

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE AKLI MHAND OULHAJ

BOUIRA

Faculté de Technologie

Département :

De Génie électrique



جامعة اكلي محند اولحاج

البويرة

كلية التكنولوجيا

قسم:

الهندسة الكهربائية

Mémoire de Master

No. Réf. : 31/10/2018

Présenté au Département de Génie électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Electronique de System Embarquer

Réalisé par :

M. BOUKHELFI Abderrahim.

M. SAMMA Abdelmalek.

Thème

Pompes solaire avec batterie de stockage :

Etude et réalisation

Soutenu le 31/10/2018 devant la commission d'examen composée de :

M. Berrag Amine

M.A.A à l'Université de Bouira

Président

M. Touafek Med Yaakoub

M.A.A à l'Université de Bouira

Directeur du Mémoire

M. Mouassa Souhil

M.A.A à l'Université de Bouira

Examineur

M. Kherchi Mohamed

M.A.A à l'Université de Bouira

Examineur

Dédicaces

Dédicaces

بسم الله الرحمن الرحيم

Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que Je dédie:

A ma très chère mère, qui n'a jamais cessé de prier et pour ses encouragements pour moi, qui m'ont aidé et soutenu tout au long de mes études, et a l'âme de mon Père J'espère qu'ils sont fiers de ce que je fais.

A mon très cher frère et mes sœurs qui je dois tous l'amour avec tous mes vœux de les voir réussir dans leurs vies.

A toute ma famille

Ames amies, à qui je souhaite le succès, pour l'amitié qui nous a toujours unis.

Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire à tous les enseignants du génie électrique et spécialement mon encadreur T.ϋ

A tous ceux qui me sont trop chers et que j'ai omis de citer.

Remerciements

C'est avec grand plaisir que nous réservons ces quelques lignes en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à l'égard de tous ceux qui nous ont aidés à la réalisation de notre projet de fin d'étude.

En première lieu, nous tenons à louange à DIEU le tout puissant, de nous avoir aidé à réaliser ce travail. Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur Touafek YAAKOUBE pour son suivi durant la période de préparation de notre mémoire, son aide et ses conseils qui nous ont été très précieux.

Nous exprimons nos plus sincères remerciements à tous nos enseignants qui ont contribué à ma formation tout au long de notre parcours scientifique et à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Nous remercions profondément tous les enseignants du département génie électrique

Enfin, nous remercions chaleureusement tous les membres du jury pour leur participation à la révision de nos travaux.

Bouira, le 31/10/2018

Sommaire

<i>Chapitre 01</i>	1
L'ETAT DE L'ART SUR L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE.....	1
1.1. Introduction	1
1.2. HISTORIQUE	1
1.3. Irradiation solaire :.....	2
1.4. Définitions :	3
1.4.1. Cellule photovoltaïque :.....	3
1.4.2. Un panneau photovoltaïque.....	4
1.4.3. Champs photovoltaïques :	5
1.5. Principe de fonctionnement :	5
1.6. Les différents types des cellules photovoltaïques :	6
1.6.1. Silicium monocristallin :.....	7
1.6.2. Silicium poly cristallin :.....	7
1.6.3. Silicium amorphe :	8
1.7. Caractéristiques électriques d'une cellule :.....	9
1.7.1. Caractéristiques (courant / tension):	9
1.7.2. Caractéristiques (puissance / tension) :	9
1.7.3. Influence de l'éclairement :	10
1.7.4. Influence de la température:	11
1.7.5. Définition de la puissance de crête :	12
1.8. Le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque :	12
1.9. Association des cellules :.....	13
1.9.1. Association série :	13
1.9.2. Association parallèle :.....	13
1.9.3. Association mixte :	14
1.10. Orientation et inclinaison des panneaux photovoltaïques fixes :.....	14
1.10.1. Orientation et inclinaison d'une surface : [18]	15
1.11. Classification des systèmes photovoltaïques	16
1.12. Avantages et Inconvénients de l'Énergie Photovoltaïque :	16
1.12.1. Avantage :.....	16
1.12.2. Inconvénients :.....	17
1.13. Les systèmes photovoltaïques avec batterie :.....	17
1.13.1. Les caractéristiques de ces composantes:.....	18
1.13.2. LES BATTERIES :	19

1.13.3. Les différents types de batteries :.....	20
1.13.4. Caractéristiques générales des batteries :.....	22
1.13.5. Les avantages et Inconvénients pour les quatre types des batteries :	23
1.14. Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque pour l'irrigation.....	24
1.14.1. Types des pompes:.....	25
1.14.2. Le choix d'une pompe :.....	32
1.14.3. Comparaisons entre les pompes centrifuges et les pompes volumétriques :	33
1.15. Classification selon le moteur utilisé :.....	34
1.15.1. Moteur à courant continu :	35
1.15.2. Le moteur alternatif :	38
1.15.3. Unités de mesures SI :.....	40
1.16. Conclusion :.....	41
 <i>Chapitre 02</i>	 42
 SIMULATION SOUS MATLAB/SIMULINK	 42
2.1. Introduction	42
2.2. Partie modélisation :	42
2.3. Équation PV :.....	42
2.3.1. Photo-courant (I_{ph}) :.....	42
2.3.2. Courant de saturation (I_0) :	42
2.3.3. Courant de saturation réversible :	43
2.3.4. Courant délivré par la résistance R_{sh} :.....	43
2.3.5. Equation d'un courant de sortie (I) :	43
2.4. Equation moteur DC :	43
2.4.1. La partie électrique :	43
2.4.2. La partie mécanique met en œuvre l'équation suivante :	43
2.5. Equation Batterie :.....	43
2.5.1. Equation décharge	44
2.5.2. Equation de charge	44
2.6. Simulation et Résultat :.....	44
2.6.1. Schéma Simulink :.....	44
2.6.2. Résultat :	45
2.6.3. Fonctionnement de deux Moteur :	46
2.7. Conclusion :	47
 <i>Chapitre 03</i>	 48
 SIMULATION PROTEUS ET REALISATION PRATIQUE.....	 48
3.1. Introduction :.....	48

3.2. Schéma synoptique :	48
3.2.1. Les composants utilisés pour réaliser ce montage :	49
3.3. Les actionneurs.....	59
3.3.1. Afficheur LCD.....	59
3.4. Module des relais :	61
3.4.1. Description et principe de fonctionnement :	62
3.4.2. Caractéristique techniques :	62
3.5. Bipper (Buzzer) :	62
3.5.1. Description :	62
3.6. La plaque d'essai :	63
3.6.1. Les connexions internes :	63
3.7. Simulation proteus :	63
3.7.1. Partie schématique :	63
3.7.2. Teste et résultat :	64
3.7.3. Partie programmation :	65
3.8. Réalisation Pratique :	68
CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES	72

Liste des figures

Figure 1-1 : Irradiation solaire.....	3
Figure 1-2 : Cellule photovoltaïque.....	4
Figure 1-3 :Panneau photovoltaïque.....	4
Figure 1-4 : Champs photovoltaïques.....	5
Figure 1-5 :Décomposition d'un panneau solaire.....	6
Figure 1-6 :Silicium monocristallin.....	7
Figure 1-7 : Silicium poly cristallin.....	7
Figure 1-8 :Silicium amorphe.....	8
Figure 1-9 : Caractéristique (courant / tension).....	9
Figure 1-10 : Caractéristique (puissance / tension).....	10
Figure 1-11 : Influence de rayonnement sur la caractéristique (I-V).....	10
Figure 1-12 : Influence de rayonnement sur la caractéristique (P-V).....	11
Figure 1-13 : Influence de température sur la caractéristique (I-V) et (P-V).....	11
Figure 1-14 : Schéma équivalent de cellule PV.....	12
Figure 1-15 : Association en série de N_s cellules solaires.....	13
Figure 1-16 : Association en parallèle de N_p cellules solaires identiques.....	14
Figure 1-17 : Inclinaison optimale de panneau.....	14
Figure 1-18 : Orientation et inclinaison d'une surface.....	15
Figure 1-19 : Courbe I-V d'un module de 50 Wc et d'une batterie de 12 volts.....	18
Figure 1-20 : Etat de charge d'une batterie au plomb-acide selon la densité de l'électrolyte et sa tension durant la décharge et la charge.....	21
Figure 1-21 : Détails d'une batterie au plomb-acide de 12 volts.....	21
Figure 1-22 : Principe de fonctionnement d'un accumulateur plomb / acide.....	22
Figure 1-23 : batteries plomb acide.....	22
Figure 1-24 : pompe volumétrique.....	26
Figure 1-25 : courbes caractéristiques du couple en fonction de la vitesse (a) et du débit en fonction de la vitesse (b).....	27
Figure 1-26 : Les pompes centrifuges.....	29
Figure 1-27 : Exemple d'installation avec une pompe centrifuge.....	30
Figure 1-28 : Illustration d'une pompe centrifuge à volute.....	30
Figure 1-29 : Illustration d'une centrifuge à turbine.....	31
Figure 1-30 : Caractéristiques d'une pompe centrifuge a et b.....	31

Figure 1-31 : Les pompes de surface.....	32
Figure 1-32 : pompe immergée.	32
Figure 1-33 : Exemples de courbes débit - HMT pour quelques pompes.....	33
Figure 1-34 : Choix d'une pompe selon la HMT et le débit demandés.....	34
Figure 1-35 : Schéma des différents types de moteurs.....	34
Figure 1-36 : Moteur a aimants permanents.	35
Figure 1-37 : Caractéristiques du couple en fonction de la vitesse et de la vitesse en fonction du courant d'un moteur shunt et d'un moteur série.	37
Figure 1-38 : Moteur Brushless.....	37
Figure 1-39 : Moteur asynchrone triphasé (courant alternatif).....	38
Figure 1-40 : Le moteur a courant alternatif.....	39
Figure 2-1 : Schéma Simulink PV et batterie plus moteur.....	44
Figure 2-2 : charge batterie avec éclairage fixe.....	45
Figure 2-3 : Etat de charge batterie avec éclairage fixe pendant une journée.	45
Figure 2-4 : Variation d'éclairage pendant une journée.	46
Figure 2-5 : Etat de charge batterie avec éclairage variable pendant une journée.....	46
Figure 2-6 : Effet des moteurs sur charge et décharge batterie.	46
Figure 2-7 : courant de batterie en mode d'irrigation et remplissage.....	47
Figure 3-1 : Schéma synoptique.....	49
Figure 3-2 : Panneau solaire monocristallin.....	50
Figure 3-3 : Batterie 12v, 10w.	51
Figure 3-4 : Régulateur de charge PV.....	52
Figure 3-5 : Arduino uno.	53
Figure 3-6 : Capteur d'humidité du sol YL-69.....	54
Figure 3-7 : Module de Capteur d'humidité du sol YL-69.....	55
Figure 3-8 : capteur ultrasons (HC-SR04).....	56
Figure 3-9 : Fonctionnement du capteur HC-SR04.....	57
Figure 3-10 : flotteur.....	58
Figure 3-11 : Afficheur LCD.....	60
Figure 3-12 : pompe d'eau pour le remplissage.....	61
Figure 3-13 : module des relais.	61
Figure 3-14 : Buzzer piézoélectrique.....	62
Figure 3-15 : la plaque d'essai.....	63
Figure 3-16 : Simulation ISIS Proteus.....	64
Figure 3-17 : Simulation et résultats ISIS Proteus.	64

Figure 3-18 : schéma de régulateur (12V-5V).....	65
Figure 3-19 : fusible	65
Figure 3-20 : organigramme de fonctionnement de pompe solaire.....	67
Figure 3-21 : Installation des éléments d'alimentation.....	68
Figure 3-22 : Installation d'électricité et d'eau.....	69
Figure 3-23 : emplacement des pompes	69
Figure 3-24 : Emplacement capteur ultrason et pompe de remplissage.	70
Figure 3-25 : Emplacement de flotteur dans le réservoir.	70
Figure 3-26 : Branchement des composants utilisé dans boîtier de contrôle.....	71

Liste des tableaux

Tableau 1-1 : Avantage et inconvénient pour quatre types des batteries.....	23
Tableau 3-1 : caractéristique PV.....	50
Tableau 3-2 :Fiche technique de batterie.....	51
Tableau 3-3 : Emplacement des composants aux la carte Arduino.....	54
Tableau 3-4 : paramètre du capteur ultrason HC-SR04.....	56
Tableau 3-5 caractéristique du moteur de la pompe d'irrigation.....	60
Tableau 3-6 caractéristique de la pompe de remplissage.....	60

Listes des Acronymes et Symboles

Acronymes et symboles

PV	photovoltaïque
KM	kilo mètre
GW	Giga Watte
μm	Micro mètre
J .m-2	Joule par mètre carré
W/ m2	watt par mètre carré
Wh/ m2	wattheure par mètre carré
V	Volte
Si	Silicium
Sc	semi-conducteur
CC	courent continue
AC	courent Alternative
PM	puissance max
WC	Watt crête
Pb	plombe acide
Ni-MH	Nickel-Métal Hydrure
HMT	Hauteur Manométrique Totale
PWM	Pulse With Modulation
I	Intensité du Courant.
A	Ampère
m^3	Mètre cube.
mm	Millimètre.
V	Volt.
V_{mpp}	Tension au point de puissance maximal (V)
I_{mpp}	Courant au point de puissance maximal (A)
P_{mpp}	Puissance de point maximal (W)
V_{oc}	Tension de circuit ouvert (V)
I_{sc}	Courant de court-circuit
n_s	Nombre de module en série
n_p	Nombre de module en parallèle
I_{pv}	Courant de module
I_{ph}	Photo courant
I_D	Courant de la diode
I_{Rp}	Courant de la résistance shunt
Min (P)	Minimum de puits
Max(F)	Maximum réservoir (flotteur)
M1	Moteur 1(pompe1)
hREG	Humidité Réglable
Hum	humidité

L'eau et l'énergie solaire sont parmi les plus importants éléments essentiels et indispensables pour la vie. La demande croissante en l'énergie et l'épuisement futur inévitable des sources classiques exigent des recherches sur des sources alternatives, comme les énergies renouvelables tel que le vent, le soleil, ...etc.

La résolution de problématique de l'eau, soit pour la consommation domestique (de personnes), soit pour l'agriculteur (élevage et irrigation), Ce problème est lié directement à un autre enjeu qui est l'apport de l'énergie nécessaire. Plusieurs régions restent non connectées au réseau public d'électricité. Il est important surtout dans les régions éloignées, désertique ou montagneuses comme le sud de l'Algérie. Parce que l'énergie requise est soit absente, soit très chère à obtenir. Dans ce travail, on aborde justement la problématique d'approvisionnement d'eau, pour l'irrigation, Pour ceci on présume l'existence d'un forage et on réalise une étude complète du système de pompage solaire. En plus d'une étude économique (l'énergie électrique/l'eau).

Aussi bien que nous nous sommes intéressés à l'étude et l'optimisation du fonctionnement d'un système de pompage photovoltaïque, de ce fait, le présent mémoire est subdivisé en trois chapitres dont le contenu est résumé ci-dessous.

Dans le premier, on énonce l'état de l'art sur l'énergie et les pompes solaire. En commençant par des notions sur le rayonnement solaire, dans deuxième temps nous montrons les différents types de systèmes photovoltaïques, ainsi, nous allons étudier le générateur photovoltaïque en commençant par des caractéristiques et des paramètres électriques d'une cellule solaire, ainsi que l'influence des différents paramètres électriques, métrologique sur les caractéristiques du module et on terminera avec les avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque. Passons à les types des batteries et pompes utilisés et leurs caractéristiques plus les moteurs. Nous avons étudié tous ces éléments à utiliser pour effectuer ce projet

Ensuite, le deuxième chapitre est consacré à la modélisation du système étudié (panneau PV, batterie et moteur) sous l'environnement (matlab Simulink). Les résultats obtenus par programmation Matlab seront rapportés et commentés et utilisés pour le dimensionnement, qui sera appliqué sur un exemple réel. Et finalement, dans le dernier chapitre on discute la simulation proteus et la réalisation pratique.

Chapitre 01

L'ÉTAT DE L'ART SUR L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

1.1. Introduction

Devant la demande croissante de l'énergie électrique, essentiellement pour les sites isolés (régions sahariennes, régions montagneuses), où le raccordement au réseau électrique public est très coûteux, l'énergie solaire photovoltaïque constitue la solution la plus avantageuse.

Car elle est inépuisable, propre et offre une grande sécurité d'utilisation ainsi, les systèmes photovoltaïques ne nécessitent aucun apport extérieur de combustible.

De plus, le générateur lui-même ne contient aucune pièce mobile et ne requiert donc pratiquement pas d'entretien. Par conséquent, les coûts d'opération et de maintenance sont relativement faibles. Pour ces raisons, cette source d'énergie convient particulièrement bien pour les utilisations en milieu rural. Où les populations sont réparties dans de petites communautés et la demande énergétique est relativement faible. [1]

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancées sur le plan technologiques et industriel, en effet le silicium et l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice non toxique.

1.2. HISTORIQUE

Le mot " photovoltaïque " vient du grec " photo " qui signifie lumière et de " voltaïque " qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro Volta qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité, alors le photovoltaïque signifie littérairement la « lumière électricité »[2]

- L'effet photovoltaïque a été découvert par le physicien français Edmond Becquerel (1788 - 1878) en 1839. Il plaçait deux électrodes enrobées de platine dans un récipient avec un électrolyte et a déterminé un courant circulant entre elles. Becquerel a constaté que l'intensité du courant a changé lorsqu'il est exposé à la lumière. Il s'agissait de l'effet photovoltaïque externe,

- En 1873, l'ingénieur britannique Willoughby Smith et son assistant Joseph May ont découvert que le semi-conducteur sélénium a changé sa résistance lorsqu'il est exposé à la lumière. Il s'agissait de l'effet photovoltaïque interne, dans lequel les électrons sont arrachés par la lumière et devenus donc des porteurs de charge libres dans le semi-conducteur,
- Trois années plus tard, les anglais William Adams et Richard Day ont découvert qu'une tige de sélénium munie d'électrodes de platine peut produire de l'énergie électrique lorsqu'elle est exposée à la lumière. Il a été prouvé pour la première fois qu'un corps solide peut directement convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique,
- En 1883, l'inventeur américain Charles Fritts construit un petit "Module" de cellules de sélénium en les couvrant avec une très mince électrode d'or, d'une superficie d'environ 30 cm² en obtenant un rendement de conversion d'environ 1%,
- En 1904, Albert Einstein (1879-1955) expliqua la théorie de cet effet,
- Au même temps et dans le même domaine, il y avait d'autres avancées technologiques :
- En 1916 le chimiste polonais Jan Czochralski a découvert le processus de croissance cristalline (qui prend son nom), il est devenu donc possible de produire des monocristaux semi-conducteurs de haute qualité,
- En 1949, William B. Shockley (1910–1989) a établi la théorie de la jonction PN et a lancé les bases théoriques des cellules solaires utilisées aujourd'hui. [3] [4]

1.3. Irradiation solaire :

Malgré la distance considérable qui sépare le soleil de la terre (150.106Km), la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie importante (180.106 GW), c'est pour ça que l'énergie solaire se présente bien comme une alternative aux autres sources d'énergie.

Cette quantité d'énergie quittera sa surface sous forme de rayonnement électromagnétique compris dans une longueur variant de (0.22 à 10 μm), l'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement comme suit:

- 9 % dans la bande des ultraviolets (< 0.4 μm).
- 47 % dans la bande visibles (0.4 à 0.8 μm).
- 44 % dans la bande des infrarouges (> 0.8 μm). [5]

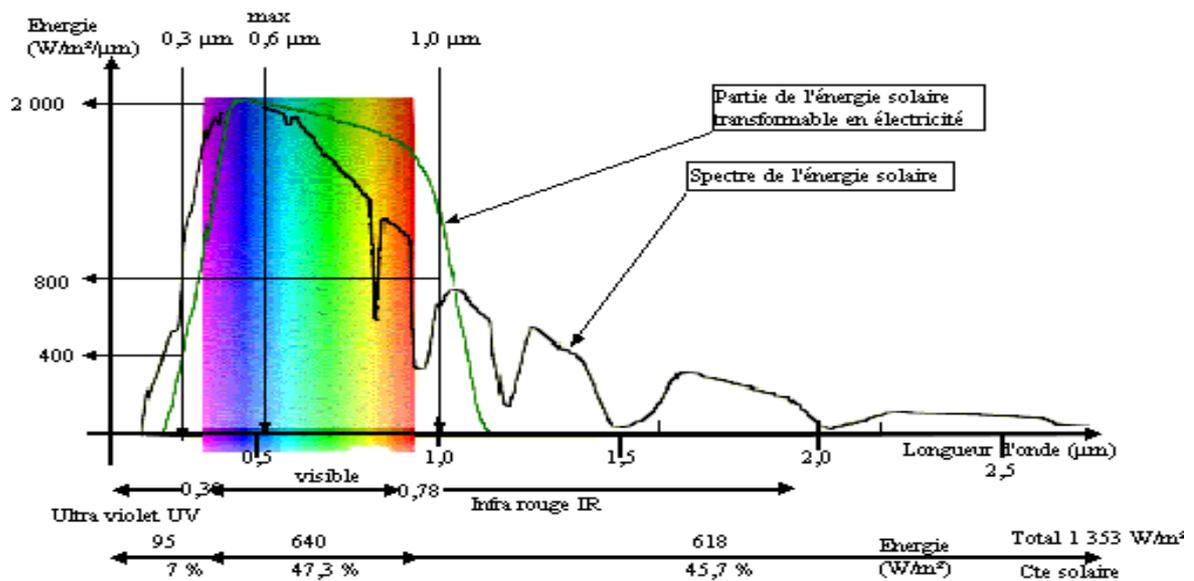


Figure 1-1 :Irradiation solaire.

L'irradiation (Ensoleillement ou éclaircissement) est définie comme une puissance reçue par une surface. Il s'exprime en $(\frac{W}{m^2})$ (watt par mètre carré).

L'irradiation ou rayonnement est l'énergie reçue par une surface.

Elle s'exprime en $(J \cdot m^{-2})$ (Joule par mètre carré).

D'autres unités plus courantes sont le $(\frac{Wh}{m^2})$ (wattheure par mètre carré) Signalons que, l'irradiation solaire dépend de :

- l'orientation et l'inclinaison du panneau solaire.
- la latitude du lieu et son degré de pollution.
- la période de l'année. L'instant considéré dans la journée.
- la nature des couches nuageuses.[6]

1.4. Définitions :

1.4.1. Cellule photovoltaïque :

La cellule PV est un composant électronique fait une force électromotrice apparaît lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière (photons), produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène. La tension obtenue est fonction de la lumière incidente. La cellule photovoltaïque délivre une tension continue.

La tension générée peut varier entre (0.3 V et 0.7 V) en fonction du matériau utilisé, sa disposition, température de la cellule ainsi que le vieillissement de la cellule.

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium (Si) généralement sous la forme de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté.[7] [8]



Figure 1-2 :Cellule photovoltaïque.

1.4.2. Un panneau photovoltaïque

Les panneaux photovoltaïques convertissent l'énergie **lumineuse** en énergie électrique (courant continu DC). On parle aussi de modules photovoltaïques.

Ils sont composés de cellules photovoltaïques encapsulées dans un support souple ou rigide.

La puissance que peut fournir un module est fonction de sa surface et de l'ensoleillement incident. Elle s'exprime en Watt-crête (Wc) et représente la puissance maximale du module pour l'ensoleillement maximal de référence (1000 Watt par m (W/m)).



Figure 1-3 :Panneau photovoltaïque.

La tension délivrée par un module dépend du nombre de cellules connectées en séries. Pour les modules de petite puissance (< 75 Wc), la tension d'usage est généralement comprise entre 12 et 15 Volts. Des modules de puissance plus importante sont obtenus par une augmentation du nombre

de cellules en série (augmentation de la tension) et augmentation du nombre de branches de cellules en parallèle (augmentation de la valeur du courant). La tension d'usage peut alors être de 12, 24, 48 Volts ou plus selon la configuration du système à alimenter. [9]

1.4.3. Champs photovoltaïques :

Lorsqu'on regroupe plusieurs panneaux sur un même site, on obtient un champ photovoltaïque ou bien est appelé Une centrale solaire photovoltaïque est un dispositif technique de production d'électricité par des modules solaires photovoltaïques (PV) reliés entre eux (série et parallèle) et utilise des onduleurs pour être raccordée au réseau.

Les centrales solaires sont de plus en plus puissantes contrairement aux systèmes solaires photovoltaïques autonomes destinés à l'alimentation en électricité de bâtiments ou d'installations isolées (autoconsommation) dont la puissance dépasse rarement 100 kWc.[10] [11]



Figure 1-4 : Champs photovoltaïques.

1.5. Principe de fonctionnement :

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur. On peut s'imaginer que le rayonnement solaire correspond à un bombardement de particules lumineuses appelées photons. Lorsqu'une particule atteint un atome et est absorbée, elle est capable, par son énergie ainsi transmise, de dévier un électron de son orbite habituelle. Cet électron est alors libéré et attiré par le champ électrique à la limite des surfaces des différentes couches.

Dans le cas d'une cellule photovoltaïque formée de deux couches de silicium P et N, le champ électrique interne est créé entre ces deux couches à cause de leurs caractéristiques différentes. Ces deux couches sont obtenues en dopant le silicium très pur avec des traces d'autres éléments. Un dopage p correspond à l'adjonction d'atomes de bore dans la structure atomique du silicium, le dopage n à l'adjonction d'atomes de phosphore. Dans la zone entre les deux couches de silicium à dopages différents, se forme le champ électrique. Lorsque la lumière tombe sur cette cellule, des paires de porteurs de charge sont formées (des trous positifs et des électrons négatifs). Si les paires de porteurs réussissent à atteindre le champ électrique sans se neutraliser réciproquement, elles seront séparées par le champ électrique. Les électrons se dirigeront vers la surface de la couche dopée n, où ils seront rassemblés par la grille de contact métallique et continueront dans le circuit extérieur. Les trous se dirigeront vers la surface de la couche dopée p et seront conduits également dans le circuit extérieur par la plaque de contact arrière de la cellule donnant naissance à une différence de potentiel. [12]

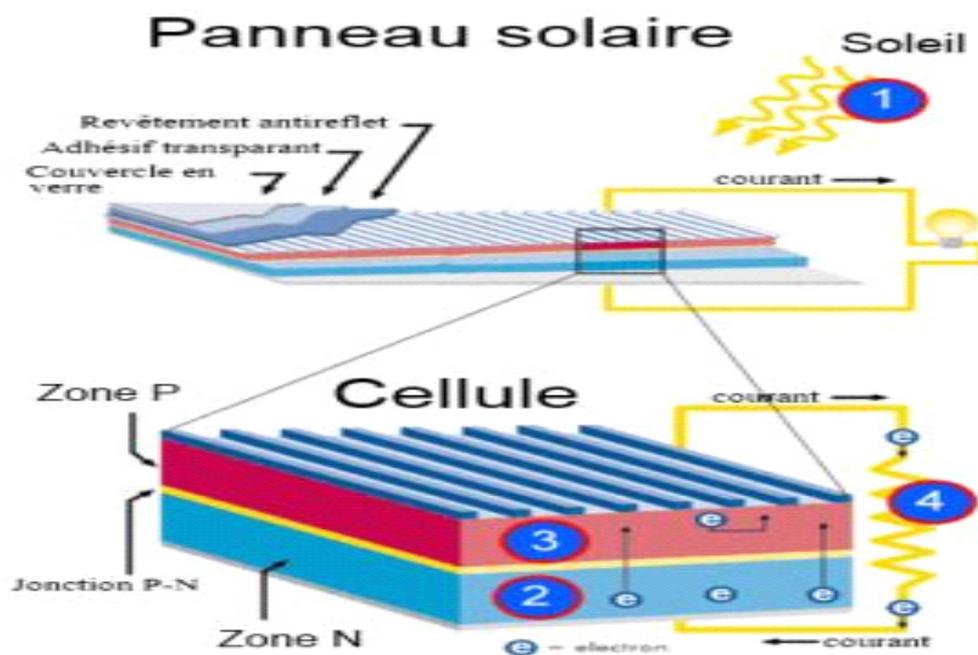


Figure 1-5 : Décomposition d'un panneau solaire.

Figure1-5 : [13]

1.6. Les différents types des cellules photovoltaïques :

Il existe différents types des cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellules est caractérisé par un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8% à 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. Actuellement, il existe trois principaux types de cellules à savoir. [14]

1.6.1. Silicium monocristallin :

Les cellules en silicium monocristallin représentent la première génération des générateurs photovoltaïques. Pour les fabriquer, on fond du silicium en forme de barreau. Lors d'un refroidissement lent et maîtrisé, le silicium se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme. Durée de vie : 20 à 30 ans

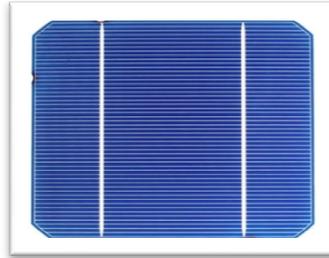


Figure 1-6 :Silicium monocristallin.

1.6.1.1. Avantage :

- bon rendement, de (12% à 18%).
- bon ratio Wc/m² (environ 150 Wc/m²) ce qui permet un gain de place si nécessaire
- nombre de fabricants élevé

1.6.1.2. Inconvénients :

- coût élevé
- rendement faible sous un faible éclairement.

1.6.2. Silicium poly cristallin :

(Multi cristallin) Pendant le refroidissement du silicium dans une lingotière, il se forme plusieurs cristaux. La cellule photovoltaïque est d'aspect bleuté, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.

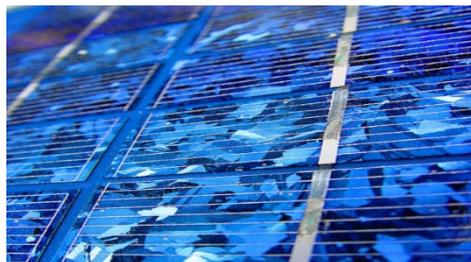


Figure 1-7 :Silicium poly cristallin.

1.6.2.1. Avantage :

- cellule carrée (à coins arrondis dans le cas du Si monocristallin) permettant un meilleur foisonnement dans un module.
- moins cher qu'une cellule monocristalline
- Ce sont les cellules les plus utilisées pour la production électrique (meilleur rapport qualité-prix). Durée de vie : 20 à 30 ans.

1.6.2.2. Inconvénient :

- moins bon rendement qu'une cellule monocristalline : 11 à 15%.
- ratio Wc/m² moins bon que pour le monocristallin (environ 100 Wc/m²).
- rendement faible sous un faible éclairement.

1.6.3. Silicium amorphe :

Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites «solaires».



Figure 1-8 :Silicium amorphe

1.6.3.1. Avantage :

- fonctionne avec un éclairement faible ou diffus (même par temps couvert) .
- un peu moins chère que les autres technologies.
- intégration sur supports souples ou rigides.

1.6.3.2. Inconvénients :

- rendement faible en plein soleil, de 6% à 8%
- nécessité de couvrir des surfaces plus importantes que lors de l'utilisation de silicium cristallin (ratio Wc/m² plus faible, environ 60 Wc/m²).
- performances qui diminuent avec le temps (environ 7%). [15]

1.7. Caractéristiques électriques d'une cellule :

1.7.1. Caractéristiques (courant / tension):

A température et éclairement fixés (25°, 1000 W), la caractéristique (courant / tension) d'une cellule a l'allure suivante :

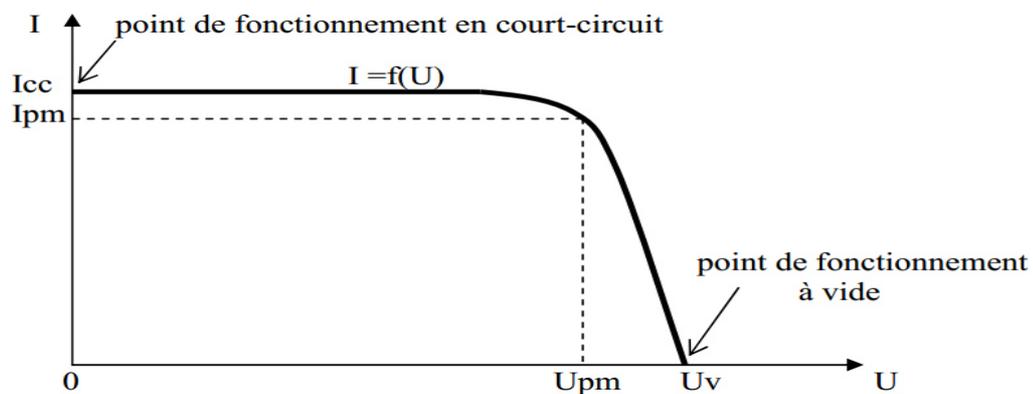


Figure 1-9 :Caractéristique (courant / tension).

Sur cette courbe, on repère :

- Le point de fonctionnement à vide : U_v pour $I = 0A$.
- Le point de fonctionnement en court-circuit : I_{cc} pour $U = 0V$.

Pour une cellule monocristalline de (10x10cm), les valeurs caractéristiques sont :

$I_{cc} = 3A$ et $U_v = 0,57V$ ($G = 1000W/m^2$ et $\theta = 25^\circ C$).

V_{oc} : tension circuit ouvert (Open Circuit) indique la tension présente aux bornes du panneau quand il n'est pas branché.

I_{cc} : courant de court-circuit (Shorted Circuit) indique le courant max que peut délivrer le panneau.

1.7.2. Caractéristiques (puissance / tension) :

La puissance délivrée par la cellule a pour expression $P = U \cdot I$.

Pour chaque point de la courbe précédente, on peut calculer la puissance P et tracer la courbe

$P = f(U)$.

Cette courbe a l'allure montrée dans la figure 1-10.

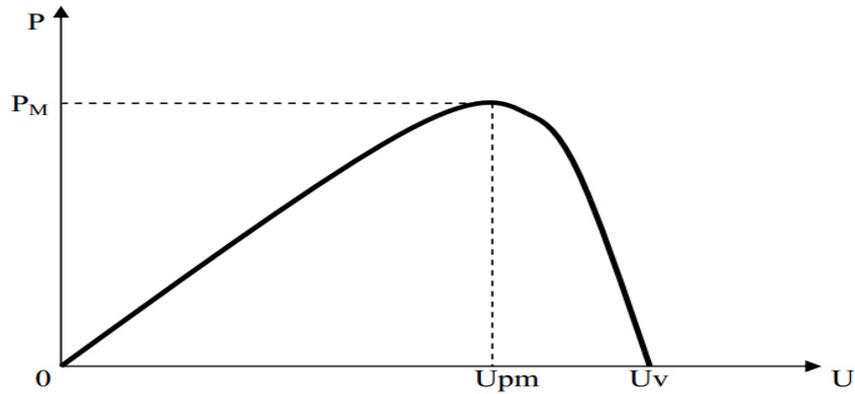


Figure 1-10 :Caractéristique (puissance / tension).

Cette courbe passe par un maximum de puissance (PM).

A cette puissance correspond, une tension U_{pm} et un courant I_{pm} que l'on peut aussi repérer sur la courbe $I = f(U)$.

Pour une cellule monocristalline de (10x10cm), les valeurs caractéristiques sont :

$PM = 1,24W$; $U_{pm} = 0,45V$; $I_{pm} = 2,75A$; ($G = 1000W/m^2$ ET $\theta = 25^\circ C$).

1.7.3. Influence de l'éclairement :

A température constante (25°), la caractéristique $I = f(U)$ dépend fortement de l'éclairement :

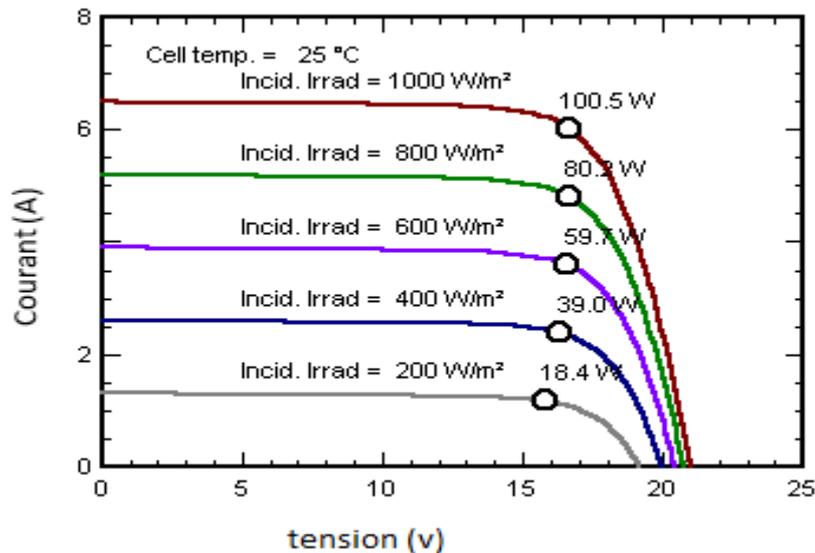


Figure 1-11 :Influence de rayonnement sur la caractéristique (I-V)

Sur cette courbe on remarque que le courant de court-circuit augmente avec l'éclairement alors que la tension à vide varie peu.

A partir de ces courbes, on peut tracer les courbes de puissance $P = f(U)$:

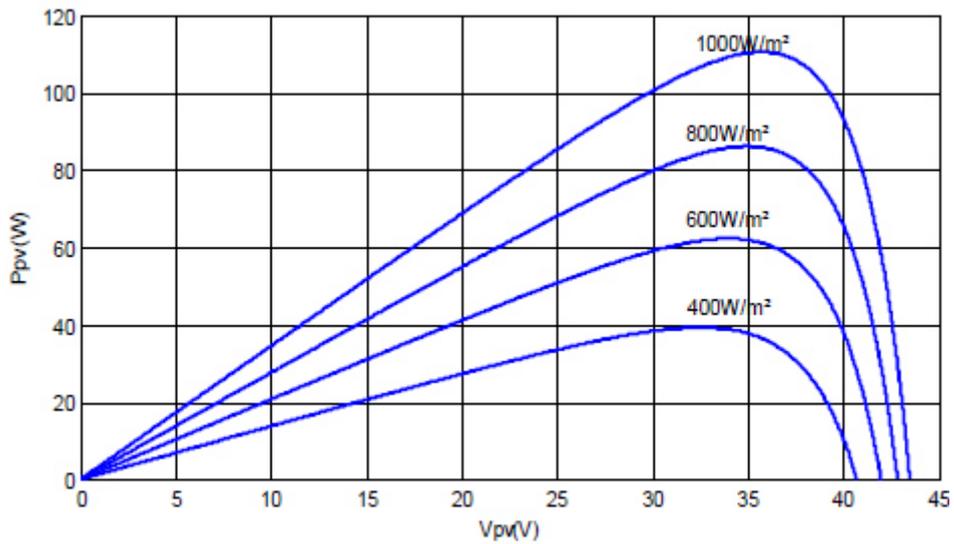


Figure 1-12 : Influence de rayonnement sur la caractéristique (P-V).

Sur ces courbes, on remarque que la puissance maximum délivrée par la cellule augmente avec l'éclairement.

1.7.4. Influence de la température:

Pour un éclairement fixé (1000 w/m^2). Les caractéristiques $I = f(U)$ et $P = f(U)$ varient avec la température de la cellule photovoltaïque :

Comme nous l'avons expliqué précédemment, la base des cellules photovoltaïques est une jonction PN. Ceci nous laisse envisager que son rendement variera selon la température de la jonction.

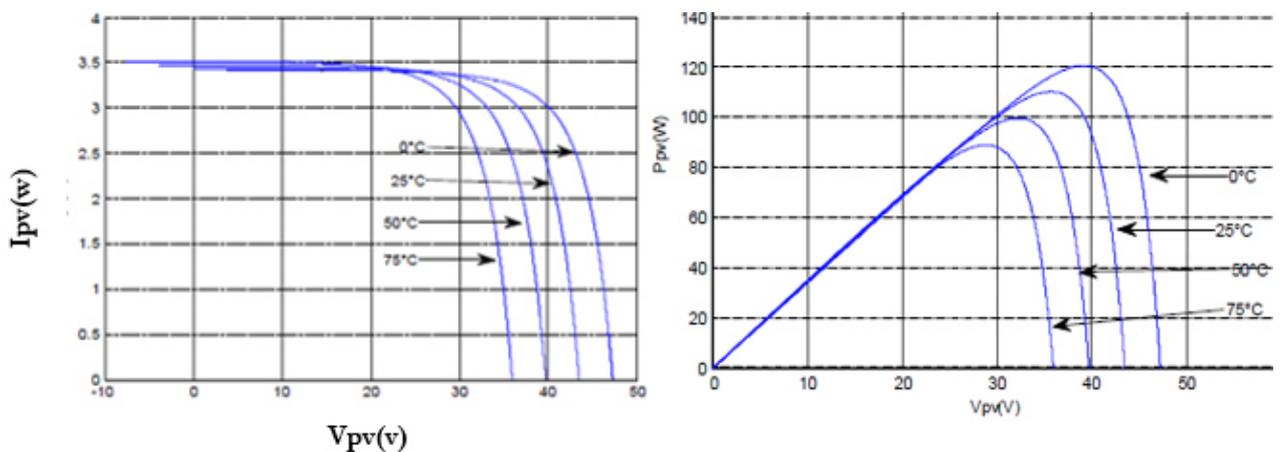


Figure 1-13 : Influence de température sur la caractéristique (I-V)et (P-V).

Figure 1-13 : **Influence de température sur la caractéristique (I-V)et (P-V).** La courbe (a) montre que la tension à vide d'une cellule solaire diminue avec l'augmentation de la température de la cellule. Le courant de court-circuit, par contre, augmente légèrement avec la température de la cellule. [1]

Même chose remarquée sur la courbe de puissance(b).

En effet, l'augmentation de la température se traduit par une diminution de la puissance maximale disponible.

1.7.5. Définition de la puissance de crête :

Par définition, la puissance de crête représente la puissance maximum fournie par une cellule lorsque l'éclairement $G = 1000\text{W/m}^2$, la température $\theta = 25^\circ\text{C}$ et une répartition spectrale du rayonnement dit AM 1,5. L'unité de cette puissance est le Watt crête, noté WC. Les constructeurs spécifient toujours la puissance de crête d'un panneau photovoltaïque. Cependant, cette puissance est rarement atteinte car l'éclairement est souvent inférieur à 1000W/m^2 et la température des panneaux en plein soleil dépasse largement les 25°C . [16]

1.8. Le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque :

Est souvent présentée comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant shuntée par une diode. Pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, le modèle est complété par deux résistances série R_s et R_{sh} comme le montre le schéma équivalent de la figure suivant. [17]

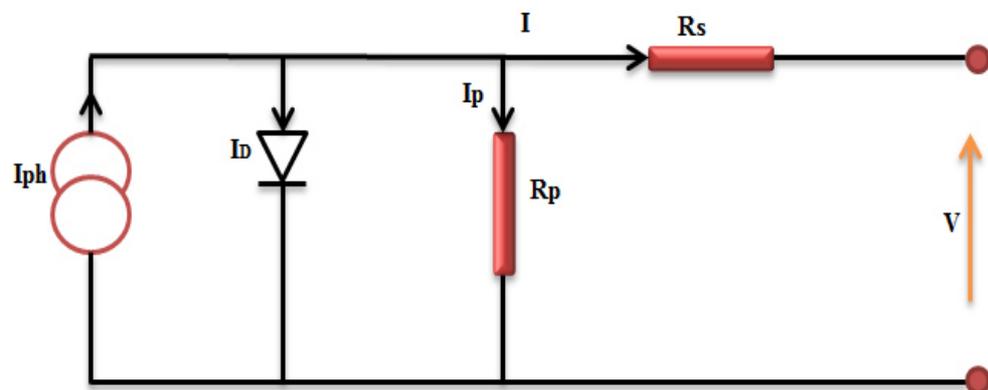


Figure 1-14 : Schéma équivalent de cellule PV.

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

1.9. Association des cellules :

1.9.1. Association série :

Les tensions de circuit ouvert de N_S modules peuvent être différentes mais le courant de court-circuit qui les traverse est le même. La tension de l'ensemble est égale à la somme des tensions de circuit ouvert. Figure 1-15 : Association en série de N_s cellules solaires.

$$V = N_S \cdot V_i$$

V_i : tension fournie par une cellule

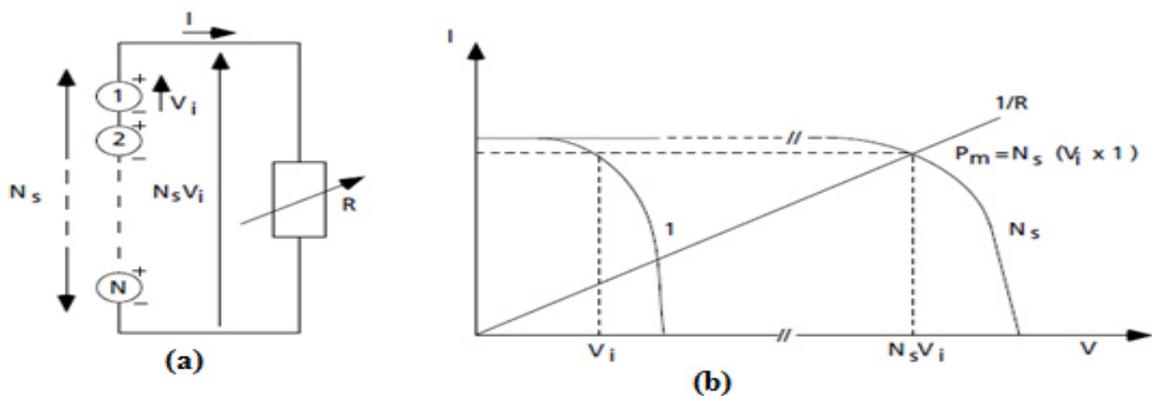


Figure 1-15 : Association en série de N_s cellules solaires

1.9.2. Association parallèle :

Dans un tel montage, les modules ont la même tension de circuit ouvert et des courants de court-circuit différents, on aura donc un courant égal à la somme des courants de chaque module alors que la tension sera celle du module Figure 1-16 : Association en parallèle de N_p cellules solaires identiques.

$$I = N_P \cdot I_i$$

I_i : courant fourni par une cellule.

Donc c'est le courant qui augmente.

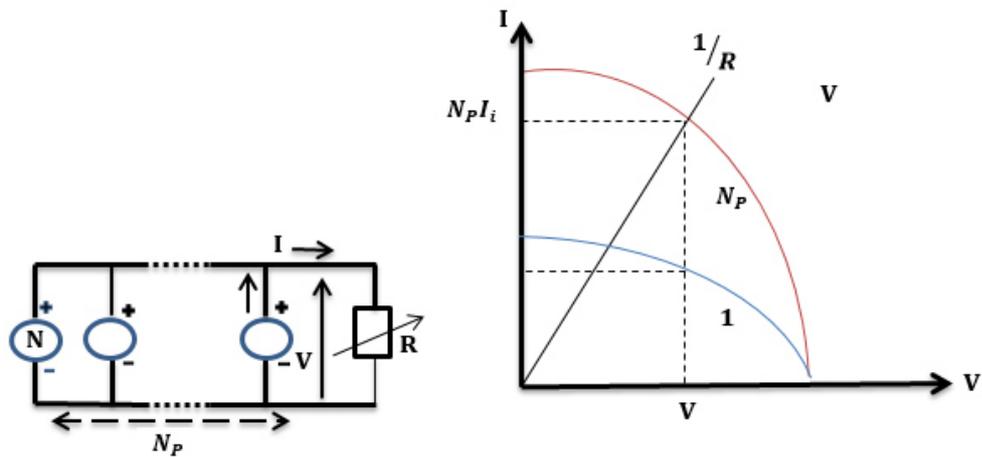


Figure 1-16 : Association en parallèle de N_p cellules solaires identiques.

1.9.3. Association mixte :

Pour atteindre une puissance importante, il faut associer plusieurs cellules en série et en parallèle. Cette interconnexion des modules forme un module photovoltaïque.

1.10. Orientation et inclinaison des panneaux photovoltaïques fixes :

Dans l'hémisphère sud, il faut orienter les panneaux fixes vers le nord pour capter les rayons du soleil tout au long de l'année. Cette orientation générale n'est pas suffisante. Il faut aussi préciser l'inclinaison optimum des panneaux par rapport à la surface du sol. A Nouméa, pour recueillir le maximum d'énergie cumulée sur une année, l'angle optimum est de 18° . Ce cas correspond à un site raccordé au réseau.

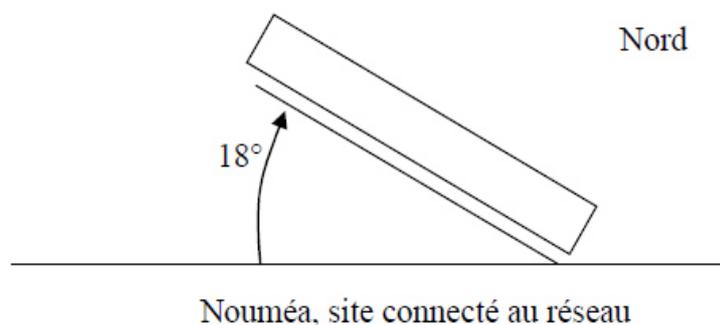


Figure 1-17 : Inclinaison optimale de panneau.

Pour un site isolé, le but est de recueillir le maximum d'énergie en hiver. Dans ce cas, l'inclinaison optimum est de 35° à Nouméa.

En pratique, les toitures qui supportent les panneaux sont rarement orientées plein nord avec une inclinaison optimum. Dans ce cas, l'énergie solaire captée est plus faible.[15]

1.10.1. Orientation et inclinaison d'une surface :[18]

1.10.1.1. Azimute α :

C'est l'angle que fait la projection du soleil sur le plan horizontal avec la direction du Sud et il désigne l'orientation de la surface de telle sorte que :

$\alpha = -90^\circ$ pour une orientation Est.

$\alpha = 0$ pour une orientation Sud.

$\alpha = 90^\circ$ pour une orientation Ouest.

$\alpha = 180^\circ$ pour une orientation Nord.

1.10.1.2. Angle d'inclinaison β .

C'est l'angle que fait la surface avec le plan horizontal. L'inclinaison de la surface est désignée par la variable β , choisie de telle sorte que :

$\beta = 0$ pour une surface horizontale

$\beta = 90^\circ$ pour un plan vertical

$\beta = 180^\circ$ pour un plan horizontal tourné vers le bas.

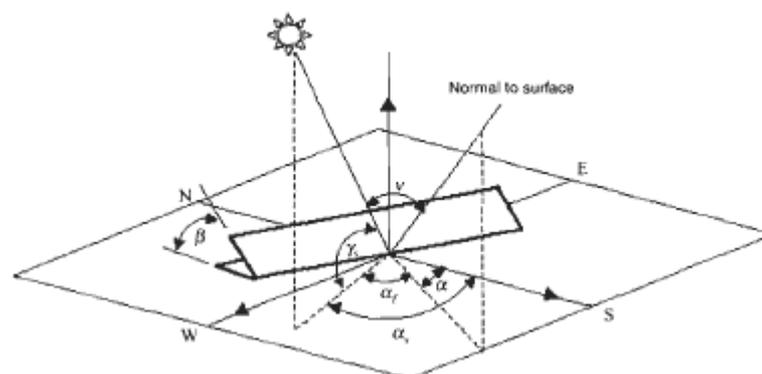


Figure 1-18 : Orientation et inclinaison d'une surface.

1.11. Classification des systèmes photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques sont classés en trois types : autonomes, hybrides et reliés au réseau. Le type de systèmes dépend des besoins, de l'emplacement et du budget. Les systèmes autonomes sont complètement indépendants d'autres sources d'énergie. Ils servent habituellement à alimenter les maisons, les chalets ou les camps dans les régions éloignées ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau. Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries d'accumulateurs pour stocker l'énergie. Les puissances photovoltaïques installées dans ce type de systèmes électriques s'étendent de 50 WC à 1 KWC pour une maison solaire ou un relais de télécommunications, de 1 à quelques KWC pour les phares et balises ou les stations de pompage d'eau.

Le deuxième type est représenté par les systèmes hybrides qui reçoivent une partie de leur énergie d'une ou de plusieurs sources supplémentaires. En pratique, les modules de systèmes photovoltaïques sont souvent alliés à une éolienne ou à une génératrice à combustible. Ces systèmes sont destinés à alimenter un unique usager ou une petite communauté dans le cas d'un village isolé et peuvent même atteindre en termes de puissance installée quelques dizaines de kWc. De tels systèmes ont habituellement des accumulateurs de stockage d'énergie.

Le troisième type représente les systèmes raccordés au réseau permettent de réduire la consommation d'électricité provenant du service public et, dans certains cas, de lui renvoyer l'énergie excédentaire. Étant donné que l'énergie est normalement emmagasinée dans le réseau même, les accumulateurs ne sont pas nécessaires. Les systèmes raccordés au réseau sont rarement économiques, surtout parce que le coût actuel de la technologie PV est beaucoup plus élevé que celui de l'énergie traditionnelle. [15]

1.12. Avantages et Inconvénients de l'Énergie Photovoltaïque :

En tant que source d'énergie électrique, un système photovoltaïque offre des avantages mais aussi des inconvénients.

1.12.1. Avantage :

- Les installations photovoltaïques sont en général de haute fiabilité, peu sujettes à l'usure, elles demandent peu d'entretien.
- Le montage des installations photovoltaïques est simple et les installations sont adaptables aux besoins de chaque projet.

- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple des installations éoliennes.
- Il s'agit d'une source d'énergie inépuisable.
- L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets.

1.12.2. Inconvénients :

- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles et de l'ordre de 23.4 %.
- Dans le cas d'une installation photovoltaïque autonome qui ne revend pas son surplus d'électricité au réseau, il faut inclure des batteries dont le coût reste très élevé.
- Le niveau de production d'électricité n'est pas stable et pas prévisible mais dépend du niveau d'ensoleillement. De plus, il n'y a aucune production d'électricité le soir et la nuit.
- La durée de vie d'une installation photovoltaïque n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans. De plus, le rendement des cellules photovoltaïques diminue avec le temps qui passe. On parle en général pour les panneaux photovoltaïques, d'une perte de rendement de 1 % par ans. [19]

1.13. Les systèmes photovoltaïques avec batterie :

Un système photovoltaïque avec batterie peut être comparé à une charge alimentée par une batterie qui est chargée par un générateur photovoltaïque.

Il comprend généralement les composantes de base suivantes :

- le champ de modules PV charge la batterie en période d'ensoleillement;
- la batterie alimente la charge et assure un stockage de l'énergie électrique
- la diode anti-retour évite la décharge de la batterie à travers les modules PV en période d'obscurité ;
- le régulateur de charge protège la batterie contre la surcharge de l'énergie produite par le champ de modules PV et inclut habituellement une protection contre les décharges profondes de la batterie

Chaque composante du système doit être dimensionnée en fonction des contraintes techniques du système. [5]

1.13.1. Les caractéristiques de ces composants:

Doivent être bien comprises pour déterminer la plage de fonctionnement du système. Ainsi, en étudiant les courbes (I-V) du champ de modules, de la batterie et de la charge, nous constatons rapidement que, peu importe l'énergie fournie par le module, la tension du système sera imposée par la batterie.

En effet, si nous étudions la liaison modules PV-batteries, le point de fonctionnement du champ de modules est déterminé par l'intersection des deux courbes représentant la courbe de charge de la batterie et la courbe de fonctionnement (I-V) du champ de modules à différents ensoleillements. En approximant la tension de charge de la batterie comme une constante en dehors des courtes périodes de début et de fin de charge, une bonne adaptation sera obtenue lorsque la courbe de charge de la batterie sera dans la zone des puissances optimales du module sous différents ensoleillements.

Prenant en compte les pertes dues au câble, à l'échauffement des cellules, à une diode de protection et à la batterie elle-même, un module aura normalement besoin de 36 cellules pour charger une batterie de 12 volts. [5]

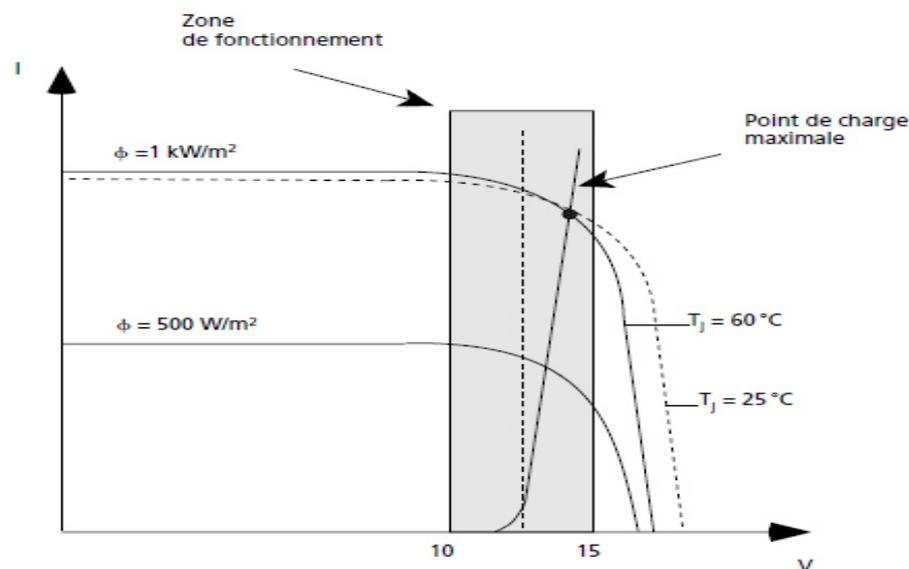


Figure 1-19 : Courbe I-V d'un module de 50 Wc et d'une batterie de 12 volts.

La tension correspondant aux points de puissance maximale

(14,5 volts à 60 °C) est égale à la chute de tension dans les câbles et de la diode (0,8-1,0 volt) additionnée à la tension de fin de charge de la batterie (13,5volts pour une batterie au plomb-acide).

Une batterie stockant l'électricité produite par vos panneaux solaires photovoltaïques peut être un bon moyen pour y parvenir.

Il n'est cependant pas facile de s'y retrouver entre les différents types de batteries, les capacités de stockage, les tensions...etc.

Les batteries solaires sont adaptées au cycle quotidien et à la charge lente par panneaux solaires. Leur durée de vie est considérablement augmentée si la profondeur de décharge quotidienne reste comprise entre 15% et 25% de la capacité totale.[20]

1.13.2. LES BATTERIES :

La batterie sert à stocker l'énergie produite par le champ de modules PV. Il y a nécessité de stockage chaque fois que la demande énergétique est décalée dans le temps vis-à-vis de l'apport énergétique solaire.

La demande énergétique est fonction de la charge à alimenter, les appareils utilisés fonctionnent soit en continu, soit à la demande ;

L'apport énergétique solaire est périodique (alternance jour/nuit, été/hiver) et aléatoire (conditions météorologiques).

Ce décalage entre la demande et l'apport énergétique nécessite un stockage d'électricité. Le système tampon utilisé le plus couramment pour les systèmes photovoltaïques est la batterie d'accumulateurs électrochimiques. Elles permettent le stockage de l'électricité pour les systèmes isolés.

Dans un système photovoltaïque, la batterie remplit trois fonctions importantes :

- **Autonomie** : Une batterie permet de répondre aux besoins de la charge en tout temps, même la nuit ou par temps nuageux.
- **Courant de surcharge** : Une batterie permet de fournir un courant de surcharge pendant quelques instants, c'est-à-dire un courant plus élevé que celui que peut fournir le champ PV. Ceci est nécessaire pour faire démarrer les moteurs et les autres appareils requérant un courant de démarrage de 3 à 5 fois supérieur au courant d'utilisation.
- **Stabilisation de la tension** : Une batterie permet de fournir une tension constante, en éliminant les écarts de tension du champ PV et en permettant aux appareils un fonctionnement à une tension optimisée. [5]

Il existe différents types de batteries, on peut citer :[21]

- La batterie plomb acide.
- La batterie nickel cadmium.
- La batterie sodium chlorure de nickel.

- La batterie lithium-ion.
- La batterie zinc air.

1.13.3. Les différents types de batteries :

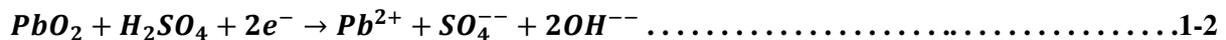
1.13.3.1. La Batterie au plomb-acide :

L'accumulateur au **plomb-acide** contient une plaque positive, ou cathode, faite d'oxyde de plomb (PbO₂), et une plaque négative, ou anode, faite de plomb. Ces plaques sont immergées dans un électrolyte, l'acide sulfurique dilué. Quand une charge est connectée entre les deux plaques, l'oxyde de plomb de la plaque cathodique et le plomb de la plaque anodique sont convertis en sulfate de plomb en réaction avec l'acide sulfurique de l'électrolyte. Cette réaction amène un flux d'électrons entre les deux plaques au travers du circuit externe. La réaction chimique réversible est la suivante:[5]

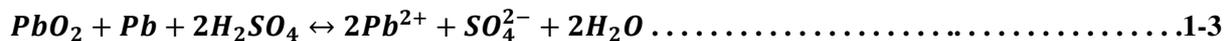
La réaction chimique au niveau de l'anode :



La réaction chimique au niveau de la cathode :



La réaction globale en partant des produits chimiques PbO₂, Pb, et H₂SO₄ est la suivante:



Cela se passe pendant la décharge et pour la charge ça se fait en sens inverse La tension de ce type d'accumulateur est voisine de 2V.[22]

À mesure que la batterie se décharge, la concentration en eau dans l'électrolyte augmente et la concentration d'acide diminue. Un accumulateur au plomb-acide déchargé pendant une longue période de temps peut être endommagée de façon permanente parce que les cristaux de sulfate de plomb qui se forment sur les plaques durant la décharge peuvent devenir trop importants et empêcher leur reconversion en plomb ou en dioxyde de plomb. De plus, parce que les cristaux de sulfate de plomb sont plus gros, ceux-ci peuvent altérer la structure des plaques, causant une perte du matériau actif, du court-circuit et des dommages physiques à la batterie.

La recharge de l'accumulateur est effectuée en fournissant un courant continu en direction opposée au courant de décharge sur les plaques. Cette réaction inverse produit de l'acide sur les plaques qui est alors retourné dans l'électrolyte. La densité de l'électrolyte (g/litre) varie donc selon l'état de

charge de la batterie. Figure 1-20 : Etat de charge d'une batterie au plomb-acide selon la densité de l'électrolyte et sa tension durant la décharge et la charge. [5]

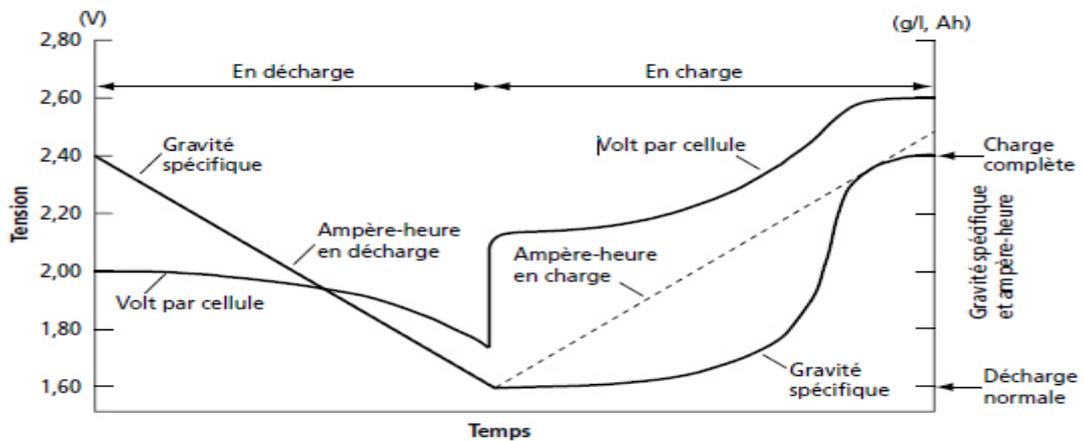


Figure 1-20 : Etat de charge d'une batterie au plomb-acide selon la densité de l'électrolyte et sa tension durant la décharge et la charge.

Un accumulateur au plomb-acide a une tension nominale de 2,0 volts.

Une batterie d'accumulateurs réunit habituellement 3, 6 ou 12 accumulateurs en série, selon qu'elle fournit une tension nominale de 6, 12 ou 24 volts. La tension réelle de fonctionnement de chaque élément varie de 1,75 à 2,45 volts, selon la densité relative de l'électrolyte et la composition précise des plaques.

Les décharges trop profondes peuvent conduire à une perte irréversible de capacité.

si la charge se poursuit trop longtemps, la tension peut atteindre une valeur de seuil à partir de laquelle on assiste à la décomposition de l'eau (électrolyse) en dioxygène O_2 gazeux à l'électrode positive et en dihydrogène H_2 gazeux à l'électrode négative. [22]

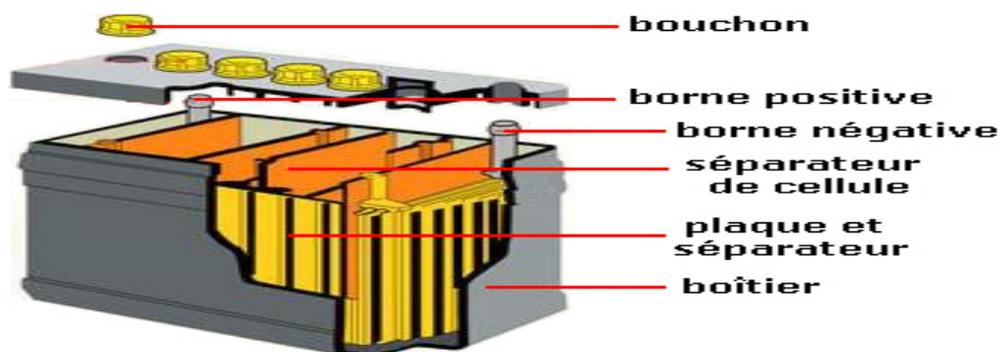


Figure 1-21 : Détails d'une batterie au plomb-acide de 12 volts.

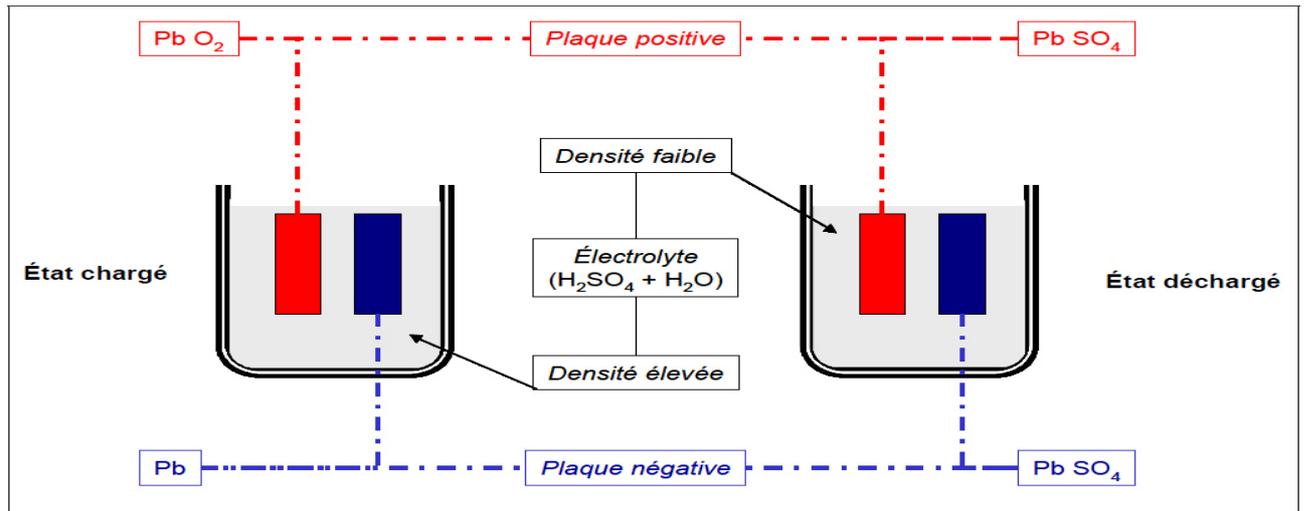


Figure 1-22 : Principe de fonctionnement d'un accumulateur plomb / acide.

Les Premières batteries le plus utilisées sur le marché ont été les batteries plomb acide dont plusieurs améliorations les rendent encore compétitives. Étant disponible sur une plage de puissance très étendue, ces batteries peuvent être utilisées dans une large variété d'application. [23].



Figure 1-23 : batteries plomb acide.

Certaines batteries au plomb-acide, dites scellées, utilisent soit une matière absorbante entre les électrodes pouvant absorber l'électrolyte, mais favorisant le transfert d'oxygène de la plaque positive à la plaque négative lors de surcharge (AGM ou Absorbant Glass Mat), soit un électrolyte en gelée (Gel Cells). Dans les deux cas, ceci facilite le transport et la manutention des accumulateurs et diminue leur entretien. Ces batteries utilisent généralement une plaque négative plus épaisse afin de favoriser la production d'oxygène plus rapidement sur la plaque positive. Ce gaz sera ensuite favorisé à migrer vers la plaque négative, qui réagira pour former du sulfate de plomb de l'eau.

1.13.4. Caractéristiques générales des batteries :

Les accumulateurs destinés aux installations photovoltaïques doivent avoir les qualités suivantes :

- être robustes
- avoir un bon rendement de charge et de décharge
- avoir une faible résistance interne
- avoir un taux d'autodécharge faible
- Maintenance réduite
- posséder une grande réserve d'électrolyte
- avoir une durée de vie importante
- être aptes aux Cyclades (on entend par cycle, la décharge de la batterie, quel que soit la profondeur de décharge, suivie d'une recharge.

1.13.5. Les avantages et Inconvénients pour les quatre types des batteries :

Tableau 1-1 : Avantage et inconvénient pour quatre types des batteries.

Type de la batterie	Avantages	Inconvénients
Plomb (Pb)	<ul style="list-style-type: none"> - Prix bas - Solides - Capables de fournir des courants élevés - Eléments standards trouvables n'importe où dans le commerce. - Facilité de mise en œuvre. - Sans effet mémoire (c'est à dire qu'on peut les recharger quand on veut, à n'importe quel niveau de décharge) - Souplesse d'utilisation - Excellent rapport prix/durée de vie (3/4 ans) - Ne pollue pas si bien recyclé 	<ul style="list-style-type: none"> - Densité d'énergie - Poids - Autodécharge (1% par jour environ) - Sensibles aux températures négatives (perte d'autonomie jusqu'à - 25% à -10°C) - Risque de cristallisation de sulfate de Pb si laissée trop longtemps déchargée et donc perte de capacité irréversible.
Nickel Cadmium (Ni – Cd)	<ul style="list-style-type: none"> - Aptes à supporter de grands courants de charge et décharge grâce à leurs faibles résistances internes. - Faible coût - Solidité mécanique et électrique - Recharge facile et grande tolérance face aux surcharges 	<ul style="list-style-type: none"> - Effet mémoire - Densité énergétique moyenne - Recyclage compliqué à cause du cadmium qui est un métal lourd et polluant.
Nickel Métal	<ul style="list-style-type: none"> - Bonne densité d'énergie - Supporte des courants importants car 	<ul style="list-style-type: none"> - Fragile car ne supportent pas la surcharge, nécessitant par

Hydride (Ni-mh)	résistance interne faible (les Ni-cd gardent cependant l'avantage dans ce domaine). - Simples à stocker et à transporter. - Ne pollue pas si bien recyclé.	conséquent l'usage de chargeurs automatiques performants et coûteux - Détection de fin de charge difficile - Durée de vie faible - Auto-décharge importante. - Technologie dépassée.
Lithium (Lit-ion)	- Densité énergétique très élevée grâce aux propriétés physiques du lithium - Autodécharge très faible (5% par mois) - Aucun effet mémoire - Poids - Agrément d'utilisation - Accepte un nombre de cycles important (jusqu'à 1500 pour les meilleures) - Faible résistance interne	- Prix très élevé - Nécessite un circuit de protection sérieux (B.M.S. et P.C.M.) pour gérer la charge et la décharge afin d'éviter la destruction des éléments... coûteux - Usure même en cas de non utilisation

1.14. Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque pour l'irrigation.

De nos jours, la demande d'eau est de plus en plus très importante, en particulier dans les zones rurales et isolés où l'accès à l'énergie classique est difficile, la majorité de ces régions sont très ensoleillées et l'eau est disponible dans les nappes souterraines c'est le même cas de l'Algérie, le pompage d'eau à l'aide de l'énergie solaire photovoltaïque constitue une solution pratique et économique au problème du manque d'eau, le dimensionnement est une étape indispensable dans l'optimisation des systèmes à énergies renouvelables, dans ce travail nous présentons une méthodologie d'optimisation du dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque basée sur deux critères: le premier de fiabilité basé sur le concept de la probabilité de perte d'énergie et le critère de coût basé sur le coût de cycle de vie.

Les techniques de pompes photovoltaïque Pour pomper l'eau avec un système photovoltaïque, il y-a deux méthodes sont possibles : La première méthode consiste à utiliser un stockage de l'énergie via des batteries. L'énergie stockée durant la journée peut être utilisée plus tard pour pomper l'eau. Dans la deuxième technique, l'énergie solaire est consommée en temps réel, on parle alors d'un «pompage au fil du soleil». Cette solution nécessite, cette fois-ci, un

stockage de l'eau dans un réservoir (l'eau pompée pendant la journée est stockée afin d'être utilisée plus tard, exemple le soir). [14]

1.14.1. Types des pompes:

Les pompes à eau sont habituellement classées selon leur principe de fonctionnement et se divisent en deux catégories principales : elles sont soit de type volumétrique ou bien de type centrifuge. Outre ces deux classifications que nous décrirons plus loin, on distingue également deux autres types de pompes en fonction de l'emplacement physique de la pompe par rapport à l'eau pompée : pompe à aspiration et pompe à refoulement. La hauteur d'aspiration de n'importe quelle pompe est limitée à une valeur théorique de 9,8 mètres (pression atmosphérique en mètres d'eau) et dans la pratique à 6 ou 7 mètres.

Les pompes à aspiration sont donc toujours installées à une hauteur inférieure à celle-ci. Ces pompes doivent également être amorcées, c'est-à-dire que la section en amont de la pompe doit être remplie d'eau pour amorcer l'aspiration d'eau. Les pompes à refoulement sont immergées dans l'eau et ont soit leur moteur immergé avec la pompe (pompe monobloc), soit le moteur en surface et la transmission de puissance se fait alors par un long arbre reliant la pompe au moteur. Dans les deux cas, une conduite de refoulement après la pompe permet des élévations de plusieurs dizaines de mètres, selon la puissance du moteur. [24] [5]

1.14.1.1. La pompe volumétrique:

La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va-et-vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement. Une pompe volumétrique comporte toujours une pièce mobile dans une pièce creuse qui déplace le liquide en variant le volume contenu dans la pièce creuse. Le principal intérêt des pompes volumétriques est de pouvoir véhiculer un fluide sous de très fortes pressions. Le débit d'eau d'une pompe volumétrique est proportionnel à la vitesse du moteur. Mais son couple varie essentiellement en fonction de la hauteur manométrique totale (HMT) et pratiquement constant en fonction de la vitesse de rotation du moteur. Le couple de démarrage est donc pratiquement indépendant du débit et sera proportionnel à la HMT.

Les pompes volumétriques fonctionnent en deux temps : remplissage puis vidange d'un volume de liquide, d'où leur appellation. Elles permettent des pressions importantes pour des débits relativement faibles et nécessitent un moteur qui a un couple de démarrage important. Une pompe

volumétrique permet en général d'aspirer l'air contenu dans la tuyauterie, on dit alors qu'elle est auto-amorçant [24].

La multitude des différents modes de fonctionnement les classe en deux catégories : les pompes alternatives et les pompes rotatives. La plus connue des pompes alternatives est la pompe à piston .Elle comporte une soupape d'admission et une soupape d'échappement, le pompage se fait en deux temps : aspiration puis refoulement, et le débit n'est pas régulier. Dans les pompes rotatives, le débit est régulier (pompes à engrenages, à lobes, à palettes).



Figure 1-24 : pompe volumétrique.

Constitution :

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté.

On distingue généralement les pompes volumétriques rotatives et les pompes volumétriques alternatives.

a. *Les pompes volumétriques rotatives :*

Ces pompes sont constituées par une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe, qui tourne dans le corps de la pompe et crée le mouvement du liquide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement.

Ces pompes se subdivisent en :

- Pompes à palettes
- Pompes à engrenages
- Pompes à rotors hélicoïdaux excentrés
- Pompes péristaltiques

b. *Les pompes volumétriques alternatives :*

La pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif. On distingue :

- Les pompes à piston
- Les pompes doseuses

c. *Caractéristiques :*

Le débit d'eau d'une pompe volumétrique est proportionnel à la vitesse du moteur. Mais son couple varie essentiellement en fonction de la hauteur manométrique totale (HMT) et est pratiquement constant en fonction de la vitesse de rotation du moteur. Le couple de démarrage est donc pratiquement indépendant du débit et sera proportionnel à la HMT. La puissance consommée sera proportionnelle à la vitesse.

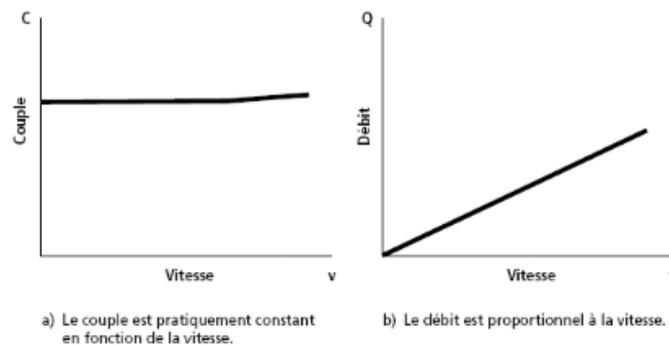


Figure 1-25 : courbes caractéristiques du couple en fonction de la vitesse (a) et du débit en fonction de la vitesse (b).

Le débit d'eau d'une pompe volumétrique est proportionnel à la vitesse du moteur. Mais son couple varie essentiellement en fonction de la hauteur manométrique totale (HMT) et est pratiquement constant en fonction de la vitesse de rotation du moteur.[5]

d. **Avantages des pompes volumétriques:**

- faible dépendance du débit de refoulement par rapport à la hauteur de refoulement; conviennent donc bien pour les pompes de dosage et pompes à injection
- adaptées aux pressions élevées à très élevées; seul un étage requis
- très bonne puissance d'aspiration, même avec une part gazeuse
- adaptées aux fortes viscosités (pâtes)
- débit de refoulement ajustable de manière très exacte et reproductible par le biais de la course et du nombre de courses
- alimentation cyclique possible

- bien adaptées aux faibles vitesses de rotation d'entraînement
- pour les pompes oscillantes, entraînement pneumatique, hydraulique ou électromagnétique direct possible

e. **Inconvénients des pompes volumétriques:**

- le principe de fonctionnement n'inclut pas de limitation de la pression, c'est pourquoi une soupape de sécurité ou soupape de limitation de la pression est requise.
- sur les pompes volumétriques oscillantes, un fonctionnement sans vibrations n'est possible qu'avec un complexe équilibrage des masses.
- les pompes volumétriques oscillantes ne sont pas bien adaptées aux vitesses de rotation élevées.
- sur les pompes volumétriques oscillantes, un débit de refoulement, et donc un amortisseur de pulsations sont requis.
- pour certains types, construction avec soupapes compliquée et propice aux pannes.
- davantage de pièces d'usure que sur les pompes centrifuges.

1.14.1.2. La pompe centrifuge :

Les principes des pompes centrifuges sont la technologie la plus utilisée dans les systèmes de pompage photovoltaïques qui transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou d'ailettes. L'eau entre au centre de la pompe et poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages. Afin d'augmenter la pression, donc la hauteur de refoulement, plusieurs étages d'aubages peuvent être juxtaposés sur le même arbre de transmission. Chaque étage fait passer l'eau à l'étage suivant en relevant la pression jusqu'à l'étage final, délivrant un volume d'eau à pression élevée. Ces pompes incluent les pompes submersibles avec moteur de surface ou submergé, les pompes flottantes et les pompes rotatives à aspiration.[25]

La pompe centrifuge est conçue pour une HMT relativement fixe.

Le débit de cette pompe varie en proportion de la vitesse de rotation du moteur. Son couple augmente très rapidement en fonction de cette vitesse et la hauteur de refoulement est fonction du carré de la vitesse du moteur. La vitesse de rotation du moteur devra donc être très rapide pour assurer un bon débit. La puissance consommée, proportionnelle à HMT, variera donc dans le rapport du cube de la vitesse.

On utilisera habituellement les pompes centrifuges pour les gros débits et les profondeurs moyennes ou faibles (10 à 100 mètres). Parce que le couple de démarrage est limité au couple de frottement de la pompe à vitesse nulle (qui est plus important qu'en rotation), la pompe requiert une vitesse minimale à une HMT donnée pour obtenir un débit de départ non nul. Le rendement de la pompe centrifuge est fonction du débit ; elle fonctionne de façon plus efficace à une certaine HMT et à une vitesse de rotation prédéterminée. Il est donc important de bien concevoir le dimensionnement de la pompe selon les conditions du terrain.

Les pompes centrifuges sont très utilisées pour les applications avec énergie photovoltaïque parce que le moteur peut fournir une vitesse de rotation rapide à peu près constante. De plus, l'exhaure de l'eau domestique se fait traditionnellement à partir de puits, à des profondeurs de 10 à 50 mètres, qui conviennent bien aux pompes centrifuges à étages multiples. Ces pompes peuvent également s'adapter à de petits forages, ce qui permet de capter les nappes phréatiques profondes qui ont souvent un niveau d'eau dynamique entre 30 et 100 mètres.[5]



Figure 1-26 : Les pompes centrifuges.

a. Caractéristiques de la pompe centrifuge immergée :

- Son diamètre est soit de 4" (95 mm), soit de 6" (142 mm). Le corps de pompe est en acier inoxydable, les roues et les diffuseurs étant soit en acier inoxydable, soit en matériau synthétique. Ces matériaux présentent une très bonne résistance à l'abrasion. Le corps d'aspiration est protégé par une crépine contre les grosses impuretés (> à 3mm). Un clapet anti-retour est intégré à la tête de pompe, qui est taraudée pour le raccordement au tuyau de refoulement. La lubrification est assurée par l'eau pompée.
- Le nombre d'étages est lié à la hauteur manométrique totale de refoulement.
- Le type d'aubage de chaque étage est lié à la puissance hydraulique à fournir pour la HMT nominale.

- Les rendements hydrauliques des pompes solaires sont élevés (utilisation de technologies de pointe). Ils sont de l'ordre de 55% à 60 % au point de fonctionnement nominal.
- La durée de vie peut être estimée entre 5 et 7 ans (elle est fortement liée à la qualité de l'eau).
- L'entretien courant consiste au nettoyage des étages (boue, sable, déchets si la pompe est installée dans un puits). La fréquence de celui-ci dépend de la qualité de l'eau pompée.[5]

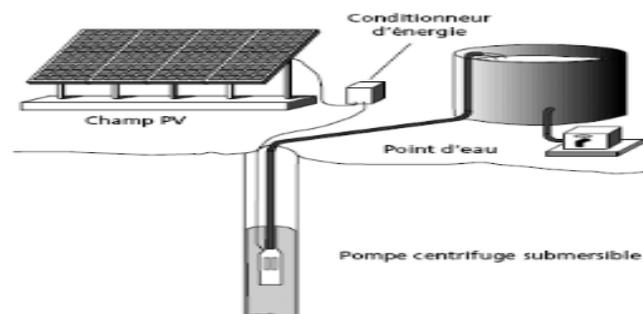


Figure 1-27 : Exemple d'installation avec une pompe centrifuge.

Constitution :

Une pompe centrifuge est constituée par :

- Une roue à aubes tournant autour de son axe.
- Un distributeur dans l'axe de la roue.
- Un collecteur de section croissante, en forme de spirale.

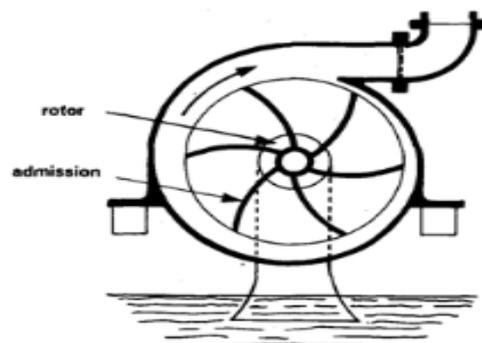


Figure 1-28 : Illustration d'une pompe centrifuge à volute.

Figure 1-28 : Illustration d'une pompe centrifuge à volute. Représente le type de pompe le plus courant, la pompe centrifuge à volute, généralement connue sous le nom simple de "pompe centrifuge". Elle comporte un carter en volute, communiquant avec un canal extérieur en forme de coquille d'escargot à section transversale graduellement variable. L'écoulement de l'eau à la sortie

du rotor se transforme en écoulement tangential dans ce canal où il sera ralenti progressivement. Ainsi l'eau sort tangentiellement et passe dans la conduite de refoulement à vitesse réduite et à forte pression.

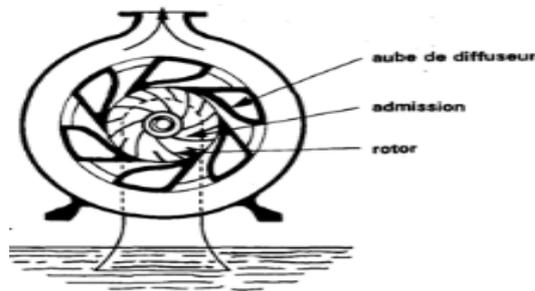


Figure 1-29 : Illustration d'une centrifuge à turbine.

Figure 1-29 : Illustration d'une centrifuge à turbine. Représente un autre type, à savoir la pompe dite "centrifuge à turbine" ou "turbo pompe". Elle comporte un diffuseur à aubes dont la section augmente progressivement (six dans le cas de la figure) afin de ralentir la vitesse de l'eau tout en augmentant sa pression. Pour la turbine représentée sur la figure, les filets liquides sont déviés à la sortie des aubes pour suivre une trajectoire moins tangentielle et plus radiale afin à faciliter son passage dans le canal entourant le diffuseur, à section constante avant de sortir à la partie supérieure.

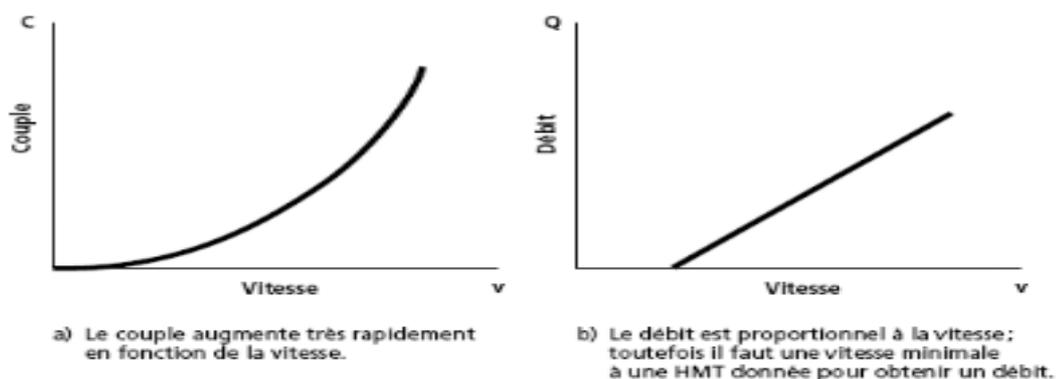


Figure 1-30 : Caractéristiques d'une pompe centrifuge a et b.

Les figures ci-dessus montrent les paramètres de fonctionnement de la vitesse en fonction du couple d'une part, et en fonction du débit d'autre part.

Ces pompes peuvent s'adapter à de petits forages, ce qui permet de capter les nappes phréatiques profondes qui ont souvent un niveau d'eau dynamique.

Selon le mode d'utilisation :

En fonction de l'emplacement physique de la pompe, nous distinguons : les pompes à aspiration et les pompes à refoulement.

1.14.1.3. Les pompes de surface :

La hauteur d'aspiration de n'importe quelle pompe est limitée à une valeur théorique de 9,8 mètres (pression atmosphérique en mètres d'eau) et dans la pratique à 6 ou 7 mètres. Les pompes à aspiration sont donc toujours installées à une hauteur inférieure à celle-ci. Ces pompes doivent également être amorcées, c'est-à-dire que la section en amont de la pompe doit être remplie d'eau pour amorcer l'aspiration d'eau.[26]



Figure 1-31 : Les pompes de surface.

1.14.1.4. Les pompes immergées :

Les pompes de refoulement sont immergées dans l'eau et ont soit leur moteur immergé avec la pompe (pompe monobloc), soit le moteur en surface ; la transmission de puissance se fait alors par un long arbre reliant la pompe au moteur. Dans les deux cas, une conduite de refoulement après la pompe permet des élévations de plusieurs dizaines de mètres, selon la puissance du moteur. [26]



Figure 1-32 : pompe immergée.

1.14.2. Le choix d'une pompe :

Se portera également sur sa capacité à répondre aux conditions variables du site. Nous avons vu que le débit d'une pompe volumétrique est moins affecté par la variation de la HMT alors que la pompe

centrifuge verra son débit diminuer rapidement à mesure que la HMT augmente. La hauteur de refoulement d'une pompe centrifuge est fonction du carré de la vitesse du moteur. À mesure que la HMT augmente, le rendement de la pompe diminue très rapidement ; le moteur devrait tourner beaucoup plus rapidement pour fournir un même débit.[26]

Dans le choix de la pompe se fera en fonction des caractéristiques hydrauliques de l'installation envisagée et une classification des pompes selon la hauteur manométrique totale et le débit demandé. Pour les HMT supérieures à 35 mètres et de faibles débits journaliers, la pompe volumétrique sera la plus utilisée mais, Pour des débits plus élevés, l'emploi d'une pompe centrifuge est souvent le seul choix possible.[5]

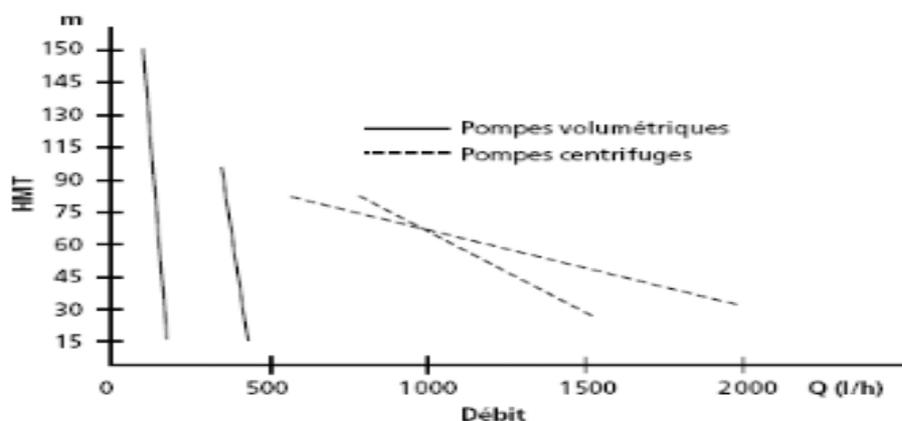


Figure 1-33 :Exemples de courbes débit - HMT pour quelques pompes.

1.14.3. Comparaisons entre les pompes centrifuges et les pompes volumétriques :

Pour de petites HMT et de faibles débits journaliers ($HMT \cdot Q < 25 \text{ m}^3/\text{j}$), les pompes à main peuvent s'avérer plus intéressantes. On utilisera alors un seau pour pomper l'eau. L'utilisation de pompes mécaniques sur cette plage d'utilisation se limitera principalement aux pompes volumétriques de faible puissance.

Pour les hauteurs de moins de 7 mètres, l'emploi de pompes à aspiration sera préféré. Cette pompe est généralement de type centrifuge à ailettes.

Pour de faibles débits et une puissance disponible variable (par exemple, couplage éolien), l'emploi d'une pompe à cavité (volumétrique) permet un débit plus constant.

Pour une HMT moyenne, comprise entre 10 et 50 mètres, la pompe immergée centrifuge est généralement la plus efficace. Mais son rendement est très étroitement lié à la HMT et son dimensionnement est critique.

Pour les HMT supérieures à 35 mètres et de faibles débits journaliers (<20 m³), la pompe volumétrique sera la plus utilisée, surtout si une forte variation du rabattement de la nappe (donc de la HMT) est constatée.

Pour des débits plus élevés, l'emploi d'une pompe centrifuge est souvent le seul choix possible. [5]

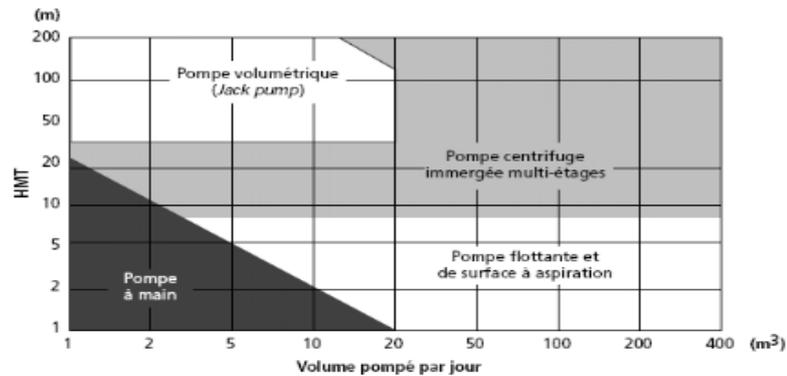


Figure 1-34 : Choix d'une pompe selon la HMT et le débit demandé.

1.15. Classification selon le moteur utilisé :

Un moteur électrique est un dispositif électromécanique permettant la conversion l'énergie électrique en énergie mécanique. Il existe deux types de moteurs : à courant continu et alternatif.[20]

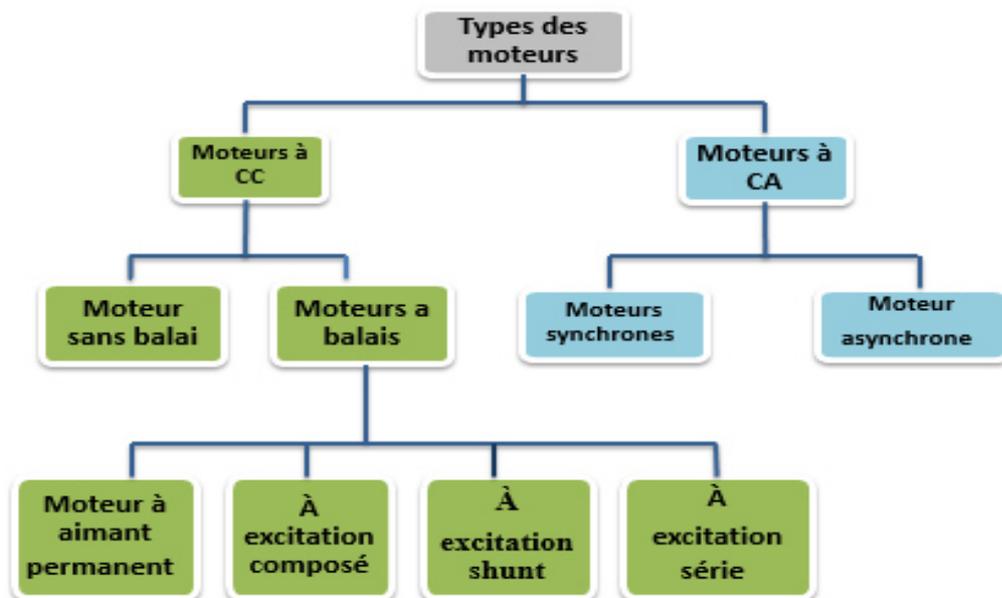


Figure 1-35 : Schéma des différents types de moteurs.

1.15.1. Moteur à courant continu :

L'énergie électrique appliquée à un moteur est transformée en énergie mécanique en variant le sens du courant circulant dans un induit (habituellement le rotor) soumis à un champ magnétique produit par un inducteur (habituellement le stator). La commutation du courant dans le rotor d'un moteur à courant continu est effectuée à l'aide de balais composés de charbon et de graphite ou par commutation électronique. [1]

Dans un moteur à courant continu, le champ magnétique de l'inducteur est produit soit par des aimants permanents, soit par un bobinage électromagnétique. Dans ce dernier cas, les moteurs peuvent être de type série, de type parallèle (moteur shunt) ou de type à excitation composée (moteur compound) selon la manière dont l'induit et l'inducteur sont alimentés. L'enroulement inducteur d'un moteur série à bobinage électromagnétique est en série avec l'induit et le couple moteur est relativement grand à faible vitesse et décroît à mesure que la vitesse augmente. Lorsque le courant décroît rapidement, la vitesse augmente et peut prendre des valeurs dangereuses. En régime de démarrage, à faible vitesse, le couple moteur est important et permet de fournir l'énergie cinétique suffisante pour la mise en route d'un équipement présentant une grande inertie. À vitesse normale, le couple décroît, mais le moteur n'a plus qu'à vaincre les divers frottements. Ce type de moteur est donc bien adapté à un pompage solaire. [5]

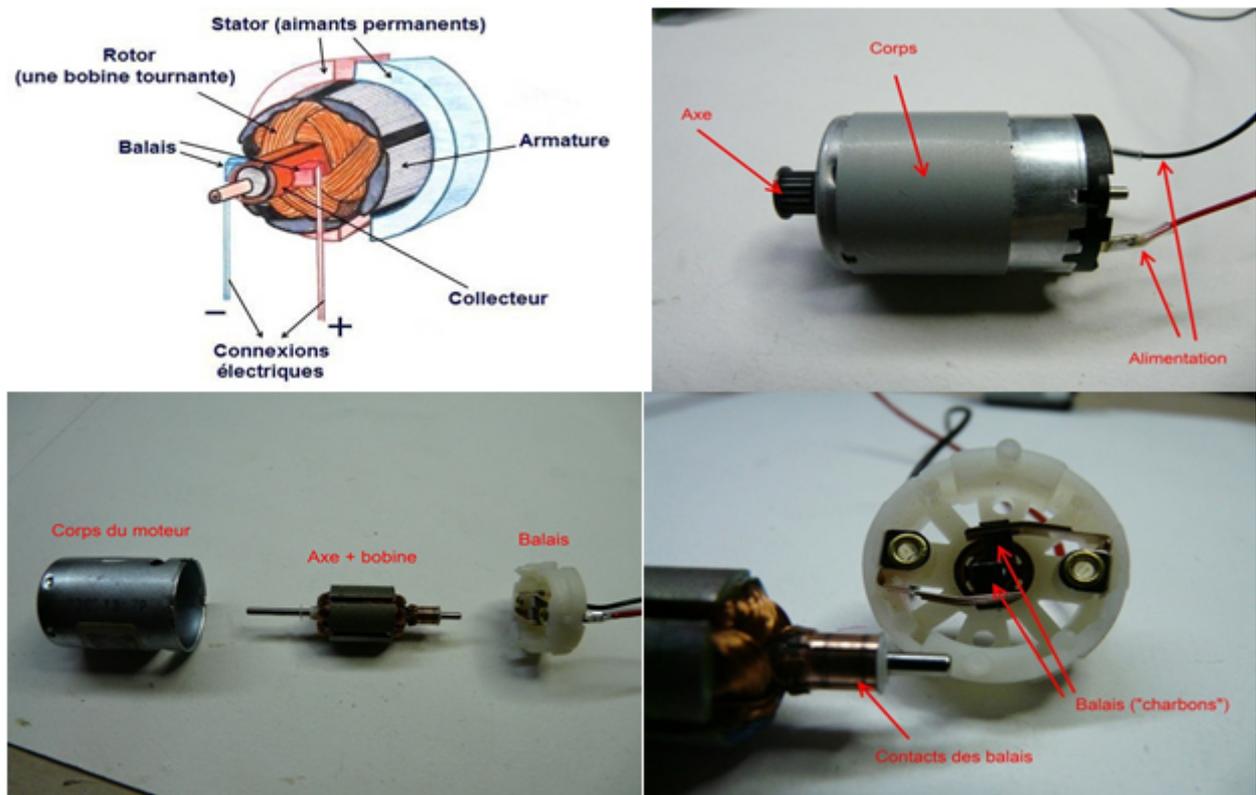


Figure 1-36 : Moteur à aimants permanents.

1.15.1.1. Les deux types les plus courants sont :**1.15.1.2. Les moteurs à balais :**

Ils représentent le type de moteur le plus classique et sont généralement utilisés pour des applications à faible budget, dans lesquelles le système de commande est relativement simple, telles que des applications grand public, et pour des équipements industriels basiques.

Ce type de moteur peut être décomposé comme ci-dessous :

a. À excitation série :

Le bobinage du stator est connecté en série au bobinage du rotor. Le contrôle de la vitesse est effectué en variant la tension d'alimentation. Cependant, ce type de moteur offre un contrôle médiocre de la vitesse et lorsque le couple vers le moteur augmente, sa vitesse chute. Ces moteurs sont utilisés dans les applications exigeant un couple de démarrage élevé comme les automobiles, les palans, ascenseurs et grues.

b. À excitation shunt :

Ce type de moteur possède une tension d'alimentation et le bobinage du stator est connecté en parallèle au bobinage du rotor et peut fournir un couple plus élevé, sans réduction de vitesse lors d'une augmentation du courant de moteur. Son couple de démarrage est moyen avec une vitesse constante, il convient donc aux applications telles que les tours, aspirateurs, convoyeurs et meuleuses.

c. À excitation compound :

Ce type de moteur combine la structure à excitation série et celle du bobinage "shunt". Ainsi la polarité du bobinage shunt s'ajoute aux champs en série. Ce type de moteur possède un couple de démarrage élevé et offre une large variation de vitesse. Il est utilisé pour piloter des compresseurs, pompes centrifuges à tête variable, presses rotatives, scies circulaires, machines de cisaillement, ascenseurs et carrousels à bagages

d. Moteur à aimant permanent :

Plutôt qu'un électroaimant, comme son nom l'indique, un aimant permanent est utilisé dans des applications où une commande précise et un couple faible sont nécessaires, telles que dans la robotique et les servo-systèmes.

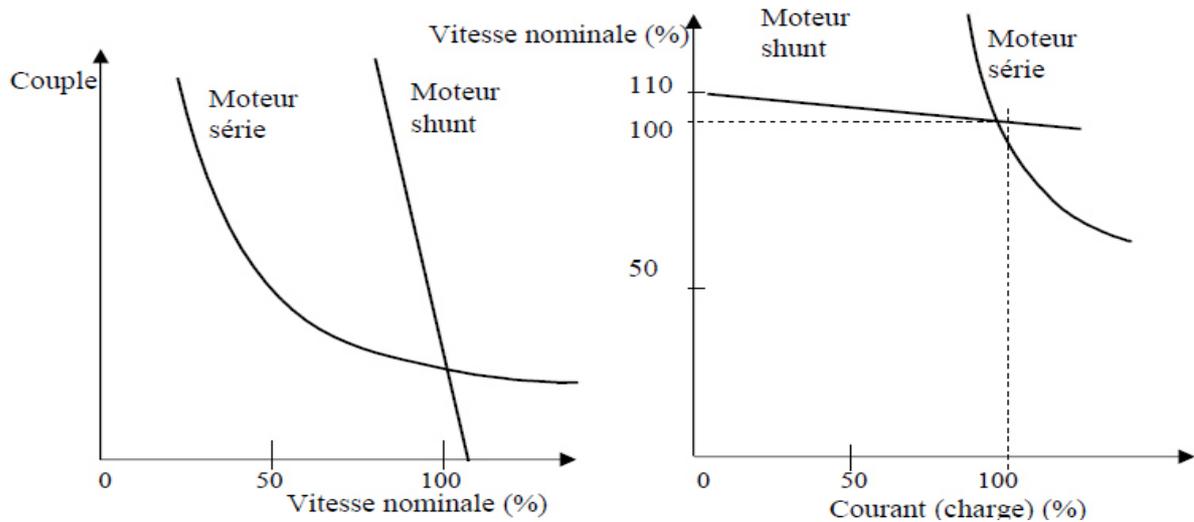


Figure 1-37 : Caractéristiques du couple en fonction de la vitesse et de la vitesse en fonction du courant d'un moteur shunt et d'un moteur série.

1.15.1.3. Brushless :

Les moteurs Brushless réduisent certains problèmes liés aux moteurs à balais les plus courants (durée de vie limitée pour des applications à usage intensif) et leur conception mécanique est beaucoup plus simple (sans balais). Le contrôleur de moteur utilise des capteurs à effet Hall pour détecter la position des rotors, et le contrôleur peut ainsi commander le moteur de façon précise via le courant dans les bobines du rotor pour réguler la vitesse. Les avantages de cette technologie sont une longue durée de vie, peu d'entretien et un haut rendement (85-90 %), tandis que les inconvénients sont des coûts élevés et des contrôleurs plus compliqués. Ces types de moteurs sont généralement utilisés dans le contrôle de positionnement et de vitesse avec des applications telles que les ventilateurs, pompes et compresseurs, qui nécessitent fiabilité et robustesse.



Figure 1-38 :Moteur Brushless.

1.15.1.4. Avantage :

- Pas chère.
- Installation facile.

- Facile à utiliser (deux fils).
- Travaille avec une tension continue.
- Peuvent atteindre des vitesses de rotation très élevées.
- Commande de vitesse dans une large gamme
- Démarrage, arrêt, marche arrière et accélération rapides
- Couple de démarrage élevé
- Courbe couple-vitesse linéaire

1.15.1.5. Inconvénient :

- Peu de couple (car vitesse élevée).
- Contrôle de la vitesse uniquement (pas de possibilité de contrôle de la position de l'axe).
- Relativement gourmand en courant.
- Les balais(ou charbons) finissent par s'user.

1.15.2. Le moteur alternatif :

Les moteurs à courant alternatif font preuve d'une grande souplesse en termes de fonctionnalités, comme notamment le contrôle de vitesse et sont largement employés dans l'industrie. [27]

Pour le pompage solaire est habituellement de type asynchrone, triphasé et à rotor en court-circuit (rotor à cage). Celui-ci tourne autour de deux paliers lubrifiés par le liquide de refroidissement dont est rempli le moteur. Le stator est noyé dans une résine, qui lui assure une bonne tenue mécanique, une bonne dispersion calorique et une étanchéité parfaite. Ces moteurs sont conçus pour être immergés et utilisés dans une eau d'une température maximale d'environ 35 °C. Ils doivent nécessairement être alimentés par un onduleur qui convertira le courant continu des modules PV en courant alternatif.[5]

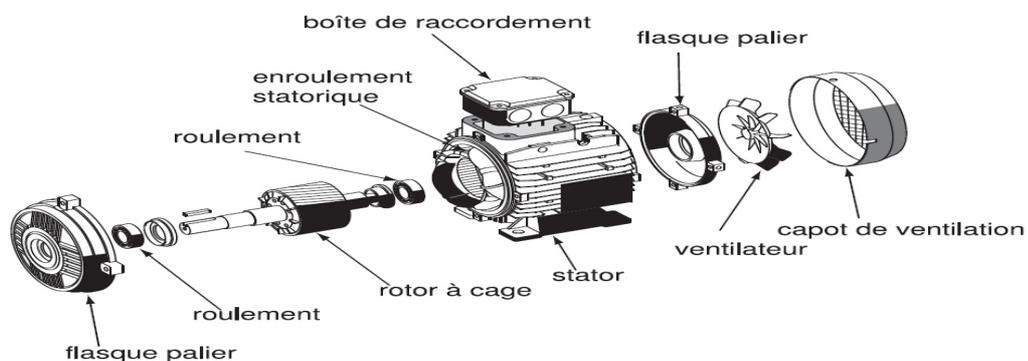


Figure 1-39 : Moteur asynchrone triphasé (courant alternatif).

Les moteurs alternatifs asynchrones (rotor à cage) sont les plus couramment employés pour une gamme variée d'applications industrielles. Il est utilisé particulièrement pour le pompage immergé dans les forages et les puits ouverts. L'arrivée d'onduleurs efficaces a permis l'utilisation de ce type de moteurs dans les applications de pompage solaire. [1]

Dans le cas d'un moteur bipolaire à un courant triphasé de fréquence (ω)

La vitesse de rotation du moteur, dite vitesse de synchronisme, est de

(2900 à 3000 T/mn) (Fréquence de 50 à 60 Hz).

Au démarrage, le moteur développe un couple d'environ 150% du couple nominal. En pleine charge, la vitesse du moteur reste relativement constante pour une grande variation du couple. Si la charge mécanique excède 250%, le moteur s'arrêtera (point de décrochage). Les moteurs de petite puissance (<10kW) atteignent leur couple maximal (point de décrochage) à environ 80 % de la vitesse synchrone. La vitesse nominale est d'environ 4% de la vitesse synchrone (glissement de 4%). Le rendement moyen d'un moteur asynchrone est de 85 %. À ceci il faut ajouter le rendement de l'onduleur qui est de 90%-95% sur une plage de fonctionnement importante. Le rendement moyen du moteur/onduleur sera donc de 80 % sur une plage de fonctionnement relativement importante.

De plus, ces onduleurs sont équipés pour suivre le point de puissance maximal du champ photovoltaïque permettant un pompage solaire. [5]



Figure 1-40 :Le moteur a courant alternatif.

1.15.2.1. Les types de moteur à courant alternatif comprennent :

a. Les moteurs synchrones :

Dans ce type de moteur, la rotation du rotor est synchronisée avec la fréquence du courant d'alimentation et la vitesse reste constante sous charges variables, ce qui le rend idéal pour du

matériel de pilotage à vitesse constante, et il est utilisé dans les appareils de positionnement de grande précision comme les robots, l'instrumentation, les machines et le contrôle de processus

b. Moteur à induction (asynchrone) :

Ce type de moteur utilise l'induction électromagnétique du champ magnétique du bobinage du stator pour produire un courant électrique dans le rotor et donc du couple. C'est le type de moteur à courant alternatif le plus courant et important dans l'industrie du fait de sa capacité de charge, les moteurs à induction monophasés étant principalement utilisés pour de plus petites charges, comme dans les appareils électroménagers, tandis que les moteurs à induction triphasés sont davantage utilisés dans les applications industrielles telles que les compresseurs, pompes, systèmes de convoyeurs et le matériel de levage.[14]

1.15.2.2. *Avantage* :[27]

- Faible consommation au démarrage.
- Accélération contrôlée.
- Vitesse de fonctionnement ajustable.
- Courant de démarrage contrôlé.
- Limite de couple ajustable.
- Perturbations réduites de la ligne de puissance.

1.15.2.3. *Inconvénient* :

- Couple de démarrage divisé également par 3. Vérifier à ce que le couple moteur soit supérieur au couple
- intensité de démarrage 6x supérieure à l'intensité nominale, chute de tension au démarrage.

1.15.3. *Unités de mesures SI* :

Il faut exprimer toutes les valeurs numériques à l'aide des unités du Système International d'unités (SI). Cette règle concerne non seulement les unités courantes, comme «g» ou «kg», mais également toutes les autres unités de mesure, y compris celles relatives aux heures, dates, monnaies, ... etc. Il faut aussi utiliser la virgule décimale et non le point. Toutefois, en cas de nécessité, on peut ajouter les conversions des valeurs en unités du système impérial entre parenthèses, immédiatement après les valeurs exprimées en unités SI.

1.16. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté généralité des différents composants du système de pompage photovoltaïque, afin de faciliter l'accès à la simulation du système. La ligne du bas sont La technologie photovoltaïque qui présenter aujourd'hui d'énorme avantage comme l'installation est simple et adaptée à des besoins énergétique divers et les couts de fonctionnement sont très faible vu les entretiens réduits. L'énergie photovoltaïque est totalement modulable et peut donc répondre à un large éventail de besoins par exemple ce projet que nous avons étudié(les pompes à solaire).

Chapitre 02

SIMULATION SOUS MATLAB/SIMULINK

2.1. Introduction

Afin d'étudier en détail le fonctionnement d'un système pompage solaire, nous allons faire la modélisation et la simulation à l'aide du logiciel de calcul scientifique Matlab – Simulink. Qui permet de déterminer à chaque instant le fonctionnement et la caractérisation des différents éléments (module PV, batterie, moteur DC). Permettant de représenter les fonctions mathématiques et les systèmes sous forme de diagramme en blocs, et de simuler le fonctionnement de ces systèmes.

2.2. Partie modélisation :

Les principales composantes d'une chaîne de pompage photovoltaïque seront modélisées et simulés dans l'environnement Matlab/Simulink à savoir :

- Module PV (12v).
- Batterie acide-plombe (12v, 9A).
- Moteur DC

2.3. Équation PV :

2.3.1. Photo-courant (I_{ph}) :

Le photo-courant est proportionnel à l'éclairement et dépend aussi de la température, son expression est donnée par :

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T - 298)] \frac{G}{1000} \dots\dots\dots 2-1$$

2.3.2. Courant de saturation(I₀) :

$$I_0 = I_{rs} * \left(\frac{T}{T_n}\right)^3 * e^{\left[\frac{q * E_{g0} * \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T}\right)}{n * K}\right]} \dots\dots\dots 2-2$$

2.3.3. Courant de saturation réversible :

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\left[e^{\left(\frac{q \cdot V_{oc}}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T} \right)} - 1 \right]} \dots\dots\dots 2-3$$

2.3.4. Courant délivré par la résistance R sh :

$$I_{sh} = (V + I \cdot R_s) / R_{sh} \dots\dots\dots 2-4$$

2.3.5. Equation d'un courant de sortie (I) :

$$I = I_{ph} - I_0 * \left[e^{\left(\frac{q \cdot (V + I + R_s)}{n \cdot K \cdot N_s \cdot T} \right)} - 1 \right] - I_{sh} \dots\dots\dots 2-5$$

2.4. Equation moteur DC :

2.4.1. La partie électrique :

Le groupe de la machine du DC (DC machine) met en œuvre un (wound-field) ou un permanent aimant du DC machine.

Pour le. (Wound field) DC machine l'accès est donné aux terminaisons du terrain (F+, F-) poire que le model de la machine pourra être utilisé comme une connexion-shunt ou une série connexion-DC machine Le couple (torque) appliqué aux puits est possible au Simulink input T. Le circuit armature A+, A- consiste en un inducteur "La" et une résistance "Ra" dans une série avec une contre électromotrice force (CEMF). Le CEMF est proportionnel à la vitesse de la machine.

$$E = kgw$$

K: constante du voltage

W: vitesse de la machine

2.4.2. La partie mécanique met en œuvre l'équation suivante :

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_e - T_L - B_m \omega - T_f \dots\dots\dots 2-6$$

2.5. Equation Batterie :

La batterie est modélisée par deux équations, une pour la charge et la deuxième pour la décharge.

2.5.1. Equation décharge

Pour : ($i^* > 0$)

$$f_1(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* K \frac{Q}{Q-it} \cdot it + Laplace^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} \right) \dots\dots\dots 2-7$$

2.5.2. Equation de charge

Pour : ($i^* < 0$)

$$f_2(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it+0,1Q} \cdot i^* - K \frac{Q}{Q-it} \cdot it + laplace^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} \cdot \frac{1}{s} \right) \dots\dots\dots 2-8$$

2.6. Simulation et Résultat :

2.6.1. Schéma Simulink :

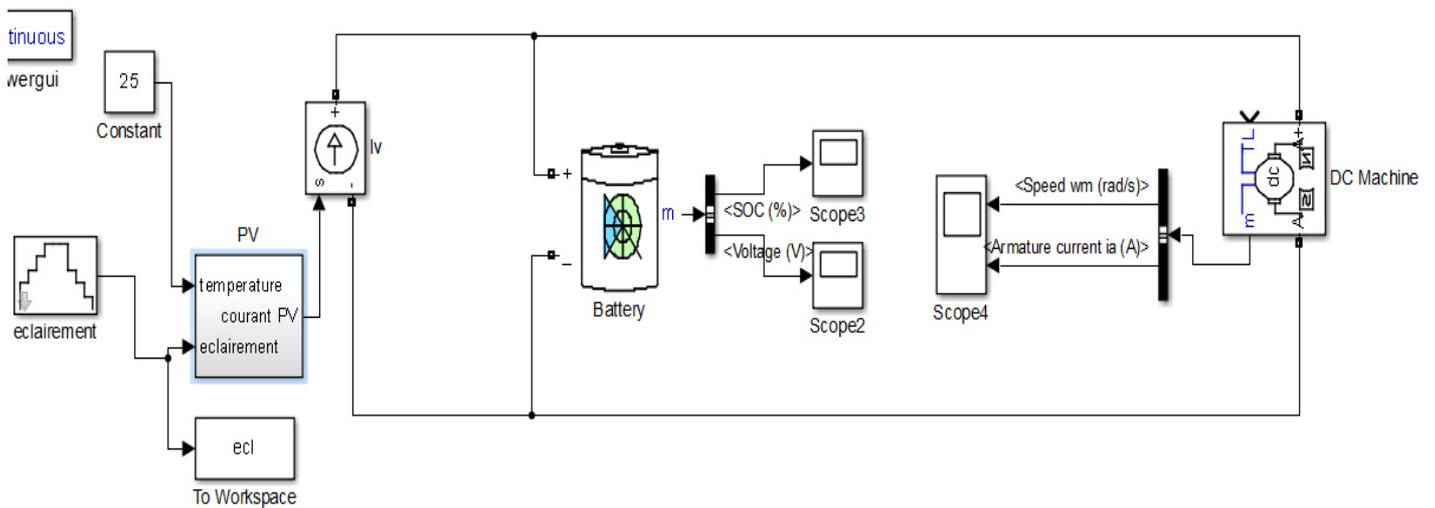


Figure 2-1 : Schéma Simulink PV et batterie plus moteur.

2.6.2. Résultat :

2.6.2.1. Charge et décharge de batterie :

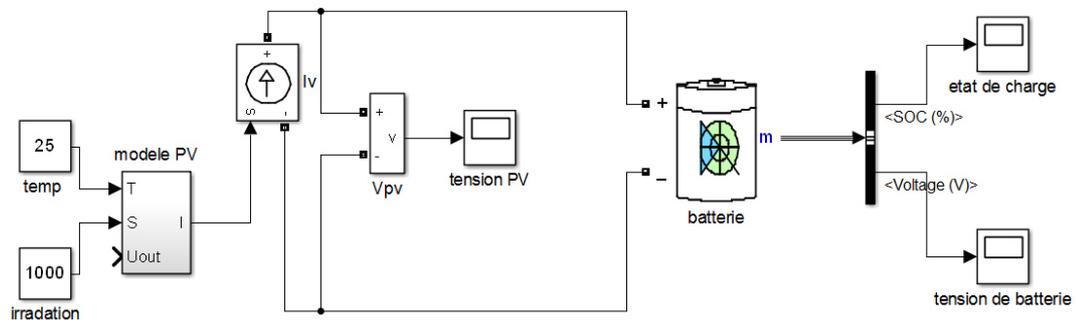


Figure 2-2 : charge batterie avec éclairement fixe.

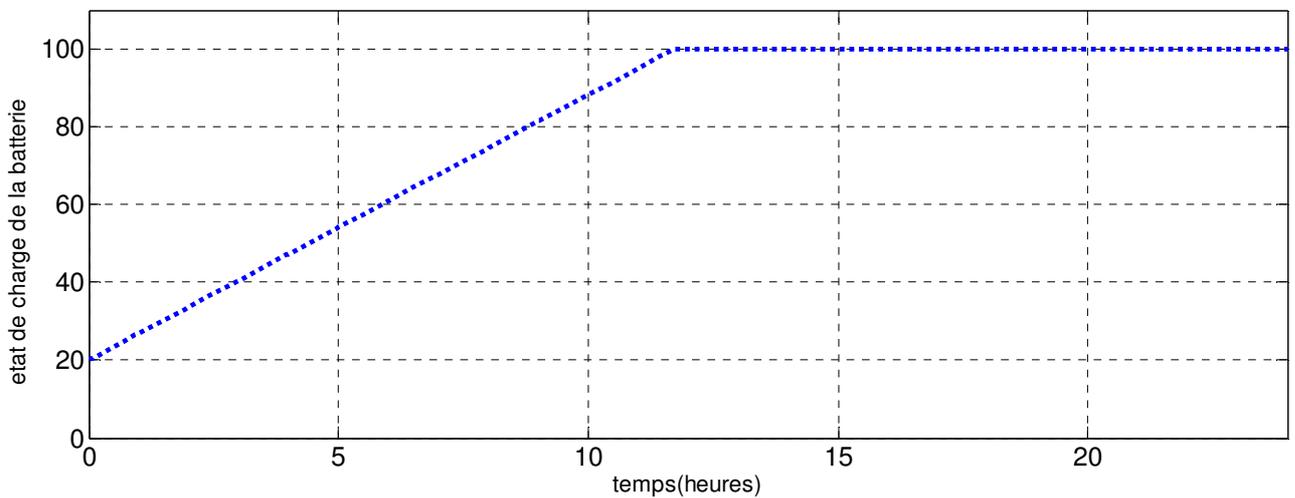


Figure 2-3 : Etat de charge batterie avec éclairement fixe pendant une journée.

Cette figure montre que la batterie peut atteindre 100 % de charge dans 14 heures, donc pour une journée où ou l’ensoleillement est variable selon la position du soleil pendant la journée, on fait une simulation donné par la courbe de la figure 2-4.

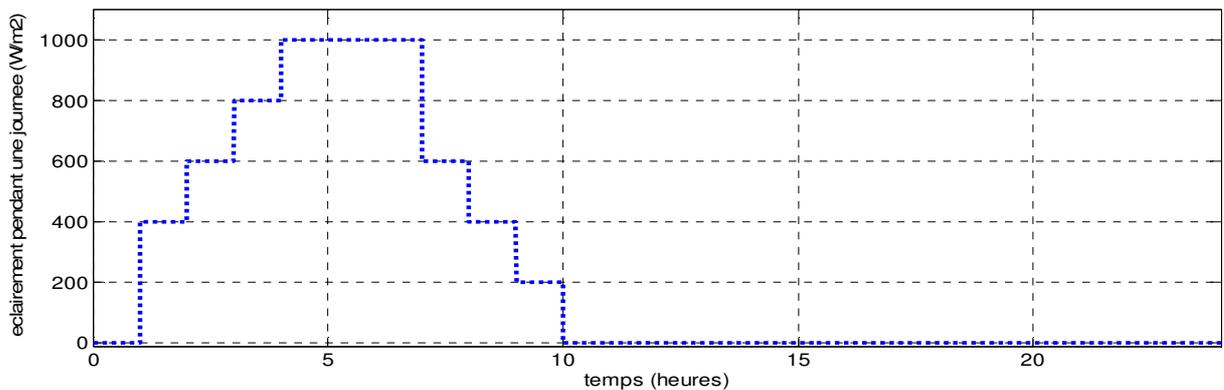


Figure 2-4 : Variation d'éclairement pendant une journée.

Cette figure montre deux périodes de journée. La première représente le jour et l'autre la nuit à partir de 10 h

Pour cette variation, on a fait trois tests pour différent charge initiale de la batterie, et on remarque que la batterie peut se charger à 100% si elle démarre de 60 % de charge initiale.

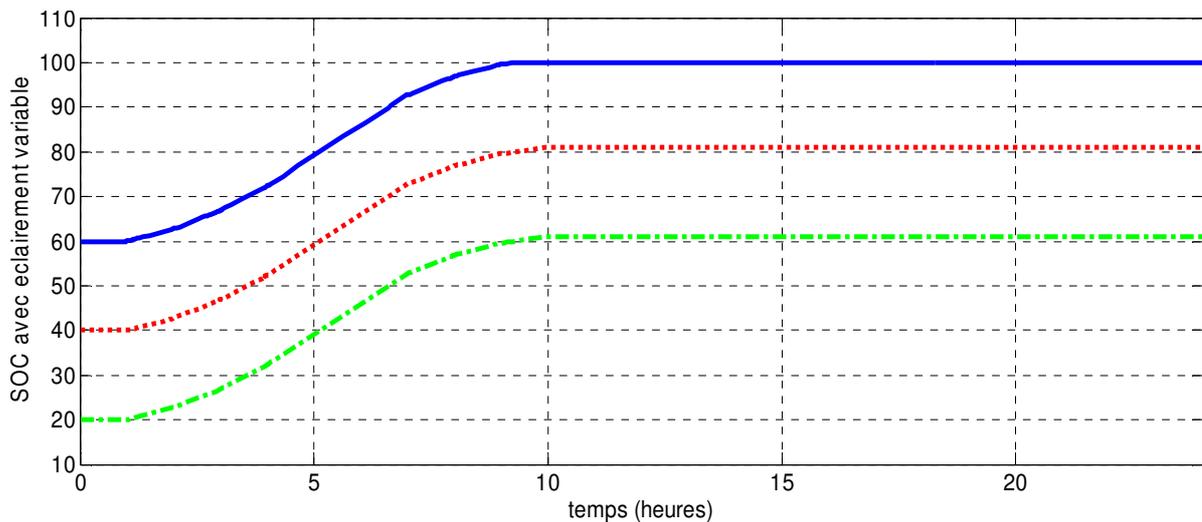


Figure 2-5 : Etat de charge batterie avec éclairage variable pendant une journée.

2.6.3. Fonctionnement de deux Moteur :

2.6.3.1. Pour l'irrigation et remplissage:

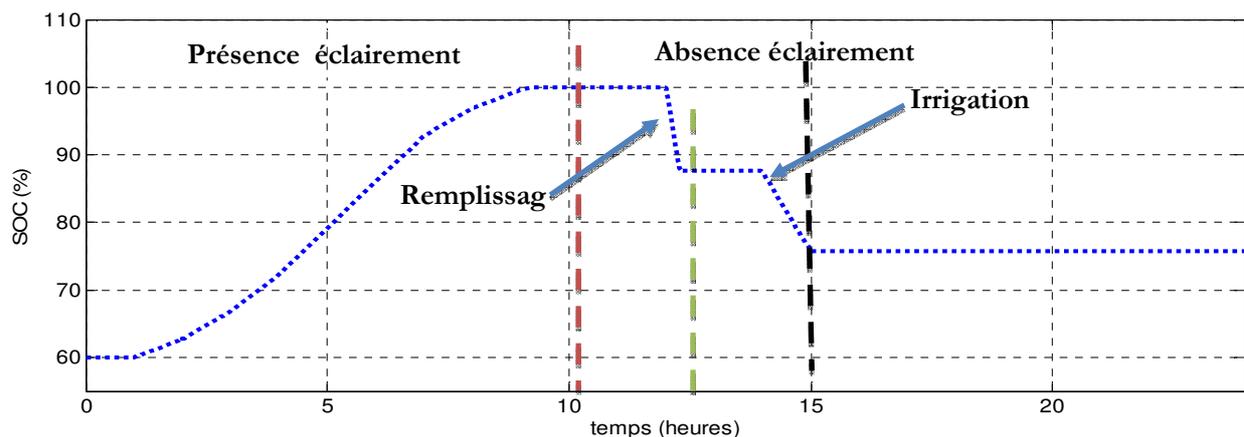


Figure 2-6 : Effet des moteurs sur charge et décharge batterie.

La figure 2-6 montre la variation de la charge de batterie lorsque le moteur de remplissage fonctionne pendant la nuit pour 20 min et suivie par le moteur d'irrigation pour 1 heures. On

remarque qu'à la fin d'irrigation, la charge de batterie resta à 75 %, ce qui signifie que la batterie va se recharger à 100% le jour suivant.

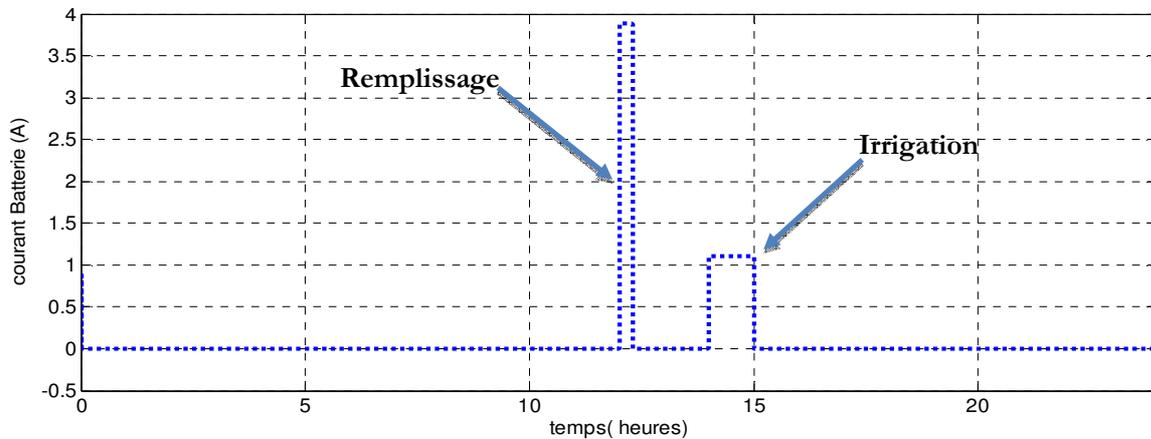


Figure 2-7 : courant de batterie en mode d'irrigation et remplissage.

Cette courbe représente le courant absorbé par les deux moteurs des pompes. Les deux moteurs ne fonctionnent pas en même temps. Et cela pour éviter de surcharger l'installation ainsi on remplit le réservoir ensuite on fait l'irrigation de la terre.

2.7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons injecté le différent paramètre mathématique sous matlab Simulink de l'ensemble composant du système de pompage solaire tel que le générateur PV, avec batterie de stockage et le groupe motopompe.

Ensuite on a fait une simulation du système complet en fonction de l'influence du changement de l'éclairement et la température et l'absence des deux derniers sur les caractéristiques électriques sur ce système et obtenir plusieurs résultat, donc cette étape l'un des facteurs les plus importants à connaître pour faire des tests et pour la confirmation de fonctionnement logique de système, avant l'installation finale. Le chapitre suivant couvre la réalisation pratique avec une simulation sous l'environnement PROTEUS.

Chapitre 03

SIMULATION PROTEUS ET REALISATION PRATIQUE.

3.1. Introduction :

Dans ce chapitre on va s'intéresser à la partie théorique et la réalisation pratique du système. En effet, notre étude sera portée sur la description complète du système et les schémas synoptiques qui vont présenter la totalité du système en expliquant les différentes opérations à affecter par ce dernier. Ainsi que le fonctionnement des matériels, les caractéristiques et la conception interne de chaque composant électronique.

La partie pratique est consacré à la réalisation de l'application « système d'arrosage et d'irrigation automatique avec panneau solaire » Pour cette raison, plusieurs étapes sont nécessaire en commençant par une Simulation sur PROTEUS, ensuite on a réalisé notre maquette et on l'a testé avec comparaison entre simulation et réalisation pratique.

3.2. Schéma synoptique :

Comme le montre Figure 3-1 : Schéma synoptique. le schéma synoptique du système d'irrigation est constitué essentiellement de trois parties décrites ci-après. En plus du bloc d'alimentation qui comprend régulateur, le panneau PV et la batterie, ces parties sont :

- Une carte renfermant une unité de mesure via des capteurs.
- Une carte de traitement et de contrôle.
- Un circuit renfermant les actionneurs munis d'indicateurs.

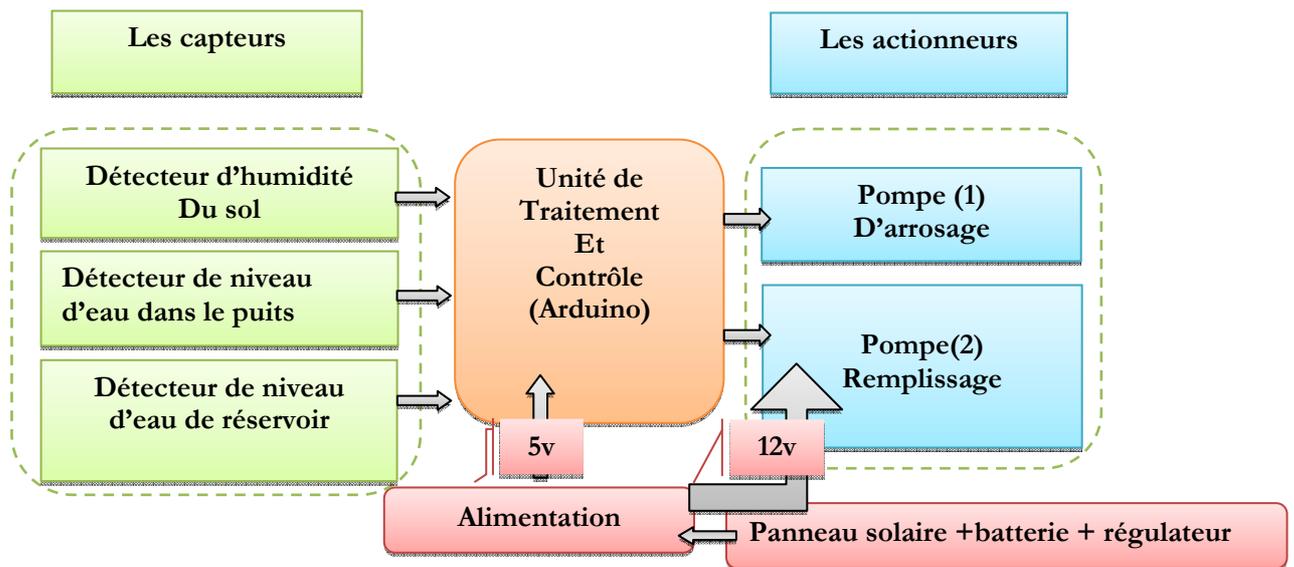


Figure 3-1 : Schéma synoptique.

- L'unité de mesure comprend plusieurs types de capteurs, à savoir des capteurs d'humidité du sol, de niveau d'eau du réservoir, de niveau d'eau du puits.
- L'unité de traitement se charge de capter les informations délivrées par les différents capteurs.

Il s'agit du microcontrôleur logé dans la carte Arduino UNO, dans lequel assure la gestion de l'irrigation et remplissage.

- Les actionneurs sont pilotés par la carte Arduino selon le programme préétabli. Il s'agit de la commande de la pompe d'irrigation et la pompe de remplissages.

Dans cette partie, sur un écran LCD, nous retrouvons également l'affichage de l'état de la pompe (On/Off) ainsi que celui du sol (Humide/Sec) avec également l'indication la présence d'eau dans le puits ou non.

3.2.1. Les composants utilisés pour réaliser ce montage :

3.2.1.1. Panneau solaire 10W - 12V monocristallin (module SR05-10):

On à utiliser cette panneau solaire monocristallin (12v, 10w) comme une source d'énergie pour alimenter ce système, qui est caractérisé par ces caractéristiques. [28][29][30]

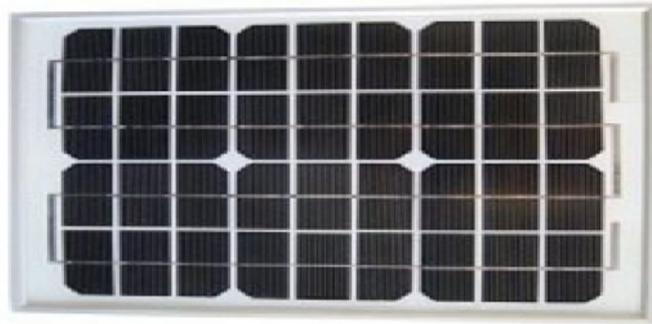


Figure 3-2 : Panneau solaire monocristallin.

Tableau 3-1 : caractéristique PV.

Tolérance puissance	+/- 3%
température idéal	25°C
Tension max. système :	600v
Puissance max. :	10 Wc
Dimensions en mm :	360 x 306 x 17
Poids en kg	1,8
Tension nominale. Vmp :	17 V
Courant max. Imp :	0,59 A
Tension à vide. Voc :	21,5 V
Courant de court-circuit. Isc :	0,64 A
solaire irradiance absorbé	1000 w/m²

Cadre aluminium.

Boîte de jonction IP65 avec diodes Bypass afin de réduire les pertes dues aux ombres portées.

Répond aux normes CE standards.

3.2.1.2. Batterie 12v (plomb-acide) :

Accumulateurs au plomb, à forte capacité, étanches et sans entretien. Applications: pour utilisation en courant élevé. Les accumulateurs au plomb ne doivent jamais rester déchargés. Sorties sur cosses Faston 4,7 mm.

Il joue le rôle d'un réservoir électrique pour aider ce système d'économie d'énergie.



Figure 3-3 :Batterie 12v,10w.

Tableau 3-2 : Fiche technique de batterie

Tension:	12 Vcc
Capacité:	9Ah
Cosse:	Faston 4,8 mm
Dimensions:	178 x 34 x 63 mm
Poids:	0,97 kg

3.2.1.3. Régulateur de charge solaire 6A - 12V :

- Affichage de l'état de charge de la batterie par led sur trois niveaux.
- Avertissement batterie faible.
- Technologie PWM, amélioration de la charge des batteries (chargement plus rapide et plus efficace).
- Protection contre la surcharge des batteries en coupant le module solaire lorsque la batterie est pleine.
- Dispose d'une sortie accessoire en 12V pour connecter vos consommateurs directement (intensité max 6 A). Cette sortie dispose d'une protection contre la décharge profonde de la batterie, dès que celle-ci arrive à 10,5 V, les consommateurs sont éteints automatiquement.



Figure 3-4 :Régulateur de charge PV.

Table 3-1 : caractéristique de régulateur.

Consommation	3 mA
Intensité de charge max.	6 A
Intensité de débit max.	6 A
Voltage du système	12 V
Dimensions	105*95*38 mm
Plage de fonctionnement	10,4 - 13,9 V
Poids	135 grammes
Panneau solaire max	80w
Sortie accessoires intensité max	6 A

3.2.1.4. Arduino UNO :

Le module principal dans cette réalisation est le microcontrôleur qui doit être simple à utiliser, à faible prix et à faible consommation d'énergie. D'où notre choix sur l'Arduino uno.

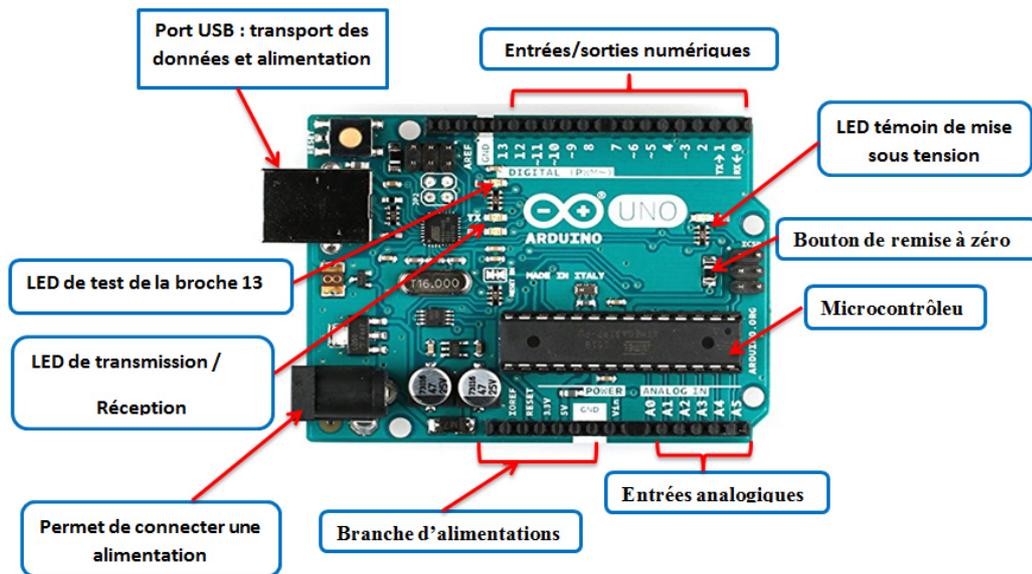


Figure 3-5 :Arduino uno.

La carte Arduino Uno est une carte à microcontrôleur basée sur l'ATmega328. Le microcontrôleur peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques, de manière à effectuer des tâches très diverses comme la domotique (le contrôle des appareils domestiques - éclairage, chauffage...), le pilotage d'un robot, de l'informatique embarquée, etc. La carte UNO et la version 1.0 du logiciel seront la référence des versions Arduino à venir. La carte Uno est la dernière d'une série de carte USB Arduino, et le modèle de référence des plateformes Arduino

Elle dispose :

- De 14 broches numériques d'entrées/sorties (dont 6 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée),
- De 6 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques),
- D'un quartz 16Mhz,
- D'une connexion USB,
- D'un connecteur d'alimentation jack,
- D'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit"),
- Et d'un bouton de réinitialisation (reset).

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation étant fournie par le port USB).

a. **Les avantages :**

- Environnement de programmation claire et simple.
- Multi plateforme.
- Nombreux librairies disponibles avec diverses fonctions implémentées.
- Logiciel et matériel open source et extensible.
- Existence des cartes supplémentaires qui se connectent sur module Arduino pour augmenter les possibilités (shield, Bluetooth, GPS).

Tableau 3-3 : Emplacement des composants aux la carte Arduino.

Composant	Pin
Ultrason (Echo, Trig)	12,13
Capteur humidité (YL-69)	A0
Flotteur 1	8
Flotteur 2	9
Pompe d'irrigation	10
Pompe de remplissage	11
Afficheur LCD	2.....7
Buzzer	1

3.2.1.5. Capteur d'humidité du sol YL-69 :

a. **Définition :**

Est une module de mesured'humidité du sol est constitué de deux sondes utilisées pour mesurer le contenu volumétrique de l'eau. Les deux sondes permettent au courant de traverser le sol, puis il obtient la valeur de résistance pour mesurer la valeur d'humidité.

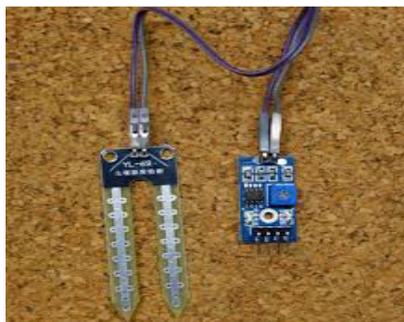


Figure 3-6 : Capteur d'humidité du sol YL-69.

b. *Ce capteur peut être connecté en deux modes :*

Mode analogique et mode numérique

Le module possède deux modes de fonctionnement :

un mode digital (on /off).

Un mode analogique pour plus de précision qui déclenche au-dessous d'un seuil réglable.

c. *Les spécifications :*

- Le capteur d'humidité du sol YL-69 contient quatre broches :
- VCC: Alimentation externe 3.3 V ou 5V.
- A0: sortie analogique.
- D0: sortie numérique.
- GND: Terre
- Le module contient aussi (comparateur LM393,LED, un potentiomètre).
- 2 électrodes.

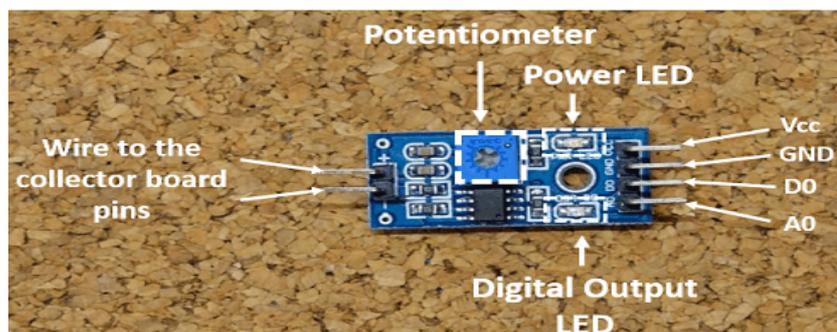


Figure 3-7 : Module de Capteur d'humidité du sol YL-69.

d. *Le fonctionnement du capteur dans notre projet :*

On a testé, dans ce projet ce type de capteur selon son principe de fonctionnement .ce dernier est très important et utile pour la détection de l'humidité de la terre et évoluer ses besoins en eau pour l'agriculture et la protection des plantes, c'est-à-dire la quantité d'eau estimer suffisante pour leur développement et ce à l'aide de cet appareil qui permet la détection de l'humidité là où il est placé, tout en mesurant la résistance de la terre.

Sachant que l'eau augmente la conduction électrique, les résistances vont de ce fait diminuées. Alors que la sécheresse provoque l'effet inverse en diminuant la conduction et donc favoriser la résistance, Le module contient également un potentiomètre qui définira la valeur de seuil et ensuite cette valeur de seuil sera comparée par le comparateur LM393. La LED de sortie s'allume et s'éteint en fonction de cette valeur de seuil, Le capteur nous donne la valeur entre de (0-1023). L'humidité

est mesurée en pourcentage, nous allons donc mapper ces valeurs de 0 à 100, puis nous afficherons ces valeurs sur l'afficheur LCD. Enfin c'est selon ces données que la pompe va fonctionner (marche/arrêt).

3.2.1.6. Module de détection aux ultrasons (HC-SR04) :

Le capteur HC-SR04 utilise les ultrasons pour déterminer la distance d'un objet. Il offre une excellente plage de détection sans contact, avec des mesures de haute précision et stables. Son fonctionnement n'est pas influencé par la lumière du soleil ou des matériaux sombres, bien que des matériaux comme les vêtements puissent être difficiles à détecter.



Figure 3-8 : capteur ultrasons (HC-SR04)

a. Caractéristiques :

- Dimensions : 45 mm x 20 mm x 15 mm.
- Plage de mesure : 2 cm à 400 cm.
- Résolution de la mesure : 0.3 cm.
- Angle de mesure efficace : 15 °.
- Largeur d'impulsion sur l'entrée de déclenchement : 10 μ s (Trigger Input Pulse width).

b. Broches de connexion :

- Vcc = Alimentation +5 V DC.
- Trig = Entrée de déclenchement de la mesure (Trigger input).
- Echo = Sortie de mesure donnée en écho (Echo output).
- GND = Masse de l'alimentation.

c. Spécifications et limites :

Tableau 3-4 : paramètre du capteur ultrason HC-SR04

Paramètre	min	type	max	unité
Tension d'alimentation	4.5	5.0	5.5	V
Courant de repos	1.5	2.0	2.5	mA
Courant de fonctionnement	10	15	20	mA
Fréquence des ultrasons	-	40	-	kHz

d. **Branchement :**

Le branchement du capteur HC-SR04 sur un microcontrôleur PICAXE est des plus simples (le schéma ci-contre illustre l'utilisation d'un circuit 08 M 2). Si les deux éléments sont alimentés en 5 V (ou 4.5 V), il suffit de relier les bornes d'alimentations +/- entre elles. L'entrée "Trig" du capteur doit être reliée à une sortie du PICAXE. Quant à la sortie "Echo" du capteur, il faut la relier à une entrée du PICAXE qui peut aussi être programmée en sortie si on désire mettre en œuvre l'exemple 2 de programme ci-dessous.

e. **Fonctionnement :**

Pour déclencher une mesure, il faut présenter une impulsion "high" (5 V) d'au moins 10 μ s sur l'entrée "Trig". Le capteur émet alors une série de 8 impulsions ultrasoniques à 40 kHz, puis il attend le signal réfléchi. Lorsque celui-ci est détecté, il envoie un signal "high" sur la sortie "Echo", dont la durée est proportionnelle à la distance mesurée.



Figure 3-9 : Fonctionnement du capteur HC-SR04.

f. **Distance de l'objet :**

La distance parcourue par un son se calcule en multipliant la vitesse du son, environ 340 m/s (ou 34'000 cm/1'000'000 μ s) par le temps de propagation, soit : $d = v \cdot t$ (distance = vitesse \cdot temps) Le HC-SR04 donne une durée d'impulsion en dizaines de μ s. Il faut donc multiplier la valeur obtenue par 10 μ s pour obtenir le temps t. On sait aussi que le son fait un aller-retour. La distance vaut donc la moitié. $d = 34'000 \text{ cm}/1'000'000 \mu\text{s} \cdot 10\mu\text{s} \cdot \text{valeur} / 2$ en simplifiant

$d = 170'000 / 1'000'000 \text{ cm} \cdot \text{valeur}$ Finalement, $d = 17/100 \text{ cm} \cdot \text{valeur}$ La formule $d = \text{durée}/58 \text{ cm}$ figure aussi dans le manuel d'utilisation du HC-SR04 car la fraction $17/1000$ est égale à $1/58.8235$. Elle donne cependant des résultats moins précis. Note : A grande distance, la surface de l'objet à détecter doit mesurer au moins 0.5 m^2 .

3.2.1.7. Le Capteur de niveau d'eau (flotteur) :

a. Branchement et fonctionnement :

Le capteur est fixé à un écrou de réservoir non oxydable, du type que le flotteur est un flotteur libre vers le haut et le bas. Lorsque le flotteur magnétique augmente un certain niveau par la pression du liquide, fermeture de l'interrupteur magnétique interne (REED).

Alors que le fluide ne parvient pas au niveau le plus élevé Les contacts aux sont normalement ouverts (NO). Ces capteurs sont utilisés dans le contrôle de niveau de liquides et comme alarme toutes les industries, L'électronique, la chimie, le traitement de l'eau, l'approvisionnement en eau.



Figure 3-10 :flotteur.

b. Fiche technique :

- Contact Reed 1T.
- Sortie sur 2 fils de 90 mm.
- Tension maxi: 100 Vcc.
- Courant de coupure: 0,5 A maxi.
- Puissance maxi: 10 W.
- T° de travail: 0 à 70 °C.
- Dimensions: Ø 24 x 42 mm.
- Perçage: 8,5 mm.

3.3. Les actionneurs

3.3.1. Afficheur LCD

Afin d'afficher les données pour le patient concernons quelques signaux physiologiques nous avons opté le LCD 16*2 pour son prix intéressant. Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquide Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA), sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité.

Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et diffèrent les uns des autres, non seulement par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service. Certains sont dotés d'un rétro éclairage de l'affichage. Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module, cependant, cet éclairage est gourmand en intensité (de 80 à 250 mA).

Ils sont très utilisés dans les montages à microcontrôleur, et permettent une grande convivialité. Ils peuvent aussi être utilisés lors de la phase de développement d'un programme, car on peut facilement y afficher les valeurs de différentes variables.

Ce composant possède 16 broches que je vais brièvement décrire :

Table 3-2 pins des connexions LCD :

N°.	Nom.	Rôle.
1	Vss	Masse.
2	Vdd	+5v.
3	V0	Réglage contraste.
4	Rs	Sélection du registre (commande ou donnée).
5	R/W	Lecture ou écriture.
6	E	Entrée de Validation
7 à 14	D0 à D7	Bits de données
15	A	Anode du rétro éclairage (5v)
16	K	Cathode du rétro éclairage

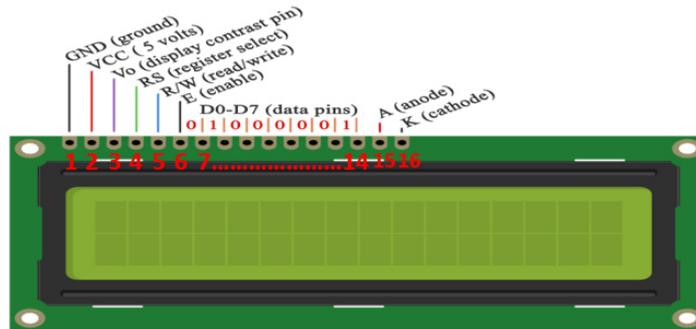


Figure 3-11 :Afficheur LCD.

3.3.1.1. Les pompes utilisées :

Dans cette partie (pompage) on a utilisé deux types de pompes pour :

- L'irrigation (centrifuge).
- Remplissage (centrifuge).

a. Pompe d'irrigation (centrifuge/cc) :

Caractéristiques de l'objet :

Modèle :RS-360SH de haute qualité miniature moteur à courant continu à auto-amorçage

Tableau 3-5 caractéristique du moteur de la pompe d'irrigation.

modèle moteur	360 sh.
Diamètre du moteur:	2,7 cm
Longueur de la pompe:	5,2 cm
le diamètre du trou d'eau:	4 mm
Tension nominale:	7,2 V
Poids:	71,2 g

b. Pompe de remplissage (centrifuge/cc) :

Caractéristiques de l'objet :

Modèle : SAILFLO, pompe électrique (moteur à courant continu)

Tableau 3-6 caractéristique de la pompe de remplissage.

matériel:	Plastique
-----------	-----------

Couleur :	Noir
Longueur de la pompe:	5,8 cm
le diamètre du trou d'eau: (Absorption,remplissage)	12 mm, 4mm
tension:	12 V 3.7A
Déplacement : Haut. d'aspiration (m)	450 ml/10 s 3



Figure 3-12 : pompe d'eau pour le remplissage.

3.4. Module des relais :

L'alimentation de la pompe est plus grande que celle de l'Arduino, alors pour protéger cette dernière contre les problèmes dus à la commutation des signaux de puissances importantes, il faut utiliser un relais comme il est présenté dans la Figure 3-13 : module des relais.

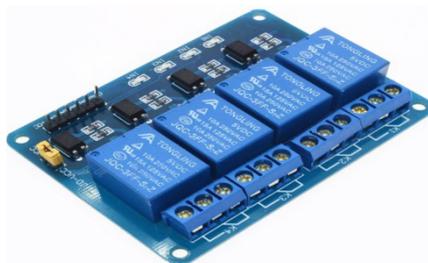


Figure 3-13 : module des relais.

3.4.1. Description et principe de fonctionnement :

Un relais électromagnétique est un organe électrique permettant de dissocier la partie puissance de la partie commande : Il permet l'ouverture/fermeture d'un circuit électrique par un second circuit complètement isolé (isolation galvanique) et pouvant avoir des propriétés différentes.

3.4.2. Caractéristique techniques :

- Alimentation électrique : externe en 5V.
- 2 relais mécanique avec indicateur d'état par DEL.
- Ports « NF » (normalement fermer) et « NO » (normalement ouvert) pour chaque relais.
- Peut être directement contrôlée par un large éventail de microcontrôleurs.

3.5. Bipper (Buzzer) :

Figure 3-14 : Buzzer piézoélectrique. montre le Bipper (Buzzer) qui va déclencher une alarme ce qui alerte l'utilisateur pour le puits et vide.



Figure 3-14 : Buzzer piézoélectrique.

3.5.1. Description :

Bipper (en anglais beeper ou Buzzer) est un élément électromécanique ou piézoélectrique qui produit un son caractéristique quand on lui applique une tension : le bip. Certains nécessitent une tension continue, d'autres nécessitent une tension alternative. Dans notre cas on va utiliser un Buzzer piézoélectrique avec un oscillateur intégré, il s'agit simplement de l'assemblage dans même boîtier, d'un transducteur piézo-électrique et d'une électronique de commande (générateur de signal rectangulaire). Le tout s'alimente alors avec une simple tension continue, généralement comprise entre 3V et 20V, et requiert un courant compris entre 10 mA et 30 mA (La consommation du Buzzer dépend principalement de la tension utilisée). La mise en œuvre d'un Buzzer devient donc aussi facile qu'avec un Buzzer électromécanique.

3.6. La plaque d'essai :

Une telle plaque d'essai est d'une très grande utilité pour réaliser des montages électroniques sans soudure, en association notamment avec une carte à microcontrôleur telle que les cartes Arduino. Il est donc capital de bien savoir les utiliser et de comprendre les principes d'utilisation. Rien de très compliqué, mais il faut bien comprendre.

La plaque d'essai s'utilise avec des straps, bouts de fils en cuivre monobrin de taille et de longueur différente. Les extrémités des straps doivent être dénudés sur 1 cm environ.

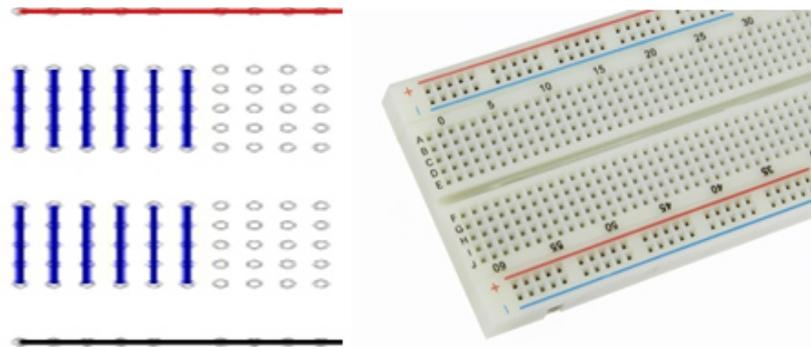


Figure 3-15 : la plaque d'essai.

3.6.1. Les connexions internes :

- Tous les points d'une même ligne du bus d'alimentation (en rouge et en noir sur le schéma) sont connectés entre eux.
- Tous les points d'une demi-colonne sont connectés entre eux (en bleu sur le schéma).
- Les colonnes sont coupées en deux par le rail central qui permet de mettre des composants "à cheval".

3.7. Simulation proteus :

3.7.1. Partie schématique :

Le schéma global de notre réalisation de pompe solaire est le suivant :

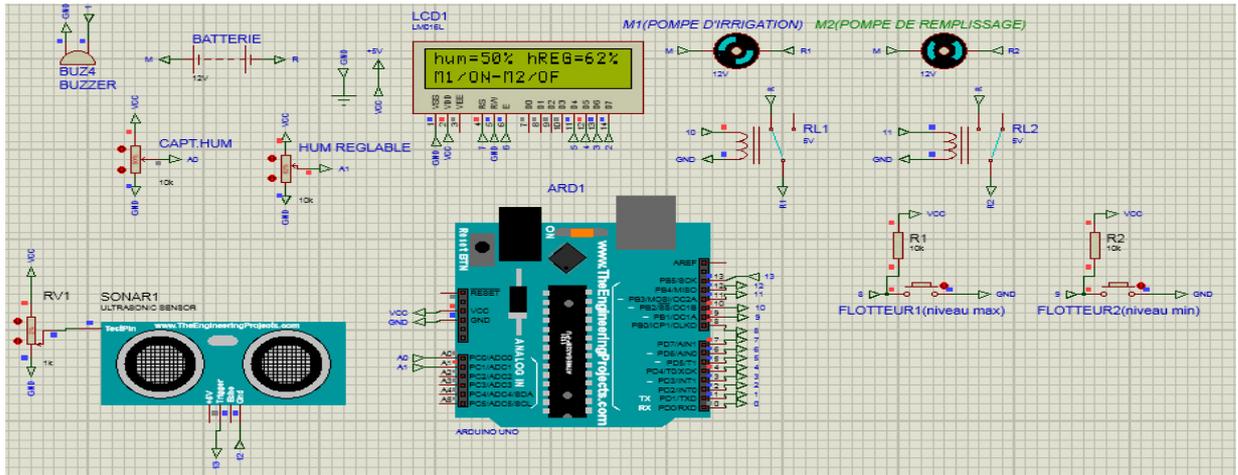


Figure 3-16 : Simulation ISIS Proteus.

3.7.2. Teste et résultat :

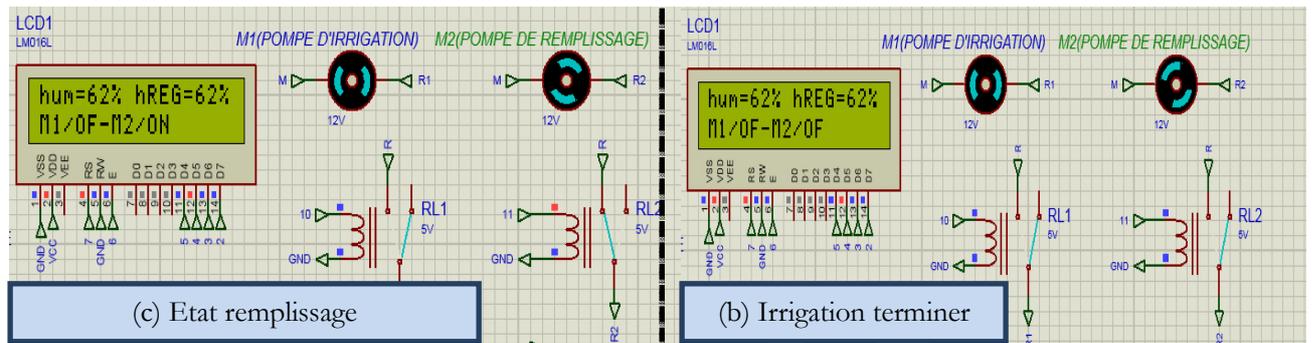
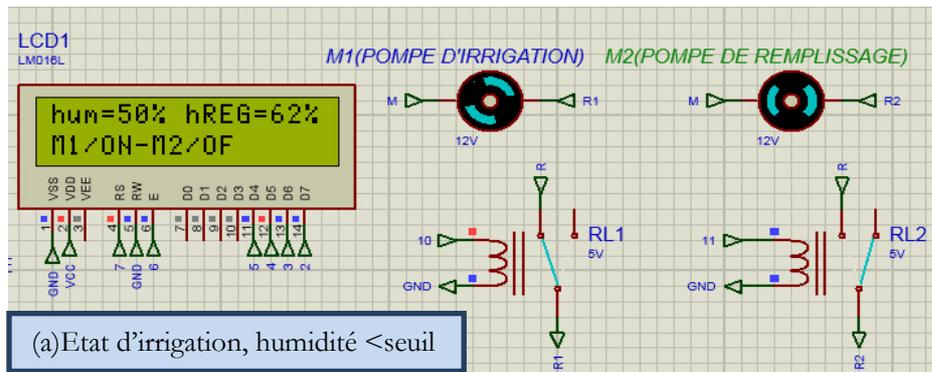


Figure 3-17 : Simulation et résultats ISIS Proteus.

En remarque l'alimentation 5v et donnée directement au carte Arduino, mais dans la pratique en va utiliser un régulateur (LM7805 : 12v, 5v), qui régler la tension de sortie à 5v pour alimenter la carte Arduino et différents parties (les capteurs) comme il est montré dans la Figure 3-18 : schéma de régulateur (12V-5V).

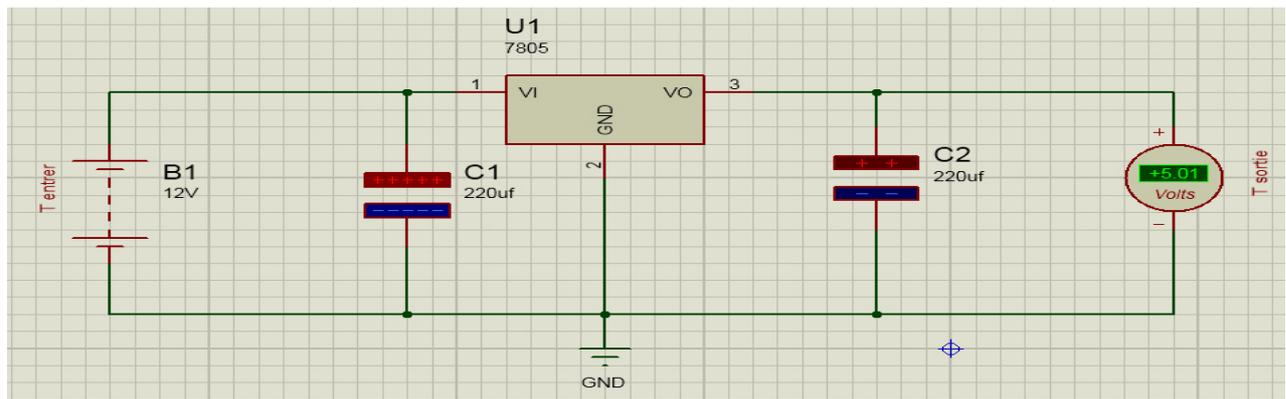


Figure 3-18 : schéma de régulateur (12V-5V).

Et pour les moteurs que nous avons utilisés, la source de tension est prise directement à travers le régulateur de charge (Qui régule l'absorption solaire et le stockage dans la batterie), que nous fixons sur la plaque de branchement.

Aussi la partie protection de panneau solaire contre le court-circuit au niveau de la batterie sera ajouté un fusible de sécurité, voir Figure 3-18 : schéma de régulateur (12V-5V). Le composant qui ne montre pas dans le schéma global.



Figure 3-19 : fusible

Au cycle de capteur d'humidité ce que mettre dans le projet sera remplacé par deux potentiomètres dans le schéma global (ISIS PROTEUS). Un pour d'humidité réglable de plante qui étudie, en prendre comme une consigne et l'autre comme humidité qui change dans le sol puisque pratiquement on va le donnée une tension analogique entre 0v et 5v.

3.7.3. Partie programmation :

Pour cette partie l'organigramme principale qui résume le fonctionnement de notre pompe solaire est montré dans Figure 3-20 : organigramme de fonctionnement de pompe solaire.

Ainsi il y-a des choses dans le programme (voir l'annexe) qui contient la commande d'affichage qu'est ce qui se passe dans notre montage plus la programmation comment ça marche les actionneur (pompe d'irrigation, pompe de remplissage) à l'aide des consignes des capteurs (Ultrasonic, flotteur, YL-69 d'humidité).

Le fonctionnement général de notre pompe solaire est le suivant :

Après l'initialisation de programme nous attendons des informations des capteurs, ce qui est une étape importante pour savoir ce qui se passe dans notre projet, on commence par le test de la présence ou bien no de l'eau au niveau de puits : si l'eau n'est pas présente le dispositif d'alarme est activé immédiatement test éteindre la pompe de remplissage , dans le cas contraire, c'est-à-dire l'eau est disponible on passe à l'étape de remplissage de réservoir si on reçoit le signal de flotteur d'absence d'eau (niveau d'eau = $\min(F2)$), après avoir rempli le réservoir jusqu'à ce qu'il reçoit le signal de flotteur ($\max(F1)$) Danc éteindre la pompe de remplissage on passe à tester l'humidité du sol, si le signale reçus et inférieur au consigne d'humidité qui a été réglée selon la nature du plante on passe à l'étape d'irrigation, la pompe qui consacré à l'irrigation s'arrête lorsque le seuil est atteint.

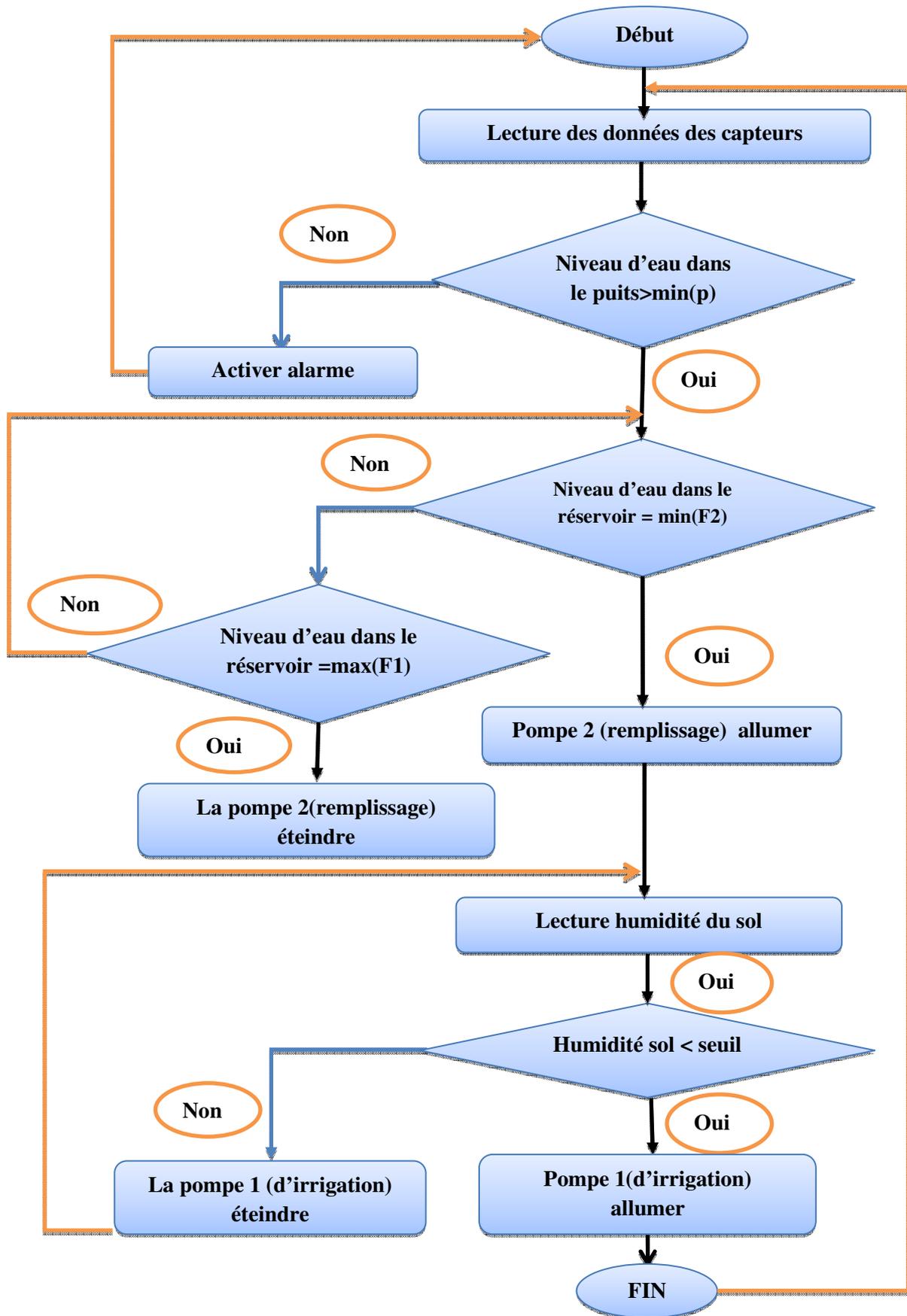


Figure 3-20 : organigramme de fonctionnement de pompe solaire.

3.8. Réalisation Pratique :

Pour réaliser notre pompe solaire on a décidé de réaliser une maquette qui supporte tous les composants de notre système à l'exception de panneau solaire qui sera installé hors maquette.

Maintenant nous allons passer à la phase d'installation. On a choisi des matériaux ainsi un mode de pose pour une réalisation non couteuse et sécurisée en même temps la station d'énergie composée de la batterie et le régulateur sont placés sur le bord de la maquette pour faciliter le control et l'entretien.

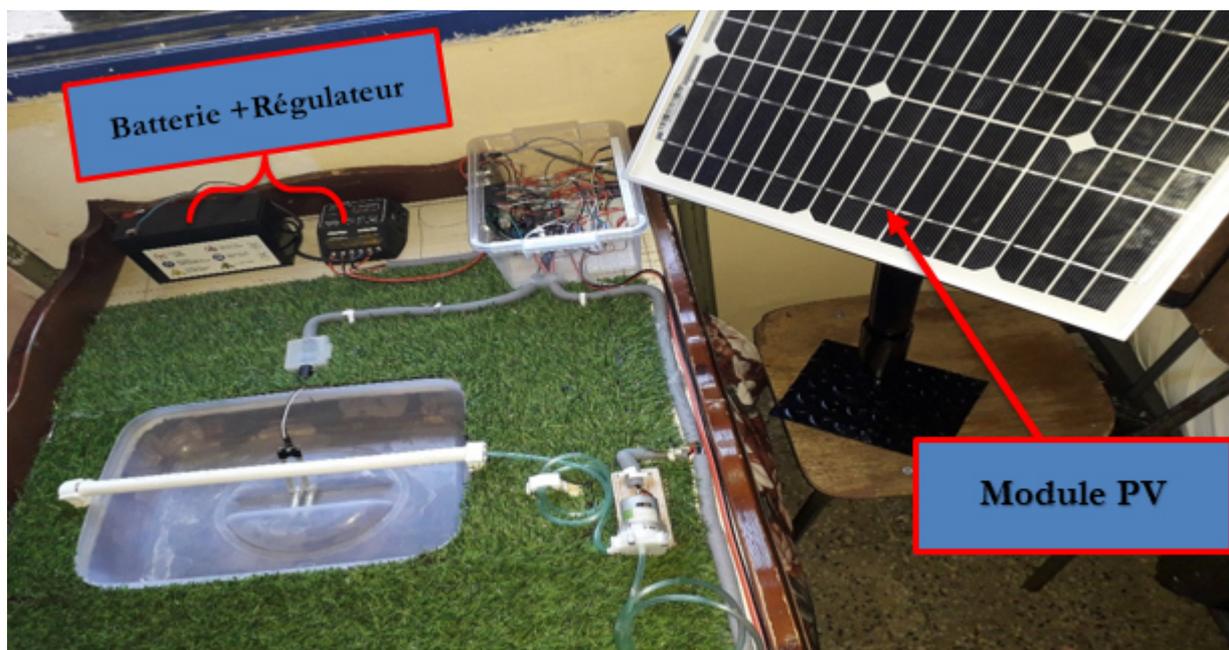


Figure 3-21 : Installation des éléments d'alimentation.

Nous avons donc choisi la taille et le type de tuyaux que nous voyons adaptés à la capacité de la pompe pour pomper de l'eau que nous avons installée de manière équilibrée, en commençant par le puits pour assurer un meilleur transmis de l'eau vers le réservoir. Et ces tuyaux sont proportionnels à la capacité de la pompe à un moment spécial, en ce qui concerne la position du réservoir dans ce cas à équilibrer pour recevoir des informations plus précises à travers le flotteur concernant le remplissage et le vidage du réservoir

Dans ce dernier cas, la pompe est raccordée au réservoir avec un tube plus petit, proportionnel à sa taille et à sa capacité, qui est placé dans un endroit élevé pour éviter une pression excessive sur l'eau et la protéger.

Nous avons choisi la taille des fils de conduction approprié au courant requis dans le circuit, en commençant par la pompe de puits puis par le réservoir, ensuite par la pompe d'irrigation pour

connecter ce dernier avec la boîte de commande à travers de couverture pour le protéger de dommage et éviter tous les risques en général.

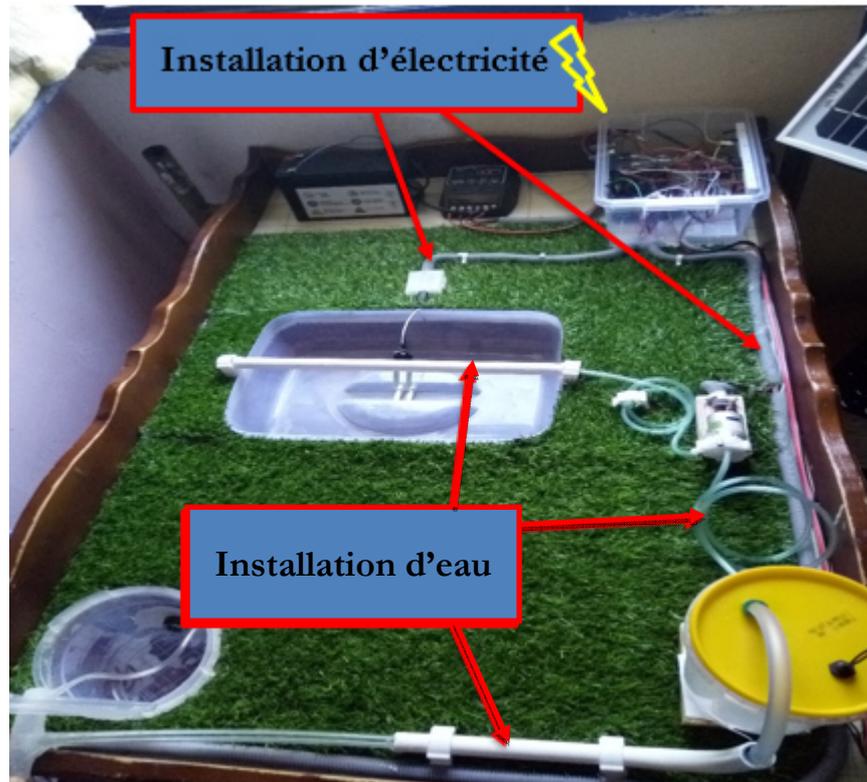


Figure 3-22 : Installation d'électricité et d'eau.

Les pompes utilisées :

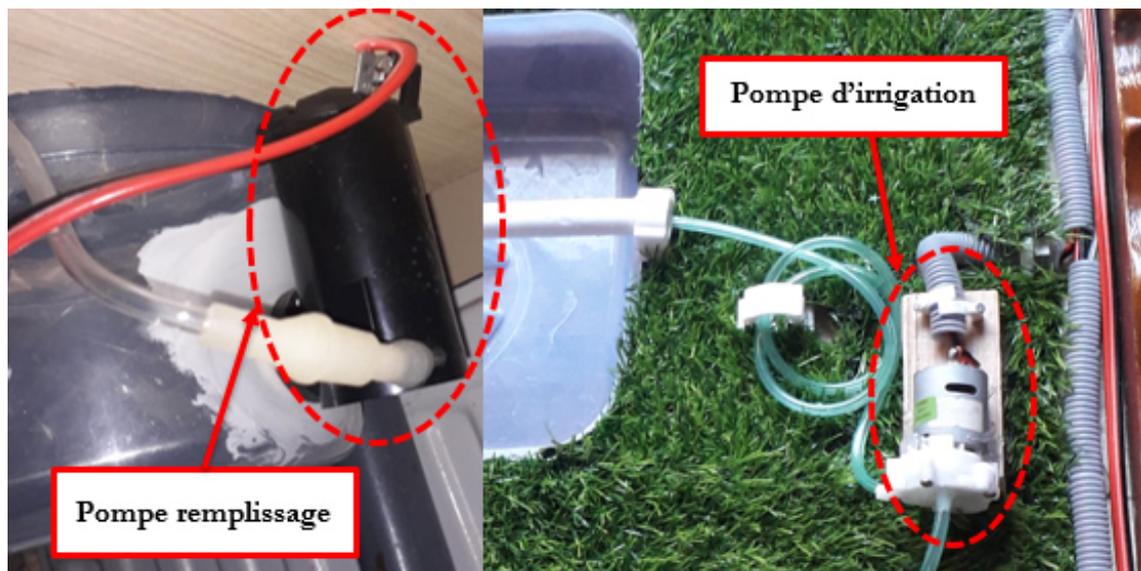


Figure 3-23 : emplacement des pompes

L'étape suivante est d'installer le capteur ultrasonore au-dessus de puits. Il est programmé de telle façon que la pompe remplissage n'absorbe pas l'air en évitant que cette dernière fonctionne si le niveau d'eau descend sous un niveau minimum figure 3-24.

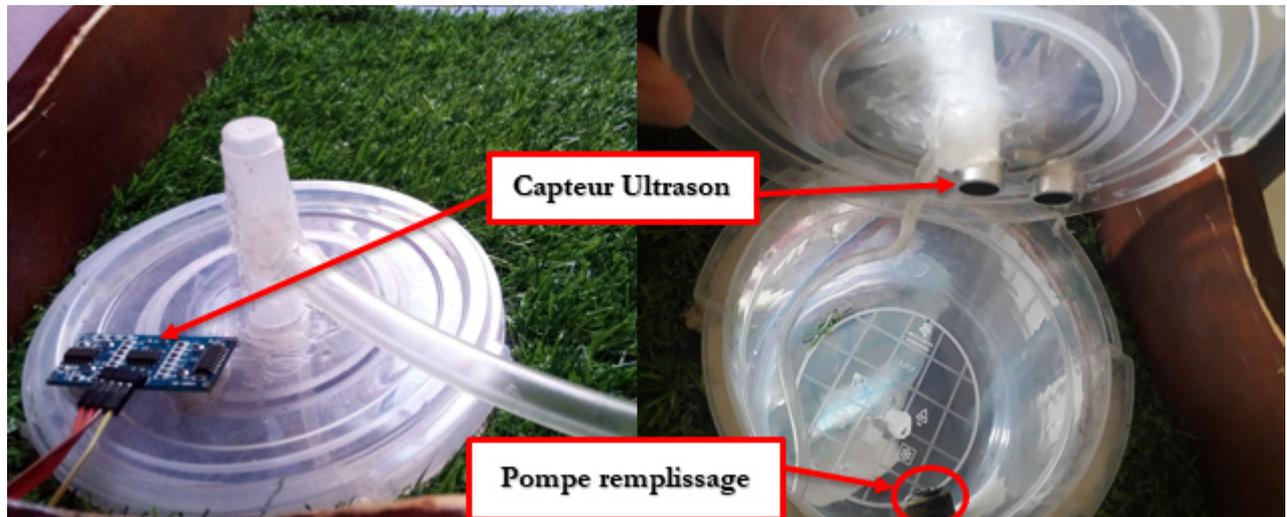


Figure 3-24 : Emplacement capteur ultrason et pompe de remplissage.

Nous avons utilisé deux flotteurs dans le réservoir. Le premier est fixé dans le fond pour détecter le niveau minimum de l'eau, dans ce cas, la pompe de remplissage fonctionne jusqu'à l'arrivée de l'information du deuxième flotteur indiquant le remplissage du réservoir et qui est fixé au-dessus de réservoir pour détecter le niveau maximum de l'eau dans le réservoir et éteindre ainsi la pompe de remplissage figure 3-25.



Figure 3-25 : Emplacement de flotteur dans le réservoir.

Quant au boîtier de contrôle, il contient l'Arduino et relais et plaque d'essai pour raccorder tous les fils de connexion selon le circuit que nous avons affiché au programme ISIS proteus et aussi contient circuit de convertisseur (12v, 5v) qui vient à travers la source d'alimentation.

Est sera placé dans cette boîtier pour protégé contre tous les effets externes (l'eau, vent, etc.), les photos suivant montrer les étapes de conception et différent partie

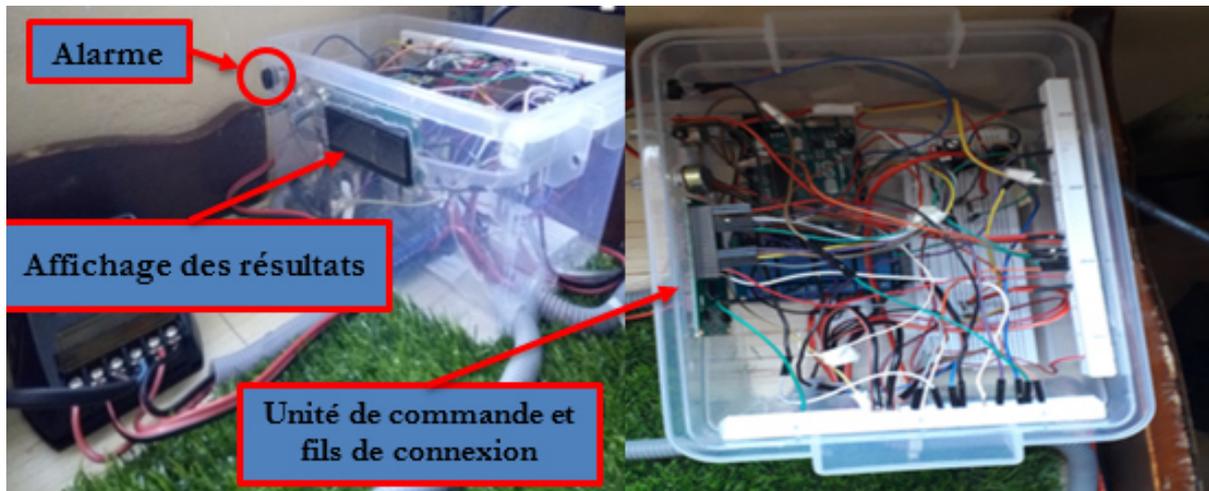


Figure 3-26 : Branchement des composants utilisé dans boîtier de contrôle.

CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

Ce travail a été consacré pour une étude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque dans un site isolé. Pour installer un système d'irrigation pour un site loin du réseau électrique, il faut prévoir une source secondaire, et elle doit être disponible pour répondre au besoin de l'irrigation de la zone en question. Donc on a proposé une pompe solaire autonome et qui fonctionne automatiquement selon l'état du sol (humidité) et pour cela, on a présenté ce travail sur trois chapitres dans le premier concerne un état de l'art sur les systèmes PV et les pompes solaires, ensuite une simulation sur Matlab se trouve dans le chapitre 2 et qui concerne la modélisation et la simulation du panneau solaire, la batterie et les moteurs pour les pompes et finalement le troisième chapitre montre la réalisation pratique avec une simulation sur PROTEUS en utilisant une carte Arduino UNO. Le résultat obtenu montre que l'algorithme de commande fonctionne très bien et que cette application pour un système d'irrigation peut être une base pour un système d'irrigation grand échelle (système PV de grande puissance, champ plus important et des moteurs et des pompes plus puissantes).

Nettement ce projet, nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et d'acquérir une certaine expérience au niveau de la réalisation pratique. Nous avons eu l'occasion d'étudier, de concevoir et d'utiliser une diversité de matériels et logiciels et appliquer notre savoir et savoir-faire acquis lors de notre formation.

Comme perspective, on propose d'ajouter des applications très précises comme une commande à distance vers téléphone mobile et projet plus économique que ce soit en termes de coût, d'eau ou d'électricité

Références Bibliographiques

- [1] Degla Mohammed Larbi, Ben Ahmed Bachir. « Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque ». Master professionnel, Université Kasdi merbah Ouargla, 24/05/2017 –p 2.
- [2] Mekemeche Abdelkader « Conversions Photovoltaïques » Thèse de Doctorat L'Université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem Faculté des Sciences Exactes et Informatique Département de Physique. Soutenu le 04/07/2017.
- [3] BOUKHERS Djamil « Optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au pompage » Magister en électrotechnique, Université Mentouri de Constantine, 28/11/2007
- [4] KALAJI Farah, CHEKROUNI Nesrine « Commande d'un générateur photovoltaïque débitant sur une pompe (MPPT) » Université ABOU BAKR BELKAID, 2013/2014.
- [5] B. Equer « Le Pompage Photovoltaïque Manuel de cours », énergie solaire photovoltaïque ellipses, Université d'Ottawa, 1993. 281p
- [6] Zerguine Bilal, Houabes Mourad, « Modélisation d'un système de production électrique par la cellule photovoltaïque ». Université Badji MOKHTAR ANNABA, 2010.
- [7] A. labouret et M. viloz préface de Jean Louis Bal 'Energie solaire photovoltaïque', livre 4 édition, 2008.
- [8] dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/1067/1/ChapitreI.pdf de H. Benzaghrou, Chapitre I: L'énergie photovoltaïque et les cellules solaires.
- [9] <https://photovoltaique-energie.fr/les-panneaux-photovoltaïques.html> Consulter le 15/08/2018.
- [10] Ghada Bel Hadj Ali, « Les installations Photovoltaïques Raccordées au réseau », Tunis, le 27 Octobre 2014.
- [11] KHENFER RIAD << Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques >> DOCTORAT EN SCIENCES Présenté à la Faculté de Technologie Département D'électrotechnique Soutenu le : 05 Mars 2015.
- [12] « Générateurs photovoltaïques Principes de base », technique de montage et injection dans le réseau, cadres de la branche des installations électriques, Maîtres de l'enseignement, professionnel, 1992 ISBN 3-905232-08-1, N° de commande 724.242.
- [13] <http://www.sigma-tec.fr/textes/images/principe-effet-PV-ST.gif>. Consulter le 25/08/2018.
- [14] M. L. LOUAZENE, « Etude technico-économique d'un système de pompage Photovoltaïque sur le site de Ouargla », Thèse de magistère, université EL HADJ LAKHDAR-BATNA, 2008.
- [15] edoc.site_cours_photovoltaïque.pdf. Consulter le 23/07/2018.
- [16] http://public.iutenligne.net/etudes-et-realizations/sivert/panneaux-photovoltaïques/7_dfnition_de_la_puissance_de_crte.html. Consulter le 23/07/2018.

- [17] B. Mohammed, « Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque autonome » Centre Universitaire De Bechar Mémoire de Magister, 2007-2008.
- [18] Alain Ricaud, « Modules Et Systèmes Photovoltaïques ».Université De Savoie. Article : Septembre 2008.
- [19] BELAID LALOUNI Sofia, « Cours Energie Solaire Photovoltaïque» Université A.MIRA de BEJAIA, 2014/2015.
- [20] B. Multon, H. B. Ahmed, N.Bernard, « les moteurs électriques pour applications de grande série » Pierre-Emmanuel CAVAREC Antenne de Bretagne de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, Revue 3EI juin 2000.
- [21] <https://www.solaris-store.com/14-batterie-solaire>. Consulter le 26/08/2018.
- [22] Boudehouche MOHAMED DJALLAL, Ouennoughi MOKHTAR «Gestion d'un système photovoltaïque avec stockage»UniversitéABDERAHMANE MIRA DE BEJAÏA département génie électrique, Master en électrotechnique, Soutenus le : 16-06-2016.
- [23] Mazouz Karim «Etude D'une Batterie De Stockage Dans Un Système Photovoltaïque» Master En Electrotechnique, Université Abderrahmane-Mira-Bejaia, Année 2011/2012.
- [24] DAOUD Amine « Contrôle de la Puissance d'un Générateur Photovoltaïque pour le Pompage Solaire » Thèse de Doctorat Es-Sciences, Université d'Oran Mohamed Boudiaf, 17/09/2013.
- [25] LARY LIGRING, «Etude pour la mise en place du système de pompage d'un champ de neuf hectare pour une irrigation goutte à goutte a seheba au TCHAD» master énergies renouvelables,Institut International d'Ingénierie Ouagadougou 01, BURKINA FASO, d'octobre [2011/2012].
- [26] https://www.memoireonline.com/05/09/2066/m_Les-pompe-solaires—Dimensionnement-dune-station-de-pompage-en-zone-maracher0.html. Consulter le 03/09/2018.
- [27] <https://www.rs-online.com/designspark/different-types-of-motors-and-their-use-fr>. Consulter le 03/09/2018.
- [28] tiptopboards.com/137-capteur-d-humidit%C3%A9-du-sol-analogique-et-num%C3%A9rique.html. Consulter le 05/09/2018.
- [29]: <http://nalhossri.free.fr/LCD4bits.h/LCD4bits.h.html> Consulter le 03/09/2018.
- [30]: <https://www.gotronic.fr/art-detecteur-de-niveau-nf-flsw2-362.htm#>. Consulter le 03/09/2018.

Résumé :

Dans le cadre de ce projet tutoriel, nous nous sommes intéressées à la conception et au développement d'un système électronique dédié à l'irrigation et l'arrosage automatique à base de pompage solaire. Au cours de la période de réalisation du projet, nous avons essayé d'atteindre l'objectif attendu : Piloter et gérer un système d'irrigation d'une manière intelligente et totalement autonome tout en permettant l'économie d'eau, facilité la tâche d'irrigation et éliminé l'intervention humaine etc ...

L'intérêt accordé à notre système réside dans le fait qu'il peut être amélioré. L'automatisation est un domaine très vaste, pour cela notre système d'arrosage automatique pourrait en effet gagner plus d'intelligence et de l'interopérabilité.

Mots Clés : Système, Autonome, Irrigation, pompage, Solaire.