interrupteurs de puissance désignée par S1, S2, S3 et S4. Quand les interrupteurs S1 et S2, sont fermés simultanément la tension imposée aux bornes de la charge prend la valeur $+E$. Elle prend la valeur $-E$ lors de la fermeture simultanée des deux autres interrupteurs S3 et S4, figure (II.17). [31].

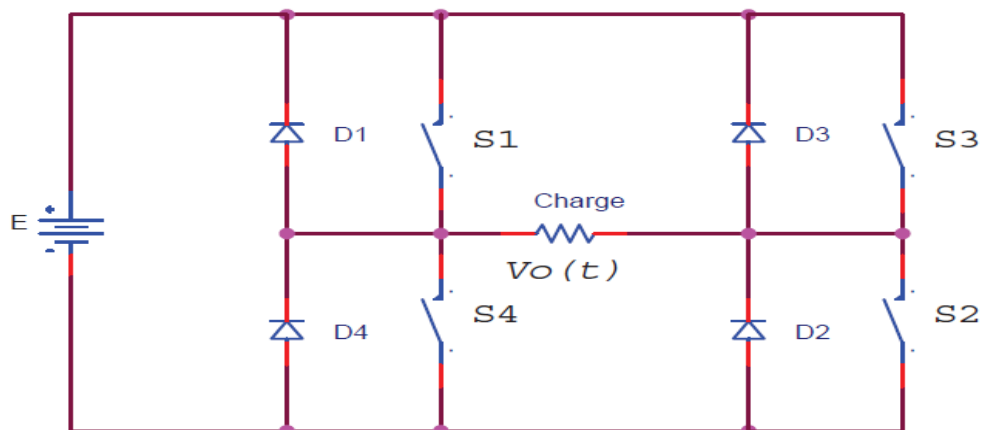


Figure II. 17: schéma d'un onduleur monophasé en pont

II.5.2.2.2 Onduleur triphasé :

La structure de convertisseurs fait par l'association, en parallèle, de trois onduleurs monophasés en demi pont (ou en pont), qui donnent trois tensions de sortie déphasées de 120° degrés. Ce type-là est généralement recommandé pour des applications de grande puissance. [28].

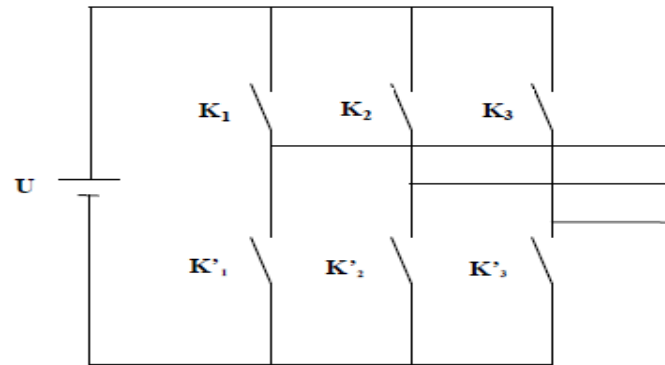


Figure II. 18: Schéma de L'onduleur triphasé. [26]

II.5.2.3 La commande de poursuite MPPT : [26], [31].

La commande MPPT (Maximum Power Point Tracker) est un contrôleur de point de puissance maximum pour garantir un fonctionnement optimal du système photovoltaïque. Il est utilisé pour suivre les variations de la caractéristique courant tension des cellules, pour amener une valeur optimale de manière à maximiser la puissance délivrée par le panneau photovoltaïque quelles que soient les variations de température et de l'ensoleillement.

Pour cette raison le contrôleur MPPT est développé pour obtenir une meilleure connexion entre (GPV) et la couple (tension-courant) qui exige un travail forcé confirme le Maximum Power Point (MPP) avec une amélioration du rendement du système.



Figure II. 19: Diagramme du pompage PV par motopompe [42].

II.5.3 Le groupe motopompe :

Dans le système de pompage photovoltaïque, la connexion entre le générateur photovoltaïque et la pompe entraînée par un moteur à courant alternatif est faite par un onduleur.

Un groupe électropompe immergé constitué d'un moteur électrique à induction et d'une pompe centrifuge ou volumétrique, permettant d'aspirer et de refouler un fluide

II.5.3.1 Le moteur :

Un moteur électrique est un dispositif électromécanique permettant la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique. Il nécessite une énergie mécanique en entrée pour fonctionner. Généralement, trois types de moteurs sont utilisés dans les systèmes de pompage PV [28] :

- Les moteurs à courant continu avec balais

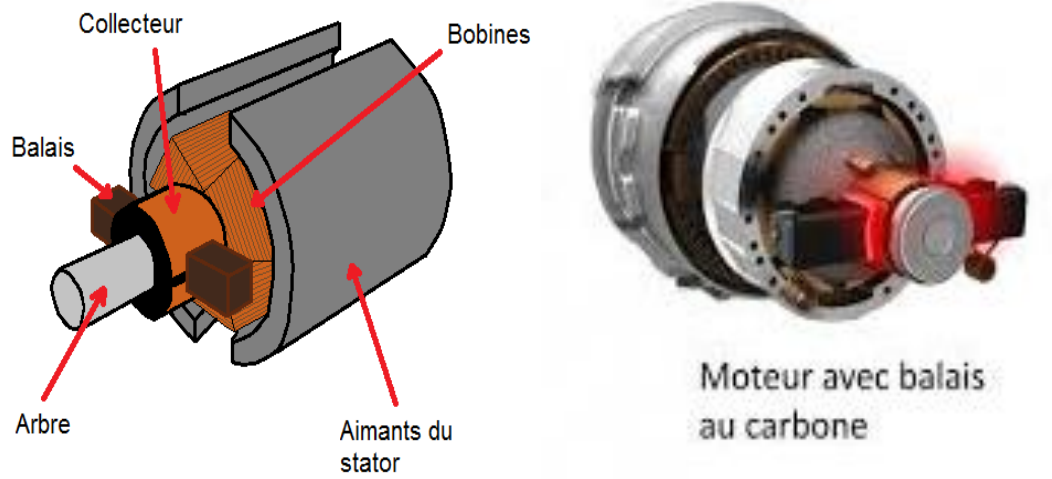


Figure II. 20: Moteur à courant continu avec balais au carbone [35]

- Les moteurs à courant continu, sans balais, à commutation électronique (Brushless).



Figure II. 21: Moteur à courant continu sans balais [35]

- Les moteurs à courant alternatif (asynchrones).

Le choix du type du moteur dépend de plusieurs critères tels que fiabilité, support technique, prix, rendement ...etc.



Figure II. 22: Moteurs à courant alternatif asynchrones [35]

II.5.3.2 La pompe :

Une pompe est une machine permettant d'aspirer et de refouler un fluide (eau, pétrole, huile...). À une certaine pression. L'augmentation de la pression du liquide véhiculé par la pompe à partir de la transformation de l'énergie mécanique fournie par un moteur entraînant à l'énergie hydraulique qui donne un débit et une HMT à la demande.

Selon les applications et les différentes sources d'eau (puits, forage, pompage de rivière, etc.), il existe plusieurs types de pompes pouvant être utilisées dans les systèmes de pompage

photovoltaïque. Parmi ces pompes on trouve : les turbopompes (centrifuges) et les pompes volumétriques [28] :

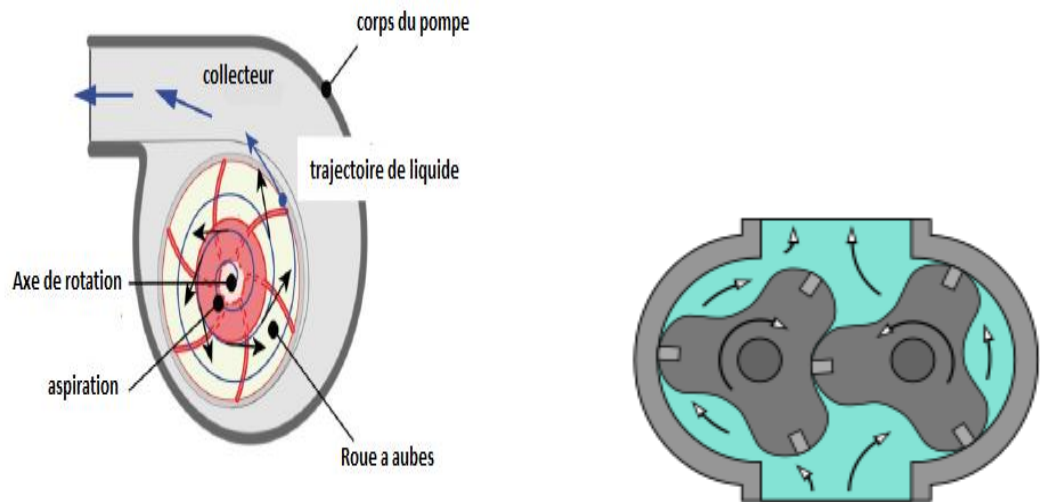


Figure II. 23: vue en face d'une pompe centrifuge et pompe volumétrique [37]

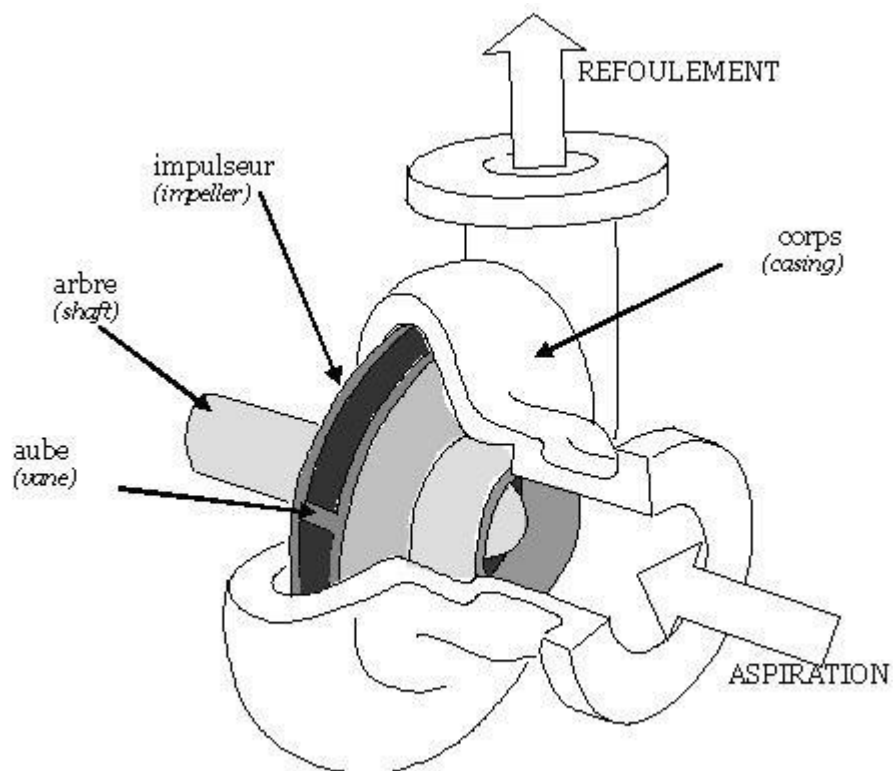


Figure II. 24: coupe latérale d'une pompe centrifuge [36]

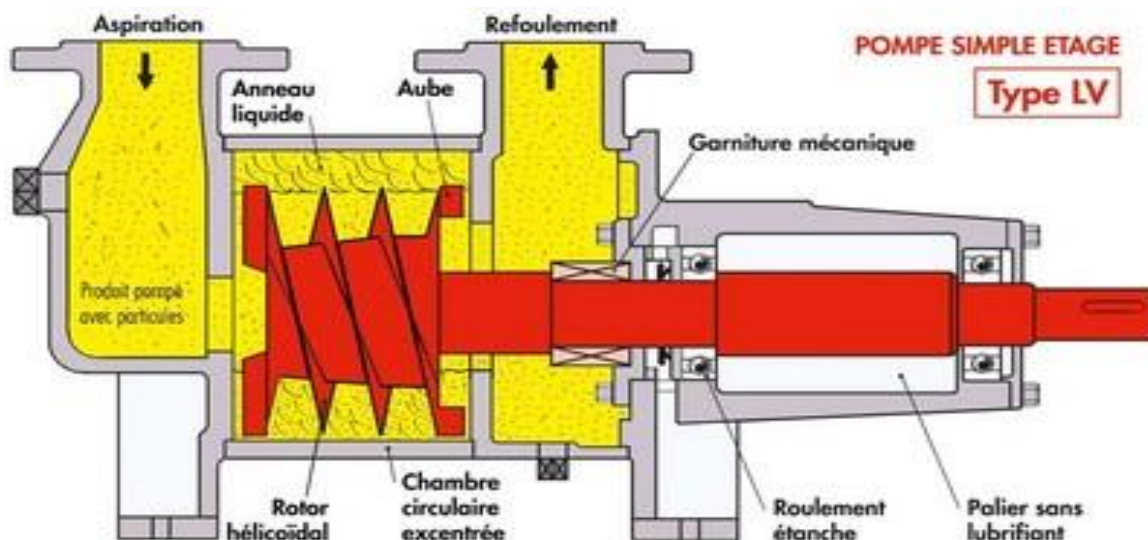


Figure II. 25: coupe latérale d'une pompe volumétrique. [37]

Tableau II. 2: caractéristique des pompes centrifuges et les pompes volumétriques [39]

| Les pompes volumétriques | Les pompes centrifuges |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Construction simple peut compliquer, plus de pièce combinée au mouvement • Ces pompes sont habituellement utilisées pour les puits et les forages à grandes profondeurs et à petits débits d'eau inférieure à 5[m³/h]. • Faible débit et une grande hauteur manométrique totale | <ul style="list-style-type: none"> • Construction simple en général, une seule pièce en mouvement « le rotor ». • Grand débit. • Les pompes centrifuges sont très utilisées pour les applications photovoltaïques. • La pompe actionnée à faible ensoleillement. • Pratiquement le couple d'entraînement de la pompe est presque nul au démarrage. |

A) Caractéristiques graphiques d'une pompe centrifuge :

Le débit et la pression sont proportionnels à la vitesse lorsqu'elle atteint une certaine valeur et la puissance absorbée est proportionnelle au cube de la vitesse. Le Couple est fonction du carré de la vitesse comme le montre la figure II.26 :

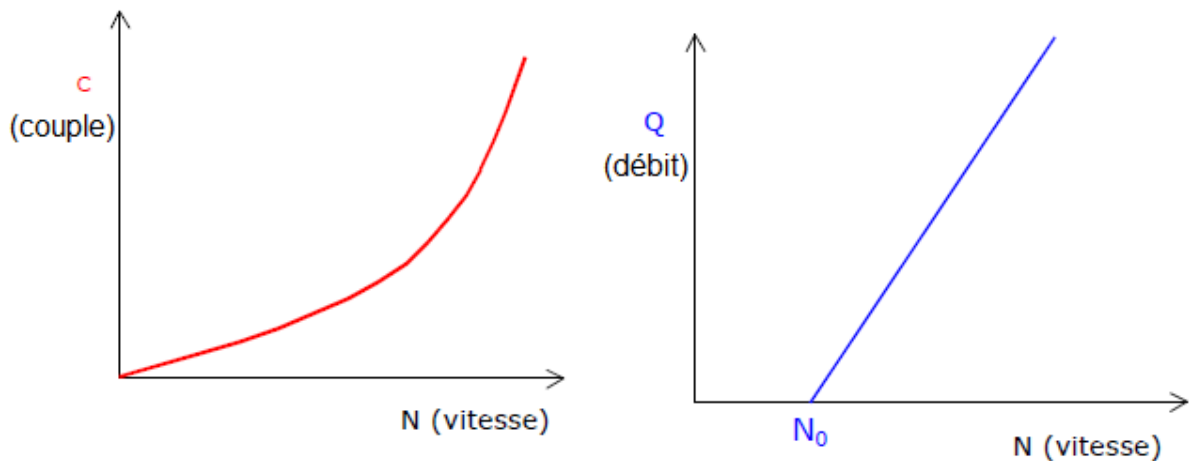


Figure II. 26: Courbes des caractéristiques d'une pompe centrifuge [40]

B) Caractéristiques graphiques d'une pompe volumétrique :

- Le débit et la puissance absorbée sont proportionnels à la vitesse.
- Le couple de démarrage est pratiquement indépendant du débit et sera proportionnel à la HMT (figure II.27)

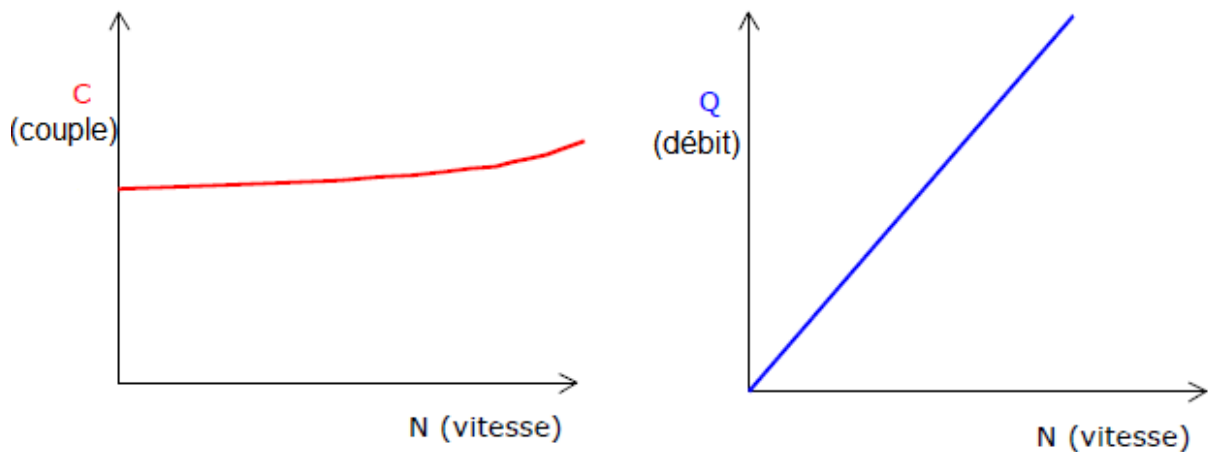


Figure II. 27: Courbe caractéristiques d'une pompe volumétrique [40]

II.5.4 Stockage :

II.5.4.1 Équipements électriques :

Pour le stockage d'énergie électrique on utilise :

- Les batteries, qui seront alimenté pendant les périodes d'ensoleillement.

- Un câblage électrique, par lequel transitent l'énergie du générateur au moteur.
- Les équipements relatifs aux contrôles de sécurité.

II.5.4.2 Équipements hydrauliques :

Stockage d'eau se fait par :

- Un conduit de l'eau de sa source (souvent un puits ou un forage), jusqu'à un réservoir de stockage.
- Un système de potabilisation répondant aux normes en vigueur, pour s'assurer de la qualité sanitaire de l'eau.
- Un réseau de distribution.

II.6 Méthodes de pompages photovoltaïques :

Le pompage photovoltaïque (PV) permet l'irrigation des exploitations agricoles en sites isolés ainsi que celles raccordées au réseau. Pour utiliser l'énergie solaire, le dispositif d'irrigation est complété par des panneaux photovoltaïques.

Un système de pompage solaire de l'eau est généralement composé des panneaux photovoltaïques, d'un convertisseur et d'une pompe adéquate. Les pompes utilisées peuvent être de surfaces ou immergées, centrifuges ou volumétriques selon les conditions d'utilisation.

Il existe deux grandes options de pompage PV : **[41]**

- Avec batteries, pour stocker l'énergie électrique produite, ce qui permet d'avoir une disponibilité de l'eau en dehors des heures d'ensoleillement. Cette option génère un coût additionnel, des problèmes de maintenance des batteries et l'obligation de les remplacer après 3 à 5 ans d'usage. De plus le rendement énergétique est dégradé avec des accumulateurs. Le débit de pompage peut se faire à la demande, lorsque les utilisateurs en ont besoin.
- Sans batteries « pompage au fil du soleil » Cette solution nécessite un stockage de l'eau dans un réservoir (l'eau pompée pendant la journée est stockée afin d'être utilisée ultérieurement par gravité). Cette technique permet d'utiliser directement une puissance continuellement variable, celle issue des modules photovoltaïques. Le débit de pompage va donc évoluer avec l'intensité de l'ensoleillement.

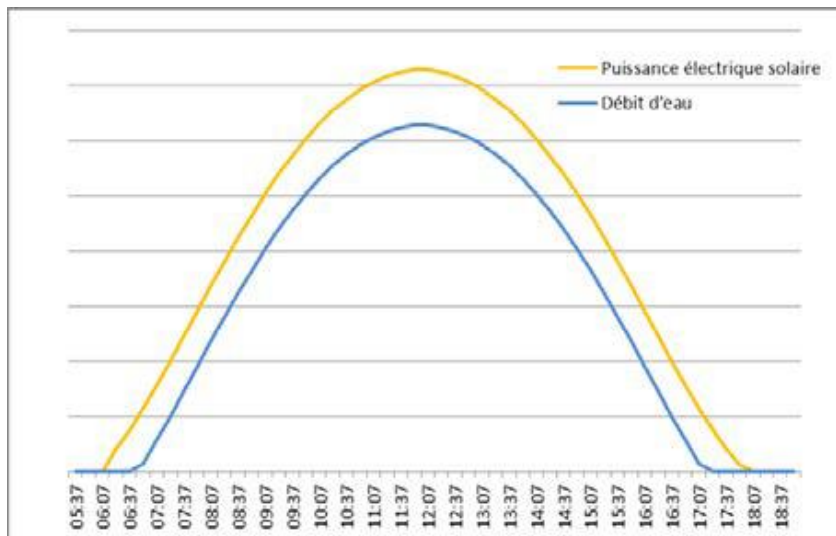


Figure II. 28: Courbe caractéristiques débit-ensoleillement [41]

Tableau II. 3: Les avantages et inconvénients des pompes au fil du soleil et avec batteries

| Méthodes de pompage | Avantages | Inconvénients |
|---------------------------------|--|--|
| Pompage au fil du soleil | <ul style="list-style-type: none"> • Economie du coût des batteries et leur entretien. • Système PV plus simple, plus fiable et moins coûteux. • Meilleur rendement énergétique | <ul style="list-style-type: none"> • Perte d'énergie pendant la journée. • Le débit de la pompe varie suivant l'ensoleillement. • Rabattement du forage peut-être trop élevé durant certaines périodes de la journée. |
| Pompage avec batterie | <ul style="list-style-type: none"> • Débit de la pompe régulier et à une pression fixe. • Possibilité de pomper l'eau lorsque le soleil est absent. | <ul style="list-style-type: none"> • Coût élevé d'entretien et maintenance des batteries. • Changement des batteries tous 3 à 5 ans. • Les batteries introduisent un certain degré de perte de rendement d'environ 20% à 30% de la production d'énergie. • Coût du système élevé |

II.6.1 Applications :

- Agriculture : relevage et irrigation en goutte à goutte gravitaire ou pompe de surface.
- Adduction d'eau : hydraulique villageoise, eau potable domestique

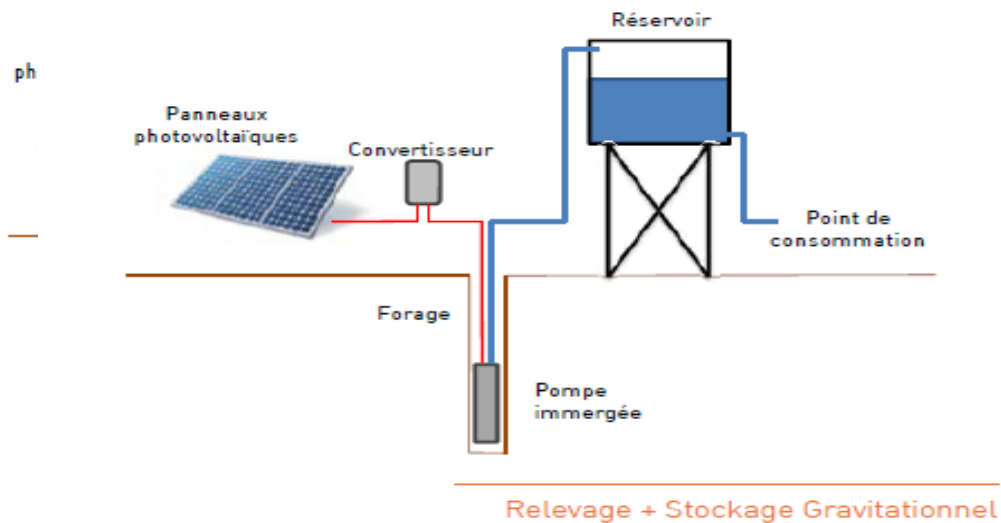


Figure II. 29: Application pompage solaire [41]

II.6.2 Coûts du système de pompage photovoltaïque

Les coûts des systèmes varient en fonction :

- Des besoins journaliers en volume d'eau d'irrigation
- De la hauteur manométrique totale qui est la hauteur géométrique totale définie comme étant la différence d'altitude entre l'entrée du liquide et sa sortie à l'atmosphère.
- De la typologie du système de distribution de l'eau qui permet d'évaluer les pertes de charge linéaire et singulières.

Ces trois paramètres permettent de définir les caractéristiques de la pompe et du système de stockage pour identifier par la suite la taille de l'installation photovoltaïque.

II.7 Conclusion

Les énergies renouvelables constituent une réponse économique et viable à la problématique d'électrification de sites isolés, n'ayant pas accès aux réseaux électriques. Les alternatives aux énergies fossiles sont les énergies renouvelables (soleil, vent ou cours d'eau). Celles-ci sont utilisées pour la production autonome d'électricité, de manière durable et économique.

Dans ce chapitre nous avons présenté :

- Les énergies renouvelables qui constituent une opportunité intéressante pour diminuer nos émissions de gaz à effet de serre et la dépendance aux énergies fossiles. Aussi, inépuisables, elles sont accessibles aujourd'hui et demain. Ce sont des énergies utilisables dans différents domaines allant de la production électrique, au chauffage et à l'irrigation.
- L'irrigation par le pompage solaire. Celui-ci permet l'accès à l'eau même dans les zones les plus reculées, à des coûts très compétitifs par rapport aux solutions de pompage basées sur les énergies fossiles.
- Systèmes d'irrigation photovoltaïque dans le secteur agricole. C'est une technologie qui présente beaucoup d'avantages et d'opportunités.

CHAPITRE III : Présentation de la zone d'étude

Dans ce chapitre, l'objectif est d'identifier la zone d'étude et de présenter de manière synthétique la principale caractéristique physique et socio-économique de la région. Il est alors intéressant d'appliquer les techniques étudiées sur un site réel et une culture bien déterminée. Pour cette étude pratique, nous nous baserons principalement sur :

- La délimitation cartographique du périmètre et de la situation actuelle des parcelles selon leurs limites naturelles reconnues.
- La caractérisation des potentialités et des contraintes de la zone du projet, en ce qui concerne notamment le climat, la disponibilité ou non en eau pour l'irrigation et la nature des sols.
- La détermination des actions d'aménagement et de mise en valeur, en corrélation avec les ressources naturelles

III. Caractéristiques de site du projet :

III.1 Identification du périmètre :

La zone d'étude de SIDI MOKHFI a été choisie en concertation avec mes encadreurs, la direction des services agricoles de la wilaya de Tlemcen « DSA » et les autorités locales (APC SEBDOU). Le périmètre de SIDI MOKHFI s'étend sur une superficie de **250ha**. Il a fait l'objet d'une délimitation précise sur le terrain avec le concours des services technico-administratifs locaux. Donc conformément aux préoccupations de la DSA de la wilaya de Tlemcen une carte de délimitation et de localisation du périmètre a été établie, voir la Figure III.1 (carte d'état-major à l'échelle **1/25000**).

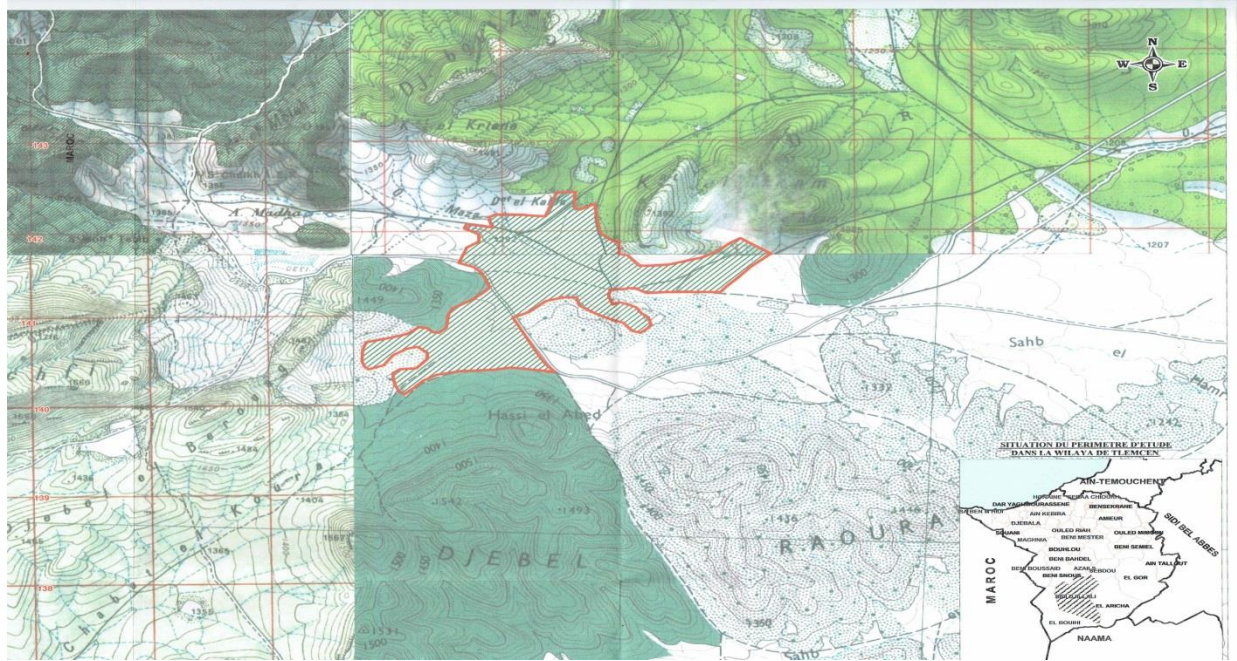


Figure III. 1: carte de délimitation et de localisation du périmètre au 1/25000.

III.2 Localisation du périmètre :

Le périmètre Sidi Mokhfi est situé à **10 Km** à la sortie nord du chef-lieu de la commune de Sidi Djillali. Le centre de vie le plus proche se trouve dans la zone d'étude est sous forme d'habitations éparses, dont une partie se trouve à l'intérieur du périmètre.

Tableau III. 1: localisation du périmètre

| | Commune | Cartes topo (1/25000) | Wilaya | Superficie (ha) | Coordonnées | | | |
|-------------|---------------|-------------------------------------|---------|--------------------|-------------|---------|---------|---------|
| | | | | | X1 | X2 | Y1 | Y2 |
| Sidi Mokhfi | Sidi Djillali | N°356- N°357- N°329- N°328 | Tlemcen | 250 | 114,791 | 118,274 | 140,120 | 142,357 |

(Source : DSA)

Sur le plan géographique, son territoire s'étend au Nord sur les piémonts sud des monts de Tlemcen et au Sud sur les hautes plaines en particulier le plateau des **OULED NHAR** qui englobe aussi les communes limitrophes de **SEBDOU**, **EL GOR**, **EL ARICHA** et **BENI SNOUS**.



Figure III. 2: Localisation du périmètre SIDI MOKHFI.

III.3 Milieu physique :

III.3.1 Relief :

La zone d'étude s'apparente à une dépression dominée au Nord et au Sud par un relief constitué respectivement par les retombées Sud de Koudiet El M'Kam qui culmine à **1392m** et par piedmonts nord du Djbel Raourai dont le point culminant s'élève à **1557m**. Cette dépression, située en plein monts de Tlemcen constitue la partie Ouest de la plaine intérieure dite Sehb El Hamri qui découle sur les grandes étendues des hautes plaines steppiques. Elle est située sur un terrain sensiblement plat et sans accidents majeurs, ce qui ne pose aucune contrainte pour la mise en valeur et l'usage de l'irrigation.

Sur le site du périmètre la topographie est pratiquement plate avec une pente moyenne ne dépassant pas les 3%. Il n'existe aucun obstacle topographique. Le périmètre s'apparentant à une zone de vallée totalement large.

Tableau III. 2: Répartition de la superficie du périmètre par classes de pente

| Superficie | Classes de pente en % | | Total |
|------------|-----------------------|-----|-------|
| | 0-3 | 3-6 | |
| ha | 205 | 45 | 250 |
| % | 82 | 18 | 100 |

(Source : DSA)

III.3.2 Altitude :

Les altitudes oscillent entre **1280m** au Nord et **1325m** au Sud. Elles sont importantes dans l'activité de mise en valeur agricole en particulier pour l'arboriculture. Le facteur altimétrique détermine l'aire d'extension en hauteur des espaces arboricole et des essences forestières. L'option de mise en valeur du périmètre tiendra compte de ce facteur qui limite d'ores et déjà la gamme des espaces et variétés susceptibles d'être cultivées à cette hauteur.

III.3.3 Climat :**III.3.3.1 Stations de références :**

Dans la zone de SIDI DJILLALI, il n'existe pas de station météorologique professionnelle qui détermine la totalité des paramètres climatiques. La caractéristique des conditions climatiques au niveau du périmètre fait appel à des observations réalisées à travers les stations groupées dans le tableau (III.3) :

Tableau III. 3: Caractéristiques des stations météo de références

| Station | Longitude W | Latitude N | Altitude | Paramètres |
|-----------|-------------|------------|----------|-------------|
| SEBDOU | 1°20 | 34°38 | 720 | P-HR-T |
| EL ARICHA | 1°16 | 34°12 | 1250 | Evaporation |
| TERNI | 1°26 | 34°37 | 1270 | Gelées |
| RAS EL MA | 0°49 | 34°30 | 1095 | Gelées-V |

(Source : DSA)

III.3.3.2 Pluviométrie :

La moyenne pluviométrique annuelle est de 406,63mm. La zone appartient à l'isohyète **400-450mm**.

Les valeurs des précipitations sont résumées dans le tableau (III.4) et présentées dans la figure (III.3)

Tableau III. 4: Évolution des précipitations mensuelle moyenne pour les quatuors année. (2000-2014) -périmètre de SIDI MOKHFI (station SEBDOU)

| p | Mois | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| | Sept | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Jul | Aout | Total |
| mm | 28,36 | 49,49 | 69,77 | 51,97 | 62,82 | 46,27 | 35,38 | 45,16 | 34,45 | 6,94 | 2,09 | 6,03 | 406,63 |
| % par saison | 36,3 | | | 39,36 | | | 28,27 | | | 3,7 | | | 100 |
| Nbr de jour | 4 | 6 | 8 | 6 | 6 | 6 | 7 | 5 | 7 | 3 | 3 | 4 | 65 |

(Source : ANRH)

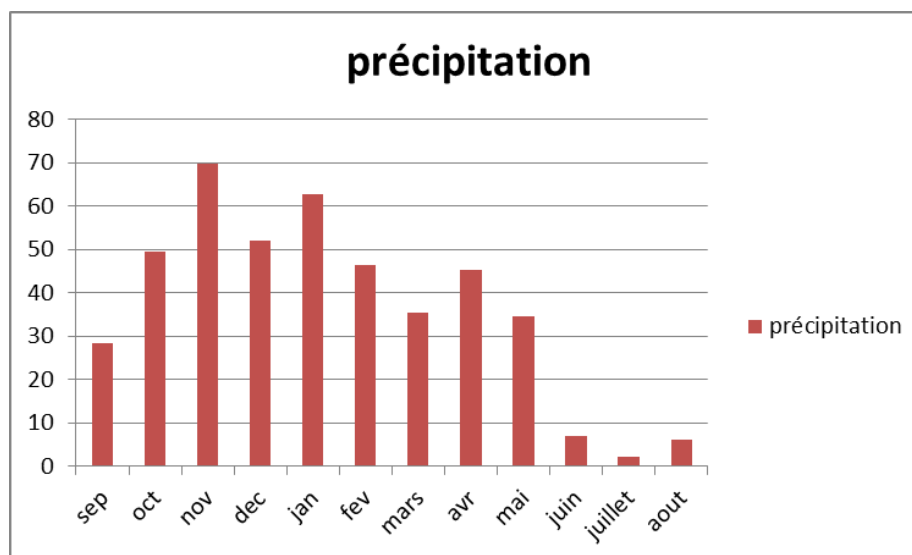


Figure III. 3: histogramme des Précipitation moyennes mensuelles

Les pluies sont peu importantes dans la zone en question bien que les chutes de pluies présentent une répartition assez conséquente pour la végétation. Elles débutent modérément en automne qui enregistre près de 36,3% des précipitations annuelles, augmentent progressivement en hiver à (39,36%), enregistrent une baisse relative au printemps (28,27%) puis régressent jusqu'à presque s'annuler pendant l'été (3,7%).

III.3.3.3 Température :

Les températures mensuelles moyennes pour les quatuors années (2000-2014) pour le périmètre de SIDI MOKHFI sont présentées dans le tableau qui suit :

Tableau III. 5 : Moyenne des températures (°C.) mensuelles (station SEBDOU)

| °C | Mois | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Jul | Aout | Moy T Ann |
| Tmoy | 23,5 | 19,5 | 13,2 | 10,5 | 9,4 | 10,1 | 13,1 | 15,5 | 19,2 | 24,5 | 28 | 28,2 | 17,9 |
| Tmin | 21,7 | 16,5 | 11 | 8,4 | 7,4 | 6,3 | 10,6 | 12,5 | 16,3 | 21,8 | 25,7 | 26 | / |
| Tmax | 25,7 | 22,2 | 16,5 | 12,7 | 10,8 | 12,6 | 14,6 | 17,9 | 21,9 | 26,9 | 30 | 30,1 | / |

(Source : ANRH.)

La moyenne des températures au cours de l'année est de 17,9 °C. La période froide se situe entre décembre et janvier où la moyenne des minimas est de 9,40°C. La période la plus chaude de l'année coïncide avec le mois d'Aout qui enregistre une moyenne des maximale de 28,2°C ; en été la température maximale enregistre est de 30,1°C.

La continentalité de de la zone, ajoutée à son altitude, fait que :

- Les températures les plus basses sont tardives : jusqu'à mars
- Les températures les plus élevées se manifestent pendant un long période jusqu'à septembre.

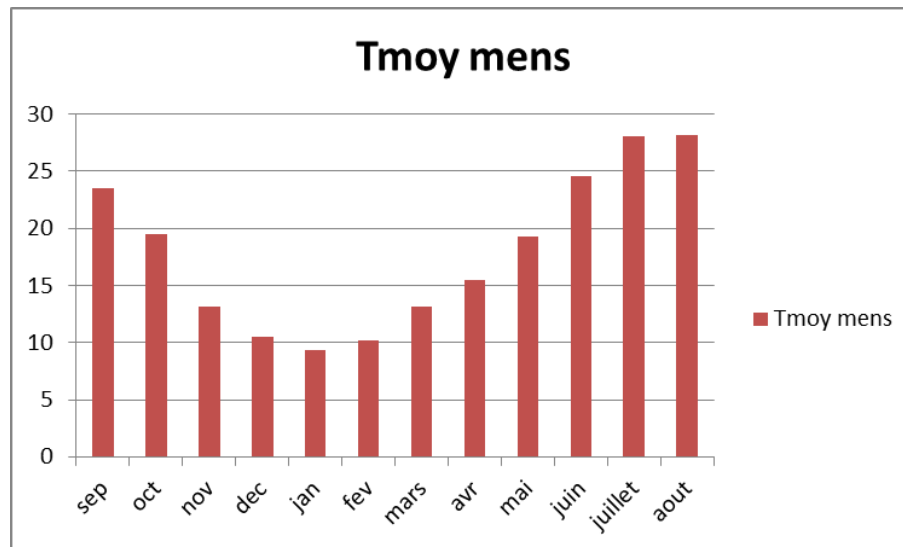


Figure III. 4: histogramme représente la température mensuelle moyenne (station SEBDOU)

III.3.3.4 Gelées :

La situation continentale du périmètre et son encaissement lui confèrent un caractère gélif prononcé. En se référant aux stations les plus proches, la fréquence du phénomène gelé dépasserait un mois par an en moyenne. Sont résumé dans le tableau (III.6).

Tableau III. 6 : fréquence des gelées

| Stations | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Jul | Aout | Total |
|----------|-----|-----|-----|------|------|-----|------|-----|-----|------|-----|------|-------|
| Terni | 0 | 0,7 | 4,1 | 9,3 | 10,1 | 5,9 | 2,4 | 1,1 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 33,7 |
| Raselma | 0,4 | 2,8 | 9,4 | 19,1 | 17,1 | 12 | 8,5 | 4,6 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 75,4 |

Source : ONM

La station de TERNI est située plus au Nord dans les monts de Tlemcen et celle de RAS EL MA à la même latitude et approximativement à la même altitude que le périmètre de SIDI MOKHFI.

Les riverains de la zone d'étude estiment, la fréquence des gelées entre 45 et 42 jours/an. Les données enregistrées ainsi que les témoignages des populations de la zone indiquent que le phénomène des gelées fait partie des occurrences météorologiques les plus fréquentes. Les gelées sont pour ce périmètre un facteur limitant le choix des cultures dans le plan mise en valeur.

Elles se manifestent en moyenne dans un intervalle de pas moins de 7 mois pendant l'année ; depuis octobre jusqu'à mai. Leur fréquence est beaucoup plus prononcée entre décembre et février mais leur risque demeure jusqu'à la fin du printemps.

Cette situation impose une grande prudence dans le choix des variétés qui devront avoir une floraison suffisamment tardive pour éviter les épisodes de gelées les plus fréquentes.

III.3.3.5 Grêle :

Les chutes de grêles sont un phénomène rare dans la zone du périmètre puisque leur occurrence n'a lieu que seulement jour/an en moyenne. Les résultats obtenus dans le tableau suivant :

Tableau III. 7: nombre moyen de jours de grêle

| Mois | J | F | M | A | M | Jun | Jul | A | S | O | N | D | Année |
|-------|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-------|
| grêle | 00 | 0,4 | 0,3 | 0,4 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 0,1 | 0,1 | 1,3 |

Source : ONM

III.3.3.6 Orages :

Il est enregistré en moyenne 17 jours d'orage par année au niveau de la zone de SIDI EL DJILALI ce phénomène apparaît le plus souvent durant la saison chaude (été) et au début de l'automne, c'est-à-dire au moment où les terrains agricoles sont nus habituellement, donc sans aucune protection.

Dans ces conditions, les orages contribuent souvent à l'érosion des sols notamment sur les terres de déclive. Pour le cas de SIDI MOKHFI, les risques d'érosion dus aux orages sont peu importants du fait de la faible déclivité du terrain et de la perspective de mise en valeur qui s'appuiera sur une couverture permanente du sol par le biais de l'arboriculture et du maraichage.

III.3.3.7 Le vent :

Les données climatiques indiquent que les vents dans la zone ont une force moyennement modérée durant toute l'année, avec une vitesse de 4,66 m/s. La force du vent est également régulière dans la mesure où l'écart entre la valeur minimale (2,5m/s en décembre) et le maximum (6,7m/s en Aout)

Les vents sont généralement de direction Ouest-Est. (Tableau III.8)

Par ailleurs le périmètre se trouve relativement à l'abri des vents du fait qu'il est entouré de reliefs. Néanmoins un réseau de brise -vent est toujours recommandé pour atténuer les risques notamment pour les vergers.

Tableau III. 8: vitesse moyenne des vents (m/s)

| Mois | J | F | M | A | M | Jun | Jul | A | S | O | N | D | Moy année |
|------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|
| V (m/s) | 2,79 | 3,9 | 5,9 | 3,8 | 3,6 | 6,5 | 6,2 | 6,7 | 4,8 | 4,3 | 5,1 | 2,5 | 4,66 |

(Source : ANRH)

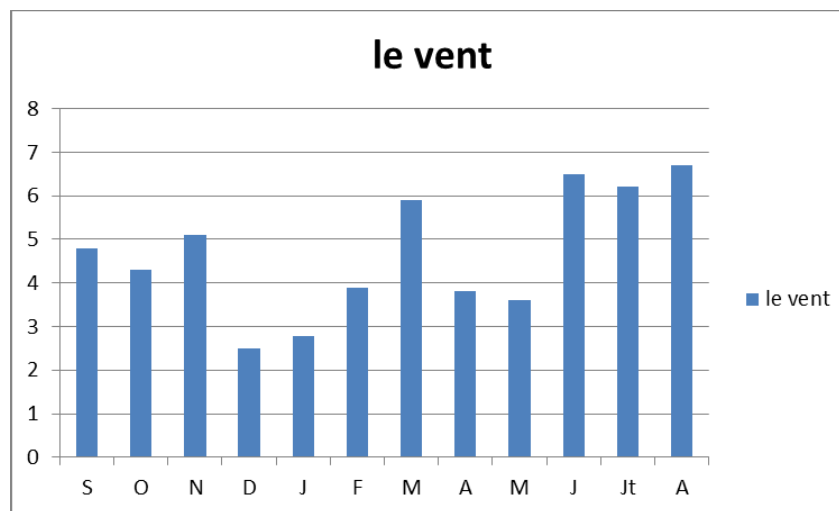


Figure III. 5: histogramme des fréquences mensuelles moyennes du vent

III.3.3.8 Humidité de l'air et tension de vapeur saturante :

L'humidité de l'air est en moyenne de 59%. Elle varie au cours de l'année, enregistrant une valeur maximale de 70,2% en de décembre et un minimum de 25,9 % en juillet. Le Tableau III.9 présente humidité et tension de vapeur .

Tableau III. 9: Humidité de l'air et tension de vapeur saturante

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | Jt | A |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| TVS | 2,38 | 1,49 | 1,37 | 1,03 | 0,96 | 1,07 | 1,24 | 1,38 | 1,99 | 2,41 | 3,38 | 3,28 |
| HR | 41,5 | 55,5 | 63,5 | 70,2 | 69,3 | 68,1 | 58,8 | 49,1 | 46,7 | 37,6 | 25,9 | 29,8 |

Source : ANRH

TVS : Tension de vapeur saturante en KPa. HR : humidité relative en %.

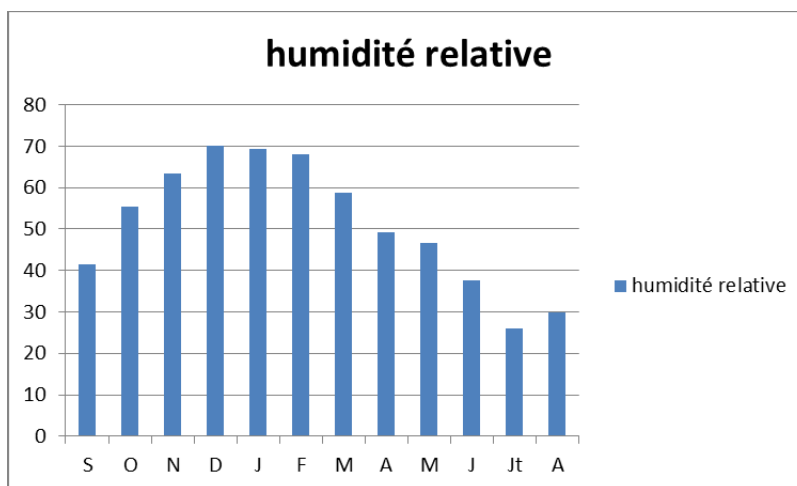


Figure III. 6: Histogramme représente l'humidité mensuelle moyenne en pourcentage

III.3.3.9 Évaporation :

Les stations de références les plus proches où l'on peut mesurer l'évaporation sont situées ; l'une à EL ARICHA à environ **70Km** au Sud-Est et l'autre au niveau du barrage de BENI BAHDEL à environ **30 Km** au Nord-Est. (Tableau III.10)

Tableau III. 10: Moyennes mensuelles de l'évaporation (en mm) (station EL ARICHA)

| Mois | J | F | M | A | M | J | Jt | A | S | O | N | D | An |
|-------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|
| Evp mm/mois | 27 | 27 | 44 | 58 | 67 | 83 | 154 | 122 | 115 | 65 | 42 | 27 | 818 |

Source : ANRH

Les fortes températures et les vents violents accroissent la tension de l'évaporation, dont le maximum mensuel est de **154 mm** au mois Juillet et le minimum est de **27 mm** au mois Janvier.

La notion d'évapotranspiration potentielle (ETP) est couramment opposée à l'évapotranspiration réelle (ET ou ETR). L'évapotranspiration réelle désigne la quantité exacte d'eau évapotranspirée par une couverture végétale réelle.

C'est une donnée impossible à mesurer à l'échelle d'une parcelle ou d'une région. À l'opposé, l'évapotranspiration potentielle est une valeur calculée par des formules mathématiques [44].

III.3.3.10 Insolation :

La durée moyenne annuelle de l'insolation est de 158.6 heures/mois, avec un minimum de 116.5heures/mois en décembre et un maximum de 202.99heures/mois en juillet.

Tableau III. 11: Moyenne mensuelles de l'insolation de la région de Tlemcen pour les dix dernières années (2002-2012)

| Mois | J | F | M | A | M | J | Jt | A | S | O | N | D |
|---------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Ins (h) | 120.8 | 113.99 | 177.9 | 184.5 | 197.5 | 192.75 | 202.99 | 189.97 | 148.38 | 150.87 | 107.2 | 116.5 |

Source : ONM

III.3.3.11 Rayonnement solaire :

Les valeurs de rayonnement global journalier calculées sur la moyenne mensuelle pour des rayons incidents sur un plan incliné d'un angle optimal saisonnier sur le site de Tlemcen sont représentées sur le tableau III.12.

Tableau III. 12: les valeurs de rayonnement global journalier

| Période | Hiver | | | Printemps | | | Été | | | Automne | | |
|--------------|-------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------|------|------|
| Mois | D | J | F | M | A | M | J | Jt | A | S | O | N |
| Irr[Wh/m2/j] | 3760 | 3899 | 4071 | 5738 | 6150 | 6373 | 6425 | 6548 | 6128 | 4946 | 4867 | 3574 |

Source : ONM

III.4 Ressources en eau :**III.4.1 Eau superficielles :**

Le périmètre appartient à un grand bassin versant dont le principal exutoire, OUED AGLAT, passe à MAGOURA et s'écoule en direction de la frontière Algérois-marocaine. Le réseau hydrographique de ce bassin versant est marqué par des cours d'eau dont les lits sont pratiquement stabilisés. Le régime des crues fait que le réseau des eaux de surface est d'une durée d'écoulement essentiellement passagère. L'apport de ces écoulements superficiels est très peu important se réduisant au remplissage d'abreuvoirs enterrés et de DJEBOUBS.

Localement, l'un de ces OUEDS –OUED MADHA- longe le périmètre de SIDI MOKHFI de part en part drainant les reliefs qui l'entourent, il se manifeste par des crues assez importantes en hiver qui sont faiblement exploitées par les riverains pour l'abreuvement des troupeaux. Par ailleurs, il existe une petite retenue collinaire mais le volume d'eau mobilisé est trop faible pour constituer une source d'irrigation pour le périmètre .

III.4.2 Eaux souterraines :

Le périmètre est situé dans une zone favorable à l'accumulation des ressources en eau souterraine, du fait de l'existence d'une série importante de calcaires et de dolomies parcourus par un réseau fractures. Ces failles constituent des drains alimentés par la pluviométrie et qui donnent naissance à des émergences de sources.

Les forages réalisés dans la commune de SIDI EL DJILLALI révèlent de faibles débits qui varient entre 04 et 09 l/s à l'exception d'un forage qui débite 15l/s sur des profondeurs atteignant 300m. Au niveau du périmètre, on note l'existence, d'un forage, à une profondeur de 141 m avec un débit de 15l/s, avec un niveau statique de 70m (Tableau III.13)

Tableau III. 13: Inventaire des forages de la commune de SIDI DJILLALI

| Nom de forage | Coordonnées | | état | Profondeur (m) | Débit (l/s) D'exploitation | Années de réalisation | |
|---------------|-------------|---------|---------|----------------|----------------------------|-----------------------|------|
| | X | Y | | | | | |
| Sidi Yahya | - | - | Bon | | 4 | 2007 | |
| Boughaddou | 114,6 | 144,5 | Bon | 182 | 4 | 2006 | |
| Tadjertila | 113,25 | 142,25 | Moyen | 130 | 8 | 1996 | |
| Sidi Med Tbib | - | - | Moyen | - | 2 | 2006 | |
| Sidi Mokhfi | N°1 | 117 | 141,2 | Bon | 225 | 10 | 2007 |
| | N°2 | 116,592 | 141,878 | moyen | - | 8 | 2007 |
| | N°3 | 116,094 | 141,341 | moyen | - | - | 2008 |
| | N°4 | 115,932 | 140,554 | bon | 141 | 15 | 2008 |
| Gbar Massouda | - | - | Moyen | - | 2 | 1999 | |
| Fourno 1 | 93,72 | 140,72 | Bon | 300 | 9 | 2006 | |
| Fourno 2 | 629,298 | 3817,07 | Bon | | 15 | 2008 | |
| Fourno (HCDS) | - | - | Bon | - | - | 2007 | |
| Tinkial | - | - | bon | - | - | 2007 | |

Source : direction des ressources en eau de Tlemcen.

III.5 Ressources en sols :

Les sols occupent une position plane. Ils sont bien drainés et présentent globalement des caractéristiques agronomiques jugées moyennement satisfaisantes. Le zonage effectué sur la base de la prospection pédologique et de l'analyse d'échantillons de sols a permis de délimiter

la superficie à mettre en valeur de 230ha (B.N.E.D.E.R). Cet espace présente une bonne aptitude à la mise en valeur en irrigué, et convient bien au maraichage et à l'arboriculture fruitière [66].

Ses sols sont développés sur des matériaux composés de dépôts alluvionnaires du quaternaire des matériaux calcaires à grés-calcaire. Ils sont situés sur une dépression dominée au Nord et Sud par un relief constitué respectivement par les retombées Sud de KOUDIET EL M'KAM et par les piedmonts Nord du DJBEL RAOURAI.

III.5.1 L'analyse granulométrie :

Cette phase est renforcée par des analyses des sols et une description morphologique des profils, ce qui permettrait l'orientation des aménagements agricoles sur la base des aptitudes culturales. Les échantillons ont été analysés au niveau du laboratoire des sols du bureau national d'études du développement rural (B.N.E.D.E.R)

III.5.1.1 Les sols iso humiques :

La couverture pédologique du périmètre de SIDI MOKHFI est représentée par :

➤ Sols iso humiques modaux :

Ils portent les caractéristiques morphologiques suivantes :

- Une profondeur jugée moyennement satisfaisante mais non contraignante pour le développement d'une grande gamme de culture. Elle oscille entre 64 et 80 cm.
- Une texture en surface moyennement grossière (limono sableuse et rarement équilibrée).
- De couleur marron a rougeâtre, à bruns jaunâtres (gamme 5YR a 7,5YR dans le code de munsell).
- Une charge caillouteuse faible, de 0,5 à 10% non contraignante.
- Unr structure favorable, sur toute la profondeur des profils décrits.
- Une occupation dominée par les céréales [66].

• Données générales : description d'un profil type :

- ✓ Géomorphologie : large dépression.
- ✓ Pente :0-3 %.
- ✓ Aspect de surface : charge caillouteuse environ 05%.
- ✓ Occupation : néant.
- ✓ Roche mère : grés calcaires.

- ✓ Coordonnées : **W=001° 28 ' 19,2''** **projection : WGS 84**
N=34° 29' 43,8''

Tableau III. 14: résultats analytiques

| Horizons | | H1 | H2 | H3 |
|-------------------|----|-------|-------|--------|
| Profondeur en cm | | 00-35 | 35-75 | 75-120 |
| Granulométrie (%) | A | 8,5 | 13,40 | 13,65 |
| | LF | 12,70 | 13,40 | 19,25 |
| | LG | 17,10 | 17,30 | 14,35 |
| | SF | 41,60 | 36,70 | 37,55 |
| | SG | 20,10 | 19,20 | 15,20 |
| Caco3 total (%) | | 14,63 | 13,50 | 11,70 |
| Caco3 actif (%) | | 5,6 | 6,20 | 4,5 |
| CEC (meq/100g) | | 5,77 | 8,31 | 9,54 |
| PH (au 1/5) | | 7,87 | 7,94 | 8,4 |
| C.E ds/m | | 1,2 | 1,2 | 0,62 |
| P205 ppm | | 52,67 | 43,51 | 17,20 |
| C % | | 0,51 | 0,40 | 0,33 |
| MO% | | 0,88 | 0,69 | 0,41 |

Source : DSA.

CE : la conductivité électrique

ESP : c'est le pourcentage de sodium échangeable $ESP = 100ES / CEC$

ES : quantité des ions sodium échangeables (meq/100g de sol)

CEC : capacité d'échange cationique (meq/100g de sol)

MO% : Matière organique.

➤ **Sols iso humiques encroutés :**

Ils présentent les mêmes caractéristiques (couleur, structure, texture) que les sols précédents, sauf qu'ils portent une croûte puis un encroutement calcaire tufeaux, friable, de couleur blanchâtre située à des profondeurs variées de 30 à 90 cm en moyenne [66].

- **Données générales : Description d'un profil type :**
- ✓ Géomorphologie : relief peu ondulé.
- ✓ Pente : **3 %**.
- ✓ Aspect de surface : charge caillouteuse environ **05 à 10%**.
- ✓ Occupation : terre labourée.
- ✓ Roche mère : calcaire.
- ✓ Coordonnées : **W=001° 28 ' 38,1''** **projection : WGS 84**
N=34° 29' 49,1''

Tableau III. 15: résultats analytiques

| Horizons | | H1 |
|-------------------|----|-------|
| Profondeur en cm | | 00-35 |
| Granulométrie (%) | A | 8,7 |
| | LF | 13,20 |
| | LG | 16,30 |
| | SF | 46,80 |
| | SG | 15,00 |
| Caco3 total (%) | | 25,50 |
| Caco3 actif (%) | | 10,40 |
| CEC (meq/100g) | | 5,93 |
| PH (au 1/5) | | 7,77 |
| C.E ds/cm | | 0,13 |
| P205 ppm | | 73,28 |
| C % | | 0,98 |
| MO% | | 1,69 |

Source : DSA.

➤ **Les sols lithiques :**

Il s'agit des sols superficiels, qui sont très restreints sans le périmètre et qui se développent sur un substrat dur, constitué de grès calcaire. Ils sont peu profonds, avec un unique horizon mince d'environ 10cm, de texture grossière, et sont de couleur brun rougeâtre [66].

En définitive, ils sont classés de très sévère contrainte liée la faible profondeur. De ce fait, ils sont éliminés du périmètre à irriguer.

En conformité avec les normes pédologiques universelles, l'interprétation de ces données analytiques a donnée lieu aux constatations suivantes :

- ✓ La texture de profil est limono sableuse sur toutes les couches du profil. Elle représente les 60 % de la terre fine, qui favorise la filtration. De ce fait, ce profil est perméable et capacité de rétention est moyenne.

- **Le point de flétrissement (Pf)** : C'est le pourcentage d'humidité du sol à partir duquel la plante ne peut plus puiser l'eau du sol (eau fortement liée aux particules du sol) [46].

Humidité au point flétrissement = 55 % humidité à la capacité de rétention

Le contenu hydrique à la C.C et au P.F variant en fonction des caractéristiques physiques et de la texture du sol (argileux, limoneux, sableux, équilibré, etc.), la R.U sera également différente selon les typologies de sol (Tableau III.17). Celle-ci sera plus élevée dans les sols argileux (plus grande microporosité) que dans les sols sableux (moins microporosité) [46].

Tableau III. 18: Teneur en eau au point de flétrissement (P.F.), à la capacité au champ (C.C.) et réserve utilisable (R.U.) selon les types de sol

| Sol. | P.F | C.C. | (C.C-P.F) |
|-----------------|------|-------|-----------|
| % volume | | | |
| Sable fin | 2,85 | 5,17 | 2,32 |
| limono-sableux | 5,1 | 9,29 | 4,19 |
| Limon fin | 7,38 | 13,42 | 6,04 |
| Limono-argileux | 8,5 | 15,47 | 6,97 |
| Argileux | 9,63 | 17,51 | 7,88 |

- **Les réserves en eau du sol**

Réserve utilisable (RU) : est La quantité d'eau utile pour les cultures. Pour calculer la **R.U.** on utilise la formule suivante : [46]

$$RU = \frac{(Cc - Pf)}{100} \times Pr \times da \dots \dots \dots (III.9)$$

R.U : Réserve Utilisable (mm)

Pr : Profondeur du sol exploré par les racines (mm)

C.C : Capacité au Champ (% volume)

P.F. : Point de Flétrissement (% volume)

Da : Densité apparente

La réserve facilement utilisable RFU est la fraction de réserve utilisable (R.U en mm) qui peut être utilisée par les plantes sans qu'elles ne manifestent de symptômes de stress hydrique. La quantité de R.F.U est caractéristique de l'espèce cultivée (capacité spécifique de la plante à extraire l'eau) [46].

Pour calculer la R.F.U moyenne, on utilise la formule suivante :

$$RFU = \frac{2}{3} RU \dots \dots \dots (III.10)$$

Tableau III. 19: paramètre expérimentale

| C.C (%) | P.F(%) | Da (g/cm ³) | Pr (mm) | RU (mm) | RFU (mm) |
|---------|--------|-------------------------|---------|---------|----------|
| 9,29 | 5,1 | 1,245 | 1200 | 62,7 | 41,7 |

III.6 Érosion :

Les principaux agents d'érosion qui imprègnent l'évolution de la zone d'étude sont :

- **Le ruissèlement diffus** responsable du décapage des parties superficielles des sols, notamment dans la partie centrale du périmètre, phénomène qui peut toutefois être atténué par des pratiques culturales appropriées.
- **Le ruissèlement concentré** traduit sur le terrain par la progression de ravinements observés dans la partie nord-est et sud du périmètre. Ces ravinements sont particulièrement actifs en période de fortes pluies et doivent être pris en charge par la réalisation corrections torrentielles.

III.7 Occupation du sol et état de la végétation :

Bien qu'il soit un terrain non affecté du domaine privé de l'état, le périmètre de SIDI MOKHFI fait l'objet d'une exploitation extensive de la part des populations riveraines. Le sol est régulièrement travaillé bien que superficiellement pour porter des emblavures sous régime pluvial. Dans sa totalité, le périmètre est actuellement occupé par des céréales.

III.8 Les aptitudes culturales :

III.8.1 Méthodologie :

Les principaux critères utilisés pour la détermination de la classe d'aptitude culturale sont :

- Le niveau limitant (profondeur)
- La texture
- Les éléments grossiers l'hydro orphie
- La conductivité électrique (salure)
- Le taux de calcaire actif
- La structure

Les classes d'aptitudes culturales sont déterminées par la méthode DEMRH, actuellement ANRH (méthode la plus utilisée en Algérie), et le choix des aptitudes culturales que l'eau d'irrigation utilisée est de bonne qualité chimique. La sélection des cultures qui conviennent, est en fonction du climat de la région.

Tableau III. 20: Cultures annuelles

| Type de sol | Aptitude | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--|
| | Bon | Moyen | À exclure |
| Sols iso humiques modaux | Luzerne, ray gras, blé tendre, orge | Orge, vesce avoine, blé dur, maïs | |
| Sols iso humiques encrouvés | Orge, luzerne, ray gras | Blé tendre, blé dur | Le reste des cultures |
| Sols lithiques | | | Très sévères contrainte liée à la profondeur |

Tableau III. 21: Cultures maraîchères

| Type de sol | Aptitude | | |
|-----------------------------|--|--|---------------------------------|
| | Bon | Moyen | À exclure |
| Sols iso humiques modaux | Tomate, oignon, pomme de terre, carotte, laitue, melon, haricot, concombre | Navet, chou-fleur, choux pomme, épinards, aubergine, piment poivron | artichaut |
| Sols iso humiques encrouvés | | Oignons, pomme de terre, carotte, navet, chou-fleur, choux pommé, laitue, ail, pastèque, melon, haricot, concombre | Le reste des cultures |
| Sols lithiques | | | Contrainte liée à la profondeur |

Tableau III. 22: Cultures arboricultures

| Type de sol | Aptitude | | |
|-----------------------------|----------|---|--|
| | Bon | Moyen | À exclure |
| Sols iso humiques modaux | | Amandier/franc Abricotier/prunier myrobolan Abricotier/franc Olivier, figuier, grenadier | Agrumes, cerisier, pommier, poirier |
| Sols iso humiques encroutés | | Abricotier/franc figuier | Toutes les cultures arboricoles qui ne tolèrent pas la profondeur et le calcaire actif |
| Sols lithiques | | | Contrainte liée à la profondeur |

III.8.2 Données sur l'agriculture et l'élevage :**III.8.2.1 Agriculture :**

Le territoire de SIDI DJILLALI s'étend sur 75000 ha dont 55% est du domaine de l'agriculture (SAT). Sont résumé au Tableau (III.22)

Tableau III. 23: répartition générale des terres de la commune

| Superficie total de la commune | | | | | Foret + alfa | Terrain urbanisé et industriel |
|--------------------------------|--------|--------|----------------------------------|--------------------|--------------|--------------------------------|
| | totale | SAU | Superficie agricole improductive | Pacage et parcours | | |
| 75 000 | 41 300 | 10 000 | 300 | 31 000 | 32 000 | 1 700 |
| % | 100 | 24,21 | 0,01 | 75,06 | | |

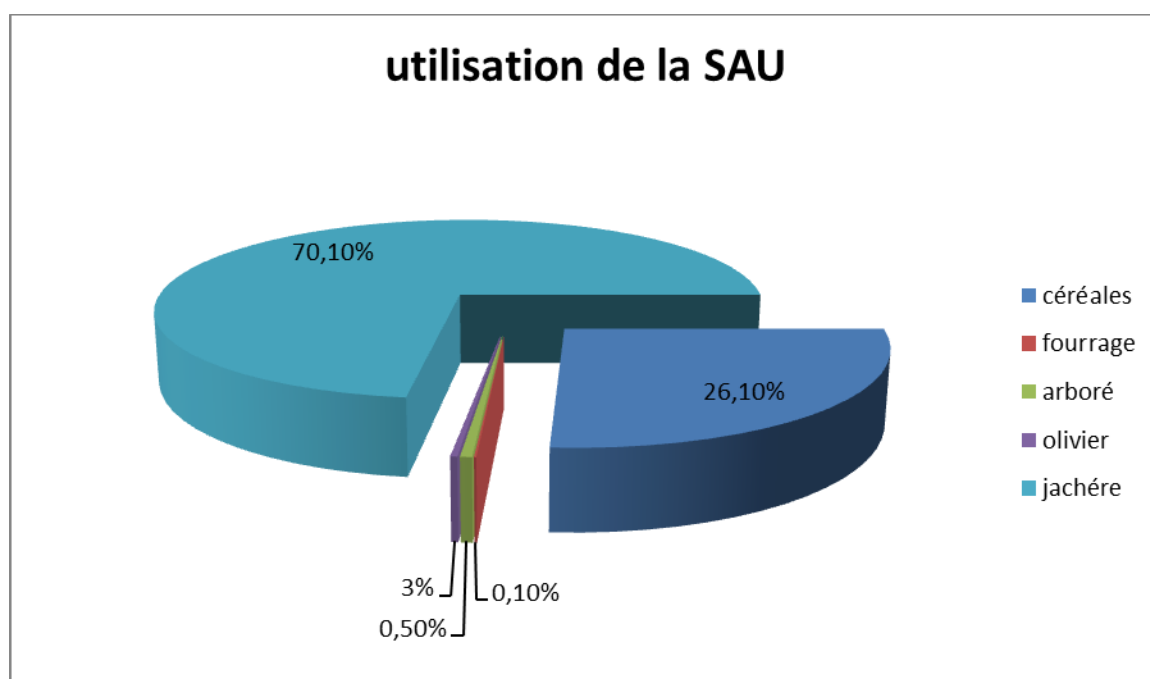
Source : DSA et APC.

La SAU totalise 10 000 ha, soit seulement 24,2 % de la SAT. L'essentiel de la SAT est constitué de parcours ce qui confirme que cette commune présente une vocation agropastorale prononcée.

Tableau III. 24: utilisation de la SAU

| Céréales | | | | | Fourrages | | | Arbres fruitiers à noyaux et pépins | Olivier | Jachères | Total SAU |
|----------|-----|------------|--------------|----------------|-----------|-----------------|-----------------|-------------------------------------|---------|----------|-----------|
| BD | BT | Orge grain | Avoine grain | Total céréales | Orge vert | Avoine fourrage | Total fourrages | | | | |
| 100 | 500 | 2000 | 10 | 2610 | 0 | 10 | 10 | 46 | 29 | 7 305 | 10000 |
| | | | | 26,1% | | | 0,1% | 0,5% | 3% | 70,1% | 100% |

Source : DSA Tlemcen

**Figure III. 7:** Utilisation agricole selon la SAU**III.8.2.2 Elevage :**

Dans la commune de SIDI EL DJILLALI l'élevage est principalement ovin avec un cheptel de près de 20 000 têtes.

Tableau III. 25: consistance du cheptel de la commune par type d'élevage

| Ovins | | Bovins | | Caprins | | Equins | |
|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|
| Total | Brebis | Total | Vaches | Total | Chèvres | Total | Adultes |
| 19 750 | 12 000 | 520 | 300 | 2 300 | 1400 | 290 | 280 |

Source : DSA

III.8.2.3 L'activité agricole au niveau du périmètre :

La population riveraine de SIDI MOKHFI exerce l'élevage comme activité principale associée à la céréaliculture extensive qui sert, en plus de la production de blé, à l'alimentation du cheptel (orge, chaumes, paille). Il existe, par ailleurs, une pratique du maraichage mais il s'apparente davantage à du jardinage tant les sols maraichers sont réduits. L'arboriculture est une pratique récente que les riverains ont acquise à travers le projet d'emploi rural mis en œuvre par les services des forêts à travers les monts de Tlemcen.

III.8.3 Analyse du milieu socio-économique :

III.8.3.1 Indicateur démographique :

A. Evolution de la population totale :

La population actuelle résidente au niveau de la commune de SIDI DJILLALI est de 6699 habitants soit une densité de l'ordre 9hab/Km². Elle a enregistré une légère hausse par rapport au RGPH précédent.

Tableau III. 26: évolution de la population de la commune de SIDI DJILLALI

| RGPH | 1966 | 1977 | 1988 | 1999 | 2008 |
|------------|------|-------|------|------|------|
| Population | 9504 | 11488 | 7118 | 6039 | 6699 |

Source : DSA

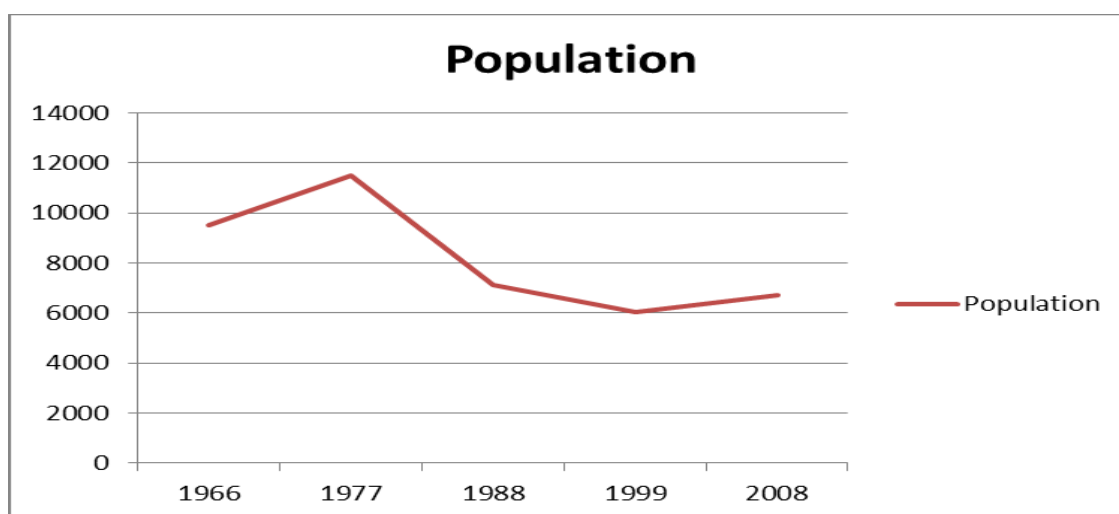


Figure III. 8: représentation de la population de la commune de SIDI DJILLALI

L'analyse des résultats des recensements successifs montre une évolution de la population en 3 phases :

- Un accroissement progressif entre **1966** et **1977**.
- Une régression spectaculaire entre **1977** et **1988**.
- Un retour à l'accroissement depuis **1988**.

B. Habitat :

Tableau III. 27: répartition du parc logements de la commune de SIDI DJILLALI

| | ACL | | AS | | ZE | | Total | |
|------------------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
| | Logements | % | Logements | % | Logements | % | Logements | % |
| Sidi el Djillali | 1012 | 4,46 | 0 | - | 564 | 3,88 | 1576 | 4,25 |
| Wilaya | 149 900 | 4,49 | 44 036 | 4,72 | 19 208 | 3,57 | 213 144 | 4,45 |

Le parc logement de SIDI DJILLALI est estimé à 1576 unités soit près de 0,74% du parc logement de la wilaya de Tlemcen. Le taux d'occupation de ces logements avoisine celui de la moyenne de la wilaya.

III.8.3.2 Infrastructures et équipements :

A Infrastructure routière :

La desserte en voies de communication au niveau de la commune couvre une distance de 312Km dont 32 % de revêtues. La classe des chemins communaux représente 80 % du réseau routier de la commune.

Tableau III. 28: situation du réseau routier de la commune de SIDI DJILLALI

| Distance (Km) | RN | CW | CC | Total |
|---------------|-----|-----|-----|-------|
| Totale | 30 | 32 | 250 | 312 |
| % revêtu | 100 | 100 | 15 | 32 |

Source : APC

B Infrastructures scolaires :

La commune dispose de 07 établissements scolaires qui offrent, en tout, 61 salles de cours pour un effectif total, tous cycles confondus, de 1 150 élèves. Le taux moyen d'occupation des

classes est faible ce qui met en évidence une disponibilité plus que satisfaisante en matière d'infrastructures scolaires.

Tableau III. 29: Situation de l'éducation dans la commune de SIDI DJILLALI

| Cycle | Effectifs | Etablissements | | | Taux Occupation |
|-----------------|-----------|----------------|--------|-------------------|-----------------|
| | | Total | Ruraux | Nombre de classes | |
| 1 ^{er} | 596 | 5 | 3 | 35 | 17 |
| 2eme | 295 | 1 | 0 | 14 | 21 |
| 3eme | 259 | 1 | 0 | 12 | 22 |
| total | 1 150 | 7 | 3 | 61 | 19 |

Source : DSA.

La commune de SIDI DJILLALI enregistre un taux de scolarisation de 90,8 %. Ce taux ne présente pas de disparité entre filles et garçons. Par ailleurs, le commun compte 320 étudiants universitaires ce qui représente près de 23 % des jeunes de 20-29 ans.

C Infrastructures sanitaires :

La couverture sanitaire au niveau de la commune s'appuie une infrastructure réduite à trois salles de soins de statut public.

Tableau III. 30: situation de l'encadrement médical dans la commune

| Secteur | Médecins | | | Dentistes | Pharmaciens | Personnel paramédical |
|---------|--------------|--------------|-------|-----------|-------------|-----------------------|
| | Généralistes | Spécialistes | Total | | | |
| Public | 04 | 00 | 04 | 02 | 1 | 17 |
| Privé | 00 | 00 | 00 | 00 | 2 | |
| Total | 04 | 00 | 04 | 02 | 3 | 17 |

Source : DSA et APC

Le personnel médical compte 4 médecins généralistes et 2 dentistes soit une couverture respectivement de l'ordre de 1 675 habitants par médecin et 3 350 habitants pour un dentiste. Les services de la pharmacie sont assurés par une seule officine publique et deux privées pour l'ensemble de la commune.

La couverture sanitaire déplore l'absence de médecins spécialisés et l'absence de personnel médical du secteur privé.

III.8.3.3 Accessibilité :

Le périmètre est facilement accessible grâce au chemin communal qui traverse le périmètre dans sa partie ouest, et plusieurs pistes carrossables dont certaines nécessitent seulement quelques aménagements.

III.8.3.4 Desserte en énergie électrique :

L'énergie électrique est disponible sur site puisque le réseau de moyenne tension traverse le périmètre pour desservir les habitations de SIDI MOKHFI.

III.8.3.5 Raccordement aux réseaux :

Le niveau d'accès des populations aux commodités est souvent traduit par le niveau de raccordement des habitations aux différents réseaux.

Tableau III. 31: taux de raccordement aux réseaux

| | Taux de raccordement au réseau (%) | | | |
|------------------|------------------------------------|-------|----------------|--------------|
| | Électrique | A.E.P | Assainissement | Gaz de ville |
| Sidi El Djillali | 90 | 77,2 | 76 | 2,3 |
| Wilaya | 97,4 | 90,3 | 90,3 | 46 |

Source : DSA

Chapitre IV : Programme des actions agricoles à contribution au système photovoltaïque

IV. Les aménagements hydrauliques :

La mise en valeur du périmètre SIDI MOKHFI est étroitement dépendante de la mobilisation conséquente de la ressource en eau et de son utilisation rationnelle.

Pour couvrir les besoins induits par la mise en culture du périmètre, il est prévu d'importants investissements dans ce domaine notamment en matière de forages et de réseaux d'irrigation performants.

IV.1 Irrigation :

L'**irrigation** est un apport artificiel d'eau sur des terres agricole (végétaux cultivés). Pour augmenter la production et permettre leur développement normal, en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, particulièrement dans les zones arides.

On parle d'« arrosage » pour les petites surfaces (jardinage) réservant le terme d'« irrigation » pour les surfaces plus importantes (agriculture de plein champ),

IV.1.1 Classification des systèmes d'irrigation

Les systèmes d'irrigation sont classés selon : [45]

- La mode de distribution de l'eau : irrigation de surface, irrigation localisée ou par aspersion.
- Le type d'installation : installation fixe, installation semi-permanente (les conduites principales et secondaires sont permanentes alors que les conduites latérales) ou portable.
- La pression hydraulique de fonctionnement :
 - à basse pression : la pression requise varie de 2,0 à 3,5 bars;
 - à moyenne pression : la pression requise varie de 3,5 à 5,0 bars;
 - à haute pression: la pression requise est supérieure à 5,0 bars.

Il y a plusieurs méthodes d'irrigation pour la desserte en eau des cultures. [43]

IV.1.1.1 Irrigation de la surface :

L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain à pente inférieure à 1% et à la cédez ruisseler par gravité. Elle consiste à reconstituer les réserves en eau du sol sont épuisées. Ce mode d'irrigation permet le lessivage des sels. IL peut être adapté aux sols sableux moyennant un fractionnement de la dose d'irrigation (filtration élevé) La distribution de l'eau fait par :

- **Irrigation par cuvette ou bassin :** cette méthode consiste à remplir d'eau des compartiments que l'on a aménagé autour des arbres en élèvent des petites digues de terre. la taille des bassins est d'autant plus grands que le débit disponible est élevé à condition que le sol soit parfaitement nivelé et que la perméabilité ne soit pas excessive
- **Irrigation par sillons :** cette méthode utilise Les petites rigoles en terre, pour transférer l'eau entre les rangées de cultures. L'eau s'infiltré dans le sol par les côtés du sillon dans le sens de la pente du terrain.
- **Irrigation par planches :** cette méthode consiste à laisser l'eau s'écouler en nappe le long d'une bande de terre délimitée entre les rangées d'arbres et dans le sens de la pente par des petites digues.

Pour faire courir l'eau sur les grands planches il faut nivelée parfaitement et disposer un débit suffisant.



Figure IV. 1: irrigation de surfaces

IV.1.1.2 Irrigation par aspersion :

La technique d'irrigation par aspersion est calquée sur le mode de la pluie naturelle dont le résultat a obtenu par l'amenée d'un débit d'eau sous pression qui traverse un orifice faible diamètre (buse), il existe trois types d'irrigation par aspersion :

- Rampes mobiles.
- Rampes pivotantes.
- Enrouleurs.

IV.1.1.3 Irrigation Goutte à Goutte : [46]

L'irrigation localisée ou la micro irrigation est une expression qui caractérise un certain nombre de techniques nouvelles qui ont commun les caractéristiques suivantes :

- Une alimentation en eau à proximité immédiate radicaire des plantes cultivées.
- L'utilisation souvent répétée et à la limite contenue à faibles débits instantanés
- une limitation de la surface humectée du sol, ce qui permet mettre en œuvre des équipements fixes et légère.

Le réseau d'irrigation est composé d'une station de tête qui comprend les systèmes des filtrations et d'injection ainsi que des accessoires relatifs à la régulation de pression et à la protection du système et d'un réseau de distribution. Celui-ci est composé des conduites d'amenée et des secteurs d'irrigation. Chaque secteur est contrôlé par une vanne et comprend des gaines ou des rampes portant des distributeurs. Les rampes sont branchées sur un porte rampe (ou antenne).

Tableau IV. 1: avantages et inconvénients de l'irrigation localisée

| Avantages | Inconvénients |
|---|--|
| Réduction des pertes par l'évaporation, ruissellement et percolation. | Cout d'installation élevée. |
| Meilleure uniformité d'irrigation. | Ne peut être utilisé avec une eau mauvaise qualité chimique. |
| L'eau est apportée directement et exclusivement au niveau des racines. | Risque de colmatage du a la qualité physique De l'eau. |
| Economique par rapport au gravitaire jusqu'à 70% de plus et 30% de plus à l'aspersion | Une technicité de l'agriculteur pour la gestion de réseaux |
| Réduction des couts | |

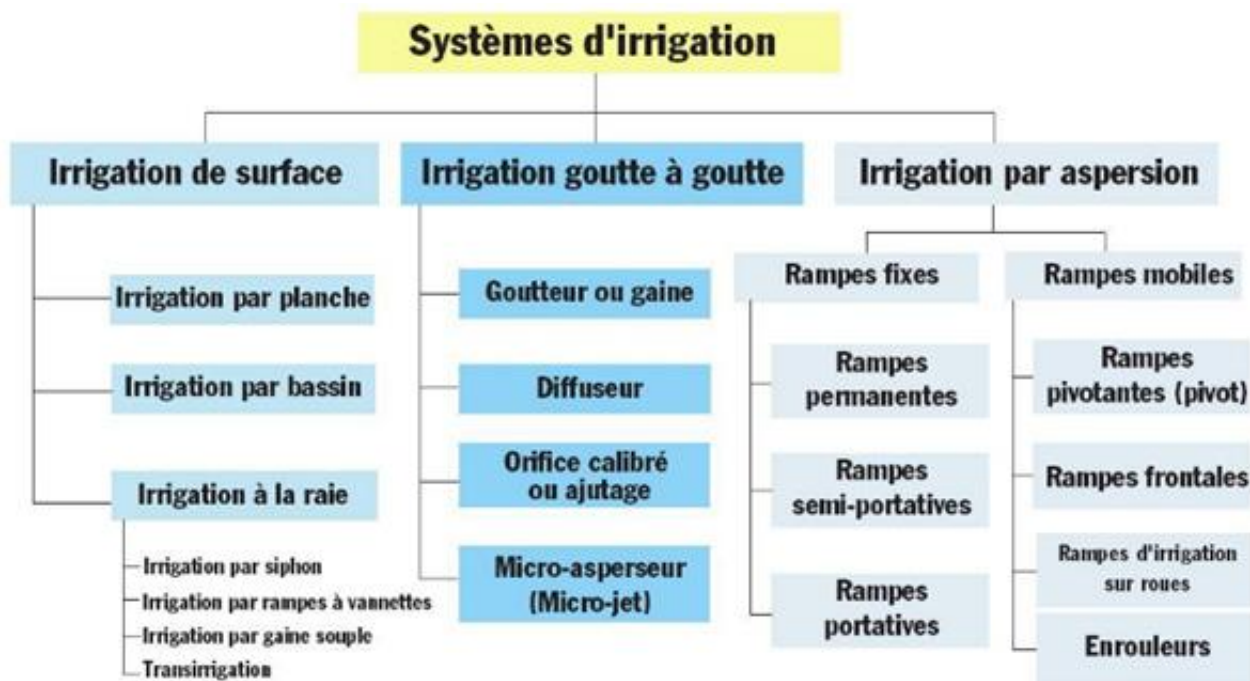


Figure IV. 2: Organigramme de système d'irrigation [49].

IV.1.2 Equipement du système goutte à goutte :

IV.1.2.1 Station de pompage :

A partir d'une source d'eau, forage, puits, retenue collinaire, oued.

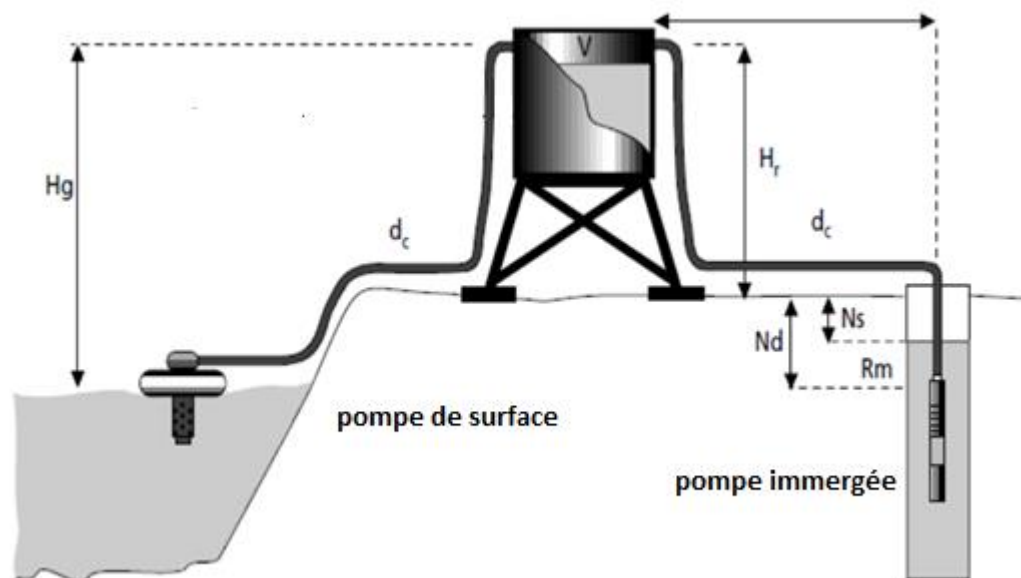


Figure IV. 3: schéma de principe [48].

Ns : Le niveau statique d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau avant pompage.

Nd : Le niveau dynamique d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné.

Rm : La différence entre le niveau dynamique et le niveau Statique.

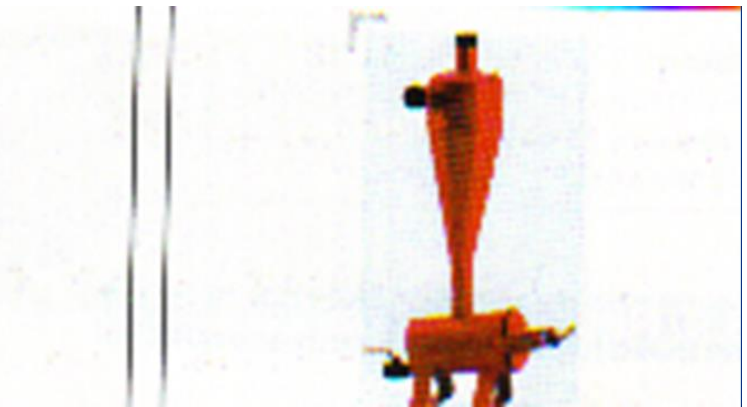
Hg : hauteur géométrique.

IV.1.2.2 Station de filtration : [46]

Le choix de la station de filtration dépend essentiellement de la qualité d'eau utilisée pour l'irrigation.



Filtre à gravier
Utilisée pour les eaux chargées
(Bassin ou retenu d'eau)



hydrocyclone
il est conçu pour séparer le sable de l'eau
(Forage, puits)

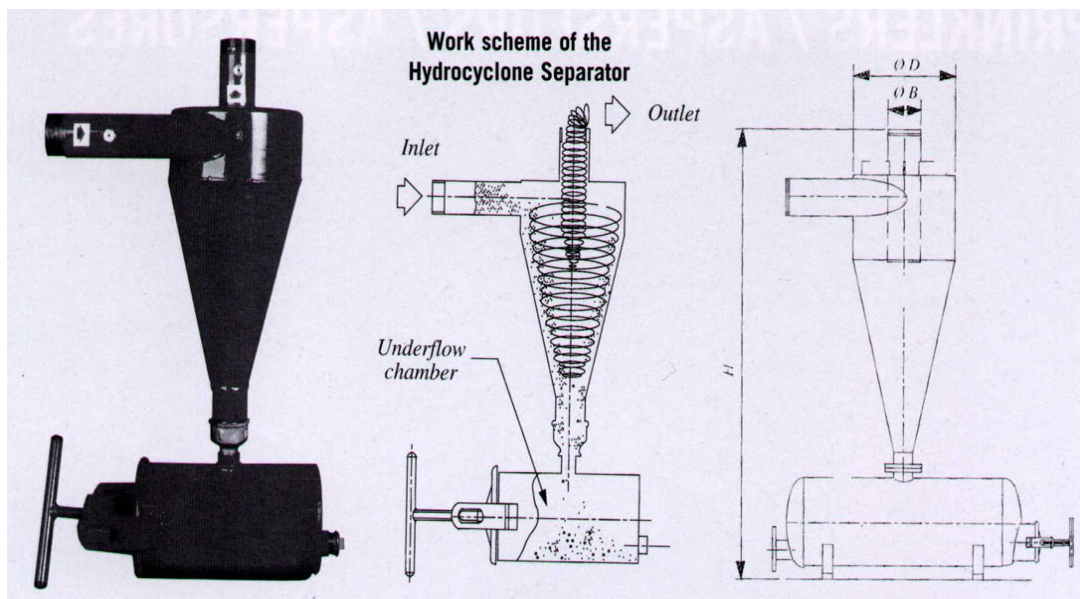


Figure IV. 4: Hydrocyclone ou séparateur de sable [46].

- **Le filtre :**

Est un élément obligatoire dans la station de filtration, il existe a tamis métallique ou en polypropylène, et de filtre à disque.

- **Fertiliseur :**

Il est constitué d'une cuve hermétique sous pression, dans laquelle introduit de l'engrais soluble ou liquide.

- **Pompe doseuse :**

Il existe des pompes électrique ou hydraulique pour l'injection des produits chimiques et additifs dans un réseau d'eau.

A. Réseau a la parcelle :

- **Canalisation :**

Les conduites principales, secondaires peut être en PVC et de diamètre différent

Accessoires, vannes coudes PVC, PP

Les ports rampes : alimenter par des conduites principales et secondaires, ces conduites en polyéthylène.

Rampes : elle existe deux de diamètre.16 et 20 mm

- **Goutteurs :**

Il existe une large gamme de goutteurs, Le matériel utilisé en goutte à goutte fonctionne à faible débit. Il est sensible au colmatage et sa durée de vie dépend une installation parfaitement contrôlée, entretenue régulièrement et avec une filtration performante.

Goutteurs autorégulant a pastille :

Idéal pour les jardins et des parcs avec grands dénivelée, il est utilisé les lignes des grandes longueurs. Le débit varie entre 4l/s a 8l/s, résiste au bouchage et démontable pour le nettoyage.

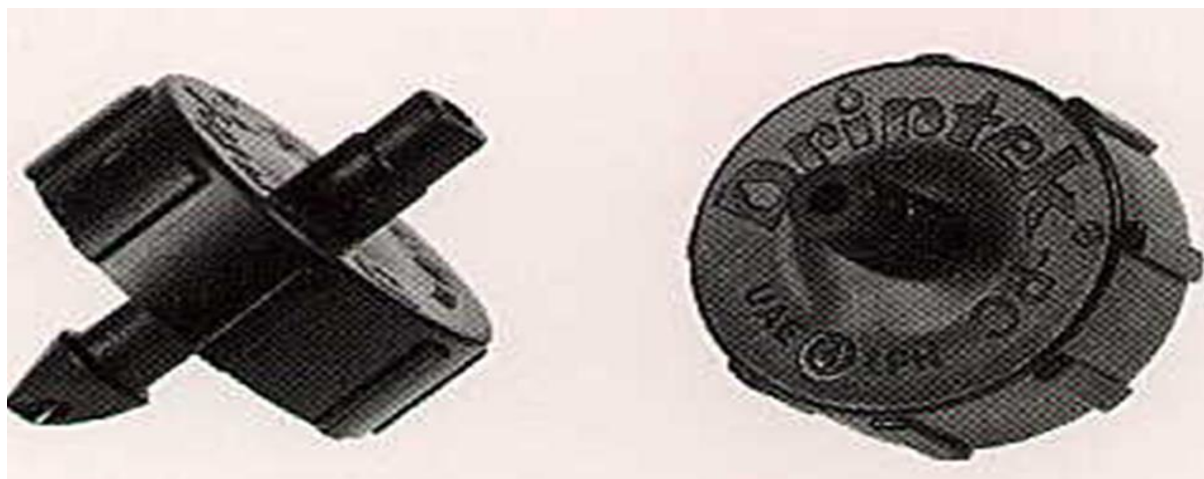


Figure IV. 5: Goutteurs autorégulant a pastille [46]

- **Bubbler :**

Idéale pour les arbres qui exigent fort besoin en eau (agrumes, palmiers, ...)
Le débit peut aller jusqu'à 250l/h



Figure IV. 6: Bubbler [46]

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.



Figure IV. 7: Goutteurs incorporé [46]

IV.2 Mobilisation de l'eau :

La mobilisation de la ressource en eau d'irrigation aura lieu au moyen de 4 forages. La détermination du nombre d'ouvrage s'est appuyée sur une démarche privilégiant l'économie d'eau. Cette démarche préconise l'irrigation localisée sur l'ensemble du périmètre en utilisant le système (goutte à goutte) qui permet **50 à 70 %** d'économie d'eau par rapport au gravitaire et **30%** par rapport à l'aspersion en plus de l'opportunité de l'utilisation de la fustigation. Par ailleurs ce système contribue à une augmentation des rendements, de l'ordre de **20 à 40%**, et à l'amélioration de la qualité des productions.

- Calcul des besoins en eau.
- Les ouvrages de stockage.

IV.3 Actions d'accompagnement :

IV.3.1 Taille et type de concession :

L'étude pédologique et la prospection sur terrain on, en effet, fait ressortir une zone d'une superficie de **17 ha** défavorable pour l'activité agricole (zone III sur la carte des aptitudes culturales des sols).

A cette superficie inculte s'ajoute les espèces occupées par les pistes à l'intérieur du périmètre, les corrections torrentielles les forages et leurs abris et autres servitudes soit **03 ha**.

03 ha +17 ha =20 ha

250 ha -20 ha =230 ha

La superficie totale à concéder sera de **230 ha**.

Le périmètre sera réparti en **46 concessions** polyvalentes de **05ha** chacune constitué de **03ha** d'arboricultures fruitière et de **02 ha** de maraichage le tout en irrigué.

Tableau IV. 2: taille des concessions

| Surface de périmètre (ha) | Taille de concession (ha) | Nombre de concession |
|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| 230 | 05 | 46 |

Source : DSA

IV.3.2 Amélioration foncière :

S'agissant des sols qui n'ont jamais été travaillés en profondeur et que tous les horizons sont fortement compactés, il est nécessaire de procéder aux opérations d'amélioration foncière.

Ces travaux consisteront en un routage avec pour objectif la réfection du sol en profondeur sur les 40ha c'est-à-dire la zone **II**.

IV.3.3 Installation de brise-vent :

En raison des vents de direction ouest-est-il est indispensable d'installer un brise-vent périmètre sauf dans deux parties au sud et au nord du périmètre qui sont protégées par les deux ceintures montagneuses, une ligne brise-vent est également envisagée sur les deux côtes de la route communale qui traverse le périmètre.

La longueur totale du réseau de brise-vent est estimée à **10 Km**.

En plus de son rôle de protection contre le vent, ce dispositif contribuera à l'installation d'un microclimat à l'intérieur du périmètre.

IV.3.4 Corrections torrentielles :

Le traitement des ravines affectant la partie nord du périmètre nécessitera un volume de **3000m³** de correction torrentielle qui devra être réalisée au moyen de seuils en pierres sèches gabionnées.

IV.3.5 Aménagement des pistes :

Le périmètre compte déjà d'un réseau de pistes carrossables satisfaisant. Cependant certains tronçons nécessiteront des travaux d'aménagement. Au total l'aménagement touchera **7Km** à travers le périmètre.

IV.3.6 Apiculture :

Etant donné le type d'aménagement basé sur l'arboriculture mai aussi l'environnement du périmètre constitué des forêts et maquis, un rucher de **460 unités** sera installé au niveau du périmètre a raison de 10 ruches par concessionnaire.

Outre la production de miel, l'apiculture contribuera à la fertilisation des cultures l'abeille étant un pollinisateur par excellence.

IV.3.7 Electrification des forages (pompage photovoltaïque) :

Les forages proposés seront alimentés en énergie électrique à partir du réseau disponible au niveau du périmètre. Il sera nécessaire de mettre en place un réseau d'électrification de **4Km**. L'étude du projet concerné a recherché des techniques ou des méthodes plus fiables et plus économiques pour l'alimentation électrique, ces dernières c'est le pompage photovoltaïque.

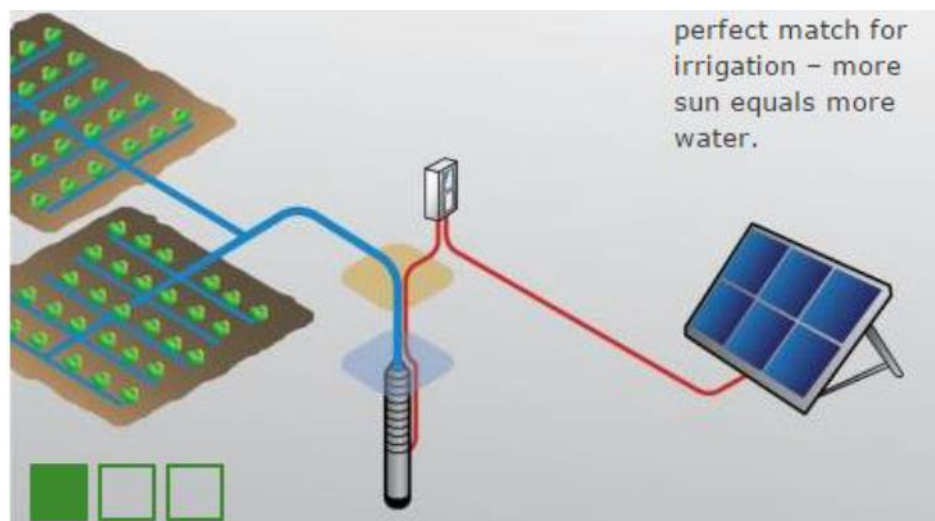


Figure IV. 8: Système de pompage solaire [49]

IV.4 Composante agricole :

Cette démarche prévoit également l'option d'une concession individuelle de **3 ha** d'arboriculture fruitière et de **2 ha** de maraichage soit sur l'ensemble : **138 ha** d'arboriculture et **92 ha** de maraichage.

IV.4.1 Les cultures maraichères :

Les cultures maraichères porteront sur une superficie de 92 ha. Les espèces préconisées sont notamment la pomme de terre, la carotte, l'ail et l'oignon, la laitue, le melon, le haricot, le concombre et la pastèque.

Pour atteindre de bons rendements, il y a lieu de prévoir l'opération culturale ci-après :

- Traitements phytosanitaires.
- Apport d'engrais et de fumure organique surtout le fumier.
- Lutte contre les mauvaises herbes.
- Assolement judicieux.

Enfin on préconise une culture maraichère tardive pour éviter une éventuelle nuisance de la gelée.

IV.4.2 Les cultures arboricoles :

Elle concerne une superficie de 138 ha et sera conduite en intensif avec une densité de 400 plants à l'hectare afin d'optimiser la production.

Les espèces arboricoles proposées sont celles qui répondent au mieux aux conditions du milieu naturel, en particulier la fréquence des gelées, la qualité de froid, les conditions de sol et d'altitude.

Bien étendu, la réussite des plantations quel que soit l'espèce préconisée se basera sur :

- une bonne amélioration foncière du sol de façon obtenir une profondeur bien exploitable le système racinaire.
- une fumure de fond lors l'ouverture des trous a raison de 6 Kg de fumure organique et 2 Kg d'engrais binaire.
- la confection des cuvettes de 40 a50 cm de diamètre.
- le tuteurage et surtout l'arrosage des plants a raison de 10 à 20 l/plant juste après la mise en terre.

Chapitre V : Dimensionnement et évaluation
du coût du système optimisé.

V. Dimensionnement et évaluation du coût du système optimisé :

Dans ce chapitre, nous proposons de quantifier les besoins en eau des cultures sur la base des informations définies auparavant, telle que, les doses et dates d'arrosage qu'il faut appliquer aux cultures au cours de toute leurs périodes de végétation et ce dans le but de compenser le déficit hydrique dans la couche active du sol.

Les besoins d'eau pour l'irrigation dépendent du type de culture, de la méthode d'irrigation et des facteurs météorologiques (la température, l'humidité, la vitesse du vent, l'évapotranspiration du sol, et la saison de l'année en question).

V.1 Besoin en eau des cultures :

V.1.1 Exigence culturelle :

Les types des cultures cibles pour notre projet, sont des cultures les plus fréquentes dans la région de SIDI EL DJILLALI, car elles supportent les contraintes climatiques et les contraintes liées au sol.

Cinq types de cultures (pêche, olive, figue, tomate et pomme de terre) sont pratiquées dans le périmètre d'étude (voir tableau V.1 et figure V.1).

Tableau V. 1: Coefficient de culture pour chaque culture [50].

| Type de culture | Pécher | Olivier | Figuier | Abricotier | Prunier |
|-----------------|--------|---------|---------|------------|---------|
| Septembre | 0.20 | 0.90 | 0.40 | 0.20 | 0.6 |
| Octobre | / | 0.60 | 0.20 | / | 0.4 |
| Novembre | / | / | / | / | / |
| Décembre | / | / | / | / | / |
| Janvier | / | / | / | / | / |
| Février | / | / | / | / | / |
| Mars | 0.25 | / | / | 0.25 | / |
| Avril | 0.40 | 0.60 | 0.20 | 0.40 | / |
| Mai | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.6 |
| Juin | 0.80 | 0.60 | 0.80 | 0.80 | 0.9 |
| Juillet | 0.90 | 0.80 | 0.90 | 0.90 | 0.9 |
| Août | 0.40 | 0.80 | 0.90 | 0.40 | 0.9 |

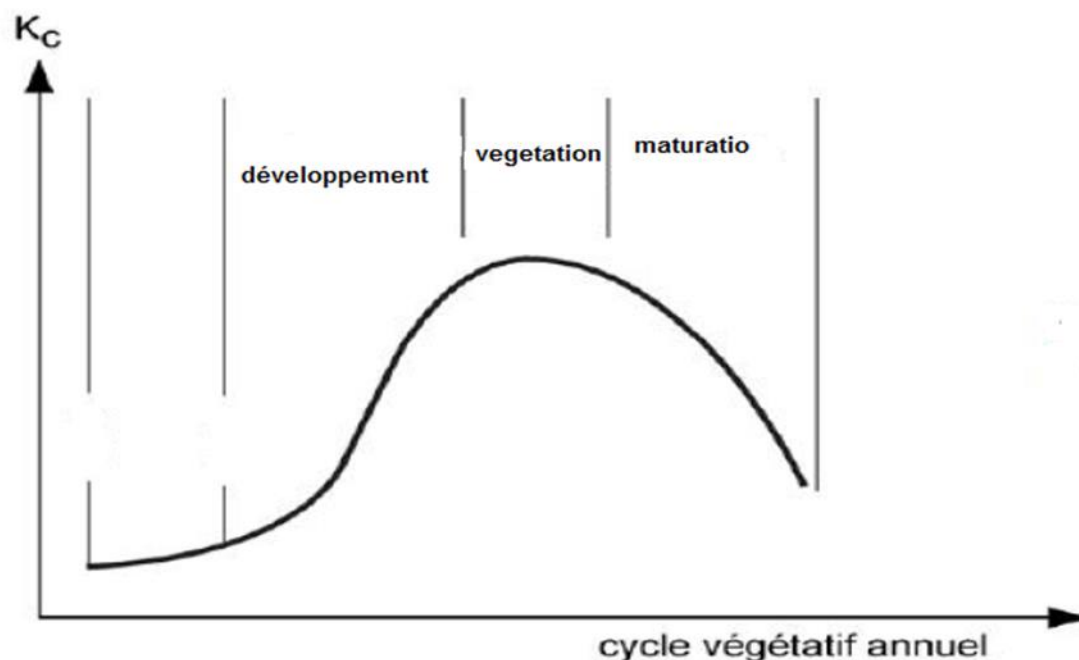


Figure V. 1: La variation de Kc [51].

- **Profondeur utile :**

La connaissance de la profondeur du système racinaire est très importante, car c'est elle qui délimite la profondeur de sol potentiellement utilisable à l'alimentation hydrique et minérale. Elle est particulièrement utile dans la modélisation et pour le raisonnement de la fertilisation et de l'irrigation.

Elle correspond à la profondeur d'enracinement de la culture limitée elle-même par la profondeur du sol (et éventuellement du sous-sol). Les plantes ont des comportements d'enracinement différents

Les tableaux V.2 et V.3 résument les profondeurs d'enracinement des cultures cultivées à Sidi Mokhfi.

Tableau V. 2: Profondeur utile pour les cultures existant en (mètre).

| Pécher | Olivier | Abricotier | Figuier | Prunier |
|--------|---------|------------|---------|---------|
| 1.00 | 1.20 | 1.00 | 1.20 | 1.50 |

Tableau V. 3: résume les RU et Rfu dans la zone d'étude

| | Pécher | Olivier | Abricotier | Figuier | Prunier |
|----------|--------|---------|------------|---------|---------|
| RU(mm) | 52.16 | 62.7 | 52.16 | 62.7 | 78.25 |
| RFU (mm) | 34.77 | 41.7 | 34.77 | 41.7 | 52.16 |

V.1.2 Calcul des besoins en eau des cultures :**V.1.2.1 Traitement des données pluviométriques :**

L'analyse statistique a été faite Pour déterminer la fraction des pluies qui contribue effectivement à l'alimentation d'une culture afin d'estimer les besoins en eau d'irrigation cette dernière. Les précipitations que l'on doit introduire dans le bilan hydrique sont celles qui correspondent en général à une fréquence de 80 %.

❖ Précipitation efficace (utile) :

La précipitation efficace (utile) se détermine grâce à la formule suivante :

$$Pu(mm) = 0.8 \times P(80\%) \dots\dots\dots(V.1)$$

Avec :

0.8 : coefficient d'efficacité

P (80%) : la précipitation de fréquence 80 %.

L'étude statistique et les ajustements aux lois normales et log normal (Lois qui s'adaptent le mieux aux valeurs moyennes) à l'aide du logiciel « Rainbow » (analyse de la fréquence et de la Probabilité, traçage des données hydrologiques, test d'homogénéité des enregistrements Hydrologiques) nous a permis de déterminer mois par mois, la P(80%) correspondante en se basant sur la lois statistique qui d'adapte le mieux.

Cette méthode de calcul de la pluie utile a été suivi mois par mois sur la série des données de quatorze ans (2000-2014), les résultats obtenus sont résumés dans le tableau V.4 suivant :

Tableau V. 4: Coefficients de corrélation et valeur de pluie utile.

| | R ² (loi normale) | P (80%) mm | R ² (log normale) | P (80%) mm | P (80%) adoptée mm | Pu (mm) |
|---------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|--------------------|---------|
| Sept | 0.92 | 0 | 0.97 | 5.6 | 5.6 | 4.48 |
| Oct | 0.95 | 16.6 | 0.83 | 10.4 | 16.6 | 13.28 |
| Nov | 0.69 | 19.7 | 0.89 | 25.9 | 25.9 | 20.72 |
| Déc | 0.69 | 8.1 | 0.93 | 15.6 | 15.6 | 12.48 |
| Jan | 0.91 | 14.5 | 0.84 | 12.1 | 14.5 | 11.6 |
| Fév | 0.93 | 25.6 | 0.76 | 19.3 | 25.6 | 20.48 |
| Mars | 0.86 | 14.5 | 0.94 | 15.2 | 15.2 | 12.16 |
| Avril | 0.86 | 8.5 | 0.97 | 11.3 | 11.3 | 9.04 |
| Mai | 0.89 | 5 | 0.97 | 6.4 | 6.4 | 5.12 |
| Juin | 0.82 | 0 | 0.94 | 0 | 0 | 0 |
| Juillet | 0.80 | 0 | 0.92 | 0 | 0 | 0 |
| Aout | 0.60 | 0 | 0.97 | 0 | 0 | 0 |

V.1.2.2 Evapotranspiration :

La connaissance des paramètres environnementaux (température, humidité relative de l'air, vent, irradiation solaire, etc.) est nécessaire pour la programmation de l'irrigation car ces variables influent sur la transpiration et l'évaporation de l'eau. Ce phénomène définit le passage progressif de l'état liquide à l'état gazeux.

La fraction des molécules composant le liquide est la quantité de matière sous forme gazeuse qui définit la pression de vapeur saturante qui dépend de la température. [41].

La notion d'évapotranspiration potentielle (ETP) est couramment opposée à l'évapotranspiration réelle (ET ou ETR). L'évapotranspiration réelle désigne la quantité exacte d'eau évaporée par une couverture végétale réelle. C'est une donnée impossible à mesurer à l'échelle d'une parcelle ou d'une région. À l'opposé, l'évapotranspiration potentielle est une valeur calculée par des formules [42].

Le calcul de l'ETP se fait principalement par les formules empiriques telles que :

➤ **Formule de Thornthwaite [43] :**

Elle consiste à calculer à chaque mois l'évapotranspiration mensuelle en utilisant la formule suivante :

$$ETP = 1.6K \left(\frac{10t}{i} \right) \dots \dots \dots (V.2)$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle (mm/j)

t : température moyenne mensuelle du mois considéré en °C

I : somme des 12 indices mensuels $i = \frac{t}{5} \dots \dots \dots (V.3)$

K : coefficient de correction en fonction de l'altitude et de la durée de jour.

➤ **Formule de Baney-Criddle [43]:**

Cette formule prend en considération, la température, la durée de jour, qui est en fonction de la culture, et de la zone climatique. La formule est comme suite :

$$ETP = K \times P \times (0.4572t + 8.128) \dots \dots \dots (V.4)$$

Avec :

P : pourcentage de la durée moyenne du jour en fonction de la durée moyenne annuelle

t : température moyenne mensuelle en °C

$$K = Kt + Kc \dots \dots \dots (V.5)$$

Kt : coefficient climatique en fonction de la température donné par un tableau ;

Kc : coefficient de la culture qui tient compte du stade de croissance du plante ;

➤ **La Formule de Penman [43] :**

Pour calculer l'ETP au pas de temps journalier, il est préférable d'utiliser la formule de Penman-Montetth et prendre en compte l'effet de la turbulence due au vent.

La formule est la suivante :

$$ETP = P^*(t) \frac{Rn}{L} + \gamma \frac{Ea}{P(t) + \gamma} \dots \dots \dots (V.5)$$

Avec :

Rn : rayonnement net « climatique »

Ea : pouvoir évaporant de l'air, fonction du vent et du déficit de saturation de l'air.

L : chaleur latente de vaporisation (2,5. 10⁶ J/Kg)

γ : constante psychrométrique (0,65 hPa / °C)

P* (t) : valeur de la dérivée de la fonction de pression partielle de vapeur d'eau saturante en fonction de la pression partielle de vapeur d'eau en fonction de la température, pour la Température de l'air T [52].

➤ **Formule de Turc [43] :**

Cette formule est présentée sous la forme :

$$ETP = 0.013 \times J \times (Rg + 50) * \left(\frac{T}{T+15} \right) \times \left(1 + \frac{50-hr}{70} \right) \dots \dots \dots (V.6)$$

✓ J : nombre de jours dans le moi

✓ T : température moyenne sur le mois (C°)

✓ Rg : rayonnement solaire moyen (ici mesuré) en cal/cm²/jour.

✓ hr% : humidité relative

L'évapotranspiration calculée :

Le calcul de l'évapotranspiration de référence est réalisé à l'aide d'un logiciel **CROPWAT 8**

- **Logiciel CROPWAT :**

Le CROPWAT est un logiciel d'aide à la gestion de l'irrigation. Il a été mis au point par la FAO en 1992, basé sur la formule de Penman - Monteith modifiée.

Ce logiciel a été conçu dans le but de calculer l'évapotranspiration, les besoins en eau des cultures et plus particulièrement la conception et la gestion de dispositifs d'irrigation. Il est également utilisé pour déterminer le rendement agricole

Il offre également la possibilité de développer un calendrier d'irrigation 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.

Les résultats obtenus par le logiciel CROPWAT sont présentés dans la figure V.2

| Month | Min Temp °C | Max Temp °C | Humidity % | Wind m/s | Sun hours | Rad MJ/m ² /day | ETo mm/day |
|----------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------------|-------------------------------|---------------|
| January | 7.4 | 10.8 | 69 | 2.8 | 6.5 | 10.8 | 1.66 |
| February | 6.3 | 12.6 | 68 | 3.9 | 7.5 | 14.0 | 2.25 |
| March | 10.6 | 14.6 | 58 | 5.9 | 7.7 | 17.3 | 3.70 |
| April | 12.5 | 17.9 | 49 | 3.8 | 9.3 | 22.0 | 4.66 |
| May | 16.3 | 21.9 | 46 | 3.6 | 9.6 | 23.9 | 5.66 |
| June | 21.8 | 26.9 | 37 | 6.5 | 10.6 | 25.8 | 8.82 |
| July | 25.7 | 30.0 | 25 | 6.2 | 10.9 | 25.9 | 10.63 |
| August | 26.0 | 30.1 | 29 | 6.7 | 9.9 | 23.3 | 10.39 |
| September | 21.7 | 25.7 | 41 | 4.8 | 8.9 | 19.6 | 6.79 |
| October | 16.5 | 22.2 | 55 | 4.3 | 7.5 | 14.8 | 4.37 |
| November | 11.0 | 16.5 | 63 | 5.1 | 6.7 | 11.4 | 2.95 |
| December | 8.4 | 12.7 | 70 | 2.5 | 6.1 | | |
| Average | 15.3 | 20.2 | 51 | 4.7 | 8.6 | 19.0 | 5.63 |

Figure V. 2: Evaluation de l'ET0 par (CROPWAT 8)

Tableau V. 5: Les résultats de l'évapotranspiration potentielle obtenus par la formule de Turc

| Mois | Jours | T (c°) | Rg (cal/cm ² /j) | Hr (%) | ETP (mm/mois) |
|---------|-------|--------|-----------------------------|--------|---------------|
| Jan | 31 | 9,4 | 389,9 | 69,3 | 49,46 |
| Fev | 28 | 10,15 | 407,1 | 68,1 | 49,78 |
| Mars | 31 | 13,16 | 573,8 | 58,8 | 102,71 |
| Avril | 30 | 15,5 | 615 | 49,1 | 133,49 |
| Mai | 31 | 19,26 | 637,3 | 46,7 | 163,05 |
| Juin | 30 | 24,5 | 642,5 | 37,6 | 197,18 |
| Juillet | 31 | 28 | 654,8 | 25,9 | 248,62 |
| Aout | 31 | 28,2 | 612,8 | 29,8 | 224,67 |
| Sep | 30 | 23,5 | 494,6 | 41,5 | 145,38 |
| Oct | 31 | 19,5 | 486,7 | 55,5 | 112,64 |
| Nov | 30 | 13,2 | 357,4 | 63,5 | 60,02 |
| Déc | 31 | 10,5 | 376 | 70,2 | 50,29 |

Tableau V. 6: Comparaison des résultats de la formule de Turc et Penman.

| | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Juillet | Aout | Sept | Oct | Nov | Déc |
|-------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|
| F de Turc | 49.46 | 49.78 | 102.71 | 133.49 | 163.05 | 197.18 | 248.62 | 224.67 | 145.38 | 112.64 | 60.02 | 50.29 |
| F de Penman | 51.46 | 63 | 114.7 | 139.8 | 175.46 | 264.6 | 329.53 | 322.09 | 203.7 | 135.47 | 88.5 | / |

Remarque :

Les valeurs d'évapotranspiration de la formule de Turc elles sont plus petites de la formule de Penman. Donc la méthode utilisée dans vos calculs est méthode de turc

V.1.2.3 Evaluation Théorique :

Dans des conditions optimales de l'approvisionnement en eau. Nous comparons la quantité d'eau disponible naturellement pour les végétaux et les prélèvements de ces mêmes végétaux supposés.

Besoins nets = Prélèvement – Fraction des précipitations stockée dans la zone racinaire – Réserve éventuelle

$$\text{Besoin net} = ETM - Pu - X \cdot RFU \dots \dots \dots (V.7)$$

En manière d'irrigation, on cherche à placer les plantes dans des conditions de production optimales et on base d'irrigation sur la valeur de l'évapotranspiration maximale ETM.

$$ETM = Kc \times ETP \dots\dots\dots (V.8)$$

L'ETP : L'évapotranspiration de référence en (mm/mois).

Kc : Le coefficient culturel

(Pu) (mm) : Pluie utile

X : Coefficient entre (0 et 1).

RFU : La réserve facilement utilisable).

N.B : 1 mm d'eau de pluie tombé sur une superficie de 01 hectare correspond à 10 m³

➤ **Dose d'arrosage (dose nette) :**

La dose pratique d'arrosage, dans le cas d'une irrigation localisée, est donnée par la

$$Dp(mm) = RFU(mm) \dots\dots\dots (V.9)$$

Fréquence des arrosages N :

La fréquence d'arrosage est donnée par le rapport entre les besoins et la dose pratique :

$$N = \frac{Beir(mm)}{Dp(mm)} \dots\dots\dots (V.10)$$

N est une valeur arrondie

La dose réelle d'arrosage :

$$Dr = \frac{Beir(mm)}{N} \dots\dots\dots (V.11)$$

Dose brute : La dose brute étant donnée par :

$$Dose\ brute = \frac{Dr}{R \times Cu} \dots\dots\dots (V.12)$$

Avec : R est le rendement d'irrigation pris égal à 90 %

Cu : Coefficient d'uniformité d'arrosage

Évaluation du débit de pointe :

Le calcul des besoins en eau permettra la détermination débits de pointe de champ. Le débit de point est en général basé sur la satisfaction des besoins en eau de la culture la plus exigeante dans la période ou la consommation est maximale.

Le débit fictif est calculé à partir de fonction suivante.

$$Dfc = \frac{Beir(m^3/ha)}{Nj(s)} \dots\dots\dots (V.13)$$

Avec :

N_j : Nombre de jour du mois considéré**Tableau V. 7:** Besoins en eau d'irrigation des pêcher /abricot

| Culture | Pêcher/abricot | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|----------------|--------|
| Mois | Sept | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Juillet | Aout |
| P (80%) | 5,60 | 16,6 | 25,9 | 15,6 | 14,5 | 25,6 | 15,2 | 11,30 | 6,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pu (mm) | 4,48 | 13,28 | 20,72 | 12,48 | 11,60 | 20,48 | 12,16 | 9,04 | 5,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Kc | 0,20 | / | / | / | / | / | 0,25 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 0,90 | 0,40 |
| ETP (mm) | 203,7 | / | / | / | / | / | 114,7 | 139,8 | 175,46 | 264,6 | 329,53 | 322,09 |
| ETM (mm) | 40,74 | / | / | / | / | / | 28,675 | 55,92 | 105,27 | 211,68 | 296,57 | 128,83 |
| ETM-Pu | 36,26 | / | / | / | / | / | 0 | 46,88 | 100,15 | 211,68 | 296,57 | 128,83 |
| Stock d'eau avant | 0 | / | / | / | / | / | 34,77 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Beir (mm) | 1,49 | / | / | / | / | / | 0 | 12,11 | 65,38 | 176,91 | 261,80 | 94,06 |
| Stock apres | 34,77 | / | / | / | / | / | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Beir (m ³ /ha) | 14,9 | / | / | / | / | / | 0 | 121,1 | 653,86 | 1769,1 | 2618,07 | 940,66 |
| Dfc (l/s/ha) | 0,005 | / | / | / | / | / | 0 | 0,046 | 0,24 | 0,68 | 0,97 | 0,35 |
| Rfu (mm) | 34,77 | / | / | / | / | / | 34,77 | 34,77 | 34,77 | 34,77 | 34,77 | 34,77 |
| Dp (m ³ /ha) | 347,7 | / | / | / | / | / | 347,7 | 347,7 | 347,7 | 347,7 | 347,7 | 347,7 |
| N arrosage | 0,042 | / | / | / | / | / | 0 | 0,34 | 1,88 | 5,088 | 7,52 | 2,7 |
| N corrigée | 1 | / | / | / | / | / | 0 | 1 | 2 | 5 | 8 | 3 |
| Dr (mm) | 1,49 | / | / | / | / | / | 0 | 12,11 | 32,69 | 35,38 | 32,72 | 31,35 |
| Brute (m ³ /ha) | 16,5 | / | / | / | / | / | 0 | 134,55 | 363,22 | 393,11 | 363,55 | 348,33 |
| Vj(m ³ /ha) | 0,55 | / | / | / | / | / | 0 | 0 | 23,43 | 65,52 | 93,83 | 33,71 |
| Dfc (mois de pointe) | Juillet | 0,97 | | | | | | | | | | |

Tableau V. 8: Besoins en eau d'irrigation des oliviers.

| Culture | Olivier | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|----------------|---------|
| Mois | Sept | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Juillet | Aout |
| P(80%) | 5,60 | 16,60 | 25,90 | 15,60 | 14,50 | 25,60 | 15,20 | 11,30 | 6,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pu(mm) | 4,48 | 13,28 | 20,72 | 12,48 | 11,60 | 20,48 | 12,16 | 9,04 | 5,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Kc | 0,90 | 0,60 | | | | | | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,80 | 0,80 |
| Etp(mm) | 203,7 | 135,47 | 88,5 | 60,48 | 51,46 | 63 | 114,7 | 139,8 | 175,46 | 264,6 | 329,53 | 322,09 |
| Etm(mm) | 183,33 | 81,282 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 83,88 | 105,27 | 158,76 | 263,62 | 257,67 |
| Etm-Pu | 178,85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 74,84 | 100,15 | 158,76 | 263,62 | 257,67 |
| Stoc d'eau avant | 0 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Beir(mm) | 137,15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33,14 | 58,456 | 117,06 | 221,924 | 215,972 |
| Stock apres | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Beir(m3/ha) | 1371,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 331,4 | 584,56 | 1170,6 | 2219,24 | 2159,72 |
| Dfc(l/s/ha) | 0,52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,12 | 0,21 | 0,45 | 0,82 | 0,80 |
| Rfu(mm)5 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 |
| Dp(m3/ha) | 417 | 417 | 417 | 417 | 417 | 417 | 417 | 417 | 417 | 417 | 417 | 417 |
| N arrossage | 3,28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,79 | 1,40 | 2,80 | 5,32 | 5,17 |
| N corrigée | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 3 | 6 | 6 |
| Dr(mm) | 34,28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33,14 | 29,22 | 39,02 | 36,98 | 35,95 |
| Bbrute(m3/ha) | 380,88 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 368,22 | 324,66 | 433,55 | 410,88 | 399,44 |
| Vj(m3/ha) | 50,79 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12,27 | 21,35 | 43,35 | 79,54 | 77,40 |
| Dfc (mois de pointe=) | Juillet | 0,82 | | | | | | | | | | |

Tableau V. 9: Besoins en eau d'irrigation des figes.

| Culture | Figue | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|----------------|---------|
| Mois | Sept | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Juillet | Aout |
| P(80%) | 5,60 | 16,6 | 25,9 | 15,6 | 14,5 | 25,6 | 15,2 | 11,3 | 6,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pu(mm) | 4,48 | 13,28 | 20,72 | 12,48 | 11,60 | 20,48 | 12,16 | 9,04 | 5,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Kc | 0,40 | 0,20 | / | / | / | / | / | 0,20 | 0,60 | 0,80 | 0,90 | 0,90 |
| Etp(mm) | 203,7 | 135,4 | / | / | / | / | / | 139,8 | 175,46 | 264,6 | 329,53 | 322,09 |
| Etm(mm) | 81,48 | 27,094 | / | / | / | / | / | 27,96 | 105,27 | 211,68 | 296,57 | 289,88 |
| Etm-Pu | 77 | 0 | / | / | / | / | / | 18,92 | 100,15 | 211,68 | 296,57 | 289,88 |
| Stoc d'eau avant | 0 | 41,7 | / | / | / | / | / | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Beir(mm) | 35,3 | 0 | / | / | / | / | / | 0 | 58,45 | 169,98 | 254,87 | 248,11 |
| Stock apres | 41,7 | 41,7 | / | / | / | / | / | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Beir(m3/ha) | 353 | 0 | / | / | / | / | / | 0 | 584,56 | 1699,8 | 2548,77 | 2481,81 |
| Dfc(l/s/ha) | 0,13 | 0 | / | / | / | / | / | 0 | 0,21 | 0,65 | 0,95 | 0,92 |
| Rfu(mm)5 | 41,7 | 41,7 | / | / | / | / | / | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 41,7 |
| Dp(m3/ha) | 417 | 417 | / | / | / | / | / | 417 | 417 | 417 | 417 | 417 |
| N arrossage | 0,84 | 0 | / | / | / | / | / | 0 | 1,40 | 4,07 | 6,11 | 5,95 |
| N corrigée | 1 | 0 | / | / | / | / | / | 0 | 2 | 4 | 6 | 6 |
| Dr(mm) | 35,3 | 0 | / | / | / | / | / | 0 | 29,22 | 42,49 | 36,41 | 41,36 |
| Bbrute(m3/ha) | 392,22 | 0 | / | / | / | / | / | 0 | 324,66 | 472,11 | 404,55 | 459,55 |
| Vj(m3/ha) | 13,07 | 0 | / | / | / | / | / | 0 | 20,95 | 62,95 | 91,35 | 88,95 |
| Dfc (mois de pointe) | Juillet | 0,95 | | | | | | | | | | |

Tableau V. 10: Besoins en eau d'irrigation des pruniers.

| Culture | Prunier | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|----------------|---------|
| Mois | Sept | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Juillet | Aout |
| P(80%) | 5,60 | 16,60 | 25,90 | 15,60 | 14,50 | 25,60 | 15,20 | 11,30 | 6,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pu(mm) | 4,48 | 13,28 | 20,72 | 12,48 | 11,60 | 20,48 | 12,16 | 9,04 | 5,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Kc | 0,60 | 0,40 | / | / | / | / | / | / | 0,60 | 0,90 | 0,90 | 0,90 |
| Etp(mm) | 203,7 | 135,47 | / | / | / | / | / | / | 175,46 | 264,6 | 329,53 | 322,09 |
| Etm(mm) | 122,22 | 54,188 | / | / | / | / | / | / | 105,276 | 238,14 | 296,577 | 289,881 |
| Etm-Pu | 117,74 | 0 | / | / | / | / | / | / | 100,156 | 238,14 | 296,577 | 289,881 |
| Stoc d'eau avant | 0 | 52,16 | / | / | / | / | / | / | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Beir(mm) | 65,58 | 0 | / | / | / | / | / | / | 47,996 | 185,98 | 244,417 | 237,721 |
| Stock apres | 52,16 | 52,16 | / | / | / | / | / | / | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Beir(m3/ha) | 655,8 | 0 | / | / | / | / | / | / | 479,96 | 1859,8 | 2444,17 | 2377,21 |
| Dfc(l/s/ha) | 0,25 | 0 | / | / | / | / | / | / | 0,17 | 0,71 | 0,91 | 0,88 |
| Rfu(mm)5 | 52,16 | 52,16 | / | / | / | / | / | / | 52,16 | 52,16 | 52,16 | 52,16 |
| Dp(m3/ha) | 521,6 | 521,6 | / | / | / | / | / | / | 521,6 | 521,6 | 521,6 | 521,6 |
| N arrossage | 1,25 | 0 | / | / | / | / | / | / | 0,92 | 3,56 | 4,68 | 4,55 |
| N corrigée | 2 | 0 | / | / | / | / | / | / | 1 | 4 | 5 | 5 |
| Dr(mm) | 32,79 | 0 | / | / | / | / | / | / | 47,99 | 46,49 | 48,88 | 47,54 |
| Bbrute(mm/ha) | 36,43 | 0 | / | / | / | / | / | / | 53,32 | 51,65 | 54,31 | 52,82 |
| Vj(m3/ha) | 15,78 | | / | / | / | / | / | / | 17,20 | 68,88 | 87,60 | 85,20 |
| Dfc (mois de pointe) | Juillet | 0,91 | | | | | | | | | | |

Tableau V. 11: Besoins en eau d'irrigation globale

| Mois | Sept | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Juillet | Aout |
|------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| Dfc(l/s/ha) Olive | 0,52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,12 | 0,21 | 0,45 | 0,82 | 0,80 |
| Dfc(l/s/ha) Pêche | 0,005 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,046 | 0,24 | 0,68 | 0,97 | 0,35 |
| Dfc(l/s/ha) Abricot | 0,005 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,046 | 0,24 | 0,68 | 0,97 | 0,35 |
| Dfc(l/s/ha) Figue | 0,13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,21 | 0,65 | 0,95 | 0,92 |
| Dfc(l/s/ha) Prune | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,17 | 0,71 | 0,91 | 0,88 |
| Dfc (total) | 0,18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,044 | 0,22 | 0,63 | 0,92 | 0,66 |
| q net (l/s) | 25,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,10 | 30,46 | 88,04 | 128,2 | 91,71 |
| q brut (l/s) | 28,51 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,78 | 33,85 | 97,82 | 142,5 | 101,9 |
| Dfc brut(l/s/ha) | 0,20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,04 | 0,24 | 0,7 | 1,03 | 0,73 |

Remarque :

Le débit net du périmètre au mois de pointe est calculé avec la formule suivante :

$$q_{net} = \frac{\sum dfc \times Si}{ST} \dots \dots \dots (V.14)$$

Avec :

q_{net} : le débit net.

Dfc : le débit fictif continu de mois de pointe de chaque culture ;

Si : la surface occupée avec chaque culture ;

ST : la surface totale

Du tableau V.11, on tire que le mois **Juillet** est le mois de pointe avec un débit fictif continu qui égale **1,03 l/s/ha**. Ce débit est caractéristique au périmètre de Sidi Mokhfi ; c'est un paramètre très important pour le calcul et le dimensionnement du réseau d'irrigation.

V.1.2.4. Confrontation entre disponibilité en eau et besoins des cultures :

Il existe quatre sources au niveau de Sidi Mokhfi. Pour la suite de nos calculs nous prenons les plus petits débits mesurés (cas le plus défavorable). Ainsi le débit minimum global disponible pour l'irrigation est.

$$Q_{totale} = (10+8+7 +15) = \mathbf{40,00 l/s} \dots \dots \dots (V.14)$$

Par contre, nous avons trouvé que le Dfc du périmètre est égale à 1,03 l/s/ha pour ¼ de la surface agricole qui est 35 ha.

Pour trouver les besoins bruts du périmètre au mois de pointe exprimé en débit continu nécessaire pour l'irrigation, il faut multiplier le Dfc total avec la surface du périmètre.

$$Q_{besoin} = 1,03 \times 35 = \mathbf{36,05 l/s}$$
 qui est inférieur au débit disponible de **40.00 l/s**.

Donc puisque le débit disponible couvre les besoins du mois de pointe, il couvrira facilement les besoins des autres mois.

Donc la confrontation entre les débits des sources d'eau et les besoins nous permet de juger que théoriquement la quantité d'eau disponible peut satisfaire les besoins d'irrigation. C'est à dire que le débit disponible est suffisant si l'on adopte une distribution continue.

V.1.3 Besoins réduits :**V.1.3.1 Choix des goutteurs :**

Nous avons choisi les goutteurs de débit compris entre 01 et 08 l/h fonctionnant sous une pression de 1 bar (charge de 10 m de colonne d'eau) ; les plus fréquemment utilisés.

Le goutteur intégré cylindrique sera choisi car il est plus facile à nettoyer suite au terrain limoneux-Sableuse donc facilement déroulable et enrroulable.

Le choix de débit des goutteurs dépend le volume d'eau journalière, nous fixons des débits déferents et nous avons calculé le volume par jour de chaque débit :

$$V = q \times 24 \dots \dots \dots (V.15)$$

Tableau V. 12: Caractéristiques des goutteurs proposés [54]

| Débit des goutteurs (l/h) | 16 | 20 | 24 | 28 |
|---------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Volume par jour (l/jour) | 384 | 480 | 576 | 672 |

En fonction d'espacement entre les goutteurs et entre rampes que nous proposons une densité de chaque culture (4 goutteurs par arbre). On aura pour chaque goutteur une surface qui va être desservie par ce dernier. Cette surface est calculée par l'équation suivante [51] :

$$S = E \times e \dots \dots \dots (V.16)$$

Alors, si on utilise une dose journalière (mm/jour), elle nous donne un volume :

$$V (\text{mm/jour}) = S \times \text{dose journalière}$$

Ce volume est inférieur à débit délivré par un goutteur de 28 L/h donc nous l'adopterons, pour réduire le nombre de goutteurs et le temps d'arrosage.

Tableau V. 13: Les caractéristiques du Goutteur choisi

| Culture | Débit (l/h) | Espacement entre rampes | Espacement entre goutteurs | Pression (bar) | Cu |
|-----------------|-------------|-------------------------|----------------------------|----------------|------|
| Olivier | 28 | Er = 5 | Eg = 2 | 1 | 0,85 |
| Pécher/Abriocot | 28 | Er=5 | Eg=2 | 1 | 0,85 |
| Figuier | 28 | Er = 5 | Eg=2 | 1 | 0,85 |
| Prunier | 28 | Er=5 | Eg=2 | 1 | 0,85 |

V.1.3.2 Duré d'arrosage :**A. Duré d'arrosage Ta :**

$$Ta = \frac{B_{brut} \times Er \times Eg}{n \times Qg} \dots\dots\dots (V.17)$$

Où : Qg : débit d'un goutteur

n : nombre des goutteurs.

B. La durée quotidienne d'arrosage t :

$$t = \frac{Ta}{T} \dots\dots\dots (V.18)$$

T : Fréquence d'arrosages

Tableau V. 14: Paramètre d'arrosage

| Culture | Pécher / abricot | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|---------|-------|
| Mois | Sept | Oct | Nov | Dec | Jan | Fev | Mars | Avr | Mai | Juin | Juillet | Aout |
| B brute (mm) | 1,65 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13,45 | 36,32 | 39,31 | 36,35 | 34,83 |
| Ta (heures) | 1,29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,51 | 28,37 | 30,71 | 28,40 | 27,21 |
| t (h/jour) | 1,29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,51 | 14,18 | 6,14 | 3,55 | 9,07 |

| Culture | Olivier | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|---------|-------|
| Mois | Sept | Oct | Nov | Dec | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Juillet | Aout |
| B brute (mm) | 38,08 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36,82 | 32,46 | 43,35 | 41,08 | 39,94 |
| Ta (heures) | 31,74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30,68 | 27,05 | 36,12 | 34,24 | 33,28 |
| t (h/jour) | 7,93 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15,34 | 13,52 | 12,04 | 5,70 | 5,54 |

| Culture | Figuier | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-------|-------|---------|-------|
| Mois | Sept | Oct | Nov | Dec | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Juillet | Aout |
| B brute (mm) | 39,22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32,46 | 47,21 | 40,45 | 45,95 |
| Ta (heures) | 32,68 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27,05 | 39,34 | 33,71 | 38,29 |
| t (h/jour) | 16,34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13,52 | 9,83 | 4,81 | 6,38 |

| Culture | Prunier | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-------|-------|---------|-------|
| Mois | Sept | Oct | Nov | Dec | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Juillet | Aout |
| Bbrute (mm) | 36,43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 53,32 | 51,65 | 54,31 | 52,82 |
| Ta (heures) | 28,46 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41,65 | 40,35 | 42,43 | 41,26 |
| t (h/jour) | 14,23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,82 | 10,08 | 8,48 | 8,25 |

Le dimensionnement du réseau d'irrigation localisée nécessite la connaissance de données de base comme la surface de la parcelle, les besoins journaliers et le temps maximum journalier de travail. Le réseau d'irrigation sera installé sur l'ilot alimenté par la borne N°1 dont La surface de l'exploitation est de 35 hectares. Il correspondra aux cultures choisies.

La superficie de l'exploitation est de 1 ha. Sa longueur est de 100 m et sa largeur de 100m. L'étude a défini un nombre de secteur d'arrosage.

Chaque ligne de plante sera irriguée à partir d'une rampe de longueur $L_r=100m$ portant des gouteurs espacés de $E_g=2m$

Nombre de rampe dans chaque poste (N_r) :

$$N_r = \frac{L_p}{E_r} \dots\dots\dots (V.19)$$

Avec : L_p : largeur de chaque poste et E_r : espacement entre ligne

Nombre des gouteurs par poste (N_g) :

$$N_g = \frac{L_p}{E_g} \dots\dots\dots (V.20)$$

Avec : L_p : longueur de parcelle et E_g : espacement entre goutteur

Les résultats de calcul sont présentés dans le **tableau** suivant :

Tableau V.15. Nombre et longueur de rampe par porte rampe et nombre de goutteur

| Cultures | Pèche /abricot / prune/ olive/figue | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|---------|---------|---------|
| | Poste 1 | Poste 2 | Poste 3 | Poste 4 |
| Paramètres | | | | |
| Longueur de chaque rampe (m) | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Nombre de rampe | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Nombre de goutteur/rampe | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Nombre de gouteurs dans chaque poste | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |

V.2 Dimensionnement

V.2.1 Dimensionnement des rampes, porte rampes et tête morte :

Le réseau d'irrigation goutte à goutte proposé pour notre étude se composera d'un forage équipé d'une pompe alimentant un réservoir surélevé. Ce dernier assurera la mise en charge d'un réseau de distribution latérale d'une tête morte, de 4 portes rampes et plusieurs rampes (figure IV.1). Notre périmètre est subdivisé en parcelles identiques (figure IV.2).



Figure V. 3: schéma Le réseau d'irrigation goutte à goutte

Nous considérons comme une conduite assurant un service en route [50], chaque rampe portant 50 goutteurs de 28l/h de débit. Elle sera dimensionnée pour un débit évalué par la relation :

$$\text{Débit : } Q_r = Q_g + 0.55 \times P \dots \dots \dots (V.21)$$

Avec : $P = Q_g \times N_g = 28 \times 50 = 0.39l/s$

$$Q_r = 7.7 \times 10^{-3} + 0.55 \times 0.39 = 0.22 l/s$$

Avec : Q_r : Débit de rampe

Q_g : Débit de goutteur

Diamètre : Nous prendrons en premier $V=1m/s$

$$D_r = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} \dots \dots \dots (V.22)$$

$$D_r = 0,0167 m \approx 17 mm : D_n = 20 mm$$

Calcul de la vitesse :

On calcule la nouvelle vitesse après avoir déterminé le diamètre normalisé **Dn = 20 mm**

$$Vr = \frac{4Q}{\pi Dn^2} \dots\dots\dots (V.23)$$

$$Vr = 0.70 \text{ m/s}$$

Aussi considérer comme une conduite qui assure un débit de route.[41] (tous comme la rampe, Pour calculer le diamètre de la porte rampe la porte rampe)

$$Qpr = Qr + 0.55 \times Pr \dots\dots\dots (V.24)$$

$$Pr = Qr \times Nr \dots\dots\dots (V.25)$$

Avec : Qr : Débit de rampe

Qg : Débit du goutteur

Nr : nombre des rampes

$$Qpr = 2.64 \text{ l/s}$$

Le diamètre normalisé de la porte rampe sera : D= 60 mm

$$V = 0.93 \text{ m/s}$$

Tableau V. 15: Dimensionnement des rampes et portes rampes:

| Paramètre | Rampe | | | | Porte rampe | | | |
|-----------|-------|----------|---------|----------|-------------|-----------|---------|----------|
| | L (m) | Qr (l/s) | Dn (mm) | Vr (m/s) | L (m) | Qpr (l/s) | Dn (mm) | Vr (m/s) |
| Poste 1 | 100 | 0.22 | 20 | 0,70 | 100 | 2,64 | 60 | 0,93 |
| Poste 2 | 100 | 0.22 | 20 | 0,70 | 100 | 2.64 | 60 | 0,93 |
| Poste 3 | 100 | 0.22 | 20 | 0,70 | 100 | 2.64 | 60 | 0,93 |
| Poste 4 | 100 | 0.22 | 20 | 0,70 | 100 | 2.64 | 60 | 0,93 |

Nous déterminons le débit total (Débit de la tête morte) et le débit de chaque parcelle (débit de la porte rampe), à partir du nombre de goutteurs implantés dans chaque parcelle. Le tableau suivant donne les débits pour chaque parcelle.

Tableau V. 16: Débit à apporter pour chaque parcelle

| Parcelle | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------|------|------|------|------|
| Débit (l/s) | 7.77 | 7.77 | 7.77 | 7.77 |

Le débit total sera alors $Q_T = 31$ (l/s) alors nous avons besoin de dimensionner la tête morte

$$D_r = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} \dots \dots \dots (V.26)$$

On pose $V = 1$ m/s

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 31 \cdot 10^{-3}}{1 \times 3.14}} = 0.199 \text{ m} = 199 \text{ mm}$$

Diamètre normalisé : Ø200 mm

$V = 0.99$ m/s vitesse est acceptable puisque : « $0,5\text{m/s} < V < 2,5\text{m/s}$ » [51]

V.2.2 Cote du réservoir :

Le cheminement le plus défavorable est choisi afin de garantir une pression de fonctionnement pour tous les goutteurs et dans toutes les parcelles, (figure IV.4).

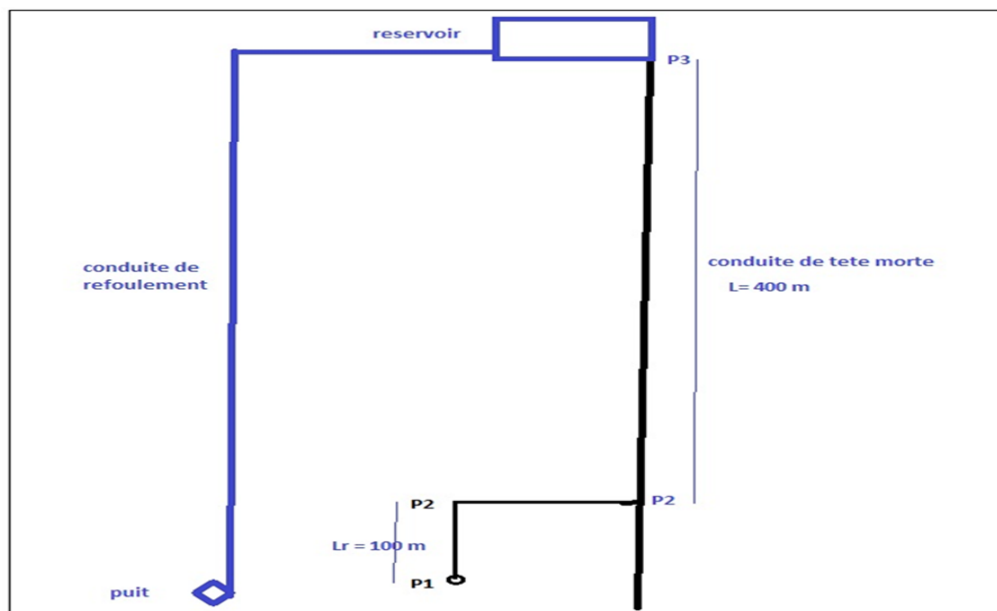


Figure V. 4: le cheminement le plus défavorable dans la parcelle

Appliquons l'équation de Bernoulli entre le point P2 et P1

$$\frac{P_2}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + Z_{p2} = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + Z_{p1} + \Delta h_t \dots \dots \dots (V.27)$$

Avec : (la vitesse $v < 1$ mm/s) donc $\frac{v^2}{2g}$ est négligeable

P1 : pression au niveau du goutteur le plus défavorable est de 1 bar

P2 : pression à la sortie du dernier port rampe.

$$\Delta ht = P2 - P1 \dots \dots \dots (V.28)$$

Avec : $j = 0.024$ m/m (tables de COOLBROOK)

$$\Delta ht = j \times L \dots \dots \dots (V.29)$$

$$\Delta ht = 0.024 \times 100 = 2.4 \text{ m}$$

$P2 = 12.4$ m

Nous appliquons l'équation de Bernoulli entre le point P3 et P2

$$\frac{P3}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + Zp3 = \frac{P2}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} Zp2 + \Delta ht \dots \dots \dots (V.30)$$

$\frac{v^2}{2g}$ Négligeable car $v3=0$

$$\Delta ht = j \times L$$

$$\Delta ht = 0.041 \times 400 = 16.8 \text{ m}$$

$$h = \frac{p2}{\rho g} + \Delta ht$$

$$h = 12.4 + 16.8 = 29.6 \text{ m}$$

$$\mathbf{h \approx 30 \text{ m.}}$$

Le réservoir de mise en charge doit être placé à une hauteur supérieure ou égale à 30 m. donc pour assurer une mise en charge adéquate de notre réseau de distribution. Un réservoir surélevé doit être érigé au haut de l'exploitation, dont la hauteur de son radier doit être portée à une hauteur de 7m par rapport au sol soit à la côte 1264m. (Figure V.5)

$$Z3 = 1264 \text{ m}$$

$$Z1 = 1241 \text{ m}$$

$$Z3 - Z1 = 23 \text{ m}$$

$$30 - 23 = 7 \text{ m (hauteur élévation du réservoir au radier + la hauteur d'eau remplie)}$$

Finalement sa hauteur, nous permettra d'assurer une pression minimale de 1 bar aux goûteurs les plus mal placés pour chaque parcelle.



Figure V. 5: profil de dénivelée de la conduite de distribution (tête morte)

V.2.3 Dimensionnement du réservoir :

Le stockage de l'eau sera effectué dans un réservoir. La capacité de ce dernier est calculée pour répondre au besoin d'eau. Rappelons que le débit journalier nécessaire pour couvrir les besoins, est de 31 l/s. Nous proposerons un débit de 36 l/s qui supérieur au débit demandé.

$$Q_s = Q_p - Q_d \dots \dots \dots (V.31)$$

Avec :

Qs : débit stocké

Qp : débit pompé

Qd : débit distribuée

D'où
$$Q_s = 5 \text{ l/s}$$

A partir de durée de pompage de 6h 33min, le débit pompé peut couvrir les besoins pendant une durée de 5h 42min. Donc il restera 51min du pompage qui donne un volume de 110 m³. Pendant la distribution le volume stocké est de 102.6 m³, donc nous aurons besoin d'un réservoir d'une capacité minimale de 213m³.

Nous prenons au minimum un volume de 250 m³, pour laisser un espace de stockage supplémentaire.

V.2.4 Dimensionnement de la conduite de refoulement :

Nous avons dimensionné la conduite de refoulement par la formule de BRESSE et celle de BONIN. Nous choisirons le diamètre D_n qui donne une vitesse proche de 1 m/s [52].

Nous utiliserons un débit de 36 l/s pour le refoulement au réservoir.

$$D = 1.5 \times (Q^{\frac{1}{2}}) \dots \dots \dots (V.32)$$

$$\mathbf{D=284, D_n= 300 \text{ mm.}}$$

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 36 \cdot 10^{-3}}{3.14 \times 0.3^2} = 0.50 \text{ m/s}$$

La Formule de Bonnin :

$$D = Q^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (V.33)$$

$$\mathbf{D=189 \quad D_n= 200 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{V= 1.14 \text{ m/s}}$$

Le diamètre $D_n = 200$ mm qui assurera la vitesse convenable « $0,5 \text{ m/s} < V < 2,5 \text{ m/s}$ ».

V.2.5 Détermination de la hauteur manométrique totale :

$$H_{mt} = H_g + \Delta h_t \dots \dots \dots (V.34)$$

HMT : hauteur manométrique totale ;

H_g : hauteur géométrique d'aspiration et du refoulement, dans notre cas nous proposons une pompe immergée, donc la hauteur d'aspiration est égale à zéro (0).

Δh_t : Perte de charge totale. Elle est égale à la somme des pertes de charge linéaires et singulières : $\Delta h_t = \Delta h_l + \Delta h_s \dots \dots \dots (V.35)$

$$\text{Avec : } \Delta h_s = 15\% \Delta h_l \dots \dots \dots (V.36)$$

$$\Delta h_t = j \times L \dots \dots \dots (IV.37)$$

Avec : j : perte de charge unitaire

On dispose d'un débit à refouler de 36 (l/s) et d'un diamètre normalisé de 200 (mm). La perte de charge unitaire est déterminée à partir des tables de COOLBROCK WHITE [54]

On prend $K=2.10^{-3}$ on obtient $j= 0.00631 \text{ m/m}$

Avec : L : longueur entre les puits et le réservoir, $L=400 \text{ m}$

$$\mathbf{\Delta h_l = 0,00631 \times 400 = 2.524 \text{ m}}$$

$$\mathbf{\Delta h_s = 0,15 \times 2.524 = 0.38 \text{ m}}$$

$$\Delta H_t = 2,524 + 0,38 = 2,90 \text{ m}$$

D'où

$$H_{mt} = 70 + 30 + 2,90 \approx 103 \text{ m}$$

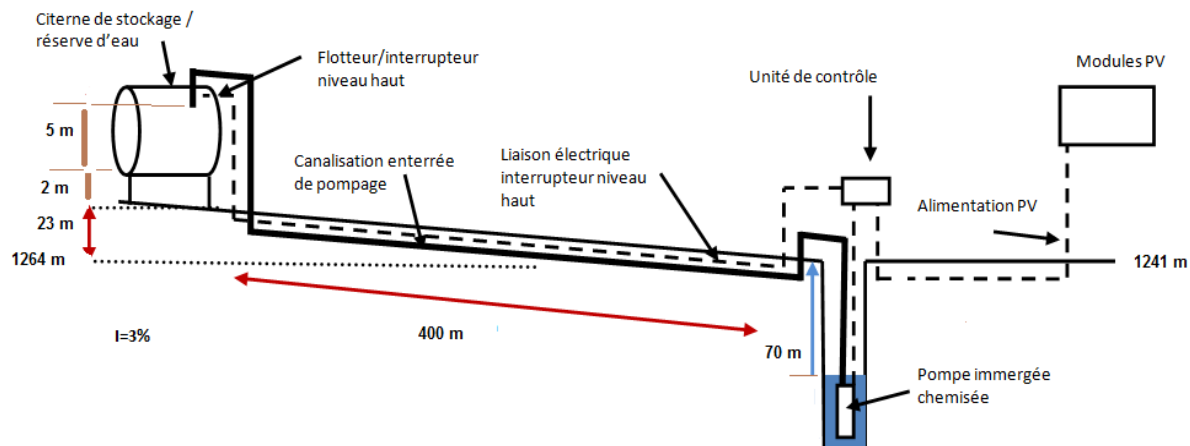


Figure V. 6: Schéma Synoptique du système de pompage hydraulique photovoltaïque
(Hauteur manométrique totale)

V.3 Choix de la pompe :

Pour notre étude, le choix de la pompe utilisée est porté sur une gamme de pompes immergées disponible chez le constructeur **Caprari**. Cette gamme est constituée de pompes de dimensions différentes. Chaque type de pompe est disponible avec un nombre de roues afin d'obtenir le point de fonctionnement requis.

Nous choisissons la pompe en fonction du débit et de la hauteur manométrique totale.

- Débit : $Q = 36 \text{ l/s}$
- $H_{mt} = 103 \text{ m}$

Selon le catalogue **Caprari** la pompe immergée de type **P8C/5/30/5A** est capable de refouler le débit nécessaire d'une hauteur manométrique maxi qui dépasse les **100m**. $H_{mt}(Q=0) = 141 \text{ m}$

V.4 Dimensionnement du Générateur Photovoltaïque (PV)

V.4.1 Estimation des besoins énergétiques :

Pour un meilleur rendement de l'énergie solaire disponible nous avons besoin d'une inclinaison optimale du générateur photovoltaïque et de la détermination du mois de dimensionnement.

V.4.1.1 Estimation de l'ensoleillement :

Etant donné que la localité se trouve à **50 Km** de Sebdou, nous considérons pour les calculs les données météorologiques de Sebdou. Pour le dimensionnement, la période retenue sera le mois de juillet qui correspond à une irradiation solaire de **6,548 kWh /m²·jour**.

V.4.1.2 L'orientation et l'angle d'inclinaison :

L'orientation et l'angle d'inclinaison des structures supports doivent optimiser l'énergie incidente sur le générateur solaire durant le mois le plus défavorable. La meilleure orientation correspond toujours à celle de l'azimut du soleil

Il faut incliner les modules d'un angle à peu près égal à la latitude du lieu soit **34°29'43.8"N** qui équivaut **6,764833** en degré décimal. Nous prenons un angle de **10°**, afin d'optimiser l'énergie incidente sur le générateur solaire et de permettre un nettoyage naturel par l'écoulement des eaux de pluie.

Cas considéré : données météorologiques

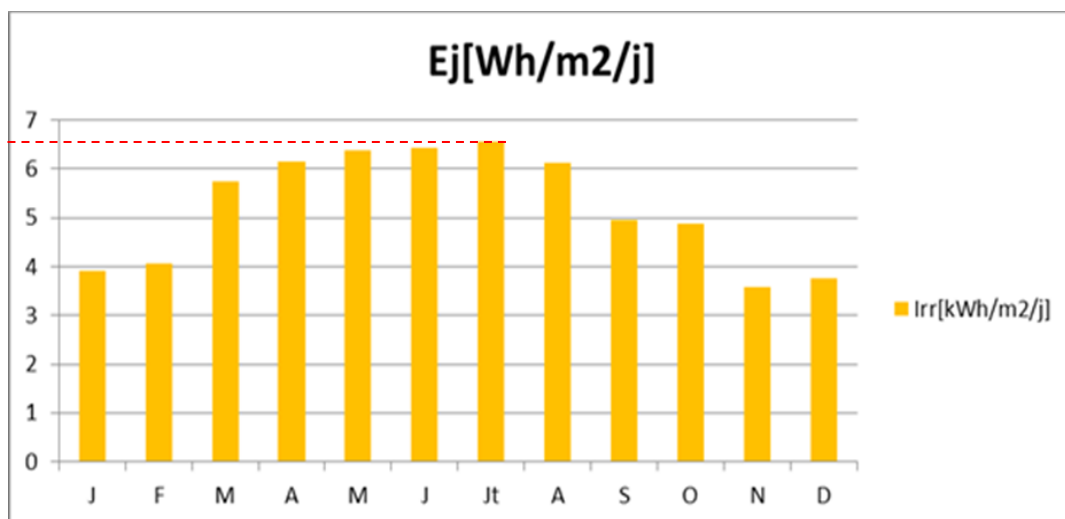


Figure V. 7: ensoleillement moyenne journalière (kWh /m². Jour)

V.4.1.3 Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire

Calcul du besoin journalier théorique : Energie potentielle nécessaire au relevage d'un volume V (m^3) d'eau/ jour

$$Eh = \frac{\rho g V H m t}{3600} \dots\dots\dots (V.38)$$

ρ = la masse volumique d'eau (1000 Kg/ m^3)

g = accélération de pesanteur (9.81 m/s^2)

V = volume d'eau journalière (m^3)

Hmt = hauteur de relevage (m)

N.B : 1Wh=3600 Joule

V.4.1.4 Calcul L'énergie électrique :

L'énergie nécessaire pour soulever une certaine quantité d'eau sur une certaine hauteur donnée pendant une journée est calculée à partir de l'équation suivante :

$$Ee = \frac{Eh}{\eta_{mp} \times \eta_{ond}} \dots\dots\dots (V.39)$$

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

Ou η_{mp} et η_{ond} , sont respectivement, les rendements du groupe motopompe, et de l'onduleur $\eta_{mp}=0,95$ et $\eta_{ond}= 0,96$ [23]

V.4.2 Convertisseur DC/AC (onduleur)

Le choix de l'onduleur solaire se fait en fonction du type d'installation photovoltaïque, de sa puissance de production et du type de consommation de l'énergie produite.

L'onduleur **Effekta** KS-4000DT vous permettra de réinjecter dans votre réseau l'électricité produite par vos panneaux solaires de façon synchronisé. La nouvelle série KS met l'énergie solaire à la portée de tous. Ces onduleurs assurent des performances professionnelles pour les petits systèmes photovoltaïques. Grâce à son écran LCD intégré, le fonctionnement de votre système photovoltaïque est suivi de façon simple et claire. [51]

Tableau V. 17: Données techniques – Onduleur Effekta KS-4000DT

| Type d'onduleur | Puissance MAX | Tension de l'Entrée(V) | Tension de Sortie(V) | Fréquence (Hertz) |
|-------------------|---------------|------------------------|----------------------|-------------------|
| Effekta KS-4000DT | 4000 | 230 | 150-500 | 50 / 60 |

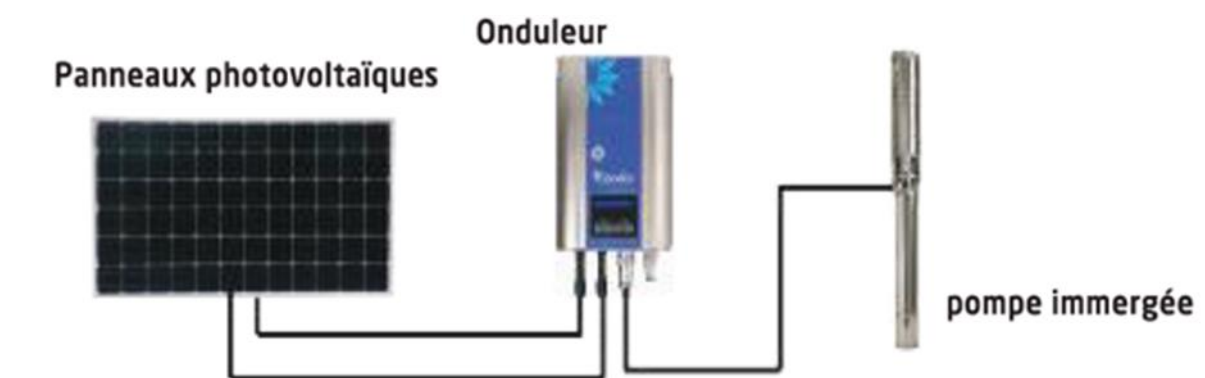


Figure V. 8: Diagramme d'un système PV

V.4.3 Taille du Générateur PV :

Nous avons choisi le panneau photovoltaïque **CEM320M-72** de chez Condor Electronique. La série CEM de Condor fournit une puissance photovoltaïque rentable destinée à un usage général par exploitation directe de charges à courant continu, ou des charges à courant alternatif sur les systèmes munis d'onduleur. Le module est composé de 72 cellules solaires Monocristallines connectées en série pour produire une puissance maximale de 320 W. Les caractéristiques électriques et mécaniques de ce module photovoltaïque sont données dans les deux tableaux suivants :

Tableau V. 18: Caractéristiques électriques et mécaniques du module photovoltaïque CEM320M-72 [53].

| Type de module | Unité | CEM320M-72 |
|---|-------|------------|
| Puissance maximale (P_{max}) | W | 310 |
| Tension à P_{max} (V_{mp}) | V | 36,20 |
| Courant à P_{max} (I_{mp}) | A | 8,56 |
| Courant de court-circuit (I_{cc}) | A | 9,80 |
| Tension à circuit ouvert (V_{co}) | V | 45,6 |
| Coefficient de température de I_{cc} | %/°C | 0,06 |
| Coefficient de température de V_{co} | %/°C | -0,32 |
| Coefficient de température de puissance | %/°C | 0,41 |
| NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) | °C | 45+/- 2 |

| Type de cellule | Cellule monocristalline avec anti réflexion |
|--------------------------------|---|
| Nombre des cellules par module | 60 cellules (6× 12) |
| Dimensions de la cellule | 165×165 (mm) |
| Dimensions de module | 1956×992×50 mm |
| Poids de module | 23,5 Kg |
| Type de verre | Verre trempé 3,2 mm d'épaisseur |
| Température d'utilisation | -40°C à 85°C |

V.4.3.1 Calcul puissance crête nécessaire :

Selon la puissance demandée par le groupe moteur-pompe et l'irradiation journalière incidente sur le plan du générateur, la puissance nominale, que doit fournir le générateur PV, est calculée par l'expression suivante [54] :

$$P_c = \frac{G}{F_m [1 - \gamma \cdot (T - T_{ref})] G(\beta)} \cdot \frac{E_h}{\eta_{Mp} \times \eta_{ond}} \dots \dots \dots (V.40)$$

Avec :

G : L'éclairement dans les conditions CSM : **G=1000 Wh/m²/j**.

F_m : Facteur de couplage, défini 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. Il traduit l'influence des pertes par les deux résistances R_s et R_{sh}.

γ : Coefficient de température des cellules. **γ** prend des valeurs entre **0,004** et **0,005** pour des modules au silicium mono et poly cristallin, et entre 0,001 et 0,002 pour des modules au silicium amorphe.

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

Pour notre cas on a pris la température moyenne la plus élevée : T (mm)= 35°C

T_{ref} : La température de référence, 298k (25°C).

E_h : Énergie hydraulique [Kwh/j].

T : Température moyenne journalière des cellules.

G(β) : L'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison choisie. Pour notre cas : **G(β)= 6548 Wh/m²/j** [52].

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

F_m=0.69

$$P_c = \frac{1000}{0.69[1 - 0.004 \cdot (35 - 25)]6548} \times \frac{12522.31}{0.96 \times 0.95}$$

Pc=3166 w

V.4.3.2 Nombre de modules

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

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

Avec :

P_C : La puissance crête du générateur.

P_M : La puissance du module PV.

N_M= 9.89 Soit 10 modules

V.4.3.3 Nombre de modules en série :

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

$$N_{ms} = \frac{V_{ch}}{V_m}$$

Avec :

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

V_M : La tension nominale du module.

N_{ms}=5,04 soit 5 modules en série

V.4.3.4 Nombre de modules en parallèle :

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

$$N_{mp} = \frac{I_m}{I_s}$$

I_m : Le courant nominal de la charge (l'onduleur)

I_s : Courant à puissance maximale (I_{max})

$$I_m = \frac{P_{max}}{V}$$

$$I_m = \frac{4000}{320} = 12.5 \text{ A}$$

$$N_{mp} = \frac{12.5}{9.80} = 1.27$$

$N_{mp} = 1.27$ soit 2 modules en parallèle

Le générateur photovoltaïque à installer sera constitué de 10 modules de 320W et 36 V chacun où deux branches de 5 modules en série chacune mises en parallèle (Fig. V.9).

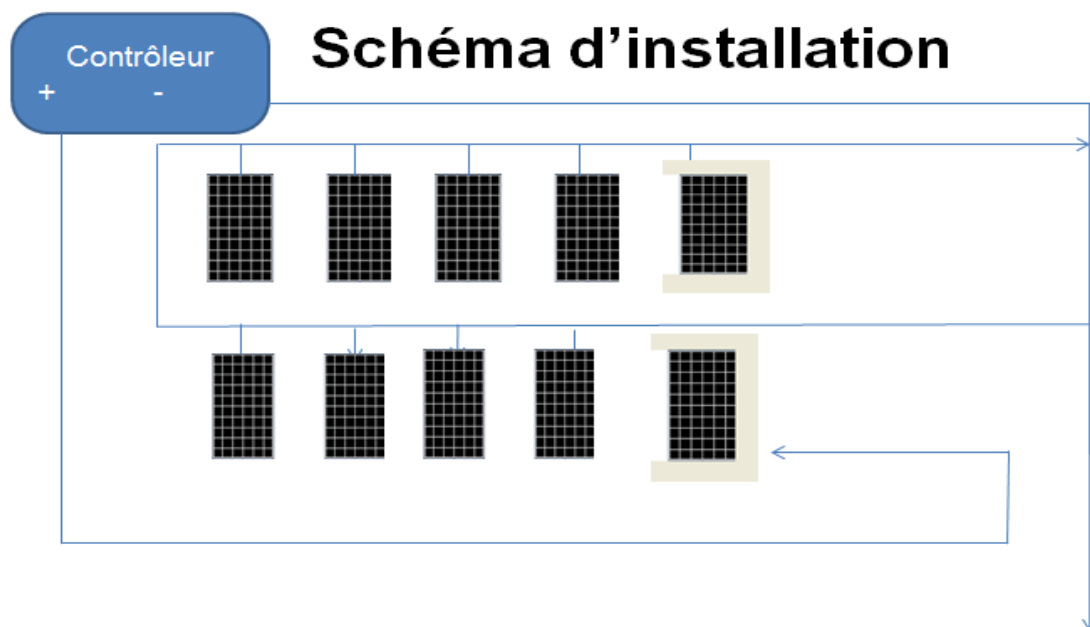


Figure V. 9: Schéma d'installation.

V.5 Analyse économique et financière des systèmes de pompage photovoltaïque :

Cette analyse permet une évaluation des coûts inhérents aux installations de pompage. Les principaux coûts énumérés sont : le coût d'investissement, le coût de remplacement, les coûts d'entretien et de maintenance. Ceci permettrait de sélectionner la meilleure solution énergétique à adopter en termes de coût.

Il faudrait savoir qu'une étude sur la fiabilité du système énergétique étudié s'impose en vue de son implantation sur un site isolé.

L'objectif de notre étude consiste à évaluer les coûts représentatifs d'un système de pompage photovoltaïque installé dans la localité de SIDI MOKHFI. Cette étude aboutira à une

estimation du coût du mètre cube d'eau pompée par notre système de pompage photovoltaïque.

D'autres informations très importantes constituent des critères de choix, à savoir :

- Le coût du système photovoltaïque sur sa durée de vie,
- Le coût de l'énergie consommée par l'utilisateur sur toute sa durée.

Le coût du kWh consommé dépendra des profits engendrés mais également de l'énergie photovoltaïque consommée par l'utilisateur.

V.5.1 Coût du 1 m³ d'eau :

Le calcul du coût d'un système photovoltaïque requiert la connaissance des éléments suivants [59] [60] :

- La durée de vie,
- L'investissement initial,
- Les coûts de maintenance annuels relatifs au système photovoltaïque,
- Les coûts de remplacements des différents sous-systèmes,

Tableau V. 19: Coût total de l'investissement

| Nature de l'investissement | Montant (DA) | Durée de vie (ans) | Amortissement (DA) | Coût Entretien (DA) |
|--|------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Générateur PV | 450 000 | 20 | 22 500 | 9 000 |
| Motopompe | 12 000 | 7 | 1 715 | 1 715 |
| Onduleur | 280 000 | 5 | 56 000 | 28 000 |
| Puits | 2 250 000 | 20 | 112 500 | 4 500 |
| Génie civil | 700 000 | 20 | 35 000 | 1 400 |
| Divers accessoires (Câbles électriques, conduites d'eau, composants électroniques, etc.) | 1 500 000 | 5 | 300 000 | 3 000 |
| Total | 2 642 000 | / | 400 215 | 46 615 |

Ce qui fait un total de **3 088 830 DA**.

Pour calculer le coût de 1 m³ d'eau pompé nous avons utilisé l'équation suivante :

$$\text{Coût}(DA/m^3) = \frac{\text{Coût global}}{\text{Besoins moy annuels}}$$

Le coût global annuel de système photovoltaïque étudié est de :

$$\text{Coût global} = \mathbf{446\ 830\ DA}.$$

Par contre les besoins moyens annuels en eau sont de :

$$\text{Besoins moyens annuels} = 267\,878 \text{ m}^3/\text{ans}.$$

D'où on a :

$$\text{Coût de } 1 \text{ m}^3 \text{ d'eau} = 1.67 \text{ DA}$$

V.5.2 Coût de l'énergie consommée :

On utilise deux paramètres qui caractérisent tout système de pompage dans un réseau :

Le Débit (Q) et la Hauteur Manométrique Totale (HMT).

La puissance absorbée sur l'arbre de pompe est alors donnée par la formule suivante :

$$P(\text{Kwh}) = \frac{Q \cdot g \cdot Hmt}{3600 \times \eta}$$

Q : débit pompé (m³/h)

g : pesanteur (9.81 m/s²)

Hmt : hauteur manométrique total

η : Rendement du point de fonctionnement donné par le constructeur varie entre 0.8 et 0.9

$$P = 0.330 \text{ Kwh}$$

D'après l'étude de synthèse du programme de mise en valeur des terres par les concessions du périmètre Sidi Mokhfi, le coût global de l'électrification des forages de longueur de 4 Km a été estimé à **6 800 000 DA** [B.N.E.D.E.R.]. Dans ce cas de l'électrification par le réseau de Sonelgaz de notre projet s'élèverait à :

$$\text{Coût de } 1 \text{ m}^3 \text{ d'eau} = 25.38 \text{ DA}$$

Nous concluons que le pompage solaire photovoltaïque est plus économique par rapport au pompage par le réseau de Sonelgaz. **Le coût de puisage du m³ d'eau par Sonelgaz est 15 fois plus cher que celui d'un puisage autonome par une centrale Photovoltaïque (PV).**

Tableau V. 20: Devis quantitatif et estimatif de l'irrigation goutte à goutte par pompage PV

| Nature des actions | Unité | Quantité | Coût unitaire (DA) | Montant global (DA) |
|---------------------------|----------------|----------|--------------------|---------------------|
| Plantations arboriculture | ha | 35 | 100 000 | 3 500 000 |
| Forage | Unité | 04 | 2 250 000 | 9 000 000 |
| Equipement de forage | Unité | 04 | 250 000 | 1 000 000 |
| Abris pour forage | Unité | 04 | 75 000 | 300 000 |
| Les conduites | Km | 04 | 2 000 000 | 8 000 000 |
| Réseaux d'irrigation | ha | 35 | 150 000 | 5 250 000 |
| Bassin de | m ³ | 01 | 700 000 | 700 000 |

| | | | | |
|-----------------------------------|----------------|-----------|------------------|-------------------|
| stockage 250 m³ | | | | |
| Système voltaïque | Unité | 01 | 446 830 | 446 830 |
| Electrification | Km | 04 | 1 700 000 | 6 800 000 |
| Brise vent | Km | 10 | 40 000 | 400 000 |
| Aménagement des pistes | Km | 07 | 400 000 | 400 000 |
| Correction torrentielles | m ³ | 3 000 | 3 200 | 9 600 000 |
| Amélioration foncière | ha | 35 | 40 000 | 200 000 |
| Cadastre | ha | 35 | 3 000 | 105 000 |
| Frais de suivi | | | | 176 000 |
| Frais de publication | | | | 130 000 |
| Total général | | | | 46 082 830 |

Pour les chiffres de l'électrification des forages elle est donnée par le bureau national d'étude de développement rural qui couvre tout le périmètre de SIDI MOKHFI.

Par rapport au système voltaïque les chiffres elle est calculés à partir de coûts de volume d'eau pompée en plus les frais d'amortissements et d'entretien

Tableau V. 21: Calendrier des actions de projet

| Actions | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Cadastre | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Forage | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| Electrification des forages | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| Amélioration foncière | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| Installation de brise-vent | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| Aménagement des pistes | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Ouverture des potets | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| Plantation arboriculture | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| Etude de système du projet | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| Réalisation des réseaux | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail a été consacré à une étude analytique des éléments constitutifs d'un système de pompage photovoltaïque pour une irrigation goutte à goutte d'arboriculture dans le site de Sidi Mokhfi, commune de Sidi El Djilali, wilaya de Tlemcen. Ceci nous a permis d'expliquer et justifier le choix de l'énergie solaire.

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie propre, abondante dans les pays du sud, gratuite et inépuisable. C'est d'ailleurs ce qui explique que son utilisation connaît une croissance significative dans le monde.

D'autre part l'Algérie (en particulier les zones du sud et de hauts plateaux) dispose d'un potentiel solaire énorme avec 3900 un ensoleillement de plus de 5KWh/m²/jour avec une durée pas moins de 7h par jour.

Aussi, la demande d'énergie électrique, essentiellement dans les zones rurales et agropastorales ne cessent d'augmenter et en particulier les systèmes de pompage d'eau. Classiquement le pompage de l'eau dans ces régions se faisait par des groupes électrogènes. Cependant, ce système de pompage présente plusieurs contraintes, comme le transport du combustible, l'entretien périodique des moteurs diesel et les augmentations perpétuelles de l'intrant principal qu'est le gasoil. Ceci revient de plus en plus cher aux citoyens.

D'après des études menées par des experts en la matière, la technique de pompage par énergie solaire photovoltaïque semble être très avantageuse et son exploitation est moins couteuse. Même le problème de stockage d'énergie ne se pose pas puisque on puise l'eau au fil du soleil et c'est l'eau qui est stockée puis utilisée gravitairement. La problématique majeure de l'énergie solaire reste le coût de l'investissement initial assez élevé et le nombre d'années avant rentabilité par rapport au pompage par groupe électrogène.

Nous avons présenté les résultats d'une étude qui a conduit au dimensionnement d'une installation de pompage photovoltaïque et d'irrigation goutte à goutte d'arboriculture d'une concession située à Sidi Mokhfi commune de Sidi Djilali (W : Tlemcen). Nous avons présenté les différents éléments de ce système photovoltaïque qui sont : un générateur photovoltaïque, une électropompe et un onduleur.

Selon l'étude, le générateur photovoltaïque adéquat est constitué de 10 modules photovoltaïques en monocristallin d'une puissance crête de 320 WC chacun, montés en parallèle (5x5). Ainsi, la puissance crête du générateur PV est de 4000 Wc.

Références Bibliographiques

- [1] www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-solaire-exploitation, (consulté le 25/01/2020)
- [2] MAITREPIERRE L., DIVOUL L., 2001, le gisement solaire en nouvelle Calédonie, Météo France, Direction régionale de Nouvelle-Calédonie et de Wallis et Futuna, 43 pages
- [3] Bernard J., 2004, Energie solaire, calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing, Collection Technosup, 252 pages
- [4] SAADI S, 2010, Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan, Mémoire de Magister en physique, Spécialité : Energies renouvelables, Université MENTOURI Constantine.
- [5] CHASSERIAU J. M.1984, Conversion thermique du rayonnement solaire ; Edition Dunod,
- [6] BABAARBI K. et BOUSSOUFI C., 2016, Etude comparative des deux convertisseurs énergétiques solaires, Mémoire de Master en mécanique, Option : Energétique, Université Djilali Bounaama, Khemis-Miliana.
- [7] KHEDIM A., 2003, Energie solaire et son utilisation sous forme thermique, Edition OPU (1 janvier 2003).
- [8] BACHSAIS I., SEBBAGH A., 2017, Optimisation d'un système de pompage Photovoltaïque pour l'irrigation d'un hectare de palmier dattier en utilisant les méthodes Méta heuristiques, Mémoire de Master, Option: Energétique, Université M'Hamed Bougara-Boumerdes,
- [9] BOUHEDIBA M., 2012, Simulation thermique d'une maison solaire pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS), Mémoire de Master, option : Simulation Mécanique et Energétique, Université Hassiba Benbouali de Chlef.
- [10] RICAUD A., 2011, Gisement solaire et transferts énergétiques, Master Energies Renouvelables Université de CERGY-PONTOISE, 80 pages.
- [11] HAMDAN A., GAHAL O., 2017, Système photovoltaïque avec pompage solaire a région Ghardaïa, mémoire de master en hydraulique Option: ESA, Université de Tlemcen.
- [12] SADI M. E. A., HAMLAT Z., 2014, L'impact Des Energies Renouvelables Sur Le Réseau Electrique Ouest Algérien 220 KV, Mémoire de master, Option : Energétique, Université de Dr. Tahar Moulay de Saïda.
- [13] Ministère de l'énergie et des mines, 2011, Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Conception et réalisation SATINFO Société du Groupe Sonelgaz Mars 2011.
- [14] www.energies-renouvelables.org, (consulté le 24/11/2020)
-

- [15] RESFA A., 2017, Étude d'un système de pompage photovoltaïque, Mémoire de master, option : Commande de machine électrique, Université Abou Bakr Belkaïd – Tlemcen
- [16] <http://www.banquemondiale.org/>, (consulté le 2 septembre 2018).
- [17] CAPDEROU M., 1987, Atlas solaire de l'Algérie, Tome 1, Vol. 1 et 2 ; OPU
- [18] ZOUAGRI R., 2012, Etude de faisabilité technique et économique des installations solaires thermiques dans un bâtiment, Mémoire magistère en physique, université Hadj Lakhdar Batna.
- [19] <http://lesamisdu barrage.over-blog.fr/article-l-energie-hydraulique-112834957.html> (consulté le 14/02/2020)
- [20] www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/GSR2011_Master18.pdf (consulté le 29/05/2019)
- [21] www.fun-mooc.fr/c4x/ENSMP/76001S02/asset/S1-T1-ST3.pdf (consulté le 21/11/2019)
- [22] HAMIDAT A., 2012, Le solaire thermique en Algérie: Histoire et perspectives, Directeur de la Division Solaire Thermique et Géothermie. Bulletin des Énergies Renouvelables - N° 22
- [23] HADJ ARAB A., 2011, L'Energie Solaire Photovoltaïque, Bulletin des Energies Renouvelables - N° 19 2011
- [24] BOUKHERS D., 2007, Optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au pompage, magister en électrotechnique, Université Mentouri de Constantine.
- [25] LASNIER F. et ANG T., 1980, Photovoltaic Engineering Handbook, IOP Publishing Ltd. 1980.ISBN 0-85274-311-4.
- [26] MEFLAH AISSA, 2011, Modélisation et commande d'une chaîne de pompage photovoltaïque, Mémoire de Magister. En physique, Université de Tlemcen.
- [27] ABBASSEN L, 2011, Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque, Mémoire de magister, Université mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- [38] Mati C. 2012, Simulation et commande optimale d'un système de pompage d'énergie Dans un système photovoltaïque. Mémoire de D.E.A., Université Ferhat Abbas-Setif.
- [29] BESSEM A., 2018, Modélisation et simulation d'un pompage photovoltaïque, Mémoire de master, option : Electromécanique, Université Badji Mokhtar- Annaba
- [30] BEN KHELIFA Z. et DEROUICHE W., 2017, Etude de l'irrigation d'un champ agricole par le pompage photovoltaïque dans la région de Hassi Ben Abdallah OUARGLA, mémoire de master, Spécialité : physique énergétique. Université Kasdi Merbah, Ouargla
- [31] www.total-energie.fr (consulté le 20/12/2019)
-

- [32] LAFIA SEIDOU I., 2017, Etude et dimensionnement des systèmes de pompage photovoltaïque dans les localités rurales du Benin : cas de adjakpata, mémoire de master, Génie électrique et énergétique, Institut International d'Ingénierie, Ouagadougou, BURKINA FASO
- [33] <http://www.parlonsoutils.com/les-moteurs-sans-balais> (consulté le 24/11/2020)
- [34] POIREE M. et OLLIER C., 1986, Irrigation, Les réseaux d'irrigation. Théorie, technique et économie des arrosages, Edition Eyrolles, paris, 408 pages
- [35] www.azprocede.fr/Cours_GC/pompe_volumetrique_liqui vac.html
(Consulté le 12/02/2020)
- [36] BETKA A., 1997, Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque au fil du soleil, Thèse de Magister, université de Biskra.
- [37] https://www.azprocede.fr/Cours_GC/pompe_introduction.html.(Consulté le 24/11/2020)
- [38] : SHRAI M. F., 2001, Optimisation d'une chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque en énergie électrique", Séminaire de l'école doctorale GEET, Université Paul Sabatier, Toulouse. Système PV.
- [39] www.systemoffgrid.com (consulté 25/04/2020)
- [40] french.alibaba.com (consulté 02/02/2020)
- [41] ROCHE M. A., 1982, Évapotranspiration réelle (ETR) de la forêt amazonienne en Guyane. Orstom Série Hydrologie, 19, 37-44
- [42] Hamon, W. R., 2004, Estimation potentiel évapotranspiration, Thèse de Doctorat, Massachusetts Institute of Technologie, USA.
- [43] DJOUALIL A. et BEGGAA A., 2016, projection et performance d'un réseau d'irrigation pour la band vert le long de la route Ouargla- Touggourt (cas du tranche el hadjira), mémoire de master en Hydraulique, option : Génie de l'eau, Université KASDI Merbah - Ouargla
- [44] Conseil oléicole international, <https://www.internationaloliveoil.org/the-new-ioc-website-goes-live/?lang=fr> (consulté le 03/10/2019)
- [45] MASMOUDI CHARFI Chiraz, 2012, Manuel d'irrigation de l'olivier, Institution de la Recherche et de l'Enseignement Supérieurs Agricoles, Institut de l'Olivier -Station du Nord
- [46] BARKA S., 2006, l'irrigation goutte à goutte, Institut technologie moyen d'agriculture d'Ain temouchent.
- [47] www.flehetna.com/en/les-differents-systemes-dirrigation (consulté le 20/12/2019)
- [48] www.alliancesoleil.com. (Consulté le 20/12/2019)
- [49] LAHBABI A., 2016, Les énergies renouvelables et l'efficacité énergétiques dans les secteurs de l'agriculture et de l'agro-alimentaire au Maroc, Secteur de l'AGRICULTURE au Maroc. Projet régional RE-ACTIVATE, 73 pages.
-

- [50] CHIKH HAMZA A., 2013, Etude de possibilité de création d'un périmètre D'irrigation a Ain El Houtz, Projet de Fin d'Etudes du diplôme Master en Hydraulique, Option : Eau, Sol et Aménagement, Université Abou Bakr Belkaïd – Tlemcen
- [51] www.ardepi.fr (Consulté le 20/11/2020)
- [52] Dupont A., 1998, hydraulique urbaine, tome 2, Édition Eyrolles, 157 pages.
- [53] ZELLA L., KETTAB A., CHASSERIAUX G., 2005, Réseaux de micro irrigation: modélisation et dimensionnement, 9^{ième} Assemblée Générale du Réseau Méditerranéen des Ecoles d'Ingénieurs et Congrès international Le 21-22-23 Mai 2005 à Alger
- [54] BEDJAOUI A., ACHOUR B, BOUZIANE M.T, 2005, Nouvelle Approche pour le calcul du diamètre économique dans les conduites de refoulement, Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (*LARHYSS*), Département d'Hydraulique, Université Mohammed Khider-Biskra
- [55] www.grundfos.com (Consulté à 2018).
- [56] DJAFOUR A., 2000, Etude d'une station de pompage photovoltaïque dans une région saharienne, Mémoire de magister, université d'Ouargla.
- [57] SPA Condor Electroniques Division Énergies Renouvelables, www.condor.dz (Consulté 18/11/ 2020).
- [58] HADJ ARAB A., BENGHANEM M. et GHARBI A., 2005, Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque, Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19 –26.
- [59] CHABOT B., 1998, L'économie des énergies renouvelables dans les pays industrialisés et en développement', SEBES.
- [60] BOUZIDI B. & MALEK A., 2002, Introduction aux critères micro économiques des systèmes photovoltaïques– Pompage, Laboratoire d'Energie Solaire Photovoltaïque, Centre de Développement des Energies Renouvelables, Alger, Algérie
-

Annexes

caprari

Modena - Italy

COMPANY
WITH QUALITY SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
=ISO 9001/2000=

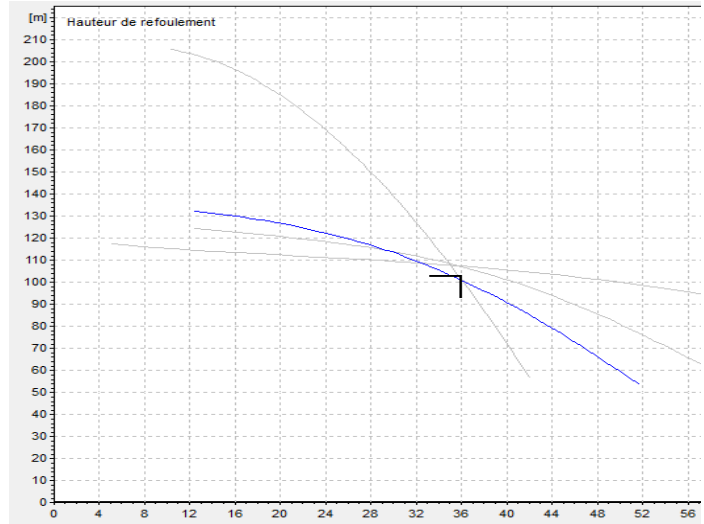
Vérifier l'éventuelle vitesse critique et le numéro total des lignes d'arbre.
SELECTION INDICATIVE; contacter nos service commerciaux pour un projet complet.

Caractéristiques requises

| | |
|------------------------|-------------|
| Débit | 36 l/s |
| Hauteur de refoulement | 103 m |
| Fluide | Eau potable |
| Type d'installation | Pompe seule |
| N.be de pompes | 1 |

Caractéristiques de la pompe

| | |
|-----------------------------|---------|
| Débit | 36 l/s |
| Hauteur de refoulement | 103 m |
| Puissance absorbée | 46,8 kW |
| Rendement | 79,8% |
| Hauteur manométrique H(Q=0) | 141 m |
| Orif. de refoulement | DN150 |



P8C/5/30/5A

[m] Hauteur de refoulement

Caractéristiques moteur

| | |
|---------------------|------------|
| Fréquence | 50 Hz |
| Tension nominale | 400 V |
| Vitesse nominale | 2900 1/min |
| Nombre de pôles | 2 |
| Puissance P2 | 30 kW |
| Intensité nominale | - A |
| Type de moteur | 3~ |
| Classe d'isolation | F |
| Degré de protection | IP 55 |

Limites opérationnelles

| | |
|------------------------------------|-----------------------|
| Démarrages/h max. | 20 |
| Température maxi. du liquide pompé | 40 °C |
| Teneur maximum en matières solides | 40 g/m ³ |
| Densité max. | 998 kg/m ³ |
| Viscosité maxi. | 1 mm ² /s |

Caractéristiques générales

| | |
|-------|----------|
| Poids | 567,5 kg |
|-------|----------|

- A = 5658
- B = 1391
- C = 4267
- D = 656
- E = 735
- F = 4035
- G = 160
- H = 48
- I = 350
- L = 3050
- M = 190
- N = 985
- No S = 8
- No Y = 4
- O = 232
- P = 285
- Q = 240
- R = 150
- T = 22
- U = 550
- V = 470
- W = 550
- X = 470
- Z = 30

DIMENSIONS mm

