

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignant supérieur et de la recherche scientifique
جامعة أبي 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

**Etude technico-économique de l'irrigation par pompage
solaire photovoltaïque, d'une palmeraie de palmiers. Etude
de cas**

Soutenue publiquement le : 19/06/2018

Présentée par :

HADJOU SMIR Hachmi

CHOGUEUR Amine

Devant le jury :

M^r HABI Mohammed

Président

M^r TERKI HASSAINE Taha El Amine

Examineur

M^r SEDDINI Abdelali

Examineur

M^r BENMANSOUR Abdelhalim

Encadreur

M^r BOUCHELKIA Hamid

Encadreur

Promotion 2017/2018

REMERCIEMENTS

On remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire. Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr BOUCHELKIA Hamid et Mr BENMANSOR Abdelhalim, enseignants au département d'hydraulique de l'Université de Tlemcen, on le remercie, pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire. Nous remercions surtout madame BOUCHELKIA FADILA qui nous a aidé beaucoup.

Nous sommes conscientes de l'honneur que nous a fait au Pr HABI Mohammed, en étant président du jury ainsi qu'au Pr SEDDINI Abdelali et à Mr TERKI-HASSAIN Taha El Amine d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos plus grands remerciements vont à Mr ZENKHRI SALAH directeur de l'exploitation de l'université de Ouargla, à Mr SEGAI ALI et Mr à TAHA CHACHA pour ces efforts et son aide dans notre travail, sans oublier madame MOUNA KARMANE responsable des laboratoires de ITAS Ouargla qui nous a permis de faire des analyses au niveau de laboratoire de l'université de Ouargla. Nos profonds remerciements vont également à Mr BENADDA LOTFI à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenus de près ou de loin, principalement à tous l'effectif de la faculté de l'ingénieur de l'université ABOU BAKR BELKAID Tlemcen.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à : A ma mère, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont elle ne cesse de me combler, avec toute ma reconnaissance et ma gratitude pour leur sacrifice. Pour leur patience illimitée, leur encouragement continu, leur aide énormes et leur grand sacrifice. Que Dieu leur procure bonne santé et longue vie. A mes frères et mes sœurs, A ma fiancée *Zahira* ainsi que mes cousins et cousines pour leurs grand amour et soutiens qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude et toute ma famille *HADJOU-SMIR .Et ALIANE* à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Je le dédie aussi a tous mes enseignants, a toutes mes amies et surtout group

OH

HACHMI

Liste des abréviations

A : les besoins traditionnelles en mm/jour

a1L : les besoins quotidien majoré de 20%

a1 : les besoins quotidien réduit à la culture (mm / jour)

BV : de la bande de valence

BC : la bande de conduction

B nette : besoin nette

B brutes : besoin brute

CE : conductivité électrique

Cm : cout de 1 m³ (DA)

Cg : cout globale de système photovoltaïque

Cu : confisions 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

e : espacement entre goutteurs

ETP : évaporation potentielle en mm

GPV : générateur photovoltaïque

HMT : hauteur manométrique total

Hg : hauteur géométrique

Δh_t : perte de charge totale

Δh_l : perte de charge linéaire

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

Na^+ : sodium

N : fréquence d'arrosage

N_r : nombre de rampe

N_g : nombre de goutteurs

ONM : organisation national météologique

θ : durée de l'arrosage

θ' : La durée quotidienne d'arrosage

PV : photovoltaïque

P : précipitation moyenne mensuelle en mm

$P(\%)$: pluie de fréquence 80%

P_u : pluie utile

PH : potentiel hydrométrique

PM: La puissance du module PV

P_c : La puissance crête du générateur

Q : le débit

Q_h : débit horaire de pompe

Q_r : débit de rampe

Q_{pr} : débit de la porte rampe

Q_s : débit stocké

Q_p : débit pompé

Q_d : débit distribuée

R_s : résistances en série

R_p :résistances en série

RU : réserve utile

RFU :réserve facilement utilisable

T :température moyenne mensuelle en °C

V : la vitesse d'écoulement

Liste des tableaux

Tableau I.1. : Propriétés de différents types de cellules photovoltaïques.....	10
Tableau II.1. : Températures moyennes mensuelles en degré	24
Tableau II.2. : Humidités mensuelles moyennes en pourcentage (%)	25
Tableau II.3. : Les fréquences moyennes mensuelles de vent	26
Tableau II.4. : Précipitations moyennes mensuelles.....	27
Tableau II.5. : L'insolation moyenne mensuelle de la région d'Ouargla (2006-2017).	28
Tableau II.6. : Evaporation moyenne mensuelle calculée par la formule de Turc	29
Tableau II.7. : Analyse physique du sol (Granulométrie)	31
Tableau II.8. : Résultat de densité apparente	32
Tableau II.9. : Humidité équivalente	32
Tableau II.10. : Caractéristiques chimiques du sol	32
Tableau II.11. : Conductivité électrique des chantaients prélevés du premier et le second forage.	33
Tableau II.12. : PH des eaux d'irrigation (source 1 et source 2)	33
Tableau III.1. Avantages et inconvénients de chaque système d'irrigation.....	52
Tableau IV.1 les besoins traditionnels pour les palmiers	57
Tableau IV.2. Volumes du goutteur proposé.....	58
Tableau IV.3. Caractéristiques du goutteur choisi.....	59
Tableau IV.4. Fraction du sol humidifié	60
Tableau IV.5. Les besoins réduits pour les palmiers	61
Tableau IV.6. Nombre et longueur de rampe par porte rampe et nombre de goutteur .	62

Tableau IV.7.Récapitulation de dimensionnement des rampes et portes rampes :.....	64
Tableau IV.8. Débit à apporter pour chaque parcelle.	64
Tableau IV.9. Caractéristiques électriques de l'onduleur....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.10. Caractéristiques électriques du module photovoltaïque CEM250M ..	69
Tableau IV.11. Coût total de l'investissement	70

Liste des figures

Figure. I.1 : la photosphère	4
Figure I.2 : composantes de rayonnement	5
Figure I.3 : Spectre du rayonnement.....	7
Figure I-4: Structure de cellule solaire	8
Figure I.5.La jonction PN(Les effets photoélectrique et électroluminescent	9
Figure I.6 : Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque.....	9
Figure I-7 : Schéma équivalent de cellule PV	10
Figure I.8 : Principe de la conversion photovoltaïque	11
Figure I.9 : Les différentes technologies des cellules solaires	12
Figure I.10 : Regroupement en série.....	13
Figure I.11 : Regroupement en parallèle	13
Figure I.12 : schéma explicatif (DC-AC)	15
Figure I.12 : schéma explicatif d'un onduleur autonome	15
Figure I.13: Système photovoltaïque autonome	16
Figure I.15: Système photovoltaïque de pompage d'eau.....	17
Figure I-17 : Champ photovoltaïque.	18
Figure II.1 : Carte de la localisation géographique de l'oasis d'Ouargla	23
Figure II.2 :l'exploitation agricole ITAS	24
Figure II.3 : histogramme représente la température mensuelle moyenne	25
Figure II.4 : histogramme représente l'humidité mensuelle moyenne en pourcentage ..	26
Figure II.5 : histogramme des fréquences mensuelles moyennes du vent	27
Figure II.6: histogramme des Précipitation moyennes mensuelles.....	28
Figure II.7 : tarière de 1.2 m	30
Figure II.8 : les tamis utilisé à l'analyse granulométrique.....	31
Figure II.9. : mesuré de la densité apparent	32
Figure.III.1.Système de pompage solaire	38

Figure III.3.Pompage au fil du soleil (stockage de l'eau) [28]	39
Figure III.4. Pompage avec batteries (stockage électrique).....	40
Figure III.5. Classification des pompes	41
Figure III.5. La pompe centrifuge [29]	41
Figure III.6. Courbes des caractéristiques d'une pompe centrifuge	42
Figure III.7. Une pompe volumétrique	43
Figure III.8.Courbe caractéristiques d'une pompe volumétrique	43
Figure III.9.Pompes de surface	44
Figure III.10. Pompe immergée	44
Figure III.11. Moteur à courant continu avec balais au carbone	45
Figure III.12. Moteur à courant continu sans balais	45
Figure III.13. Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe DC	45
Figure III.14. Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe à AC	46
Figure III.15. Irrigation par bassins	47
Figure III.16. Alimentation des sillons par siphons.....	47
Figure III.17.Irrigation par planches.....	48
Figure III.18.Irrigation par aspersion.....	48
Figure III.19. L'irrigation par goutte à goutte	48
Figure III.21.Goutteur auto régulent.....	50
Figure III.22. Goutteurs sur pique autorégulant	50
Figure III.23.Goutteur incorporés.....	51
Figure III.24. Station en tête de filtration et d'injection d'engrais	52
Figure IV.1 shéma Le réseau d'irrigation goutte à goutte	62
Figure IV.2 Shémé représente notre palmerie	63
Figure IV.3 : schéma d'une conduite assurant un débit en route.....	63
Figure IV.4 : shéma représent le cheminement le plus défavorable dans la parcelle	65
Figure IV.6 Diagramme d'un système PV	68
Fig IV.6 Représentation d'un module PV	70

Sommaire

Introduction général	1
----------------------------	---

Chapitre I Présentation des systèmes photovoltaïques

I.1. L'énergie solaire :	2
I.2. Rayonnement solaire :	4
I.2.1. Différents types de rayonnement :	4
I.2.1.1. Le rayonnement direct :	5
I.2.1.2. Le rayonnement diffus :	5
I.2.1.3. Le rayonnement solaire réfléchi ou l'albédo du sol :	5
I.2.1.4. Le rayonnement global:	5
I.2.2. Spectre du rayonnement :	5
I.2.3. Durée d'insolation :	6
I.3.1. Semi-conducteur	7
I.3.2. La jonction P-N	7
I.3.4. : Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque	10
I.3.5. : Les différentes technologies des cellules solaires	11
I.3.5.1. : Cellules monocristallines:	11
I.3.5.2. : Cellules poly cristallines: (ou multi cristallines)	12
I.3.5.3. : Cellules amorphes:	12
I.3.5.4. : Cellules en couches minces :	12
I.4.1 : Assemblage en série	13

I.4.2 : Regroupement en parallèle	14
I.4.3 : Regroupement (série et parallèle).....	14
I.5.1. : Convertisseur continu-continu (DC-DC) :	15
I.5.2. : Convertisseur continu-alternatif (DC-AC).....	15
I.5.2.1 : les onduleurs autonomes :	16
I.5.2.2 : les onduleurs non autonomes :	16
I.6. : Systèmes photovoltaïques :.....	17
I.6 .1. : Système photovoltaïque autonome :	17
I.6.2. :Système photovoltaïque raccordé au réseau.....	18
I.6.3. :Système photovoltaïque de pompage d'eau	19
I.7. Secteurs d'application.....	20
I.7.6 : Système photovoltaïque de pompage d'eau.....	20
I.7.6.1 :Qu'est-ce que le pompage solaire ?.....	20
I.7.6.2 : Les composants d'un système de pompage photovoltaïque.....	20

Chapitre II Présentation de la zone d'étude

II.1.Présentation de la région :.....	22
II.2. Étude climatique de la région :	24
II.2.1.Température :.....	Erreur ! Signet non défini.
II.2.3. Humidité relative :	25
II.2.4. vent :.....	26
II.2.5.Précipitations :	27
II.2.6.L'insolation :.....	28
II.2.7. Evaporation et évapotranspiration :	29
II.2.7.1. Méthode de calcul d'évapotranspiration :	29
□ Formule de Turc [22].....	30
□ Méthode de Thortwaite.....	30
□ Formule de Baney-Criddle :	31
II.3. Etude du sol de la parcelle d'essai :.....	31
II.3.1 Analyse physique :.....	32

II.3.1.1. Analyse granulométrique :	32
II.3.1.2. Densité apparente :	33
II.3.1.3. Humidité équivalente	34
II.3.2. Les analyses chimiques du sol :	35
II.4. L'eau d'irrigation :	35
II.4.1. Qualité des eaux d'irrigation :	35
I.4.1.1. Conductivité électrique :	36
II.4.1.2. pH des eaux :	36

Chapitre III Techniques de pompage solaire et Irrigation

Aucune entrée de table des matières n'a été trouvée.

Chapitre IV Dimensionnement du Système de Pompage Photovoltaïque pour l'irrigation

Chapitre IV	56
IV.1. Besoin en eau des cultures:	56
IV.1.1 Besoins en eau traditionnels :	56
IV.1.2. Besoins réduits :	59
IV.1.2.1. Paramètres de la micro irrigation :	60
IV.1.2.2. Dose d'arrosage :	61
IV.2. Dimensionnement du réseau :	64
IV.2.1. Dimensionnement des rampes et porte rampes :	64
IV.2.2. Dimensionnement de la tête morte et calage de la cote du réservoir:	67
IV.2.3. Dimensionnement du réservoir :	69
IV.2.4. Dimensionnement de la conduite de refoulement :	70
IV.3. Calcul de la hauteur manométrique totale :	71
IV.4. Dimensionnement de la station de pompage :	71
IV.4.1 choix de la pompe :	72
IV.4.2. Convertisseur DC/AC (onduleur) :	74

IV.4.3. Diagramme d'un système de pompage photovoltaïque :	74
IV.4.4 Taille du générateur PV :	75
IV.4.4.1. Nombre de modules :	76
IV.4.4.2. Nombre de modules en série :	76
IV.4.4.3. Nombre de module en parallèle :	77
IV.4.5. Correction de la puissance crête :	78
IV.5. Analyse économique des systèmes de pompage photovoltaïque:	78
IV.5.1. Evaluation le cout globale actualisé du 1 m ³ d'eau pompé :	78
IV.5.2. L'énergie consommé par la pompe :	79
Conclusion général	80

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire est l'étude technico-économique de conception et de dimensionnement d'un système d'irrigation gouttes à goutte à pompage solaire de palmiers dattier. La zone d'étude est l'exploitation de l'ITAS (Institut Technique Agronomie Saharien) situé dans la ville de Ouargla, au Sud de l'Algérie.

Nous avons dans un premier temps présenté la zone du projet, puis nous avons défini les paramètres nécessaires à notre étude, à savoir, le climat, la nature du sol, les sources d'eau et l'ensoleillement.

Le fort ensoleillement de la zone d'étude nous a permis de choisir un pompage solaire eau fil du soleil avec un générateur solaire composé de panneaux photovoltaïques et d'un onduleur. L'intermittence du soleil nous a permis d'opter pour un stockage hydraulique par l'intermédiaire d'un réservoir surélevé.

Les analyses physicochimiques du sol et de l'eau souterraine ont révélé un taux de salinité assez important, ce qui nous a poussé à inclure une station de filtration en tête de notre système d'irrigation.

Le projet est économiquement rentable à long terme.

Mots clés : Irrigation, palmier dattier, pompage solaire, fil du soleil, photovoltaïque, Ouargla.

summary

The work presented in this thesis is the techno-economic study of design and dimensioning of a solar pump drip irrigation system of date palms. The study area is the exploitation of the ITAS (Saharan Agricultural Technical Institute) located in the city of Ouargla, in the south of Algeria.

We first presented the project area, then we defined the parameters necessary for our study, namely, the climate, the nature of the soil, the water sources and the sunshine.

The strong sunshine of the study area allowed us to choose a solar pumping water sun wire with a solar generator consisting of photovoltaic panels and an inverter. The intermittency of the sun has allowed us to opt for hydraulic storage via a raised tank.

The physicochemical analyzes of soil and groundwater showed a fairly high salinity, which pushed us to include a filtration station at the head of our irrigation system. The project is economically profitable in the long term, but the use of solar energy preserves the environment and the water table.

Key words: Irrigation, date palm, solar pumping, sun wire, photovoltaic, Ouargla.

ملخص

إن العمل المقدم في هذه الرسالة هو الدراسة الفنية والاقتصادية لتصميم وأبعاد نظام الري بالتنقيط أشجار النخيل. منطقة الدراسة هي مستثمرة ITAS (المعهد الفني الزراعي الصحراوي) الموجود في مدينة ورقلة ، في جنوب الجزائر.

قدمنا أولاً منطقة المشروع ، ثم حددنا المعلومات اللازمة لدراستنا ، وهي المناخ وطبيعة التربة ومصادر المياه وأشعة الشمس.

سمحت لنا أشعة الشمس القوية لمنطقة الدراسة باختيار سلك شمس لضخ الشمسي للمياه مع مولد للطاقة الشمسية يتكون من الألواح الكهروضوئية والعاكس. لقد سمح لنا تداخل الشمس بالتخزين الهيدروليكي عبر خزان مرتفع. أظهرت التحاليل الفيزيوكيميائية للتربة والمياه الجوفية درجة ملوحة عالية إلى حد ما ، مما دفعنا إلى تضمين محطة ترشيح على رأس نظام الري لدينا.

المشروع مريح اقتصاديا على المدى الطويل، ولكن استخدام الطاقة الشمسية يحافظ على البيئة والمياه الجوفية.

الكلمات المفتاحية: الري ، نخيل التمر ، الضخ الشمسي ، سلك الشمس ، الفولطاضونية ، ورقلة.

INTRODUCTION

L'eau et l'énergie sont des éléments importants, essentiels et indispensables à la vie. Ce sont des facteurs importants et une priorité pour le développement durable du monde et de l'Algérie. L'accès à la ressource en eau et à des énergies propres et durables constitue un des défis majeurs du 21ème siècle.

En Algérie le problème de l'eau se pose de plus en plus et avec acuité particulièrement au vu de sa position géographique, région aride et/ou semi-aride, et du réchauffement climatique des dernières décennies.

La démographie galopante et la recherche du bien être et du développement économique en Algérie implique un accroissement des besoins en eau, pour la consommation domestique (De personnes), pour l'agriculture (élevage et irrigation) et pour l'industrie, et aussi un accroissement de la demande en énergie ; or les sources d'énergie, en particulier hydrocarbure se tarissent de plus en plus. Ceci constitue un inconvénient majeur, en particulier pour les agriculteurs. Cependant, dans le cas du Sahara, avec la nappe albienne, l'eau est suffisamment disponible. Mais l'énergie électrique est soit non disponible, loin de certaines zones ou très chère à obtenir.

Une des solutions pratique, propre et durable pour acquérir l'énergie en Algérie c'est le recourt aux énergies renouvelables et en particulier 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 m² est de l'ordre de 5KWh, soit près de 2263 kWh/m²/an au sud du pays.

Dans ce travail de projet de fin d'études de Master, on aborde, justement, la problématique d'approvisionnement d'eau, pour l'irrigation par pompage solaire au sud de l'Algérie et en particulier à Ouargla.

Dans ce contexte la rationalisation de l'irrigation par la recherche permanente d'une meilleure efficience 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 % a 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.

A cet effet, dans notre étude, nous allons concevoir et dimensionner un système d'irrigation par pompage solaire d'une palmeraie dans la ville de Ouargla au Sud de l'Algérie.

Nous allons par la suite faire une étude économique du projet pour vérifier la rentabilité du système de pompage solaire et de l'irrigation goutte à goutte sur une durée de 20 ans, que l'on comparera avec l'énergie conventionnelle.

Nous avons divisé notre mémoire en quatre chapitres nommés.

Le premier chapitre a été dédié à la présentation de l'énergie solaire et des systèmes photovoltaïques.

Dans le deuxième 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 physicochimiques de l'eau et du sol de la région.

Dans le troisième chapitre on a présenté les différentes techniques de pompage solaire et d'irrigation.

Le quatrième 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

Présentation des systèmes photovoltaïques

Chapitre I

Présentation des systèmes photovoltaïques

Dans ce chapitre nous nous intéressons à l'étude des systèmes photovoltaïques. Pour comprendre ce phénomène, nous présentons quelques notions de base sur le rayonnement solaire et les propriétés des semi-conducteurs ; matériaux de base des cellules photovoltaïques, nous abordons aussi le principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques puis nous exposons un système photovoltaïque complet .

I.1. L'énergie solaire :

Son énergie inépuisable : C'est une gigantesque bombe thermonucléaire dont la puissance, émise sous forme de photons, représente un chiffre considérable : 3821026 Watts. C'est le résultat de la combustion de 596 millions de tonnes par seconde d'hydrogène convertis en 592 millions de tonnes par seconde d'hélium. La perte, 4 millions de tonnes/seconde, se traduit sous forme de rayonnement gamma. Chaque cm^2 de sa surface émet une énergie de 6 kilowatts. Mais il n'arrive sur Terre que 5 milliardièmes de cette puissance. Cette pile thermonucléaire fonctionne grâce à la transformation de 4 noyaux d'atomes d'hydrogène qui fusionnent pour fournir 1 noyau d'atome d'hélium avec la libération d'une énergie de 25000 mégawatts par gramme et par seconde (100 milliards de bombes à hydrogène de 1 mégatonne

Cette énergie provient du centre. La pression comprime les noyaux d'hydrogène et permet ainsi la fusion. Il ne faut pas confondre la fusion avec la fission, qui casse les noyaux dans une bombe atomique. La fusion d'un gramme d'hydrogène libère 140 milliards de calories, la calorie étant la quantité de chaleur nécessaire pour faire passer un gramme d'eau de 15°C à 16°C . Cela correspond à $0,14 \text{ W/cm}^2$. Elle Désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par

des panneaux photovoltaïques. Elle résulte de la conversion directe dans un semi-conducteur. [1]

Le transfert d'énergie du centre vers la surface s'effectue par rayonnement et par convection. La zone de convection est limitée par la photosphère, épaisse de 200 km, et appelée ainsi parce que presque la totalité du rayonnement visible provient d'elle. Elle a une apparence granuleuse, provoquée par la turbulence de la partie supérieure de la zone de convection. La taille d'un granule peut dépasser celle de la France et la durée de vie peut aller de 10 minutes à plus de 10 heures.[2].

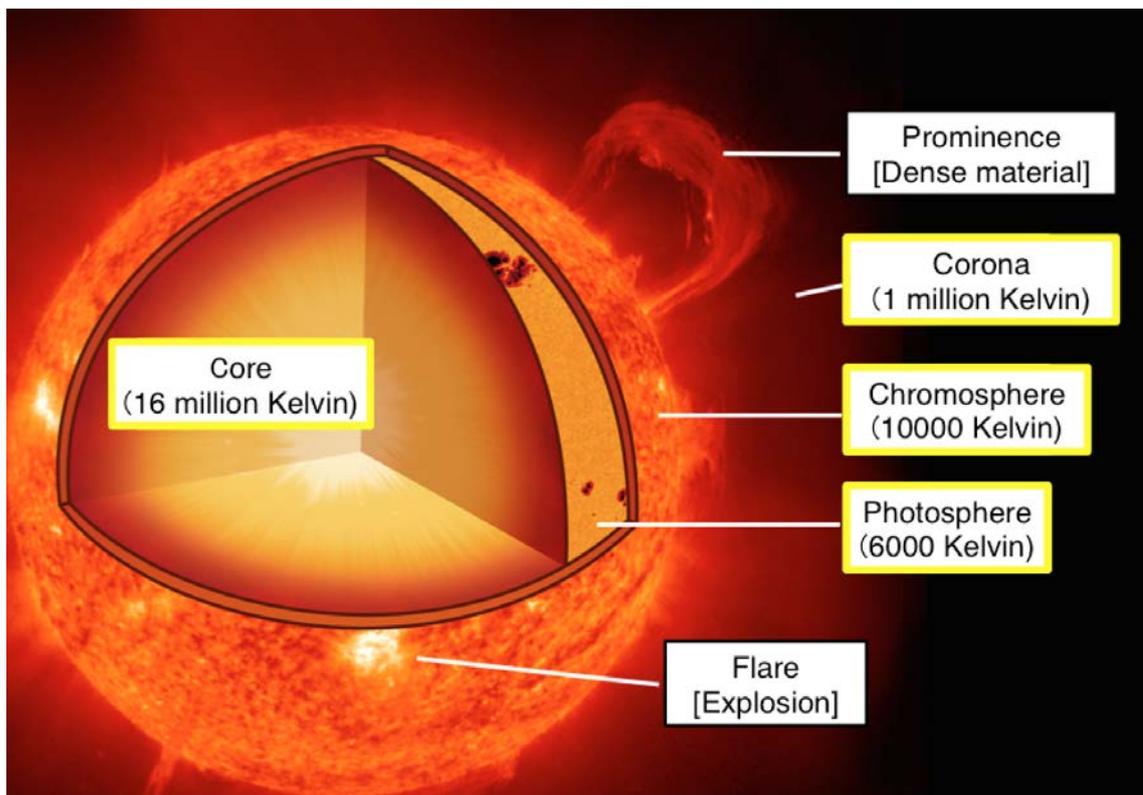


Figure. I.1 : la photosphère [2]

Cette pression empêche les photons d'atteindre la surface dès leur création. Ainsi, ils mettent 2 millions d'années pour sortir des profondeurs du Soleil, tandis qu'il leur faut 8 minutes pour arriver sur Terre. Quant aux neutrinos, fabriqués en même temps, ils sortent instantanément. Absolument rien, n'est capable de les arrêter. Par conséquent, il est très difficile de les étudier. Ainsi, la recherche des neutrinos nous renseigne sur la lumière qui sortira dans 2 millions d'années du Soleil. Aujourd'hui, le taux est inférieur à ce que l'on attendait. Cela peut signifier que dans 2 millions d'années, la température sera plus basse avec des conséquences très importantes sur l'environnement terrestre[2]. Le soleil produit des neutrinos de basse énergie, les neutrinos de haute

énergie sont produits par des cataclysmes cosmiques lointains et extrêmement violents tels que les trous noirs, les supernovas et le Big Bang

I.2. Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est la matière première de l'énergie solaire. C'est une propagation d'une onde de longueur qui varie entre 0.2 et 4.10⁻⁶m. Sans la nécessité d'un support physique pour se déplacer, il arrive au sol après la perte d'une grande partie de son intensité, à cause d'une partie de l'ultraviolet, qui est absorbée. Une partie du rayonnement émis parvient jusqu'à la Terre, où des ondes sont réfléchies par l'ionosphère et l'atmosphère (les ondes décimétriques et certains rayons ultraviolets).

Le rayonnement solaire global est composé du rayonnement direct, du rayonnement diffus et de l'albédo. L'évaluation d'installations solaires nécessite des données d'irradiance, c'est-à-dire du flux d'énergie incident sur une surface donnée par unité de temps et de surface, exprimé en W/m^2 ; ou son intégration sur une durée déterminée, l'irradiation exprimée en kWh/m^2 [3].

I.2.1. Différents types de rayonnement :

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé. Au sol, on distingue plusieurs composantes (voir figure I.2) [5].

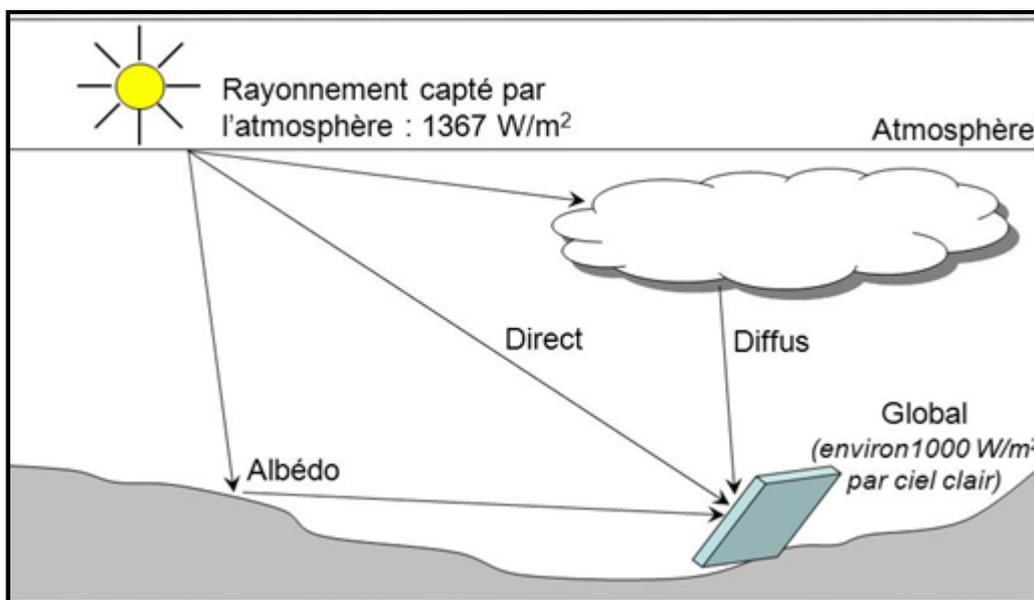


Figure I.2 : composantes de rayonnement [3]

I.2.1.1. Le rayonnement direct :

Le rayonnement direct est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux. Il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs. Il peut être mesuré par un pyrhéliomètre.

I.2.1.2. Le rayonnement diffus :

Le rayonnement diffus est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel, ce sont à la fois les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les poussières qui produisent cet éclatement des rayons du soleil. Cela dépend donc avant tout des conditions météorologiques.[4]

I.2.1.3. Le rayonnement solaire réfléchi ou l'albédo du sol :

Le rayonnement solaire réfléchi est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface de la terre. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).[4]

I.2.1.4. Le rayonnement global:

Le rayonnement global est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyranomètre ou un polarimètre sans écran. Les stations météorologiques mesurent, généralement, le rayonnement global horizontal par un Pyranomètre placé horizontalement à l'endroit requis [4].

I.2.2. Spectre du rayonnement :

Le rayonnement électromagnétique est composé de «grains» de lumière appelés photons. Aussi, le soleil émet des particules, appelées photons, en très grandes quantités. Ces flux de photons qu'on appelle également radiations ou rayons, se déplacent dans l'espace à la vitesse de 300 000 km/s (c'est la vitesse de la lumière) et atteignent la terre à différentes longueurs d'ondes.

On distingue les différents types de rayons par leur longueur d'onde : c'est le spectre solaire.[4]

L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde : Le spectre du rayonnement extraterrestre correspond environ à l'émission d'un corps noir porté à

5800°K. Une courbe standard, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom d'AM0. Sa distribution en énergie est répartie de: 6.4% d'Ultraviolet (UV) avec $0.20 < \lambda < 0.38 \mu\text{m}$, de 48.0% de Visible (V) avec $0.38 < \lambda < 0.78 \mu\text{m}$ et 45.6% d'Infrarouge (IR) avec $0.78 < \lambda < 10 \mu\text{m}$ [5].

λ étant la longueur d'onde des rayons

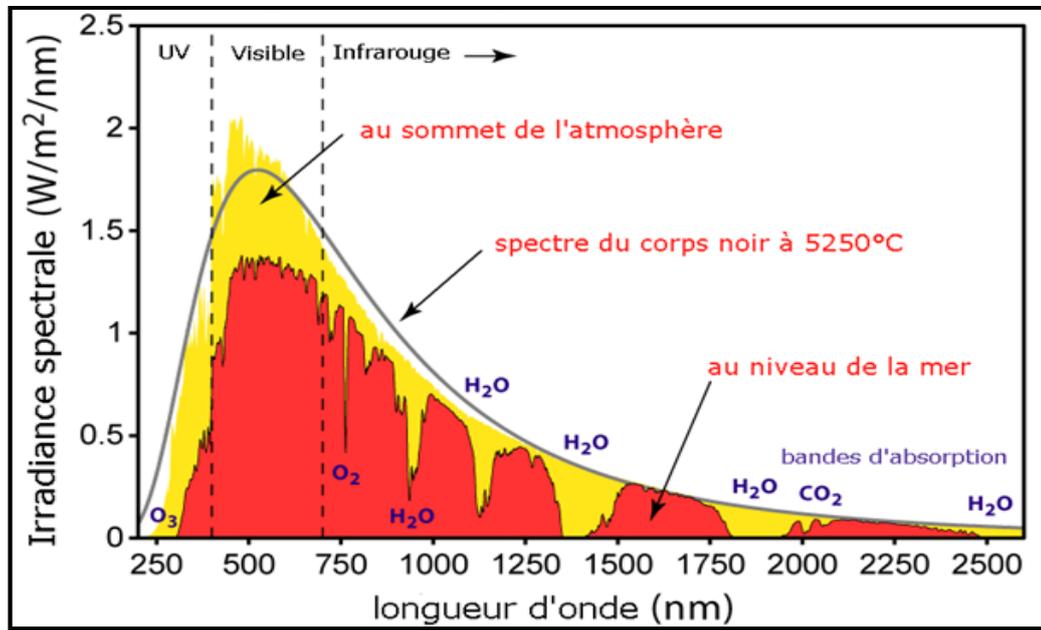


Figure I.3 : Spectre du rayonnement [5]

I.2.3. Durée d'insolation :

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et le coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Le relevé est fait au moyen de l'héliographe de Campbell– Stokes dans lequel une sphère de cristal concentre les rayons du soleil sur un papier qu'il brûle en se déplaçant. Ainsi, seuls les moments, où le soleil est bien visible, sont enregistrés. On parle alors de durée d'insolation réelle ou effective et elle dépend du fait que le soleil levant soit visible du point d'observation ou caché par les nuages. A défaut de l'héliographe, il est possible de partir du calcul du mouvement astronomique relatif du soleil et de la terre et d'évaluer la durée théorique du jour ; c'est-à-dire, celle qu'il y aurait si les nuages ne cachaient pas le soleil [6].

I. 2.4. Irradiation solaire :

L'irradiation (Ensoleillement ou éclaircissement) est définie comme une puissance reçue par une surface. Elle s'exprime en W/m^2 (watt par mètre carré). L'irradiation ou rayonnement est l'énergie reçue par une surface. Elle s'exprime en J/m^2 (Joule par

mètre carré). Une autre unité plus courante est le Wh/m^2 (wattheure par mètre carré). Signalons que, l'irradiation solaire dépend de : l'orientation et l'inclinaison du panneau solaire, la latitude du lieu, son degré de pollution, la période de l'année, l'instant considéré dans la journée et la nature des couches nuageuses. [4]

I.3. Cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est conçue en se basant sur le phénomène physique appelé « effet Photovoltaïque ». Une force électromotrice apparaît lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé, de sa disposition, de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de la cellule [7].

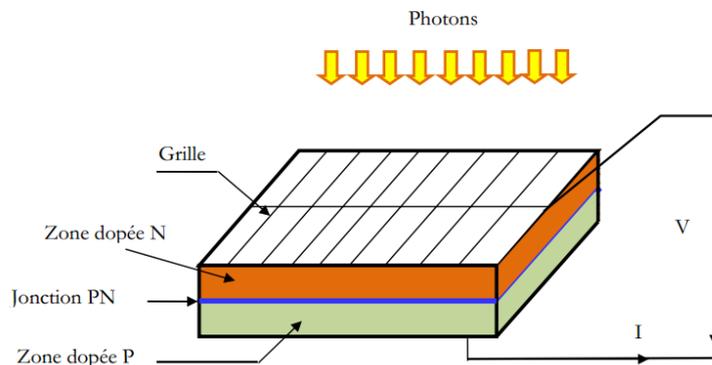


Figure I-4: Structure de cellule solaire [7]

I.3.1. Semi-conducteur

Un semi-conducteur est isolant à une température de zéro kelvin (zéro absolu), contrairement à un métal.

Les semi-conducteurs sont largement utilisés en électronique pour réaliser des composants tels que les diodes, les transistors, les thyristors, les circuits intégrés, etc.

Sur le plan technologique et industriel la réalisation de cellules est à base de silicium. Ce dernier est l'élément semi-conducteur le plus utilisé car il se trouve en abondance sur terre et il est peu coûteux. Il constitue 28% de l'écorce terrestre, sous forme de silice (le sable), parfaitement stable et non toxique [7]

I.3.2. La jonction P-N

Le silicium, comme tous les semi-conducteurs, a une bande de valence pleine et une bande de conduction vide. Mais grâce à un apport énergétique suffisant, il est

possible de faire passer des électrons de la bande de valence (BV) à la bande de conduction (BC), d'où la génération d'électrons libres. La présence d'électrons libres dans la bande de conduction d'un matériau n'est pas suffisante pour générer un courant : il est nécessaire de créer une différence de potentiel aux bornes du photo-générateur afin d'entraîner les charges positives d'un côté et les charges négatives de l'autre. Cette opération est possible par dopage du Silicium. Une jonction PN est créée par l'assemblage de deux barreaux de Silicium de type N et P. Le composant ainsi créé est appelé diode (Voir Figure I.5). [8]

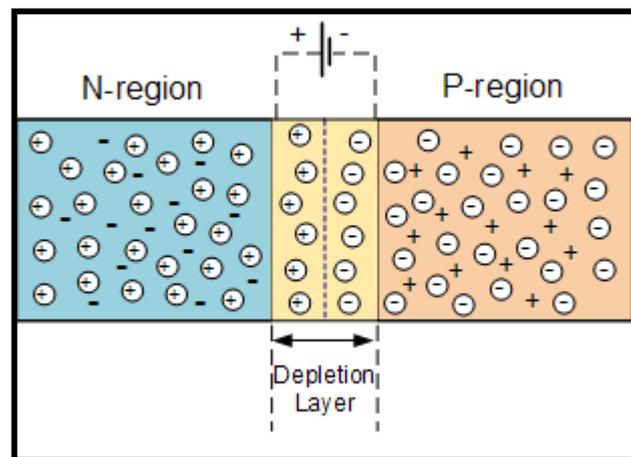


Figure I.5.La jonction PN(Les effets photoélectrique et électroluminescent) [8]

I.3.3- Caractéristique courant – tension (I-V) d'une cellule photovoltaïque :

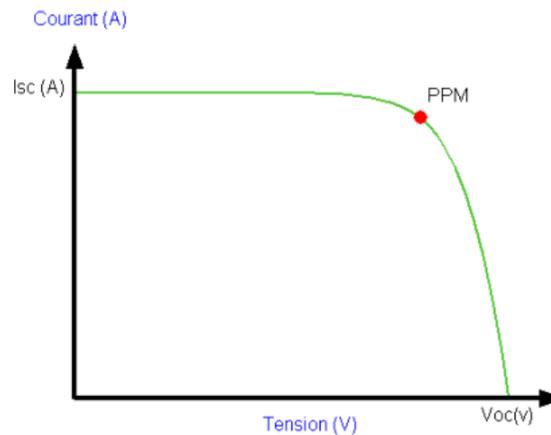


Figure I.6 : Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque [7]

Comme nous le voyons sur la figure (I.6), la cellule solaire PV est caractérisée par la courbe I(V) non linéaire qui dépend particulièrement des conditions d'ensoleillement et de température. Cette courbe nous informe sur trois points importants :

- Le point de fonctionnement optimal (PPM). C'est le point où la puissance de la cellule est maximale.
- Le point du courant maximal (ISC). Il se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées. Il est appelé courant de court-circuit ICC ou en anglais ISC (Intensity Short Circuit). [8]
- Le point de la tension maximale de la cellule (V_{CO}), (environ 0.6 V) pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert V_{CO} ou en anglais ($V_{oc} = \text{Over Circuit}$). [8]

I.3.4 - Modèle d'une cellule solaire et schéma électrique équivalent :

Une cellule photovoltaïque est souvent présentée comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant shuntée par une diode. Pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, le modèle est complété par deux résistances, une en série R_s et une en parallèle R_p comme le montre le schéma équivalent de la figure I.7. [9]

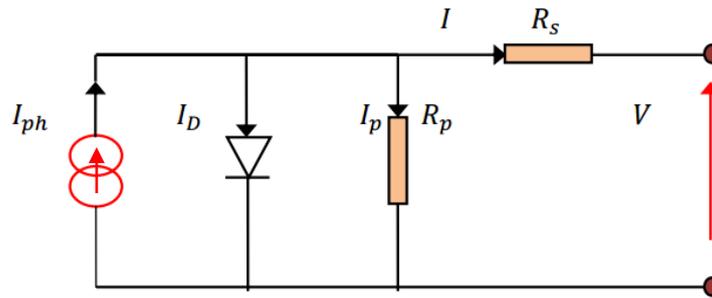


Figure I-7 : Schéma équivalent de cellule PV [9]

La résistance série est la résistance interne de la cellule. Elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles. La résistance parallèle ou shunt est due à un courant de fuite au niveau de la jonction.

I.3.4. : Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est principalement constituée à partir de silicium dopé (semi-conducteur : jonction P-N). Une cellule est exposée au rayonnement électromagnétique solaire, les photons de la lumière transmettent leur énergie aux atomes de la jonction. Cette énergie permet aux électrons de libérer des atomes, générant ainsi des électrons (charges Négatives - n) et des trous (charges Positives - p) [1]. Ces charges sont alors maintenues séparées par un champ électrique qui constitue une « barrière de potentiel ». Une fois les charges p et n isolées, il suffit de fermer le circuit entre ces 2 zones (p et n) pour permettre aux électrons de se mouvoir et de créer ainsi un courant électrique. [10]

Les cellules photovoltaïques au silicium multi cristallin sont aisément reconnaissables grâce aux motifs qu'elles affichent.

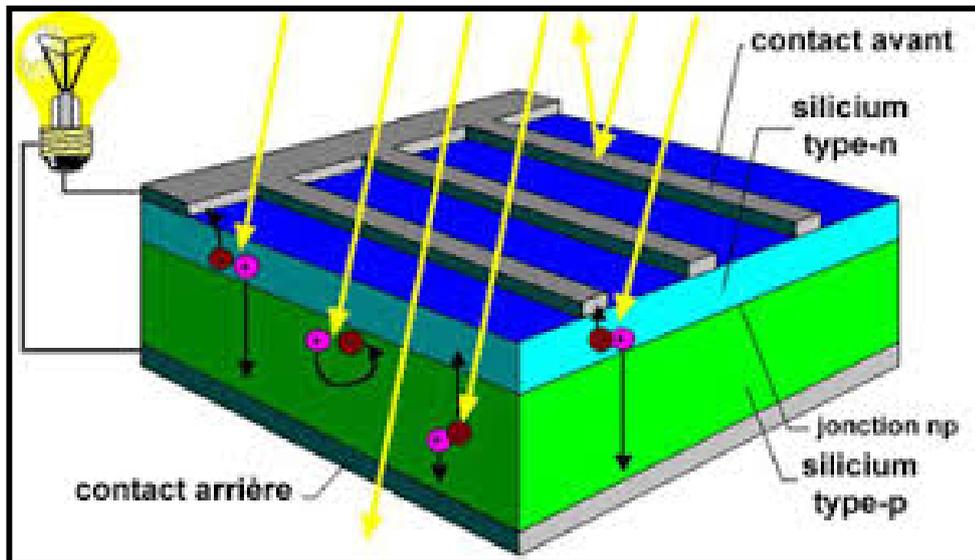


Figure I.8 : Principe de la conversion photovoltaïque [10]

I.3.5. : Les différentes technologies des cellules solaires

Pratiquement toutes les cellules solaires disponibles aujourd'hui sont réalisées à base de silicium. Ce semi-conducteur est principalement employé dans la fabrication de puces informatiques. Comme on l'a vu, un panneau solaire est un assemblage de cellules photovoltaïques. Ce sont ces cellules qui convertissent le rayonnement du soleil en électricité. [11]

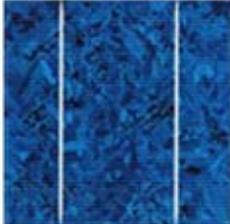
Type	monocristallin	polycristallin	amorphe
Rendement	11 à 16 %	10 à 14 %	5 à 6 %
			

Figure I.9 : Les différentes technologies des cellules solaires [11]

Il existe plusieurs types de cellules

I.3.5.1. : Cellules monocristallines:

Chaque cellule est découpée dans un monocristal de silicium. Ce type de cellule présente le plus haut pouvoir de conversion. Les cellules au silicium monocristallin offrent le meilleur rendement parmi les panneaux solaires disponibles dans le commerce [11].

I.3.5.2. : Cellules poly cristallines: (ou multi cristallines)

Les cristaux de silicium qui les composent sont bien visibles elles apparaissent nettement à l'œil nu. Les cellules poly cristallines sont reconnaissables aux formes irrégulières des cristaux. Leur rendement est légèrement inférieur à celui des cellules monocristallines, ce qui justifie leur coût moindre. [11]

I.3.5.3. : Cellules amorphes:

Ce type de cellule ne possède pas de structure cristalline. Leur coût de fabrication et leur efficacité sont légèrement inférieurs par rapport aux autres types cités précédemment. Elles sont généralement utilisées dans des appareils portables (calculatrices, thermomètre, ...). Les techniques de production les plus récentes permettent de fabriquer des cellules à couches minces de grande surface, c'est-à-dire qu'elles sont fabriquées en déposant une fine couche de silicium sur un support, qui peut par exemple être utilisées dans les éléments de façade [11].

I.3.5.4. : Cellules en couches minces :

La technologie « couches minces » désigne un type de cellule (ou module) obtenu par diffusion d'une couche mince de silicium amorphe sur un substrat (verre) [6]. En fonction de l'alliage utilisé, plusieurs technologies sont industrialisées à ce jour.

Le tableau (I.1) présente les avantages et les inconvénients pour les technologies les plus utilisées d'une cellule photovoltaïque.

I.1. Tableau. Propriétés de différents types de cellules photovoltaïques [11]

Type	Silicium monocristallin	Silicium poly cristallin	Silicium amorphe
Durée de vie	35 ans	35 ans	< 10 ans

Avantage	Bon rendement en soleil direct	Bon rendement en soleil direct (moins que le monocristallin mais plus que l'amorphe)	- Souplesse Prix moins élevé que le cristallin - Bon rendement en diffus
Inconvénient	- Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...) - Prix élevé	- Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...) - Prix élevé	Mauvais rendement en plein soleil.

I.4- Module et panneau photovoltaïque :

Le module ou le panneau photovoltaïque est un ensemble de cellules photovoltaïques qui sont assemblées, électriquement, soient série et/ou en parallèle pour produire des tensions et/ou des courants plus élevés. Les modules photovoltaïques se composent par des cellules photovoltaïques liées entre elles. Ces modules peuvent former une unité d'un panneau photovoltaïque complet. Les panneaux photovoltaïques incluent plus d'un module de PV assemblé comme unité pré câblée et peut s'installer sur place. Il est l'unité génératrice de puissance complète. [6]

Pour que l'électricité générée soit utilisable pour nos applications électriques, il est donc nécessaire d'associer entre elles un grand nombre de modules. Les modules (généralement présentés sous forme de panneaux) sont constitués d'un certain nombre de cellules élémentaires placées en série afin de rendre la tension à la sortie utilisable. Ces modules sont ensuite associés en réseau (série-parallèle) de façon à obtenir les tensions/courants désirés. Le assemblages sont définis comme suit :

I.4.1 : Assemblage en série

Une association de (N_s) cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule.

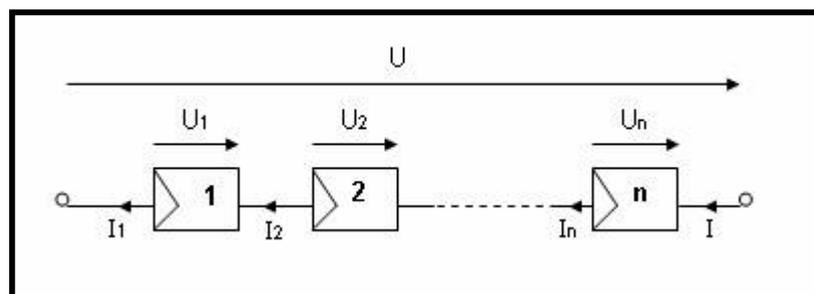


Figure I.10 : Regroupement en série [7]

I.4.2 : Regroupement en parallèle

Une association parallèle de (NP) cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants [10].

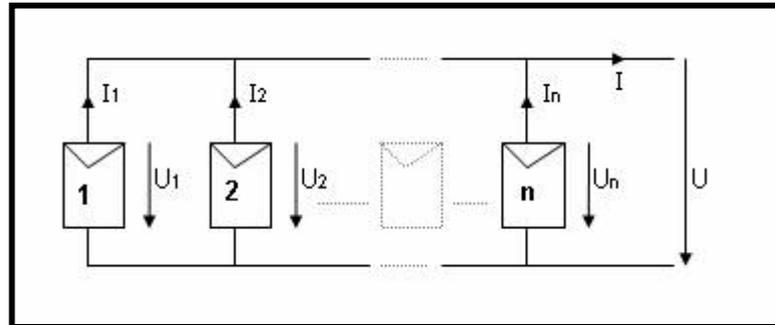


Figure I.11 : Regroupement en parallèle [8]

I.4.3 : Regroupement (série et parallèle)

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. Ce qui peut être généralisé sur une gamme de N_s modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant. Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque [12].

I.5- Système de conversion d'énergie:

Un générateur photovoltaïque délivre une tension continue. Pour fournir une tension continue ou alternative à une charge on dispose entre le générateur PV et la charge un convertisseur d'énergie continu-continu (Hacheur) ou continu-alternatif (Onduleur) [9]. L'onduleur est généralement associé à un redresseur qui réalise la transformation du courant alternatif en courant continu et dont le rôle sera de charger les batteries et d'alimenter le circuit en continu de l'installation en cas de longue période

sans soleil. [9].L'onduleur solaire joue un rôle crucial dans les installations de production d'énergie solaire. Il est en effet l'appareil qui sert de passerelle entre le système photovoltaïque et le réseau électrique, qu'il s'agisse d'un montage résidentiel ou d'une centrale électrique. [13]

I.5.1. : Convertisseur continu-continu (DC-DC) :

Un convertisseur de tension continue DC/DC est un module (ou mini module) générateur tension de sortie régulée, isolée de la tension d'entrée. Ce type de convertisseur est destiné à adapter à chaque instant l'impédance apparente de la charge à l'impédance du générateur PV correspondant au point de puissance maximal. Ce système d'adaptation est couramment appelé MPPT. Son rendement se situe entre 90 et 95%. Ce système a deux inconvénients pour un générateur PV de faible puissance :

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

Il existe plusieurs types des convertisseurs DC-DC. Parmi lesquels, on présente le principe des trois types de convertisseurs à découplage (dévolteur, survolteur et mixte), utilisés fréquemment dans les systèmes photovoltaïques pour générer les tensions et les courants souhaités ainsi que pour l'adaptation des panneaux solaires avec différentes charges. [13]

I.5.2. : Convertisseur continu-alternatif (DC-AC)

Un onduleur (DC-AC) est un dispositif permettant de transformer en alternatif une énergie électrique de type continue. Ils sont utilisés en électrotechnique pour :

- Soit fournir des tensions ou courants alternatifs de fréquence et amplitudes variables.
- Soit fournir une ou des tensions alternatives de fréquence et d'amplitude fixes.

On distingue les onduleurs de tension et les onduleurs de courant, en fonction de la source d'entrée(source de tension ou source de courant). La technologie des onduleurs de tension est la plus maîtrisée et est présente dans la plupart des systèmes

industriels, dans toutes les gammes de puissance (De quelques Watts à plusieurs MW).
[13]

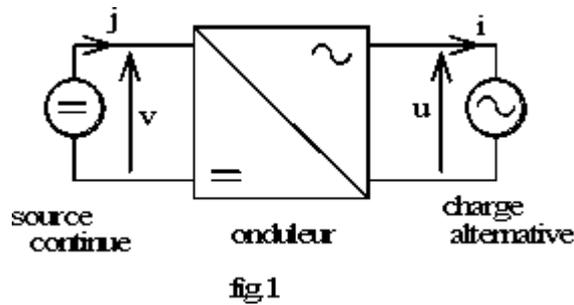


Figure I.12 : schéma explicatif (DC-AC) [13]

Les onduleurs sont classés selon le mode de commutation :

I.5.2.1 : les onduleurs autonomes :

Ils génèrent leur propre fréquence et leur propre tension alternative. Dans ces onduleurs la commutation est forcée.

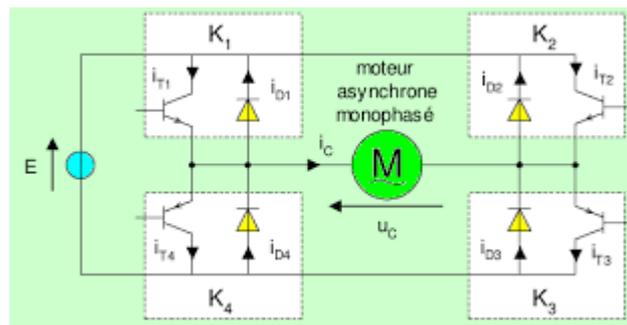


Figure I.12 : schéma explicatif d'un onduleur autonome [14]

I.5.2.2 : les onduleurs non autonomes :

La fréquence et la tension alternative sont imposées par le réseau qu'ils alimentent. Dans ces onduleurs la commutation est naturelle. Elle est naturelle dans le sens où ce sont les tensions alternatives du réseau qui effectuent le transfert du courant d'un thyristor à l'autre. Selon la nature de la source continue :

- Onduleur de tension : la source DC impose la tension, la charge AC impose le courant sinusoïdal.

- Onduleur de courant : la source DC impose le courant, la charge AC impose la tension sinusoïdale. [14]

I.6. : Systèmes photovoltaïques :

I.6.1. : Système photovoltaïque autonome :

Un système photovoltaïque peut fonctionner hors du réseau d'électricité conventionnelle. C'est un système autonome et une installation indépendante. Elle n'est pas alimentée par un réseau extérieur. Elle a pour fonction la consommation d'électricité dans la nuit ou en période de faible ensoleillement. Elle est notamment utilisée pour l'éclairage public et pour le pompage de l'eau ; dont le dernier n'a pas besoin d'un stockage de l'énergie.

Elle se compose de modules PV qui sont eux-mêmes assemblés en panneaux. Les panneaux génèrent de l'électricité et les autres éléments du système ont simplement pour fonction de l'acheminer vers le circuit électrique et de réguler la tension et le voltage. Ce dernier est constitué d'un générateur photovoltaïque, d'un contrôleur de charge, un convertisseur et d'un ensemble de batteries de stockage. Ces composants seront définis ultérieurement. [15]

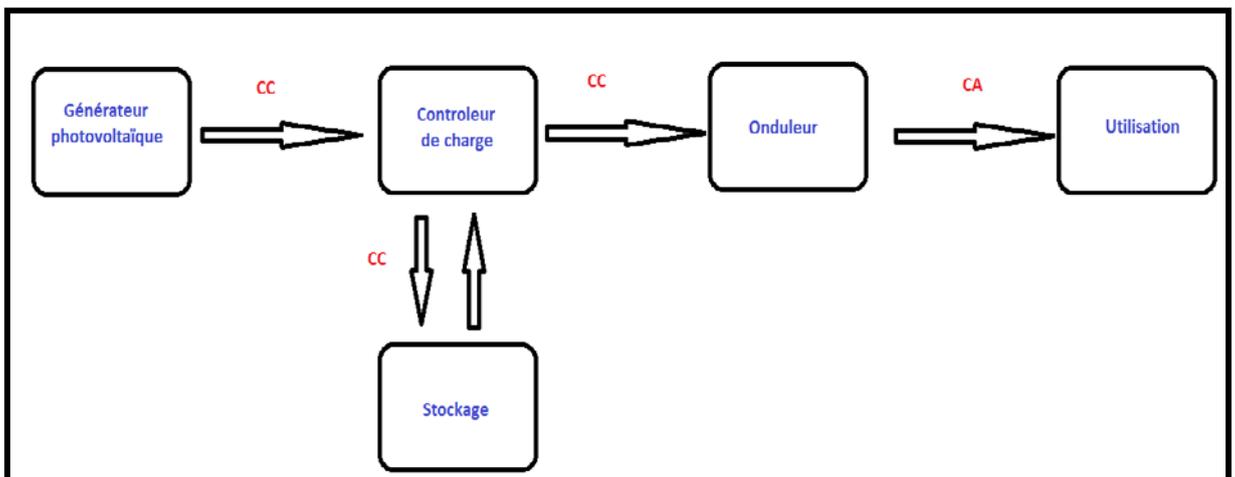


Figure I.13: Système photovoltaïque autonome [15].

I.6.2. :Système photovoltaïque raccordé au réseau

Le courant généré peut être utilisé localement et les surproductions sont injectées dans le réseau. La centrale de distribution électrique se charge également d'équilibrer l'offre et la demande.

Cette application a plusieurs applications malgré qu'elles soient peu trouvées dans le marché ; en Europe on utilise cette installation comme résolution du problème des pics de consommation d'énergie électrique, on encourage l'installation des modules photovoltaïques à domicile et ceci fait diminuer la consommation électrique. Ceci entraîne diminution de la consommation de combustibles ce qui diminue la pollution et/ou garde une réserve utilisée dans d'autres applications. L'électricité produite pendant la journée est utilisée en direct par les équipements électriques de la maison. Les excédents sont redirigés sur le réseau et pourront être vendus directement à l'opérateur.

Cette installation se compose d'un générateur photovoltaïque et d'un convertisseur DC/AC.

Dans ce type d'installation on exige une tension de 220V, une fréquence de 50Hz et facteur de puissance ($\cos\phi$) égal à l'unité du courant alternatif PV produit. Ceci, pour satisfaire les paramètres du réseau publique où on injecte de l'énergie. [16]

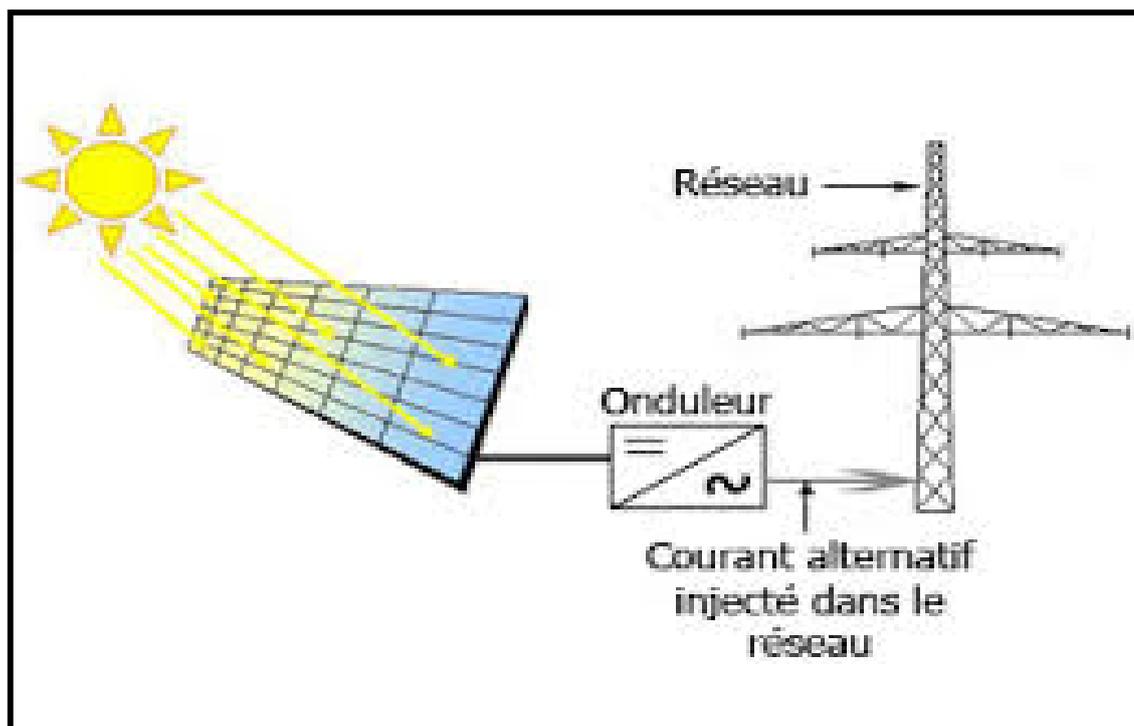


Figure I.14: Système photovoltaïque raccordé au réseau [10].

I.6.3. :Système photovoltaïque de pompage d'eau

Le pompage solaire représente la solution idéale pour l'approvisionnement en eau partout où le réseau électrique est absent (alimentation en eau pour un usage domestique, pour l'irrigation agricole, ...etc.). D'autre part, l'énergie photovoltaïque ne présente aucun risque de pollution de l'eau, contrairement aux générateurs diesel où des écoulements de combustible peuvent se produire. [16]

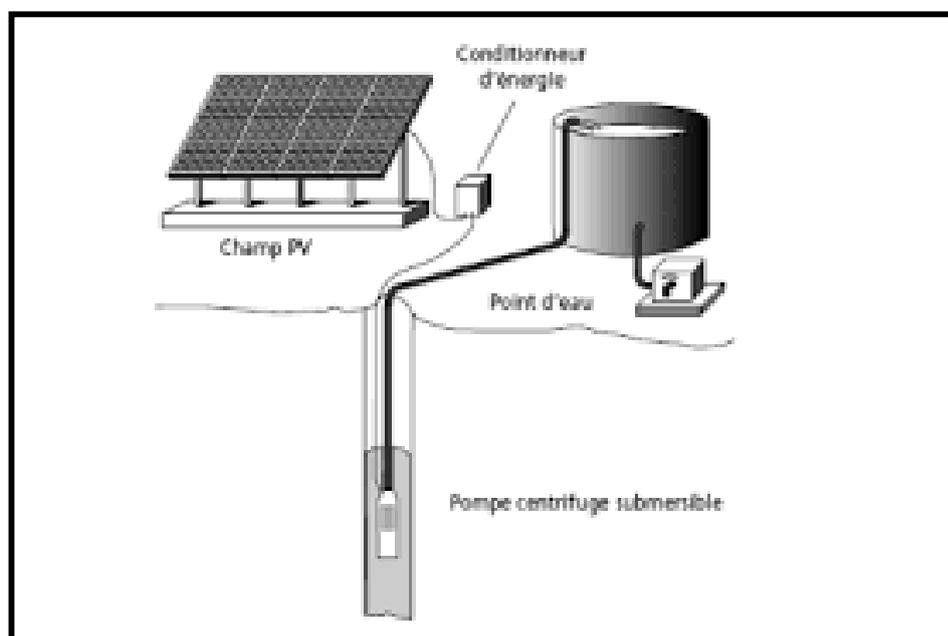


Figure I.15: Système photovoltaïque de pompage d'eau[16]

I.7. Secteurs d'application

I.7.1 : Sites isolés: parcs nationaux, service des eaux et forêts, régions isolées, désert, pompage et irrigation ...

I.7.2 : Télécommunications : Téléphonie rurale, radiotéléphonie, ...

I.7.3 : Acquisition de données : dans les stations isolées d'acquisition de données, stations météorologiques ...

I.7.4 : Routes et transport : lampadaires, panneaux à messages variables, éclairage de panneaux, signalisation lumineuse routière et ferroviaire ...

I.7.5 : Domaine spatial : utilisation des cellules solaires pour des engins spatiaux (satellites, navettes,)

I.7.6 : Système photovoltaïque de pompage d'eau

I.7.6.1 : Qu'est-ce que le pompage solaire ?

Le pompage solaire représente la solution idéale pour l'approvisionnement en eau partout où le réseau électrique est absent (alimentation en eau pour un usage domestique, pour l'irrigation agricole, ...etc.). D'autre part, l'énergie photovoltaïque ne présente aucun risque de pollution de l'eau, contrairement aux générateurs diesel où des écoulements de combustible peuvent se produire.

I.7.6.2 : Les composants d'un système de pompage photovoltaïque

A. Un générateur :

B. Ensemble de modules photovoltaïques connectés électriquement et installés mécaniquement dans leur lieu de fonctionnement, assurant la production et la gestion de l'électricité fournie par les capteurs photovoltaïques. Il comporte aussi une structure métallique pour supporter l'ensemble. [12]

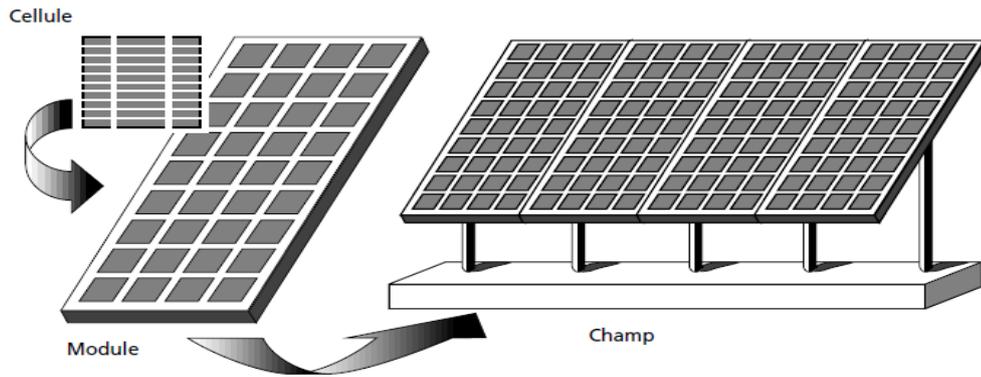


Figure I-17 : Champ photovoltaïque. [17]

C. Unité de conditionnement de puissance :

D. Elle est constituée d'un convertisseur (onduleur), capable de faire varier la fréquence et la tension de sortie en fonction de la puissance disponible du générateur solaire, elle-même fonction de l'irradiation solaire qu'il reçoit. [17]

E. Un groupe électropompe immergé :

F. Il est constitué d'un moteur électrique à induction et d'une pompe centrifuge ou volumétrique immergées sous le niveau d'eau. Ces pompes sont conçues pour être installées dans des forages afin de pomper l'eau au niveau de la surface. Elles peuvent être installées horizontalement, verticalement ou sous fourreau. Elles sont d'un faible encombrement et particulièrement silencieuses. [17]

G. Un câblage électrique :Circuit par lequel transite l'énergie du générateur au moteur.

H. Une infrastructure hydraulique :Elle transporte l'eau de sa source vers un réservoir de stockage.

I. Un système de potabilisation répondant aux normes en vigueur pour assurer une qualité sanitaire de l'eau.

J. Un réseau de distribution

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

La première étape qui se fait avant l'étude de dimensionnement d'un réseau d'irrigation est l'étude climatique de la zone, ceci est dû à l'importance et l'influence de plusieurs variables de climat telles que la température, précipitation, insolation, gel, sur le cycle végétatif des cultures.

II.1.Présentation de la région :

La ville d'Ouargla, est située au Sudd l'Algérie, au fond d'une cuvette très large de la vallée de l'Oued M'yaa environ 800 Km d'Alger. La wilaya d'Ouargla couvre une superficie de 163.230 Km² [18].

Le relief de Ouargla est constitué des roches sédimentaires, alluvions et colluvions dérivées des Marnes jaunâtres plus ou moins gréseuses, salées et gypseuses, Calcaires Jaunâtres ou ocre, gréseux ou marneux, Argiles sableuses rouges à ocres, salées et gypseuses, Grés, sables et conglomérats, Calcaires lacustres et les sables récents du quaternaire.

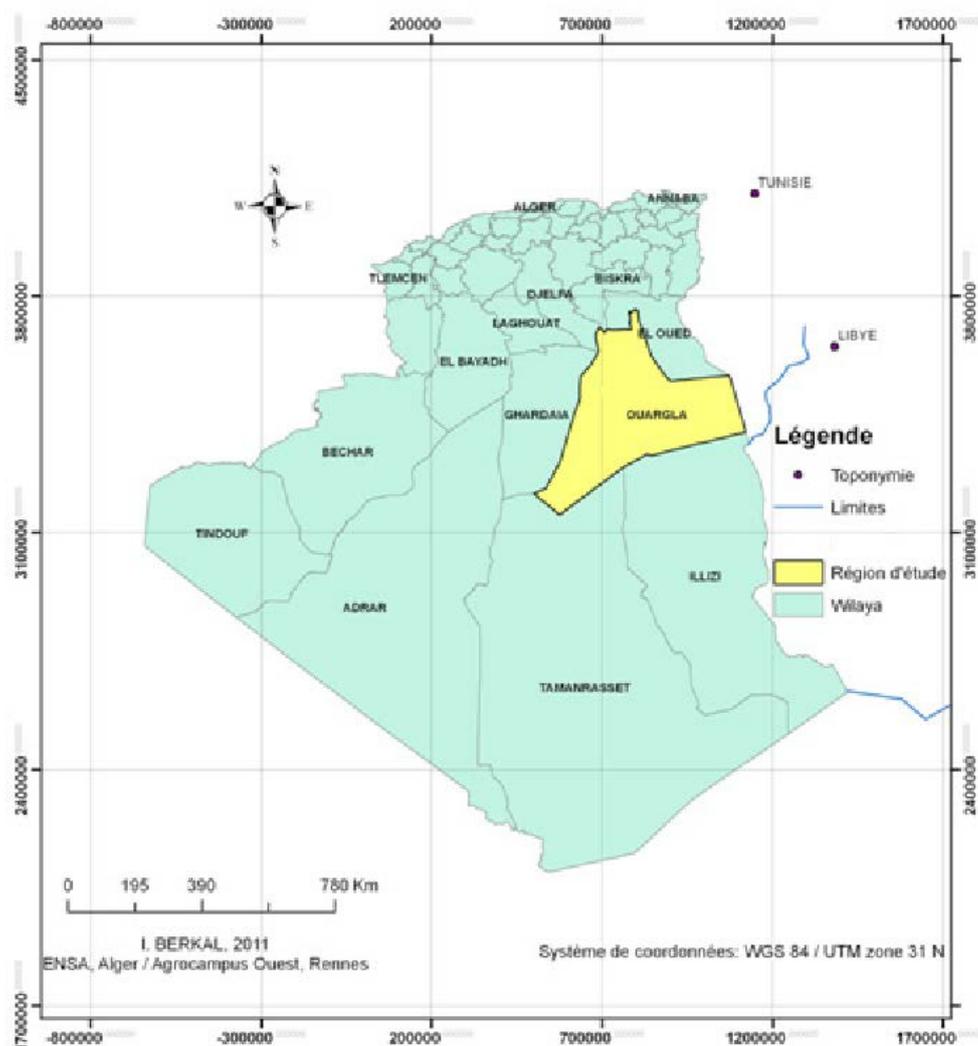


Figure II.1 : Carte de la localisation géographique de l'oasis d'Ouargla [18]

La zone d'étude se trouve au niveau de la wilaya d'Ouargla exactement dans l'université « Kasdi Marbah »

Le périmètre couvre une superficie de 8 ha qui sont répartie en quatre parcelles, secteur A, secteur B, secteur C et secteur D.

Les coordonnées du périmètre sont les suivantes Latitude : $31^{\circ},57'$ Nord. Longitude : $5^{\circ},20'$ Est. Ses altitudes sont comprises entre 132.5 et 134.0 m [18]



Figure II.2 : l'exploitation agricole ITAS (Google Earth)

Dans un but scientifique, nous allons présenter les variables relatives du climat, le sol, et l'eau

II.2. Étude climatique de la région :

II.2.1. Température :

Les températures mensuelles moyennes pour une période d'observation de 20ans (1997-2017) sont présentées dans le tableau qui suit :

Tableau II.1. : Températures moyennes mensuelles en degré

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	oct.	nov.	Déc.
Température (°C)	11.2	14.3	18.6	25.2	29.1	35.4	39.3	36.6	33.1	29.7	22.3	18.9

(Sources ONM)

A partir des données des températures nous avons tracé l'histogramme de la figure II.3.

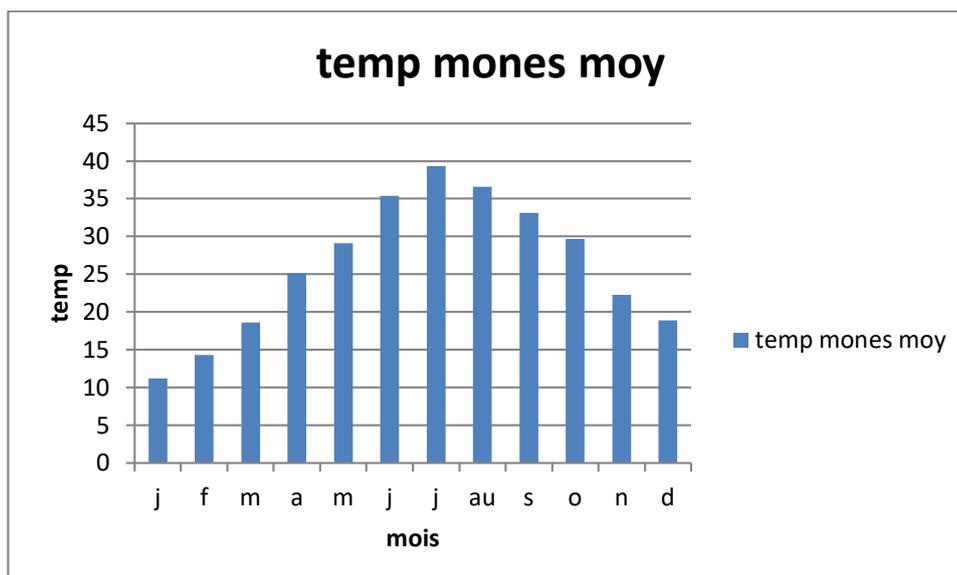


Figure II.3 : histogramme représente la température mensuelle moyenne

A travers l'analyse de cet histogramme nous avons constaté que le mois le plus chaud est celui de juillet et le mois le plus froid est celui de janvier.

II.2.3. Humidité relative :

L'humidité relative du cycle hydrologique contrôlant l'évaporation du sol et la couverture végétale, cette dernière correspond au rapport de la pression partielle de la vapeur d'eau.

Les données d'humidité relative mensuelles moyennes de la station d'Ouargla sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.2. : Humidités mensuelles moyennes en pourcentage (%) (ONM)

Moi	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Jui	Juil.	Aout	Sep	oct.	nov.	Déc.
Humidité (%)	59.2	47.2	34.5	29.1	24.3	22.4	21.6	24.2	30.7	37.6	47.1	57.9

Les valeurs minimales de l'humidité se produisent en juillet et juin et les valeurs maximums en décembre et janvier.

Les données d'humidité du tableau II.1 sont représentées sur l'histogramme de La figure II.4.

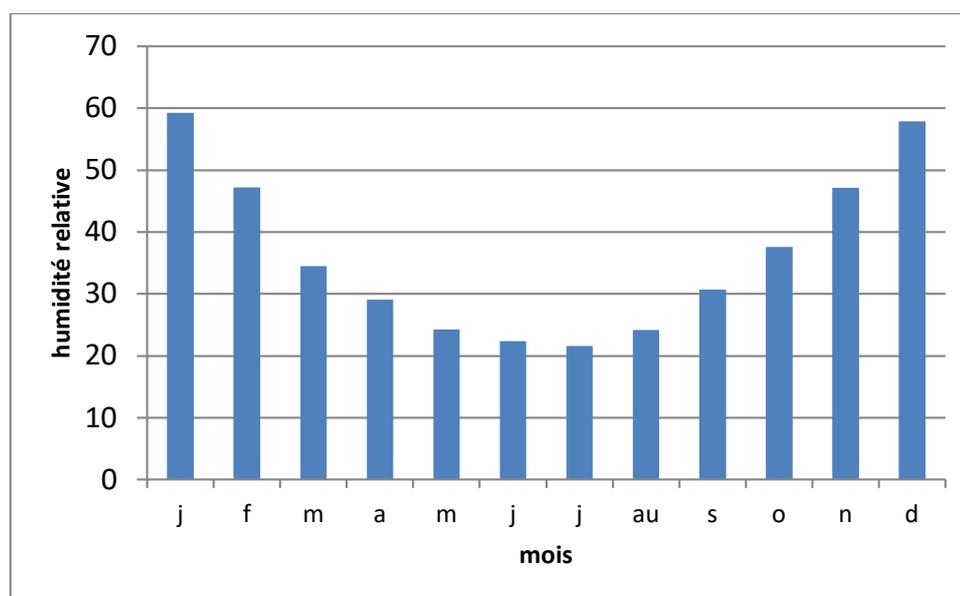


Figure II.4 : histogramme représente l'humidité mensuelle moyenne en pourcentage

D'après la figure. II.4 nous remarquons que les valeurs maximales de l'humidité se produisent en mois janvier et décembre avec des valeurs qui sont respectivement de (59.2, 57.9 %) et la valeur minimale en juillet dont les valeurs sont de (21.6)

II.2.4. vent :

Dans la région d'Ouargla, les vents soufflent du Nord et du Sud. Les vents les plus fréquents en hiver sont les vents d'Ouest, tandis qu'au printemps les vents du Nord-Ouest dominant. En été, les vents soufflent du Nord et en automne du Nord et Sud-Ouest [19].

D'après les données de (l'O.N.M, 2015) et pour la période de 2005- 2014 (tableau II.3), Les vents sont fréquents sur toute l'année avec une moyenne annuelle de 13,65 m/s. Cette vitesse peut produire une érosion éolienne dans la région [20].

Tableau II.3. : Les fréquences moyennes mensuelles de vent

Moi	Jan	Fév.	Mar	Av	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	oct.	nov.	Déc.
V Moy (m/s)	16.3	15.5	15.1	22.3	18.4	17.8	15.3	14.1	12.5	12.3	9.7	10.5

(Sources ONM)

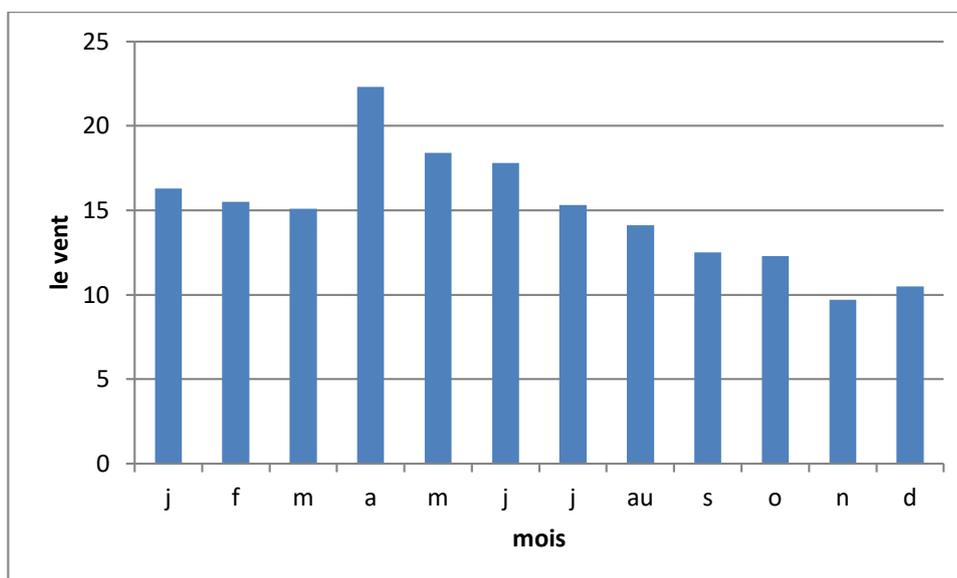


Figure II.5 : histogramme des fréquences mensuelles moyennes du vent

D'après les données du tableau, nous avons tracé l'historgramme des fréquences mensuelles moyennes du vent ; d'après cet histogramme nous avons constaté que les vitesses du vent sont presque stables le long de l'année.

II.2.5.Précipitations :

Les précipitations de notre région d'étude sont caractérisées par des intensités très faibles. Sur une période de 20 ans une intensité moyenne annuelle de (50mm) a été enregistrée. Ce qui représente une faible quantité d'eau et un réservoir en eau du sol très peu appréciable. La majeure partie de ces précipitations sont enregistrées durant la saison d'hiver qui s'échelonne, du mois de Novembre au mois de Février. Le maximum est enregistré au mois de Janvier.

Tableau II.4. : Précipitations moyennes mensuelles

Moi	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	oct.	nov.	Déc.
P moy (mm)	2	2.2	3	1.5	1.1	0.2	0.1	0.1	7.1	4.2	3.2	3.3

(Sources ONM)

A partir des données des précipitations moyennes mensuelles du tableau II.4, nous avons érigé l'histogramme de la figure II.6.

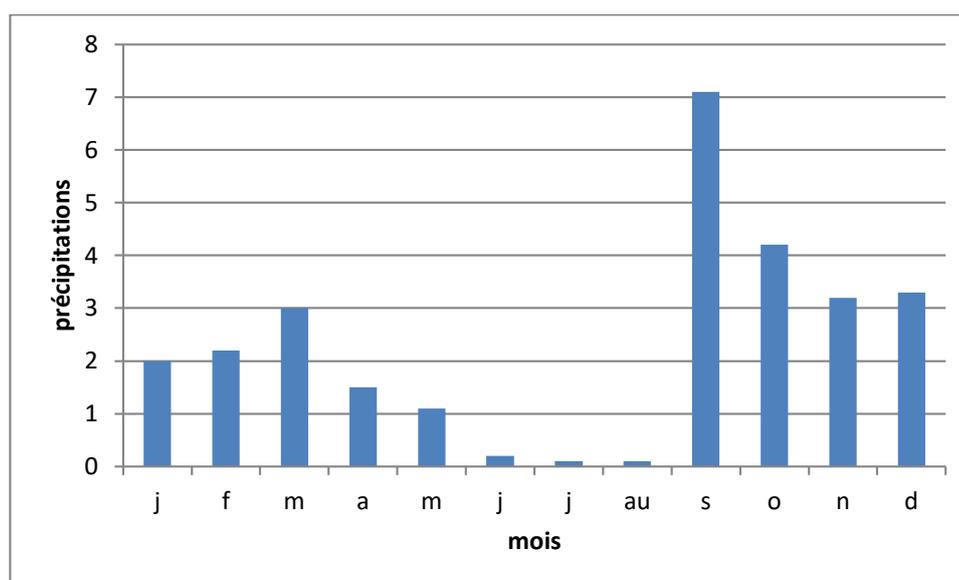


Figure II.6: histogramme des Précipitation moyennes mensuelles

L'analyse de l'histogramme de la figure II.6, nous constatons que la valeur de la précipitation moyenne annuelle est de 2.7 mm, le mois de Septembre est le mois le plus pluvieux avec une valeur de 7.1 mm et le mois de Juillet est le mois le plus sec de l'année avec une valeur de précipitation de moins de 0.1mm

II.2.6.L'insolation :

La région d'Ouargla est caractérisée par une forte insolation. Cette dernière correspond à la durée d'éclairement du sol par le soleil. La durée moyenne d'insolation dans la cuvette d'Ouargla est de 271.35 h/moi, avec un maximum de 35.2 heures en aout et un minimum de 229.6 heures en décembre.

Tableau II.5 : L'insolation moyenne mensuelle de la région d'Ouargla (2006-2017).

Moi	janv.	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Heures max d'ensoleillement (h/j)	6	6.4	6.9	6.9	6.6	6.4	7	7.2	6.5	6.3.	5.9	5.2

(Sources ONM)

L'analyse de ce tableau montre l'importance de l'insolation dans cette région 7 heures/jour environ 3256.2 h/an

II.2.7. Evaporation et évapotranspiration :

L'évaporation et l'évapotranspiration désignent les pertes en eau par retour direct à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. L'évaporation correspond au perte en eau subite par les surfaces d'eau libre. [21] l'évapotranspiration est un phénomène complexe intégrant à la fois l'évaporation de l'eau, du sol (phénomène physique) et la transpiration de la couverture végétale (phénomène physiologique) on distingue :

- ✓ Evapotranspiration potentielle : qui représente la quantité maximale d'eau consommée par une culture de référence (gazon) couvrant totalement le sol et présentant une hauteur uniforme durant quelque centimètre, dans la double hypothèse : Stade de développement végétatif maximal ; Sol suffisamment pourvu en eau a sa capacité de rétention.

C'est donc la limite maximale de l'évapotranspiration

- ✓ Evapotranspiration réelle : c'est la valeur réelle de l'évapotranspiration, le plus souvent inférieur à la précédent puisque le sol n'est pas sa capacité de rétention

II.2.7.1. Méthode de calcul d'évapotranspiration :

Il existe plusieurs formules dont on cite les plus employer :

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

❖ Formule de Turc [22]

Cette formule est présentée sous la forme :

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

Les résultats de l'évapotranspiration potentielle obtenus par la formule de Turc sont résumés sur tableau suivant :

Tableau II.6. : Evaporation moyenne mensuelle calculée par la formule de Turc :

Mois	Jours	T (c°)	Rg (cal/cm ² /j)	hr%	ETP (mm/j)
JAN	31,00	11,20	537,50	59.2	101.21
fév.	28,00	14,30	553,50	47.2	111.50
mars	31,00	18,60	502,21	34.5	150.47
avril	30,00	25,20	562,11	29.1	194.33
Mai	31,00	29,10	550,66	24.3	218.37
Juin	30,00	35,40	605,66	22.4	250.42
jouit	31,00	39,30	616,59	21.6	273.31
aout	31,00	36,60	578,12	24.2	245.72
Sept	30,00	33,10	503,58	30.7	189.53
oct.	31,00	29,70	513,74	37.6	177.69
nov.	30,00	22,30	510,44	47.1	136.09
déc.	31,00	18,90	443,85	57.9	110.96

- 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

❖ Méthode de Thortwaite

Elle consiste à calculer à chaque mois l'évapotranspiration mensuelle en utilisant la formule suivante [22]

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

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle (mm/j)

t : température moyenne mensuelle du mois considéré en °C

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

$$a = 675.10^{-9} \times I^3 - 771 \times 10^{-7} \times I^2 + 1792 \times 10^{-5} \times I + 0.49239 \dots \dots \dots \text{ (II.4)}$$

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

Cette formule est facile à mettre en œuvre parce qu'elle n'utilise que les températures, elle ne rend pas compte du phénomène vrai qui dépend de l'humidité de l'air ;

❖ Formule de Baney-Criddle :

Cette formule elle prend en considération, la température, la durée de jour et qui est en fonction de la culture et de la zone climatique [22] la formule est comme suite :

$$ETP = K \times P \times (0.4572t + 8.128) \dots \dots \dots \text{ (II.5)}$$

Avec :

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

t : température moyenne mensuelle en °C

$$k = kt + kc \dots \dots \dots \text{ (II.6)}$$

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 ;

II.3. Etude du sol de la parcelle d'essai :

Pour mener à bien l'étude du sol, nous avons procédé à un prélèvement de (4) échantillons du sol de notre exploitation agricole. L'analyse du sol consiste à déterminer les caractéristiques physiques et chimiques de ce dernier qui sont d'une importance capitale dans une étude d'irrigation. Le prélèvement est fait à l'aide d'une tarière de 1.2 m représenté sur la figure II.7



Figure II.7 : tarière de 1.2 m

II.3.1 Analyse physique :

Cette analyse consiste à déterminer plusieurs paramètres à savoir :

II.3.1.1. Analyse granulométrique :

Le prélèvement des échantillons du sol a été effectué à des endroits différents de la parcelle d'essai. Tous les prélèvements ont été faits à la tarière.

Avant de commencer les essais de granulométrie nous avons procédé à un séchage des échantillons à 105 °C pendant 24h.

L'analyse granulométrique est réalisée au laboratoire de la faculté de technologie en utilisant des tamis de différents diamètres de 2 mm à 0.08 mm. Que représentant dans la figure suivant :



Figure II.8 : les tamis utilisé à l'analyse granulométrique

Les résultats de l'analyse granulométriques sont résumés dans le tableau ci après :

Tableau II.7. : Analyse physique du sol (Granulométrie)

Granulométrie	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
Fraction %	7.30	7.27	16.65	39.59	27.28

En comparant les résultats d'analyse granulométriques avec la classification du sol par le triangle textural, le sol expérimental de notre étude est de texture **Sableux limoneux** qui est caractérisée par une faible rétention d'eau, en conséquent une perméabilité trop élevée.

II.3.1.2. Densité apparente :

Après séchage de l'échantillon à 105°C on le met dans une éprouvette de 100ml et on le pèse on obtient p_1 figure II.9. En suite nous avons calculé les valeurs de la densité apparente des différents échantillons.

$$DA = \frac{P_1}{Vt(100ml)} \dots \dots \dots (II.7)$$

Les résultats de calcul de densité sont résumés sur le tableau II.8

Tableau II.8. : Résultat de densité apparente

Echantillons	Argile	Limon fin	Sable fin
Densité apparente (g/cm ³)	1.60	1.178	1.159



Figure II.9. : mesuré de la densité apparent

II.3.1.3. Humidité équivalente

Humidité équivalente en % est calculée par la formule suivante:

$$\text{Heq \%} = \frac{P1-P2}{P2} \times 100 \dots \dots \dots (II.8)$$

Avec : p1 : poids du terre humide et p2 : poids du terre séchée a 105°, le résultat sont exprimée dans le tableau suivant :

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau II.9. : Humidité équivalente :

Echantillons	1			2			3		
Profondeur (cm)	0-40	40-80	80-120	0-40	40-80	80-120	0-40	40-80	80-120
H%	12.54	13.33	11.98	11.66	11.87	10.96	9.55	10.23	12.30

II.3.2. Les analyses chimiques du sol :

Ces analyses sont réalisées au sein du laboratoire de l'université d'Ouargla. Les résultats sont résumés sur le tableau II.10

Tableau II.10. : Caractéristiques chimiques du sol :

Eléments	Méthode d'analyse	Horizon 0 – 20	Horizon 20 – 40	Horizon 40 – 60	Moyenne
pH	Électro spectromètre	7.57	7.75	7.60	7.64
Conductivité électrique ds/m	Électrode	2,87 ds/m	3 ,21 ds/m	1,72 ds/m	2.6
Matière organique %	Calcination	1.2	0.84	0.58	0.87

II.4. L'eau d'irrigation :

L'irrigation de la palmeraie est assurée par deux forages, le premier est réalisé en 1959, il est situé dans le secteur A 2 au nord et du secteur B1, la profondeur est de 188.8 m avec un débit de 40 l/s. [23]

Le second forage, est situé au nord est du secteur A1, réalisé en 1986, il est d'une profondeur 68 m avec un débit 30 l/s.

II.4.1. Qualité des eaux d'irrigation :

Les eaux d'irrigation utilisées proviennent de la nappe du Mi pliocène et du Sénonien.

Les paramètres étudiés des eaux d'irrigation des deux forages de l'exploitation, sont :

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

La conductivité électrique et le PH.

I.4.1.1. Conductivité électrique :

Les résultats de la conductivité électrique sont donnés au tableau suivant :

Tableau II.11. : Conductivité électrique des chantaients prélevés du premier et le second forage.

Source d'eau	Premier forage (Miopliocène)	Second forage (Sénonien)
Conductivité électrique (dS/cm)	4.68	3.12

D'après ces résultats, ces eaux sont à salinité très forte [24]

II.4.1.2. pH des eaux :

Les résultats sont exprimés dans le tableau suivant :

Tableau II.12. : PH des eaux d'irrigation (source 1 et source 2)

Source d'eau	Premier forage	Seconde forage
PH	7.96	7.55

D'après les résultats du tableau II.12, nous constatons que ces eaux sont alcalines [25]

D'après les résultats obtenus des analyses des deux forages, nous avons remarqués que les eaux du Mi pliocène et du Sénonien présentent une forte salinité à salinité excessive, avec des CE, respectivement de l'ordre de 4,68 dS/m et de 3,12 dS/m, et des R.s respectifs de 4,5 g/l et 2,5 g/l.

Selon le FAO ce aux sont classées comme des eaux très déconseillées pour l'irrigation (C4) à cause de leur salinité et alcalinité très élevées, pouvant produire un stress salin, et une toxicité sodique pour les cultures. [25]

Chapitre III

Les techniques de pompage solaire et L'irrigation.

Chapitre III

Techniques de pompage solaire et Irrigation.

Dans ce chapitre nous allons présenter dans un premier temps les différentes techniques de pompage solaire ; à fil du soleil et avec batterie de stockage. Puis nous allons définir les différents équipements qui composent une installation de pompage solaire ; les panneaux photovoltaïques, les convertisseurs d'énergie et les motopompes. Dans une seconde étape nous allons présenter différentes techniques d'irrigation ; de surface, l'aspersion et le goutte à goutte. Nous allons, aussi, présenter les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles avant de choisir la technique adaptée à notre étude.

III.1. Système de pompage solaire d'eau en général :

La différence entre un système de pompage solaire et un système de pompage classique est l'autonomie et la durabilité. Dans le pompage classique on dépend de l'approvisionnement de l'énergie électrique (Réseau de Sonalgaz ou Fuel ou gaz). En plus les sources d'énergie classique ne sont pas durables et renouvelables. Par contre le pompage solaire (panneaux photovoltaïques) utilise une énergie durable et renouvelable qui le soleil. [1]

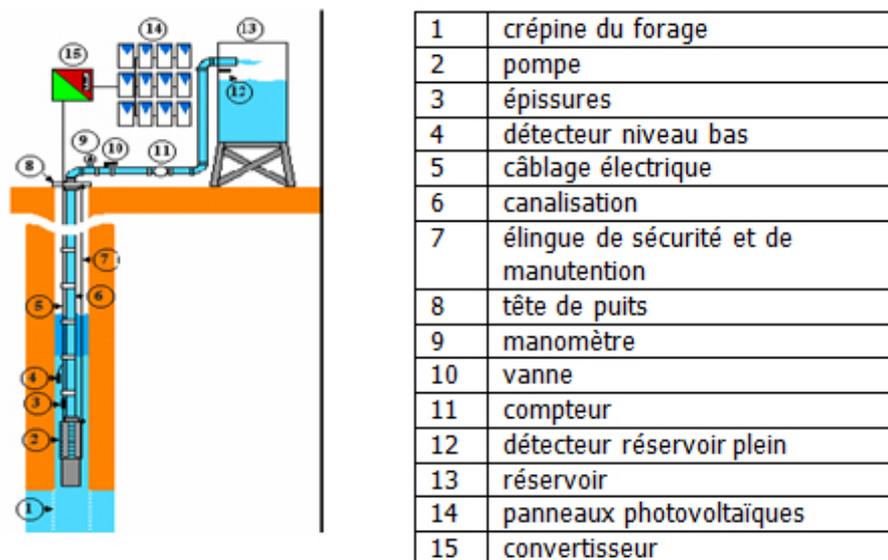


Figure.III.1.Système de pompage solaire [1]

III.1.1. Diagramme d'un système de pompage solaire :

Le système de pompage solaire photovoltaïque se compose en général de 3 parties, montrées dans la figure (III.2).



Figure.III.2. Diagramme d'un système PS

III.1.2.Méthodes de pompage solaire :

Pour pomper l'eau avec un système photovoltaïque, deux techniques sont possible :

- Pompage au fil du soleil : L'énergie solaire est consommée en temps réel ;cette solution nécessite un stockage de l'eau dans un réservoir. L'eau pompée pendant la journée est stockée afin d'être utilisée plus tard, par exemple le soir ou quand il n'y a pas de soleil.
- Pompage avec batteries de stockage : Il consiste à utiliser un stockage de l'énergie, qui peut être utilisée plus tard pour pomper l'eau.

III.1.2.1. Pompage au fil du soleil (Stockage de l'eau) :

La méthode de pompage « au fil du soleil » permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple, fiable et moins couteux. En effet, dans cette technique c'est l'eau pompée qui est stockée lorsqu'il y'a suffisamment d'ensoleillement. Dans ce cas c'est un stockage hydraulique.

L'eau est stockée dans un réservoir à une hauteur bien déterminée du sol pour, qu'en cas de besoin, elle serait distribuée par gravité. Le réservoir d'eau peut être construit localement. Il ne demande pas un grand entretien et peut être réparé localement. La capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours selon les modèles. [28]



Figure III.3. Pompage au fil du soleil (stockage de l'eau) [28]

III.1.2.2. Pompage avec batteries (stockage électrique) :

L'avantage de cette technique c'est de garantir une stabilité d'alimentation électrique des équipements. Nous aurons un débit régulier et la possibilité de pomper l'eau n'importe quel moment même lorsqu'il n'y a pas de soleil. [28]

L'inconvénient de cette technique c'est qu'elle comporte plusieurs composants qui influent négativement sur le coût global du système. Aussi les batteries sont coûteuses et fragiles. Elles ont une courte durée de vie. Ce sont les premiers équipements qui auront besoin d'être changés.

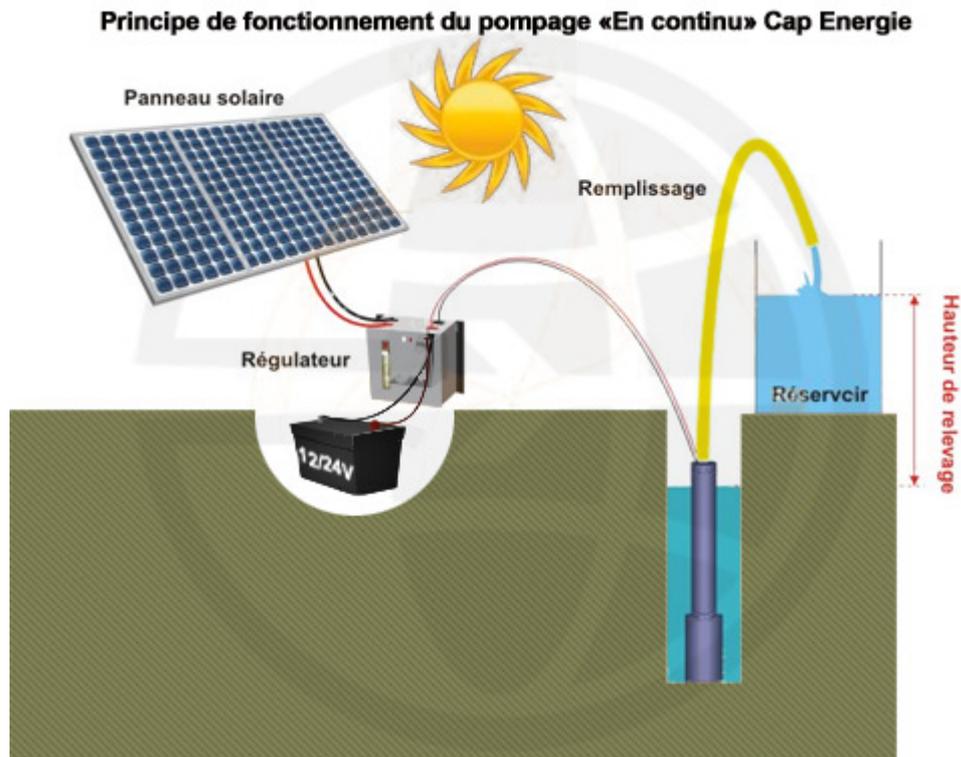


Figure III.4. Pompage avec batteries (stockage électrique) [28]

III.2. Le groupe de motopompe :

La classification des pompes peut se faire selon différents critères : conception de la pompe, sa position dans le système et le type du moteur utilisé.

Généralement une pompe est un moyen qui sert à absorber et refouler un fluide. Il existe deux types de pompes : les pompes centrifuges (figure III.5), et les pompes volumétriques (Figure III.7). Elles servent à élever de faibles débits d'eau à des pressions élevées. Tout en sachant que le principe de conversion d'une pompe hydraulique est que cette dernière reçoit l'énergie électrique qu'elle transforme en énergie mécanique de telle sorte que la pompe la transmet en énergie hydraulique. [28]

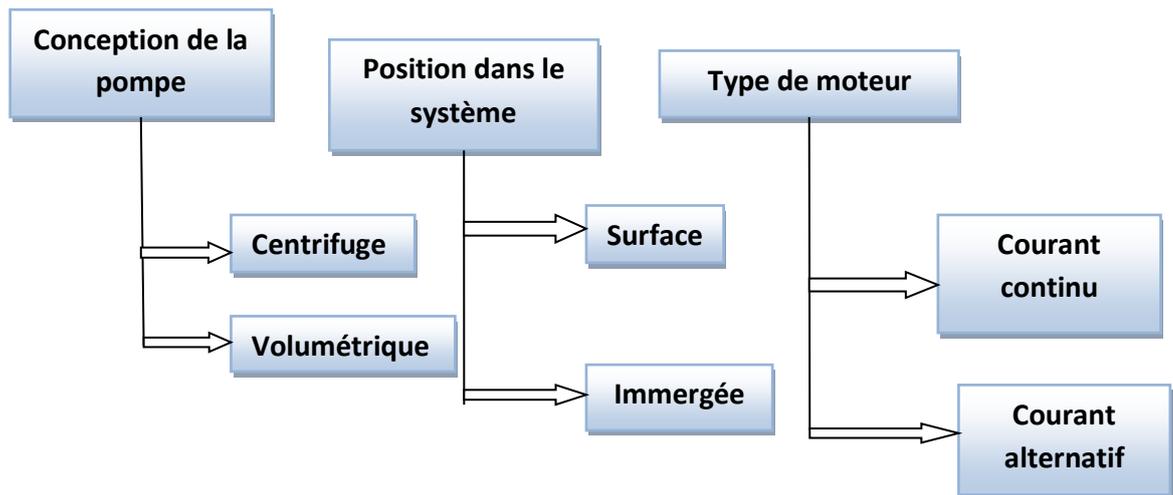


Figure III.5. Classification des pompes

III.2.1. La pompe centrifuge :

Son principe est de donner l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou à ailettes. L'eau qui rentre au centre de la pompe la rejette vers l'extérieur grâce à la force centrifuge des aubages.

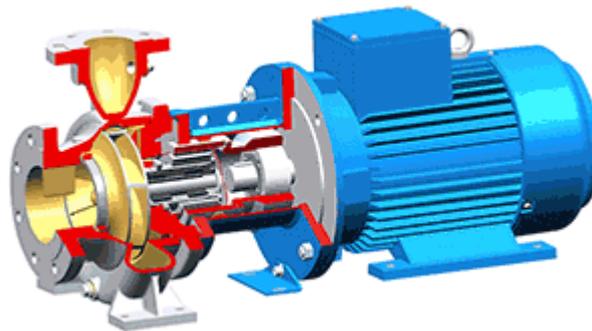


Figure III.5. La pompe centrifuge [29]

III.2.1.1. Caractéristiques d'une pompe centrifuge :

Les pompes centrifuges ont les caractéristiques suivantes :

- Elles sont utilisées pour les applications avec énergie photovoltaïque
- Pratiquement le couple d'entraînement de la pompe est presque nul au démarrage.
- La pompe tourne par très faibles ensoleillement. Le moteur peut procurer une vitesse de rotation assez rapide (disant constante).

-Utiliser pour des débits importants.

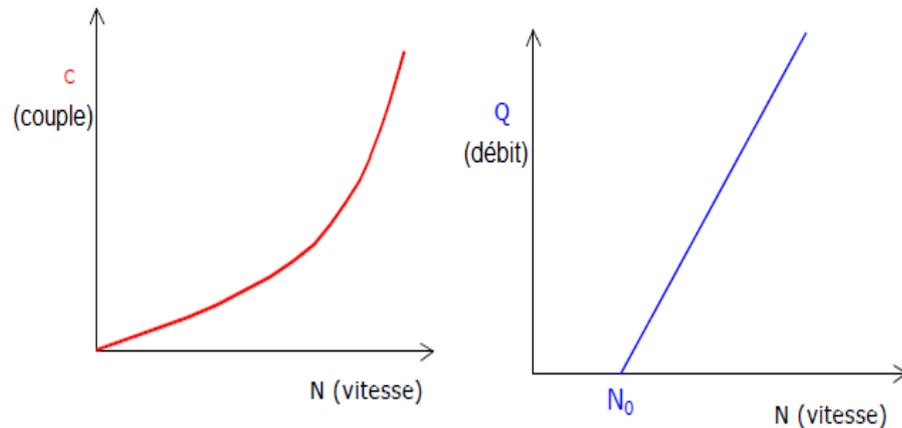


Figure III.6. Courbes des caractéristiques d'une pompe centrifuge [30]

La figure III.6 montre que le couple augmente très rapidement en fonction de la vitesse et le débit est proportionnel à la vitesse. Toute fois, il faut une vitesse minimale à une HMT donnée pour obtenir un débit souhaité.

III.2.2. La pompe volumétrique :

Une pompe volumétrique est une pompe dans laquelle une certaine quantité de fluide « emprisonnée » est forcée à se déplacer jusqu'à l'orifice de sortie.

C'est-à-dire elle sert à transmettre l'énergie cinétique du moteur en mouvement changeant (Qui part et qui revient) permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement.

Une pompe volumétrique comporte toujours une pièce mobile dans une pièce creuse qui déplace le liquide en variant le volume contenu dans la pièce creuse.

Le principal intérêt des pompes volumétriques est de pouvoir véhiculer un fluide sous de très fortes pressions. Cette opération s'effectue pour de faibles débits.

Ces pompes sont les plus utilisées dans le domaine industriel. Ceci, pour la large gamme d'utilisation qu'elles peuvent couvrir, pour leur simplicité et pour leur faible coût. [30]

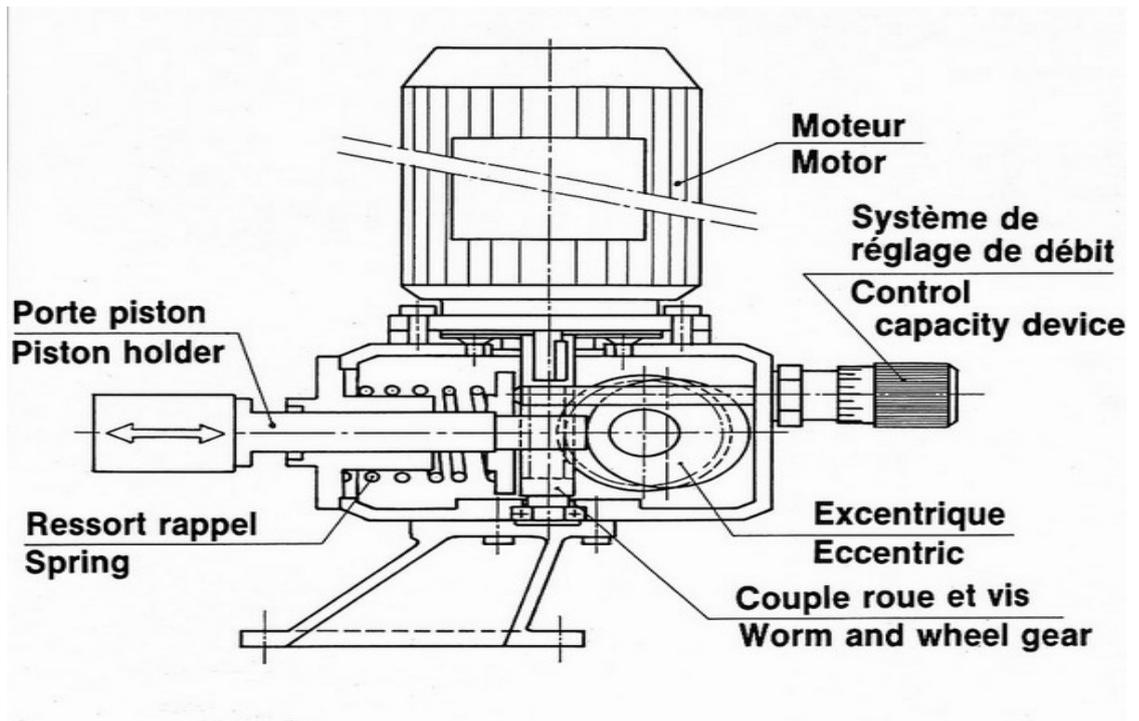


Figure III.7. Une pompe volumétrique [30]

III.2.2.1. Caractéristiques d'une pompe volumétrique :

Ce type de pompe est généralement utilisé pour les puits et les forages à grandes profondeurs et à petits débits d'eau inférieure à 5 (m³/h).

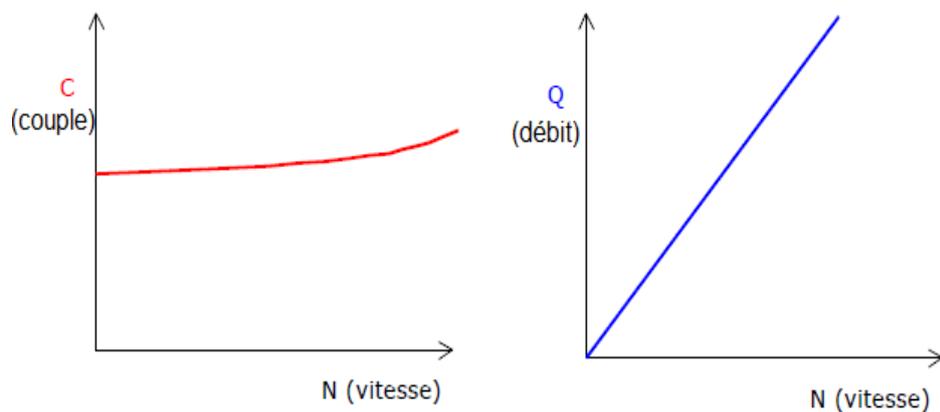


Figure III.8. Courbe caractéristiques d'une pompe volumétrique [30]

La figure (III.8) montre que le couple est pratiquement constant en fonction de la vitesse est que le débit est proportionnel à la vitesse.

III.2.3. Classification selon la position de pompe :

En fonction de l'emplacement physique de la pompe, nous distinguons : Les pompes de surface, et les pompes immergées.

III.2.3.1 Pompes de surface :

Le terme surface définit la position d'une pompe par rapport au liquide à pomper. Elle est dite pompe de surface, car prévue pour être posée en dehors du liquide à aspirer.

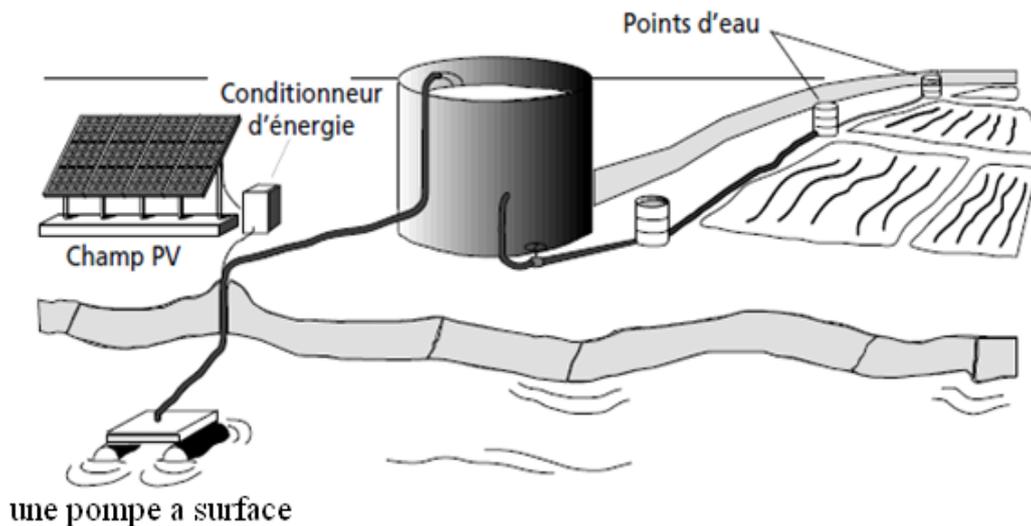


Figure III.9. Pompes de surface [31]

III.2.3.2. Pompes immergées :

Les pompes de refoulement sont immergées dans l'eau et ont soit leur moteur immergé avec la pompe (pompe monobloc), soit le moteur en surface. La transmission de puissance se fait, alors, par un long arbre reliant la pompe au moteur. Dans les deux cas, une conduite de refoulement après la pompe permet des élévations de plusieurs dizaines de mètres, selon la puissance du moteur.[31]

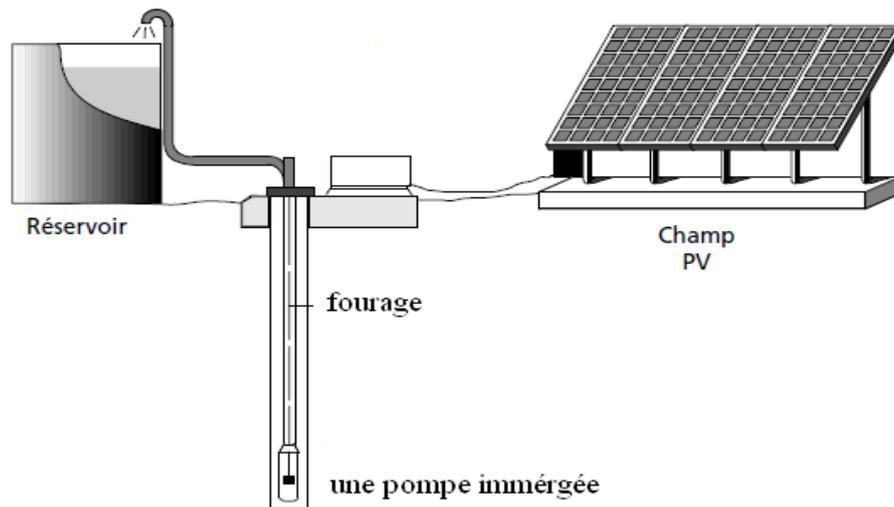


Figure III.10. Pompe immergée [31]

III.2.4. Classification selon le moteur utilisé :

Un moteur électrique est un dispositif électromécanique qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique. Ces machines électriques fonctionnent grâce au magnétisme. Ils existent deux types de moteurs : à courants continus (figure III.11) et Alternatif (figure III.14) [31]

III.2.4.1. Les Moteurs à courant continu avec balais :

Ce sont les moteurs série qui sont utilisés pour des applications de pompage solaire. Il faut avoir un couple de démarrage suffisant pour vaincre la résistance redémarrage d'une pompe.

L'installation nécessite une électronique simple mais présente un inconvénient, l'entretien régulier du moteur et les balais doivent être changés périodiquement, surtout pour les pompes à moteur immergé où il faut retirer la pompe du forage pour changer les balais. [32].

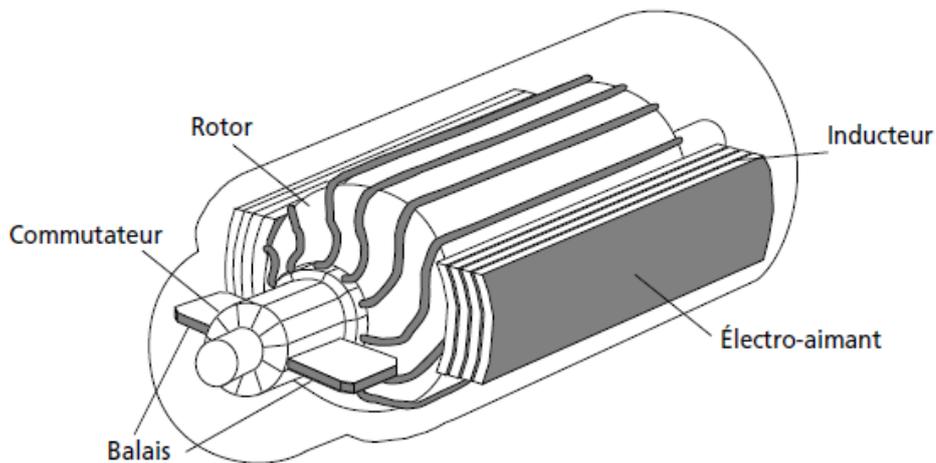


Figure III.11. Moteur à courant continu avec balais au carbone [31]

III.2.4.2. Moteur à courant continu, sans balais (Brushless) :

Ce type de moteur électrique a beaucoup d'avantage : fort couple au démarrage et durée de vie élevée due à l'absence des paliers et des balais mais leur utilisation est limitée aux faibles puissances [32]



Figure III.12. Moteur à courant continu sans balais [32]

Le couplage est direct où avec adaptation du générateur par un hacheur adaptateur de puissance.

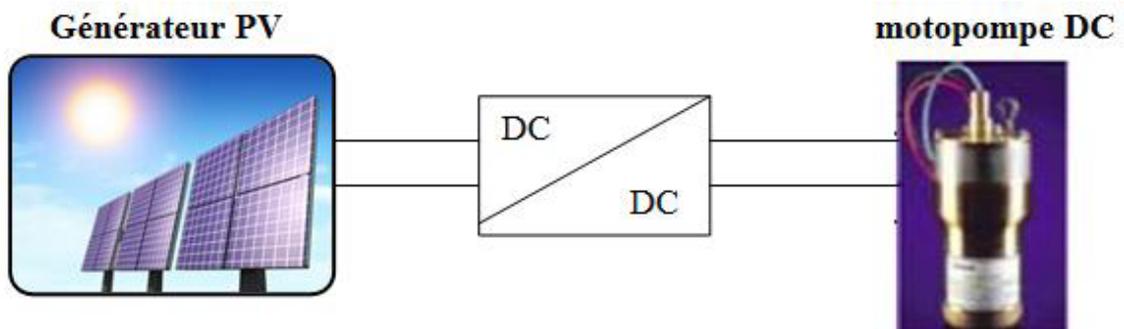


Figure III.13. Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe DC [32]

III.2.4.3. Moteur à courant alternatif :

Les moteurs alternatifs asynchrones sont les plus employés pour une gamme variée d'applications industrielles. Ils sont utilisés pour le pompage immergé dans les forages et les puits ouverts.

L'utilisation, de ce moteur plus robuste et moins cher, est une solution économique et plus pratique même si le circuit électronique de commande est plus complexe. Le moteur est alimenté par un onduleur (convertisseur DC/AC) qui assure l'optimisation d'énergie.[32]

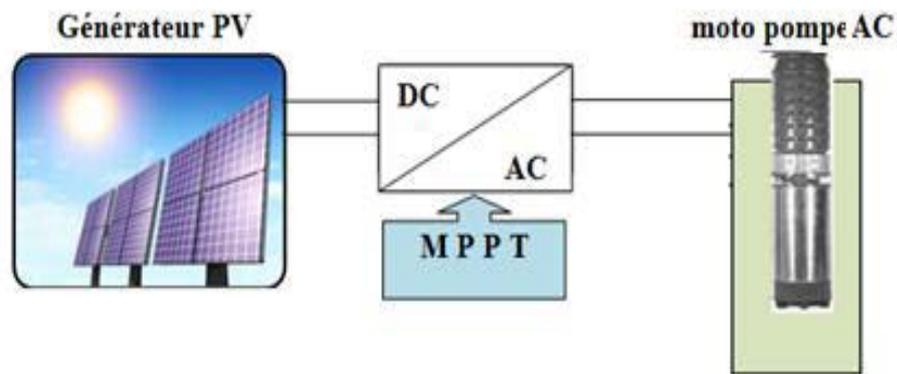


Figure III.14. Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe à AC [32]

III.3. L'électronique de commande et de contrôle :

III.3.1. Le convertisseur DC/AC (onduleur) :

Les convertisseurs ont été spécialement conçus pour une utilisation en fonction des spécifications d'un système de pompage électrique alimenté par un générateur photovoltaïque. Ces spécifications s'affranchissent des besoins de batteries de stockage et de régulateur de charge.

Le convertisseur transforme le courant continu produit par les panneaux en un signal alternatif permettant de faire tourner le moteur de la pompe. Aussi, il assure également les fonctions de commande, de contrôle et de protection du système de pompage. [32]

La vitesse de rotation du moteur dépend de la tension, donc de l'ensoleillement.

III.4.2. La partie stockage :

Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons: stockage d'énergie électrique ou stockage d'eau. Cette dernière méthode est souvent adoptée car il est plus pratique de stocker l'eau dans des réservoirs que l'énergie électrique dans des accumulateurs lourds, coûteux et fragiles. Aussi, le système de stockage avec batterie génère un coût additionnel, des problèmes de maintenance de la batterie et l'obligation de la remplacer après 3 à 5 ans d'usage. De plus, le rendement énergétique est meilleur quand il n'y a pas d'accumulateurs. Le réservoir peut souvent être construit localement et la capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours. Ce réservoir ne requiert pas un entretien complexe et est facile à réparer localement.[32]

III.5. Généralité sur l'irrigation :

Lorsque les précipitations sont insuffisantes, l'irrigation serait nécessaire pour couvrir les besoins en eau des cultures. Il y a plusieurs méthodes d'irrigation pour la desserte en eau des cultures. Chaque méthode présente des avantages et des inconvénients, qui doivent être pris en considération lors de la sélection de la technique qui s'adapte le mieux au projet.

III.5.1. Irrigation de la surface :

L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité. L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion (irrigation par bassins), ou dans des sillons en terre (irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches) [33].

III.5.1.1. Irrigation par bassine :

Les bassins sont constitués de cuvettes en terre, à fond à peu près plat, entourées de diguettes. De faible hauteur ou levées (figure III.5). Cette technique est utilisée, d'une façon générale, pour l'irrigation des rizières sur terrain plat. La méthode par bassins est aussi utilisée pour l'irrigation des arbres fruitiers. En général, cette technique d'irrigation s'applique à toutes les cultures qui peuvent tolérer la submersion par les eaux pour une longue durée [33].



Figure III.15. Irrigation par bassins [34]

III.5.1.2. Irrigation par sillons / A la raie :

Les sillons sont des petites rigoles en terre, pour transporter l'eau entre les rangées de cultures. L'eau s'infiltre dans le sol par les côtés du sillon dans le sens de la pente du terrain. Cette technique (figure III.16) est valable pour l'irrigation de toutes les cultures en lignes.) [33].



Figure III.16. Alimentation des sillons par siphons [34]

III.5.1.3. Irrigation par planches :

Les planches (figure III.17) sont des bandes de terrain. Elles sont aussi appelées calant ou planches d'arrosage. L'alimentation en eau des planches est faite de plusieurs façons : soit par des siphons, ou bien par des tuyaux d'alimentation passant à travers les berges du canal d'amenée. [35]



Figure 33: alimentation des raies par siphons

Figure III.17.Irrigation par planches [34]

III.5.2. Irrigation par aspersion :

La technique d'irrigation par aspersion (figure III.18) est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle.) [35].



Figure III.18.Irrigation par aspersion [34]

III.5.3. Irrigation goutte à goutte :

L'irrigation au goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC. Cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations. La zone humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes. [35]



Figure III.19. L'irrigation par goutte a goutte [34]

III.5.4. Avantages et inconvénients de chaque système d'irrigation :

Avant l'installation d'un système d'irrigation il faut faire une comparaison entre les différentes techniques pour bien choisir le mieux adapté en fonction de considérations techniques est économiques.

Tableau III.1.Avantages et inconvénients de chaque système d'irrigation. [36]

Type d'irrigation	Avantage	Inconvénients
Irrigation gravitaire	<ul style="list-style-type: none">-économie de l'énergie et le cout d'installation-pas de technique complexes-facilité d'emploi	<ul style="list-style-type: none">-nécessite un volume d'eau important-nécessite un entretien permanant des rigoles-le nombre de main d'œuvre important
Irrigation par aspersion	<ul style="list-style-type: none">-utilisé quelque-soitla nature sol-économie d'eau para port au système gravitaire-convient pour les terrains accidentés	<ul style="list-style-type: none">-le prix d'installation important-le développement des mauvaises herbes-perte de par évaporation
Irrigation localisée	<ul style="list-style-type: none">-moins de perte d'eau par évaporation-pas de ruissellement-cout d'exploitation faible suite à la faible pression nécessaire	<ul style="list-style-type: none">-obstruction des goutteursnécessite l'installation d'une station de filtration àl'amont

D'après la comparaison entre ces systèmes nous remarquons que le plus adapté à notre exploitation est le système goutte à goutte.

III.5.5. Equipement du système goutte à goutte :

Dans l'irrigation localisée on trouve de l'amont vers l'aval :

- Une station de pompage
- Un équipement en tête chargé de mesurer ou de régulariser le débit et/ou la pression et parfois la qualité physique et chimique de l'eau.
- Des conduites principales, secondaires
- Des rampes

Les conduites qui sont utilisées en irrigation localisée sont fabriquées à partir de :

- Chlorure de polyvinyle, pvc
- Polyéthylène, PE
- Polypropylènes PP

Le PE est utilisé pour les petits diamètres, et le PVC est utilisé pour les gros diamètres [37].

III.5.4. les différents types de goutteurs :

Il existe plusieurs types de goutteurs dans le marché ; de différentes tailles, formes, débit et pression de fonctionnement.

III.5.4.1. Goutteurs turbulents :

Le débit varie avec la variation de la pression et le débit nominal est donné pour une pression de 1 bar.



Figure III.20.Goutteur turbulent [36]

III.5.4.2. Goutteurs autorégulant :

C'est un goutteur facile à monter sur la canalisation. Le débit reste le même quelque soit la variation de pression dans un intervalle de 0.5 à 3 bars .Il résiste aux produits chimiques. [36]



Figure III.21.Goutteur auto régulent [36]

III.5.4.3. Goutteurs sur pique autorégulant :

C'est un goutteur « micro-asperseur » à 8 jets séparés d'une hauteur 12 cm. Son nettoyage est facile (par dévissage du bouchon). Le réglage de débit se fait par « click » 0 à 33 l/h. La pression est située sur une plage de 1 a 3 bars.[36]



Figure III.22. Goutteurs sur pique autorégulant [36]

Goutteurs incorporés : le goutteur est inséré à l'intérieur du tuyau lors de son extrusion. Ces tubes à goutteur intégrés sont la solution parfaite pour les cultures maraichères.



Figure III.23. Goutteur incorporés [36]

III.5.5. La nécessité de la filtration :

Les résultats des analyses effectuées sur l'eau de notre forage ont donné un taux de salinité élevée (2.5 g/l à 4.5 g/l). Nous devons donc prévoir une filtration d'eau pour éliminer, à l'origine, les causes d'obstruction des goutteurs, afin d'assurer une meilleure durée de vie de notre installation. Il existe plusieurs types de filtrations. Nous allons en citer quelques-unes.[37]

III.5.5.1. Le séparateur de sable :

Le dispositif sépare par centrifugation les particules de sables et les particules se décantent dans une chambre d'accumulation munie d'une purge.

III.5.5.2. Le filtre à sable :

C'est une cuve métallique étanche fonctionnant à une pression max de 10 bars et contenant des sables calibrés pouvant arrêter les éléments organiques. La hauteur du sable dans le filtre est de l'ordre de 60 cm, ce qui est équivalent à 2/3 du volume de ce dernier.[37]

III.5.5.3. Filtre à tamis :

Il est constitué d'une toile en plastique ou en acier inoxydable, qui arrête les impuretés dont le diamètre est supérieur à la maille de filtration. La filtration est meilleure si la vitesse de passage de l'eau à travers le tamis est du même ordre que celle passant à travers le filtre à sable soit, 2.8cm/s.[37]

III.5.5.4. Le filtre à disques:

Il a le même rôle que le filtre à tamis mais, il reste plus performant. Ce filtre est composé de disques superposés laissant des vides provoqués par des rainures et permettant l'arrêt des impuretés contenues dans l'eau. [37]

Voici un type de station en tête de filtration et d'injection d'engrais. Dans notre parcelle nous avons choisir le filtre à sable

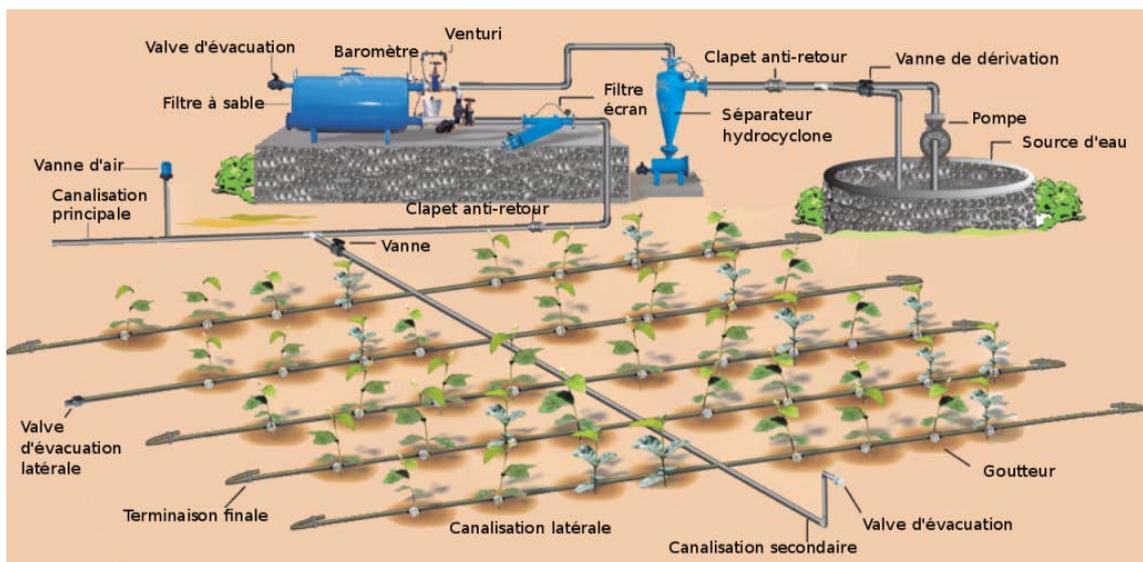


Figure III.24. Station en tête de filtration et d'injection d'engrais [38]

Chapitre IV

Dimensionnement du Système de Pompage Photovoltaïque pour l'irrigation

Chapitre IV

Dimensionnement du Système de Pompage Photovoltaïque pour l'irrigation

IV.1. Besoin en eau des cultures:

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). Cependant, la pratique et l'expérience locale restent toujours très indispensables pour une évaluation correcte des besoins.

IV.1.1 Besoins en eau traditionnels :

Pour déduire les besoins en eau nous basons sur le bilan hydraulique, nous comparons la quantité d'eau disponible naturellement pour les palmiers et les prélèvements de ces même végétaux supposés placés dans des conditions optimales de l'approvisionnement En eau.[32]

$$\text{Besoin net} = ETM - Pu - x \cdot Rfu \dots \dots \dots (IV.1)$$

Avec :

ETM : prélèvement

$$ETM = Etp.Kc \dots \dots \dots (IV.2)$$

La dose pratique d'arrosage, dans le cas d'une irrigation traditionnelle, est donnée par la dn (mm) = Rfu (mm) Avec Rfu est la réserve facilement utilisable.

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

$$N = \frac{Beir}{Dp} \dots \dots \dots (IV.3)$$

La valeur trouvée doit être agrandie au nombre immédiatement supérieur.

$$\text{La dose réelle d'arrosage : } Dr = \frac{Beir}{N} \dots \dots \dots (IV.4)$$

$$\text{Les besoin brutes étant donnée par : } B_{brute} = \frac{Dr}{R} \dots \dots \dots (IV.5)$$

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

Le débit fictif continu du mois de pointe est une notion très importante, c'est un débit supposée donner en continu 24h/24h et tous les jours pour assurer les besoin en eau d'une culture donnée, il est donné comme suit :

$$Dfc = \frac{Beir (m^3/ha)}{T (s)} \dots \dots \dots (TV.6)$$

T : est le nombre de jours du moi considéré.

Le tableau (IV.1) donne les calculs des besoins traditionnels pour les palmiers.

IV.1.2. Besoins réduits :

Nous avons choisi le goutteur autorégulant car il est plus facile à nettoyer car nous avons un terrain sableuse et la qualité de l'eau est un peu salée de plus son débit délivré reste constant malgré la variation de la pression appliquée.

Pour le choix du goutteur à utiliser pour notre palmeraie, nous avons effectué une recherche sur internet sur les différents modèles de goutteurs proposés par des constructeurs spécialisés. Le goutteur recherché doit être autorégulant et abondant dans sur le marché. À terme de notre recherche notre choix s'est arrêté sur le modèle « micro-asperseur » avec réglage de débit par click : 0 à 33 l/h, en fonction de la pression sur une plage de 1 à 3 bar [36].

Pour choisir à quel débit nous doit régler les goutteurs qui doit utiliser dans notre palmeraie, nous fixons des débits différents 16 l/h, 20 l/h, 24 l/h, 28 l/h et nous avons calculé le volume par jour de chaque débit: $V = q \cdot 24$, le tableau suivant donne les résultats

Tableau IV.2. Volumes du goutteur proposé [36]

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

En raisonnant en fonction d'espacement entre goutteurs et entre rampes que nous proposons en fonction d'espacement des palmiers ; on aura pour chaque goutteur une surface qui va être desservie par ce dernier. Cette surface est calculée par l'équation suivante [32] :

$$s = E \cdot e \dots \dots \dots (IV.7)$$

Alors si on doit amener a_1 (mm / jour) qui est le besoin quotidien réduit à la culture, il doit donner un volume : V (mm/jour) = $s \cdot a_1 \dots \dots \dots (IV.8)$

Dans notre palmeraie, l'espacement entre les palmiers est de 9m × 9m, donc l'espacement entre rampes sera de 9m et nous optons pour un espacement entre

goutteurs de 2,5 m (soit 4 goutteur pour chaque arbre). Ainsi le volume délivré par jour sera égal à :

$$V = s \cdot a1(mm\backslash jour) \dots \dots \dots (IV.9)$$

$$V = 22,5 \cdot 6.2 = 139,5 (l/Jour)$$

Nous remarquons que ce volume est inférieur à celui donné par un goutteur de 28 l/h, donc nous l'adopterons, pour réduire le nombre de goutteur et le temps d'arrosage. Les caractéristiques du goutteur choisi sont résumées au tableau **IV.4**.

Tableau IV.3. Caractéristiques du goutteur choisi [36]

Débit (l/h)	Pression de service (bar)	Cu
28	1	85%

IV.1.2.1. Paramètres de la micro irrigation :

Ces arrosages obéissent à des lois, de point de vu dose, fréquences, durée, analogues à celles qui régissent les autres systèmes.

La différence essentielle réside dans le fait qu'il ne s'agit plus d'humidifier uniformément la totalité du sol sur une profondeur donnée h et pour cela on définit un paramètre P qui est la fraction du sol a humidifier qui est fonction de la nature de culture, le débit et l'espacement des goutteurs, la nature du sol arrosé et la pluviométrie de la région.[32]

Pour déterminer ce coefficient on se base sur le tableau extrait de l'étude américaine « Trickle irrigation desing ».proposant des valeurs de P en fonction de l'écartement entre les rampes, le débit des goutteurs et leur espacement optimale déterminé par la texture du sol [40].

Pour notre cas nous des sols limoneux et les valeurs de P sont données comme suit :

Tableau. IV.4. Fraction du sol humidifié [40].

Type de culture	Débit (l/h)	Espacement entre rampe	Espacement entre goutteur	Fraction P
Palm	28	E = 9m	e = 2,5m	0,4

IV.1.2.2.Dose d'arrosage :

Dans le cas d'une irrigation localisé, la dose pratique d'arrosage sera réduite par apport à la dose de l'irrigation traditionnelle dans le rapport p La dose pratique dpl sera alors [32] :

$$dpl = P \cdot Rfu \dots \dots \dots (IV.10)$$

Rfu : réserve facilement utilisable = dose pratique

La dose réelle suivra la même réduction et deviendra : $drl = p \cdot dr \dots \dots \dots (IV.11)$

La dose nette effectivement consommée par les plantes, elle est donnée :

$$dn = dpl \cdot Cu \cdot R \dots \dots \dots (IV.12)$$

R : étant le rendement l'irrigation localisée pris égal à 0,9.

$$dn = dpl \cdot Cu \cdot R \dots \dots \dots (IV.13)$$

Avec R : étant le rendement d'irrigation localisée pris égal à 0.9

Besoin quotidien en eau (a1) : $a1 = a \cdot (0,1 + 0,9 \cdot p) \dots \dots \dots (IV.14)$

Avec P est la fraction du sol couvert par le feuillage, elle est prise égale 60 %

$$\text{Fréquence d'arrosages : } T \text{ jours} = \frac{dn}{a1} \dots \dots \dots (IV.15)$$

$$\text{Durée d'arrosage : } \theta = \frac{v}{q} \dots \dots \dots (IV.16)$$

$$\text{La durée quotidienne d'arrosage : } \theta' = \frac{\theta}{T} \dots \dots \dots (IV.17)$$

$$\text{Débit nécessaire pour couvrir les besoin : } Q = q \cdot N \cdot \theta' \dots \dots \dots (IV.18)$$

Dans ce qui suit, nous avons calculé les besoins réduits pour chaque mois :

Le tableau suivant donnée les calculs des besoins réduit pour les palm.

Tableau IV.5. Les besoins réduits pour les palmiers

Moi	Sep.	oct.	nov.	déc.	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	Juilly	aout
A (mm/jour)	7	6,3	5	5	3,6	4,4	5,3	7,1	7,7	9,2	9,7	8,7
a1 (mm/jour)	4,48	4,032	3,2	3,2	2,304	2,816	3,392	4,544	4,928	5,888	6,208	5,568
$a1_L$ (mm/jour)	5,38	4,84	3,84	3,84	2,76	3,38	4,07	5,45	5,91	7,07	7,45	6,68
Dr (m ³ /ha)	600,18	562,69	646,43	527,06	480,75	529,63	476,49	461,53	518,63	594,75	649,11	583,59
Drl (mm)	24,01	22,51	25,86	21,08	19,23	21,19	19,06	18,46	20,75	23,79	25,96	23,34
Dn (mm)	23,56	23,56	23,56	23,56	23,56	23,56	23,56	23,56	23,56	23,56	23,56	23,56
T (jour)	4,38	4,87	6,14	6,14	8,52	6,97	5,79	4,32	3,98	3,33	3,16	3,53
V (l)	540,16	506,42	581,78	474,35	432,67	476,66	428,84	415,38	466,77	535,27	584,20	525,23
θ (heurs)	19,29	18,09	20,78	16,94	15,45	17,02	15,32	14,84	16,67	19,12	20,86	18,76
θ' (h/jours)	4,40	3,71	3,39	2,76	1,81	2,44	2,65	3,43	4,18	5,73	6,60	5,32

Remarque :

L'eau d'irrigation est relativement salée ce qui nous oblige à appliquer une dose de lessivage pour prévenir le processus de salinisation des sols. Ainsi les besoins réduits « a1 » de l'irrigation localisée seront majorés de 20% ($a_{1L} = 1,2 \cdot a_1$)

Nombre de rampe dans chaque parcelle (Nr) : $Nr = \frac{Lp}{l} \dots \dots \dots \dots \dots \dots$ (IV.19)

Avec :

L : largeur de chaque parcelle et l : espacement entre ligne

Nombre des goutteurs dans chaque rampe (Ng) : $Ng = \frac{Lp}{e} \dots \dots \dots \dots \dots \dots$ (IV.20)

Avec :

Lp : longueur de parcelle et e : espacement entre goutteur

Pour la première approximation nous avons :

Tableau IV.6. Nombre et longueur de rampe par porte rampe et nombre de goutteur.

Parcelle	1	2	3	4
Nombre de rampe	20	20	20	20
Longueur de chaque rampe (m)	100	100	100	100
Nombre de goutteur/rampe	40	40	40	40
Nombre de goutteurs dans chaque parcelle	800	800	800	800

IV.2. Dimensionnement du réseau :

Le réseau d'irrigation goutte à goutte proposé pour notre palmeraie se composera d'un forrage équipé d'une pompe alimentant un réservoir surélevé, ce dernier assurera la mise en charge d'un réseau de distribution par l'intermédiaire d'une tête morte, de 4 portes rampes et plusieurs rampes (figure IV.1). Notre palmeraie est subdivisée en quatre parcelles identiques, chaque parcelle comportera une porte rampe qui alimentera 20 rampes et chacune est équipée de 40 gouteurs (figure IV.2) .

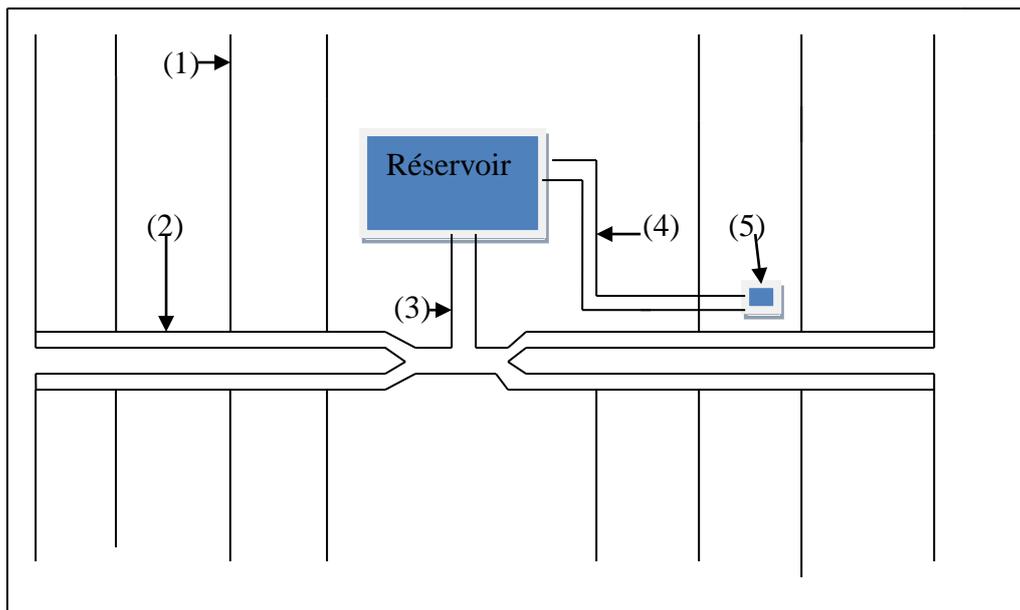


Figure IV.1 schéma Le réseau d'irrigation goutte à goutte

- (1) : rampe
- (2) : ports rampes
- (3) Conduite de tête morte
- (4) Conduit de refoulement
- (5) : forrage

✚ Calcul du diamètre :

Nous prendrons en premier $V=1\text{m/s}$

$$Dr = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{V \cdot \pi}} \dots \dots \dots \text{(IV.10)}$$

$$Dr = 0.014\text{m} = 14\text{mm} \text{Donc : } Dn = 20 \text{ mm}$$

✚ Calcul de vitesse :

$$Vr = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot Dn^2} \dots \dots \dots \text{(IV.11)}$$

$$Vr = 0.54\text{m/s}$$

Pour calculer le diamètre de la porte rampe (tous comme la rampe, la porte rampe sera aussi considéré comme une conduite qui assure un débit de route).[41] Avec :

$$Q_{pr} = p_r + 0.55 \cdot Q_r \dots \dots \dots \text{(IV.12)}$$

Avec :

Q_{pr} : débit de ndimensionnement dela port rampe

p_r : débit à la dernière rampe

Q_r : débit des N_{i-1} rampes dabs chaque rampe, avec N_i : le nombre de rampes a chaque secteur

$$Q_{pr} = 1.9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Le diamètre normalisée de la porte rampe sera : $Dn = 60 \text{ mm}$

$$V = 0.67 \text{ m/s.}$$

Le tableau suivant donne les calculs des débits et le diametre, la vitesse

Tableau IV.7.Récapitulation de dimensionnement des rampes et portes rampes :

Parcelle	Rampe				Porte rampe			
	Q (m ³ /s)	Dn (mm)	V (m/s)	L (m)	Q (m ³ /s)	Dn (mm)	V (m/s)	L (m)
1	1.7.10 ⁻⁴	20	0.54	100	1.9.10 ⁻³	60	0.67	200
2	1.7.10 ⁻⁴	20	0.54	100	1.9.10 ⁻³	60	0.67	200
3	1.7.10 ⁻⁴	20	0.54	100	1.9.10 ⁻³	60	0.67	200
4	1.7.10 ⁻⁴	20	0.54	100	1.9.10 ⁻³	60	0.67	200

IV.2.2.Dimensionnement de la tête morte et calage de la cote du réservoir:

Suivant le nombre de goutteurs implantés dans chaque parcelle, nous déterminons le débit total (Débit de la tête morte) et le débit de chaque parcelle (debit de la porte rampe), Le tableau suivant donnée les calculs des débit pour chaque parcelle

Tableau IV.8. Débit à apporter pour chaque parcelle.

Parcelle	1	2	3	4
Q (l/s)	6.22	6.22	6.22	6.22

Le débit total sera alors Q_T= 24.88 (l/s) alors nous avons besoin de dimensionner le diamètre de la tête morte [41]

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_T}{V \cdot \pi}} \dots \dots \dots (IV.17)$$

On pose V = 1 m/s

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 24.88 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 3.14}} = 0.177 \text{ m} = 177 \text{ mm}$$

soit un diamètre normalisé Ø200 mm.

La vitesse sera $V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}{3.14 \cdot 0.2^2} = 0,79 \text{ m/s}$ (vitesse est convenable puisque :« 0,5m/s<V<2,5m/s »[35])

Pour garantir la pression minimale pour chaque parcelle, le calcul se fera pour le cheminement le plus défavorable (figure IV.4).

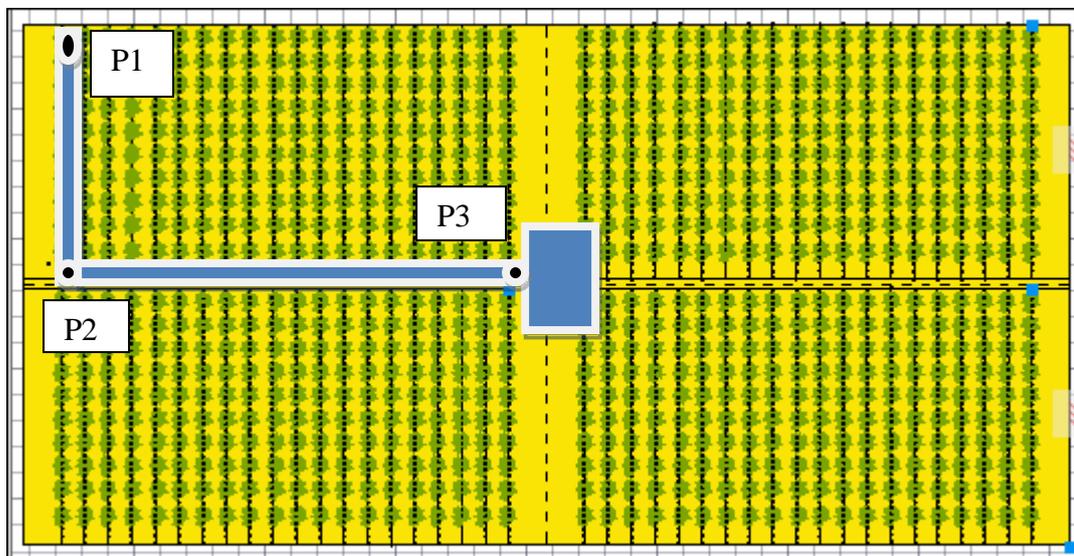


Figure IV.4 : schéma représente le cheminement le plus défavorable dans la parcelle

Nous appliquons l'équation de Bernoulli entre le point P2 et P1

$$\frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} + Z_{p1} = \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} + Z_{p2} + \Delta H_t \dots \dots \dots \text{(IV.13)}$$

Avec : (les vitesses $v < 1 \text{ m/s}$) 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.

$$\Delta H_t = P_2 - P_1 \dots \dots \dots \text{(IV.14)}$$

Avec : $j = 0.02 \text{ m/m}$ (d'après les tables de COOLBROUK)

$$\Delta H_t = j \cdot L \dots \dots \dots \text{(IV.15)}$$

$$\Delta H_t = 0.02 \cdot 100 = 2 \text{ m}$$

$$P2 = 12 \text{ m}$$

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

$$\frac{P3}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} + Z_{p3} = \frac{P2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + Z_{p2} + \Delta H_t \dots \dots \dots \text{(IV.16)}$$

Avec : $v_3 \approx 0$ donc $\frac{v^2}{2g}$ négligable

$$h_r = \frac{p_2}{\rho g} + \Delta H_t$$

$$\Delta H_t = j \cdot L$$

Avec : $j = 0.04 \text{ m/m}$ (tables de COLBROOK)

$$\Delta H_t = 0.8 \text{ m}$$

$$h^r = 12.8 \text{ m}$$

Donc pour assurer une pression minimale de 1 bar aux goûteurs les plus mal placés pour chaque parcelle, le réservoir de mise en charge doit être porté à une hauteur supérieure ou égale à 12.8 m. donc pour assurer la mise en charge adéquate de notre réseau de distribution, un réservoir surélevé doit être érigé au centre de l'exploitation, et dans la hauteur de son radier doit être porté à une hauteur de 13m par rapport au sol soit à la côte 149m .

IV.2.3. Dimensionnement du réservoir :

Le débit journalier nécessaire pour couvrir les besoins est de 24.88 l/s mais nous proposerons de pomper un débit de 28 l/s qui supérieur au débit demandé car ce débit nous assurera une réserve supplémentaire dans le réservoir nous permettant une autonomie sans pompage durant un temps d'environ 2 heures. Le débit de 28l/s constituera une premier approximation, qui peut être modifier suivant les impératif du pompage lors du dimensionnement de la pompe de refoulement.

nous dimensionnons le réservoir comme suite :

$$Qs = Qp - Qd$$

Avec :

Qs : débit stocké

Qp : débit pompé

Qd : débit distribuée

Donc Qs = 3.12 l/s

Sachant que la durée de pompage est de 7h, le débit pompé peut couvrir les besoins pendant une durée de 6h 36min. alors il reste 24 min du pompage qui donne un volume de 40.32m³ additionner au volume stocké pendant la distribution égal 74 m³, donc nous aurons besoin d'un réservoir d'une capacité minimale (sans débordement) de 114 m³. Nous arrondissons sa capacité à 120 m³. Finalement, avec cette capacité de stockage nous pouvons assurer une autonomie d'arrosage de 1 heure 16 mn d'arrosages.

IV.2.4. Dimensionnement de la conduite de refoulement :

Le débit total est de 24,88 (l/s) demandé mais nous utiliserons un débit à 28 l/s pour le refoulement au réservoir alors nous avons dimensionner le diamètre de la conduite de refoulement par la formule de BRESSE et la formule de BONIN et nous choisissons ce qui donne une vitesse proche de 1 m/s [42]

$$D = 1.5 \cdot \left(Q^{\frac{1}{2}}\right)$$

$$D = 237 \text{ mm} \quad D_n = 250$$

$$\text{La vitesse est } V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 28 \cdot 10^{-3}}{3.14 \cdot 0.25^2} = 0.57 \text{ m/s}$$

Par la Formule de Bonnin :

$$D = Q^{\frac{1}{2}}$$

$$D = 160 \text{ mm} \quad D_n = 200 \text{ mm} \quad V = 0.89 \text{ m/s}$$

Alors nous choisissons le diamètre Dn = 200 mm qui assure la vitesse la plus proche de 1 m/s (vitesse convenable)

IV.3. Calcul de la hauteur manométrique totale :

$$HMT = Hg + \Delta Ht \dots \dots \dots (IV.18)$$

HMT : hauteur manométrique totale ;

Hg : hauteur géométrique d'aspiration et du refoulement, dans notre cas on a une pompe immergée donc la hauteur d'aspiration égale 0

ΔHt : Perte de charge total ; qui est égal à la somme des pertes de charge linéaires et singulières : $\Delta Ht = \Delta hl + \Delta hs \dots \dots \dots (IV.19)$

$$\text{Avec : } \Delta hs = 15\% \Delta hl \dots \dots \dots (IV.20)$$

$$\Delta hl = j \cdot l \dots \dots \dots (IV.21)$$

Avec : j : perte de charge unitaire

On a un débit de 28 (l/s) et un diamètre normalisé de 200 (mm) ; la perte de charge unitaire est déterminée à partir des tables de COOLBROCK WHITE [41]

On prend $k = 2 \cdot 10^{-3}$ on obtient $j = 0.0078$

Avec :

La longueur de conduit égal 87m

$$\Delta hl = 0.0078 \cdot 87 = 0.7 \text{ m}$$

$$\Delta hs = 0.15 \cdot 0.7 = 0.1 \text{ m}$$

$$\Delta Ht = 0.1 + 0.7 = 0.8 \text{ m}$$

$$HMT = 73 + 0.8 = 73.8 \approx 74 \text{ m}$$

IV.4. Dimensionnement de la station de pompage :

Le dimensionnement du système de pompage PV concerne la puissance crête du Générateur photovoltaïque et le choix de la pompe et le choix de l'onduleur répondants au service requis dans les conditions de référence

IV.4.1 choix de la pompe :

Pour notre parcelle, le débit qui assurera les besoin et le stockage et 28 l/s sur une hauteur manométrique total égal à 74 m.

Nous avons fait appel au logicielle Caprari, pour choisir et dimensionné le systeme de pompage de notre palmeraie. Apres introduction des données de notre cas dans le logiciel (debit, hauteur géométrique, perte de charge) nous sommes arrivé à choisir la pompe la plus adapté à notre installation ainsi la pompe convenable et de type Et le point de fonctionnement corepodant est ($Q=28\text{l/s}$, $HMT=74\text{m}$), la figur(IV.5),résume toutes les caracteristiques relatives à l'instatalation de pompage.

IV.4.2. Convertisseur DC/AC (onduleur) :

Les panneaux solaires fournissent un courant continu, mais on a besoin d'un courant alternatif pour mettre la pompe en marche. Et pour cela on a besoin d'un convertisseur DC/AC (onduleur) qui convertit ce courant. Le choix de l'onduleur dépend des caractéristiques électriques de la Pompe alimentée (puissance, tension). Pour les besoins de notre étude, le convertisseur choisi est présenté dans le tableau suivant. Les onduleurs de pompage sont en général à fréquence (f) variable afin de permettre une variation de la vitesse de rotation de la pompe. Dans ce cas, le rapport de la tension alternative (U) sur la fréquence – U/f – est constant. La fréquence du courant alternatif est directement proportionnelle à l'intensité de l'ensoleillement. La tension nominale du courant alternatif peut être standard (220 ou 380V). [43]

Tableau IV.9. Caractéristiques électriques de l'onduleur

Type D'onduleur	Puissance.MAX (Watts)	Tension de d'entrée(V)	Tension Sortie(V)	Fréquence (Hertz)	Le rendement %
Solar drive 4000	4000	240	3*220	0 : 65	96

IV.4.3. Diagramme d'un système du pompage photovoltaïque :

Le système pompage solaire photovoltaïque composé de plusieurs parties, représenté dans la figure (IV.6) sous forme d'un diagramme.

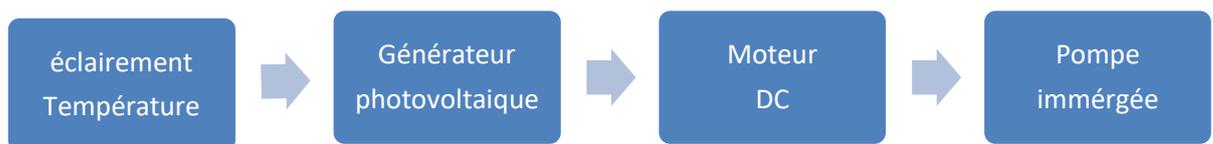


Figure IV.6 Diagramme d'un système PV

IV.4.4 Taille du générateur PV :

Deux méthodes sont utilisées pour le dimensionnement de systèmes de pompage solaire ; une méthode analytique et une méthode graphique. Ces méthodes permettent de dimensionner une installation de pompage photovoltaïque pour satisfaire les besoins en eau d'une consommation bien déterminée. (Dans ce travail nous utilisons la méthode analytique).

Pour cela nous avons choisi le modèle photovoltaïque CEM250M-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 courant continu, ou de charges courant alternatif sur les systèmes munis d'onduleur. Le module est composé de 72 cellules solaires Monocristallin connectées en série pour produire une puissance maximale de 310 W. [44]

Les caractéristiques électriques de ce module photovoltaïque sont données dans le tableau suivant :

Tableau IV.10. Caractéristiques électriques du module photovoltaïque CEM250M-72 [45]

Puissance maximale (P_{max})	310 w
Tension à P_{max} (V_{mp})	30,83 V
Courant à P_{max} (I_{mp})	9,019 A
Courant de court-circuit (I_{sc})	9,019 A
Tension à circuit ouvert (V_{oc})	37,57 V
Coefficient de température de I_{sc}	0,06%/°C
Coefficient de température de V_{oc}	-0,36%/°C
Coefficient de température de puissance	0,36%/°C
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	45+/- 2°C

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 [46] :

IV.4.4.1. Nombre de modules :

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

$$N_M = \frac{P_c}{P_M} \dots \dots \dots (VI.23)$$

Avec :

PM : La puissance du module PV

Pc : La puissance crête du générateur

$$N_M = 15,5 \text{ Soit } 16 \text{ Module}$$

IV.4.4.2. Nombre de modules en série :

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

$$N_{ms} = \frac{V_{ch}}{V_M} \dots \dots \dots (VI.24)$$

Avec :

Vch : la tension nominale de la charge (l'onduleur).

VM : La tension nominale du module

$$N_{ms} = 7,78 \text{ Soit } 8 \text{ modules en série}$$

IV.4.4.3. Nombre de module 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 :

$$N_{MP} = \frac{I_m}{I_s} \dots \dots \dots (IV.25)$$

Avec :

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

Is : Courant à puissance maximale (Imax)

$$I_m = \frac{P_{max}}{V} \dots \dots \dots (IV.26)$$

$$I_m = \frac{4000}{310} = 12.9 \text{ A}$$

$$N_{MP} = \frac{12.9}{9.01} = 1.43 \quad \text{Soit 2 modules en parallèle}$$

Le générateur photovoltaïque à installer sera constitué de 15 modules de 310W et 30,9V dont deux branchements de 6 modules en série connecté en parallèles.

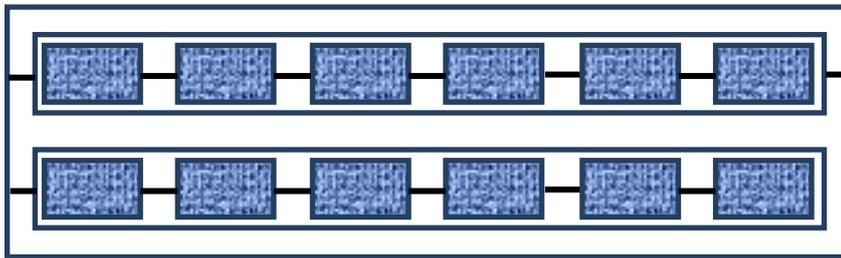


Fig IV.6 Représentation d'un module PV

IV.4.5. Correction de la puissance crête :

Dans la plupart des cas, les nombres de modules (en séries et/ou en parallèles) calculés ne sont pas des entiers. Il faut donc les arrondir pour trouver la nouvelle puissance corrigée.

IV.5. Analyse économique des systèmes de pompage photovoltaïque:

En général, le calcul des coûts de la production d'électricité par l'énergie solaire photovoltaïque obéit aux règles économiques classiques. Nous étudierons séparément les coûts d'investissement et les coûts d'exploitation (entretien et maintenance).

IV.5.1. Evaluation le cout globale actualisé du 1 m³ d'eau pompé :

Pour évaluer le coût global actualisé du m³ d'eau pompé, il est nécessaire d'avoir certaines données, à savoir

- La durée de vie de chaque composant.
- Le cout ou l'investissement initial
- Les coûts de maintenance annuels relatifs au système photovoltaïque,
- Les coûts de remplacements des différents sous-systèmes[47].

Le tableau (IV.11) résume les résultats obtenus

Tableau IV.11. Coût total de l'investissement [45]

Equipements	Investissement (DA)	Durée de vie (ANS)	Amortissement (DA)	CoutEntretien (DA)
Générateur	412.300	20	20.615	8.246
Onduleur	300.000	10	30.000	15.000
Accessoires	887.445	20	44.372	17.749
Inves Total	1.599.745		94.987	40.995

Le coût global annuel de système photovoltaïque égal à 135.982 DA, d'autre part les besoins moyens annuels en eau égal à 179300 m³/ans.

Pour calculer le cout de 1 m³ d'eau pompé nous avons utilisé l'équation suivant

$$C_m = \frac{C_g}{B_A} \dots \dots \dots \dots \dots \dots (IV.27)$$

Avec :

C_m : cout de 1 m³ (DA)

C_g : cout globale de système photovoltaïque

B_A : besoine moyens annuels en eau (m³/ans)

$$C_m = \frac{135982}{179300} = 0.75 \text{ DA}$$

IV.5.2. L'énergie conssomé par la pompe :

Pour véhiculer d'un point a un autre une certaine quantité d'eau, la pompe doit transmettre au liquide de l'énergie. Cette quantité d'énergie sera la même quelle que soit la technologie et est donnée par la puissance de la pompe. Cette puissance se

calculé à l'aide du théorème de Bernoulli avec le bilan énergétique du système en considérant tous les paramètres tels que l'altitude de pompage, l'altitude de refoulement, la longueur et diamètre des tuyaux. Cependant, afin de simplifier au maximum tous ces calculs, les praticiens utilisent deux paramètres qui caractérisent tout système de pompage dans un réseau : Débit (Q) et Hauteur Manométrique Totale (HMT). [41]

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

$$P_{kw} = \frac{Q \cdot HMT}{367 \cdot \eta} \dots \dots \dots (IV.28)$$

Avec :

P : Puissance consommée par la pompe en kw.

Q : Débit en (m³/h.)

HMT : Hauteur manométrique totale (mCE)

η : Rendement donné par le constructeur au point de fonctionnement. (entre 0.8 et 0.9)

$$\text{Avec : } 367 = \frac{3600 \text{ s}}{g} \dots \dots \dots (IV.29)$$

g : l'accélération de la pesanteur à la surface de la terre

$$P = \frac{1 \cdot 74}{367 \cdot 0.85}$$

$$P = 0.237 \text{ kw}$$

Les nouveaux tarifs de l'électricité et du gaz applicables depuis 1^{er} janvier 2016 montrent que le prix de 1 kWh consommé est de 5.48 DA (Sonalgaz), donc le prix de 1 m³ d'eau pompé est de 1.6 DA.

De cela, nous concluons que le pompage solaire photovoltaïque est plus économique par rapport au pompage normal. Plus de 50%.

CONCLUSION

Les résultats découlant de cette étude comportent deux points importants :

- Le premier est le type du système d'irrigation qui est le système goutte à goutte c'est le système le plus économique en plus ce dernier ne gaspille pas l'eau. Le second est la nature de la pompe, c'est une pompe immergée. Une pompe immergée s'utilise pour pomper l'eau du forage qui existe au milieu de l'exploitation. Cette pompe fonctionne avec l'énergie solaire (c'est le pompage solaire).
- D'autre part deux techniques de pompage PV ont été présentées : pompage au fil de soleil et pompage avec batterie. Nous avons montré l'intérêt du pompage dit « au fil du soleil ». Nous avons également pu conclure que les systèmes de pompage photovoltaïques les plus courants, selon l'état de l'art actuel, sont constitués d'une pompe centrifuge munie d'un moteur à induction triphasé. Le moteur est alimenté par un générateur photovoltaïque sans batteries, via un onduleur triphasé à fréquence variable conçu spécifiquement pour cette application.

L'objectif de ce projet est l'amélioration de la production et de la qualité des dattes d'une part et d'autre l'économie d'énergie électrique et la réduction des gaz à effet de serre avec l'utilisation de pompage solaire qui à long terme (20ans) reviendra beaucoup moins cher que le pompage électrique classique sur réseau Sonalgaz ou avec gasoil.

- [1] Olivier.G., 2002, Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur Thèse de doctorat en Electrotechnique de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, 2002
- [2] Fleche.B et Delagnes.D.D, 2007, la production d'électricité avec l'énergie solaire photovoltaïque, édition perle noir paris, 18 pages
- [3] Lauger. A et Roger. A, 1981, Les photopiles solaires techniques et documentation, Edition Français
- [4] Moumi A et Hamani N et Mokhtari A, 2006, Estimation du rayonnement solaire par deux approches semi empiriques dans le site de Biskra Centre Universitaire de Béchar–Algérie. Séminaire International sur la Physique Energétique
- [5] Mohamed L, 2008, Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site d'Ouargla, Thèse de Magister, Université El Hadj Lakhdar Batna.
- [6] Djarallah.M, 2008, Contribution a l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couples au réseau électrique, Thèse de Doctorat en Science, université de Batna.
- [7] Lasnier.F et Ang.T, 1980, Photovoltaic Engineering Handbook, IOP Publishing Ltd. 1980.ISBN 0-85274-311-4.
- [8] In Rémy M. et Catherine J., 2013, L'énergie à découvert, CNRS Éditions.
- [9] ABBASSEN.L., 2011, Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque, Mémoire de magister, Université mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- [10] MEFLAHA., 2012, Modélisation et commande d'une chaine de pompage photovoltaïque, Mémoire de Magister, Université Abou Bekre Belkaide Tlemcen
- [11] BENSACI.W, 2012, Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah–Ouargla
- [12] B. Mohammed, "Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque autonome," Centre Universitaire De Bechar Mémoire de Magister, 2007-2008
- [13] K. Benlarbi, L. Mokrani, M. S. Nait-Said, « A fuzzy global efficiency optimization of a photovoltaic water pumping system », a LSPIE Laboratory, Electrical Engineering Department, Engineering Science Faculté, Batna Université, 2004

[14] Y. Pankow, « Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension. Application au », Thèse de Doctorat de l'Ecole Doctorale de L'ENSAM ED432, 2004

[15] DJAFOUR A, 2000, Etude d'une station de pompage photovoltaïque dans une région saharienne, Mémoire de magister, université d'Ouargla.

[16] Royer J et Djako T, Le pompage photovoltaïque, Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa.

[17] Pastor A, 2010, Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques, Institut National de Science Appliquée thèse de doctorat en Science, INSA de Toulouse

[18] BONNARD et GARDEL., 2003. La Vallée d'Ouargla, Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Estimation du rôle des palmeraies à la montée de la nappe dans la cuvette d'Ouargla. Mission IV Autres investigations Volet agro pédologie, 26p.

[19] REZAGUI D., 2017, Etude de lessivage des sols salés dans la cuvette de Ouargla : Cas de l'exploitation agricole de l'université, Thèse de doctorat En Hydraulique en Aménagement hydraulique en milieu aride, université Kasdi Marbah wilaya de Ouargla

[20] DUBIEF, 1963, Le climat du Sahara, Tomes 2, Université d'Alger

[21] MESSAOUDI N., 2010, Contribution à l'étude de la dynamique de la salinité en milieux sableux. Cas de la palmeraie de l'Université de Ouargla, mémoire d'ingénieur d'Etat Spécialité : Agronomie saharienne, Université de Ouargla

[22] :DELAROZIERE-BOUILLIN O., 1971, évaluation des ressources hydrauliques « utilisation comparée des formules de Thornthwaite, Turc mensuelle, Turc annuelle et Penman, pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle et de l'évapotranspiration réelle moyenne Application au territoire Français, édition BRGM paris

[23] ZANKHRI S, 2013, Rapport d'activité sur l'exploitation agricole de l'université de Ouargla

- [24] : AFNOR., 1999, Qualité des sols. Ed. AFNOR, vol. 1 et 2, Paris, 973 p.
- [25] : DURAND J.H., 1958, Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imbert, Alger, 190 p.
- [26] : FAO, Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
- [27] : MOHAMED A, 2007, Optimisation De L'ensemble Onduleur, Moteur Et Pompe Branche Sur Un Générateur Photovoltaïque , Thèse de Doctorat, Université Mentouri De Constantine.
- [28] Ben Ahmed B., 2017, Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque, mémoire de master professionnel : instrumentions, université Ouargla.
- [29] : Lauger A., Roger J.A., 1981, Les photopiles solaires, Edition technique et documentation.
- [30] : 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.
- [31]. Chenni, T. Kerbache, 2004, Optimisation d'une motopompe associée à un générateur Photovoltaïque, Communication internationale CIMA, Université de Boumerdes.
- [32]. Poirée M. et Ollier Ch., 1986, Irrigation. Les réseaux d'irrigation. Théorie, technique et économie des arrosages, édition Eyrolles, paris, 408 pages
- [33] Humberto. et R, Pizarro. C, 1979, Méthodes d'irrigation des Parcelle cultivees, édition Eyrolles, paris
- [34] <http://photogallery.nrcs.usda.gov/Index.asp> (consulté le 10/05/2018)
- [35] Augustin Hillar. B et, 1955, Irrigation Suivant les courbes de niveau, Traduction et édition, Pizarro. H, spécialiste en irrigation et drainage,
- [36] Catalog-Micro-Irrigation-Edition 2013, 132 page
- [37] Léopold. R et Pierre, R, 1995, La filtration dans le système goutte a goutte, édition, (Antony) : cémagref, 140 pages
- [38] Diagnostic d'une installation d'irrigation localisée, édition, Compagnie marocaine de goutte a goutte et de pompage
- [39] Sagardoy. J.A et Bottrall. A et Uittenbogaard. G.O, 1987, Organisation, exploitation et entretien des périmètres d'irrigation

- [40] David. K et Jack. K, 1975, Trickle irrigation desing, édition, 17: 0678-0784 American 133 pages
- [41] Dupont. A, 1998, hydraulique urbaine tom 2, ÉditionEyrolles, 157 pages
- [42] A. BEDJAOU, Pr. B. ACHOUR, M.T. BOUZIANE, 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 Med Khider-Biskra
- [43] www.grundfos.com Par Louzene Mohammed Lakhdar, 2008. (Consulté le 25/05/2018)
- [44] http://www.ero-energies.com/Files/isf_240_245_250_fr.pdf (consulté le 25/05/2018)
- [45] www.condor.dz SPA Condor Electroniques Division Énergies Renouvelables
- [46] Hadj ArabA., BenghanemM. et GharbiA., 2005, Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque, Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19 –26.
- [47] Degla. M et Larbi. B. A.B, 2017, Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque, mémoire de Master en Electrotechnique, université de Ouargla

Chapitre IV Dimensionnement du Système de Pompage Photovoltaïque pour l'Irrigation

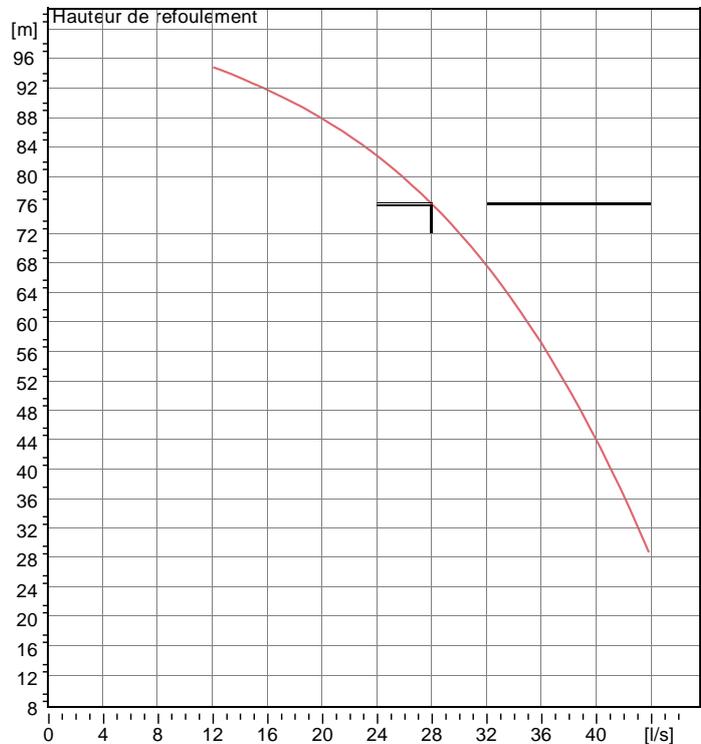


Modena - Italy

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.

P8C/5/24/5D	
Caractéristiques requises	
Débit	28 l/s
Hauteur de refoulement	76,2 m
Fluide	Eau potable
Type d'installation	Pompe seule
N.be de pompes	1
Caractéristiques de la pompe	
Débit	28 l/s
Hauteur de refoulement	76,2 m
Puissance absorbée	27,4 kW
Rendement	79,9%
Hauteur manométrique H(Q=0)	103 m
Orif. de refoulement	DN125
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	404,5 kg



- DIMENSIONS mm**
- A = 5512
 - B = 1245
 - C = 4267
 - D = 605
 - DN = 125
 - E = 640
 - F = 4035
 - G = 170
 - H = 38
 - I = 280
 - L = 3050
 - M = 190
 - N = 985
 - No S = 8
 - No Y = 4
 - O = 232
 - P = 250
 - Q = 210
 - R = 125
 - T = 18
 - U = 430
 - V = 360
 - W = 430
 - X = 360
 - Z = 22

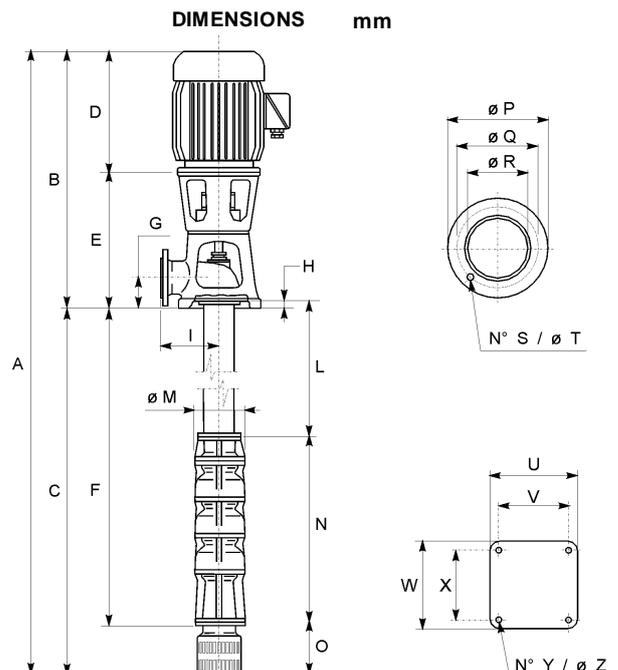


Tableau IV.1. Les besoins d'irrigation traditionnelle des palmiers

moi	sep	oct.	nov.	déc.	jan	fév.	mar.	Avr	mai	juin	Juilly	aout
N jour	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31
p(80%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pu (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Etp (mm)	189,53	177,69	136,09	110,96	101,21	111,5	150,47	194,33	218,37	250,42	273,31	245,72
Kc	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Rfu(mm)	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
ETM(mm)	180,05	168,81	129,29	105,41	96,15	105,93	142,95	184,61	207,45	237,90	259,64	233,43
stock d'eau avant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Beir (mm)	180,05	168,81	129,29	105,41	96,15	105,93	142,95	184,61	207,45	237,90	259,64	233,43
stock après	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Beir(m ³ /ha)	1800,54	1688,06	1292,86	1054,12	961,50	1059,25	1429,47	1846,14	2074,52	2378,99	2596,45	2334,34
Dfc(l/s/ha)	0,69	0,63	0,50	0,39	0,36	0,44	0,53	0,71	0,77	0,92	0,97	0,87
Dp (m ³ /ha)	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770
N	3	3	2	2	2	2	3	4	4	4	4	4
Dr(m ³ /ha)	600,18	562,69	646,43	527,06	480,75	529,63	476,49	461,53	518,63	594,75	649,11	583,59