

الجمهورية الجزائرية
الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر
بلقايد -
تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

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

En : Génie électrique

Spécialité : Commande de machine électrique

Par : Amal Resfa

Sujet

Étude d'un système de pompage photovoltaïque

Soutenu publiquement, le 28 / 06 / 2017 , devant le jury composé de :

B.Yacoubi	Président	Maitre-Assistant	U.A.B- Tlemcen
A. Mechernene	Encadreur	Maitre de Conférences	U.A.B - Tlemcen
H.Banane	Co-encadreur	Docteur es Sciences	Ae photonics Maroc
M. Loucif	Examineur	Maitre-Assistant	U.A.B - Tlemcen

Année universitaire 2016/2017

Dedicaces

JE dédie ce travail :

- à celle qui m'a appris à aimer la vie et respecter les autres :
Ma douce Maman.
- à celui qui m'a appris à toujours garder la tête haute et à ne jamais renoncer à mes rêves :
Mon père .
- à ceux que j'aime et qui m'ont soutenue tout au long de ce projet :
Ma soeur Ibtissem
Mon frère Farid
A mon beau frère Mohamed
A mes meilleurs Amies
- à celle et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, particulièrement monsieur A.Elhamouni ingénieur dans la société Ae photonics Maroc et mon collègue B.Hamdaoui.

Amal RESFA
Tlemcen, le 28 juin 2017

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu le Tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé durant toutes ces années d'études et que grâce à lui que ce travail a pu être réalisé.

Nous sommes honorés que Monsieur B.Yacoubi maître assistant à l'Université Abou Bekr Belkaïd, ait accepté de présider et d'honorer de sa présence le jury de soutenance du présent mémoire de Master. Qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance et de notre profond respect.

Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements à notre encadreur, le Docteur A. Mechernene, Maître de Conférence à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen. Nous lui sommes reconnaissant pour la confiance dont il nous a fait preuve, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail, malgré les charges qu'il assume actuellement et pour ses précieux conseils qui nous ont permis une progression concrète dans ce projet.

Nous sommes honorés que monsieur M.Loucif Maître de Conférence à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen. d'avoir accepté d'évaluer ce travail en qualité d'examineurs.

Nous remercions le président directeur général monsieur A.Sidki de la société Ae-photonics Maroc pour m'avoir reçu en stage dans la société Ae Photonics Maroc. Nous remercions également mon co-encadreur H.Banane ingénieur à société Ae photonics Maroc et tous le groupe Ae photonics qui ont m'aider dans ce travail particulièrement le service après vente.

Amal Resfa
Tlemcen, le 28 juin 2017

TABLE DES MATIÈRES

DEDICACES 1	i
REMERCIEMENTS	ii
NOMENCLATURE	vii
GLOSSAIRE	x
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
I GÉNÉRALITÉ SUR L'ÉNERGIE SOLAIRE	2
I.1 PRÉSENTATION DU GROUPE AE PHOTONICS MAROC	3
I.2 INTRODUCTION	3
I.3 GISEMENT SOLAIRE	3
I.3.1 Le gisement solaire disponible au niveau du sol	4
I.3.1-1 Le rayonnement direct	4
I.3.1-2 Le rayonnement diffus	4
I.3.1-3 Le rayonnement réfléchi dû à l'albédo	4
I.3.1-4 Le rayonnement global	4
I.3.2 Position du soleil	5
I.3.3 Géométrie d'orientation " collecteur- faisceau du soleil "	6
I.4 LE GISEMENT SOLAIRE DANS LE MONDE	6
I.4.1 Le gisement solaire en Algérie [17] [8]	7
I.4.2 Le gisement solaire en Maroc	8
I.5 L'ÉNERGIE SOLAIRE	9
I.5.1 Type de l'énergie solaire	9
I.5.1-1 Solaire thermique	10
I.5.1-2 Solaire photovoltaïque	10
I.6 CONCLUSION	14
II SYSTÈMES DE POMPAGE SOLAIRE	15
II.1 INTRODUCTION	16
II.2 LE GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE	16
II.2.1 La cellule PV [28] [27]	16
II.2.1-1 Association des Cellules Photovoltaïques	17
II.2.2 Type des panneaux photovoltaïque	20
II.2.3 Les avantages et les inconvénients des panneaux PV	21

II.3 GROUPE MOTOPOMPE	22
II.3.1 Le moteur asynchrone	22
II.3.2 Expression du couple électromagnétique	28
II.3.3 Pompe solaire	30
II.3.3-1 Différentes types des pompes	30
II.4 CONTRÔLEUR	32
II.4.1 Onduleur	32
II.4.1-1 Caractéristiques propres à un onduleur pour sys- tèmes photovoltaïques (PV)	33
II.4.2 La commande MPPT	34
II.5 LA PARTIE STOCKAGE	35
II.6 CONCLUSION	36
III ÉTUDE DE CAS DANS LE POMPAGE SOLAIRE	37
III.1 ÉTAPE POUR ÉTABLIR UN PROJET	38
III.2 ÉTAPES D'INSTALLATION	38
III.3 ÉTUDE DE CAS	40
III.3.1 Dimensionnement par COMPASS	41
III.3.1-1 Présentation COMPASS	41
III.3.1-2 Les étape de dimensionnement	42
III.3.1-3 Résultat COMPASS	45
III.3.2 Dimensionnement manuel	49
III.4 CONCLUSION	49
IV DIMENSIONNEMENT	50
IV.1 INTRODUCTION	51
IV.2 PROGRAMME C++	51
IV.3 LES RÉSULTATS OBTENUS	56
IV.4 CONCLUSION	56
CONCLUSION GÉNÉRALE	57
BIBLIOGRAPHIE	59
ANNEXE A : DÉTAILS DES MODÈLES SIMULINK	1
ANNEXE B : DOCUMENTATION TECHNIQUE	4
ANNEXE C : ACCESSOIRES	8

TABLE DES FIGURES

I.1	Les trois composantes du rayonnement solaire.	4
I.2	Position du soleil observée d'après l'origine O	5
I.3	Position du soleil observée d'après l'origine O	6
I.4	Ensoleillement moyen annuel dans le monde [29]	7
I.5	Moyenne annuelle de l'irradiation solaire en Algérie	8
I.6	Moyenne annuelle de l'irradiation solaire en Maroc	8
I.7	Principe de la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire	9
I.8	Type d'énergie solaire	9
I.9	Classification des systèmes photovoltaïques [24]	11
I.10	Système photovoltaïque raccordées au réseau	11
I.11	Système raccordé à travers des réseaux résidentiels	12
I.12	système PV autonome	13
I.13	système hybride (PV-éolienne-groupe diesel)	13
I.14	système autonome sans stockage	14
I.15	Système autonome avec stockage	14
II.1	cellules, modules et champ panneaux photovoltaïques	16
II.2	Schéma d'une cellule photovoltaïque	17
II.3	Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque	17
II.4	Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en parallèle	18
II.5	Caractéristique $P - V$ des cellules PV raccordées en parallèle	18
II.6	Caractéristique $I - V$ des cellules PV raccordées en parallèle	18
II.7	Schéma de trois cellules PV associées en série	19
II.8	Caractéristique $P - V$ des cellules PV raccordées en série	19
II.9	Caractéristique $I - V$ des cellules PV raccordées en série	19
II.10	Monocristallin	20
II.11	poly cristallin	21
II.12	amorphe	21
II.13	Représentation du moteur asynchrone dans l'espace électrique.	23
II.14	Modèle généralisé biphasé de la MAS dans le repère (d,q)	27
II.15	Pompe immergée	31
II.16	La pompes centrifuge	31
II.17	Pompes hélicoïdales	32
II.18	Schéma d'un onduleur triphasé à deux niveaux	33
II.19	Circuit de puissance d'un contrôleur	33
II.20	Schéma de converge vers le MPP par $P\&O$	35
II.21	Algorithme de la méthode PO.	35

II.22 Description du système de pompage photovoltaïque	36
III.1 Implantation des socles	38
III.2 Supports des panneaux solaire	38
III.3 champ PV	39
III.4 Contrôleur	39
III.5 Pompe	39
III.6 Câble de couplage	40
III.7 Mesure des courants et des tensions	40
III.8 système pompage solaire	41
III.9 Capture d'écran du logiciel COMPASS	42
III.10 Interface graphique du logiciel COMPASS	42
III.11 lotopompe	43
III.12 Rapport	43
III.13 Devis	44
III.14 Fiche technique de l'onduleur	45
III.15 Schéma de branchement	46
III.16 Bession en eau	46
III.17 Débit par jour	47
III.18 Rayonnement	47
III.19 Caractéristique électrique de la pompe	48
III.20 PV	48
1 Panneau solaire	1
2 Panneau solaire	2
3 Diodes du panneau solaire	2
4 Fiche technique de panneau solaire	3
5 La pompe centrifuge	4
6 La fiche technique de la pompe	5
7 Contrôleur	6
8 Mesure de diagnostic de la pompe centrifuge	7
9 PowerPacks	8
10 SunSwitch	9
11 Sonde "wellproba"	9
12 Kits d'épissure	10
13 Floteur	10
14 PV Disconnect	11
15 PV Combiner	11

Nomenclature

Les principales notations et abréviations utilisées dans ce mémoire sont explicitées ci-dessous, sous leur forme la plus couramment employée dans le domaine du génie électrique.

Grandeurs électriques et mécaniques

Symbole	Signification
X	Grandeur statorique ou rotorique (le vecteur de tension, courant ou flux)
X_o	La composante homopolaire choisie nulle pour un système équilibré
L_s	Inductance cyclique propre statorique
L_r	Inductance cyclique propre rotorique
M	Inductance mutuelle cyclique entre stator et rotor
ω_s	Pulsation de synchronisme
$[A]$	Matrice d'évolution
$[B]$	Matrice de commande
$[U]$	vecteur de commande
PPV_n	La nouvelle puissance
$PPV_{(n-1)}$	L'enceint puissance dans le temps $(t - 1)$
P_H	Puissance hydraulique
P_{mec}	Puissance mécanique
η_{pompe}	Rendement de la pompe centrifuge
P_{elec}	Puissance électrique
η_{moteur}	Rendement des moteurs à courant alternatifs
P_g	Puissance générale
$\eta_{onduleur}$	Rendement d'onduleur
N_{PV}	Nombre des panneaux photovoltaïques
P_s	Puissance de panneau

Indices et exposants

Symbole	Signification
γ	Angle d'altitude
ψ	Angle d'azimut
δ	Angle solaire de déclinaison
ω	Angle horaire du soleil
φ	Angle de latitude géographique
θ_i	Angle d'incidence
β	Angle
α	Angle d'azimut
E_0	ensoleillement extraterrestre
N_P	Nombre des cellules connectées en parallèle
N_S	Nombre des cellules connectées en série
$[V_s]_{abc}$	Tensions instantanées des phases a,b,c statorique
$[V_r]_{abc}$	Tensions instantanées des phases a, b et c rotoriques
$[I_s]_{abc}$	Courants instantanées des phases a, b et c statoriques
$[I_r]_{abc}$	Courants instantanées des phases a, b et c rotoriques
$[\phi_s]_{abc}$	Flux totaux à travers les phases a,b etc statoriques
$[\phi_r]_{abc}$	Flux totaux à travers les phases a,b etc rotoriques
R_s	Résistances totales d'une phase statorique
R_r	Résistances totales d'une phase rotorique
L_s	Matrice des inductances statoriques
$[L_r]$	Matrice des inductances rotoriques
$[M_{rs}]$	Matrice des inductances mutuelles (stator-rotor)
$[M_{sr}]$	Matrice des inductances mutuelles (rotor-stator)
J	Inertie totale des parties mobiles
Ω	Vitesse mécanique de rotation du rotor
C_{em}	Couple électromagnétique de la machine
C_r	Couple de charge
f	Coefficient de frottement
p	Nombre de paires de pôles de la machine
ω	Vitesse électrique du rotor par rapport au stator
$[P]^{-1}$	Matrice inverse

Constantes

Nom	Symbole	Valeur	Unité
La masse volumique de l'eau	ρ	1000	Kg/m^3
Accélération de la pesanteur	g	9.81	m/s^2

Nom	Symbole	Unité
Temps	t	t
Tension	U	V
Courant	I	A
Puissance	P	W
Fréquence	f	Hz
Fréquence de rotation	f_r	Hz
Fréquence de synchronisme	f_r	Hz
Résistance série	R_s	Ω
Résistance shunt	R_{sh}	Ω
Courant de court circuit parallèle	I_{PCC}	A
Tension de circuit ouvert en parallèle	V_{PCO}	V
Courant de court circuit	I_{cc}	A
Tension de circuit ouvert	V_{CO}	V
Courant de court circuit série	I_{SCC}	A
Tension de circuit ouvert en série	V_{SCO}	V
Glissement	g	$\%$
Vitesse de synchronisme	Ω_s	tr/s
Débit	Q	m^3/h
Hauteur manométrique total	HMT	m
Puissance photovoltaïque	P_{PV}	W
Tension photovoltaïque	V_{PV}	V

Glossaire

Acronyme	Signification
GPV	Générateur photovoltaïque
HMT	Hauteur manométrique total
MPPT	Maximum power point tracking
MPP	Power point maximum
PV	Photovoltaïque
ASA	Agence Spatiale Allemande
<i>P&O</i>	Perturbe et Observe
CIS	Cuivre-indium-sélénium

Introduction générale

Beaucoup de populations dans les zones rurales des pays en voie de développement affrontent de grands problèmes dus au déficit en eau. Ces problèmes sont spécialement accentués dans zones désertiques et semi-désertiques. Le déficit en eau dans les zones arides et semi-arides est une question vitale pour les populations. L'amélioration des conditions de vie dans ces zones est liée à la recherche des solutions adéquates à ce problème. Le pompage solaire photovoltaïque (PV) représente la solution idéale pour l'approvisionnement en eau partout où le réseau électrique est absent. Dans ce contexte, le travail de recherche présenté dans ce mémoire est une contribution à l'étude des systèmes de pompage photovoltaïque. Notre travail est partagé en quatre chapitres Le premier chapitre donne une idée générale sur l'énergie solaire , le gisement solaire , ensuite on donnera les différents types des systèmes photovoltaïques. Le deuxième chapitre concerne une description sur le système de pompage photovoltaïque. ,il est constitué d'un ensemble d'éléments, nous avons discuté de chaque élément, le troisième chapitre, on fait l'étude de cas dans le pompage solaire, cette étude présente deux méthode de dimensionnement, une méthode théorique et une méthode par logiciel "COMPASS". Le quatrième chapitre, je pensais à faire un programme c++ même principe du logiciel COMPASS. On trouvera aussi à chaque fin de chapitre C++ une conclusion, qui peut servir de fil conducteur et accompagner le lecteur lors de la lecture de ce mémoire. Ce travail s'achève par une conclusion générale. Enfin, des fiches techniques relatives aux composants et matériels étudiés et choisis sont présentés en annexes.

Chapitre I

Généralité sur l'énergie solaire

SOMMAIRE

I.1	PRÉSENTATION DU GROUPE AE PHOTONICS MAROC	3
I.2	INTRODUCTION	3
I.3	GISEMENT SOLAIRE	3
I.3.1	Le gisement solaire disponible au niveau du sol	4
I.3.2	Position du soleil	5
I.3.3	Géométrie d'orientation " collecteur- faisceau du soleil "	6
I.4	LE GISEMENT SOLAIRE DANS LE MONDE	6
I.4.1	Le gisement solaire en Algérie [17] [8]	7
I.4.2	Le gisement solaire en Maroc	8
I.5	L'ÉNERGIE SOLAIRE	9
I.5.1	Type de l'énergie solaire	9
I.6	CONCLUSION	14

I.1 Présentation du groupe AE Photonics Maroc

Le groupe AE-Photonics Maroc est spécialisé dans la vente et la distribution de composants photovoltaïques (pompage solaire , injection solaire et autoconsommation solaire), dont l'objectif est d'accompagner le plan Maroc Vert pour la mise en valeur de l'agriculture marocaine; de développer et promouvoir le domaine des énergies renouvelable; d'apporter l'appui, et le soutien aux petits et moyens agriculteurs; de promouvoir le pompage avec l'énergie solaire photovoltaïque pour tous les systèmes d'irrigation spécialement le goutte à goutte; de réaliser des projets l'électrification rurale décentralisée par l'énergie solaire photovoltaïque [1] .

Nos valeurs :

- Respect, Flexibilité et Efficacité.
- Qualité et Innovation.
- Objectifs ambitieux mais réalistes.
- Maintenance, SAV et réparation fiables et en interne.

Nos principaux pôles d'activités sont [2] :

- La distribution de la marque LORENTZ Germany dans le secteur de pompage solaire.
- La distribution exclusive de la marque PHOTON SOLAR (les panneaux solaire).
- La distribution exclusive de la marque LUXOR SOLAR (les panneaux solaire).
- La distribution de la marque VICTRON : Onduleurs, Régulateurs, Convertisseurs, Batteries,..
- Réalisation des installations photovoltaïques autonomes et injectées au réseau (off-grid, on-grid).
- Réalisation des installations des kits de pompage solaire à l'usage agricole.
- Réalisation des parcs solaires photovoltaïques.
- Éclairage public solaire.

I.2 Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, elle pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis long temps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque. Notre premier chapitre va commencer par l'explication du mode de fonctionnement de cette énergie par l'introduction de la notion de gisement solaire ainsi que le fonctionnement des panneaux solaires notre source d'énergie dont l'objectif de comprendre le comportement de source inépuisable.

I.3 Gisement solaire

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [12] .

La connaissance du gisement solaire d'une région est précise selon [4] :

- la densité des stations pour lesquelles on a des données,
- le nombre d'années de mesures disponibles,
- le pas de temps des données (mois, jour, heure),
- la durée d'ensoleillement,
- l'albédo du sol ...

I.3.1 Le gisement solaire disponible au niveau du sol

Au niveau du sol le rayonnement solaire peut être absorbé et diffusé, pour cela on distingue plusieurs composants.

I.3.1-1 Le rayonnement direct

Il a fait un trajet dans l'atmosphère sans déviation géométrique, et correspond donc à la portion du rayonnement incident dans la direction d'éclairement du Soleil, Il est mesuré par un appareil appelée pyrhéliomètre.

I.3.1-2 Le rayonnement diffus

Qui résulte des diffractions du rayonnement direct par les nuages et les particules atmosphériques, et sa mesure est effectuée avec un pyranomètre.

I.3.1-3 Le rayonnement réfléchi dû à l'albédo

Qui résulte de la réflexion du rayonnement par les surfaces proches. L'albédo d'un milieu considéré est le rapport entre le flux de rayonnement réfléchi et le flux de rayonnement incident. Ce coefficient est d'autant plus élevé que la surface est claire (étendue d'eau, neige,..).

I.3.1-4 Le rayonnement global

C'est le rayonnement reçu sur une surface horizontale provenant du soleil et la somme des composants précédents comme le montre la figure I.1.

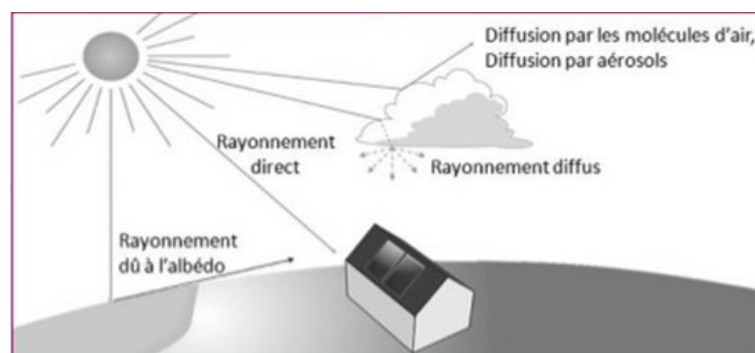


FIGURE I.1 – Les trois composantes du rayonnement solaire.

I.3.2 Position du soleil

La position du soleil sur la sphère céleste est donnée par l'angle d'altitude γ et l'angle d'azimut ψ figure I.2. Elle dépend de la date, la période du jour, et de la position géographique de l'observateur. La date, en nombre de jours n , détermine l'angle solaire de déclinaison δ de la terre, qui est au point O en radian. Elle est exprimée par l'équation suivante [5] :

$$\delta = 23.45 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{284 + n}{365}\right) \quad (\text{I.1})$$

Le temps de la journée, en heures, est le reflet d'un angle nommé angle horaire du soleil, en radian équivalant à l'heure, qui est donné par l'équation suivante [26] :

$$\omega = (TSV - 12.h) \cdot \frac{\pi}{12.h} \quad (\text{I.2})$$

L'altitude γ et l'azimut ψ à un certain temps et date, à longitude et à latitude φ , sont alors calculés à partir des équations suivantes :

$$\sin \gamma = \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \quad (\text{I.3})$$

$$\cos(\varphi) = \frac{\sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) - \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta)} \quad (\text{I.4})$$

On note que l'azimut solaire ψ est négatif le matin et positif l'après-midi. Pour des positions sur l'hémisphère nordique, l'angle d'altitude γ est positif entre le lever et le coucher du soleil ; tandis que sur l'hémisphère méridional, il est négatif. L'angle de déclinaison δ est défini positif pendant l'été sur l'hémisphère nordique. L'angle de latitude géographique φ est positif sur l'hémisphère nord et négatif sur l'hémisphère sud.

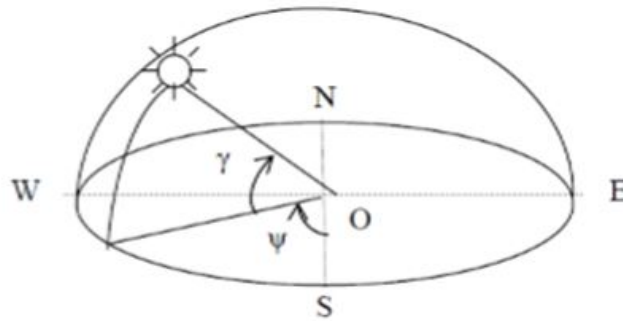


FIGURE I.2 – Position du soleil observée d'après l'origine O

I.3.3 Géométrie d'orientation " collecteur- faisceau du soleil "

La position du soleil vis-à-vis d'un collecteur orienté arbitrairement est déterminée par l'angle d'incidence θ_i du rayon du soleil comme montrée par la figure I.3. Pour le plan d'horizon, l'angle d'incidence est égal à l'angle zénith :

$$\cos(\theta_i) = \sin(\gamma) \quad (\text{I.5})$$

Pour un collecteur incliné avec l'angle β et l'azimut α , l'angle d'incidence θ_i est calculé à partir de :

$$\cos(\theta_i) = \sin(\gamma) \cdot \cos(\beta) + \cos(\gamma) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\alpha - \psi) \quad (\text{I.6})$$

Là où l'angle d'azimut α erre d'est-ouest et zéro pour l'orientation sud. L'ensoleillement extraterrestre E_0 reçue par un collecteur arbitrairement orienté est donnée par l'équation suivante :

$$E_{0\alpha\beta} = E_0 \cdot \cos(\theta_i) \quad (\text{I.7})$$

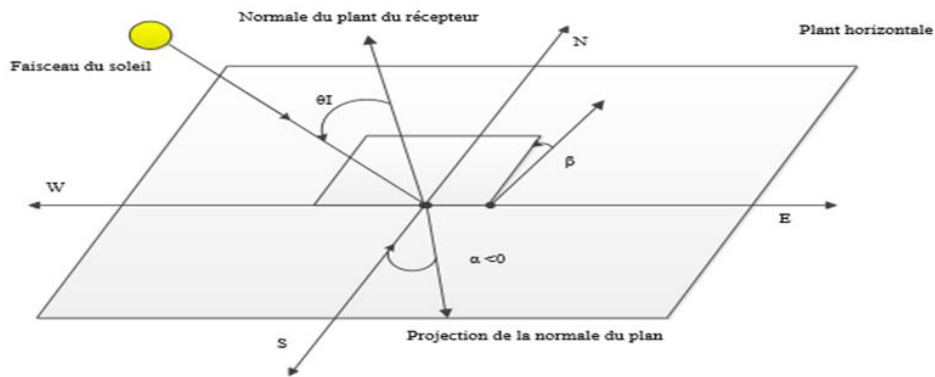


FIGURE I.3 – Position du soleil observée d'après l'origine O

I.4 Le gisement solaire dans le monde

La situation géographique de notre planète nous montre un gisement solaire très élevé ce qui nous pousse à faire penser à l'énergie solaire comme source d'énergie renouvelable et facile à l'exploiter pour produire de l'électricité.

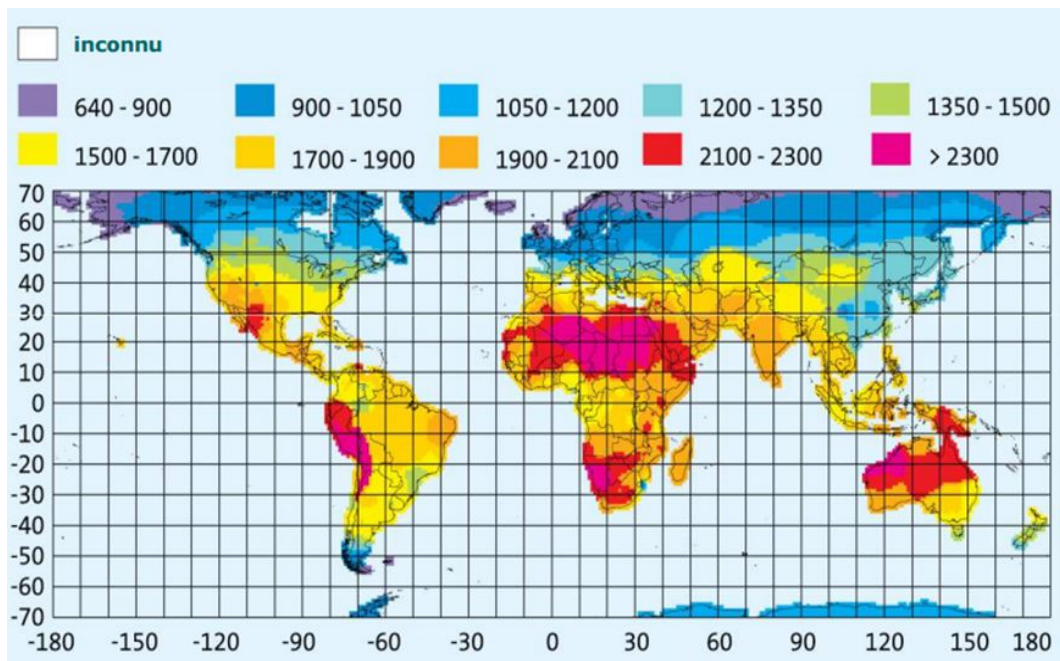


FIGURE I.4 – Ensoleillement moyen annuel dans le monde [29]

I.4.1 Le gisement solaire en Algérie [17] [8]

L'Algérie offre un gisement solaire très élevé, ce qui la classe parmi les trois pays qui disposent des meilleurs gisements solaires dans le monde.

Les taux d'irradiation solaire au niveau du nord de Sahara Algérien, La région d'Adrar particulièrement, est de l'ordre de $1200\text{KWh}/\text{m}^2/\text{an}$, Par contre, les meilleurs taux d'irradiation solaire en Europe sont de l'ordre de $800\text{KWh}/\text{m}^2/\text{an}$ limités à la partie sud de l'Europe. Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit $169.000\text{TWh}/\text{an}$ pour le solaire thermique, $13,9\text{TWh}/\text{an}$ pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel [3].

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000heures annuellement et peut atteindre les 3900heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m^2 est de l'ordre de 5kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de $1700\text{KWh}/\text{m}^2/\text{an}$ au Nord et $2263\text{KWh}/\text{m}^2/\text{an}$ au Sud du pays [4].

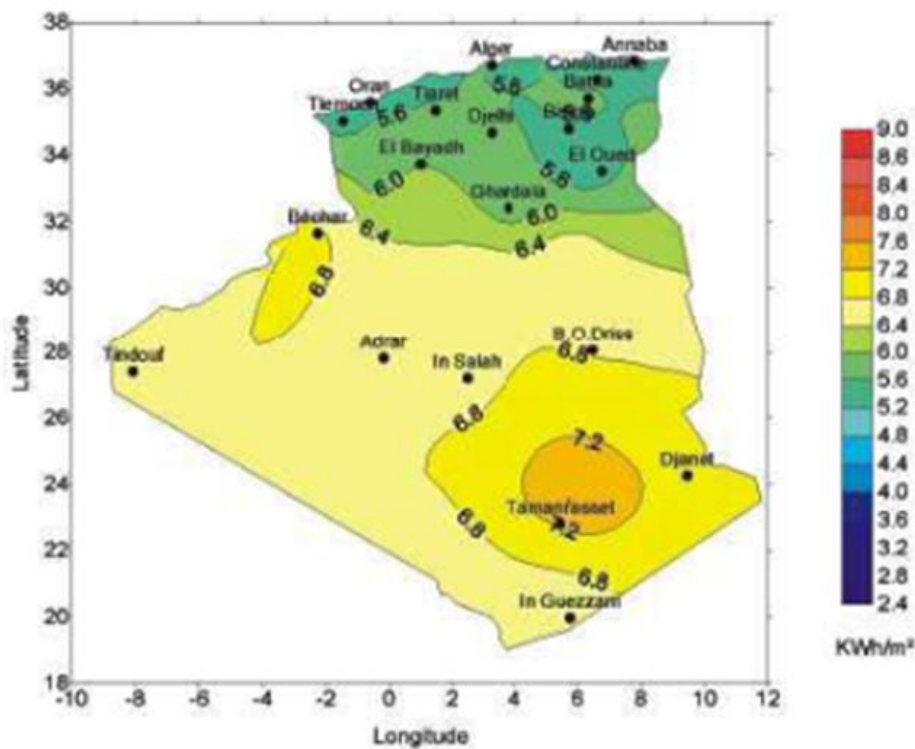


FIGURE I.5 – Moyenne annuelle de l’irradiation solaire en Algérie

I.4.2 Le gisement solaire en Maroc

De par sa situation géographique, le Maroc dispose d’un gisement solaire considérable d’une capacité de 20000MW , avec plus de 3000h/an d’ensoleillement et d’un potentiel moyen $5,5\text{kWh/m}^2/\text{jour}$. de $1700\text{KWh/m}^2/\text{an}$ au Nord et $2263\text{KWh/m}^2/\text{an}$ au Sud du pays [4].

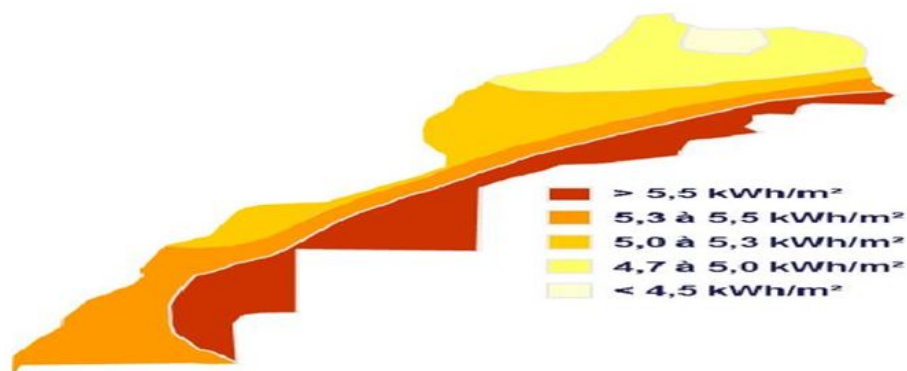


FIGURE I.6 – Moyenne annuelle de l’irradiation solaire en Maroc

I.5 L'énergie solaire

L'électricité est une des formes d'énergie les plus versatile et qui s'adapte au mieux à chaque nécessité. Son utilisation est si étendue, qu'aujourd'hui on pourrait difficilement concevoir une société techniquement avancée qui n'en fasse pas usage.

Des milliers d'appareils sont dessinés pour fonctionner grâce à l'énergie électrique, soit sous forme de courant continu de faible tension, soit à partir d'un courant alternatif de tension plus élevée. Il est très intéressant de produire de l'électricité avec une source d'énergie sûre et pas polluante, comme l'énergie solaire.

Le principe de l'énergie solaire photovoltaïque consiste à transformer le rayonnement solaire en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque.



FIGURE I.7 – Principe de la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire

Il existe deux méthodes pour pouvoir convertir l'énergie solaire en électricité, On distingue :

- les systèmes de conversion thermodynamique,
- les systèmes directs, fondés sur les interactions physiques entre les photons de la radiation incidente et les électrons du matériau, l'effet photovoltaïque.

I.5.1 Type de l'énergie solaire

Il existe deux types d'énergie solaire : photovoltaïque, thermique.

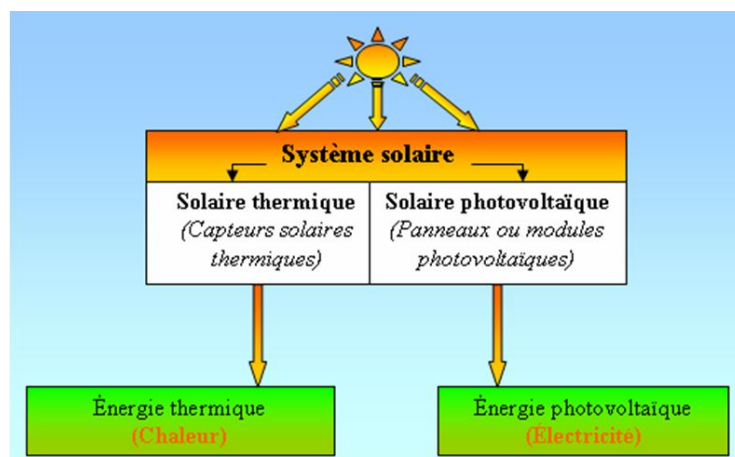


FIGURE I.8 – Type d'énergie solaire

I.5.1-1 Solaire thermique

est une des sources d'énergie renouvelable la plus facile à mettre en œuvre et à utiliser, elle permet de se chauffer et de produire de l'eau chaude. Des capteurs métalliques absorbent la lumière du soleil, transférée ensuite à un fluide caloporteur.

-Le thermique à basse température

La chaleur émise par le Soleil peut être utilisée directement. Il s'agit de dispositifs opérant à basse température (moins de 100°C) pour les usages de l'habitat, du secteur tertiaire et de l'industrie. C'est aujourd'hui la part prépondérante du solaire dans le monde.

-Le thermique à concentration

La chaleur collectée à partir du rayonnement solaire peut également être utilisée pour fabriquer de l'électricité. On a alors recours à de vastes centrales au sol, appelées centrales thermodynamiques.

Elles sont dotées de dispositifs de miroirs qui concentrent les rayons solaires et les convertissent en chaleur à très haute température entre ($200^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$). Cette chaleur est transformée en énergie mécanique puis en électricité, selon un processus identique à celui des centrales nucléaires.

I.5.1-2 Solaire photovoltaïque

Le terme photovoltaïque est d'origine grecque. Il est composé de deux parties : le terme photos voulant dire lumière et Volt qui est l'unité de la tension électrique, du nom Alessandro Volta [22].

Le photovoltaïque est une énergie renouvelable issue du soleil. Il utilise directement le rayonnement solaire pour transformer la lumière en courant électrique grâce à l'effet photovoltaïque. L'électricité est produite à partir de la lumière du jour et pas seulement par l'exposition au soleil [7].

Différents types de système PV

Ils sont classifiés selon le schéma suivant :

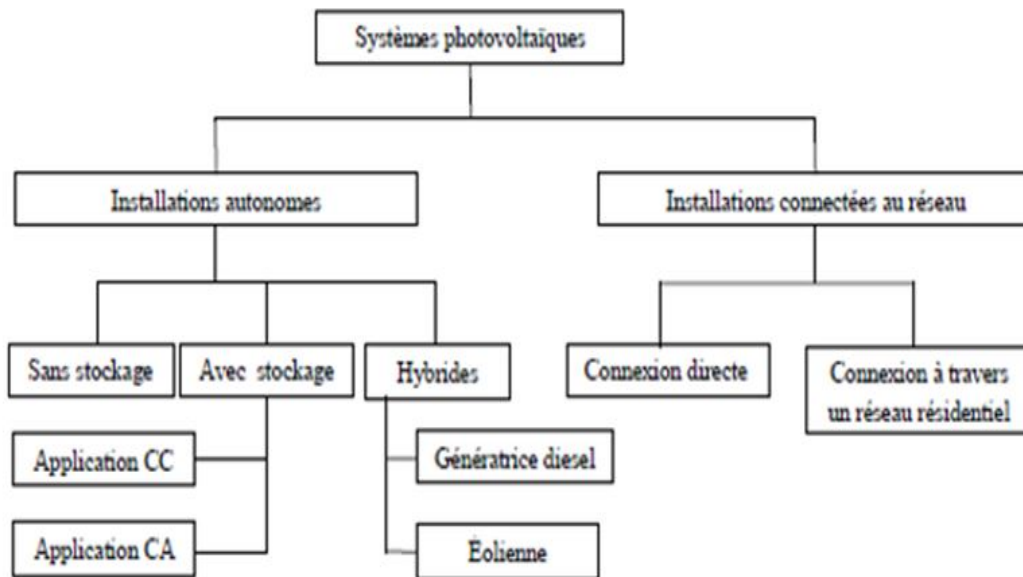


FIGURE I.9 – Classification des systèmes photovoltaïques [24]

1. Système PV raccordées au réseau

Les systèmes PV raccordées au réseau sont généralement divisés selon deux modes de connexion.

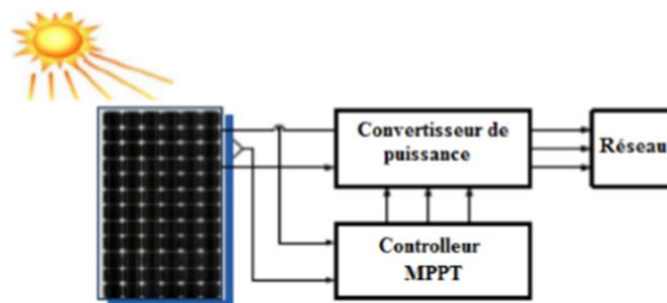


FIGURE I.10 – Système photovoltaïque raccordées au réseau

-Connexion directe

Dans ce cas, toute l'énergie produite est vendue et le courant consommé est fournie par le réseau.

-A travers des réseaux résidentiels

La puissance injectée au réseau sera le surplus de la puissance produite ; lorsque la production dépasse la consommation dans les réseaux domestiques.

Le prix pratiqué par les compagnies électriques pour la vente d'électricité à leurs clients est inférieur au tarif d'achat du kWh produit par une installation PV. Il est donc nécessaire de compter séparément les kWh injectés et ceux prélevés sur

le réseau, ce qui oblige à installer deux compteurs unidirectionnels (électroniques) : Un compteur mesure l'énergie renvoyée sur le réseau électrique lorsque la production dépasse la consommation ; et un autre compteur qui comptabilise l'énergie achetée au fournisseur d'énergie.

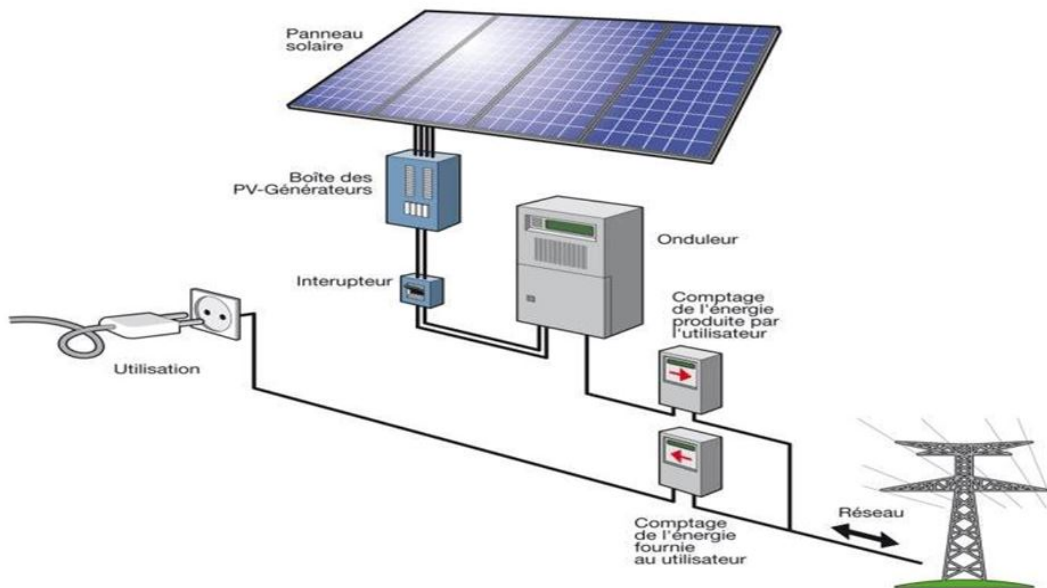


FIGURE I.11 – Système raccordé à travers des réseaux résidentiels

2. Système autonome

Ce type de systèmes est généralement utilisé dans les sites isolés où il n'y a pas de réseau. Il est constitué d'un générateur photovoltaïque qui permet de fournir l'énergie électrique nécessaire, un ensemble de batteries où accumulateurs a pour rôle le stockage d'énergie car la consommation ne dépend pas des heures d'ensoleillement, un régulateur qui a le rôle de protéger les batteries contre les surcharges et les décharges profondes.

De plus, ces installations comportent également selon le cas des interfaces de conversion continu-continu (charges fonctionnant en courant continu) et/ou continu-alternatif (charges fonctionnant en courant alternatif).

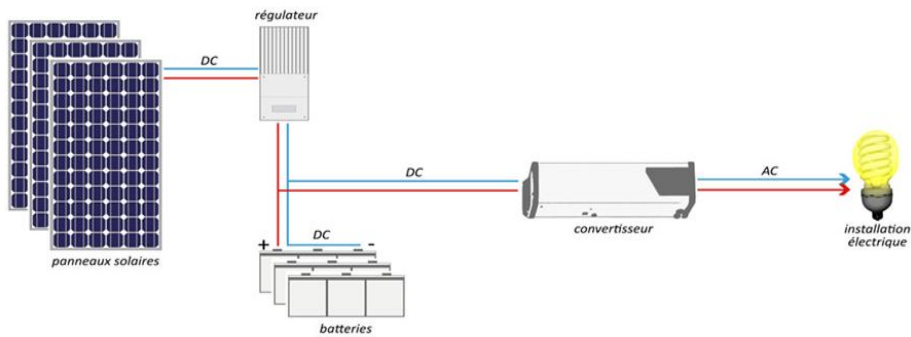


FIGURE I.12 – système PV autonome

-Système hybride [6]

Le type d'installation est dit hybride Lorsque le générateur PV ne couvre pas les besoins énergétiques, il possible d'introduire d'autre sources (éolienne, petite hydraulique, biomasse, groupe diesel...) a n de mieux garantir la qualité de l'approvisionnement en électricité.

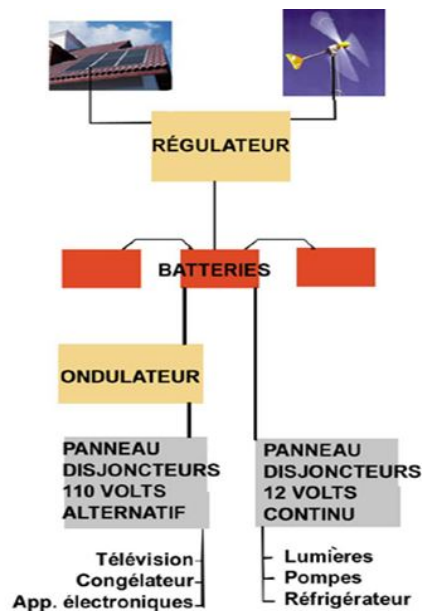


FIGURE I.13 – système hybride (PV-éolienne-groupe diesel)

-Système sans stockage

Les systèmes de pompage photovoltaïque fonctionnent au fil du soleil sans stockage électrochimique, L'eau ainsi pompée peut être utilisée directement ou stockée dans un réservoir pour des utilisations ultérieures.

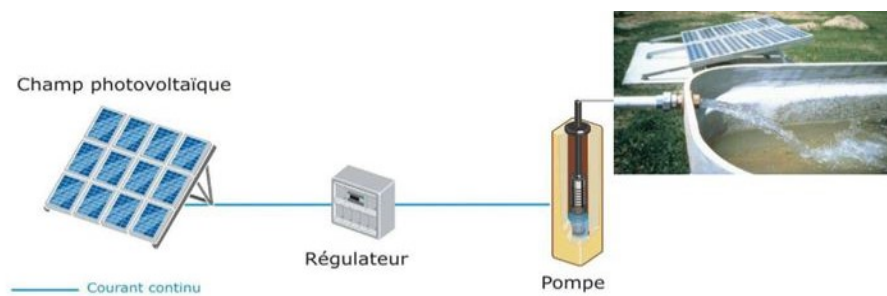


FIGURE I.14 – système autonome sans stockage

-Système avec stockage

Pour le stockage d'énergie électrique on utilise les batteries, qui seront alimenté pendant les périodes d'ensoleillement.

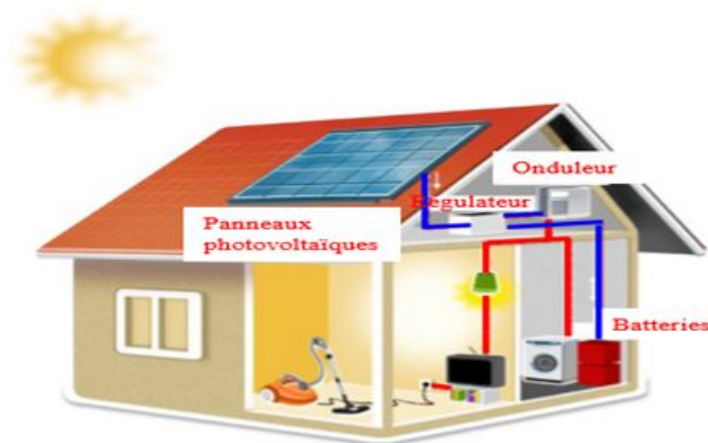


FIGURE I.15 – Système autonome avec stockage

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une introduction sur l'énergie solaire, puis une présentation de la société où j'ai effectuée mon stage de fin d'étude, enfin les notions et définitions de gisement, ainsi que les différents types d'énergie solaire ont été exposé.

Chapitre II

Systemes de pompage solaire

SOMMAIRE

II.1 INTRODUCTION	16
II.2 LE GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE	16
II.2.1 La cellule PV [28] [27]	16
II.2.2 Type des panneaux photovoltaïque	20
II.2.3 Les avantages et les inconvénients des panneaux PV	21
II.3 GROUPE MOTOPOMPE	22
II.3.1 Le moteur asynchrone	22
II.3.2 Expression du couple électromagnétique	28
II.3.3 Pompe solaire	30
II.4 CONTRÔLEUR	32
II.4.1 Onduleur	32
II.4.2 La commande MPPT	34
II.5 LA PARTIE STOCKAGE	35
II.6 CONCLUSION	36

II.1 Introduction

Les systèmes de pompage solaire photovoltaïque utilisent la conversion du rayonnement solaire en électricité pour alimenter des pompes immergées dans un forage ou un puits ainsi que des pompes de surface pour le refoulement du Bassin vers la goutte à goutte. [10]

Le système de pompage solaire est constitué généralement par :

- Le générateur photovoltaïque,
- le groupe moteur-pompe,
- l'électronique de commande et de contrôle,
- la partie stockage.

II.2 Le générateur photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque ou module est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques élémentaires montrées en série et/ou parallèle a fin d'obtenir des caractéristique électrique désirées tels que la puissance, le courant et la tension.

Les panneaux sont connectés en série. Ils forment alors une chaîne de modules ou string [13]

. Les modules sont montés en série et en parallèle pour réaliser un champ photovoltaïque



FIGURE II.1 – cellules, modules et champ panneaux photovoltaïques

Il faut également installer des diodes ou des fusibles en série sur chaque chaîne de modules. Ces protections sont utiles pour éviter qu'en cas d'ombre sur une chaîne ou cas de circuit fermé, elle se comporte Comme un récepteur et que le courant y circule en sens inverse et l'endommage.

Un panneau solaire fonctionne par l'effet photovoltaïque c'est-à-dire par la création d'une force électromotrice liée à l'absorption d'énergie lumineuse dans un solide.

II.2.1 La cellule PV [28] [27]

La cellule photovoltaïque constitue l'élément de base des panneaux solaires photovoltaïques. Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur, la tension générée peut varier entre $0.3V$ et $0.7V$ en fonction du matériau utilisé et de sa disposition pour le silicium délivrant une tension de l'ordre de $0,5$ à $0,6V$.

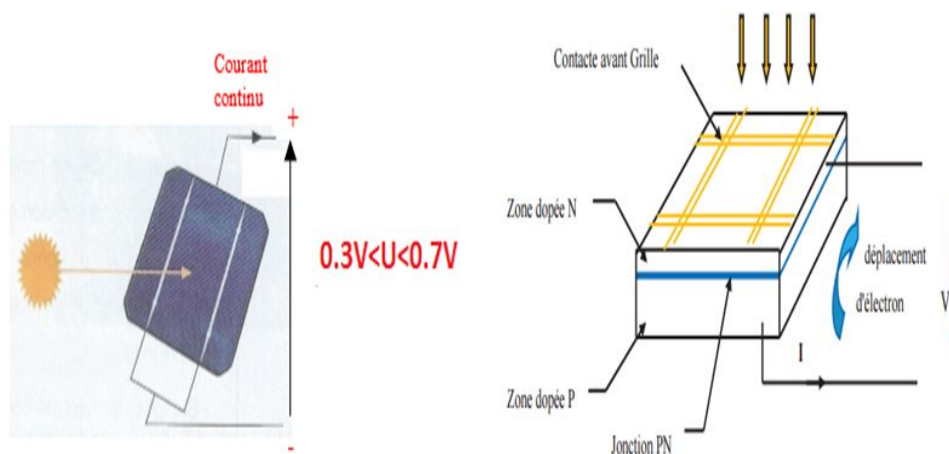


FIGURE II.2 – Schéma d'une cellule photovoltaïque

L'effet photovoltaïque une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La figure(II.2) illustre une cellule PV typique où sa constitution est détaillée [9]. Les performances de rendement énergétique atteintes industriellement sont de 13 à 14% pour les cellules à base de silicium monocristallin, 11 à 12% avec du silicium poly cristallin et enfin 7 à 8% pour le silicium amorphe en films minces [25]. La photopile ou cellule solaire est l'élément de base d'un générateur photovoltaïque [23].

la figure (II.3) suivante représente le schéma électrique d'un cellule photovoltaïque.

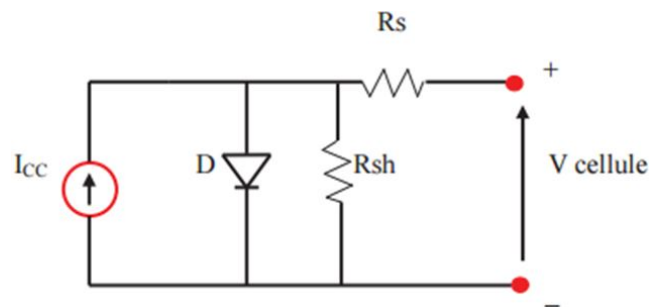


FIGURE II.3 – Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque

Les résistances R_s et R_{sh} permettent de tenir en compte des pertes liées aux défauts de fabrication. R_s représente les diverses résistances de contact et de connexion tandis que R_{sh} caractérise les courants de fuite dus à diode et aux effets de bord de la jonction.

II.2.1-1 Association des Cellules Photovoltaïques

L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un générateur PV. Si les cellules se connectent en série, les tensions de chaque cellule s'additionnent, augmentant la tension totale, si les cellules se connectent en parallèle, c'est l'ampérage qui augmentera comme représentés sur les figures suivantes.

-Association des Cellules Photovoltaïques en Parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement des cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. Les figures (II.6) Montrent les caractéristiques résultantes (I_{PCC}, V_{PCO}) obtenues en associant en parallèle (indice p) N_p cellules identiques :

$$I_{PCC} = N_p \cdot I_{CC} \quad \text{et} \quad V_{PCO} = V_{CO} \quad (\text{II.1})$$

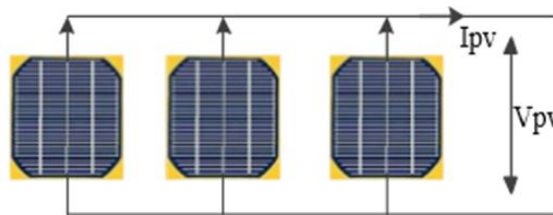


FIGURE II.4 – Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en parallèle

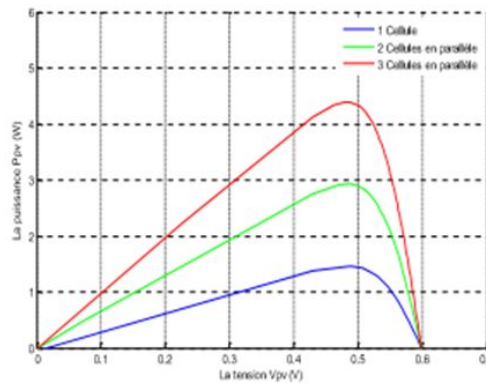


FIGURE II.5 – Caractéristique $P - V$ des cellules PV raccordées en parallèle

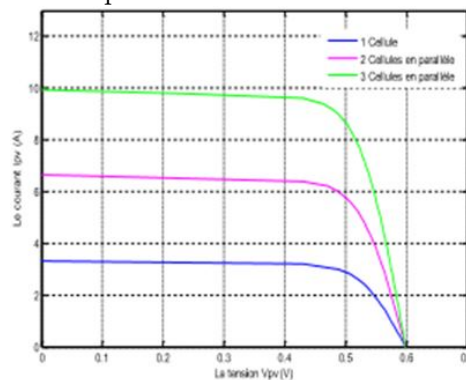


FIGURE II.6 – Caractéristique $I - V$ des cellules PV raccordées en parallèle

-Association des Cellules PV en Série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. Les figures (II.9) montrent la caractéristique résultante (I_{SCC}, V_{SCO}) obtenue en associant en série (indice s) N_s cellules identiques (I_{CC}, V_{CO}) [23] :

$$I_{SCC} = I_{CC} \quad \text{et} \quad V_{SCO} = N_s \cdot V_{CO} \quad (\text{II.2})$$

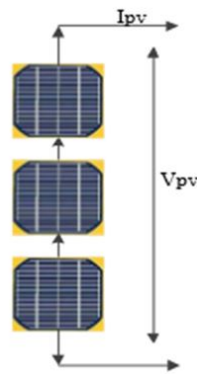


FIGURE II.7 – Schéma de trois cellules PV associées en série

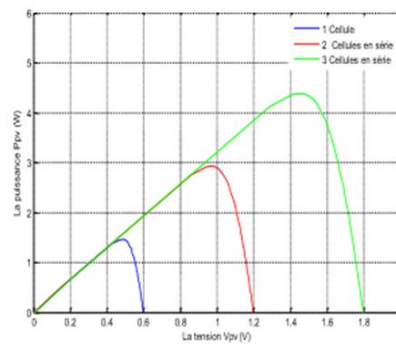


FIGURE II.8 – Caractéristique $P - V$ des cellules PV raccordées en série

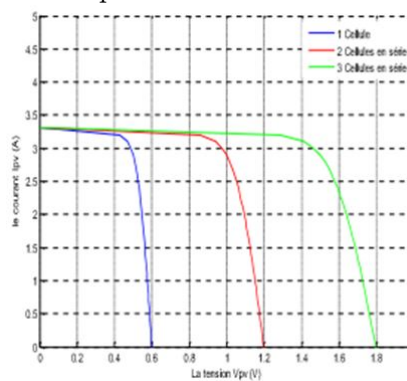


FIGURE II.9 – Caractéristique $I - V$ des cellules PV raccordées en série

La plupart des panneaux photovoltaïques commerciaux sont constitués par des sous-réseaux de cellules connectées en série. Chacun de ces sous-réseaux est lui-même constitué d'un groupe de cellules photovoltaïques connectés en série. Le nombre de cellules par sous-réseaux est le fruit d'un compromis économique entre protection et pertes d'une partie importante du générateur photovoltaïque en cas de défaut partiel.

II.2.2 Type des panneaux photovoltaïque [?]

Silicium monocristallin

Lors du refroidissement, le silicium fondu 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. Ce type de panneaux solaires photovoltaïques possède un très bon rendement, de l'ordre de 12 à 20%. Son coût est relativement élevé.



FIGURE II.10 – Monocristallin

Silicium poly cristallin

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux. Ce type de panneaux solaires photovoltaïques bénéficie d'un bon rendement de l'ordre de 11 à 15%. Le prix de ce type de panneaux solaires est moins élevé que le monocristallin, il représente donc à ce jour le meilleur rapport qualité/ prix.



FIGURE II.11 – poly cristallin

Silicium amorphe (a-si)

Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi conduction. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par contre son rendement de conversion est faible de (7 à 10%) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière [4].



FIGURE II.12 – amorphe

II.2.3 Les avantages et les inconvénients des panneaux PV

La technologie PV présente un grand nombre d'avantages [21] :

- D'abord, une haute fiabilité , qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées.
- Ensuite, le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers.
- Enfin, la technologie PV présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu. Malgré tous ces avantages il y a aussi des inconvénients,le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients :

- La fabrication du module PV relève de la haute technologique et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).
- lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur PV est accru.

II.3 Groupe Motopompe

II.3.1 Le moteur asynchrone

La machine asynchrone est le moteur employé dans plus de 80% des applications, notamment dans le transport (métro, trains, propulsion des navires), dans l'industrie (machines-outils), et dans les applications domestiques. Le choix de son utilisation est dû à son principal avantage qui réside dans l'absence de contacts électriques glissants, ce qui conduit à une structure simple et robuste facile à construire. Elle est utilisée dans une gamme de puissance d'applications de quelques Watts à plusieurs MW. Pour pouvoir évaluer les performances des onduleurs multi-niveaux, il est nécessaire de connaître dans un premier temps le comportement de moteur asynchrone, utilisant une source d'alimentation triphasée sinusoïdale parfaite.[19] Dans ce chapitre, nous présentons le principe de modélisation et simulation d'un moteur asynchrone.

principe de fonctionnement

Les trois enroulements statoriques alimentés par un réseau triphasé équilibré créent dans l'entrefer un champ magnétique tournant à la fréquence de rotation de synchronisme n_s . Les conducteurs du rotor sont soumis à ce champ tournant. Ils sont alors traversés par des courants de Foucault induits d'après la loi de Lenz ("les courants induits s'opposent par leurs effets à la cause qui leur donnent naissance"). Les enroulements du rotor étant en court-circuit, la circulation des courants est alors possible. Les forces de Laplace qui en résultent exercent des moments sur le rotor. Le rotor tourne alors à la fréquence de rotation n . De pardon principe, la fréquence de rotation du rotor est inférieure à la fréquence de synchronisme $f_r < f_s$ · [16]

Le glissement

On définit le glissement par l'expression :

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} \quad (\text{II.3})$$

On l'exprime en %, ordre de grandeur 3 à 5 % (pour le nominal)

Le moteur asynchrone est donc caractérisé par :

- La présence d'un seul bobinage polyphasé alimenté par une source extérieure au stator,
- La présence d'un «bobinage» au rotor, les trois bobinages sont en court-circuit.

Hypothèses simplificatrices

La technique que nous envisageons repose sur une présentation du moteur, nous avons posé des hypothèses simplificatrices :

- Entrefer constant, l'effet des encoches est négligeable,
- Distribution spatiale et des forces magnétomotrices d'entrefer sinusoïdales,
- Circuit magnétique est non saturé et parfaitement feuilleté (au stator comme au rotor),
- Pertes ferromagnétiques négligeables,
- L'influence de l'échauffement sur les caractéristiques n'est pas prise en compte,
- La répartition de l'induction le long de l'entrefer est sinusoïdale. [7]

Modèle de moteur asynchrone triphasée :

Le moteur asynchrone représenté par la figure II.13 se compose :

- D'un circuit statoriques fixe comportant trois phases identiques décalées entre elles de 120° ,
- D'un circuit rotorique mobile comportant trois phases identiques en court circuits décalées entre elles de 120° .

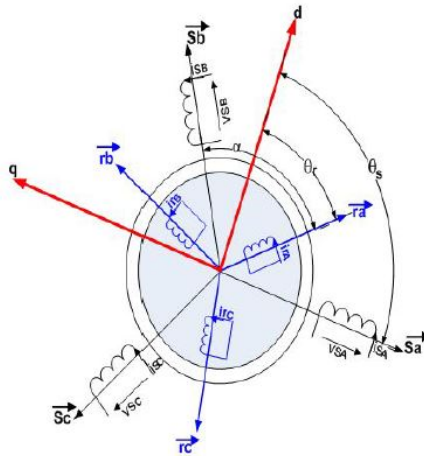


FIGURE II.13 – Représentation du moteur asynchrone dans l'espace électrique.

Équations électriques

A partir du schéma électrique du moteur asynchrone de la figure II.13, nous pouvons déduire les équations suivantes :

- Pour le stator :

$$V_r = \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{sa} \\ \varphi_{sb} \\ \varphi_{sc} \end{bmatrix} \quad (\text{II.4})$$

- Pour le rotor :

$$V_r = \begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ra} \\ I_{rb} \\ I_{rc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{ra} \\ \varphi_{rb} \\ \varphi_{rc} \end{bmatrix} \quad (\text{II.5})$$

$$V_s = [V_a V_b V_c]^T \quad (\text{II.6})$$

$$I_s = [I_a I_b I_c]^T \quad (\text{II.7})$$

$$\varphi_s = [\varphi_a \varphi_b \varphi_c]^T \quad (\text{II.8})$$

$$V_s = [V_a V_b V_c]^T \quad (\text{II.9})$$

$$V_r = [V_a V_b V_c]^T \quad (\text{II.10})$$

$$I_r = [I_a I_b I_c]^T \quad (\text{II.11})$$

$$\varphi_r = [\varphi_a \varphi_b \varphi_c]^T \quad (\text{II.12})$$

Équations magnétique

Les relations entre le flux et les courants s'écrivent comme suit :

- Pour le stator :

$$\begin{cases} \varphi_{sa} = l_s I_{sa} + m_s I_{sb} + m_s I_{sc} + m \cos(\theta) I_{ra} + m \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) I_{rb} + m \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) I_{rc} \\ \varphi_{sb} = m_s I_{sa} + l_s I_{sb} + m_s I_{sc} + m \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) I_{ra} + m \cos(\theta) I_{rb} + m \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) I_{rc} \\ \varphi_{sc} = m_s I_{sa} + m_s I_{sb} + l_s I_{sc} + m \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) I_{ra} + m \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) I_{rb} + m \cos(\theta) I_{rc} \end{cases} \quad (\text{II.13})$$

- Pour le rotor :

$$\begin{cases} \varphi_{ra} = l_r I_{ra} + m_r I_{rb} + m_r I_{rc} + m \cos(\theta) I_{sa} + m \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) I_{sb} + m \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) I_{sc} \\ \varphi_{rb} = m_r I_{ra} + l_r I_{rb} + m_r I_{rc} + m \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) I_{sa} + m \cos(\theta) I_{sb} + m \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) I_{sc} \\ \varphi_{rc} = m_r I_{ra} + m_r I_{rb} + l_r I_{rc} + m \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) I_{sa} + m \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) I_{sb} + m \cos(\theta) I_{sc} \end{cases} \quad (\text{II.14})$$

Sous forme matricielle on a :

$$[\varphi_s]_{abc} = [L_s][I_s]_{abc} + [M_{sr}][I_r]_{abc} \quad (\text{II.15})$$

$$[\varphi_r]_{abc} = [L_r][I_r]_{abc} + [M_{rs}][I_s]_{abc} \quad (\text{II.16})$$

Avec :

$$L_s = \begin{bmatrix} l_s & m_s & m_s \\ m_s & l_s & m_s \\ m_s & m_s & l_s \end{bmatrix} \quad (\text{II.17})$$

$$L_r = \begin{bmatrix} l_r & m_r & m_r \\ m_r & l_r & m_r \\ m_r & m_r & l_r \end{bmatrix} \quad (\text{II.18})$$

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^T = m_{sr} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (\text{II.19})$$

L'angle θ désigne l'angle électrique entre une phase du rotor et la phase correspondante du stator.

Équations mécanique

L'équation mécanique est donnée par [19] [7] :

$$C_{em} - C_r = J \frac{d\Omega}{dt} + f\Omega \quad (\text{II.20})$$

Avec :

$$p\Omega = p \frac{d\theta}{dt} = \omega \quad (\text{II.21})$$

Transformation de Park

La transformation de Park est une transformation du repère triphasé fixe (abc) au un repère biphasé (dq). Cette transformation permet de réduire la complexité du système. La transformation de Park est obtenue à partir d'une matrice unique (3×3) donnée par :

$$[P] = K_0 \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ K_1 & K_1 & K_1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.22})$$

Pour la la transformation avec conservation de l'amplitude : K_0 est un constante qui peut prendre la valeur $\frac{2}{3}$ et K_1 est un constante qui peut prendre la valeur $\frac{1}{2}$ La transformation de park devient :

$$[P] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (\text{II.23})$$

La matrice inverse $[P]^{-1}$ est donnée par :

$$[P]^{-1} = \frac{2}{3} \frac{1}{K_0} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & \frac{1}{2K_1} \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{2K_1} \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{2K_1} \end{bmatrix} \quad (\text{II.24})$$

Le passage du système triphasé au système diphasé est défini par le système d'équations suivantes :

$$\begin{bmatrix} X_d \\ X_q \\ X_o \end{bmatrix} = [P] \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} \quad (\text{II.25})$$

$$\begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} = [P]^{-1} \begin{bmatrix} X_d \\ X_q \\ X_o \end{bmatrix} \quad (\text{II.26})$$

La transformation de Clarcke

La transformation de CLARCK est obtenue pour : $\theta = 0 \implies$

$$[T] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \sqrt{3} & \sqrt{3} \\ 0 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.27})$$

$$[T]^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & 1 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.28})$$

$$P_0 = RT$$

$$T = P_0(\theta = 0)$$

Modèle de PARK de la machine asynchrone

L'application de la transformation de PARK au système donne

$$[P]^{-1} \begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \\ V_{so} \end{bmatrix} = R_s [P]^{-1} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ I_{so} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \left([P]^{-1} \begin{bmatrix} \phi_{sd} \\ \phi_{sq} \\ \phi_{so} \end{bmatrix} \right) \quad (\text{II.29})$$

En multipliant les deux membres de l'équation par $[P]$ et après développement on obtient :

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \\ V_{so} \end{bmatrix} = R_s \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ I_{so} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \left(\begin{bmatrix} \phi_{sd} \\ \phi_{sq} \\ \phi_{so} \end{bmatrix} \right) + \omega_a \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{sd} \\ \phi_{sq} \\ \phi_{so} \end{bmatrix} \quad (\text{II.30})$$

Pour le rotor, on effectue les mêmes opérations que pour le stator et après développement on aura l'équation suivante :

$$\begin{bmatrix} V_{rd} \\ V_{rq} \\ V_{ro} \end{bmatrix} = R_r \begin{bmatrix} I_{rd} \\ I_{rq} \\ I_{ro} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \left(\begin{bmatrix} \phi_{rd} \\ \phi_{rq} \\ \phi_{ro} \end{bmatrix} \right) + (\omega_a - \omega) \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{rd} \\ \phi_{rq} \\ \phi_{ro} \end{bmatrix} \quad (\text{II.31})$$

Puisque le neutre n'est pas relié, la composante homo-polaire est nulle, d'où les équations suivantes :

- Pour les tensions :

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi_{sd} \\ \phi_{sq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_s \\ \omega_s & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{sd} \\ \phi_{sq} \end{bmatrix} \quad (\text{II.32})$$

$$\begin{bmatrix} V_{rd} \\ V_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 \\ 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi_{rd} \\ \phi_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -(\omega_s - \omega) \\ (\omega_s - \omega) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{rd} \\ \phi_{rq} \end{bmatrix} \quad (\text{II.33})$$

- Pour les flux :

$$\begin{bmatrix} \phi_{sd} \\ \phi_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 \\ 0 & L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} \quad (\text{II.34})$$

$$\begin{bmatrix} \phi_{rd} \\ \phi_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_r & 0 \\ 0 & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \end{bmatrix} \quad (\text{II.35})$$

Avec :

$L_s = l_s - m_s$: Inductance cyclique propre statorique.

$L_r = l_r - m_r$: Inductance cyclique propre rotorique.

$M = \frac{3}{2} \cdot m_{sr}$: Inductance mutuelle cyclique entre stator et rotor.

Le développement des équations matricielles donne le système suivant :

- Les tensions :

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s I_{sd} + \frac{d\phi_{sd}}{dt} - \omega_s \phi_{sq} \\ V_{sq} = R_s I_{sq} + \frac{d\phi_{sq}}{dt} + \omega_s \phi_{sd} \\ 0 = R_r I_{rd} + \frac{d\phi_{rd}}{dt} - (\omega_s - \omega) \phi_{rq} \\ 0 = R_r I_{rq} + \frac{d\phi_{rq}}{dt} + (\omega_s - \omega) \phi_{rd} \end{cases} \quad (\text{II.36})$$

Le rotor du moteur asynchrone à rotor bobiné étant fermé sur lui-même (court-circuité), on prend V_{rd} et V_{rq} égales à zéro.

- Les flux :

$$\begin{cases} \phi_{sd} = L_s I_{sd} + M I_{rd} \\ \phi_{sq} = L_s I_{sq} + M I_{rq} \\ \phi_{rd} = L_r I_{rd} + M I_{sd} \\ \phi_{rq} = L_r I_{rq} + M I_{sq} \end{cases} \quad (\text{II.37})$$

Le modèle biphasé de moteur asynchrone dans le repère (d,q) est donné par la figure II.14.

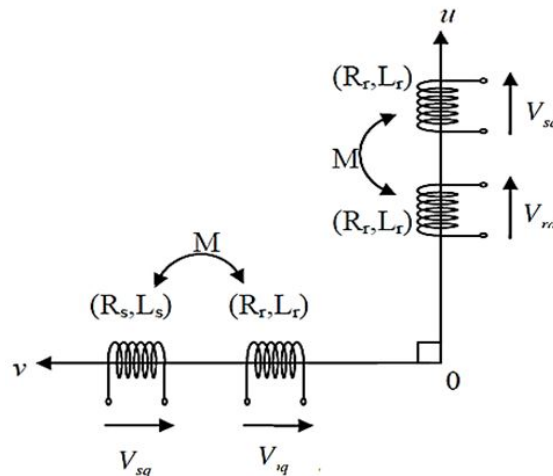


FIGURE II.14 – Modèle généralisé biphasé de la MAS dans le repère (d,q)

II.3.2 Expression du couple électromagnétique

- Les équations de la puissance [18] :

La puissance instantanée fournie aux enroulements statoriques et rotoriques s'écrit :

$$P_e = [V_s]^T [I_s] + [V_r]^T [I_r] \quad (\text{II.38})$$

En appliquant la transformation de Park, elle s'exprime en fonction des grandeurs d'axes (dq) :

$$P_e = \begin{pmatrix} V_{sd} & V_{sq} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} V_{rd} & V_{rq} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} = \left[I_{sd} \frac{d\phi_{sd}}{dt} + I_{sq} \frac{d\phi_{sq}}{dt} \right] + \left[I_{rd} \frac{d\phi_{rd}}{dt} + I_{rq} \frac{d\phi_{rq}}{dt} \right] + [(\phi_{sd} I_{sq} - \phi_{sq} I_{sd})] \quad (\text{II.39})$$

- Le premier crochet représente l'énergie magnétique emmagasinée dans le fer,
- Le deuxième crochet représente la puissance électromécanique P_{em} de la machine,
- Le troisième crochet représente les pertes joules.

$$C_e = \frac{3}{2} P (\phi_{sd} I_{sq} - \phi_{sq} I_{sd}) \quad (\text{II.40})$$

Choix du référentiel

La position du système d'axes (d,q) peut être fixée suivant les objectifs [7] :

- Référentiel immobile par rapport au stator (Référentiel lié au stator) ($\omega_s = 0$) : étude des grandeurs statoriques (système d'axes $(\alpha\beta)$).
- Référentiel immobile par rapport au rotor (Référentiel lié au rotor) ($\omega_s = \omega$) : étude des grandeurs rotoriques (système d'axes (x, y)).
- Référentiel lié au champs tournant ($\omega_s - \omega = \omega_r$) étude de la commande (système d'axes d, q) ω_s : Pulsation de synchronisme.

Représentation d'état du modèle de la machine

La représentation d'état de moteur asynchrone dépend du repère choisi et du choix des variables d'état pour les équations électriques. Nous écrivons les équations dans le repère (d, q) car c'est la solution la plus générale et la plus complexe. Le choix des variables d'état dépend des objectifs soit pour la commande soit pour l'observation

Modèle de la machine asynchrone alimentée en tension repère (d,q)

Le modèle de la machine asynchrone mise sous forme d'équation d'états de la forme :

$$[\dot{X}] = [A][X] + [B][U] \quad (\text{II.41})$$

Avec :

- $[A]$: Matrice d'évolution,
- $[B]$: Matrice de commande,
- $[U] = [V_{sd} V_{sq}]^T$: vecteur de commande.

En choisissant les variables d'état $I_{sdq} \phi_{rdq}$, on obtient le vecteur d'état $[X]$:

$$[X] = [I_{sd} I_{sq} \phi_{rd} \phi_{rq}]^T \quad (\text{II.42})$$

Après les calculs on obtient :

$$\frac{dI_{sd}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} V_{ds} - \gamma I_{sd} + \omega_s I_{qs} + \frac{\alpha}{\tau_r} \phi_{rd} + \alpha \omega \phi_{rq} \quad (\text{II.43})$$

$$\frac{dI_{sq}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} V_{sq} - \omega_s I_{sd} - \gamma I_{sq} - \alpha \omega \phi_{rd} + \frac{\alpha}{\tau_r} \phi_{rq} \quad (\text{II.44})$$

$$\frac{d\phi_{rd}}{dt} = \frac{M}{\tau_r} I_{sd} - \frac{1}{\tau_r} \phi_{rd} + \omega_r \phi_{rq} \quad (\text{II.45})$$

$$\frac{d\phi_{rq}}{dt} = \frac{M}{\tau_r} I_{sq} - \omega_r \phi_{rd} - \frac{1}{\tau_r} \phi_{rq} \quad (\text{II.46})$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{P}{J} C_e - \frac{f}{J} \omega - \frac{P}{J} C_r \quad (\text{II.47})$$

Donc on peut déterminer les matrices[A], [B]et[U] :

$$\begin{bmatrix} A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\gamma & \omega_s & \frac{\alpha}{\tau_r} & \omega\alpha \\ -\omega_s & -\gamma & -\omega\alpha & \frac{\alpha}{\tau_r} \\ \frac{M}{\tau_r} & 0 & -\frac{1}{\tau_r} & \omega_r \\ 0 & \frac{M}{\tau_r} & -\omega_r & -\frac{1}{\tau_r} \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ \phi_{rd} \\ \phi_{rq} \end{bmatrix} \quad (\text{II.48})$$

Avec :

$$\tau_r = \frac{L_r}{R_r}; \sigma = 1 - \frac{M^2}{L_s L_r}; \alpha = \frac{M}{\sigma L_s L_r}; \gamma = \frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{R_r M^2}{\sigma L_s L_r^2}; \quad (\text{II.49})$$

Modèle de la machine asynchrone alimentée en tension repère α, β

À partir de l'utilisation de la transformation de clark, les équations électriques de moteur asynchrone sont réécrites comme suit [7] :

Les équations électriques :

$$\begin{cases} V_{s\alpha} = R_s I_{s\alpha} + \frac{d\phi_{s\alpha}}{dt} \\ V_{s\beta} = R_s I_{s\beta} + \frac{d\phi_{s\beta}}{dt} \\ V_{r\alpha} = 0 = R_r I_{r\alpha} + \frac{d\phi_{r\alpha}}{dt} + \omega \phi_{r\beta} \\ V_{r\beta} = 0 = R_r I_{r\beta} + \frac{d\phi_{r\beta}}{dt} - \omega \phi_{r\alpha} \end{cases} \quad (\text{II.50})$$

Les équations magnétiques :

$$\begin{cases} \phi_{s\alpha} = L_s I_{s\alpha} + M I_{r\alpha} \\ \phi_{s\beta} = L_s I_{s\beta} + M I_{r\beta} \\ \phi_{r\alpha} = L_r I_{r\alpha} + M I_{s\alpha} \\ \phi_{r\beta} = L_r I_{r\beta} + M I_{s\beta} \end{cases} \quad (\text{II.51})$$

En suivant les mêmes démarches prises dans le référentiel précédent afin d'écrire le système d'équations sous la forme :

$$\frac{dI_{s\alpha}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} V_{\alpha s} - \gamma I_{s\alpha} + \omega_s I_{\beta s} + \frac{\alpha}{\tau_r} \phi_{rd} + \alpha \omega \phi_{r\beta} \quad (\text{II.52})$$

$$\frac{dI_{s\beta}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} V_{s\beta} - \omega_s I_{s\alpha} - \gamma I_{s\beta} - \alpha \omega \phi_{r\alpha} + \frac{\alpha}{\tau_r} \phi_{r\beta} \quad (\text{II.53})$$

$$\frac{d\phi_{r\alpha}}{dt} = \frac{M}{\tau_r} I_{s\alpha} - \frac{1}{\tau_r} \phi_{r\alpha} + \omega_r \phi_{r\beta} \quad (\text{II.54})$$

$$\frac{d\phi_{r\beta}}{dt} = \frac{M}{\tau_r} I_{s\beta} - \omega_r \phi_{r\alpha} - \frac{1}{\tau_r} \phi_{r\beta} \quad (\text{II.55})$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{P}{J} C_e - \frac{f}{J} \omega - \frac{P}{J} C_r \quad (\text{II.56})$$

Donc on peut déterminer les matrices [A], [B] et [U] :

$$\left[A \right] = \begin{bmatrix} -\gamma & 0 & \frac{\alpha}{\tau_r} & \omega\alpha \\ 0 & -\gamma & -\omega\alpha & \frac{\alpha}{\tau_r} \\ \frac{M}{\tau_r} & 0 & -\frac{1}{\tau_r} & \omega_r \\ 0 & \frac{M}{\tau_r} & -\omega_r & -\frac{1}{\tau_r} \end{bmatrix}; \left[B \right] = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \left[U \right] = \begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \end{bmatrix}; \left[X \right] = \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ \phi_{rd} \\ \phi_{rq} \end{bmatrix} \quad (\text{II.57})$$

Avec :

$$\tau_r = \frac{L_r}{R_r}; \sigma = 1 - \frac{M^2}{L_s L_r}; \alpha = \frac{M}{\sigma L_s L_r}; \gamma = \frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{R_r M^2}{\sigma L_s L_r^2} \quad (\text{II.58})$$

II.3.3 Pompe solaire

Une pompe est une machine pour convertir la puissance d'entrée mécanique en puissance liquide de rendement. Elle est couplée directement au moteur et elle est caractérisée par un couple, vitesse, débit. Une bonne adaptation entre la pompe et le moteur mène à des bons résultats. On appelle pompe tout appareil qui aspire un fluide d'une région à basse pression pour le refouler vers une région à plus grande pression. Ainsi, d'après cette définition on peut dire que le rôle de la pompe consiste à augmenter la pression du fluide.

II.3.3-1 Différentes types des pompes

Les pompes à eau sont habituellement classées selon leur principe de fonctionnement.

Les pompes immergées

La pompe immergée est indispensable pour aller puiser l'eau dans des niveaux inférieurs à 7 mètres de la surface. Il en existe pour toutes les profondeurs et tous les débits. Généralement constituées en inox.

Un autre avantage de la pompe immergée est le silence constaté lors de son activité. Elle ne fait aucun bruit et c'est agréable pour l'utilisateur. Côté logistique et entretien, la durée de vie de la pompe immergée est plus longue, car son système de pompage s'use moins vite. Ceci est dû au fait que l'eau est « poussée » au lieu d'être aspirée.

Plus une pompe immergée sera puissante, plus il lui sera facile, aisé et rapide d'effectuer une tâche. Mais il ne faut pas perdre de vue que cette puissance est liée à un coût en électricité. Il y a deux types de la pompe immergée



FIGURE II.15 – Pompe immergée

a. Les pompes centrifuges

La pompe centrifuge est conçue pour une hauteur manométrique totale (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 $Q \cdot HMT$, 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 (7160mètres). Elle est constituée des turbines, le nombre des turbines reliées avec le débit et HMT



FIGURE II.16 – La pompe centrifuge

b. Pompes hélicoïdales

La pompe HR est une pompe volumétrique, le rotor a un mouvement excentrique qui, lorsqu'il tourne à l'intérieur du stator, comprime efficacement l'eau à travers la pompe à chaque rotation. Cette action de déplacement positif signifie que l'eau est pompée lorsque la pompe fonctionne à des vitesses très faibles et qu'une haute pression peut être créée lui permettant de pomper de l'eau à des hauteurs élevées.

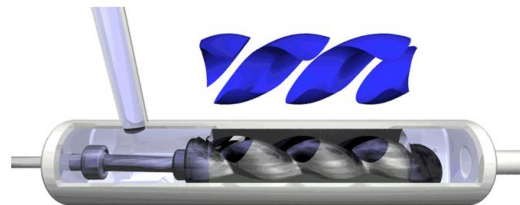


FIGURE II.17 – Pompes hélicoïdales

II.4 Contrôleur

Constitué un convertisseur « onduleur » plus régulateur donc c'est le cerveau d'installation

II.4.1 Onduleur

Un onduleur est un dispositif permettant de transformer en alternatif une énergie électrique de type continue. Il y a plusieurs type d'onduleur on utilise onduleur triphasé est généralement recommandé pour des applications de grande puissance .La structure de tel convertisseur se fait par l'association, en parallèle, de trois onduleurs monophasés en demi pont (ou en pont) donnant trois tensions de sortie déphasées de 120° degrés, l'une par rapport à l'autre. L'onduleur à deux principales propriétés :

- Stabilisé le courant électrique c'est-à-dire un onduleur va lisser les imperfections de l'électricité (problème de tension et surtension en des perturbations qui sont liée en général à l'installation électrique ou même a la production d'électricité et ne voir pas toujours courant super propre et super stable, l'onduleur va régler à ce problème.
- L'onduleur va permet de compensé et de rattrapé une coupure de courant quand il y a plus d'alimentation au niveau de prise secteur va basculer sur ces batteries internet permettre d'alimenté un certain nombre d'appareil et pondant un certain temps.

L'onduleur à deux niveaux de tension transforme le courant continu issu des panneaux en courant alternatif monophasé ou triphasé permettant de faire fonctionner la pompe. Cette transformation s'effectue avec un rendement excellent, supérieur à 95%. Il est composé de six interrupteurs par des diodes de récupération, afin de renvoyer le courant négatif vers le condensateur de filtrage mis à l'entrée de l'onduleur, les interrupteurs sont les transistors de puissance (MOSFET, IGBT, Bipolaires) et les thyristors rapides (principalement les GTO [15].

L'onduleur de tension utilisé dans cette monographie est schématisé dans la figure II.18 :

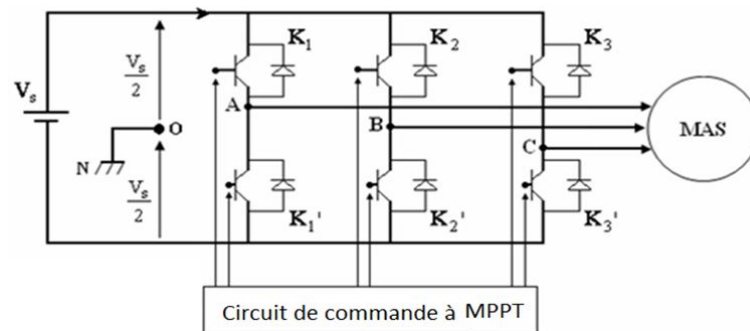


FIGURE II.18 – Schéma d'un onduleur triphasé à deux niveaux

La figure II.19 présente les composants de l'onduleur Lorentz

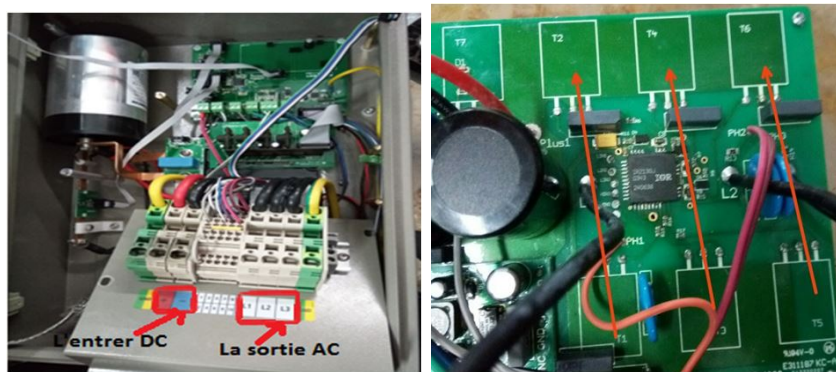


FIGURE II.19 – Circuit de puissance d'un contrôleur

Le contrôleur II est composé de six interrupteurs ; six MOSFET shuntés en antiparallèle par des diodes de récupération, afin de renvoyer le courant négatif vers le condensateur de filtrage mis à l'entrée de l'onduleur, et trois varistors pour la protection.

II.4.1-1 Caractéristiques propres à un onduleur pour systèmes photovoltaïques (PV)

Les onduleurs destinés aux systèmes photovoltaïques sont quelques peu différents des onduleurs classiques utilisés en électrotechnique, mais l'objectif de conversion AC*/DC* est le même. La principale caractéristique de l'onduleur PV est la recherche du meilleur point de fonctionnement du système. Pour un éclairement et une température donnés, la tension en circuit ouvert ou à forte charge est à peu près constante (assimilable à une source de tension), tandis qu'en court-circuit ou à faible charge le courant est pratiquement constant (source de courant). Le générateur n'est alors ni vraiment une source de tension ni vraiment une source de courant non plus. La tension de circuit ouvert est sensible à la température et diminue quand la température augmente. Le courant de court-circuit est quant à lui proportionnel à l'éclairement : augmente si l'éclairement augmente.

II.4.2 La commande MPPT

Il existe un point de fonctionnement où la puissance débitée est maximale, Nous nous sommes intéressés au moyen de transférer toute la puissance utile du générateur PV.

L'optimisation consiste à se fixer sur ce point en permanence en agissant de façon automatique sur la charge vue par le générateur.

Cette adaptation de charge s'effectue à l'aide d'un convertisseur statique DC/AC. Nous avons choisi d'utiliser la technologie de recherche du point de puissance maximale MPPT basée sur l'algorithme « Perturbe et Observe(*P&O*) ».

Le principe des commandes MPPT de type (*P&O*) consiste à perturber la tension V_p d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance P_{PV} qui en résulte. Ainsi, comme l'illustre la figure II.21, on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{PV} engendre un accroissement de la puissance P_{PV} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. À partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique PPV et VPV, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande. La figure II.20 représente l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type *P&O*, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du G_{PV}) sont nécessaires pour déterminer la puissance du PV à chaque instant [11].

Telle que :

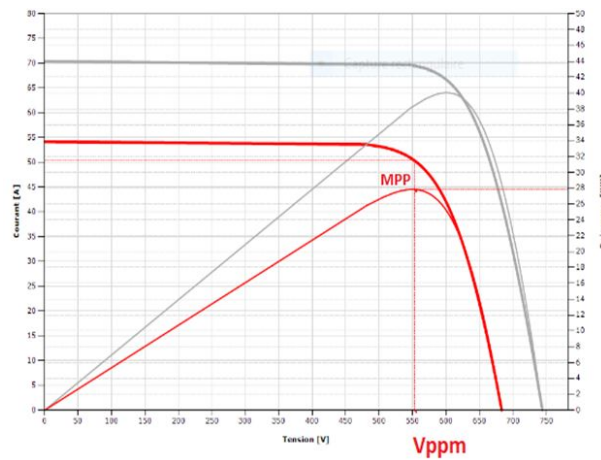
PPV_n : La nouvelle puissance .

$PPV_{(n-1)}$: L'ancienne puissance dans le temps $(t - 1)$.

$$\Delta V = V_{PV_n} - V_{PV_{(n-1)}} \quad (\text{II.59})$$

La figure II.20 montre le principe de l'algorithme PO. Premièrement, le courant et la tension du générateur photovoltaïque sont détectés à un point puis la puissance est calculée correspondant à ce point. Si la puissance est supérieure à sa valeur précédente alors la puissance augmente et se déplace vers son point de puissance maximale (MPP) et la tension est perturbée par augmentation. Mais si la puissance tirée du générateur photovoltaïque est inférieure alors le point de fonction se déplace loin de la puissance maximale, la tension est alors perturbée dans le sens inverse en diminuant le courant.

Si la valeur de puissance est la même que la précédente ($P=0$) alors le point de puissance maximum est atteint.

FIGURE II.20 – Schéma de converge vers le *MPP* par *P&O*

La figure II.21 représente l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type PO, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension) sont nécessaires pour déterminer la puissance du GPV à chaque instant.

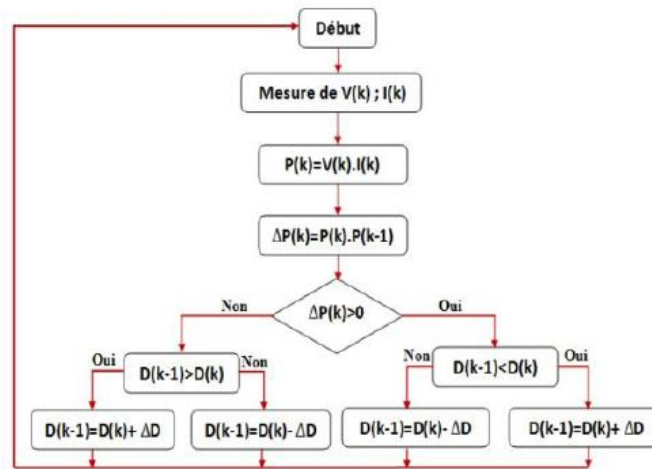


FIGURE II.21 – Algorithme de la méthode PO.

II.5 La partie stockage

Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons : stockage d'énergie électrique ou stockage d'eau. Cette dernière méthode est souvent adoptée car il est plus pratique de stocker l'eau dans des réservoirs que l'énergie électrique dans des accumulateurs lourds coûteux et fragiles, de plus le rendement énergétique est meilleure quand il n'y a pas d'accumulateurs. L'énergie fournie par le générateur photovoltaïque est une énergie chère malgré l'abaissement du coût du watt-crête. Il est donc nécessaire de faire fonctionner ces générateurs à leur puissance optimale. La commande du convertisseur se fait par variation d'un paramètre de

contrôle ; fréquence pour l'onduleur.

Le système étudié est constitué par le générateur PV, le convertisseur DC-AC est commandé par une stratégie de recherche du point de puissance maximale MPPT et le moteur-pompe. La figure II.22 présente le synoptique de l'ensemble du système :

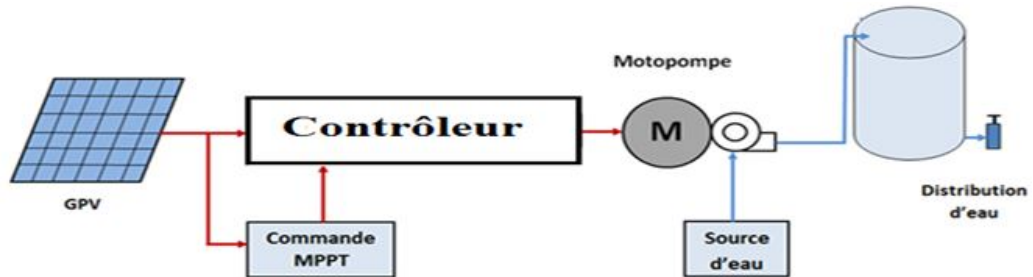


FIGURE II.22 – Description du système de pompage photovoltaïque

II.6 conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté le principe de l'effet photovoltaïque, on a étudié les différentes composantes des systèmes photovoltaïques, en fin On analyse le système photovoltaïque adapté par une commande numérique (commande MPPT : perturbation et observation) assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur photovoltaïque. Le but principal de l'étude d'un système photovoltaïque est de simplifier et de comprendre le comportement de ce système.

Chapitre III

Étude de cas dans le pompage solaire

SOMMAIRE

III.1 ÉTAPE POUR ÉTABLIR UN PROJET	38
III.2 ÉTAPES D'INSTALLATION	38
III.3 ÉTUDE DE CAS	40
III.3.1 Dimensionnement par COMPASS	41
III.3.2 Dimensionnement manuel	49
III.4 CONCLUSION	49

III.1 Étape pour établir un projet

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

III.2 Étapes d'installation

- Implantation des socles pour fixer des supports.



FIGURE III.1 – Implantation des socles

- Mise en place des supports (Gabarits) pour les panneaux solaire.



FIGURE III.2 – Supports des panneaux solaire

- La pose des panneaux solaires avec accessoire de protection en respectant l'orientation et l'angle d'inclinaison pour avoir le maximum d'ensoleillement. La meilleure orientation des panneaux solaire dans l'Afrique du nord est le plein sud (sud sud). La meilleure inclinaison est un intervalle qui varie entre (25°, 30°).



FIGURE III.3 – champ PV

- Installation du contrôleur dans un milieu sécurisé si aucune contact avec l'eau ni soleil.



FIGURE III.4 – Contrôleur

- Insertion de la pompe dans le puits avec accessoires de protections.



FIGURE III.5 – Pompe

- Couplage des éléments essentiels (contrôleur/panneaux) par les câbles pour la production d'énergie pour alimenter la pompe et avoir le besoin en eau demandé.



FIGURE III.6 – Câble de couplage

- Finalement la vérification des résultats désirés par la mesure du courant et tension en charge et à aide en utilisant un multimètre.



FIGURE III.7 – Mesure des caurants et des tensions

III.3 Étude de cas

Le projet étudiant consiste à dimensionner un système de pompage solaire, composé de deux pompes : Une pompe immergée pour un besoin d'eau de $400m^3/jour$ avec une hauteur manométrique totale de $100m$.

Une pompe surface pour le refoulement de $400m^3/jour$ vers $8Hectares$ de pomme de terre et les arbres d'orange.

III.3.1 Dimensionnement par COMPASS



FIGURE III.8 – système pompage solaire

III.3.1-1 Présentation COMPASS

COMPASS est l'outil de la marque LORENTZ qui permet de concevoir, planifier et préciser toutes les données et les résultats nécessaires pour réaliser une installation de pompage solaire. Il contient une base de données de

- Pompes solaires immergées, de surface et de piscine avec ces fiches techniques.
- Suiveurs d'ensoleillement.
- Panneaux Solaires (on peut utiliser n'importe quel puissance, il suffit juste d'entrer les caractéristiques de panneau utilisé).
- Accessoires de protection de pompes.
- Les différentes sections de câbles immergés.
- L'intervalle de hauteur manométrique de chaque pompe stocké dans la base de données de COMPASS.
- Les graphes de débit en fonction du jour (m^3/j) ainsi que l'heure (m^3/h).
- Les graphes de rayonnement par jour ($KWh/m^2\text{par jour}$) ainsi que l'heure (KWh/m^2h).
- Les graphes de l'énergie par jour (kwh/j) ainsi que par heure (Kw).
- Les graphes de la température au cours de la journée en °C.
- Les graphes de la température des cellules panneaux en °C.
- Les graphes de pertes thermiques en %.
- Les graphes de pertes de Câbles en %.
- Les graphes de pertes tuyau en m.
- La caractéristique de la pompe qui est représentée par le débit en fonction de la puissance et la hauteur manométrique totale.
- Il définit les graphes de l'intensité du moteur en A, la tension du moteur en V AC, la vitesse du moteur en *rpm*, les pertes dans les câbles, l'efficacité, les pertes de charges, les pertes du à l'aspiration et la vitesse de l'eau.
- Toutes les données du panneau solaire utilisé.

III.3.1-2 Les étapes de dimensionnement

- a -Entrer les donnes
 - 1 -L'emplacement : payé et la région.
 - 2 -Hauteur manométrique : (m^3).
 - 3 -Rendement quot.requis « débit » : ($m^3/jour$). Sur COMPASS on sélectionne la ville (Sidi Bennour) de débit $400m^3/jour$ et HMT ($100m$) est ça pour la pompe immergée et pour la pompe surface on fait la même chose juste on remplace.

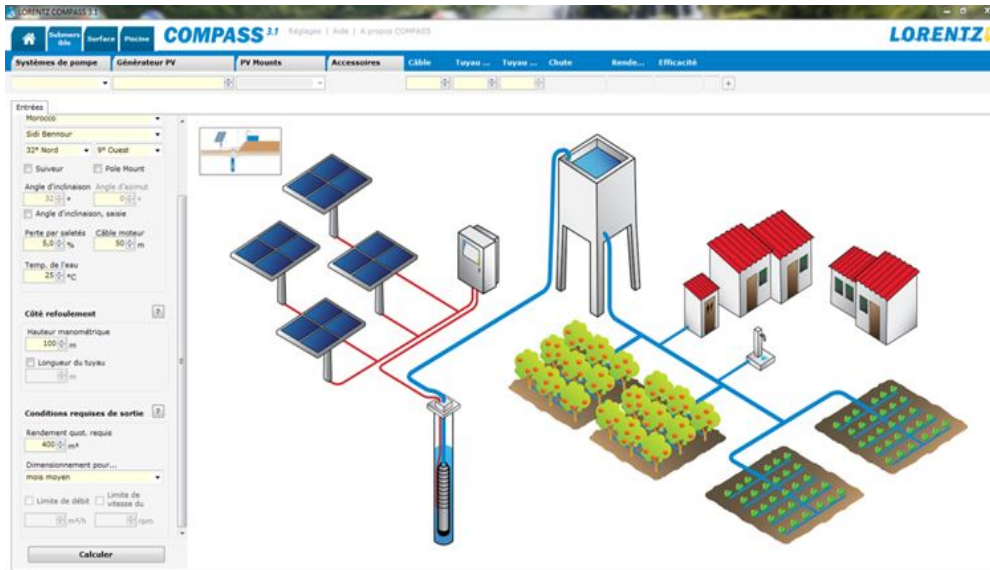


FIGURE III.9 – Capture d’écran du logiciel COMPASS

- b -Calculer



FIGURE III.10 – Interface graphique du logiciel COMPASS

Voila la pompe utilisé et le nombre des panneaux photovoltaïque

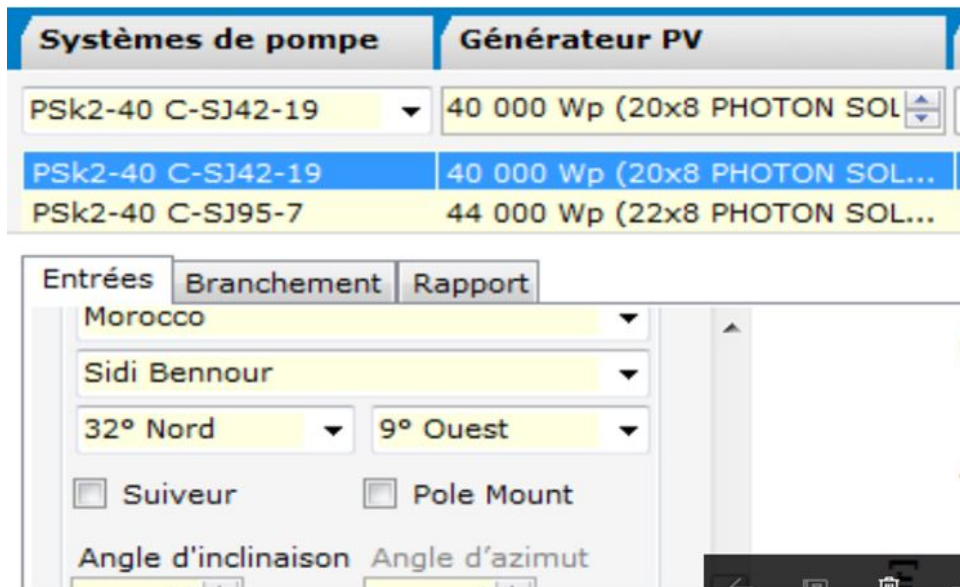


FIGURE III.11 – otopompe

c Etablir le rapport

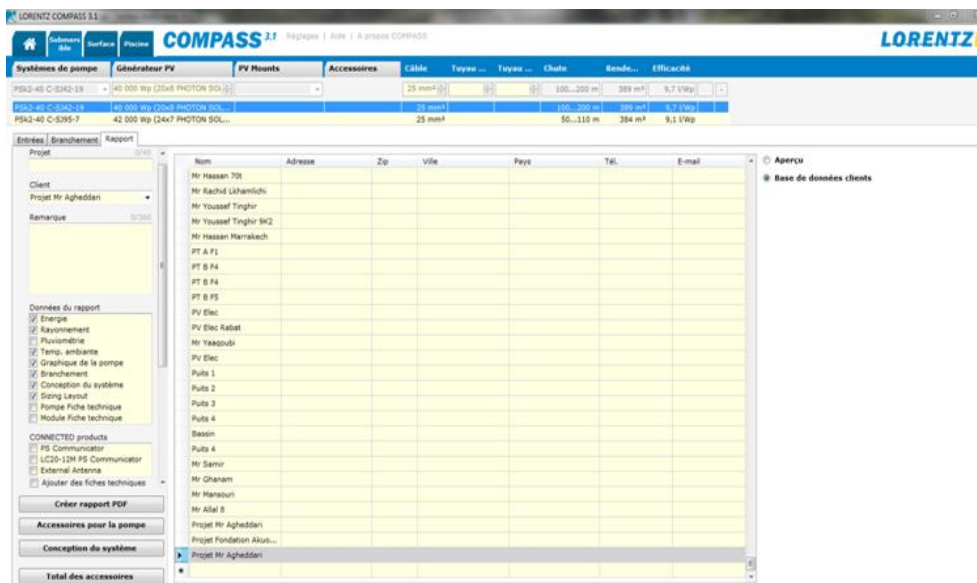


FIGURE III.12 – Rapport

- d -Crée un rapport PDF .
- e -Explication de chaque element dans l'étude .
- f -Devis :

AE PHOTONICS MAROC S.A.R.L.				
« Pompage & Eclairage avec Energie Solaire Photovoltaïque »				
Client X				
Ville X				
Réf : Offre N° 113003-X-2017				Date
Offre de prix pour une installation d'un svstème de pompage solaire.				
CODE	DESIGNATION	Qté	Prix Unitaire en DH HT	Prix Total en DH HT
1	Pompe Solaire Lorentz Immergée X			
2	Accessoires de Protection			
3	Source d'énergie			
4	Partie Cablages			
5	Autres éléments			
6	Prix Total HT			
7	TVA (20%)			
8	Partie exonoré			
9	Prix Total TTC			

FIGURE III.13 – Devis

- g -Retour sur investissement :

Prix total c'est 520000DH,

L'agriculteur utilise 20 bouteilles de butane par jours et le prix d'une bouteille c'est 40DH, donc $20 \cdot 40 = 800DH$ par jour, 292000DH par ans. Pondant 2ans tu va gagner un système de production gratuit et écologique.

III.3.1-3 Résultat COMPASS

- Les caractéristiques d'onduleur utilisée

Système de pompe solaire immergée pour puits 6"

Gamme de systèmes

Chute	max. 200 m
Débit	max. 63 m ³ /h

Données techniques

Contrôleur PSk2-40

- Contrôleur pour les pompes solaires à haut rendement
- Soutien de puissance hybride (solaire/réseau/générateur) grâce à la SmartSolution de LORENTZ
- Entrées pour compteur d'eau, capteurs de pression, interrupteurs digitaux
- Configuration simple avec l'application PumpScanner de LORENTZ pour Android™
- Enregistrement de données et surveillance du système intégré
- Application intégrée pour pression constante, débit constant et quantité quotidienne
- Sun Sensor intégré
- Gestion de températures active
- Recherche de point de puissance maximale (MPPT) intégrée

Puissance	max. 37 kW
Tension d'entrée	max. 850 V
Optimal Vmp**	> 575 V
Intensité du moteur	max. 65 A
Efficacité	max. 98 %
Temp. ambiante	-30...50 °C
Classe de protection	IP54

Moteur AC DRIVE SUB 6" 30kW

- Moteur triphasé à courant alternatif et à haut rendement
- Fréquence: 25...51 Hz
- Matériel de haute qualité, acier inoxydable: AISI 304
- Moteur sans électronique à l'intérieur

Vitesse du moteur	1 400...2 905 rpm
Facteur de puissance	0,88
Classe d'isolation	F
Classe de protection	IP68
Submersion	max. 300 m

Extrémité de la pompe PE C-SJ42-19

- Clapet anti-retour
- Matériel de haute qualité, acier inoxydable: AISI 304



FIGURE III.14 – Fiche technique de l'onduleur

- Raccordement des panneaux

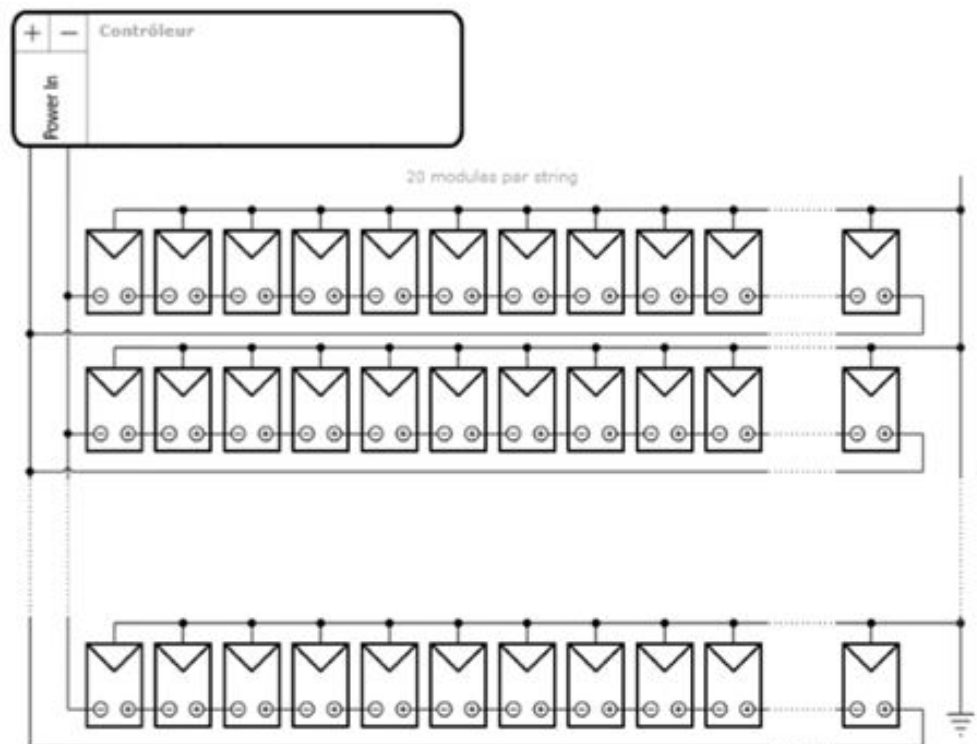


FIGURE III.15 – Schéma de branchement

- Débit tout les moins d'année

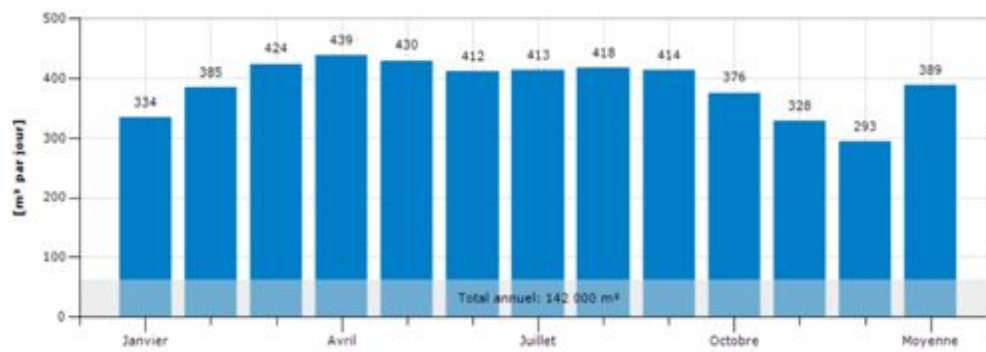


FIGURE III.16 – Besion en eau

- Débit par jour pendant les 9 heures d'ensoleillement

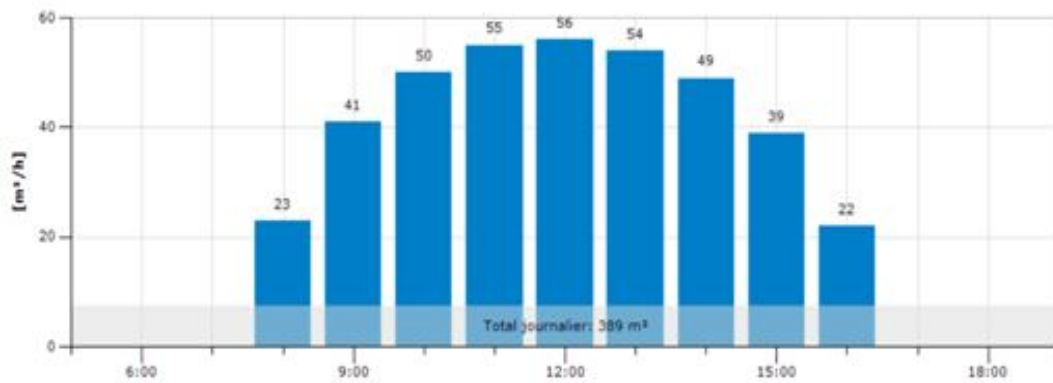


FIGURE III.17 – Débit par jour

- Rayonnement du système

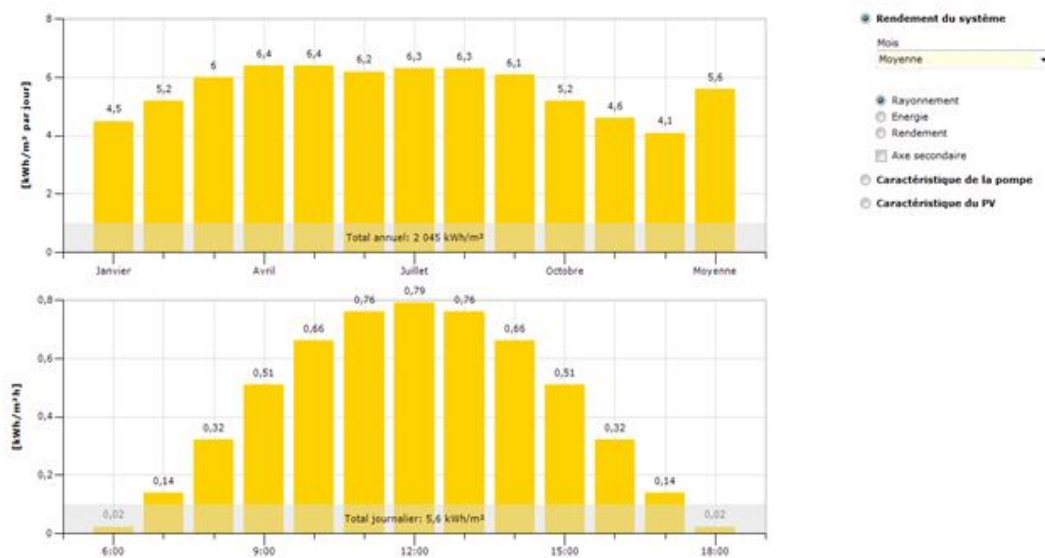


FIGURE III.18 – Rayonnement

- Caractéristique de la pompe

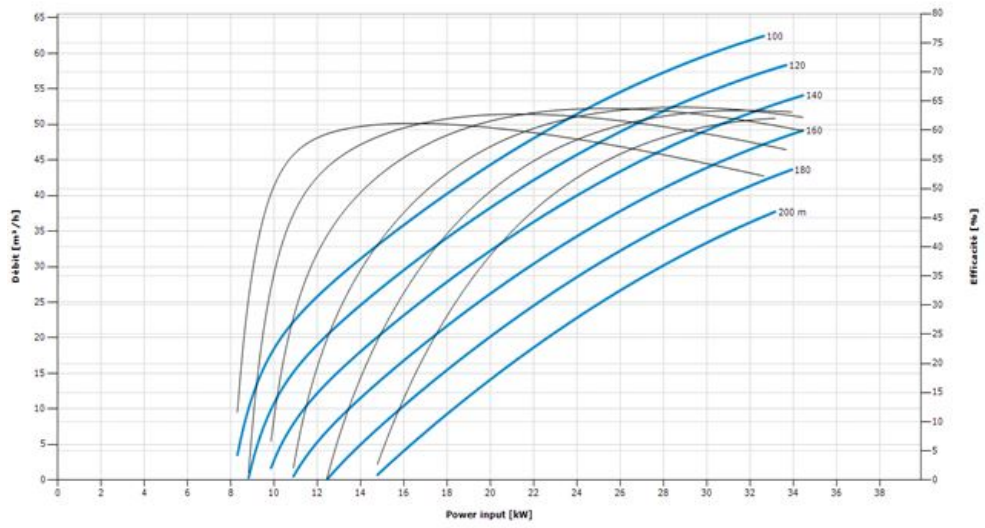


FIGURE III.19 – Caractéristique électrique de la pompe

- Caractéristique des PV

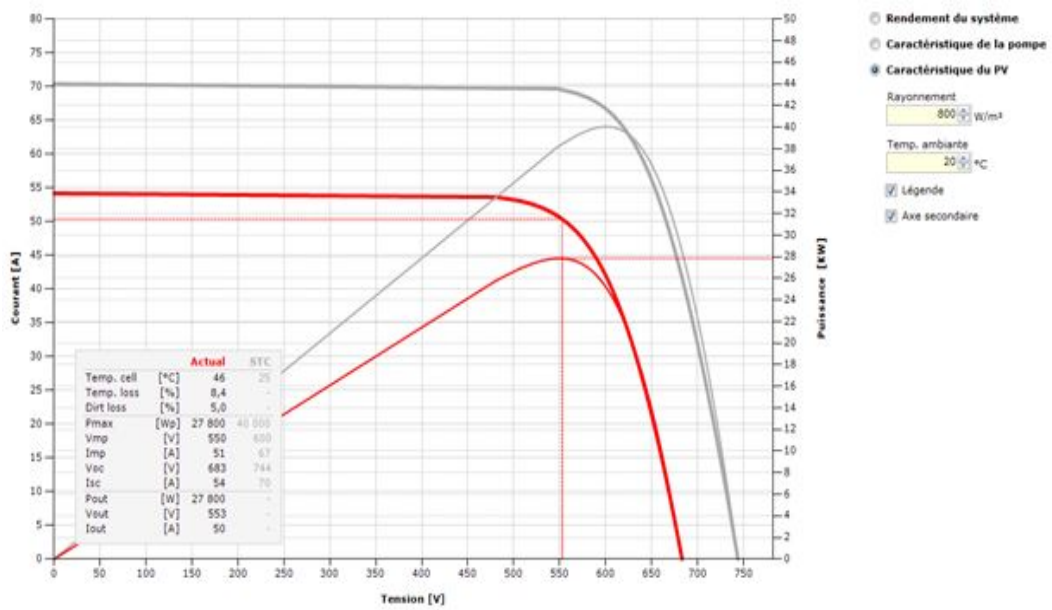


FIGURE III.20 – PV

III.3.2 Dimensionnement manuel

- Puissance hydraulique

$$P_H = \rho \cdot g \cdot Q \cdot HMT = 15571.4w \quad (III.1)$$

- Puissance mécanique La pompe centrifuge avec un rendement de 55%.

$$P_{mec} = \frac{P_h}{\eta_{pompe}} = 28311.7w \quad (III.2)$$

- Puissance électrique de moteur rendement des moteurs à courant alternatifs est au voisinage de 85%

$$P_{elec} = \frac{P_{mec}}{\eta_{moteur}} = 2889.5w \quad (III.3)$$

Nous choisissons dans la liste des pompes, la pompe de 30KW

- Puissance de contrôleur Pour les pompes immergées

$$P_{max_contrleut} = P_{elec} * 1.5 = 36KW \quad (III.4)$$

$$P_{min_contrleut} = P_{elec} * 1.2 = 45kW \quad (III.5)$$

Donne les fiches technique de panneaux PV et contrôleur on a :

Onduleur

$$V_{mp} = 575V \quad V_{oc} = 850V \quad I_{max} = 70A$$

Panneaux solaire

$$V_{pmp} = 30.04V \quad V_{poc} = 37.6V \quad I_P = 8.81A$$

- Nombre des panneaux photovoltaïques

$$N_{paralle} = \frac{I_{max}}{I_P} = 8panneaux \quad (III.6)$$

Nombre de panneaux en série c'est entre N_{max} et N_{min}

$$N_{max_srie} = \frac{V_{oc}}{V_{poc}} = 19panneaux \quad (III.7)$$

$$N_{min_srie} = \frac{V_{mp}}{V_{pmp}} = 23panneaux \quad (III.8)$$

III.4 Conclusion

Dans cette étude concernant le pompage PV, j'ai développé mes connaissances dans les systèmes PV et j'ai pris d'autre connaissance citant par exemple :

- connaître les grandes marques des pompes,
- connaître la méthode de dimensionnement d'une station de pompage,
- le domaine de recherche qui va nous offrir la possibilité de produire l'énergie et aucune danger en respectant notre planète mère.

SOMMAIRE

IV.1 INTRODUCTION	51
IV.2 PROGRAMME C++	51
IV.3 LES RÉSULTATS OBTENUS	56
IV.4 CONCLUSION	56

IV.1 Introduction

Pour le bon fonctionnement du système de pompage photovoltaïque et dans le but d'avoir de meilleurs rendements, le dimensionnement d'un tel système deviennent une étape indispensable. Pour cela ce chapitre a été consacré pour la description d'une méthode de dimensionnement d'un système de pompage PV à l'aide d'un programme sur le logiciel C++ ,fonctionne à la même principe de logiciel COMPASS ,car ce dernier n'est pas disponible à tout le monde.

Tous ça a été faite afin de présenter un maximum possible d'information sur ce système.

IV.2 Programme C++

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{ float Ph,Pmec,Pelec,HMT,Q,Imax;
float
ro=1000,g=9.81,Rpompe=0.55,Rmoteur=0.85,Vmppv=30.04,Vocpv=37.6,Isc=8.71
,Ps=250,Vmp=575,Voc=850;
int Nvpv,a,b,n,Npv,Pchamps,Npvs,Voc1;
cout <<"Entrer la HMT";
cin >> HMT;
cout <<"Entrer le debit";
cin >> Q;
Ph=(ro*g*(Q/(8*60*60))*HMT); //la puissance hydrolique
Pmec=Ph/Rpompe; //la puissance mecanique
Pelec=Pmec/Rmoteur;//la puissance electrique
if(Pelec>0 && Pelec<=150)
{cout<<"Pompe PS150 \n controleur PS2-150";
cout<<"\n Ppompe=150,Pcont=300";
Imax=22;
Voc1=50;
Nvpv=Imax/Isc ; //les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
Npvs=Voc1/Vocpv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en serie min
Pchamps=Npvs*Nvpv*Ps;//puissance de champ photovoltaique
cout<<"\n " <<Pchamps;
cout<<" ( " <<Npvs;
cout<<" x" <<Nvpv;
cout<<" )";
}
if(Pelec>150 && Pelec<=200)
{cout<<"la pompe PS200 \n controleur PS2-200";
cout<<"\n Ppompe=200,Pcont=300";
Imax=11;
Voc1=100;
```

```

Npvp=Imax/Isc ; //les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
Npvs=Voc1/Vocpv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en serie min
Pchamps=Npvs*Npvp*Ps;//puissance de champ photovoltaique
cout<<"\n  "<<Pchamps;
cout<<" ( "<<Npvs;
cout<<" x"<<Npvp;
cout<<" )";
}
if(Pelec>200 && Pelec<=600)
{cout<<"la pompe PS600 \n controleur PS2-600";
cout<<"\n Ppompe=600,Pcont=700";
Imax=13;
Voc1=150;
Npvp=Imax/Isc ; //les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
Npvs=Voc1/Vocpv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en serie min
Pchamps=Npvs*Npvp*Ps;//puissance de champ photovoltaique
cout<<"\n  "<<Pchamps;
cout<<" ( "<<Npvs;
cout<<" x"<<Npvp;
cout<<" )";
}
if(Pelec>600 && Pelec<=1800)
{cout<<"Pompe PS1800 \n Controleur PS2-1800";
cout<<"\n Ppompe=1800,Pcont=1800";
Imax=14;
Voc1=200;
Npvp=Imax/Isc ; //les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
Npvs=Voc1/Vocpv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en serie min
Pchamps=Npvs*Npvp*Ps;//puissance de champ photovoltaique
cout<<"\n  "<<Pchamps;
cout<<" ( "<<Npvs;
cout<<" x"<<Npvp;
cout<<" )";
}
if(Pelec>1800 && Pelec<=4000)
{cout<<"Pompe PS4000 \n Controleur PS2-4000";
cout<<"\n Ppompe=4000,Pcont=4000";
Imax=22;
Voc1=375;
Npvp=Imax/Isc ; //les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
Npvs=Voc1/Vocpv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en serie min
Pchamps=Npvs*Npvp*Ps;//puissance de champ photovoltaique
cout<<"\n  "<<Pchamps;
cout<<" ( "<<Npvs;
cout<<" x"<<Npvp;

```

```

cout<<" )";
}
if(Pelec>4000 && Pelec<=5500)
{   cout<<"\n Ppompe=5.5KW \n Pcont=8KW";
cout<<"Pompe PS2-7k \n Controleur PSk2-7";
Imax=14;
Npvp=Imax/Isc ; //les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
a=Vmp/Vmppv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en serie min
b=Voc/Vocpv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
for (n>a; n<=b; n++)
{
Npv=Npvp*n;
Pchamps=Ps*Npv;
cout<<"\n " <<Pchamps;
cout<<" ( " <<n;
cout<<" x" <<Npvp;
cout<<" )";
}

}
if(Pelec>5500 && Pelec<=7500)
{   cout<<"\n Ppompe=7500W \n Pcont=10KW";
cout<<"Pompe PS2-9k Controleur PSk2-9";
Imax=20;
Npvp=Imax/Isc ; //les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
a=Vmp/Vmppv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en serie min
b=Voc/Vocpv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
for (n=a; n<=b; n++)
{
Npv=Npvp*n;
Pchamps=Ps*Npv;
cout<<" \n " <<Pchamps;
cout<<" ( " <<n;
cout<<" x" <<Npvp;
cout<<" )";
}

}
if(Pelec>7500 && Pelec<=11000)
{cout<<"\n Ppompe=11KW \n Pcont=15kW";
cout<<"\n Pompe PS2-15k Controleur PSk2-15";
Imax=27;
Npvp=Imax/Isc ; //les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
a=Vmp/Vmppv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en serie min
b=Voc/Vocpv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele

```

```

for (n=a; n<=b; n++)
{
Npv=Npvp*n;
Pchamps=Ps*Npv;
cout<<" \n "<<Pchamps;
cout<<" ( "<<n;
cout<<" x"<<Npvp;
cout<<" )";
}

}

if(Pelec>11000 && Pelec<=15000)
{cout<<"\n Ppompe=15KW \n Pcont=21000KW";
cout<<"\n Pompe PS2-21k Controleur PSk2-21";
Imax=39;
Npvp=Imax/Isc ; //les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
a=Vmp/Vmppv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en serie min
b=Voc/Vocpv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
for (n=a; n<=b; n++)
{
Npv=Npvp*n;
Pchamps=Ps*Npv;
cout<<" \n "<<Pchamps;
cout<<" ( "<<n;
cout<<" x"<<Npvp;
cout<<" )";
}

}

if(Pelec>15000 && Pelec<=18500)
{cout<<"\n Ppompe=18.5KW \n Pcont=25KW";
cout<<"\n Pompe PS2-25k Controleur PSk2-25";

Imax=48;
Npvp=Imax/Isc ; //les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
a=Vmp/Vmppv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en serie min
b=Voc/Vocpv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
for (n=a; n<=b; n++)
{
Npv=Npvp*n;
Pchamps=Ps*Npv;
cout<<" \n "<<Pchamps;
cout<<" ( "<<n;
cout<<" x"<<Npvp;
cout<<" )";
}
}

```

```
}

}
if(Pelec>18500 && Pelec<=30000 )
{cout<<"\n Ppompe=30KW \n Pcont=37KW";
cout<<"\n Pompe PS2-40k  Controleur PSk2-40";

Imax=70;
Npvp=Imax/Isc ; //les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
a=Vmp/Vmppv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en serie min
b=Voc/Vocpv;//les nombres des panneaux photovoltaiques en parallele
for (n=a; n<=b; n++)
{
Npv=Npvp*n;
Pchamps=Ps*Npv;
cout<<" \n"<<Pchamps;
cout<<" ( " <<n;
cout<<" x" <<Npvp;
cout<<" )";
}
}
}
```

IV.3 Les résultats obtenus

voilà les résultats obtenus avec le programme C++ pour l'exemple du dimensionnement précédents

```
Entrer la HMT100
Entrer le debit400

Ppompe=30KW
Pcont=37KW
Pompe PS2-40k  Controleur PSk2-40
38000 < 19 x8 >
40000 < 20 x8 >
42000 < 21 x8 >
44000 < 22 x8 >
Process returned 0 (0x0)   execution time : 8.434 s
Press any key to continue.
```

IV.4 Conclusion

Dans ce programme on utilisant les pompes et les contrôleurs de la marque Lorentz pour être comme le logiciel COMPASS , on peut utilisant des autres pompes.

Conclusion générale

La demande mondiale en énergie évolue rapidement et les ressources naturelles de l'énergie telles que l'uranium, le gaz et le pétrole diminuent en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie ces dernières années. Pour couvrir les besoins en énergie, des recherches sont conduites à l'énergie renouvelable. Une des énergies renouvelables qui peut honorer la demande est l'énergie solaire photovoltaïque, c'est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. cela explique pourquoi son utilisation connaît une croissance significative dans le monde.

Ce mémoire a porté sur l'étude d'un système de pompage photovoltaïque. Ces systèmes se présentent comme une solution idéale pour l'alimentation de l'eau pour les régions peu peuplées, isolées et enclavées. Pour améliorer les performances d'un système de pompage photovoltaïque, on est amené à améliorer les performances de chaque élément de ce système, il est composé d'un générateur photovoltaïque, d'un convertisseur et d'une pompe entraînée par un moteur asynchrone. la commande des convertisseurs permet la poursuite du point optimale de puissance du générateur photovoltaïque le stockage de l'énergie électrique n'a pas été introduit sous réserve de dotée le système d'un stockage utilisant des resavoir d'eau.

Dans l'étude de cas, le projet à étudier consiste à dimensionner un système de pompage immergé pour un besoin d'eau avec un hauteur manométrique total, utilisation du logiciel COMPASS pour la planification d'une pompe solaire il permet de concevoir et de spécifier le système de pompe solaire en fonction de besoins localisation des clients, projet et de pompage d'eau.

enfin nous avons ajouté un programme C++ pour la dimensionnement du pompage solaire

Bibliographie

- [1] <https://www.lorentz.de/> ,consultée le 9/03/2017.
- [2] <http://ae-photonics.ma/fr/produits.html>,consultée le 15/03/2017.
- [3] <http://www.algerie-focus.com/category/algerie>,consultée le 15/03/2017.
- [4] M ADDOU et A BEDDIAF : Dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome pour l'alimentation d'une ferme. Mémoire de D.E.A., Abou Bekr Belkaïd- Tlemcen, 2016.
- [5] R ALAIN : Gisement solaire et transferts energetiques. Mémoire de D.E.A., Cergy-Pontoise, janvier 2011.
- [6] S AMINATA : *Simulation du système hybrides Photovoltaïque*. Canada, 1998.
- [7] S AREZKI : Contribution au contrôle directe du couple (dct) d'une machine asynchrone à cage alimenté par un onduleur multi niveaux. Mémoire de D.E.A., Mhammed Bougara de Boumerdes, 2009.
- [8] A BENKHELIFA : Modélisation et expérimentation d'un capteur solaire plan a eau influence de l'intensite de l'éclairement solaire et de l'inclinaison du capteur solaire sur le rendement du capteur. Mémoire de D.E.A., Kasdi Merbah-Ouargla, 2012.
- [9] W BENSACI : Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande mppt. Mémoire de D.E.A., Kasdi Merba-Ouargla, 2012.
- [10] A BETKA : Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque au fil du soleil. Mémoire de D.E.A., Biskra, 1997.
- [11] V BOITIER, P MAUSSION et C CABAL : Recherche du maximum de puissance sur les générateurs photovoltaïques. Mémoire de D.E.A., Toulouse, 2008.
- [12] A.E BOUZIDI et M AZIZI : Dimensionnement d'un systeme photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme. Mémoire de D.E.A., Djillali Liabés Sidi Bel Abbes, 2008.
- [13] M DJARALLAH : *Contribution a l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couples au réseau électrique*. Batna, 2008.
- [14] R HAJ ATTOU : Étude et optimisation d'une chaine gpv au réseau b-t de sonal-gaz. Mémoire de D.E.A., Hassiba benboiali-chlef, 2007.
- [15] B HAMDAOUI et I BOURDJI : Étude d'un système de pompage photovoltaïque au fil soleil. Mémoire de D.E.A., Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen, 2016.

- [16] A HAMIDAT : *Simulation des systèmes de pompage photovoltaïques destinés pour l'alimentation en eau potable et pour la petite irrigation*. Tlemcen, 2004.
- [17] A HAMLAT et S M EL AMINE : *L'impact des énergies renouvelables sur le réseau électrique ouest algérien 220 kv*. Mémoire de D.E.A., Tahar Moulay de Saïda, 2014.
- [18] F HANANOU et A ROUABAH : *Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque*. Mémoire de D.E.A., Kasdi Merbah-Ouargla, juin 2014.
- [19] B HOSSEINI : *Prototypage rapide à base de fpga d'un algorithme de contrôle avancé pour le moteur à induction, mémoire pour la maîtrise en génie électrique, université de québec a trois rivières*. Mémoire de D.E.A., Canada, 2010.
- [20] B KOSECKI : *Réalisation d'une auto alimentation pour commande rapprochée d'interrupteur de puissance*. Mémoire de D.E.A., Stage IUT Geii Grenoble - G2Elab, 2007.
- [21] S MAKHLOUFI : *Contribution à l'optimisation des installations photovoltaïque par des commandes intelligentes*. Mémoire de D.E.A., Haj lakhdar-Batna, 2013.
- [22] S MATAALLAH : *Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'ouargla*. Mémoire de D.E.A., Kasdi Merbah - Ouargla, 2015.
- [23] C MATI : *Simulation et commande optimale d'un système de pompage d'énergie dans un système photovoltaïque*. Mémoire de D.E.A., Ferhat Abbas-Setif, 2012.
- [24] R MECHOUMA : *Contribution à l'étude des onduleurs dans les systèmes photovoltaïques : applications pour les charges*. Mémoire de D.E.A., Hadj Lakhdar-Batna, 2015.
- [25] A MEROUFEL : *Contrôle de la machine asynchrone*. Mémoire de D.E.A., Djillali Liabés Sidi Bel Abbes, 2009.
- [26] M MISSOUM et A HAMIDAT : *Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en algérie*. Mémoire de D.E.A., Hassiba BEenbouali- Chlef, 2011.
- [27] A MORSLI : *Étude d'un système solaire photovoltaïque, utilisant des super condensateurs*. européennes, 2012.
- [28] Marc ORGERET : *Les piles solaire, le composant et ces applications*.
- [29] S SEMOUI : *Modélisation, simulation et optimisation des gisements solaires et éoliens des sites isolés de l'algérie cas d'adrar et de naama*. Mémoire de D.E.A., 2015.
- [30] N TOUIL et S GHENBAZI : *Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque*. Mémoire de D.E.A., Echahid Hama Lakhder -El-Oued, 2015.

Annexe A : Panneau solaire utilisé

- Panneau solaire mono-cristallin figure (1)



FIGURE 1 – Panneau solaire

- Derrière le panneau il y a une boîte figure (4)



FIGURE 2 – Panneau solaire

- A l'intérieur de la boîte il y a trois diodes. Diode anti-retour, deux diodes by-pass.

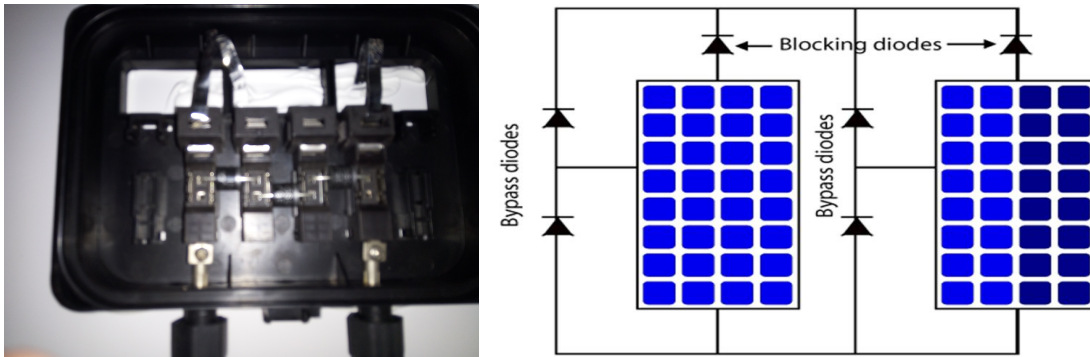


FIGURE 3 – Diodes du panneau solaire


Photon Solar [®] Energy-Germany	
Model: PHOTON SOLAR PH-250P-60	
Rated Maximum Power (Pmax)	250W
Tolerance (Tol)	0~+3%
Voltage at Pmax (Vmp)	30.6V
Current at Pmax (Imp)	8.17A
Open-Circuit Voltage (Voc)	36.3V
Short-Circuit Current (Isc)	8.71A
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	47±3°C
Maximum System Voltage	1000VDC
Maximum Series Fuse Rating	15A
Operating Temperature	-40°C to +85°C
Application Class	Class A
Protection Class	IP
Cell Technology	Poli-Si
Weight (Kg)	19.0
Change dimension (mm)	1640×992×35
Technical performance data recorded at Standard Test Conditions (STC) Am=1.5 E=800W/m ² TC=25°C	
IEC 61215 IEC 61730 CE 	
GS1-Germany certified GTIN: 4260478050174 PHOTON SOLAR Energy GmbH – www.photon-solar.de Niermannsweg 11-15, 40699 Erkrath, Deutschland	

FIGURE 4 – Fiche technique de panneau solaire

Annexe B : Contrôleur et pompe utilisé

- Utilisent un impulseur rotatif pour évacuer l'eau à l'aide des forces centrifuges,
- plusieurs étages sont ajoutés pour créer l'élévation requise (augmenter la pression),
- les pompes centrifuges ont besoin d'une vitesse minimale pour commencer à pomper l'eau ,
- il ne doit pas y avoir d'air dans l'eau des pompes centrifuges, faute de quoi il peut se produire une cavitation.



FIGURE 5 – La pompe centrifuge

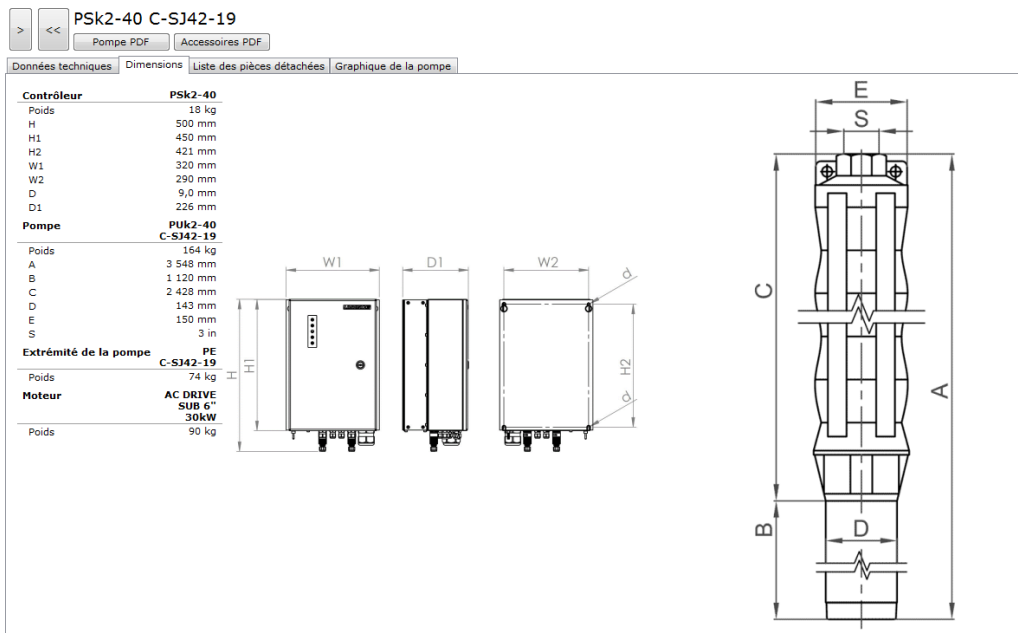


FIGURE 6 – La fiche technique de la pompe

Contrôleur et fiche technique

Contrôleur

- Contient l'électronique, ce qui facilite l'entretien et le remplacement Commande et surveille la pompe.
- Optimiseur de puissance (MPPT).
- Protection contre la surchauffe et la surcharge.
- Raccords d'interrupteur à flotteur / sonde de puits.
- Réglage manuel de la capacité de pompage.
- Débit réduit du puits.
- Rendement maximal jusqu'à 98 %.
- Sans maintenance.



FIGURE 7 – Contrôleur

Fonctionnement du contrôleur

- Mise sous tension ←
- Le système est alimenté électriquement ←
- Le moteur tourne ←
 - Indicateur RPM par nombre de clignotements
 - La LED rouge est synonyme de surcharge
- Le niveau d'eau est trop bas – la pompe s'arrête ←
 - Redémarre 20 minutes après la récupération
- Le réservoir est plein ←
 - La pompe s'arrête
- La tension de la batterie est trop faible ←
 - La pompe s'arrête

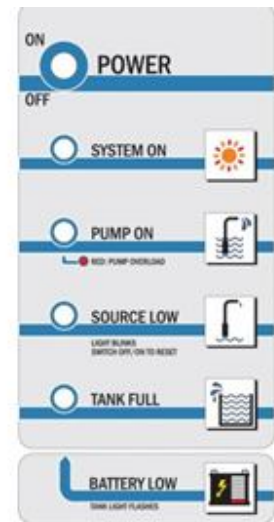


FIGURE 8 – Mesure de diagnostic de la pompe centrifuge

Annexe C : Accessoires pour installation de pompage

PowerPacks pour le branchement au générateur / secteur.



FIGURE 9 – PowerPacks

- SunSwitch pour une pression constante des applications avec pompe de grande taille.



FIGURE 10 – SunSwitch

- Des sondes déportées pour les puits qui évitent le fonctionnement à sec



FIGURE 11 – Sonde "wellproba"

- Des kits d'épissure pour connecter les cables.



FIGURE 12 – Kits d'épissure

- Des interrupteurs à flotteur pour indiquer le remplissage du réservoir lors du pompage vers un réservoir de stockage .



FIGURE 13 – Floteur

- PV Disconnect : Combinateurs et équipement de production contre la foudre , chaque PV Disconnect connect 5 strings.



FIGURE 14 – PV Dissconnect

- PV Combiner : Protégez et améliorez les performances de syst" eme PV avec une boîte combinatrice des PV Disconnect.



FIGURE 15 – PV Combiner

ETUDE D'UN SYSTÈME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

Résumé

Ce travail présente deux méthodes de dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque, une méthode théorique et une méthode par logiciel. Ces méthodes permettent de dimensionner une installation de pompage photovoltaïque pour satisfaire les besoins en eau d'une consommation bien déterminée. Elles sont basées essentiellement sur l'évaluation des besoins en eau, le calcul de l'énergie nécessaire, la détermination de l'énergie solaire disponible et le choix des composants.

Mots clés

Photovoltaïque - Pompage - Dimensionnement.

STUDY OF A PHOTOVOLTAIC PUMPING SYSTEM

Abstract

This work presents two sizing methods of photovoltaic (PV) pumping systems. The first one is analytic and the second one by software. These methods allow us to size a PV pumping installation in order to satisfy the water needs of a determined consumption. They are based essentially on the water needs evaluation, the calculation of the necessary hydraulic energy, the determination of the available solar energy and the choice of the components.

Keywords

Photovoltaic - Pumping -sizing.