

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE SUPERIEURE EN SCIENCES APPLIQUEES
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière : Électrotechnique
Spécialité : Energie et environnement

Présenté par : Bouroumeid Yassine
Benyoub Oussama.

Thème

**Etude et dimensionnement d'une station de
pompage photovoltaïque destinée à l'irrigation
d'une ferme agricole**

Soutenu publiquement, le 29 / 06 /2022 , devant le jury composé de :

Mme GHOMRI Amina	Professeur	ESSA. Tlemcen	Présidente
Mme. FARADJI Djamila Née KHERBOUCHE	MCA	ESSA. Tlemcen	Encadrante
Mme BEKKAOUI Mokhtaria	MCB	ESSA. Tlemcen	Examinatrice
Mme BACHIR Nadia	MCA	Université Abou Beker Belkaid Tlemcen	Examinatrice

Année universitaire : 2021 /2022

Dédicaces

*On dédie ce modeste travail a tous les membres de nos famille
grande et petite.,*

*nos mère et père ,a nos amis , a tous les enseignants qui nous
ont aidé de proche ou de loin pour être des ingénieurs .*

**BENYOUB OUSSAMA
BOUROUMEID YASSINE**

Remerciement

Tout d'abord nous tenons à remercier le bon **Dieu** pour nous avoir guidés à bien mener ce travail. Nos remerciements les plus vifs et chaleureux vont à notre encadrante **Dr . KHERBOUCHE Djamilia**, pour son aide, sa disponibilité et son soutien.

Nous adressons notre reconnaissance à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation. Nous remercions également les membres de jury Mme GHOMRI Amina, Mme BEKKAOUI Mokhtaria et Mme BACHIR Nadia qui ont bien voulu nous faire l'honneur d'évaluer notre travail.

Résumé :

Le rayonnement solaire est une source d'énergie que l'on trouve partout sur la terre, gratuite et entièrement renouvelable. Les installations photovoltaïques ne nécessitent aucune alimentation externe en carburant. Ils reçoivent et convertissent automatiquement le rayonnement solaire.

L'Utilisation de l'énergie solaire dans des endroits isolés pour différentes applications telles que le pompage de l'eau est essentiel pour l'irrigation agricole. Dans ce travail, nous avons réalisé une étude dimensionnelle du système de pompage l'eau photovoltaïque et identifier tous les éléments du système à l'aide de programme PVsys.

abstract

Solar radiation is a source of energy found everywhere on earth, free and entirely renewable. Photovoltaic installations do not require any external fuel supply. They automatically receive and convert solar radiation.

To use the solar energy in isolated places for different applications such as water pumping is essential for agricultural irrigation. In this work, we carried out a dimensional study of the photovoltaic water pumping system and identified all the elements of the system using the PVsys program.

ملخص

الإشعاع الشمسي هو مصدر طاقة مستدام , متوفر في كل مكان على كوكب الأرض , مجاني ومتجدد بالكامل , الأنظمة الكهروضوئية ال تتطلب أي مدخالت وقود خارجية إنهم ينلقون ويحولون الإشعاع الشمسي تلقائيا إلى كهرباء

إن استخدام الطاقة الشمسية في الأماكن المعزولة لتطبيقات مختلفة مثل ضخ المياه له أهمية أساسية للري

الزراعي

في هذا العمل , اجرينا دراسة تحجيم لنظام ضخ المياه الكهروضوئية وحددنا جميع عناصر النظام لتحقيقه

بمساعدة برنامج PVsyst.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I.....	3
DESCRIPTION DES DIFFERENTS SYSTEME D'IRRIGATION	3
I.1. Introduction	4
I.2. Le but de l'irrigation	4
I.3. Les différents systèmes d'irrigation.....	5
I.3.1. Irrigation gravitaire	5
I.3.1.1. L'irrigation par planche	6
I.3.1.2. L'irrigation par bassin	6
I.3.1.3. L'irrigation à la raie.....	6
I.3.1.4. Les avantages de l'irrigation gravitaire	10
I.3.1.5. Les inconvénients de l'irrigation gravitaire	10
I.3.2. L'irrigation goutte à goutte (Micro-irrigation).....	10
I.3.2.1. Les avantages de l'irrigation goutte à goutte	11
I.3.2.2. Les inconvénients de l'irrigation goutte à goutte.....	11
I.3.3. L'irrigation par aspersion	11
I.3.3.1. Les avantages de l'irrigation par aspersion	13
I.3.3.2. Les inconvénients de l'irrigation par aspersion.....	13
I.4. Conclusion.....	13
CHAPITRE II.....	14
LE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE	14
II.1. L'énergie solaire :.....	15
II.1.1. Introduction :	15
II.1.2. L'énergie solaire :.....	16
II.1.3. Rayonnement solaire :.....	16
II.1.4. Différents types de rayonnement :	16
II.1.5. Potentiel énergétique solaire en Algérie :.....	17
II.1.6. Modélisation électrique d'une cellule photovoltaïque :	17
II.1.6.1. modèle simplifié :.....	17
II.1.6.2. modèle standard :	18
II.1.6.3. Schéma bloc d'une cellule PV :	19
II.1.7. Système photovoltaïque :	20

II.1.7.1. La cellule photovoltaïque (PV) :	20
II.1.7.2. Les différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïque) :	22
II.1.7.3. Paramètres essentiels caractérisant une cellule PV :	23
II.1. 8. Propriétés des panneaux solaires :	26
II.1.8.1. Branchement en série des panneaux solaires:	26
II.1.8.2. Branchement en parallèle des panneaux solaires:	27
II.1.8.3. Branchement série/parallèle des panneaux solaires:	28
II.1.8.4. CONCLUSION :	28
II.1.9. Protections des photovoltaïque	28
II.2. Pompage solaire	29
II.2.1. Introduction	29
II.2.2. Pompage solaire	29
II.2.2.1. Pompage au fil du soleil	30
II.2.2.2. Pompage avec batteries	30
II.2.3. Les Composants d'un système de pompage PV	31
II.2.3.1. Le générateur photovoltaïque	31
II.2.3.2. Le groupe de motopompe	32
II.2.3.3. L'électronique de commande et de contrôle	40
II.2.3.4. La partie stockage	40
II.3. Conclusion	41
CHAPITRE III	42
DIMENSIONNEMENT D'UNE STATION DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE	42
III.1. Dimensionnement théorique :	43
III.1.1. Introduction :	43
III.1.2. Méthode de dimensionnement :	43
III.1.3. Besoins journaliers en eau :	43
III.1.4. Dimensionnement et choix de la pompe :	43
III.1.4.1. Détermination du débit horaire de la pompe Q_p en (m^3) :	45
III.1.4.2. Calcul du rabattement :	45
III.1.4.3. Conduite de refoulement :	46
III.1.4.4. Perte de charge totale et la HMT :	46
III.1.4.5. Calcul de la hauteur d'élévation requise pour la motopompe :	47
III.1.5. Calcul de l'énergie électrique nécessaire par jour :	47

III.1.6.Énergie solaire disponible et dimensionnement du champ photovoltaïque :	48
III.1.6.1. Énergie solaire disponible :	48
III.1.6.2. Dimensionnement du champ photovoltaïque :	48
III.1.6.3. Calcul de la puissance crête Pcr :	48
III.1.6.4. Tension du système :	49
III.1.6.5. Calcul de nombre de panneaux solaire :	49
III.1.7.Critères de Choix de type de pompes :	49
III.1.8. Section du câble :	51
III.2. Dimensionnement Par Pvsyst :	52
III.2.1. Introduction :	52
III.2.2. Étape pour établir un projet :	52
III.2.3. Étude de cas :	53
III.2.4. Les étape de dimensionnement :	53
III.2.4.1. Entrer les donnes (site géographiques et la météorologie) :	53
III.2.4.2. les paramètres d'installation :	56
III.2.4.3. La pompe immergée :	57
III.2.4.4. La pompe de surface :	60
III.2.5. Rapport :	61
III.2.5.1. Rapport de la pompe immergée :	61
III.2.5.2. Rapport de la pompe de surface :	66
III.3. Conclusion :	67
CHAPITRE IV	68
SIMULATION D'UNE STATION DE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE	68
IV.1. Introduction	69
IV.2. Simulation :	69
IV.2.1. Isis Proteus :	69
IV.2.1.1 La composition de Proteus :	70
IV.2.2. La carte Arduino :	70
IV.2.2.1 Description de la carte Arduino :	70
IV.2.2.2. Bloc d'alimentation :	71
IV.2.2.3. Microcontrôleur :	71
IV.2.2.4. Entrées numériques :	72
IV.2.2.5. Entrées analogiques :	72

IV.2.2.6. L'environnement de la programmation (Arduino IDE) :	72
IV.3. Les composants utiliser pour la simulation :	73
IV.3.1. capteur ultrason hc-sr04 :	73
IV.3.2. Capteur d'humidity :	74
IV.3.3. Relais électrique :	74
IV.3.4. Pompe d'eau :	74
IV.4. schéma électrique :	75
IV.5. Explication de schéma électrique :	75
IV.5.1. Panneau solaire :	75
IV.5.2. groupe motopompe :	76
IV.5.3. La partie commande (les captures) :	77
IV.5.3.1. le capture ultrason hc-sr04 :	77
IV.5.3.2. le capture d'humidité :	77
IV.5. La partie programmation (arduino) :	78
IV.6. Conclusion :	79
CONCLUSION GENERALE	80
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	83

Liste de figure

Figure II.1. principe d'un générateur photovoltaïque	15
Figure II.2. schéma électrique simplifié d'une cellule photovoltaïque.	17
Figure II.3. électrique standard d'une cellule photovoltaïque.	18
Figure II.4. électrique standard d'une cellule photovoltaïque.	19
Figure II.5. Description d'une photopile ou cellule photovoltaïque	21
Figure II.6. Technologies de cellules photovoltaïques	23
Figure II.7. Caractéristiques $I=f(V)$ sous obscurité et sous éclairment d'une cellule PV.	23
Figure II.8. Puissance d'une cellule PV.	24
Figure II.9. Puissance max d'une cellule PV	25
Figure II.10. Branchement en série des panneaux solaires	27
Figure II.11. Branchement en parallèle des panneaux solaires.	27
Figure II.12. Branchement série/parallèle des panneaux solaires.	28
Figure II.13. Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour.	29
Figure II.14. Pompage photovoltaïque au fil du soleil	30
Figure II.15. Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie.	31
Figure II.16. générateur photovoltaïque	32
Figure II.17. Courbes du couple et du débit d'une pompe centrifuge.	34
Figure II.18. Pompe centrifuge	34

Figure II.19. Caractéristiques d'une pompe volumétrique	35
Figure II.20. Pompe volumétrique	36
Figure II.21. Pompe immergée	36
Figure II.22. Pompe immergée.	37
Figure II.23. Moteur à courant continu	38
Figure II.24. Moteur asynchrone	40
Figure III.1 Système de pompage d'eau avec stockage.	44
Figure III.2. Chaîne de conversion d'un pompage PV au fil du soleil	48
Figure III.3 la bases de données	53
Figure III.4 choix de site géographiques.	54
Figure III.5. Tlemcen comme site de notre etude.	55
Figure III.6. Conception du projet.	56
Figure III.7. Pompage.	56
Figure III.8. Paramètres d'entrée.	57
Figure III.9. L'orientation.	58
Figure III.10. Circuit de pompage	58
Figure III.11. Besoin d'eau.	59
Figure III.12. Choix de la pompe.	59
Figure III.13 Choix de panneaux et l'onduleur.	59
Figure III.14. La consommation de la pompe.	60
Figure III.15. Les panneaux utilisé.	60
Figure III.16. Paramètres de simulation de base.	61
Figure III.17. Paramètres de simulation détaillés	62
Figure III.18. Résultats principaux	63
Figure III.19. Graphiques spéciaux	64
Figure III.20. Diagramme des pertes	65
Figure III.21. Paramètres de simulation.	67
Figure IV.1. Description de la carte Arduino	70
Figure IV.2. Bloc d'alimentation de la carte Arduino.	71
Figure IV.3. Microcontrôleur ATmega 328.	72
Figure IV.4. Arduino IDE.	73
Figure IV.5. capture ultrason	73
Figure IV.6. schéma électrique.	75
Figure IV.7. le panneau solaire utiliser.	75
Figure IV.8. La pompe immergée.	76
Figure IV.9. la pompe de surface.	76
Figure IV.10. le capture ultrason.	77
Figure IV.11. Capture d'humidité DHT.	77
Figure IV.12. Programmation sur l'arduino.	78

Liste de tableau

Tableau II.1. Classification des pompes.	32
Tableau III.1. Tension de système photovoltaïque selon la puissance crête.	49
Tableau III.2. Section nominale des câbles.	52

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le gouvernement algérien entend allouer 70% du financement des micro-entreprises au secteur agricole. Le plan d'action du département prévoit la création de plus de 150 000 micro-entreprises d'ici 2022.

Mohamed Cherif Bouziane, conseiller du ministre algérien chargé des microentreprises, a annoncé mercredi dernier que le secteur agricole bénéficiera de 70% du financement des microentreprises en 2022. Cette décision "répondait à un besoin fort exprimé par les porteurs de projets dans ce domaine vital, et compte tenu de la demande croissante du marché", a-t-il déclaré lors d'une apparition à la radio nationale.

Le plan d'action du ministère prévoit également la création de plus de 150 000 micro-entreprises d'ici 2022. Pour y parvenir, plusieurs accords ont été signés, dont un avec le ministère de l'Agriculture, qui fournira des terres agricoles et soutiendra diverses filières. Un accent particulier sera mis sur l'aviculture et la production de viande rouge. [1]

Dans le cadre de l'amélioration de l'approvisionnement en eau pour l'élevage et l'irrigation, L'irrigation avec une petite pompe est l'une des utilisations les plus intéressantes dans le domaine de l'énergie solaire. En effet, l'intensité maximale du rayonnement solaire correspond généralement lorsque la demande en eau est la plus élevée. D'autre part l'agriculteur est libéré des problèmes liés à l'approvisionnement en carburant, ou bien de l'existence de lignes de transport de l'électricité grâce a cette énergie .

Dans ce contexte général, notre projet portent sur l'étude et la simulation d'un système. Pompage photovoltaïque sans batteries. Nous divisons notre travail en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous présentons une approche générale sur l'irrigation.
- Le deuxième chapitre nous donnant une idée général sur l'énergie solaire, et le pompage photovoltaïque .
- Le troisième chapitre sera consacré au dimensionnement d'une pompe photovoltaïque théoriquement et par PVsyst (logiciel).
- Le dernier chapitre sera consacré à la simulation par le logiciel Isis Proteus.

CHAPITRE I

DESCRIPTION DES DIFFERENTS SYSTEME D'IRRIGATION

I.1. Introduction

La rareté de l'eau et la demande croissante d'eau agricole, ainsi que les usages dans d'autres secteurs, tels que l'industrie et la consommation d'eau potable, nous amenant constamment à penser à économiser l'eau et l'énergie. ça passera forcément Grâce à une gestion efficace de l'irrigation et à l'utilisation et à la sélection de systèmes de contrôle irrigation.

La perte d'eau de la parcelle est à peu près équivalente à la valeur moyenne de l'eau d'irrigation, avec Surtout la perte de pénétration. De plus, l'uniformité de l'irrigation reste faible, ce qui affecte Mauvais pour la fabrication. Par conséquent, le contrôle de l'utilisation de l'eau d'irrigation devient urgent et nécessaire.

Il est donc nécessaire de réduire ces pertes par une gestion raisonnée des usages l'eau ou en utilisant des techniques d'irrigation appropriées. puisque La demande en eau d'irrigation sera plus importante dans les années à venir.

Ce chapitre présente les problèmes de gestion des systèmes d'irrigation et décrit la structure générale des systèmes d'irrigation et les différents types de ces systèmes.

I.2. Le but de l'irrigation

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

Nous nous référons à la rareté de l'eau pour une période donnée comme la différence entre les précipitations Déterminer le besoin en eau en fonction des caractéristiques climatiques et physiologiques de la plante. L'irrigation doit pouvoir pallier ce manque d'eau. Quand la pluie est la plus satisfaisante Dans le cadre de ces besoins, nous passons à l'irrigation d'appoint. Dans ce cas, l'irrigation permet Sécuriser la production en régulant et en augmentant les rendements.

Lorsque les précipitations sont trop faibles pour assurer une germination toute l'année et Croissance régulière, l'irrigation est permanente. Dans ce cas, c'est une technique nécessaire l'existence culturelle elle-même. [2]

I.3. Les différents systèmes d'irrigation

Les systèmes d'irrigation peuvent être divisés en deux grandes catégories : l'irrigation par gravité et Arrosage sous pression, Dans la pratique il'ya l'irrigation gravitaire, l'irrigation goutte à goutte et l'irrigation par aspersion. [3]

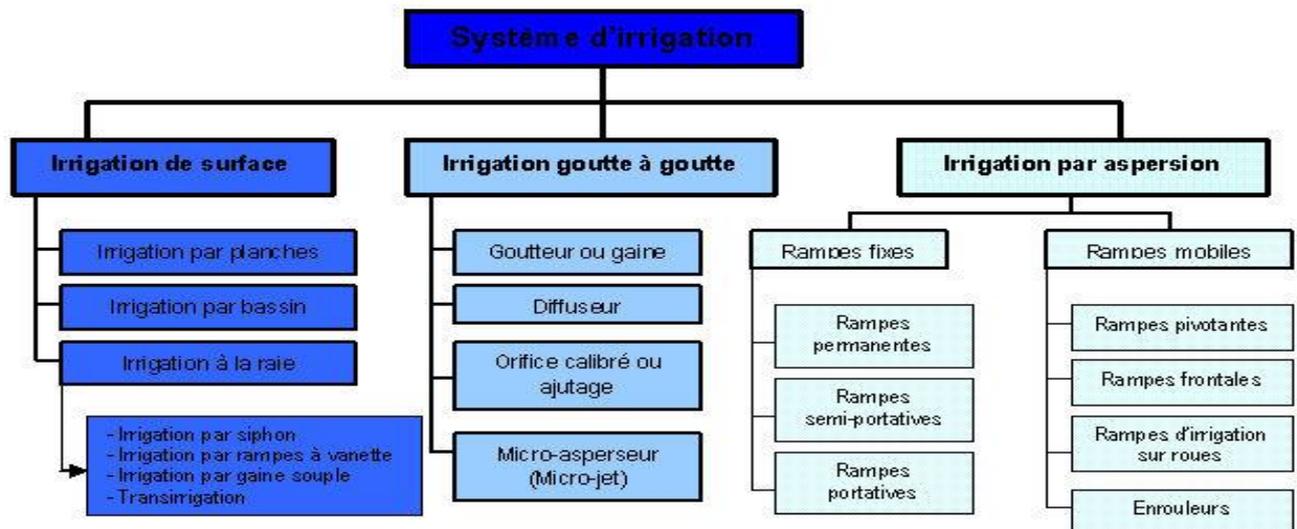


Figure I.1 Les différents systèmes d'irrigation

I.3.1. Irrigation gravitaire

Elle représente 80 % de l'irrigation mondiale. Le principe est simple : creuser une tranchée entre les rangées de cultures, inclinez légèrement et arrosez au début de chaque rangée. ce système est manuel, la consommation d'énergie est faible ou inexistante, la main d'œuvre ne nécessite pas de formation. Cependant, le système génère une efficacité hydrique maximale de 60 %, c'est-à-dire perte minimale de 40 %. [4,5]



Figure I. 2 L'irrigation gravitaire

I.3.1.1. L'irrigation par planche

Elle consiste à faire une fine couche d'eau sur un terrain en pente avec une pente de 0,2 à 3% qui va s'infiltrer verticalement jusqu'à ce que cette pièce de terre soit humidifiée, le débit dépend de la pente, de la largeur et de la longueur de la planche. [4,5]



Figure I. 3 L'irrigation par planche

I.3.1.2. L'irrigation par bassin

Est la plus connue dans l'irrigation gravitaire. Sa pratique sur un terrain plat (pente 0,1 à 1%) ainsi que la simplicité de l'opération de remplissage de bassin rend cette technique souvent utilisée. [4,5]



Figure I. 4 L'irrigation par bassin

I.3.1.3. L'irrigation à la raie

Ou par rigole où les pentes du sol entre 0,2 et 3% sont idéales. Cette distance entre les sillons est comprise entre 0,6 et 1,25 m, selon le type de sol et de culture. Selon le débit disponible, un ou plusieurs sillons peuvent être irrigués à la fois. les rayons peuvent être parallèle ou

perpendiculaire au canal permanent l'alimentation en eau. En général, L'irrigation s'effectue selon un flux unique ou selon deux flux différents successivement, Le premier débit élevé est appelé débit d'attaque et le deuxième débit inférieur est appelé le processus de maintenance. L'irrigation par sillon est plus adaptée à la mécanisation du siphon.[4,5]



Figure I. 5 L'irrigation à la raie

a. Transirrigation

La transirrigation de surface ou souterraine convient parfaitement à l'irrigation de la raie. La parcelle à irriguer par ce type d'irrigation est relativement grande et peut atteindre 6 ha.

Installation de tuyaux en PVC rigide de 250 mm de diamètre et de 4,9 mm d'épaisseur La pente de la règle varie entre 0,25% et 0,6% sur laquelle sont percés des orifices est fonction du débit. L'ensemble du système n'est pas sous pression mais la charge de chaque port Produit par le mouvement d'un piston placé à l'intérieur du tuyau. [5]

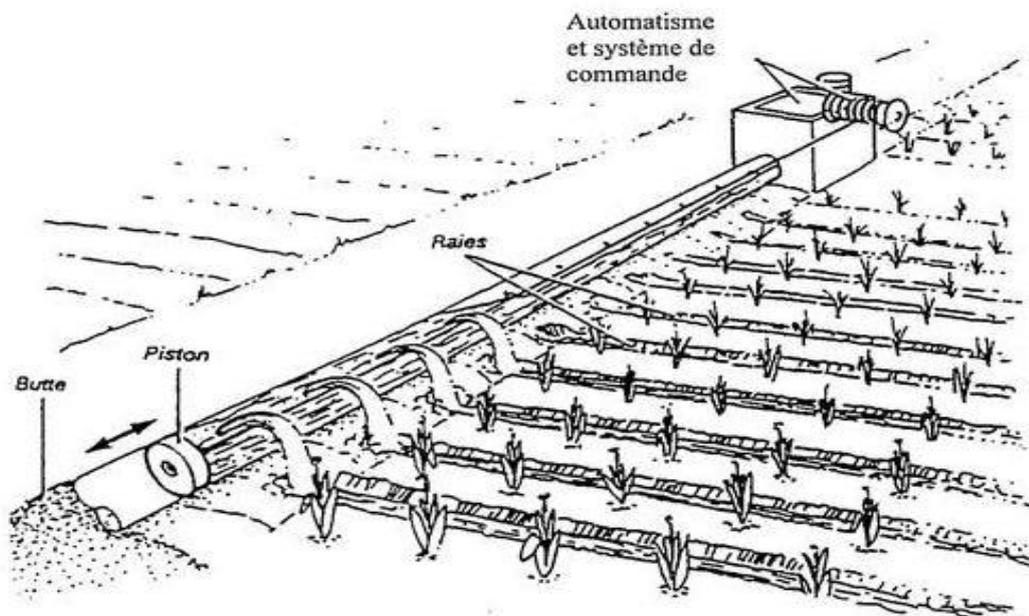


Figure I. 6 La transirrigation

b. L'irrigation par siphon

L'irrigation par siphon s'adapte bien à l'irrigation des raies. Un siphon en PVC de 1,5 mm d'épaisseur est relativement léger lorsque sa longueur est comprise entre 1 et 1,5 m. Une charge de 10cm suffit pour travailler dans de bonnes conditions. Il est également possible d'irriguer à deux débits, soit en utilisant des diamètres différents, soit en utilisant un bouchon percé à l'extrémité du tube, soit très simplement en jouant sur le nombre de siphons. Ce type d'irrigation a du sens car il évite de construire la "séguia" d'approvisionnement et donc tous les travaux liés à la distribution. Il réduit également l'érosion du sol au sommet du sillon. De plus, l'irrigation par siphon peut bien distribuer l'eau . [5]

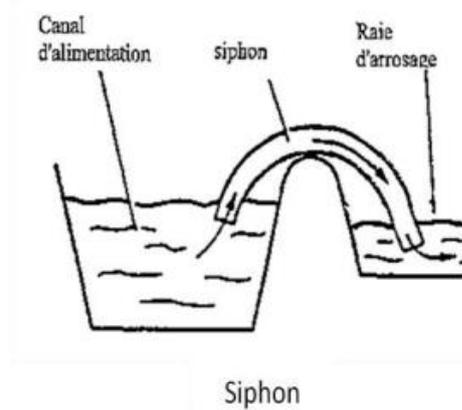


Figure I. 7 L'irrigation par siphon.

c. L'irrigation par rampe à vannettes

Ce type d'équipement est plus adapté aux cultures irriguées à la raie qui nécessitent peu d'interventions sur la parcelle. L'avantage est que le débit peut être réglé via une vanne à tiroir ; des positions d'ouverture de 25, 50, 75 et 100 % sont disponibles. Par rapport au siphonnage, l'opération de démarrage, qui est un travail lent et fastidieux, est évitée. Un autre avantage est que le débit obtenu est plus précis et fiable. L'avantage de cette technique est qu'elle n'interfère pas avec les travaux agricoles. Cependant, une étude de dimensionnement est nécessaire. [5]

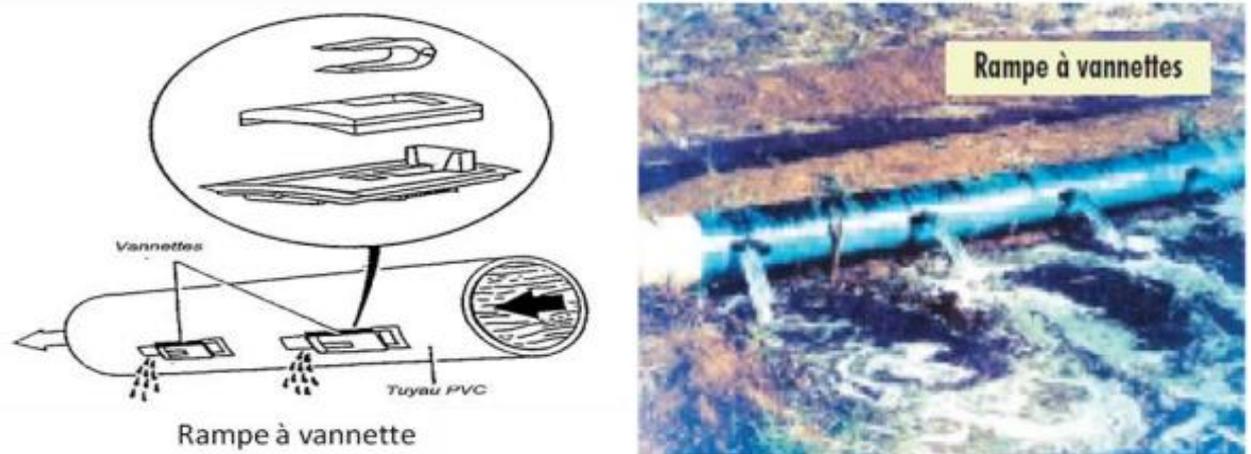


Figure I.8 L'irrigation par rampe à navette.

d. L'irrigation par gaine souple

Une gaine flexible est posée dans un canal pré-préparé pour empêcher la gaine de bouger une fois remplie d'eau. L'installation peut être effectuée à l'aide d'une machine ou d'un petit tracteur. Les perforations peuvent être réalisées sur un ou les deux côtés. La gaine peut être équipée d'un manchon de guidage souple qui permet de rincer au centre du tuyau sans se soucier de l'emplacement précis de la perforation. Cette méthode d'irrigation a une hauteur d'eau de 0,4 à 1 m et convient aux terrains relativement plats. Le débit de dérivation est d'environ 2 l/s. Ces canalisations sont faciles à installer sur site et nécessitent un investissement modeste. Cependant, ils présentent l'inconvénient d'être fragiles et le réglage du débit est imprécis.[5]

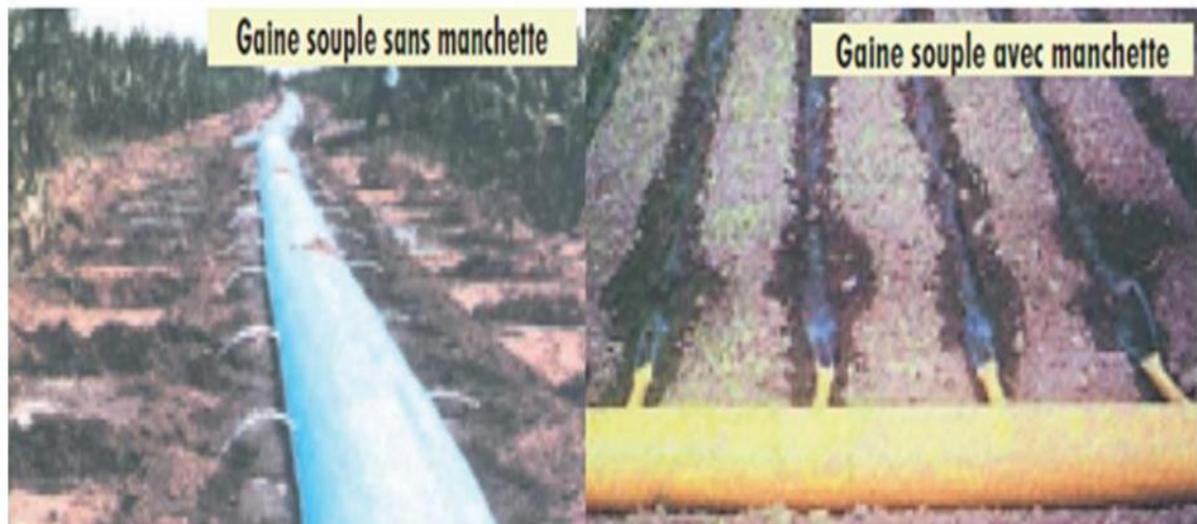


Figure I. 9 L'irrigation par gaine souple sans/avec manchette.

I.3.1.4. Les avantages de l'irrigation gravitaire

- Demande d'énergie faible ou nulle.
- Coût l'investissement relativement faible.
- Besoins en énergie faibles ou nulles.
- Techniques éprouvées.
- Insensibilité au vent.
- Possibilité d'utilisation d'eaux salées

I.3.1.5. Les inconvénients de l'irrigation gravitaire

- Besoins importants en main-d'œuvre (sauf systèmes modernes).
- Efficience d'arrosage à la parcelle généralement faible
- Inadaptation aux sols très filtrants.
- Surface [6]

I.3.2. L'irrigation goutte à goutte (Micro-irrigation)

Dans l'irrigation au goutte-à-goutte, l'eau est délivrée aux plantes à faible dose, ce qui entraîne humidification d'une petite partie du sol. Cela limite les pertes par évaporation et pénétration. Il aide également à réduire la croissance des mauvaises herbes. [3][4]



Figure I. 10 L'irrigation goutte à goutte.

I.3.2.1. Les avantages de l'irrigation goutte à goutte

- Réparti uniformément sur le terrain.
- La quantité et la durée de l'irrigation sont fortement contrôlées pour maintenir La ventilation et l'humidité du sol à des niveaux optimaux.
- La fertilisation peut être facilement au niveau des racines
- L'efficacité de l'eau du système est bien meilleure que les systèmes des autres méthodes.

I.3.2.2. Les inconvénients de l'irrigation goutte à goutte

- Coût d'investissement élevé
- Entretien professionnel, continu et minutieux[6]

I.3.3. L'irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion est le principe de l'apport d'eau aux plantes sous forme de pluie artificielle. Recommandé dans les situations suivantes :

- Sols peu profonds qui ne peuvent pas être correctement nivelés pour l'irrigation de surface.
- Sols trop perméables pour répartir l'eau uniformément avec une irrigation par ruissellement de surface.
- Terrains à pente irrégulière avec microrelief accidenté, ne permettant pas l'établissement d'une desserte gravitaire à surface libre.

En revanche, ceci est à proscrire dans les zones venteuses où des vitesses de vent supérieures à 4 ou 5 m/s réduiraient significativement l'homogénéité de l'arrosage. Les unités d'irrigation sous pression sont généralement constituées d'équipements fournissant la pression nécessaire à leur fonctionnement, de dispositifs de mesure et de contrôle du débit et de canalisations qui acheminent l'eau vers des conduites secondaires et tertiaires. D'autres éléments peuvent être utilisés, notamment des filtres ou batteries de filtres et des moyens d'apport d'éléments fertilisants. [4,5]

En irrigation par aspersion, deux types de rampes sont utilisées

Rampes fixe : rampes permanents, rampes portatives, rampes semi-portatives.

Rampes mobiles : rampes pivotantes, rampes frontales, rampes d'irrigation sur roues, enrouleurs. [4,5]



Figure I. 11 L'irrigation par aspersion.

I.3.3.1. Les avantages de l'irrigation par aspersion

- Peut arroser tous les types de sols, des plus sableux aux plus argileux.
- Une protection contre le gel par rayonnement peut être installée pour le printemps.
- Avec un équipement entièrement automatique, on peut réaliser des arrosage a un rythme rapide et à un dosage faible .
- Possibilité de réaliser des installations mobiles pouvant être déplacées selon la nature des cultures.

I.3.3.2. Les inconvénients de l'irrigation par aspersion

- Consommation d'énergie élevée, parfois prohibitive dans les pays où l'énergie est chère.
- Difficulté d'utilisation et efficacité réduite dans les régions ventées.
- Réduit le potentiel d'arrosage avec des eaux usées [6]

I.4. Conclusion

L'irrigation dans les zones agricoles représente 70 % de l'utilisation mondiale de l'eau. Dans de nombreux pays en développement, l'irrigation représente 95% de toute l'utilisation de l'eau et joue un rôle important dans la production alimentaire et la sécurité alimentaire.

Nous avons présenté 3 catégories d'irrigations, Premièrement l'irrigation gravitaire qui se compose de 4 sous catégories qui sont l'irrigation par planche, l'irrigation par bassin, l'irrigation à la raie. Deuxièmement l'irrigation goutte à goutte. Finalement l'irrigation par aspersion.

CHAPITRE II

LE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE

II.1. L'énergie solaire :

II.1.1. Introduction :

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion directe d'une partie du rayonnement solaire en électricité. Cette conversion d'énergie s'effectue par l'intermédiaire de cellules photovoltaïques (PV), qui reposent sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque, qui génère une force électromotrice lorsque la surface de la cellule est exposée à la lumière. La tension résultante peut varier en fonction des matériaux utilisés pour fabriquer la cellule. L'association série/parallèle de plusieurs cellules photovoltaïques donne un générateur photovoltaïque (GPV) avec une caractéristique courant-tension (I-V) non linéaire qui présente un point de puissance maximale. [7]

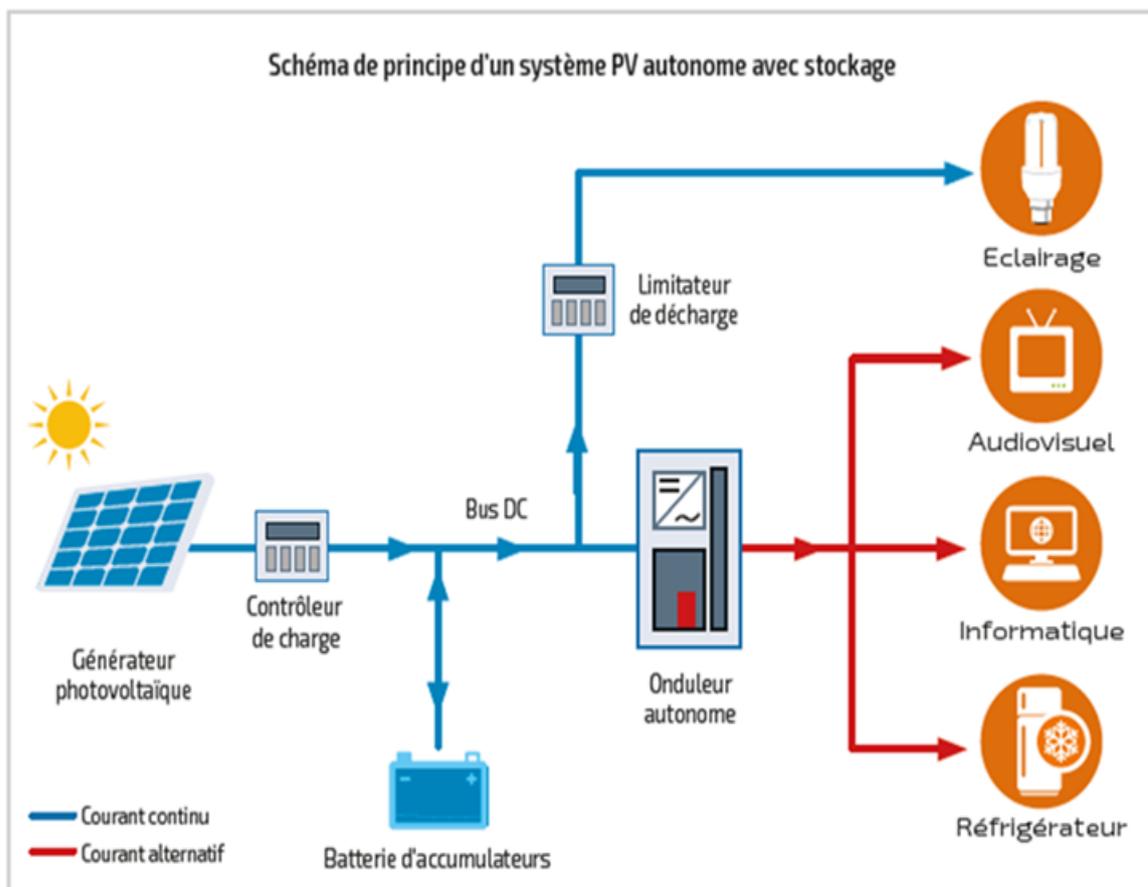


Figure II.1. Principe d'un générateur photovoltaïque

II.1.2. L'énergie solaire :

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cette énergie permet de produire de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou de centrales solaires thermiques grâce à la lumière solaire captée par les panneaux solaires. [8]

II.1.3. Rayonnement solaire :

Le soleil est l'étoile la plus proche de notre planète terre. Ces rayonnements à haute énergie sont en fait les seules sources d'énergie qui affectent l'atmosphère et le climat de la Terre. Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique dans la gamme de longueurs d'onde de 0,22 à 10 μm [9].

L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement comme suit :

- 9% dans la bande des ultraviolets ($< 0.4\mu\text{m}$).
- 47% dans la bande visibles (0.4 à $0.8\mu\text{m}$).
- 44% dans la bande des infrarouges ($> 0.8\mu\text{m}$). [10]

II.1.4. Différents types de rayonnement :

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé. Au sol, on distingue plusieurs composantes :

- Le rayonnement direct est le rayonnement reçu directement du soleil. Elle peut être mesurée avec un pyranomètre.
- Le rayonnement diffus est le rayonnement provenant de tout le ciel. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à la réflexion par les nuages. Elle peut être mesurée par un pyranomètre avec un écran qui bloque le soleil.
- Le rayonnement solaire réfléchi ou albédo du sol est le rayonnement réfléchi par le sol ou les objets à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

- Le rayonnement global est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets de surface. Elle est mesurée par un pyranomètre ou un héliomètre sans écran [11].

II.1.5. Potentiel énergétique solaire en Algérie :

De part sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de $1m^2$ est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de $1700KWh/m^2$ /an au Nord et $2263 kWh/m^2$ /an au Sud du pays. [12]

II.1.6. Modélisation électrique d'une cellule photovoltaïque : [13]

II.1.6.1. Modèle simplifié :

Une cellule photovoltaïque peut être représentée par le circuit équivalent donné à la figure composée d'un générateur de courant et de diodes parallèles. Le courant I généré par la cellule s'écrit alors.

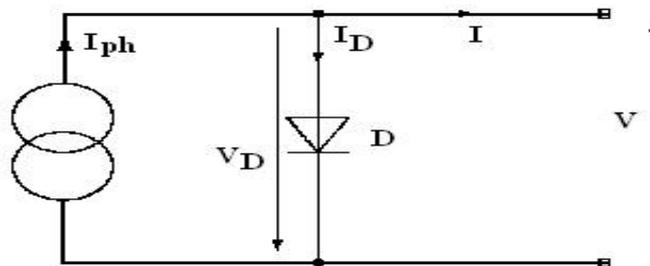


Figure II.2. Schéma électrique simplifié d'une cellule photovoltaïque.

$$(1-1) I = I_{ph} - I_D \quad (1-1)$$

$$(1-2) I_D = I_s \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \quad (1-2)$$

$$(1-3) I = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \quad (1-3)$$

V : tension.

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

$K = 1.38 \times 10^{-23}$: constant de Boltzmann.

$q = 1.602 \times 10^{-19}$: charge de l'électron.

T : température absolue en °K.

I_s : Courant de saturation de la diode.

I_{ph} : Photo courante.

I_D : Courant de la diode.

II.1.6.2. Modèle standard :

Elle peut être utilisée comme générateur de courant si l'on considère le cas simple d'une cellule idéale avec une jonction donneur-accepteur affectée par le flux lumineux. Son circuit équivalent est représenté par une diode idéale en parallèle avec une source de courant.

R_s est une résistance série liée à la résistivité volumique et à l'impédance des électrodes et des matériaux.

R_{sh} est une résistance parallèle liée aux effets de bord et aux recombinaisons volumiques.

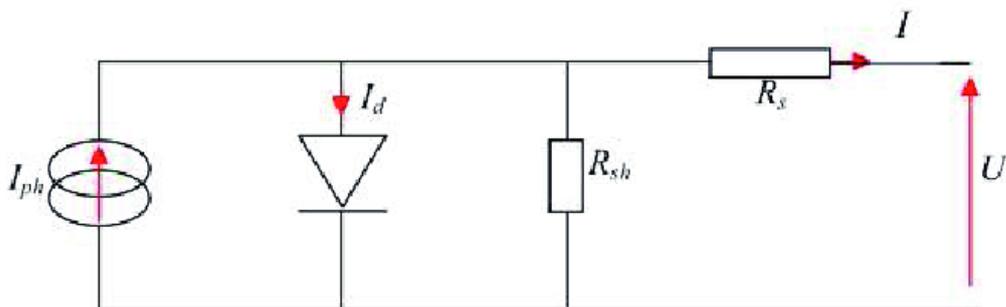


Figure II.3. Électrique standard d'une cellule photovoltaïque.

Le modèle mathématique associé à une cellule se trouve à partir de celui d'une jonction PN. On y ajoute le courant I_{ph} , proportionnel à l'éclairement, ainsi qu'un terme modélisant les phénomènes internes. Le courant I issu de la cellule s'écrit alors :

$$I = I_{ph} - I_{sc} \left(e^{\frac{q(U+R_s I)}{kT}} - 1 \right) - \frac{U + R_s I}{R_{sh}}$$

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

$$I_d = I_{sc} \left(e^{\frac{q(U+R_s I)}{KT}} - 1 \right)$$

Avec :

U : tension aux bornes de la cellule.

I_{ph} : photo courante, ou courant généré par l'éclairement.

I_{sc} : courant de saturation de la diode.

R_s : résistance série.

R_{sh} : résistance shunt.

K : constante de Boltzmann.

q : charge de l'électron.

T : température absolue de la cellule.

I_d : Courant de la diode

II.1.6.3. Schéma bloc d'une cellule PV :

En général, le circuit équivalent d'une cellule solaire peut être placé dans un schéma fonctionnel avec quatre paramètres

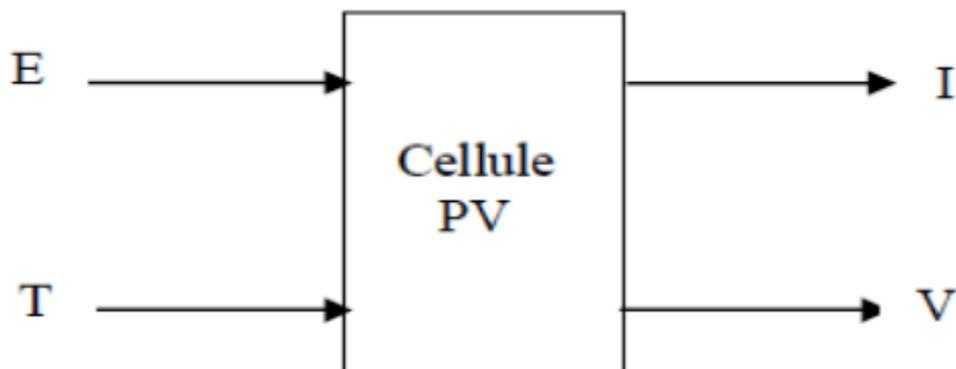


Figure II.4. électrique standard d'une cellule photovoltaïque.

Avec deux variables d'entrée :

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

E : ensoleillement dans le plan de la cellule (W/m^2).

T : température de la cellule ($^{\circ}C$).

Et deux variables de sortie :

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

V : tension aux bornes de la cellule.

II.1.7. Système photovoltaïque :

II.1.7.1. La cellule photovoltaïque (PV) :

II.1.7.1.1. Historique : [14]

- 1839 : Le physicien français Edmund Becquerel à utiliser la lumière du soleil pour produire de l'électricité. C'est l'effet photovoltaïque.
- 1875 : Werner Von Siemens expose devant l'académie des sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la seconde guerre mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.
- 1954 : Trois chercheurs américains Chapin, Pearson et Prince ont développé des cellules photovoltaïques à haut rendement à l'ère de l'industrie aérospatiale.
- 1958 : Les cellules ont été développées avec un rendement de 9 %. Le première Satellite alimenté par des cellules solaires envoyées dans l'espace.
- 1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques a été Construit à l'Université du Delaware.
- 1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.

II.1.7.1.2. Définition :

La cellule photovoltaïque ou cellule solaire est l'élément de base de la conversion photovoltaïque, elle équivaut à une photodiode, son travail est basé sur les propriétés des matériaux semi-conducteurs, et a pour fonction de convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique. [15]

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

2.1.7.1.3. Le principe de la conversion :

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité en générant et transportant des charges positives et négatives dans les matériaux semi-conducteurs sous l'action de la lumière.

Ce matériau comporte deux parties, l'une avec des électrons en excès et l'autre avec des électrons insuffisants, appelées respectivement dopage de type n et dopage de type p. Lorsque le premier entre en contact avec le second, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p.

La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Un champ électrique est ainsi créé entre eux, qui tend à repousser les électrons dans la région n et les trous vers la région p. Une jonction (appelée p-n) s'est formée. Une diode est obtenue en ajoutant des contacts métalliques aux régions n et p. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergies égales ou supérieures à la bande interdite transfèrent leur énergie aux atomes, chacun transférant un électron de la bande de valence à la bande de conduction et laissant un trou capable de se déplacer, créant une paire électron-trou . Si une charge est placée sur les bornes de la cellule, les électrons de la région n se connectent aux trous de la région p par une connexion externe, créant une différence de potentiel. [9]

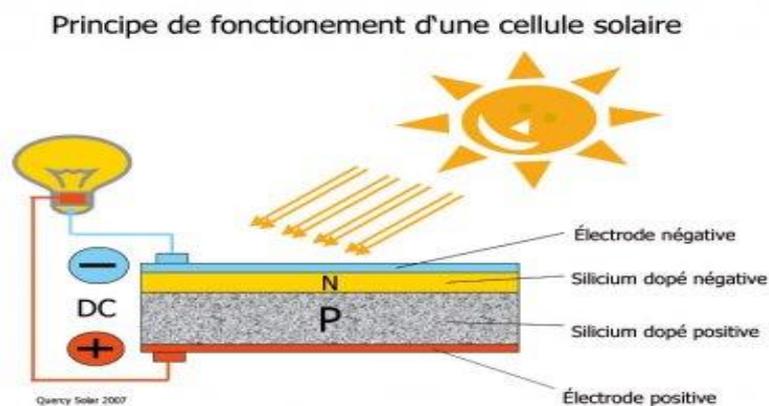


Figure II.5. Description d'une photopile ou cellule photovoltaïque .

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE

II.1.7.2. Les différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïque) [16] :

Il existe actuellement deux grandes catégories de technologies : la première est basée sur le silicium cristallin, comprenant le monocristal et le polycristallin, et représente environ 85 % de la production mondiale. La deuxième catégorie, les couches minces, comprend les cellules de silicium amorphe, polycristallin ou microcristallin, le tellure de cadmium (CdTe), le séléniure de cuivre et d'indium (CIGS) et l'arséniure de gallium (GaAs). Par ailleurs, d'autres technologies sont testées, comme les batteries organiques, polymères ou fullerènes.

II.1.7.2.1. Le Silicium mono cristallin (mono c-Si) :

La technologie monocristalline est coûteuse car elle nécessite des tiges de silicium pur. Son rendement est le plus élevé (14% à 16%). Ceci a l'avantage de réduire la taille du module pour une même puissance, ce qui est utile lorsqu'un gain de place est nécessaire.

II.1.7.2.2. Le silicium multi cristallin (multi c-Si) :

La technologie multi cristallin est obtenue en refondant les déchets de cristaux de silicium de l'industrie électronique, et elle nécessite 2 à 3 fois moins d'énergie que les technologies précédentes. Son rendement est légèrement inférieur (12% à 14%), mais son coût est plus avantageux, ce qui rend la technologie actuellement dominante sur le marché.

II.1.7.2.3. Le silicium amorphe (a-Si) :

Un matériau constitué de silicium hydrogéné (amorphe) déposé sur un substrat de verre. Le silicium amorphe a un rendement inférieur au cristallin (5-7%) et est généralement utilisé dans les appareils à faible puissance (calculatrices, lumières ou parcmètres), mais des modules tels que Solarex, Phototronix, Canon ou Forum offrent des modules cristal de tailles de module comparables. Sanyo a développé une technologie de silicium amorphe (technologie HIT) sur la couche de silicium monocristallin, qui a un rendement supérieur au silicium monocristallin (le rendement est d'environ 19%).

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

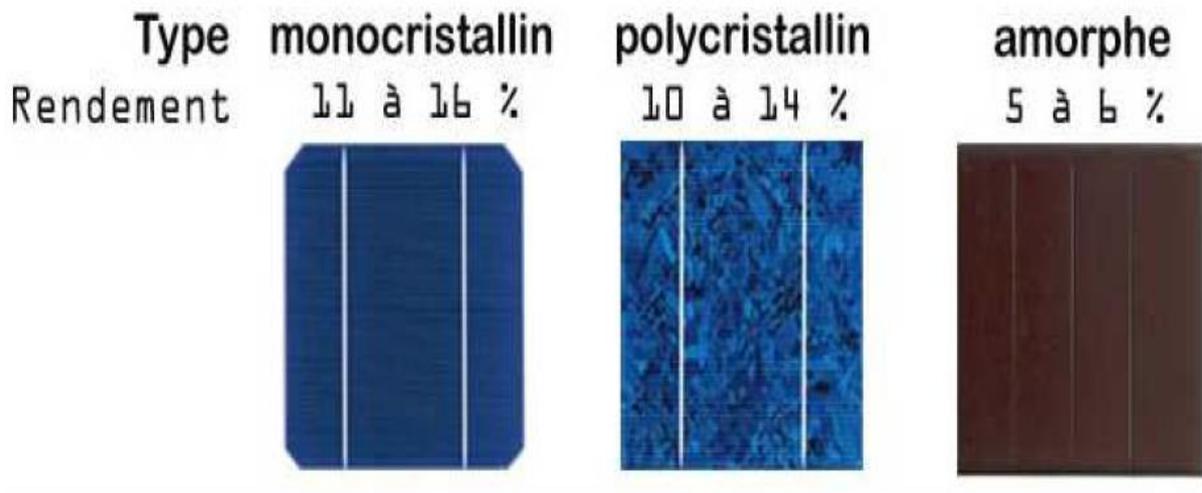


Figure II.6. Technologies de cellules photovoltaïques .

II.1.7.3. Paramètres essentiels caractérisant une cellule PV :

II.1.7.3.1. La courbe courant-tension d'une cellule PV : [17]

La courbe caractéristique $I(V)$ d'une cellule photovoltaïque représente le courant qu'elle produit en fonction de la tension aux bornes de la cellule photovoltaïque depuis le courant de court-circuit I_{cc} jusqu'au courant de la tension du circuit ouvert V_{co} .

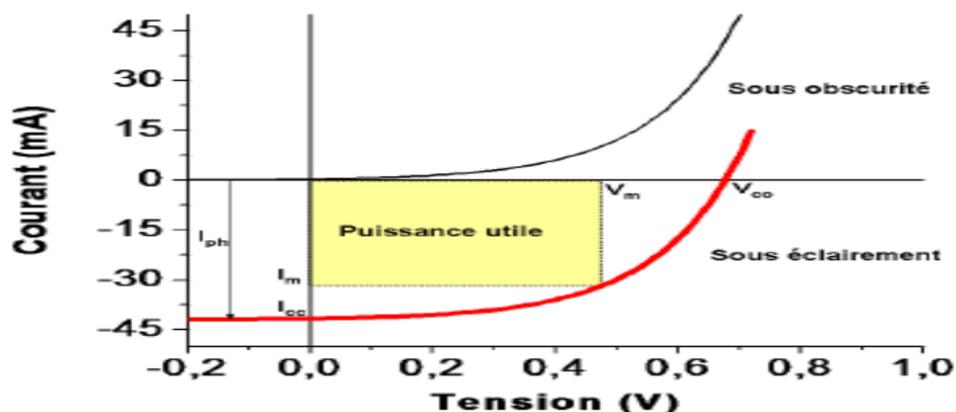


Figure II.7. Caractéristiques $I=f(V)$ sous obscurité et sous éclairement d'une cellule PV.

II.1.7.3.2. Le courant de court-circuit I_{cc} :

Le courant de court-circuit d'une cellule photovoltaïque est défini pour une tension nulle ($V=0$). On obtient alors à partir de l'équation I.01 comme suit : [18]

$$I_{cc} = I_{ph} \quad (I. 02)$$

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

Cela montre que le courant de court-circuit n'est en réalité qu'un photocourant proportionnel à l'intensité du rayonnement solaire.

II.1.7.3.3. La tension de circuit ouvert V_{co} :

Cette tension est obtenue en résolvant l'équation I.01 pour un courant nul I et s'exprime par la formule (I.03) [13]:

$$V_{co} = \left(\frac{KT}{q}\right) \ln\left(\frac{I_{cc}}{I_0} + 1\right) \quad (I.03)$$

Il convient de noter que la tension de circuit ouvert V_{co} ne varie qu'avec l'intensité de l'éclairement énergétique.

II.1.7.3.4. La puissance caractéristique d'une cellule PV : [18]

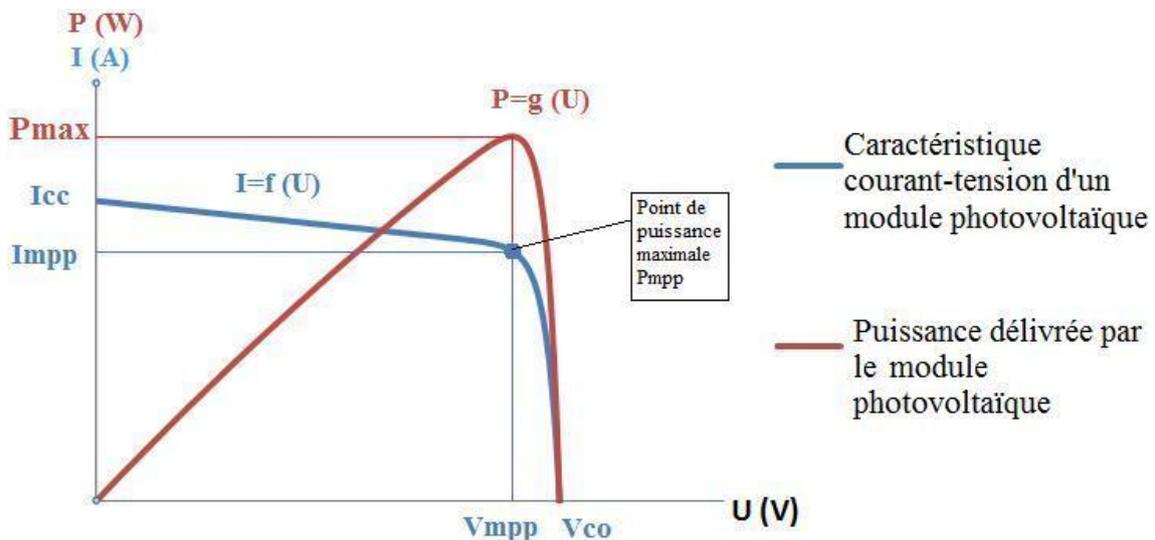


Figure II.8. Puissance d'une cellule PV.

Dans des conditions ambiantes fixes de fonctionnement (éclairage, température, vitesse de circulation de l'air ambiant, etc.), la puissance électrique P disponible aux bornes des cellules photovoltaïques est égale au produit du courant continu fourni I par une tension continue donnée V

$$P = V \cdot I \quad (1-8)$$

P : Puissance mesurée aux bornes de la cellule PV.

V : Tension mesurée aux bornes de la cellule PV.

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE

I : Intensité mesurée aux bornes de la cellule PV.

II.1.7.3.5. La puissance max :[19]

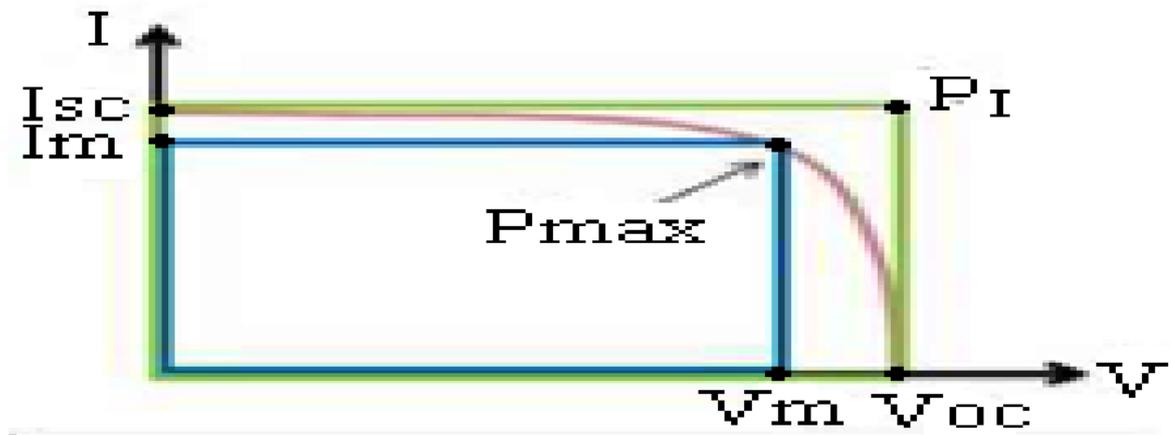


Figure II.9. Puissance max d'une cellule PV .

Pour une cellule solaire idéale, la puissance maximum idéale P_I correspondrait donc à la tension de circuit ouvert V_{CO} multipliée par le courant de court-circuit I_{CC} :

$$P_I = P_{max\text{idéale}} = v_{co} \cdot I_{cc} \quad (1-9)$$

$P_{max\text{ idéale}}$ (W), Watt : Puissance mesurée aux bornes de la cellule PV.

V_{CO} (V), Volt : Tension de circuit ouvert mesurée aux bornes de la cellule PV.

I_{CC} (A), Ampère : Intensité de court-circuit mesurée aux bornes de la cellule PV

En pratique, la courbe caractéristique d'une cellule photovoltaïque est plus « arrondie », la tension $V(P_{max})$ au point de puissance maximale est inférieure à la tension à vide V_{CO} , car le courant fourni $I(P_{max})$ est plus faible, pour cette même tension que le courant de court-circuit I_{CC} .

$$P_{max} = V_m \cdot I_m$$

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE

II.1.7.3.6. Facteur de forme : [19]

Le facteur de forme représente le rendement de la cellule, il est défini par le rapport de la puissance délivrée à la charge et le produit de I_{cc} et V_{co} , autrement dit, il est défini par le rapport entre la puissance maximale et le produit de la tension du circuit ouvert fois le courant de court-circuit décrit par l'équation :

$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{co} \cdot I_{cc}} = \frac{P_{max}}{P_I} \quad (1-11)$$

II.1.7.3.7. Rendement de conversion d'énergie : [19]

Le rendement de conversion d'énergie est le rapport de la puissance générée et de la puissance du rayonnement solaire incident P_0 . On appelle le rendement maximum le rapport de la puissance maximum sur la puissance P_0 :

$$\eta_m = \frac{V_m \cdot I_m}{P_0} = FF \frac{V_{co} \cdot I_{cc}}{P_0}$$

II.1. 8. Propriétés des panneaux solaires :

Les caractéristiques des modules de cellules solaires, telles que le coefficient de température, l'efficacité est principalement déterminée par les cellules photovoltaïques qui les composent. Le type d'interconnexion des cellules affecte ces caractéristiques. sérialiser et où Le parallélisme de ces cellules a des effets différents, surtout s'il y a des défauts d'ombrage. [20]

II.1.8.1. Branchement en série des panneaux solaires:

Pour faire ce montage, rien de plus simple : il suffit de connecter les panneaux les uns après les autres, c'est-à-dire une sortie à l'autre entrée (autrement dit : le câble « + » du panneau sera relié au câble « - » du panneau en dessous, et ainsi sur). Par conséquent, ils finiront par être reliés à une "chaîne" (d'où le nom "String" en anglais). Pour illustrer tout cela, voici un petit schéma : [20]



Figure II.10. Branchement en série des panneaux solaires.

L'intérêt principal du montage en série est en fait de pouvoir monter jusqu'à des tensions assez élevées

II.1.8.2. Branchement en parallèle des panneaux solaires :

Un autre type de montage largement utilisé est le montage parallèle. Ici, nous connectons toutes les bornes "+" du panneau solaire entre elles, ainsi que toutes les bornes "-".[20]

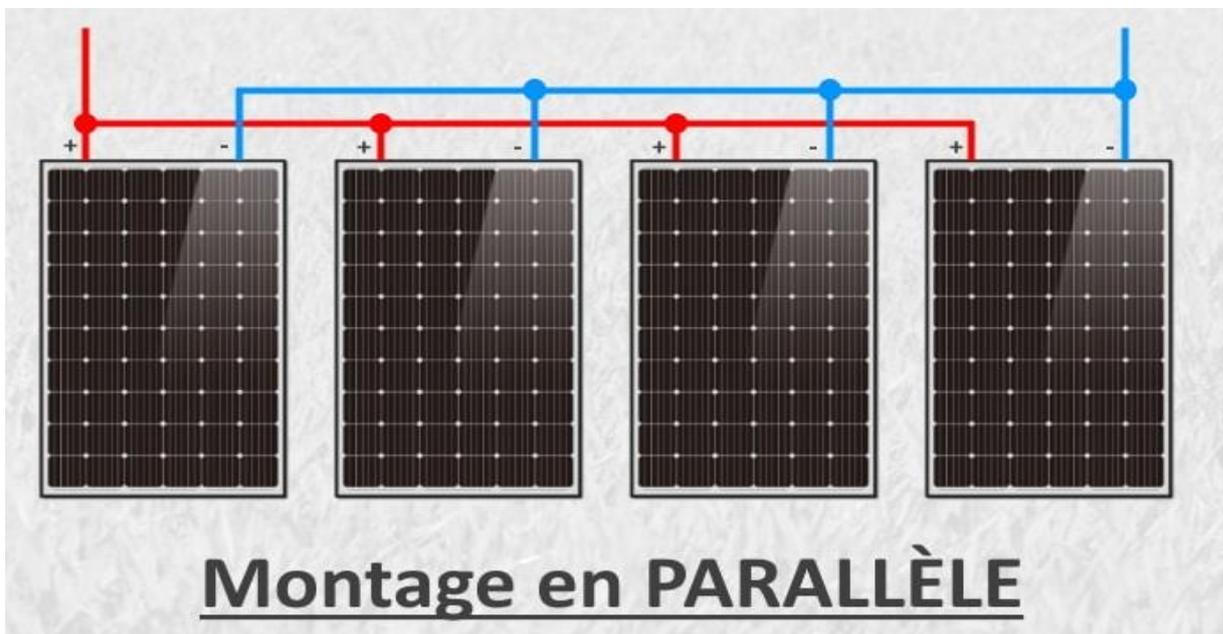


Figure II.11. Branchement en parallèle des panneaux solaires.

Le premier avantage de ce montage est la possibilité de maintenir de faibles tensions. En effet, lorsque tous les modules PV sont connectés en parallèle, la tension finale du groupe de panneaux est égale à la tension d'un seul panneau. D'autre part, le courant total lui-même est égal à la somme des courants fournis par chaque panneau.

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

II.1.8.3. Branchement série/parallèle des panneaux solaires :

Connexion hybride : série et parallèle. C'est la connexion nécessaire lorsqu'une puissance spécifique est requise à la tension souhaitée (en volts, V), les règles série et parallèle s'appliquent dans le cas de montage mixtes. Des produits de même tension et de même intensité/capacité sont recommandés. [21]

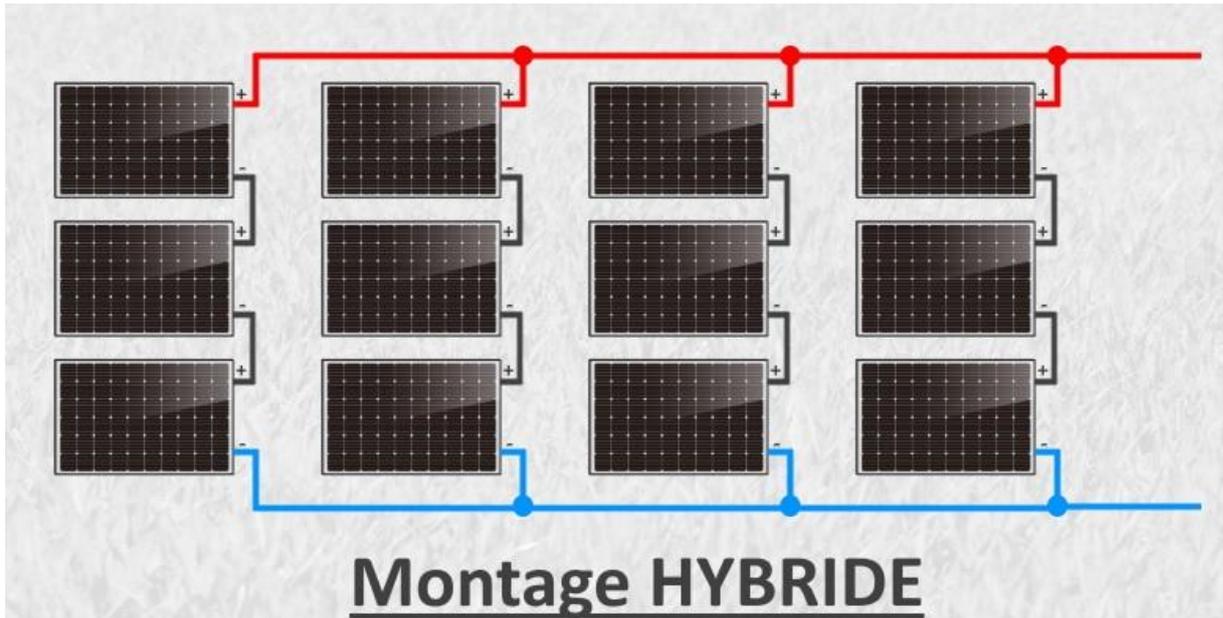


Figure II.12. Branchement série/parallèle des panneaux solaires.

Un groupe installé en série est appelé une "chaîne" et des panneaux de même tension peuvent être ajoutés à la chaîne pour augmenter la tension (mesurée en volts, V). Ou, si vous avez besoin de plus de force pour plus de puissance, ajoutez une ou plusieurs chaînes.

II.1.8.4. CONCLUSION :

Chaque configuration a évidemment ses avantages et ses inconvénients. Par conséquent, nous ne pouvons pas dire que l'un est définitivement meilleur que l'autre. De plus, on se rend même compte que l'idéal est parfois un hybride des deux. Mais encore une fois, tout dépend de ce que vous voulez faire de votre installation PV.

II.1.9. Protections des photovoltaïque :

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

Pour éviter les défaillances des panneaux photovoltaïques dans des situations d'ombrage, il existe deux types de protection Intégré au système [22] :

- Protection lorsque les modules PV sont connectés en parallèle pour éviter Courant négatif dans GPV (diode unidirectionnelle). Elle est importante quand la charge du module PV est une batterie.
- Protection lors de la sérialisation des modules PV pour éviter les pertes de toute la chaîne (diode by-pass) pour éviter les points chauds.

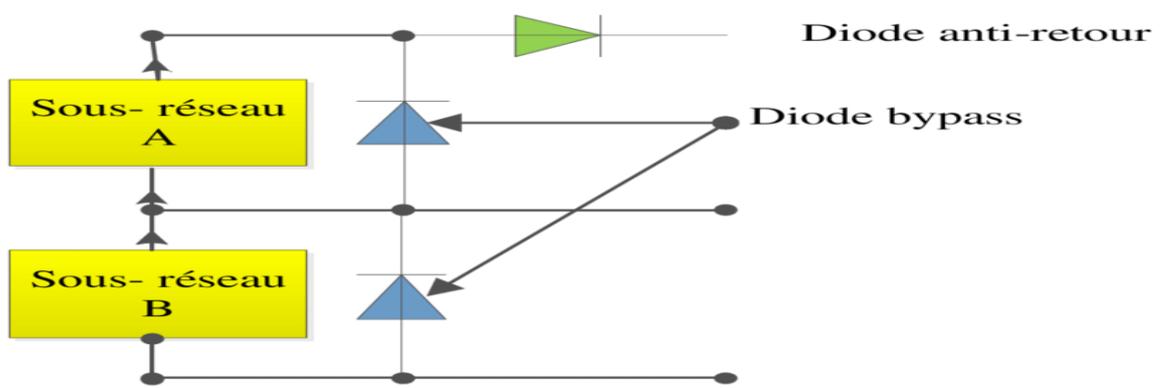


Figure II.13. Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour.

II.2. Pompage solaire :

II.2.1. Introduction

De nombreuses personnes vivant dans les zones rurales des pays en développement face à des problèmes majeurs dus au manque d'eau. Ces questions sont particulièrement importantes dans les zones désertiques et semi-désertiques. L'amélioration des conditions de vie dans ces zones est liée à la recherche des solutions.

Le sujet de ce chapitre est le pompage solaire photovoltaïque (PV), Un des solutions idéals pour l'approvisionnement en eau hors réseau électrique (sonalgaz). Dans ce chapitre nous montrerons tous les composants qui composent un système de pompe photovoltaïque à savoir, les générateurs photovoltaïques et les groupes électropompes seront présentés en détail dans ce chapitre .

II.2.2. Pompage solaire :

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

Pour pomper de l'eau à l'aide d'un système photovoltaïque, deux méthodes sont possibles.

II.2.2.1. Pompage au fil du soleil :

Le pompage de l'eau " au fil du soleil " permet d'avoir un système photovoltaïque simple, Fiable et moins cher. Ici, l'eau est pompée tout au long de la journée et stockée dans des réservoirs. C'est ce qu'on appelle le stockage hydraulique. L'eau stockée sera distribuée au besoin. [23]

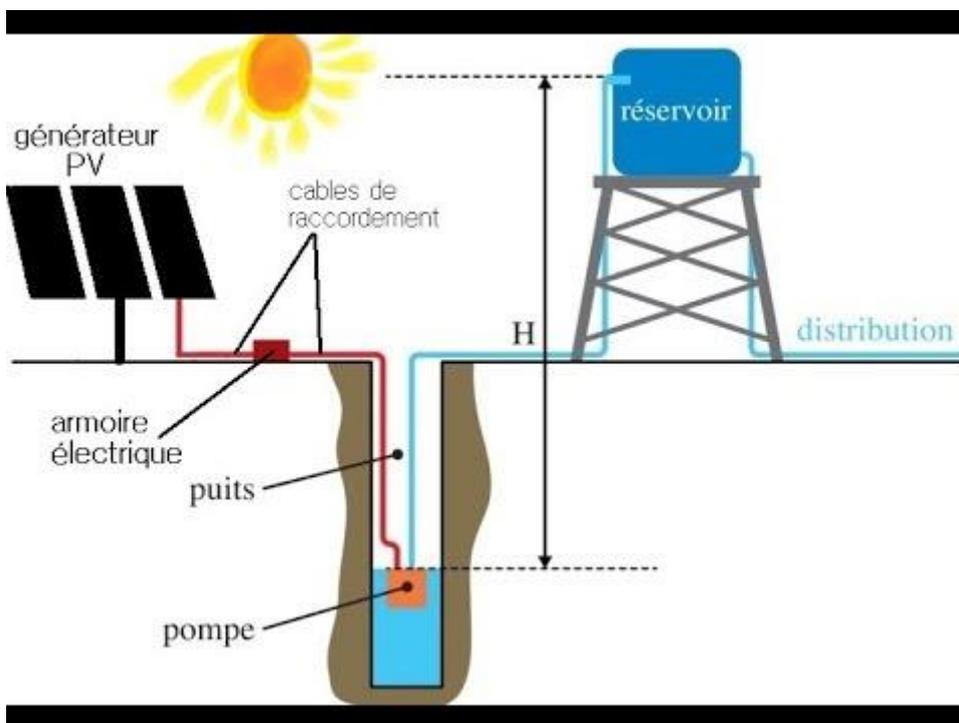


Figure II.14. Pompage photovoltaïque au fil du soleil .

II.2.2.2. Pompage avec batteries :

La méthode de pompage de l'eau utilisant l'énergie stockée sur des batteries elle a l'avantage d'assurer l'alimentation électrique stable de l'équipement (système), et l'avantages du débit régulier, et la possibilité de pompage en l'absence de soleil. L'énergie emmagasinée pour être utilise aussi pour d'autres besoins ultérieurs. Le plus grand inconvénient, cette technique se caractérise par le fait qu'elle contient plusieurs effets qui affecte négativement la fiabilité du système et le coût global. En effet, La batterie est fragile et Généralement le premier élément à changer Elles nécessitent, un entretien

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

constant et un contrôle rigoureux de leur charge et décharge. Les contrôleurs utilisés pour régulariser la charge et la décharge des batteries vieillissent rapidement et peuvent s'avérer non fiables, La batterie introduit également certains perte de rendement d'environ 20 % à 30 % de la production d'énergie.[24]

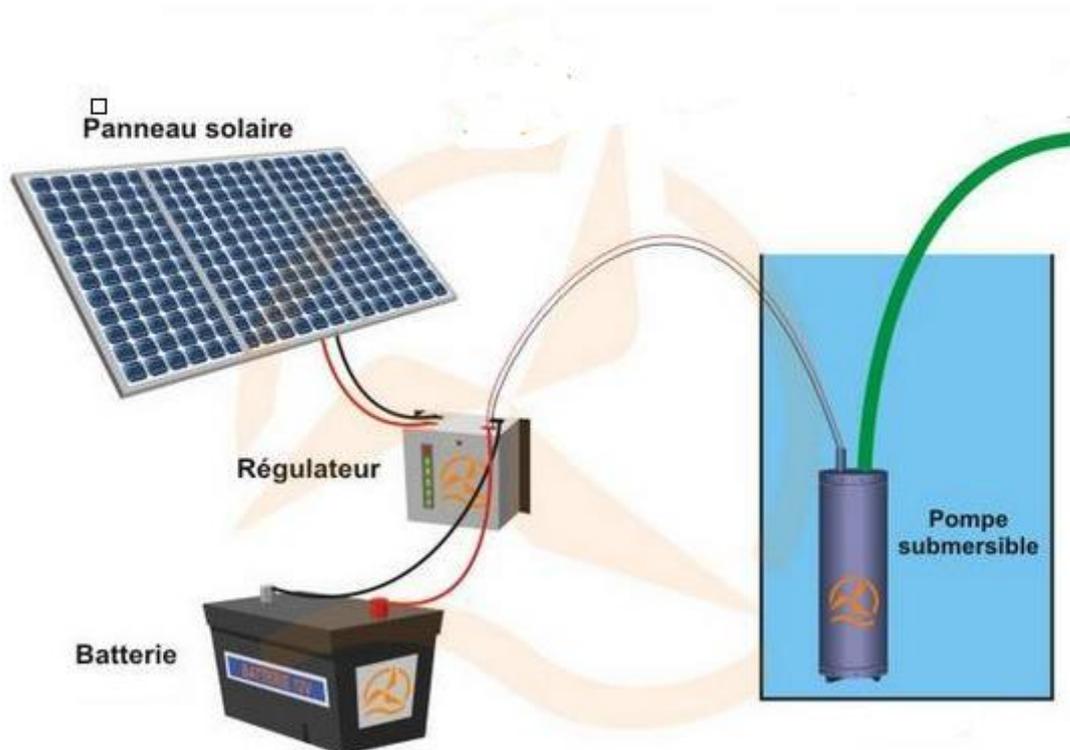


Figure II.15. Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie.

II.2.3. Les Composants d'un système de pompage PV :

Un système de pompage solaire est généralement constitué de

- Le générateur photovoltaïque.
- Le groupe de motopompe.
- L'électronique de commande.
- Les éléments du stockage.[25]

II.2.3.1. Le générateur photovoltaïque :

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

Le générateur photovoltaïque se compose d'un générateur de charge-décharge et d'une batterie d'accumulateur. Il produit un courant continu qui peut être converti en courant alternatif (à l'aide d'un onduleur) si nécessaire. D'une manière générale, le système solaire photovoltaïque comprend une batterie qui stocke l'électricité produite afin de pouvoir récupérer à tout moment, le régulateur de charge et de décharge protège la batterie (protection contre les surcharges et les décharges profondes), les convertisseurs d'énergie et enfin les récepteurs. [26]



Figure II.16. Générateur photovoltaïque .

II.2.3.2. Le groupe de motopompe :

La classification des pompes peut être conçue selon différentes normes : L'emplacement et la conception de la pompe dans le système et le type de moteur utilisé : [27]

Conception de la pompe	Position dans le system	Type de moteur
Centrifuge	Surface	Courant continu
Volumétrique	Immerge	Courant alternative

Tableau II.1. Classification des pompes.

II.2.3.2.1. Les pompes :

La pompe hydraulique électrique fait circuler l'eau à travers le mécanisme électrique. Ces systèmes peuvent être une solution pour le recyclage des liquides dans de multiples industries et situations, de l'industrie à l'agriculture en passant par l'usage domestique dans les petits appareils. Dans tous les cas, l'élément principal d'une pompe électrohydraulique est le moteur. En effet, le moteur permet à la pompe de recycler l'eau. L'énergie produite par le moteur est utilisée pour déplacer de l'eau ou un liquide spécifique d'un point à un

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

autre. Mais regardons de plus près ce qu'est une pompe hydraulique électrique et les types disponibles sur le marché.

Une pompe électrohydraulique est un système dont la structure est divisée en trois parties principales :

- L'aspiration, l'entrée du liquide, est située sur l'arbre central de la pompe électrique.
- Le moteur déplace la turbine, qui à son tour pousse le liquide au centre de la pompe vers l'extérieur.
- La sortie, qui convertit l'énergie en pression par des impulsions électriques ou un reflux, pousse le liquide collecté vers l'extérieur. [28]

II.2.3.2.2. Classification selon la conception de la pompe :

II.2.3.2.2.1. Pompe centrifuge :

Les pompes centrifuges sont des dispositifs utilisés pour transporter des fluides en convertissant l'énergie cinétique de rotation en énergie hydrodynamique du flux de fluide. L'énergie de rotation provient généralement d'un moteur électrique ou d'une turbine à vapeur (dans le cas d'une pompe d'alimentation entraînée par turbine). [29]

Les caractéristiques des pompes centrifuges dans le cadre de l'utilisation des modules photovoltaïques :

- Le couple d'entraînement de la pompe est pratiquement nul au démarrage, la pompe fonctionne même en très faible ensoleillement, mais nécessite une certaine vitesse de moteur pour faire en sorte que la pression de l'eau soit suffisante pour s'écouler à l'extrémité du tuyau d'admission de l'eau.
- La puissance absorbée est bien adaptée au module PV, offrant un bon rendement global. [30]

Caractéristique couple et débit en fonction de la vitesse :

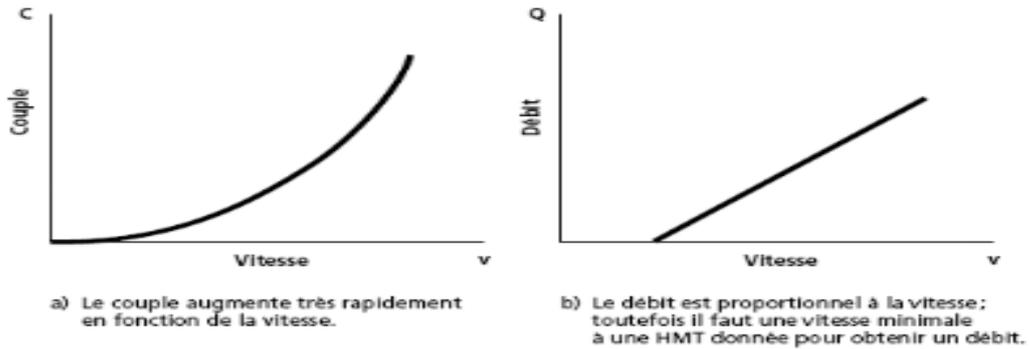


Figure II.17. Courbes du couple et du débit d'une pompe centrifuge.

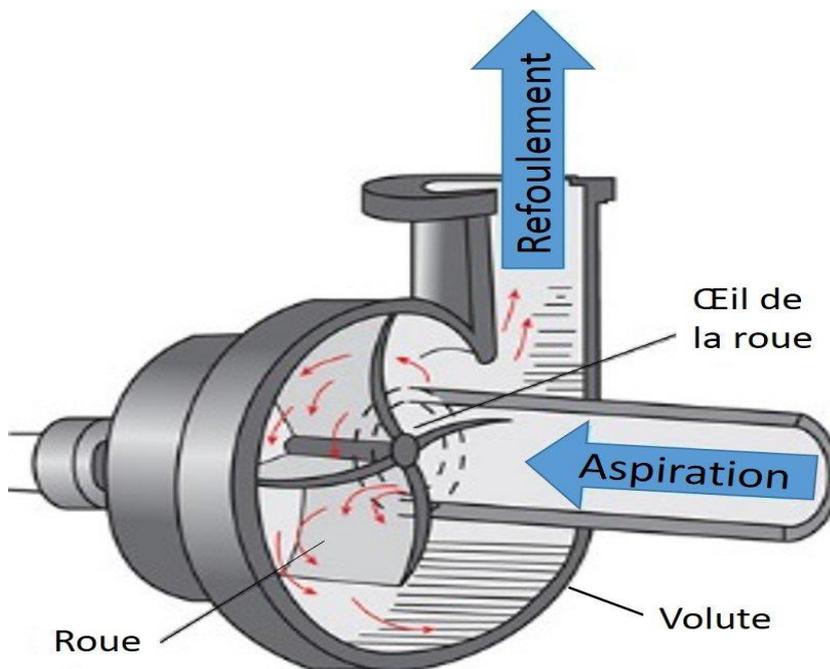


Figure II.18. Pompe centrifuge.

II.2.3.2.2. Pompe volumétrique :

Dans ces pompes, le fluide se déplace à travers un changement de volume qui le contient. il existe deux types de pompes volumétriques, les pompes volumétriques Alternatives (ex : pompes à pistons, pompes à membrane, etc.), et pompes volumétriques rotatives (pompe à vis, etc.)

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE

Le couple de démarrage de la pompe volumétrique (3 à 5 fois le couple nominal) et la caractéristique $I=f(V)$ de cette pompe signifie que son fonctionnement en direct sur un panneau photovoltaïque n'est pas économiquement fiable.

Pour surmonter le problème résultant des générateurs surdimensionnés, un adaptateur d'impédance est utilisé pour permettre un rendement aussi élevé que possible de l'ensemble du système. [30]

Les caractéristiques des pompes volumétriques :

- Elles sont adaptées aux faibles débits (moins de 5 m³/h) et aux hautes altitudes.
- Elles ont un bon rendement et les pompes de surface sont auto-amorçantes.[30]

Caractéristique couple et débit en fonction de la vitesse :

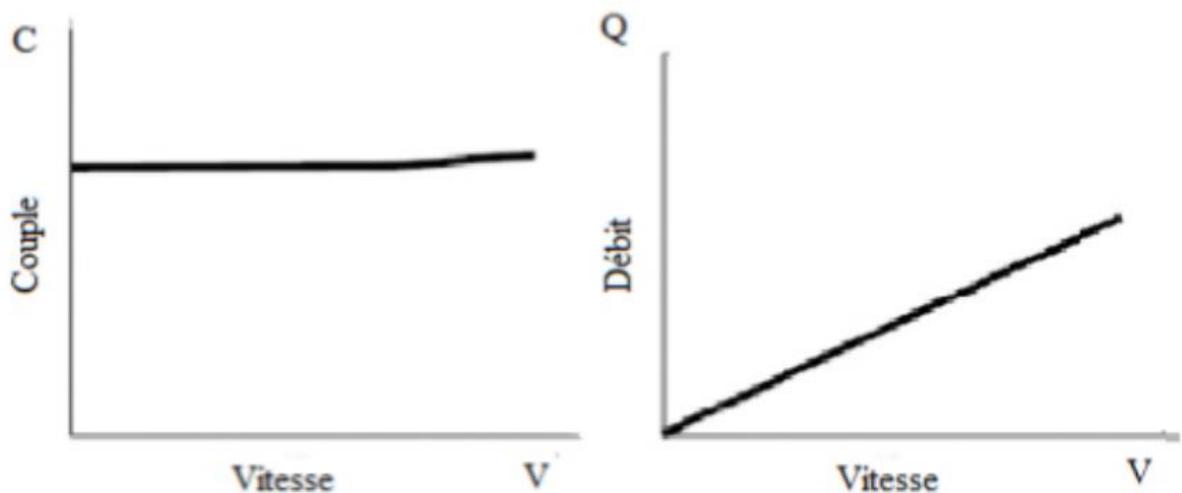


Figure II.19. Caractéristiques d'une pompe volumétrique .



Figure II.20. Pompe volumétrique .

II.2.3.2.3. Classification selon la position de pompe:

En fonction de l'emplacement physique de la pompe, nous associons Les pompes de surface et les pompes immergée.[25]

II.2.3.2.3.1. Pompes de surface :

Le terme surface définit la position de la pompe par rapport au liquide à pomper. elle est dite une pompe de surface car elle est conçue pour être placée à l'extérieur du liquide pompé. [25]

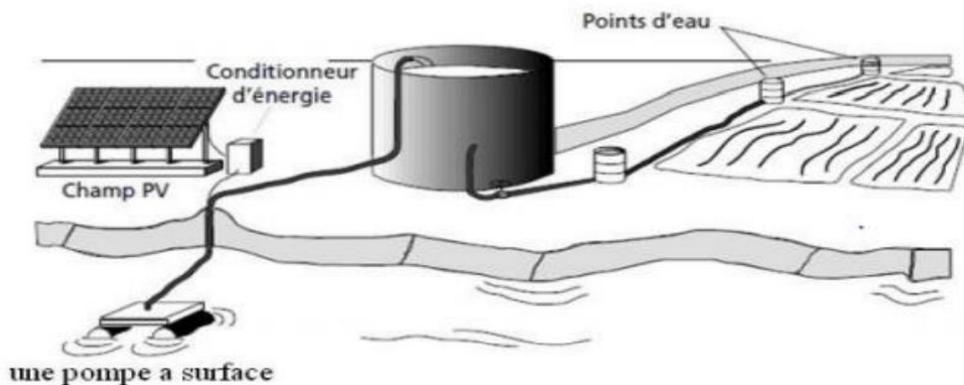


Figure II.21. Pompe immergée.

II.2.3.2.3.2. Pompes immergées :

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

Les pompes de refoulement sont immergées dans l'eau et leur moteur est immergés dans l'eau avec la pompe (pompe intégrée) ou en surface. La transmission de puissance se fait par l'attachant de la pompe à l'arbre du moteur. [25]

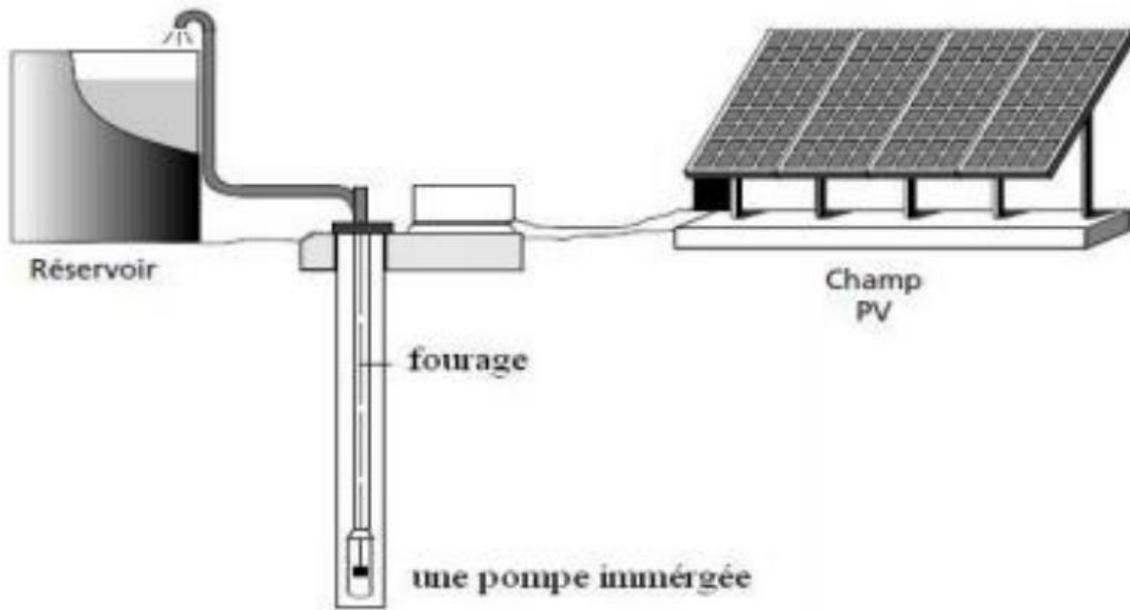


Figure II.22. Pompe immergée.

II.2.3.2.4. Classification selon le moteur utilisé :

Un moteur électrique est un dispositif électromécanique qui convertie l'énergie électrique en énergie mécanique. Il existe deux types de moteurs :

- Moteurs à courant continu.
- Moteurs à courant alternatif.

Le moteur du groupe motopompe convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Il peut être à courant continu ou à courant alternatif. Dans le cas de l'alternatif un convertisseur électronique ou un onduleur est nécessaire pour convertir le courant continu de générateur photovoltaïque en courant alternatif. Pour cette raison, le choix du moteur est a première vue, a courant continue peut sembler plus intéressant, mais nous verrons le développement des convertisseurs électroniques à haut rendement a également rendu possible le choix des moteurs électriques alternatifs efficaces et moins cher. [31]

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE

II.2.3.2.4.1. Moteur à courant continu :

Un moteur à courant continu est un convertisseur d'énergie électromécanique. Comme son nom l'indique, il fournit de l'énergie en continu et convertit l'énergie électrique en énergie mécanique et inversement. Il se compose des éléments suivants :

- Inducteur (ou stator) composé d'aimants permanents ou d'enroulements enroulés autour d'une partie du stator
- Un induit (ou rotor)
- Collecteur de courant fixé sur l'induit, il est en contact direct avec les balais GUET Robin ELT1 [32]

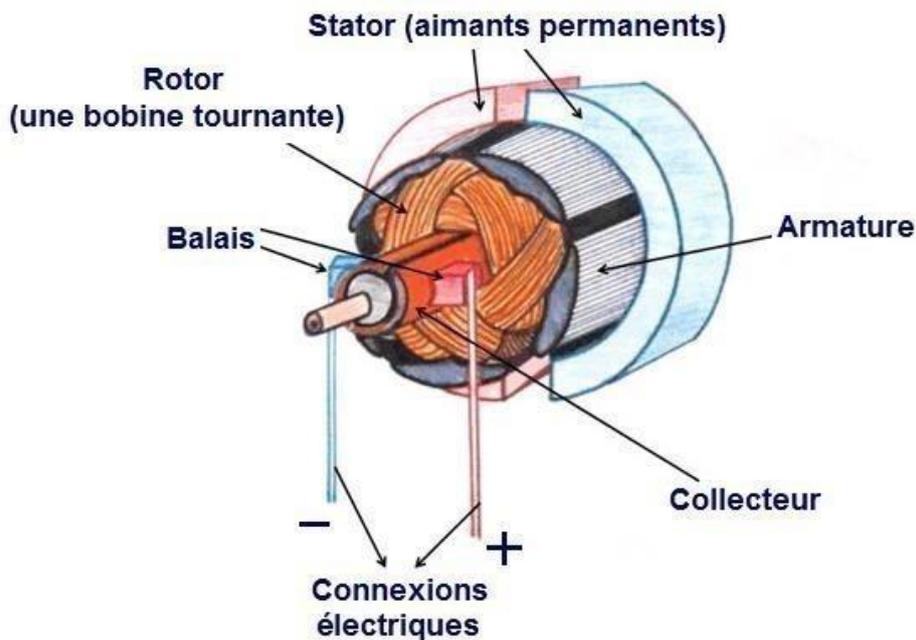


Figure II.23. Moteur à courant continu.

II.2.3.2.4.2. Moteur à courant alternatif :

Pour les applications de faible à moyenne puissance (jusqu'à plusieurs kilowatts), Un réseau monophasé standard suffit. Pour les applications a haute puissance, les moteurs avec le courant alternatif est généralement fourni par une source de courant polyphasée, le

CHAPITRE II : LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

système le plus fréquemment utilisé est alors le triphasé (phases décalées de 120°) utilisé par les distributeurs d'électricité. Il existe deux types de ces moteurs alternatifs :

- Moteurs synchrones
- Moteurs asynchrones [33]

a. Les moteurs synchrones :

Les machines synchrones sont souvent utilisées comme générateurs. Alors appelé "alternateur". Mis à part pour la réalisation de groupe électrogène de faible puissance, ces machines sont généralement triphasées pour la production d'électricité, les centrales électriques utilisent un alternateur d'une puissance d'environ 1 500 MW. Comme son nom l'indique, le régime de ces machines est toujours proportionnel à la fréquence du courant qui les traverse. [33]

b. Les moteurs asynchrones :

Moteur asynchrone, également connu sous le nom de terminologie anglo-saxonne Un "moteur à induction", est un moteur à courant alternatif sans source d'alimentation du rotor. Le terme « asynchrone » provient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas forcément proportionnelle à la fréquence des courants qui les traversent.

Utiliser des moteurs asynchrones (AC triphasé), est plus robuste et moins cher et sans entretien, ce qui en fait une solution plus économique pour les systèmes de pompage Photovoltaïque.

L'utilisation des moteurs asynchrones augmente ainsi l'autonomie et la fiabilité installée. Le moteur est alimenté par un onduleur (convertisseur DC/AC), assurant l'optimisation du générateur. [33]

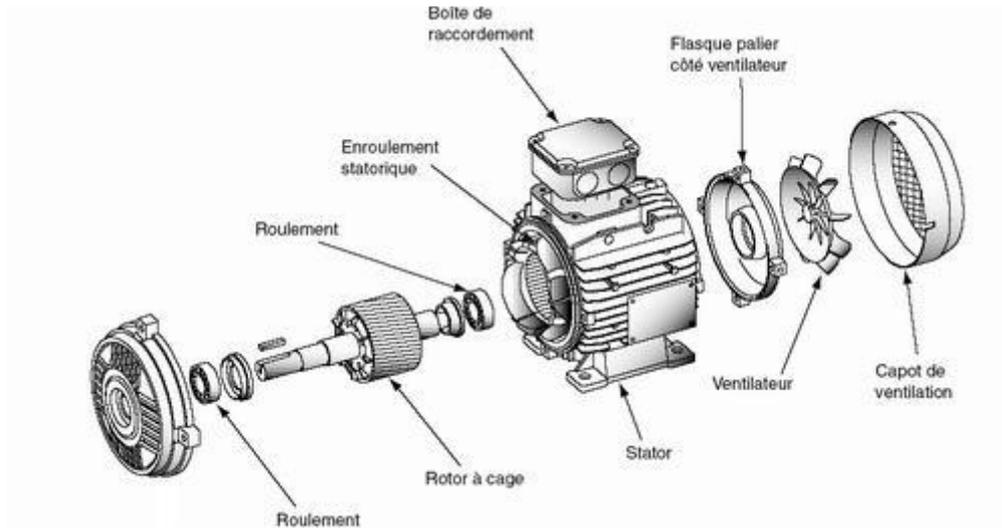


Figure II.24. Moteur asynchrone.

II.2.3.3. L'électronique de commande et de contrôle :

II.2.3.3.1. Le convertisseur DC/AC (onduleur) :

Un convertisseur DC-DC est un circuit électronique de puissance ou un dispositif électromécanique qui convertit le courant continu (DC) d'un niveau de tension spécifié à un niveau de tension différent.[34]

II.2.3.4. La partie stockage :

Le stockage d'énergie peut se faire de deux manières : stockage d'énergie électrique ou stockage d'eau. Cette dernière méthode est généralement utilisée car elle est plus facile de stocker l'eau dans des réservoirs que l'énergie électrique dans des batteries lourdes, chères et fragiles.

De plus, les systèmes de stockage sur batterie créent des coûts supplémentaires, des problèmes d'entretien de la batterie et obligation de remplacer la batterie après 3 à 5 ans d'utilisation. Alors on fait un stockage d'eau avec un réservoir qu'un stockage d'énergie parce qu'un réservoir d'eau peut souvent être construit localement, et la capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours. Le réservoir ne nécessite pas d'entretien compliqué et est facile à réparer sur place.[35]

CHAPITRE III

**DIMENSIONNEMENT D'UNE STATION DE
POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE**

III.1. Dimensionnement théorique :

III.1.1. Introduction :

La mise en place d'un système de pompage photovoltaïque autonome, fiable et économique, est une solution pratique et économique au problème de la pénurie d'eau, surtout dans le sahara et les régions isolées. En effet, un système photovoltaïque devient intéressant lorsqu'il est facile à installer avec une autonomie acceptable et excellente fiabilité du service.

Dans ce chapitre, nous traitons principalement des éléments nécessaires qui permet la réalisation d'une station de pompage solaire avec le dimensionnement.

La région sélectionnée dans notre travail c'est la wilaya de Tlemcen où nous allons dimensionner le système photovoltaïque de pompage autonome au fil du soleil à l'aide de logiciel **PVsystem**.

III.1.2. Méthode de dimensionnement :

Le dimensionnement du système de pompage d'eau photovoltaïque implique principalement le calcul de la puissance crête du générateur photovoltaïque, la sélection de la pompe à eau et la sélection du contrôleur.

Ce dimensionnement employé dans notre étude s'articule autour de quatre étapes :

- Besoins journaliers en eau.
- Dimensionnement et choix de la pompe.
- Energie solaire disponible et dimensionnement du champ photovoltaïque.
- Choix des composants. [36,37]

III.1.3. Besoins journaliers en eau :

La quantité d'eau ou les besoins quotidiens sont définis par l'agriculteur ou les parties intéressées. elle est exprimé en m^3/jour .

III.1.4. Dimensionnement et choix de la pompe :

Les Données nécessaires au dimensionnement de la pompe solaire et de ses composants :

- Le débit horaire indique et mesure un volume d'eau par heure.

En pompage solaire, le débit (ou la demande) est généralement exprimé en m^3 par jour.

- Hauteur manométrique totale.

Elle correspond à la pression que la pompe doit fournir entre les points d'aspiration et de refoulement.

- capacité de stockage.

Le réservoir d'eau n'est pas seulement utilisé pour stocker de l'eau, c'est aussi un ajusteur de débit. Par conséquent, la capacité utile du réservoir sera déterminée de manière à ce qu'il permet de stocker l'excédent de pompage pendant les heures creuses consommer et combler l'écart entre pompage et consommation. [37]

Schéma de principe :

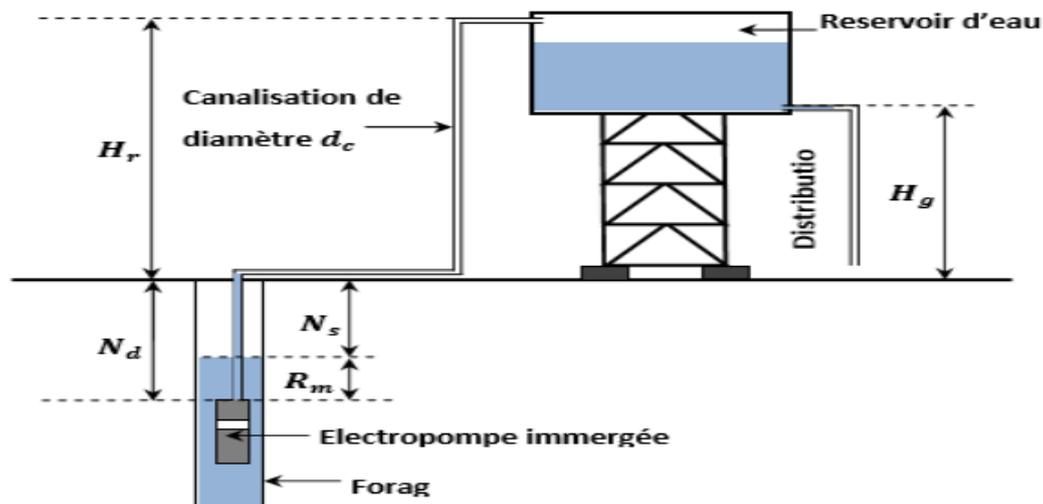


Figure III.25 Système de pompage d'eau avec stockage.

H_r : Hauteur géométrique du sol au plan du haut du réservoir. (Unité m)

H_g : Hauteur géométrique du sol au plan du bas du réservoir. (Unité m)

N_s : Niveau de la nappe statique (au repos). (Unité m)

N_d : Niveau dynamique de la nappe (pour un débit moyen). (Unité m)

R_m : Rabattement maximal avant d'arrêter la pompe $N_d - N_s$. (Unité m)

III.1.4.1. Détermination du débit horaire de la pompe Qp en (m3) :

Pour estimer le débit maximum de la pompe, on prend une approximation de la valeur de pointe quotidienne, divisée par les heures d'ensoleillement maximum. le débit horaire de la pompe est calculé comme suit.[38]

$$Q_p = \frac{D_{jp}}{H_i} \quad (1)$$

H_i : Nombre d'heures d'ensoleillement.

III.1.4.2. Calcul du rabattement :

Le rabattement est la différence entre les niveaux dynamiques et statiques. Pour déterminer la perte de charge pour un forage non confiné, nous avons utilisé la formule empirique de Jules Dibuit et Sichart .[39].

$$Q = \frac{\pi k(H^2 - h^2)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad (2)$$

$$R = 3000(H - h)\sqrt{K} \quad (3)$$

$$\text{Donc : } h = H - \frac{R}{3000\sqrt{K}} \quad (4)$$

En remplaçant l'équation 04 dans l'équation 02 on a :

$$Q \ln\left(\frac{R}{r}\right) = \frac{2\pi K H R}{3000\sqrt{K}} - \frac{\pi R^2}{3000^2} \quad (5)$$

- H : Hauteur de la partie saturée en (m).
- Q : Débit de pompage en (m^3/s).
- K : Perméabilité du sol en m/s (la couche de roche rencontrée au niveau de la crépine de forage est l'argile qui a une perméabilité $K= 10-11 \text{ cm /s}$).
- r : Rayon du forage.
- R : Rayon d'action ou d'influence du cône de dépression en (m).
- h : Hauteur d'eau dans le forage pendant le pompage en (m).

- L'épaisseur de la partie saturée (H) est la différence entre la profondeur (H1) du forage et le niveau statique (NS).
- $H=H1-Ns$
- H1 : Profondeur totale du forage en (m).
- Ns : Niveau statique en (m).

III.1.4.3. Conduite de refoulement :

La sélection du diamètre du tuyau de refoulement est déterminée par la formule suivante :

[40]

$$D = 24.23\sqrt{Q} \quad (6)$$

Avec :

- Q : Débit de pompage en (l/s).
- D : Diamètre de la conduite en (mm)

III.1.4.4. Perte de charge totale et la HMT :

$$HMT = H_r + N_d + P_T \quad (7)$$

$$P_T = P_l + P_s \quad (8)$$

Avec :

- P_t : Pertes de charges totales.
- P_l : Pertes de charge linéaire.
- P_s : Pertes de charge singulières

Calcul de perte de charge linéaire P_l par la formule de Darcy-Weibach (1857) :

$$P_l = \lambda \frac{LV^2}{D2g} \quad (9)$$

Avec :

- λ : Coefficient de perte de charge dépend du nombre de Reynolds (Re)[41][42]:

- L : Longueur de la conduite de refoulement en (m).
- V : la vitesse de découlement en (m/s).
- D : Diamètre de la conduite en (m).
- g : Constante gravitationnelle (m/s^2).

Calcul des pertes de charge singulières P_s :

$$P_s = \zeta \frac{V^2}{2g} \quad (10)$$

Avec : ζ la somme des coefficients de singularité.

III.1.4.5. Calcul de la hauteur d'élévation requise pour la motopompe :

L'altitude dépend plus ou moins de la configuration installée (ventilation, arrosage, irrigation, vidange, nettoyage). Son calcul est réalisé par : [43]

Hauteur d'élévation = hauteur d'aspiration + hauteur de refoulement + perte de charge

III.1.5. Calcul de l'énergie électrique nécessaire par jour :

L'Énergie électrique journalière (kWh/j) nécessaire pour soulever une certaine quantité d'eau à une hauteur donnée pendant la journée est calculée par la formule suivante [36,37] :

$$E_{elec} = \frac{C_h \times Q_p \times HMT}{\eta_G} \quad (11)$$

- η_G : Rendement du groupe de pompage :

$$\eta_G = \eta_{moteur} \times \eta_{pomp} \quad (12)$$

- $C_h = 2.725$: Constante hydraulique, cette constante hydraulique dépend de la gravité et de la densité de l'eau.
- Q_p : Débit horaire de la pompe en (m³/h). HMT : Hauteur manométrique totale de la pompe.

III.1.6.Énergie solaire disponible et dimensionnement du champ photovoltaïque :

III.1.6.1. Énergie solaire disponible :

Pour la région de Tlemcen où on va installer notre système, nous a donné un ensoleillement moyen de 3.7KW/m2/j [44].

Le mois de sélection sera le mois le plus défavorable, c'est à ce mois que le rapport entre le rayonnement solaire et l'énergie hydrique requise est le plus faible. [41].

III.1.6.2. Dimensionnement du champ photovoltaïque :

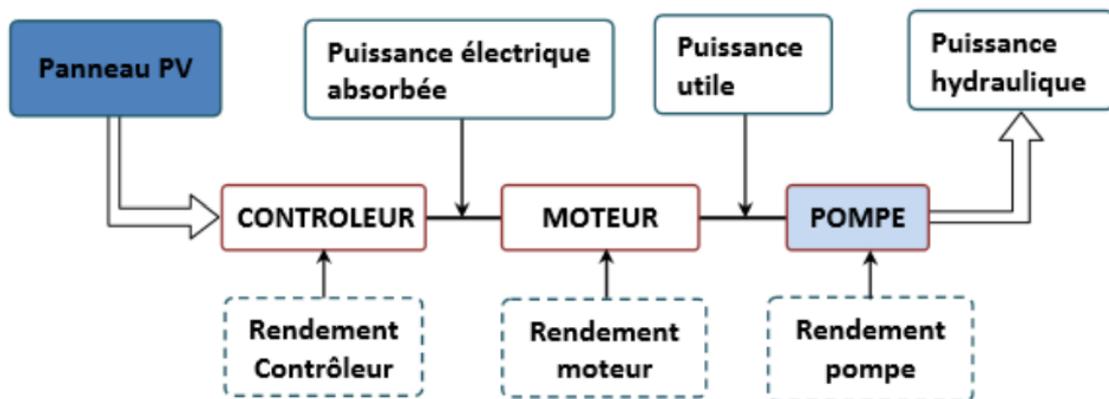


Figure III.26. Chaîne de conversion d'un pompage PV au fil du soleil

III.1.6.3. Calcul de la puissance crête P_{Cr} :

L'énergie fournie par les panneaux solaires en une journée doit être égale à l'énergie journalière consommée par la pompe [37,45].

La puissance crête se calcule en fonction de trois facteurs :

- L'énergie électrique calculée selon les besoin de notre système E_{elec} .
- Le facteur de correction $F_c = 0.6$ à 0.8
- L'ensoleillement moyen du site d'installation.

$$P_{Cr} = \frac{E_{elec}}{F_c \times E_{ns}} \quad (13)$$

III.1.6.4. Tension du système :

Comme on a expliqué dans le chapitre précédent la tension de système se détermine par un tableau des intervalles comme suit :

Puissance de champ	0-500w	500w- 2Kw	2Kw - 10 Kw	plus de 10Kw
Tension de système	12V	24V	48V	96V

Tableau III.2. Tension de système photovoltaïque selon la puissance crête.

III.1.6.5. Calcul de nombre de panneaux solaire :

$$N_{bp} = \frac{P_{Cr}}{P_p} \quad (14)$$

Nombre de panneaux en série :

$$N_{bps} = \frac{V_{sys}}{V_{mp}} \quad (15)$$

Nombre de panneaux en parallèle :

$$N_{bpp} = \frac{N_{bp}}{N_{bps}} \quad (16)$$

Avec :

- N_{bp} : Le nombre total des panneaux.
- P_{cr} : La puissance crête de système.
- p_p : La puissance du panneau.
- V_{sys} : Tension de système.
- V_{mp} : Tension nominal d'un panneau.

III.1.7. Critères de Choix de type de pompes :

La pompe est choisie en fonction du débit de liquide et des caractéristiques du circuit de circulation . Pour convertir numériquement les caractéristiques du circuit, on calcule sa hauteur manométrique totale (HMT) .[46].

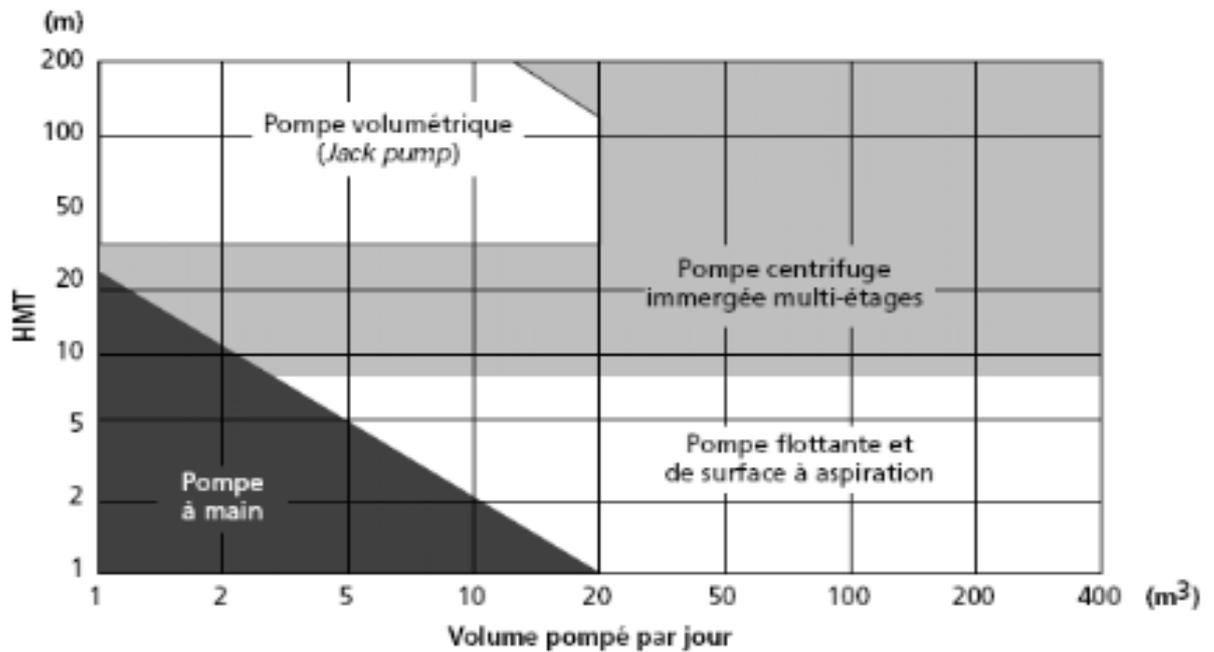


Figure III.3. Critère de choix de pompe selon besoin journalier et Hmt.

Tous les liquides à pomper n'ont pas les mêmes caractéristiques, soient les pompes immergées ou des motopompes répondent à des applications multiples selon :

- **La qualité de l'eau :** Eau claire et peu chargée ou eau chargée.
- **Le débit et la pression :** Dépend de la chute de pression si nécessaire. Pour les pompes électriques, nous avons trois étapes de base pour faire le bon choix :

➤ **La hauteur d'aspiration :**

C'est la hauteur entre le niveau de l'eau pompée et l'arbre de la pompe. Pour des raisons physiques, elle ne peut pas dépasser 8 mètres d'altitude.

➤ **La hauteur de refoulement :**

C'est la hauteur entre le point le plus haut du réseau et l'axe de la pompe .

➤ **La perte de charge :**

C'est la résistance que rencontre l'eau dans le tuyau. Calculé en fonction de la longueur, du diamètre, de la qualité du tuyau, de la forme du tuyau et du nombre de raccords (généralement, nous prenons 20%). [47]

III.1.8. Section du câble :

La section de câble de la partie continue, se calcule par la façon suivante : La relation de la loi d'Ohm :

$$\Delta V(V) = R \times I \quad \text{Ou} \quad R = \frac{2 \times \rho \times L}{S}$$

$$\text{Or } \Delta V(V) \leq \Delta V_L(\%) \times U(V) \quad (17)$$

Donc :

$$\frac{2 \times \rho \times L}{S} \leq \Delta V_L(\%) \times U(V)$$

$$S \geq \frac{2 \times \rho \times L \times I}{\Delta V_L(\%) \times U(V)} \quad (18)$$

Avec :

- R : résistance totale du câble (Ω)
- L(m) : longueur du câble.
- S : section (mm^2) du conducteur.
- ρ : Résistivité du cuivre.
- ΔV (%) : Chute de tension limite. La chute de tension maximale admissible exigée par la norme UTEC15-712 relative aux installations ne doit pas excéder 3% de la tension nominale dans la partie DC [36].
- U(V) : Tension à puissance maximale du générateur PV obtenu dans les conditions (STC).
- I (A) : Courant à puissance maximale générateur PV obtenu dans les conditions (STC)
- $I = I_{mp} \times \text{nombre de branche en parallèle}$
- I_{mp} : l'intensité maximale .

Le tableau suivant donne la section des conducteurs cuivre en fonction de l'intensité maximale I_{mp} que le conducteur peut supporter :[36]

S(mm²)	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
Imp(A)	13	21	28	35	46	61	81	99	125	160	195	220	250	285	340	395

Tableau III.3. Section nominale des câbles.

Dans ce chapitre, nous avons appris à créer un dimensionnement de pompe photovoltaïque autonome avec toutes les étapes nécessaires :

- Besoins journaliers en eau.
- Dimensionnement et choix de la pompe.
- Débit horaire de la pompe.
- Calcul de l'énergie électrique nécessaire par jour.
- Energie solaire disponible et dimensionnement du champ photovoltaïque.
- Choix des composants.

III.2. Dimensionnement Par Pvsyst :

III.2.1. Introduction :

Le logiciel PVSYST est un logiciel de recherche et de simulation des systèmes photovoltaïques, développées dans le cadre du Groupe de Physique Appliquée (GAP) de l'université de Genève par André Mermoud. [48]

III.2.2. Étape pour établir un projet :

- Prospection par un commercial.
- Visite du chantier pour la confirmation des informations trouvées par un technicien.
- Études sur le logiciel de dimensionnement «Pvsyst »
- Élaboration du devis avec étude et fiche technique.
- Contact client pour l'explication du projet et la confirmation du début des travaux.
- Mise en installation du projet par des techniciens.
- Fin de travaux en garantissant la satisfaction de la pompe désirée avec un système de production d'électricité environnemental (énergie solaire).

III.2.3. Étude de cas :

Notre projet consiste à dimensionner un système de pompage solaire, pour un réservoir de $30m^3$ et un besoin d'eau de $20m^3$ /jour avec une hauteur manométrique totale de 40 m, vers une ferme agricole de $2000m^2$.

- On a installé 4 séries en parallèle de deux panneaux solaire (chaque panneau est de 300w et 27v) pour alimenter deux pompe immergée et surface de la même puissance (700w) DC.

III.2.4. Les étapes de dimensionnement :

III.2.4.1. Entrer les données (site géographiques et la météorologie) :

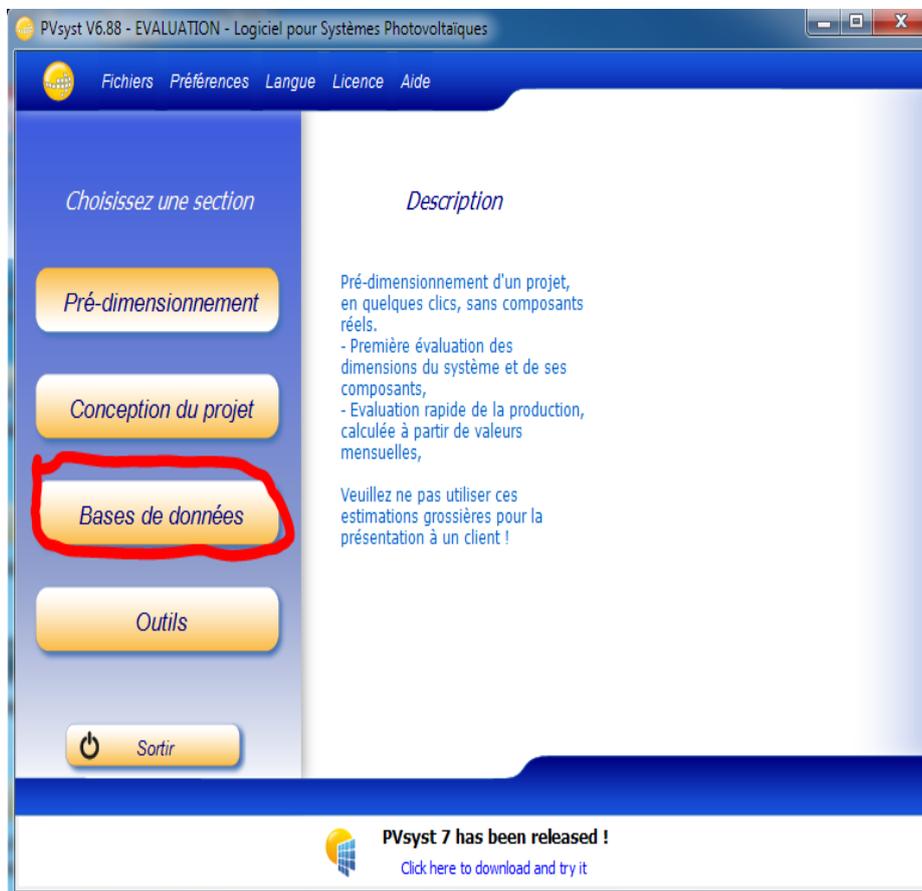


Figure III.27 la bases de données

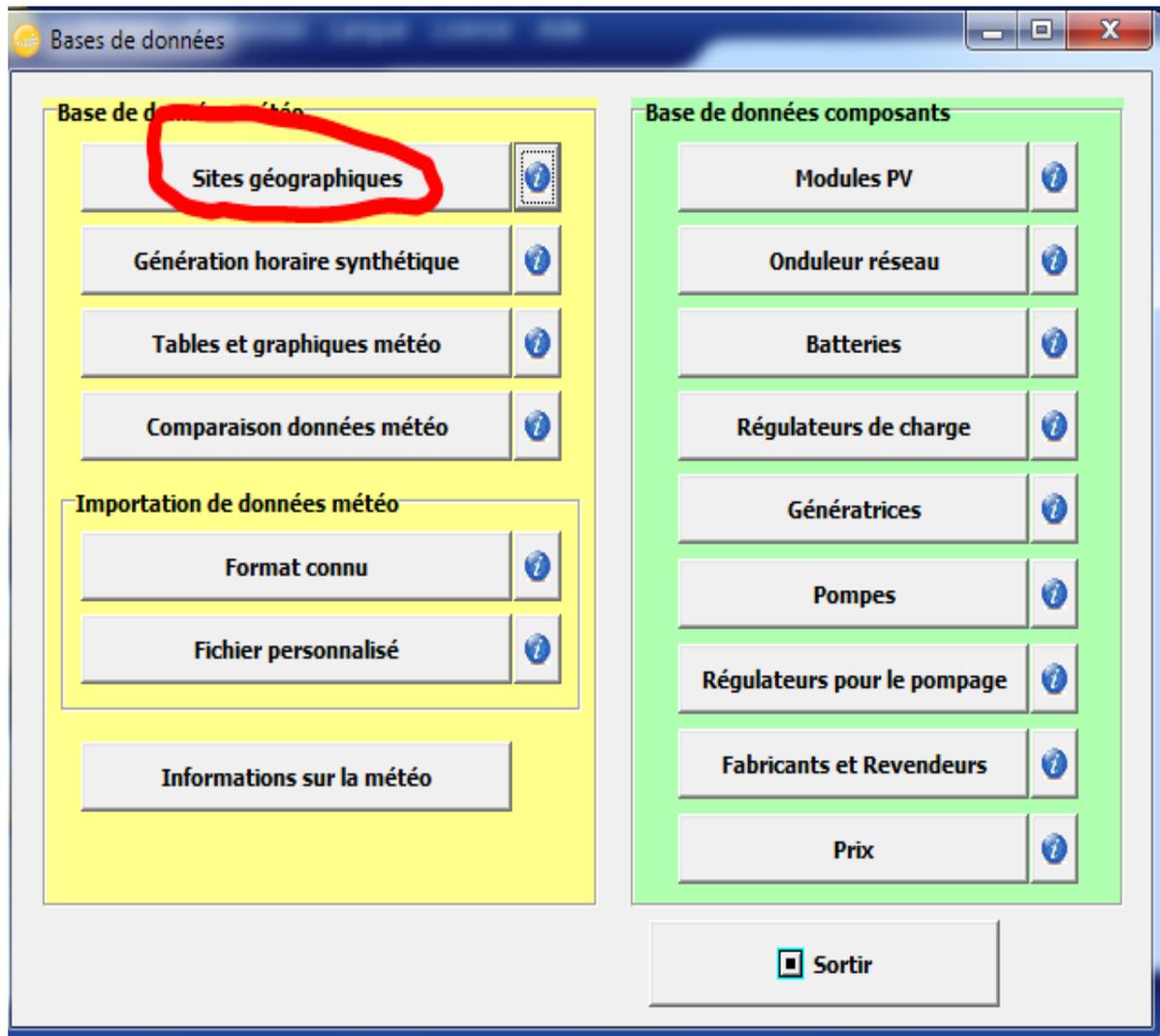


Figure III.28 choix de site géographiques.

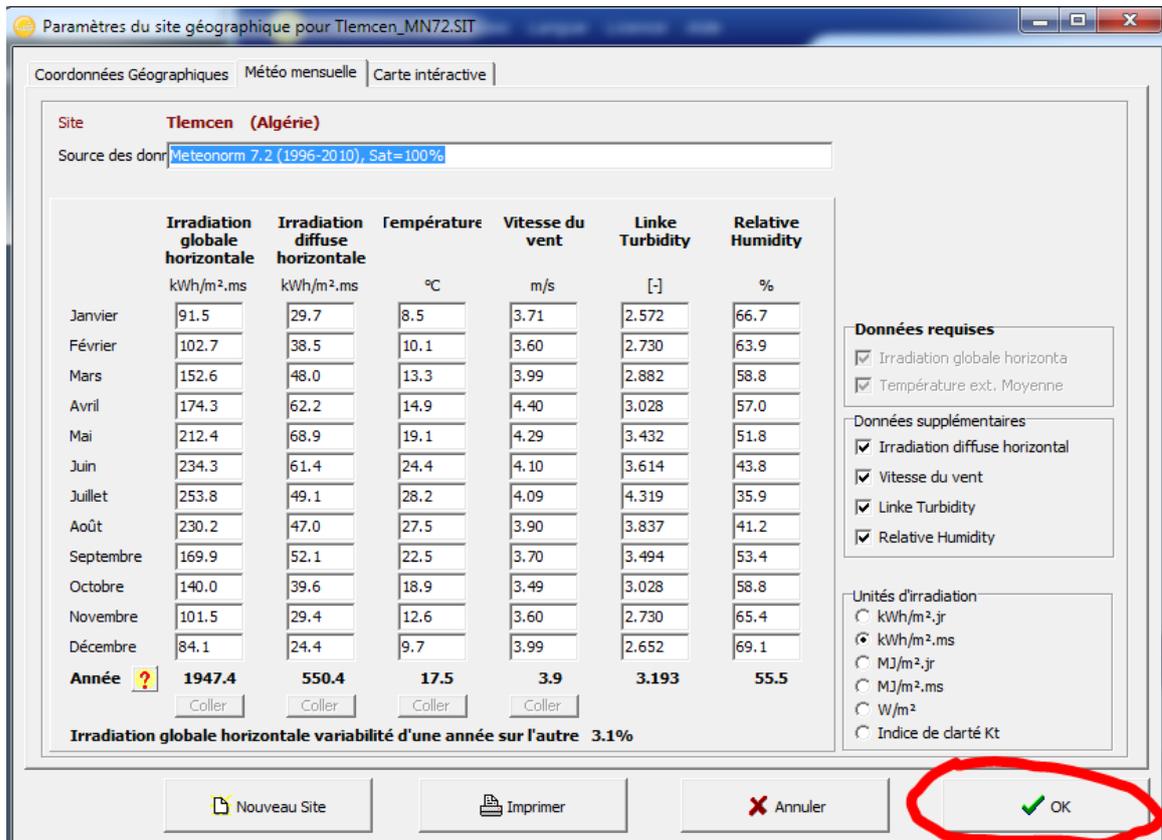
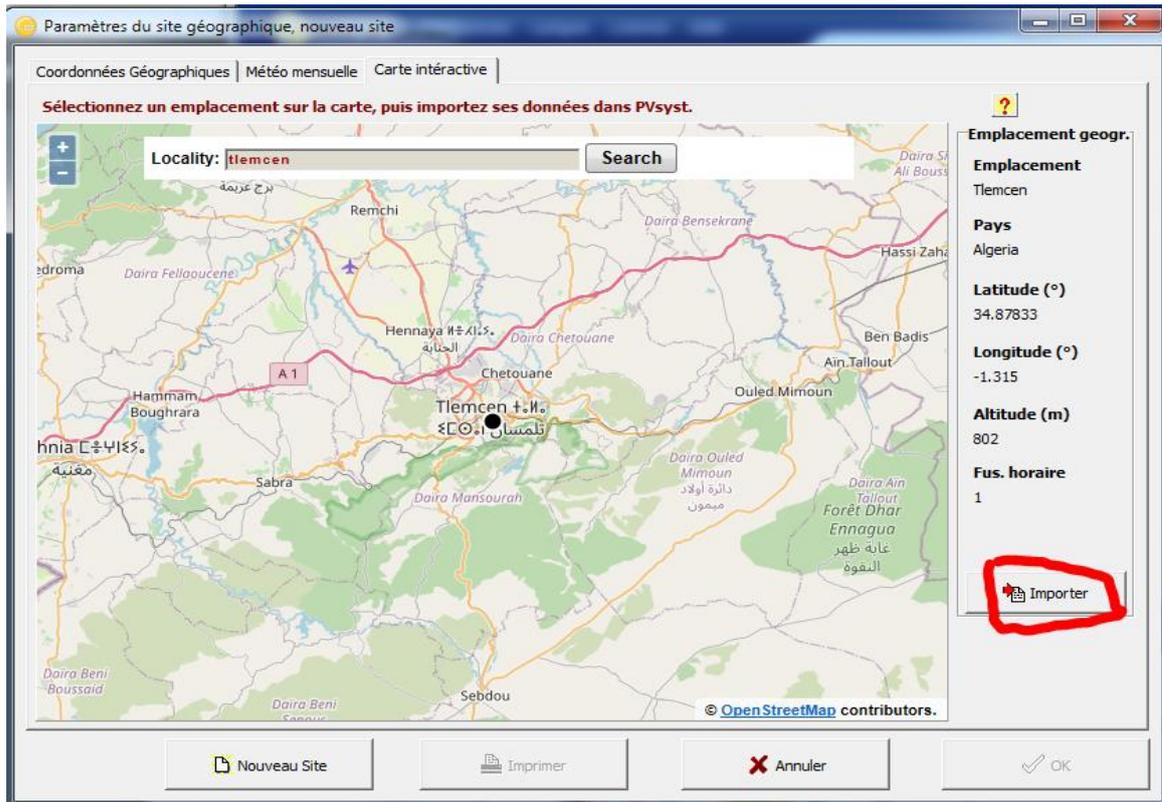


Figure III.29. Tlemcen comme site de notre étude.

III.2.4.2. les paramètres d'installation :

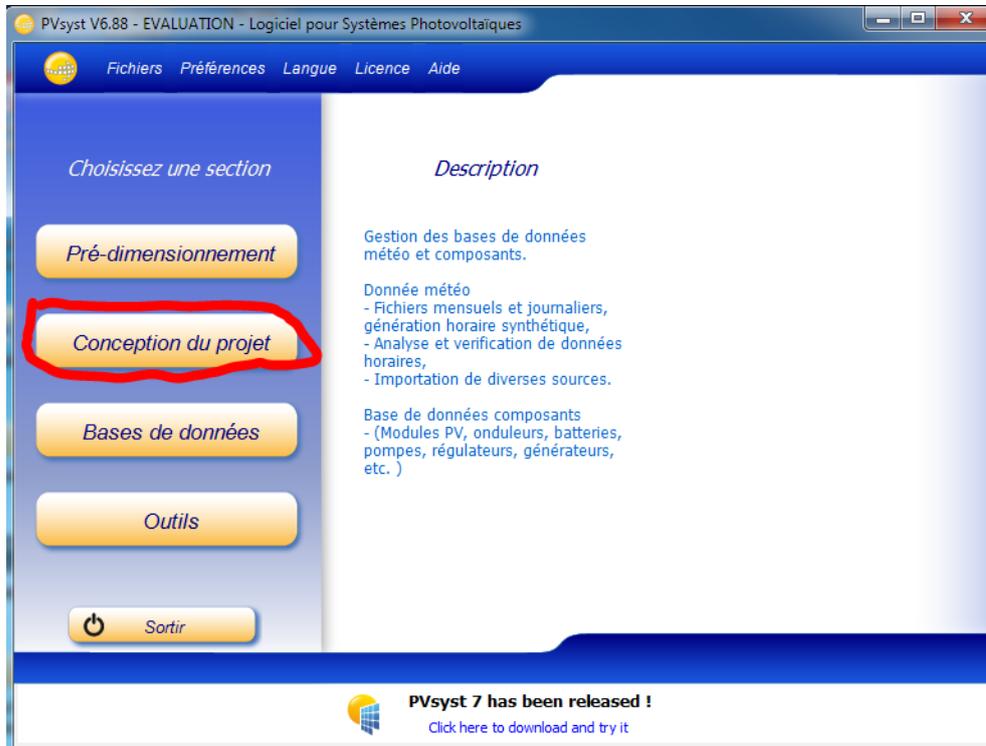


Figure III.30. Conception du projet.

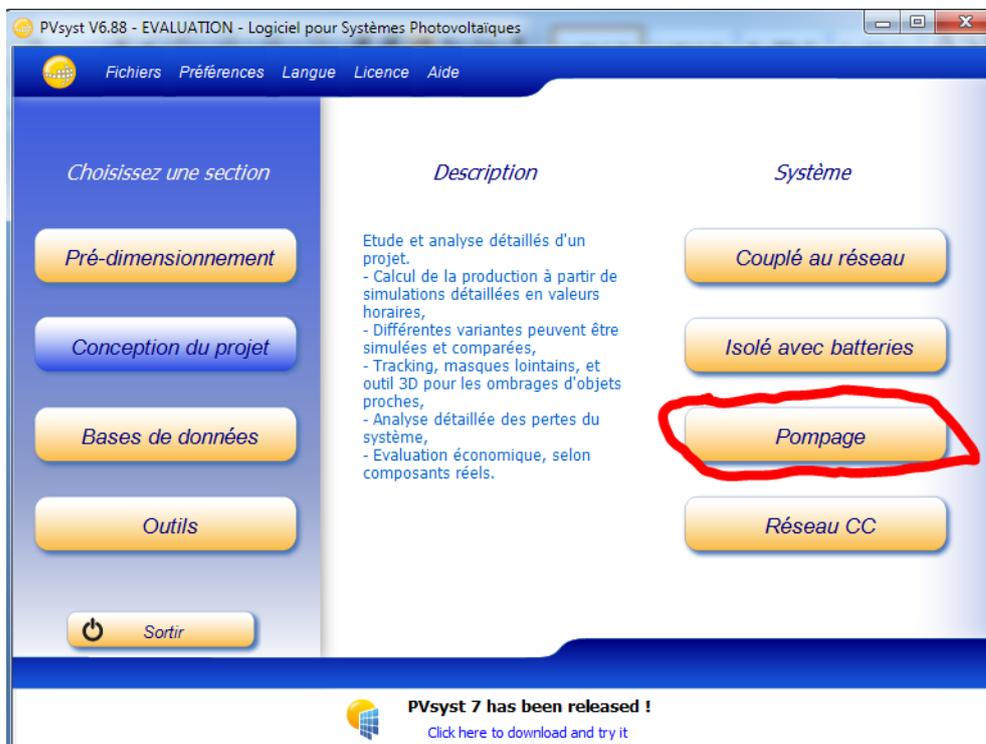


Figure III.31. Pompage.

III.2.4.3. La pompe immergée :

- il faut introduire les 4 étapes principaux :



Figure III.32. Paramètres d'entrée.

1- Orientation :

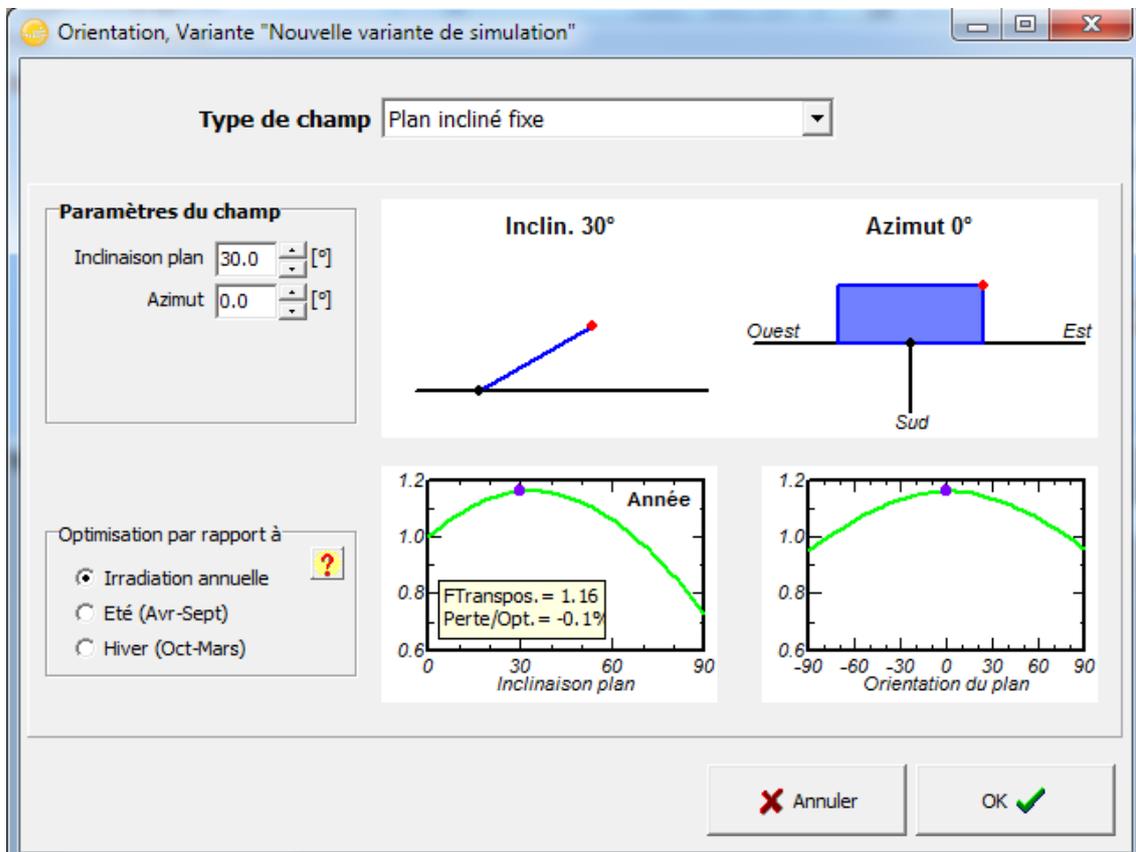


Figure III.33. L'orientation.

2_ Besoins d'eau :

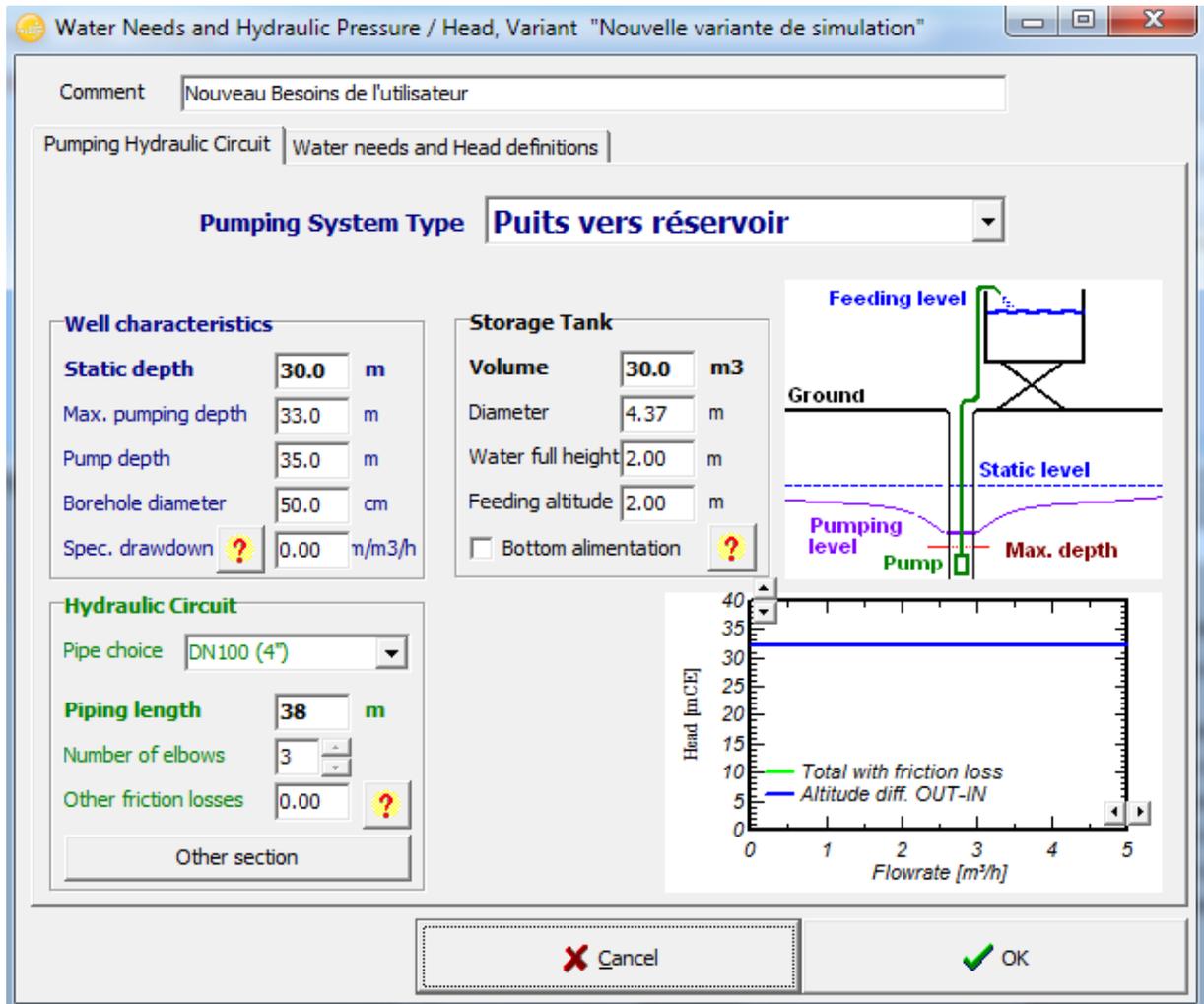


Figure III.34. Circuit de pompage .

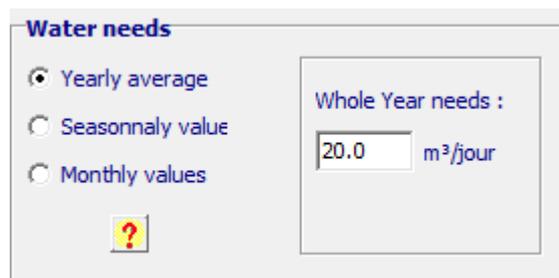


Figure III.35. Besoin d'eau.

3_ La pompe :

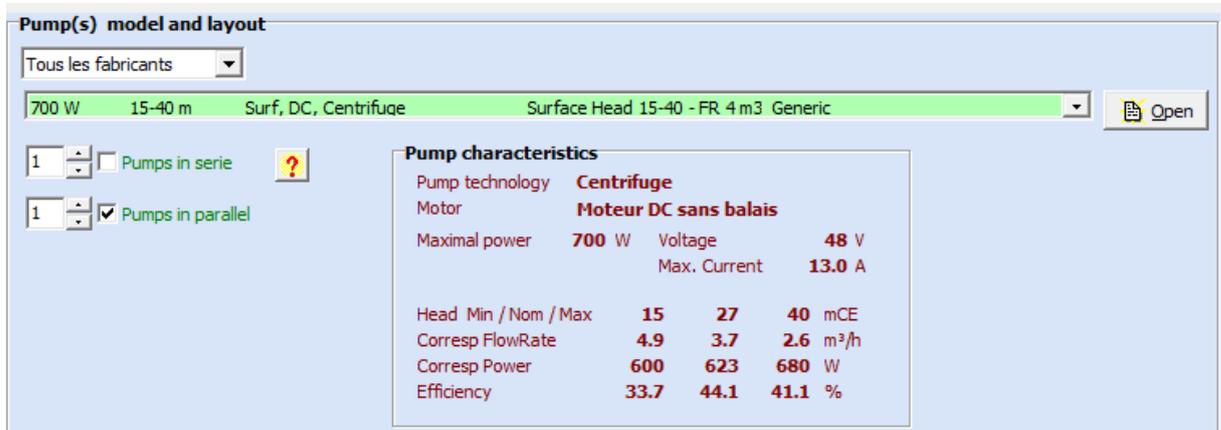


Figure III.36. Choix de la pompe.

4_ Les panneaux et l'onduleur :

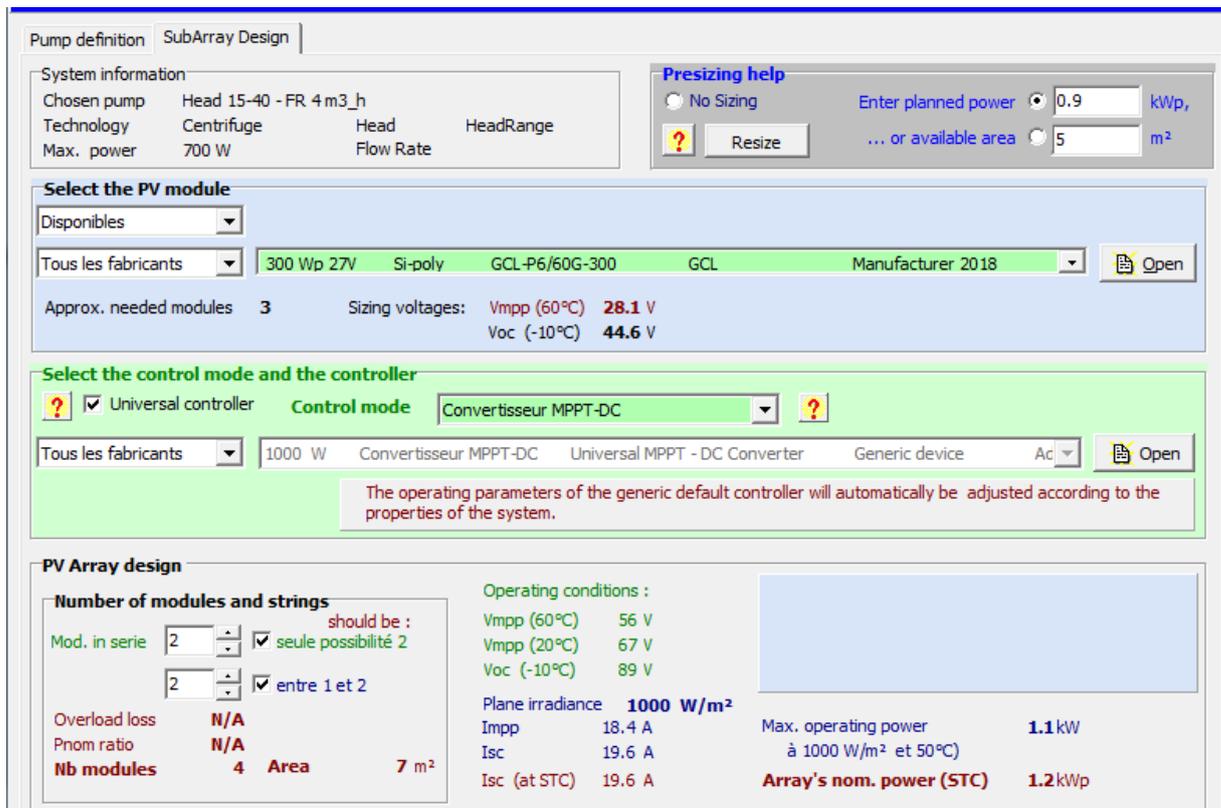


Figure III .37 Choix de panneaux et l'onduleur.

III.2.4.4. La pompe de surface :

Une pompe de surface de 700w DC

Figure III.38. La consommation de la pompe.

Figure III.39. Les panneaux utilisé.

III.2.5. Rapport :

III.2.5.1. Rapport de la pompe immergée :

PVSYST V6.88		17/06/22	Page 1/5
Système de pompage PV: Paramètres de simulation de base			
Projet : Nouveau Projet			
Site géographique	Tlemcen	Pays	Algérie
Situation	<i>Latitude</i> 34.88° N	<i>Longitude</i>	-1.31° W
<i>Temps défini comme</i>	<i>Temps légal</i> Fus. horaire TU+1	<i>Altitude</i>	802 m
<i>Albédo</i>	0.20		
Données météo:	Tlemcen	Meteonorm 7.2 (1996-2010), Sat=100% - Synthétique	
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation			
	<i>Date de la simulation</i>	17/06/22 à 20h03	
Paramètres de simulation			
Paramètres système de pompage			
<i>Caractér. du puits</i> (Diamètre 50 cm)	<i>Type de système</i> Prof. du niveau statique	30 m	<i>Puits vers réservoir</i> Baisse de niveau spéc.
	Prof. de la pompe	35 m	Prof. maxi de pompage
<i>Réservoir</i>	<i>Volume</i>	30.0 m ³	Diamètre
<i>Alimentation par le haut</i>	<i>Altitude d'injection</i>	2.0 m	Hauteur (niveau plein)
<i>Circuit hydraulique</i>	<i>Longueur de tuyaux</i>	38 m	<i>Tuyaux DN100</i>
	<i>Nombre de coudes</i>	3	Dint = 105 mm
Besoins d'eau	<i>Constant sur l'année:</i>	20.00 m ³ /jour	
Pompe			
<i>Technologie de la pompe</i>	<i>Modèle</i>	Head 15-40 - FR 4 m3_h	
<i>Convertisseur associé ou intégré</i>	<i>Fabricant</i>	Generic	
<i>Conditions de fonctionnement</i>	<i>Centrifuge</i>	<i>Pompe immergée (puits)</i>	<i>Moteur</i> Moteur DC sans balais
	<i>Type</i>	MPPT	<i>Plage de tension</i> 42 - 72 V
		pression min.	pression nom.
<i>Débit maximum correspondant</i>		15.0	27.0
<i>Puissance requise</i>		4.94	3.73
		600	623
			pression max.
			40.0 mWater
			2.56 m ³ /h
			680 W
Orientation plan capteurs	<i>Inclinaison</i>	30°	<i>Azimut</i> 0°
Caractéristiques du champ de capteurs			
Module PV	<i>Si-poly</i>	<i>Modèle</i>	GCL-P6/60G-300
<i>Base de données PVsyst originale</i>		<i>Fabricant</i>	GCL
<i>Nombre de modules PV</i>		<i>En série</i>	2 modules
<i>Nombre total de modules PV</i>		<i>Nbre modules</i>	4
<i>Puissance globale du champ</i>		<i>Nominale (STC)</i>	1200 Wc
<i>Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)</i>		<i>U mpp</i>	59 V
<i>Surface totale</i>		<i>Surface modules</i>	6.7 m ²
		<i>En parallèle</i>	2 chaînes
		<i>Puissance unitaire</i>	300 Wc
		<i>Aux cond. de fonct.</i>	1085 Wc (50°C)
		<i>I mpp</i>	18 A
		<i>Surface cellule</i>	6.0 m ²
Appareil de contrôle			
	<i>Modèle</i>	Appareil générique (optimisé selon ce système)	
	<i>Configuration du système</i>	Convertisseur MPPT-DC	

Figure III.40. Paramètres de simulation de base.

PVSYST V6.88		17/06/22	Page 2/5						
Système de pompage PV: Paramètres de simulation détaillés									
Projet : Nouveau Projet									
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation									
Principaux paramètres système	Type de système	Puits vers réservoir							
Besoins du système	pression de base	32.0 mCE	Besoins d'eau 20.0 m³/jour						
Pompe	Modèle / Fabricant	Head 15-40 - FR 4 m3_h / Generic							
Champ PV	Modèle / Fabricant	GCL-P6/60G-300 / GCL							
	Nombre de modules	2 S x 2 P	Puissance du champ 1200 Wc						
Configuration du système	Stratégie de régulation	Convertisseur MPPT-DC							
Contrôle de fonctionnement du système (Appareil générique, param. ajustés selon le système)									
Convertisseur de puissance Convertisseur MPPT-DC									
Conditions de fonctionnement	Tension MPP minimale	42 V	puissance nominale 700 W						
	Tension MPP maximale	72 V	Puissance seuil 7 W						
	Tension champ max.	150 V	Efficacité maxi 96.0 %						
	Courant d'entrée maximum	13.0 A	Efficacité EURO 94.0 %						
Remarques et Caractéristiques techniques									
Generic regulator for pumping systems. for systems with MPPT converters The parameters are pre-setted according to the system (pumps and Array), at the beginning of the simulation. Unlike exceptions, they are not modifiable by the user.									
Facteurs de perte du champ PV									
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (vent) 0.0 W/m²K / m/s						
Perte ohmique de câblage	Rés. globale champ	53 mOhm	Frac. pertes 1.5 % aux STC						
Perte de qualité module			Frac. pertes -0.8 %						
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes 1.0 % au MPP						
Perte de "mismatch" strings			Frac. pertes 0.10 %						
Effet d'incidence (IAM): Profil personnalisé									
	0°	30°	45°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
	1.000	1.000	0.996	0.969	0.904	0.828	0.684	0.445	0.000

PVsystem Evaluation mode

Figure III.41. Paramètres de simulation détaillés .

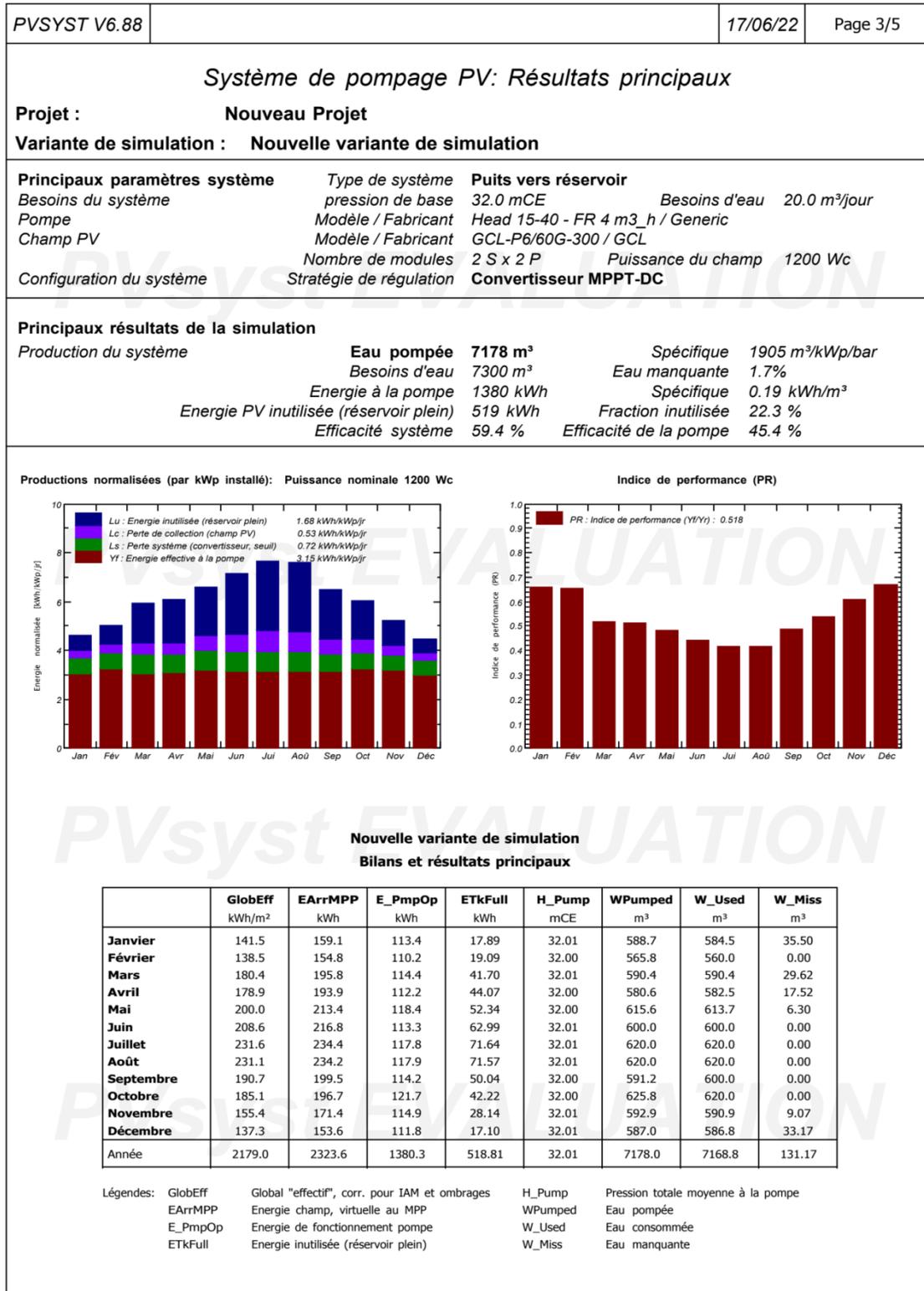


Figure III.42. Résultats principaux .

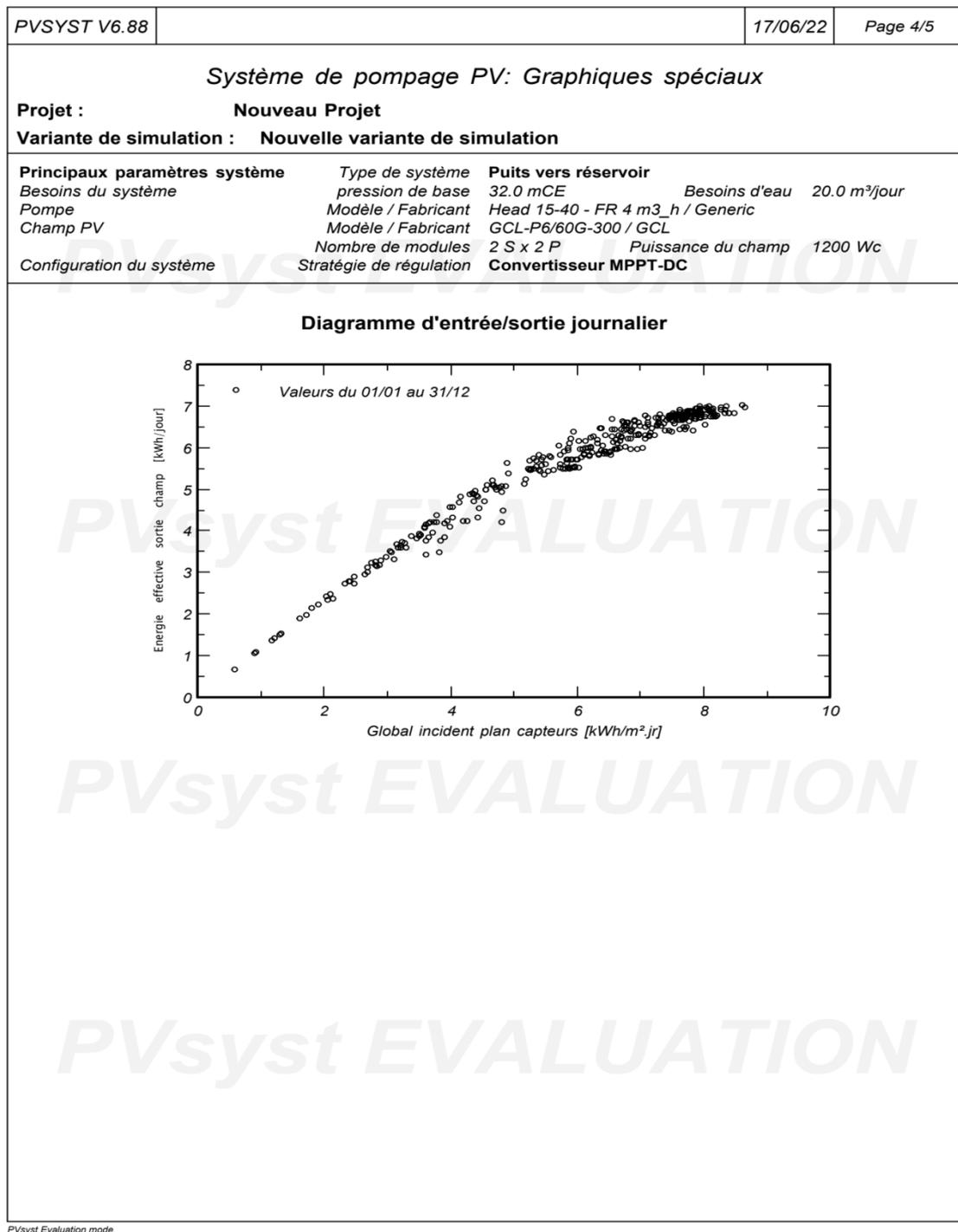


Figure III.43. Graphiques spéciaux .

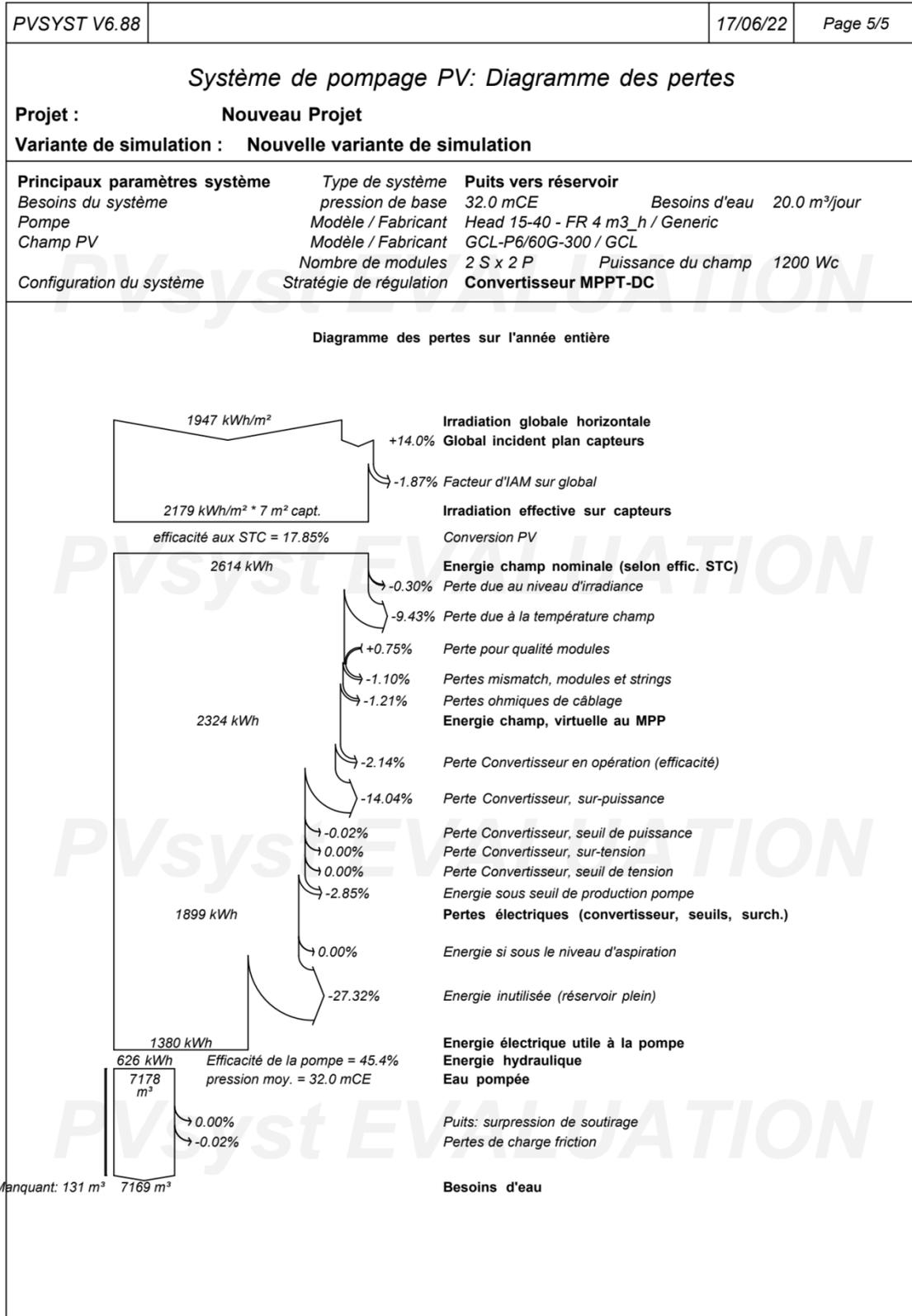


Figure III.44. Diagramme des pertes .

III.2.5.2. Rapport de la pompe de surface :

PVSYST V6.88		17/06/22	Page 1/4						
Système PV pour Réseau CC: Paramètres de simulation									
Projet : Nouveau Projet									
Site géographique	Tlemcen	Pays	Algeria						
Situation	<i>Latitude</i> 34.88° N	<i>Longitude</i>	-1.31° W						
<i>Temps défini comme</i>	<i>Temps légal</i> Fus. horaire TU+1	<i>Altitude</i>	802 m						
	<i>Albédo</i> 0.20								
Données météo:	Tlemcen	Meteonorm 7.2 (1996-2010), Sat=100% - Synthétique							
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation									
	<i>Date de la simulation</i>	17/06/22 à 21h33							
Paramètres de simulation	<i>Type de système</i>	Système PV pour Réseau CC							
Orientation plan capteurs	<i>Inclinaison</i>	30°	<i>Azimut</i> 0°						
Modèles utilisés	<i>Transposition</i>	Perez	<i>Diffus</i> Perez, Meteonorm						
Horizon	<i>Pas d'horizon</i>								
Ombrages proches	<i>Sans ombrages</i>								
Besoins de l'utilisateur :	<i>Charge constante fixée</i>	700 W	<i>Global</i> 6132 kWh/Année						
Caractéristiques du champ de capteurs									
Module PV	<i>Si-poly</i>	<i>Modèle</i>	GCL-P6/60G-300						
<i>Base de données PVsyst originale</i>		<i>Fabricant</i>	GCL						
<i>Nombre de modules PV</i>		<i>En série</i>	2 modules						
<i>Nombre total de modules PV</i>		<i>Nbre modules</i>	4						
<i>Puissance globale du champ</i>		<i>Nominale (STC)</i>	1200 Wc						
<i>Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)</i>		<i>U mpp</i>	59 V						
<i>Surface totale</i>		<i>Surface modules</i>	6.7 m²						
			<i>En parallèle</i> 2 chaînes						
			<i>Puissance unitaire</i> 300 Wc						
			<i>Aux cond. de fonct.</i> 1085 Wc (50°C)						
			<i>1 mpp</i> 18 A						
			<i>Surface cellule</i> 6.0 m²						
Paramètres du système									
	<i>Type de système</i>	Système PV pour Réseau CC (transports publics)							
<i>Tension nominale du réseau</i>	<i>Nominal en fonctionnement</i>	600 V	<i>Max. admissible</i> 900 V						
<i>Résistances d'alim. réseau</i>	<i>Champ PV à l'utilisateur</i>	0 mOhm	<i>Réseau à l'utilisateur</i> 0 mOhm						
Facteurs de perte du champ PV									
<i>Fact. de pertes thermiques</i>	<i>Uc (const)</i>	20.0 W/m²K	<i>Uv (vent)</i> 0.0 W/m²K / m/s						
<i>Perte ohmique de câblage</i>	<i>Rés. globale champ</i>	53 mOhm	<i>Frac. pertes</i> 1.5 % aux STC						
<i>Perte de qualité module</i>			<i>Frac. pertes</i> -0.8 %						
<i>Perte de "mismatch" modules</i>			<i>Frac. pertes</i> 2.5 % (tension fixée)						
<i>Perte de "mismatch" strings</i>			<i>Frac. pertes</i> 0.10 %						
<i>Effet d'incidence (IAM): Profil personnalisé</i>									
	0°	30°	45°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
	1.000	1.000	0.996	0.969	0.904	0.828	0.684	0.445	0.000

PVsyst Evaluation mode

Figure III.45. Paramètres de simulation.

III.3. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons dimensionner un système de pompage solaire destiné à l'irrigation d'une petite ferme agricole, avec toutes les étapes nécessaires qui sont :

- ✓ Besoins quotidiens en eau : le besoin est environ $20m^3$ /jour, avec un réservoir de stockage de $30m^3$.
- ✓ Dimensionnement et choix de la pompe : pour remplir le réservoir on a utilisé une pompe immergée DC d'une puissance de 700w d'un débit environ de $2.56m^3/h$, et une pompe de surface DC destiné à l'arrosage de la même puissance.
- ✓ Dimensionnement des champs photovoltaïques disponibles : 4 série en parallèle de deux panneaux solaire de 300wc et 59v avec une surface d'installation de $13.4m^2$, avec un convertisseur MPPT-DC (42v _ 72v) pour régler la tension de la sortie des panneaux pour l'adapter aux pompes.

CHAPITRE IV

SIMULATION D'UNE STATION DE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons mettre en lumière les différentes étapes de la simulation de notre station de pompage photovoltaïque destiné à l'irrigation avec les logiciels:

- ISIS Proteus
- Arduino.

IV.2. Simulation :

Dans notre simulation deux logiciels seront mis a notre disposition qui sont

- Proteus
- Arduino

IV.2.1. Isis Proteus :



PROTEUS

Proteus Electronics CAO est un logiciel édité par Labcenter Electronics et revendu exclusivement en France par Multipower. Proteus est actuellement la seule CAO électronique qui permet de concevoir et de simuler des systèmes électroniques complets.

[49]

- Proteus est utilisé pour simuler, concevoir et dessiner des circuits électroniques. Il a été inventé par l'Electronic Laboratory Center.
- Avec proteus, vous pouvez également créer des conceptions de circuits 2D
- Avec ce logiciel d'ingénierie, vous pouvez construire et simuler différents circuits électriques et électroniques sur votre ordinateur personnel ou portable.
- Concevoir des circuits sur proteus prend moins de temps que de les construire soi-même.

CHAPITRE IV : SIMULATION D'UNE STATION DE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE

- La possibilité d'erreur est moindre dans la simulation dans logicielle
- Aucun composant électronique de proteus sera brûler ou endommagé.
- Des outils électroniques coûteux s'intègrent dans le proteus aussi facilement comme l'oscilloscope. [49]

IV.2.1.1 La composition de Proteus :

Le proteus a deux parties principales, la première est utilisée pour concevoir et dessiner les différents circuits et la seconde est utilisée pour concevoir la disposition du PCB.

- Le premier est ISIS pour la conception et la simulation de circuits. Deuxièmement, ARES est utilisé dans la conception de cartes de circuits imprimés
- Il fournit également des fonctionnalités liées à la vue 3D de la conception du PCB. [49]

IV.2.2. La carte Arduino :

Il existe plusieurs types de cartes Arduino, à savoir les cartes Arduino NANO, les cartes Arduino MEGA et les cartes Arduino .

IV.2.2.1 Description de la carte Arduino :

La carte Arduino se compose de plusieurs composants, tels qu'un régulateur linéaire 5V, un oscillateur à quartz 16 MHz et un convertisseur analogique-numérique. Cependant, l'élément principal de ce module est le microcontrôleur AtmelAVR [50].

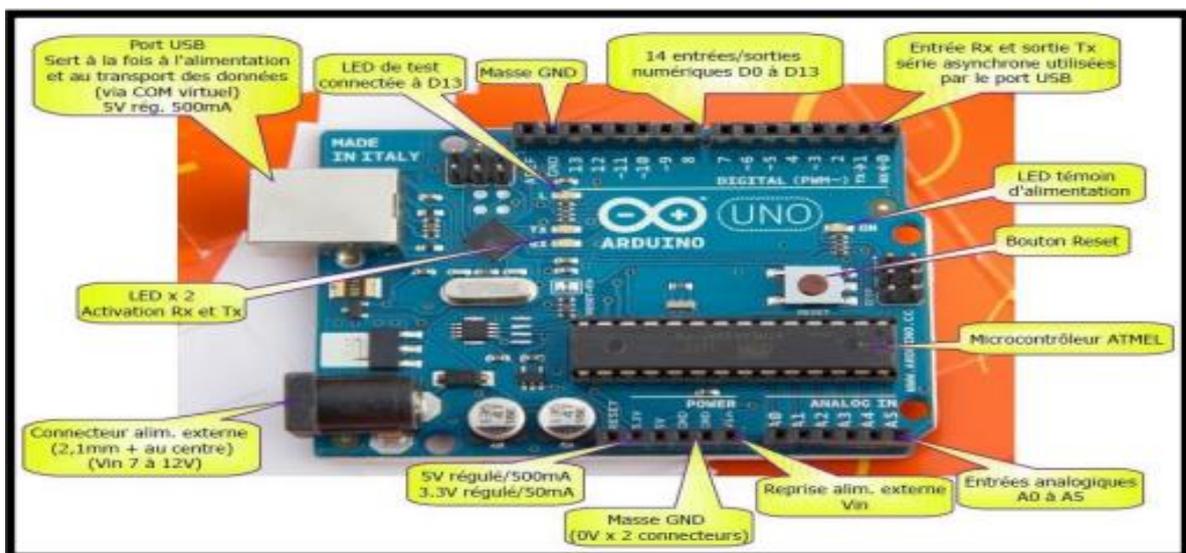


Figure IV.46. Description de la carte Arduino

IV.2.2.2. Bloc d'alimentation :

Pour fonctionner, le module Arduino doit être alimenté par une tension continue externe. En fait, la carte Arduino peut être alimentée via le port USB à l'aide d'un câble provenant d'un ordinateur. Soit via une alimentation externe (ex : pile 9V) qui produit une tension continue variant entre 7V et 12V. Le régulateur de tension réduit alors cette tension à 5V pour assurer le bon fonctionnement de l'Arduino[50].

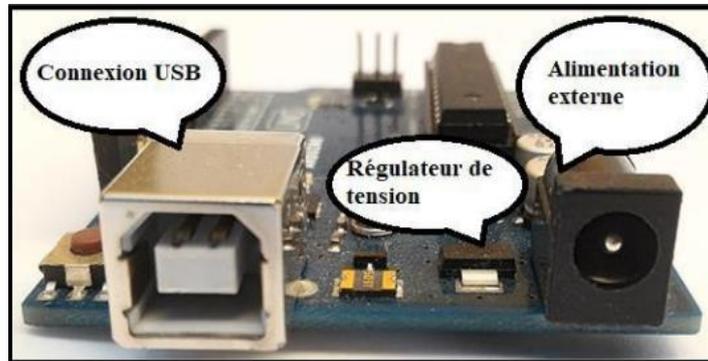


Figure IV.47. Bloc d'alimentation de la carte Arduino.

IV.2.2.3. Microcontrôleur :

Le microcontrôleur (ATMEGA328) représente l'élément principal de la carte Arduino, c'est un circuit intégré ATMEL de la série AVR 8 bits .

Le microcontrôleur ATMEGA328 embarque plusieurs éléments complexes, chacun ayant une fonction spécifique .

En pratique, ces éléments sont : une unité centrale qui permet l'exécution de programmes en mémoire flash, 32Ko de mémoire effaçable et réinscriptible et 1Ko (EEPROM) qui permet l'enregistrement de données et le stockage d'informations, et 2 Ko de mémoire volatile (RAM) est utilisé pour stocker des variables et des données créées par des programmes générés en langage C. [50]

CHAPITRE IV : SIMULATION D'UNE STATION DE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE

De plus, la puce (ATMEGA328) se compose de plusieurs ressources auxiliaires, telles que des convertisseurs analogique-numérique (ADC) pour analyser et traiter les signaux analogiques, des broches d'entrée/sortie série et parallèle et des minuteries. Ces 23 broches d'E/S peuvent établir le lien entre le microcontrôleur et divers appareils électroniques. [50]

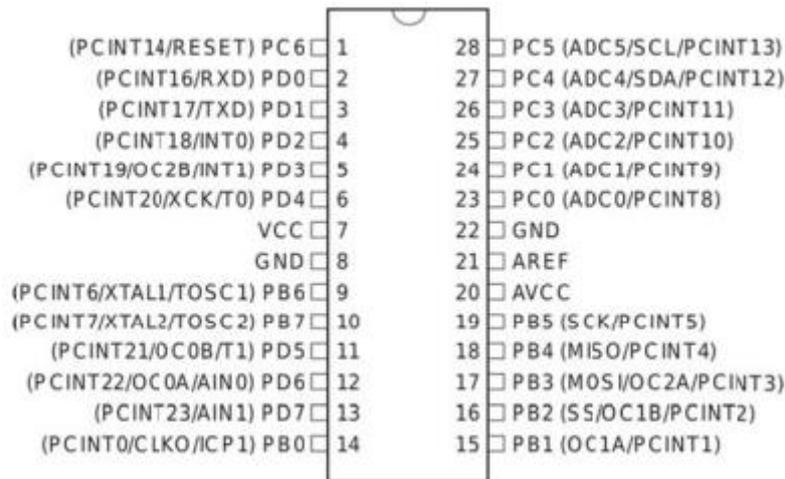


Figure IV.48. Microcontrôleur ATmega 328.

IV.2.2.4. Entrées numériques :

Arduino a 14 broches numériques (D0 à D13). Ceux-ci peuvent être configurés comme entrées ou sorties par programmation dans l'environnement IDE Arduino. Ces broches numériques peuvent prendre deux niveaux logiques : haut et bas. [50]

IV.2.2.5. Entrées analogiques :

Arduino a 6 broches analogiques (A0 à A5). Ces entrées peuvent fournir des mesures de tension variant entre 0V et 5V avec une résolution de 10 bits (soit en 1024 pas ou de 0 à 1023). Cependant, le courant traversant ces entrées est très faible. Cela est dû à la présence d'une résistance interne importante. Par conséquent, ces entrées analogiques peuvent être configurées en tant que broches numériques. [50]

IV.2.2.6. L'environnement de la programmation (Arduino IDE) :

L'environnement de développement Arduino IDE est un logiciel utilisé pour interpréter et compiler du code afin de développer des programmes à utiliser sur les cartes Arduino. Il

est compatible avec Windows et Linux. Par conséquent, sa polyvalence est un autre point qui favorise ces appareils pour une utilisation dans des projets électroniques. [51].

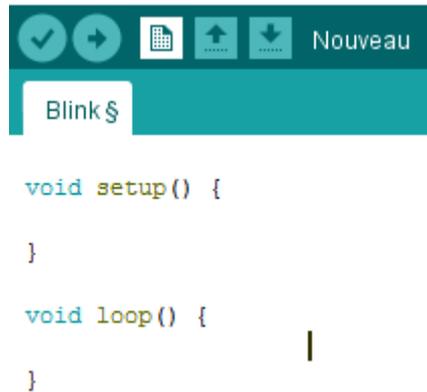


Figure IV.49. Arduino IDE.

IV.3. Les composants utilisés pour la simulation :

Les composants utilisés dans notre simulation sont :

IV.3.1. capteur ultrason hc-sr04 :

Le capteur fonctionne sur une tension d'alimentation de 5 volts et possède un angle de mesure d'environ 15°, permettant des mesures de distance entre 2 cm et 4 mètres avec une précision de 3 mm (théoriquement, pas tout à fait correct en pratique). Principe ultrasonique : Les capteurs à ultrasons émettent périodiquement de courtes impulsions sonores à haute fréquence. Ces impulsions voyagent dans l'air à la vitesse du son. Lorsqu'ils rencontrent des objets, ils réfléchissent et reviennent au capteur sous forme d'échos. [52]

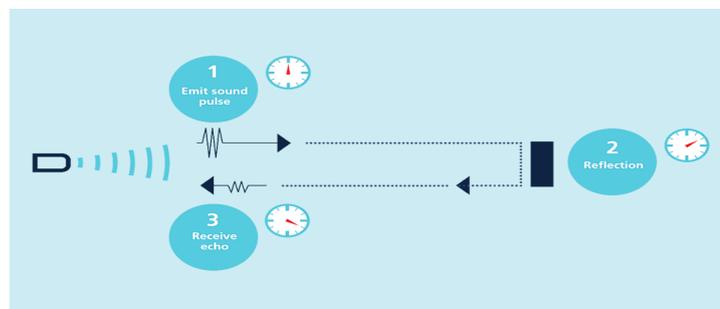


Figure IV.50. capture ultrason .

IV.3.2. Capteur d'humidity :

DHT signifie " Digital-output relative Humidity & Temperature sensor", ce qui signifie en gros un capteur d'humidité relative et de température à sortie numérique. [Il fonctionne de 3,3 V à 6 V et a une plage de température de -40 °C à +80 °C. Ses dimensions sont :

- 14*18*5.5mm, pour le petit modèle
- 22*28*5mm , pour le grand modèle

Il fonctionne avec Arduino, Raspberry pi ou n'importe quel microcontrôleur ou ordinateur. Ces caractéristiques :

- Alimentation: 3,3 à 6 Vcc
- Consommation maxi: 1,5 mA
- Consommation au repos: 50 µA
- Plage de mesure: - température: -40 à +80 °C - humidité: 0 à 100 % RH
- Précision: - température: ± 0,5 °C - humidité: ± 2 % RH
- Dimensions: 25 x 15 x 9 mm

[53]

IV.3.3. Relais électrique :

Le relais est un commutateur contrôlé par une tension continue ou alternative de faible puissance, et la partie commutateur est utilisée pour contrôler la charge du secteur haute puissance. [54].

IV.3.4. Pompe d'eau :

Une pompe est un appareil utilisé pour pomper et aspirer des liquides. La pompe se compose de trois parties : [55]

- La partie moteur, qui fournit la puissance nécessaire au pompage ;
- La Transmissions qui transmettent cette puissance aux composants hydrauliques
- La partie hydraulique, qui transmet cette puissance à l'eau pour la déplacer (l'aspirer et/ou la refouler).

IV.4. schéma électrique :

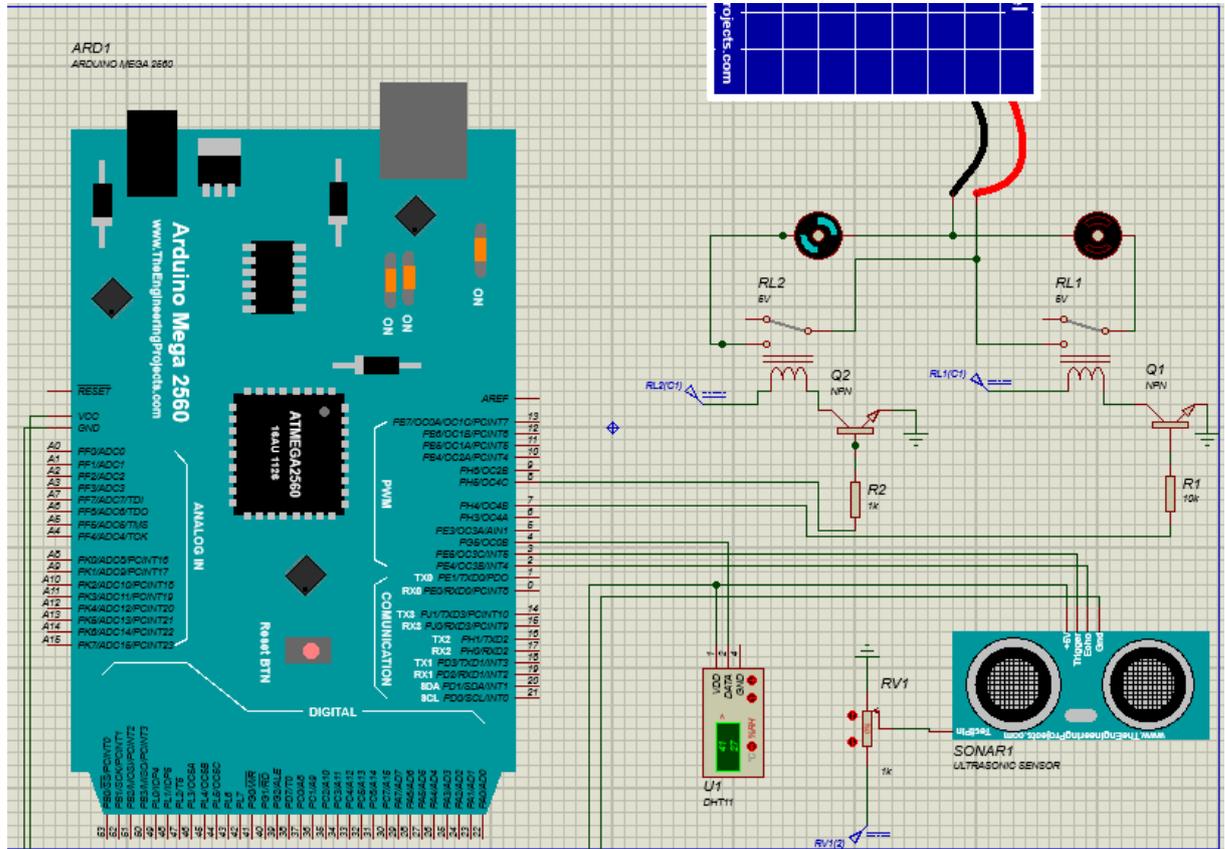


Figure IV.51. schéma électrique.

IV.5. Explication de schéma électrique :

IV.5.1. Panneau solaire :

Le panneau solaire permet d'alimenter les deux pompes (immergé et surface).

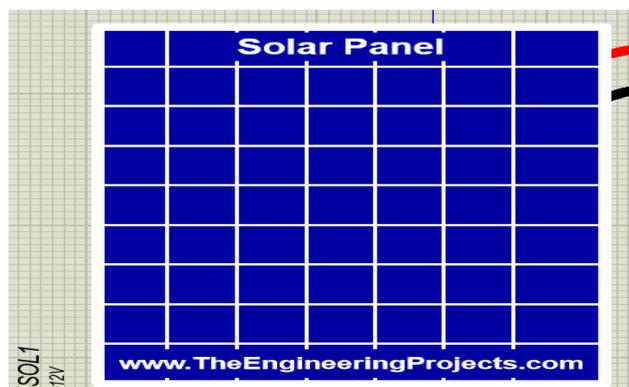


Figure IV.52. le panneau solaire utiliser.

IV.5.2. groupe motopompe :

On a utiliser deux pompes :

- La pompe immergée :

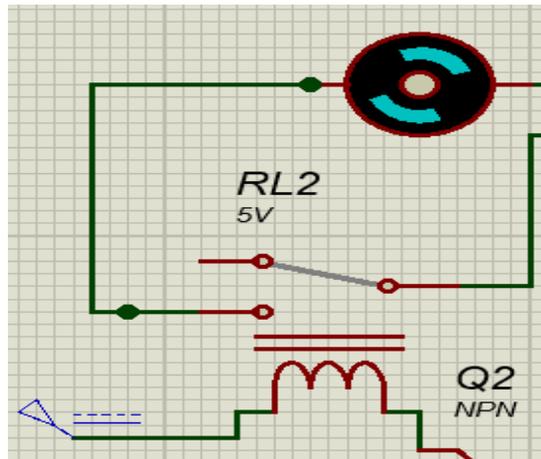


Figure IV.53. La pompe immergée.

- La pompe de surface :

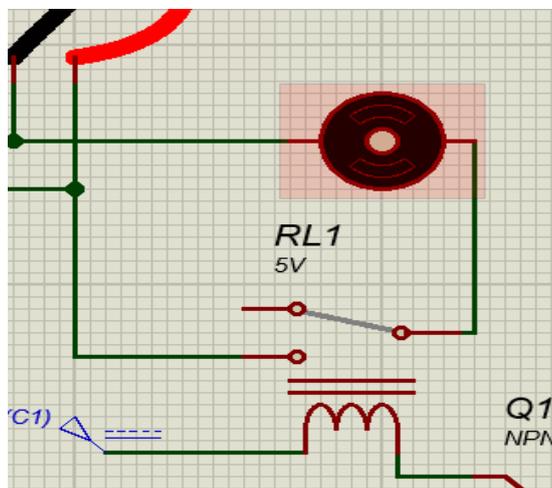


Figure IV.54. la pompe de surface.

IV.5.3. La partie commande (les captures) :

IV.5.3.1. le capture ultrason hc-sr04 :

Le capture ultrason permet de visualiser le niveau d'eau et donne un signal pour remplir le réservoir si le niveau d'eau est moins de 20cm et donne un autre signal pour arrêter de remplir le réservoir si le niveau d'eau est plus de 1.95m .

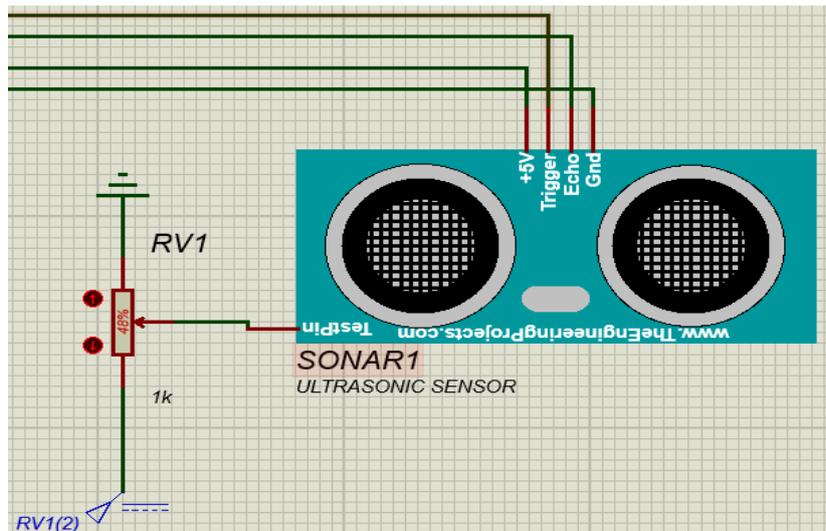


Figure IV.55. le capture ultrason.

IV.5.3.2. le capture d'humidité :

Ce capture permet de connaitre l'humidité du sol et donne un signal si l'humidité est inférieur de 40 pour faire un cycle d'arrosage par la pompe du surface .

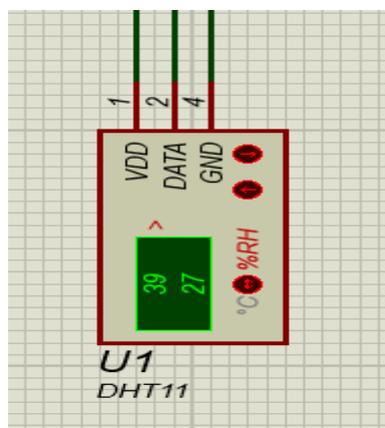


Figure IV.56. Capture d'humidité DHT.

IV.5. La partie programmation (Arduino) :

```
#include <Adafruit_Sensor.h> // DHT22
#include <DHT.h> // DHT11
#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11

#define echoPin 2 // attach pin D2 Arduino to pin Echo of HC-SR04
#define trigPin 3 //attach pin D3 Arduino to pin Trig of HC-SR04
// defines variables
long duration; // variable for the duration of sound wave travel
int distance; // variable for the distance measurement

//#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
//#define DHTTYPE DHT21 // DHT 21 (AM2301)
DHT dht = DHT(DHTPIN, DHTTYPE); //normal 16mhz Arduino:

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(trigPin, OUTPUT); // Sets the trigPin as an OUTPUT
  pinMode(echoPin, INPUT); // Sets the echoPin as an INPUT
  Serial.begin(9600); // // Serial Communication is starting with 9600 of baudrate speed
  Serial.println("Ultrasonic Sensor HC-SR04 Test"); // print some text in Serial Monitor
  Serial.println("with Arduino UNO R3");
  dht.begin();
}
void loop() {

  delay(500);
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();
  float f = dht.readTemperature(true);
  if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {
    Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
    return;
  }
  float hif = dht.computeHeatIndex(f, h);
  float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);
  Serial.print("Humidity: ");
  Serial.print(h);
  Serial.print(" % ");
  Serial.print(" Temperature: ");
  Serial.print(t);
  Serial.println("C | ");
  if (h<=40) {
    Serial.println(" TROP SEC - ACTIVATION ARROSAGE ");
    for(int arrosage = 1 ; arrosage <= 4 ; arrosage = arrosage+1) // cycle maxi de 4 tests + arrosage
    {
      if ((h<=40)){ // si lhumidité est plus de 40 la pompe de surface fait pas l'arrosage
        digitalWrite(7,HIGH); // la pompe de surface commence l'arrosage
        delay(5000);
        digitalWrite(7,LOW); // la pompe de surface arrête l'arrosage
        delay(2000);
      }
      else {
        Serial.println(" FIN CYCLE ARROSAGE ");
      }
    }

    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);

    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);

    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);

    distance = duration * 0.034 / 2;
    Serial.print("Distance: ");
    Serial.print(distance);
    Serial.println(" cm");
    if((distance<=5))
    {
      digitalWrite(8, LOW); // la pompe immergée s'arrete de remplir le reservoir
    }
    if((distance>180))
    {
      digitalWrite(8, HIGH); // la pompe immergée commence a remplir le reservoir
    }
  }
}
```

Figure IV.57. Programmation sur l'Arduino.

IV.6. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons simulé notre projet sur Isis Proteus ce logiciel nous a permis d'ajouter une touche automatique avec l'Arduino, pour rendre ce pompage plus rentable et économique.

Le contrôle d'arrosage se fait par deux critères, par la capture d'humidité qui mesure l'humidité du sol pour donner l'ordre à la pompe de surface pour le démarrage de l'arrosage, et l'arrêt se fait selon un temps d'arrosage (selon la programmation sur l'Arduino).

Et pour le contrôle de remplissage de réservoir on a qu'un seul critère, c'est la capture de niveau d'eau (Ultrason), pour donner l'ordre à la pompe immergée pour l'arrêt ou le démarrage de remplissage.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Dans notre mémoire, nous avons traité des aspects techniques et économiques d'une solution de pompage d'eau avec une source d'énergie solaire photovoltaïque. Nous avons présenté l'énergie photovoltaïque, ces avantages et ces inconvénients, et nous avons aussi présenter le pompage photovoltaïque et ces différents système .

Notre travail a porté sur le dimensionnement et la simulation d'un système de pompage photovoltaïque sans batteries (autonome), que nous avons dimensionné à l'aide du logiciel PVsyst , et simuler grâce a Isis Proteus .

Notre travail représente l'étude et l'analyse d'un système automatisé qui fait l'irrigation automatiquement par la mesure de l'humidité du sol et le niveau d'eau par des capteurs qui transforme l'information pour mettre en œuvre les pompes à eau, ce projet est réalisé à base de la carte Arduino Mega.

Pour atteindre l'objectif de l'étude, nous avons considéré plusieurs aspects :

- Dans le premier chapitre, une étude de l'irrigation générale a été effectuée commençant par introduction à l'irrigation suivit par la présentation de ces différents types.
- Dans le deuxième chapitre, un état de l'art sur l'énergie photovoltaïque a été mise en place afin de présenter le principe de fonctionnement des cellules solaires photovoltaïque et citer des différents types des cellules et des systèmes photovoltaïques, et une généralité sur le pompage photovoltaïque.
- Dans le troisième chapitre, notre contribution a été placé par le dimensionnent théorique on présentant les formules nécessaire , et l'utilisation de logiciel PVsyst pour la ferme agricole sélectionnée dans notre l'étude.
- Dans quatrième et le dernier chapitre, nous avons dimensionner un système de pompage solaire destiné a l'irrigation d'une petite ferme agricole , avec toutes les étapes nécessaires qui sont :
 - ✓ besoins quotidiens en eau : le besoin est environ 20m³/jour , avec un réservoir de stockage de 30m³.
 - ✓ Dimensionnement et choix de la pompe : pour remplir le réservoir on a utiliser une pompe immergée DC d'une puissance de 700w d'un débit

CONCLUSION GENERALE

environ de 2.56m³/h , et une pompe de surface DC destiné a l'arrosage de la même puissance .

- ✓ dimensionnement des champs photovoltaïques disponibles : 4 série en parallèle de deux panneaux solaire de 300wc et 59v avec une surface d'installation de 13.4m² , avec un convertisseur MPPT-DC (42v _ 72v) pour régler la tension de la sortie des panneaux pour l'adapter aux pompes .
- Finalement, nous avons présenté la simulation sur ISIS PROTEUS qui a rendue cette irrigation automatique et intelligent a l'aide d'une programmation sur l'arduino et les deux capteurs (le capture d'humidité , et le capture de niveau d'eau) .

Pour conclure, nous notons que le système fonctionne bien automatiquement, en plus d'être un système d'économie d'eau.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] <https://www.agenceecofin.com/entreprendre/1002-95039-financement-des-microentreprises-en-algerie-le-secteur-agricole-prioritaire>.
- [2] M. Benchaib, "Les systèmes d'irrigation," Ecole supérieure de l'hydraulique Abbaoui Abdellah de Blida Mémoire d'ingénieur, 2010.
- [3] https://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0607/beiere/1/html/avt_projet_irrigation.html
- [4] M. Azzougagh, "Transfert de technologie en agriculture," Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, 2001.
- [5] M. Djilali, "Etude et suivi de l'exploitation d'un périmètre irrigué en micro-irrigation," Ecole supérieure de l'hydraulique Abbaoui Abdellah de Blida Mémoire d'ingénieur, 2005.
- [6] BEY, M. Utilisation de l'énergie hybride renouvelable dans les fermes agricoles et leurs contributions dans le développement durable dans les régions de Tlemcen (Doctoral dissertation, Université de Tlemcen-Abou Bekr Belkaid).
- [7] H. Reeves ; Mal de Terre, Science ouverte, Editions de Seuil, mars 2003.
- [8] <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-que-l-energie-solaire>
- [9] C. Serrir, «Optimisation des Systèmes de Pompage Photovoltaïque », Mémoire de Magister en Electrotechnique Option : Systèmes Electro-Energétiques, Université A. Mira Bejaia ; 2012.
- [10] N. Hadim, K. Ferhat, «Etude et Optimisation d'un Système Photovoltaïque », Mémoire de Master en Electrotechnique Option: Energies Renouvelables, Université A.Mira de Bejaia ; 2016.
- [11] IEPF/Université d'Ottawa/EIER/CREPA LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens
- [12]. F. Harouadi , B. Mahmah , M. Belhamel , S. Chader , A. M'Rouï et C. Etievant, ' Les potentialités d'exploitation d'hydrogène solaire en Algérie dans un cadre euro – maghrébin Partie I: Phase d'étude d'opportunité et de faisabilité' , Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°2 (2007) 181 – 190

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [13].<https://sites.uclouvain.be/elee/FR/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereSolaire/PanneauxPhotovoltaïques/Cellule/Modele.htm>
- [14].https://www.memoireonline.com/05/09/2066/m_Les-pompe-solaires--Dimensionnement-dune-station-de-pompage-en-zone-maracher0.html/
- [15] A.labouret ,D.delagne «énergie solaire photovoltaïque ,le manuel du professionnel» édition de nord , paris (France) aout 2003 , paris (France)
- [16] Capteurs solaires photovoltaïques (uadb.edu.sn)
- [17] Chapitre I État de l'art des cellules solaires conventionnelles SAHOUANE-Nordine univ tlmcn.
- [18]Djamila Rekioua • Ernest Matagne “Optimization of Photovoltaic Power Systems, Modelization, Simulation and Control,” Springer-Verlag London Limited 2012.
- [19]https://www.memoireonline.com/05/09/2066/m_Les-pompe-solaires--Dimensionnement-dune-station-de-pompage-en-zone-maracher0.html/
- [20] <https://lesolairepourtous.fr/branchement-serie-ou-parallele/>
- [21]<https://www.ecolodis-solaire.com/conseils/cablage-et-securite-d-une-installation-photovoltaïque-en-site-isole-cablage-en-serie-et-cablage-en-parallele-47>
- [22]. Angel Cid Pastor « Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques ». Thèse de Doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.
- [23]: A. Oi. « Design and simulation of photovoltaic water pumping system », These de Doctorate, California Polytechnic State University San Luis Obispo, 2005
- [24]: B. Molle, « Les stations de pompage individuelles pour l'irrigation », juin 1996
- [25] J. Royer,T. Djako, « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intension des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa, 2002.
- [26]: M. Angel, C. Pastor, « Conception et réalisation de modules Photovoltaïque électroniques » Thèse de Doctorat « Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [27]: B. Azoui et M. Djarallah, « Dimensionnement et expérimentation d'un système photovoltaïque de pompage d'eau utilisant un moteur à aimants permanents sans balais collecteur », Journée d'Etude sur l'Energie Solaire, Mardi 01 mars 2005, Bejaia
- [28] . <https://www.pompezanni.it/fr/news-fr/pompes-hydrauliques-electriques/>
- [29] <https://www.thermal-engineering.org/fr/quest-ce-quune-pompe-centrifuge-definition/>
- [30] DJAAOUI, Mohamed Amine et REMACHE, Leila. Analyse des modes de défaillances, leurs effets et leurs criticités d'une pompe centrifuge. 2020.
- [31] A. BELHOCINE et S.ZAIDI« Etude et dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque autonome » Mémoire de Master2. Université de Bejaïa, 2012
- [32] <https://www.etudier.com/dissertations/Le-Moteur-Courant-Continu/70588123.html>
- [33] BOUKEFFOUS, H. E., & ABDERREZAK, Z. (2019). *Modélisation et commande d'un système de conversion électromécanique (STEP)* (master dissertation, Directeur: Dr. Kherbouche EP Faradji/Co-directeur: Mme. Ghomri Amina).
- [34] MEDDAH, M., BOURAHLA, M., et BOUCHETATA, N. Synthèse des convertisseurs statiques DC/AC pour les systèmes photovoltaïques. *Revue des Energies Renouvelables ICESD'11 Adrar*, 2011, p. 101-112.
- [35] M. Capderou, « Atlas solaire de l'Algérie », Office des publications universitaire Tome 1' Tome 2, Algérie 1986.
- [36] AFIA SEIDOU Imorou, « Etude et dimensionnement des systèmes de pompage photovoltaïque dans les localités rurales du Bénin : cas de adjakpata », Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur 2^{ie} avec le grade de master, Promotion [2015/2016] Institut International d'Ingénierie. BURKINA.
- [37] A. Hadj Arab, M. Benghanem et A. Gharbi, « Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque ».
- [38] DEGLA Mohammed Larbi -BEN AHMED Bachir, « Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque », Mémoire de master 2017, Université kasdi Merbah Ouargla.
- [39] www.energieplus-lesite.be

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [40] LORENTZ GmbH & Co. KG, Système de pompe solaire immergée pour puits 4"
- [41] B. Flèche, D. Delagnes, « Energie solaire photovoltaïque », juin 07, STI ELT Approche générale.
- [42]: A. Oi. « Design and simulation of photovoltaic water pumping system », These de Doctorate, California Polytechnic State University San Luis Obispo, 2005
- [43] A. BELHOCINE et S.ZAIDI « Etude et dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque autonome » Mémoire de Master2. Université de Bejaïa, 2012
- [44] <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/lemcen/lemcen-990323/>
- [45] Melle BACHSAIS Iméne, Melle SEBBAGH Asma, « Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque pour l'irrigation d'un hectare de palmier dattier en utilisant les méthodes Méta heuristiques », Mémoire de Master 2016, université M'Hamed Bougara de Boumerdes.
- [46] Global Tools <https://www.gt-outillage.com/motopompe-haute-pression-essence->
- [47] M. Mansour Niang & Souleymane Diop "Les pompe solaires : Dimensionnement d'une station de pompage en zone maraîcher" Institut Supérieur de Technologie Industrielle - DIT Electrotechnique- Electromécanique-Froid et Climatation 2008
- [48] <https://www.pvsyst.com/>
- [49] <http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php>
- [50] : Ayad Benyounes & Tari Oussama, Simulation et réalisation d'un circuit détecteur de gaz interfacé à la carte Arduino. Université Abou bakrBelkaïd-Tlemcen, Faculté de Technologie. 2019/2020
- [51] <https://arduinotutoriels.com/arduino-ide-quest-ce-que-lenvironnement-developpement-et-de-programmation-arduino-et-quelles-parties-atil/#:~:text=%C3%80%20quoi%20s'agit%20l,utilis%C3%A9s%20sur%20un%20plateau%20Arduino.>
- [52] Dr.Kouahla Zineddine Lokba M.Zine Laabidine "Plateforme de développement pour l'internet des objets (IdO) avec un apprentissage automatique" 2019

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

[53] Bouich, Houria; Chibane, Fadhila "Etude et Simulation D'une Carte d'Acquisition de température et d'Humidité à base d'Arduino UNO"

[54] Lavet, M. (1962). Les relais électriques. La Pratique des Industries Mécaniques, 45(4), 85-89.

[55] Byrne, B. J., Kishnani, P. S., Case, L. E., Merlini, L., Müller-Felber, W., Prasad, S., & van der Ploeg, A. (2011). Pompe disease: design, methodology, and early findings from the Pompe Registry. *Molecular genetics and metabolism*, 103(1), 1-11.