

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude



Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energies renouvelables

Présenté par

BENHAOUA Mouad

Thème :

Etude expérimentale d'un
Pompage Solaire

Membre de jury :

Dr. AOUN Yacine	L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued	Président
Dr. MOHREM Abdelkrim	L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued	Examineur
Dr. LETAIM Fathi	L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued	Rapporteur

Année Universitaire 2021-2022

Remerciements

Tout d'abord, je remercie dieu -ALLAH- de tout puissant de m'avoir donné le courage et

la patience durant toutes ces années d'études.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mes sincères remerciements à Monsieur

Dr : LETAIM Fathi, docteur à L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El

Oued, pour avoir dirigé ce travail.

Mes sincères remerciements aux messieurs les membres du jury pour

l'honneur qu'ils me font en participant au jugement de ce travail.

Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidé

à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

En fin je remercie tout particulièrement mes parents, pour leur

soutien inconditionnel tout au long de ces longues années d'études.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents qui m'ont soutenu durant toute la durée de mes études.

À mes très chères sœurs et à ma grande famille.

À tous mes amis.

À tous ceux qui m'aiment et que j'aime

À vous.

Sommaire

Remerciement	III
Dédicaces	IV
Sommaire	V
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	XI
Nomenclature	XII
Introduction générale	XV

CHAPITRE I : Généralités sur les systèmes de pompage photovoltaïque.

I.1 Introduction	2
I.2 Description d'un système de pompage photovoltaïque	2
I.2.1 Energie solaire photovoltaïque	3
I.3 Les types de pompage photovoltaïque	4
I.4 Les différents éléments d'un système de pompage au fil du soleil	4
I.4.1 Générateur photovoltaïque	5
I.4.2 Les convertisseurs	8
I.4.3 Les moteurs d'entraînement	10
I.4.4 Les pompes	11
I.5 Conclusion	13

CHAPITRE II : Dimensionnement du système de pompage solaire

II.1 Introduction	15
II.2 Dimensionnement complet de l'installation :	15
II.2.1 Evaluation des besoins en eau	15
II.2.2 Détermination de l'énergie solaire disponible	16
II.3 Dimensionnement et choix de la pompe	16
II.3.1 Données de base	17
II.3.2 Calcul le débit horaire de pompe (Q_h)	17
II.3.3 Calcul le diamètre de la conduite de refoulement (D)	18
II.3.4 Calcul la vitesse de refoulement (V)	18
II.3.5 Dimensionnement le Bassin Abreuvoir (V_a)	18
II.3.6 Calcul de la puissance hydraulique nécessaire	19
II.4 Détermination de l'énergie solaire disponible	20
II.4.1 Positionnement optimal des capteurs photovoltaïque	20
II.4.2 Mois de dimensionnement	21

II.5 Choix des composants de l'installation	21
II.5.1 Dimensionnements de la pompe centrifuge.....	21
II.5.2 Dimensionnement du champ photovoltaïque	22
II.6 Conclusion	23

Chapitre III : Modélisation d'un système de pompage photovoltaïque.

III.1. Introduction	25
III.2. Description du système à étudier	25
III.3. Modélisation du système	26
III.3.1. Modèle électrique d'un générateur photovoltaïque	26
III.3.2. Caractéristiques $I_{pv}(p_v)$ et $P_v(V_{pv})$ dans les conditions standards de fonctionnement :.....	29
III.3.3. Modélisation de l'hacheur survolteur	31
III.3.4. Modélisation du convertisseur buck-boost	32
III.3.5. Modélisation de bus en continu	33
III.3.6. Simulation du convertisseur DC/AC (onduleur)	33
III.3.7. Modélisation d'un moteur asynchrone avec cage de sécurité	35
III.3.8. Modélisation de la pompe	42
III.3.9. Le modèle électrique de la batterie	43
III.4. Conclusion	43
Conclusion générale	44
Références bibliographique	47
Résumé	49

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : Généralités sur les systèmes de pompage photovoltaïque.

Figure I- 1 : Système de pompage photovoltaïque d'une ferme.....	3
Figure I- 2 : Caractéristiques du débit pour le pompage au fil du soleil et avec Batterie.....	4
Figure I- 3 : Principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule Photovoltaïque.....	5
Figure I- 4 : Caractéristique courant PV en fonction de la tension PV.....	6
Figure I- 5 : Description d'un module photovoltaïque.....	7
Figure I- 6 : Cellules identiques en séries.....	7
Figure I- 7: Cellules identiques en parallèles.....	7
Figure I- 8 : Système photovoltaïque contrôlé par une commande MPPT.....	8
Figure I- 9 : Structure d'un hacheur dévolteur.....	9
Figure I- 10 : Structure d'un hacheur survolteur.....	9
Figure I- 11 : Structure d'un onduleur.....	10
Figure I- 12 : Caractéristiques d'une pompe volumétrique.....	12
Figure I- 13 : Caractéristiques d'une pompe centrifuge.....	13

CHAPITRE II : Dimensionnement du système de pompage solaire

Figure II- 1 Hauteur manométrique total.....	17
Figure II- 2 : irradiation globale moyenne mensuelle journalière sur plan horizontal du site de Bejaia du 2013 au 2016.....	20
Figure II- 3: inclinaison/orientation et taux de productivité optimum des PV.....	21

CHAPITRE III : Modélisation d'un système de pompage photovoltaïque.

Figure III- 1 : Système globale à étudier.....	25
Figure III- 2 : Schéma équivalent d'un générateur photovoltaïque, modèle simplifié à une diode.....	26
Figure III- 3: Caractéristique $P_{pv}=f(V_{pv})$ dans les conditions : $G_{STC}=1000W/m^2$, $T_{STC}=25^{\circ}C$	29
Figure III- 4: Caractéristique $I_{pv}=f(V_{pv})$ dans les conditions : $G_{STC}=1000 W/m^2$, $T_{STC} =25^{\circ}C$	29
Figure III- 5 : Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique $P_{pv}(V_{pv})$	30
Figure III- 6 : Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique $I_{pv} (V_{pv})$	30
Figure III- 7 : Influence de la température sur la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$	31
Figure III- 8 : Influence de la température sur la caractéristique $P_{pv}(V_{pv})$	31
Figure III- 9 : Modèle du bus continu.....	33
Figure III- 10 : Circuit de l'onduleur connecté à la machine.....	34
Figure III- 11 : Représentation schématique d'une MAS triphasée.....	35
Figure III- 12 : Modèle de Park de la machine asynchrone.....	38
Figure III- 13 : Modèle R-C de la batterie.....	39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II- 1 Dotation en eau..... 15

Notations et symboles

I_{mpp}	Courant au point de puissance maximale (A).
P_{mpp}	Puissance au point de puissance maximale (w).
V_{mpp}	Tension au point de puissance maximale (V)
MPPT	Maximum power point tracking.
DC	Direct courant.
T	Température (°C).
E_s	Ensoleillement (W/m^2).
P&O	Perturbation et observation.
PPM	Point de puissance maximale.
CI	Conductance incrémentielle.
V_e	Tension d'entrée (V).
V_s	Tension de sortie (V).
AC	Alternatif courant.
GPV	Générateur photovoltaïque.
I	Courant délivré par le module (A).

Liste des Abréviations

PV : Photovoltaïque.

GPV : Générateur Photovoltaïque.

MPPT: Maximum Power Point
Tracking.

P&O : Perturbation et Observation

DC : Courant Continu (Direct Current)

AC : Courant Alternatif (Alternative Current)

Introduction générale

Introduction générale

De nombreux pays dépourvus de ressources naturelles recherchent d'autres sources d'énergie fiables, imparables, propres et surtout rentables, comme les énergies renouvelables, en raison de l'augmentation du coût de production de l'électricité à partir de combustibles fossiles.

Grâce aux progrès technologiques réalisés par les humains, les ressources naturelles comme le soleil, l'eau, le vent, le bois et d'autres produits végétaux peuvent toutes produire de l'énergie. En raison du problème de la gestion des déchets nucléaires et des émissions de gaz à effet de serre, leur effet environnemental relativement faible en fait des sources d'énergie pérennes. De plus, la disponibilité des énergies renouvelables offre à plus de 2 milliards de personnes isolées la possibilité d'accéder enfin à l'électricité.

Ces avantages, associés à une technologie de plus en plus efficace, encouragent le développement de sources d'énergie renouvelables, mais ils le font d'une manière encore quelque peu inégale compte tenu du type de ressources utilisées. Malgré le fait que la consommation d'énergie ne devrait pas augmenter, il est peu probable que les sources d'énergie alternatives soient remplacées dans un avenir proche.

Ces besoins énergétiques représentent une énorme opportunité de marché pour la technologie solaire photovoltaïque compte tenu de l'abondance et de la facilité de mobilisation des ressources solaires. Cet exercice ramène la question des énergies renouvelables, et plus particulièrement celle de l'énergie solaire photovoltaïque, dans le cadre de l'amélioration de l'accès de ces populations aux services énergétiques dans une perspective de développement local.

L'une des utilisations les plus intrigantes de l'énergie solaire est l'irrigation à petite échelle par pompage. En fait, les périodes les plus importantes de besoin en eau d'irrigation coïncident généralement avec l'intensité maximale du rayonnement solaire. De plus, comme cette énergie est facilement disponible sur le site d'utilisation, l'agriculteur est libéré des préoccupations concernant la disponibilité du carburant ou même la présence de lignes de transport d'électricité facilement accessibles.

À l'heure actuelle, les principaux obstacles à l'utilisation des pompes solaires à plus grande échelle sont leur coût élevé et le développement relativement récent de la technologie. Un coup de pouce majeur à l'agriculture mondiale pourrait résulter du développement d'une pompe solaire fiable à un prix raisonnable, ce qui est très probable dans les prochaines années. Pour y parvenir, il est crucial d'examiner les opportunités offertes par cette nouvelle technique prometteuse. Bien que sa viabilité économique pour l'irrigation soit encore discutable à l'heure actuelle.

La mémoire est divisée en trois chapitres dont :

Le premier chapitre fait le but d'une recherche bibliographique sur l'énergie photovoltaïque. Nous allons présenter une description les différents composants qui composent le système de pompage photovoltaïque.

Le deuxième chapitre est consacré au dimensionnement de notre système de pompage et au contrôle de celui-ci. Dans ce chapitre, nous allons développer deux stratégies de contrôle pour aider le système de pompage à mieux fonctionner : la première est une commande vectorielle basée sur PI classique, et la seconde est une commande par mode glissant.

Le troisième chapitre est crucial puisqu'il est consacré à la modélisation mathématique de nombreux composants essentiels pour la simulation d'un système de production d'énergie photovoltaïque.

CHAPITRE I :

Généralités sur les systèmes de pompage photovoltaïques

I.1. Introduction :

Par rapport à nos sources d'énergie déjà dominantes, l'énergie solaire est facilement accessible, respectueuse de l'environnement et ne souffre pas du tout. Mais l'énergie qui vient du soleil est toujours la meilleure et la plus grande source d'énergie. En réalité, l'énergie solaire est accessible partout sur Terre. Notre planète reçoit 15 000 fois plus d'énergie que l'humanité n'en consomme. [2].

Les méthodes thermiques et photovoltaïques sont deux façons dont cette énergie peut être utilisée. L'épuisement total de nos sources d'énergie traditionnelles rendra inévitablement l'énergie photovoltaïque nécessaire à l'avenir.

Cette réalité est encore mise en évidence dans le cas des applications de pompage d'eau dans les pays sahéliens en raison de l'adéquation optimale entre la demande en eau et la disponibilité des ressources solaires.

L'énergie solaire est utilisée plus fréquemment dans des endroits isolés à diverses fins, notamment l'éclairage, les communications, la réfrigération et le pompage. En particulier dans les zones rurales et sahariennes, son utilisation au niveau du pompage s'est rapidement développée.

L'utilisation généralisée de l'énergie solaire nous incite à étudier un système de pompage photovoltaïque. [5].

I.2. Description d'un système de pompage photovoltaïque :

De nombreuses populations rurales des pays en développement sont confrontées à de graves problèmes liés à la pénurie d'eau.

Ces problématiques sont particulièrement accentuées dans les régions arides et semi-arides. Pour la population, le manque d'eau dans les zones sèches et semi-arides est un problème critique.

La recherche de réponses adaptées à cette question est liée à l'amélioration des conditions de vie dans ces zones. La meilleure option pour l'approvisionnement en eau partout où il n'y a pas de réseau électrique est le pompage d'eau à énergie solaire (PV). [5].

Le processus de pompage photovoltaïque implique l'utilisation d'un générateur photovoltaïque, de convertisseurs de puissance et d'un moteur continu ou intermittent qui entraîne une pompe qui lui est directement couplée pour répondre aux besoins en eau potable, comme le montre l'image suivante. [5].

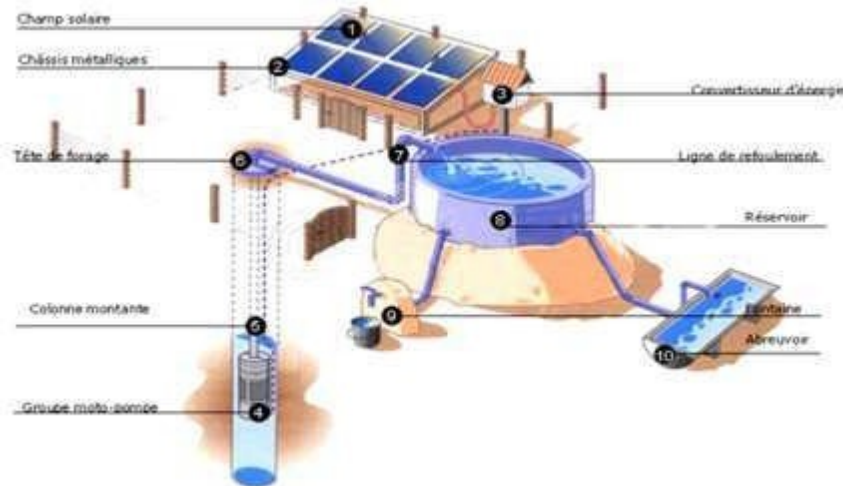


Figure I- 1 : Système de pompage photovoltaïque d'une ferme.

I.2.1. Energie solaire photovoltaïque

Les industries mondiales dépendent actuellement principalement de zones isolées avec une alimentation électrique fiable et clairsemée. La meilleure solution pour cela est fournie par le photovoltaïque. [12]. Le terme "énergie photovoltaïque" désigne l'énergie électrique générée à partir du rayonnement solaire à l'aide de divers matériaux. Elle est le résultat de la conversion directe d'un photon en un électron à l'intérieur d'un semi-conducteur.

I.2.1.1. Avantages et inconvénients :

A. Avantages :

- Il ne produit aucune émission ou odeur observable et n'est pas polluant ;
- Il devrait y avoir des systèmes autonomes ;
- Il n'utilise pas de carburant, il est abondant et sans restriction ;
- Il ne doit pas être combiné avec d'autres sources d'énergie ;
- Il ne nécessite aucune connexion à une source d'énergie ou à une alimentation en carburant existante. [7].

B. Inconvénients :

- Le coût actuel de la technologie photovoltaïque est nettement supérieur au coût de l'énergie conventionnelle.
- Ils sont dépendants des conditions météorologiques.
- Ils ne sont pas compatibles avec les usages à forte consommation [11].

I.2.1.2. Différents domaines d'application :

I.3.1.5 Domaine spatial

I.3.1.6 Habitation isolée

I.3.1.7 Industrie isolée

I.3.1.8 Résidence urbaine

I.3. Les types de pompage photovoltaïque

I.3.1. Pompage avec stockage électronique de produits chimiques

Très souvent, la production d'énergie photovoltaïque n'est pas corrélée à des périodes d'ensoleillement continu, ce qui nécessite un stockage.

Ce type de système de pompage peut être affecté par l'albédo solaire et des problèmes d'adaptation du générateur photovoltaïque et de la motopompe.

Lorsque les utilisateurs le souhaitent, le débit de pompage peut être effectué ; alternativement, il peut permettre un pompage continu tout au long de la journée. [6].

I.3.2. Pompage au fil du soleil

Afin de répondre au besoin d'eau dans le pompage en fin de journée, objet de notre étude, l'utilisation d'un réservoir de stockage d'eau sera nécessaire.

Un système photovoltaïque alimenté par l'énergie du soleil est plus simple, plus fiable et moins coûteux qu'un système alimenté par des batteries. Le stockage se fait hydrauliquement, l'eau étant pompée dans un réservoir au-dessus du sol lorsqu'il y a suffisamment de soleil. Elle est ensuite distribuée par gravité au besoin. La construction du réservoir sur place est courante et sa capacité de stockage peut aller d'un à plusieurs jours.

Ce réservoir ne nécessite pas d'entretien compliqué et peut être facilement réparé localement. [8].

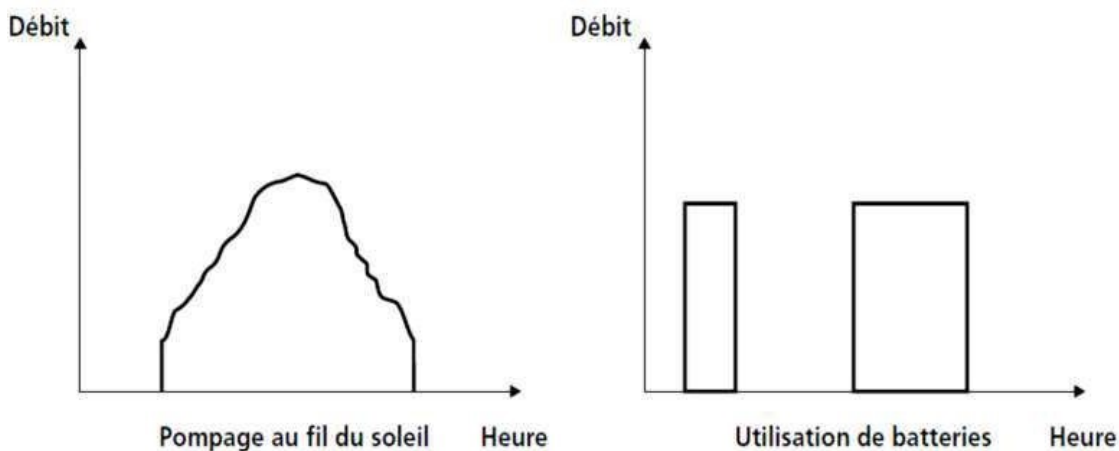


Figure I- 2 : Caractéristiques du débit pour le pompage au fil du soleil et avec Batterie.

I.4. Les différents éléments d'un système de pompage au fil du soleil

Un système de pompage au fil du soleil est constitué de plusieurs composants :

- Un champ de modules photovoltaïque fournissant la puissance électrique nécessaire ;
- Un régulateur qui optimise la production et fournit une alimentation compatible avec la pompe ;
- Un groupe motopompe en fonction de l'application souhaitée ;
- Un réservoir d'eau [4].

I.4.1. Générateur photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est une source d'électricité renouvelable qui provient du rayonnement solaire. Le composant électronique connu sous le nom de cellule photovoltaïque sert de base aux installations qui génèrent ce type d'énergie. Elle opère sur la théorie de l'effet photoélectrique.

L'énergie électrique qui alimente le moteur de la pompe est produite par un générateur photovoltaïque. [2].

I.4.1.1. Cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque, également appelée photopile, est un composant fondamental de la conversion photovoltaïque. Elle peut être comparée à une diode photosensible et son fonctionnement est basé sur les caractéristiques des matériaux semi-conducteurs qui convertissent la lumière en énergie électrique.

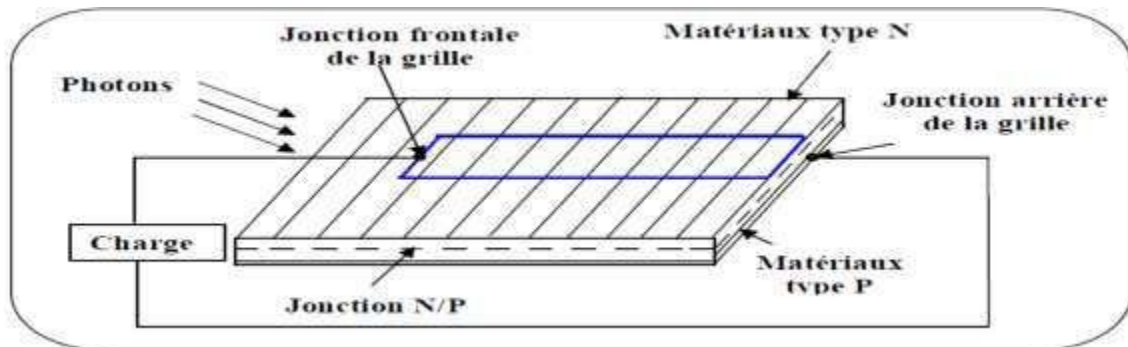


Figure I- 3 : Principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule Photovoltaïque.

I.4.1.2 Principe de fonctionnement :

Dans un semi-conducteur exposé à la lumière, un photon avec une énergie suffisante brise un électron, formant un "trou" dans le processus. Normalement, l'électron trouve un trou pour se remplacer rapidement, dissipant l'énergie fournie par le photon.

L'idée de base derrière une cellule photovoltaïque est de diriger les électrons et les trous sur des surfaces opposées du matériau plutôt que de simplement se recombiner en leurs propres centres. En conséquence, il semble y avoir une différence de potentiel et par conséquent de tension entre les deux surfaces, un peu comme dans un tas. [8].

I.4.1.3. Technologies des cellules photovoltaïques

Photovoltaic cells are optical electromechanical components that directly convert solar energy into electricity; they are manufactured using semiconductor materials.

L'énergie photovoltaïque utilise généralement l'une des technologies suivantes:

- ✓ La première technologie photovoltaïque repose sur des cellules en silicium monocristallin ou polycristallin, avec des rendements généralement compris entre 13 et

18%. Leur durée de vie est souvent supérieure à 25 à 30 ans et leur efficacité monocristalline se situe entre 12 et 15%.

- ✓ La deuxième technologie utilise des cellules en silicium amorphe. L'efficacité est faible, entre 6 et 10%. Leur durée de vie moyenne est inférieure à 20 ans.
- ✓ La troisième technologie utilise des matériaux semi-conducteurs supplémentaires tels que le tellure de cadmium (CdTe), le sélénite de cuivre indium (CIS) et les jonctions d'arséniure de gallium (GaAs). Cette technologie multicouche est en développement car chacun de ces matériaux a une sensibilité différente aux photons d'énergie. [5].

I.4.1.4. Paramètre d'une cellule photovoltaïque

A. La puissance de crête

Puissance électrique maximale que le module peut fournir dans des circonstances normales (25°C et un éclairement de 1000 W/m²).

B. La tension à vide

En l'absence de courant, appliquer une tension sur les paliers du module pour un "plein soleil" bien visible.

C. Le courant de court-circuit

Courant obligé par un module de court-circuit pour un clair "plein soleil".

D. Le point de fonctionnement optimum

Lorsque la force de l'entrejambe est la plus forte en plein soleil, $P_{mpp} = V_{mpp} \cdot I_{mpp}$.

E. Le rendement

Relation entre la puissance électrique idéale et la puissance de rayonnement incidente.

F. Le facteur de forme

Rapport entre la puissance maximale possible de la cellule et la puissance P_{mpp} idéale.

La caractéristique courant tension

Graphique montrant la dette actuelle du module en fonction de la contrainte à ses points de montage. Comme le montre la figure. (I.4).

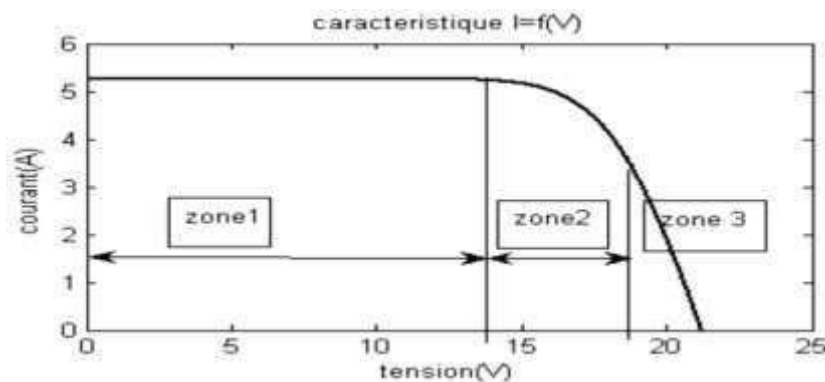


Figure I- 4 : Caractéristique courant PV en fonction de la tension PV.

Zone (I) : La structure cellulaire fonctionne comme un générateur de courant.

Zone (II) : La zone opérationnelle idéale.

Zone (III) : La cellule fonctionne comme un générateur de tension. [7].

I.4.1.5. Panneau photovoltaïque

Une seule cellule a très peu de puissance disponible aux extrémités. Afin d'augmenter la puissance et de la rendre compatible avec les équipements électriques courants, il est donc nécessaire de connecter plusieurs cellules en série et en parallèle. De plus, comme les cellules sont sensibles à l'éclatement et à la formation de croûtes, elles doivent être protégées de leur environnement, c'est pourquoi elles sont généralement enfermées dans une substance. Le module dispose également d'un cadre robuste, généralement en aluminium, qui permet une fixation. [12].

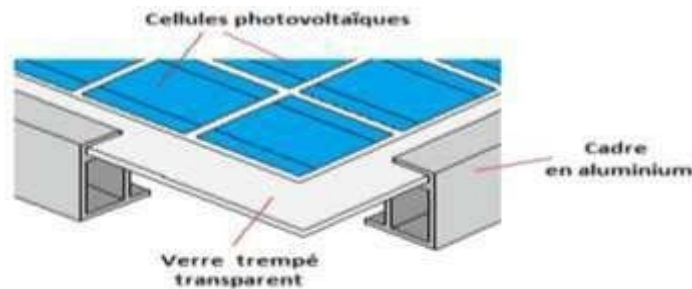


Figure I- 5 : Description d'un module photovoltaïque.

I.4.1.5.1. Association série :

Le courant de la branche reste inchangé lorsque des cellules ou des modules identiques supplémentaires sont ajoutés, mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules en série supplémentaires. [8].

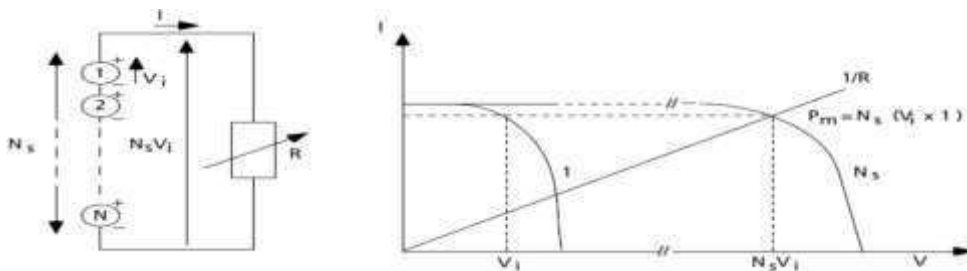


Figure I- 6 : Cellules identiques en séries.

I.4.1.5.2. Association parallèle

La tension de la branche est égale à la tension de chaque cellule en ajoutant des cellules parallèles identiques, et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de cellules parallèles dans la branche. [8].

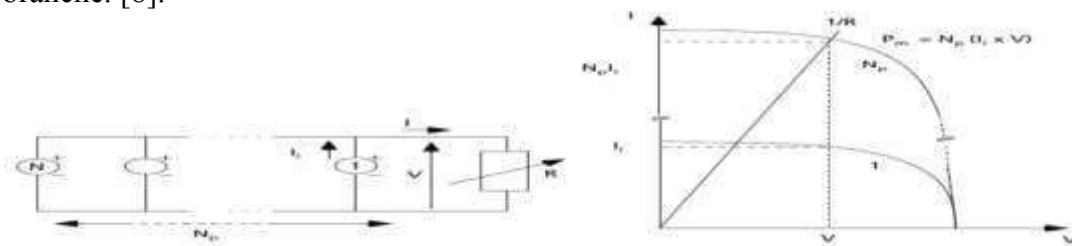


Figure I- 7: Cellules identiques en parallèles.

I.4.1.5.3. Nécessité de fonctionnement optimale du générateur

L'installation de systèmes photovoltaïques est limitée par deux facteurs importants : le coût et le faible rendement de conversion de l'énergie. En raison de ces facteurs, il est nécessaire de faire fonctionner le générateur photovoltaïque à sa puissance maximale. [1].

Un générateur photovoltaïque est un générateur dont la caractéristique $I=f(v)$ n'est fortement pas linéaire. En conséquence, en fonction de la charge, la quantité d'énergie fournie variera. Par conséquent, un contrôleur MPPT vous permet de contrôler le convertisseur et le panneau photovoltaïque connectés de manière statique de l'appareil de charge afin qu'il fournisse systématiquement la plus grande quantité d'énergie à la charge.

❖ Commandes MPPT

Quelles que soient les conditions météorologiques, une commande MPPT couplée à un étage DC / DC peut être utilisée pour faire fonctionner un générateur photovoltaïque de manière à produire le maximum de puissance en continu (E_s, T). [8].

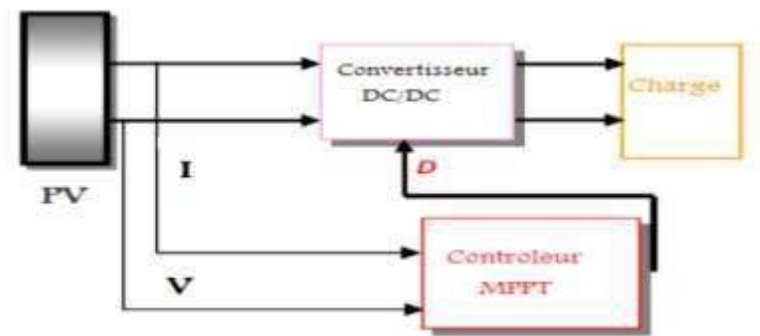


Figure I- 8 : Système photovoltaïque contrôlé par une commande MPPT.

I.4.1.5.3.1. Les différentes techniques de fonctionnement en PPM

- ✓ Méthode de perturbation et d'observation (P&O).
- ✓ Méthode de courbe d'ajustage (curve fitting Method).
- ✓ Méthode de la table de consultation (look-up table).
- ✓ Méthode de tension en circuit ouvert de générateur photovoltaïque (open circuitvoltage photovoltaic generator methode).
- ✓ Méthode de court-circuit du générateur photovoltaïque (short circuit curent photovoltaic generator method).
- ✓ La méthode de la conductance incrémentielle (CI).
- ✓ Méthode logique flou.
- ✓ Méthode de réseau de neurones [6].

I.4.2. Les Convertisseurs

Dans un système de pompage photovoltaïque, des convertisseurs sont utilisés pour convertir un

courant continu en courant alternatif et vice versa. Trois types de convertisseurs différents sont fréquemment trouvés dans les sources d'énergie renouvelables: les redresseurs, les inducteurs et les échangeurs de chaleur. [10].

I.4.2.1. Convertisseur DC/DC (hacheur)

L'hacheur est un convertisseur statique qui permet le transfert d'énergie électrique d'une source d'énergie continue à une autre source d'énergie continue tout en faisant fonctionner un ou plusieurs interrupteurs contrôlés et permettant la modification à haut rendement de la valeur de la tension d'une source d'énergie continue.

Il existe deux types d'hacheur :

I.4.2.1.1. Hacheur dévolteur (ou série)

Ce nom fait référence au fait que la tension moyenne de départ (V_s) est inférieure à la tension moyenne d'entrée (V_e).

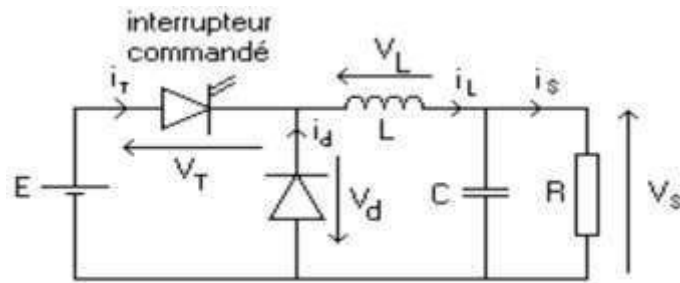


Figure I- 9 : Structure d'un hacheur dévolteur.

I.4.2.1.2. Hacheur survolteur (ou parallèle).

Ce nom fait référence au fait que la tension moyenne de départ V_s est supérieure à la tension moyenne d'entrée V_e .

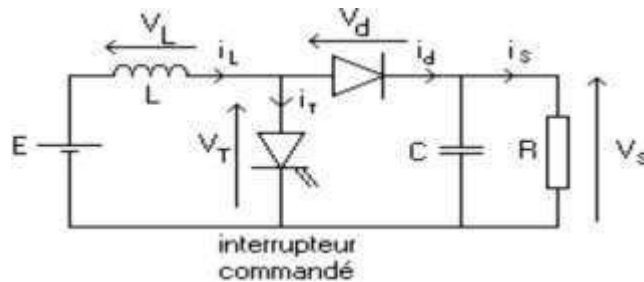


Figure I- 10 : Structure d'un hacheur survolteur.

I.4.2.2. Convertisseur DC/AC (onduleur)

Un onduleur, également connu sous le nom de convertisseur, est un élément électronique de puissance qui vous permet de modifier la tension continue fournie par les panneaux pour les adapter à des récepteurs fonctionnels et de la convertir en une tension alternative standard de fréquence et d'amplitude alternatives. [8].

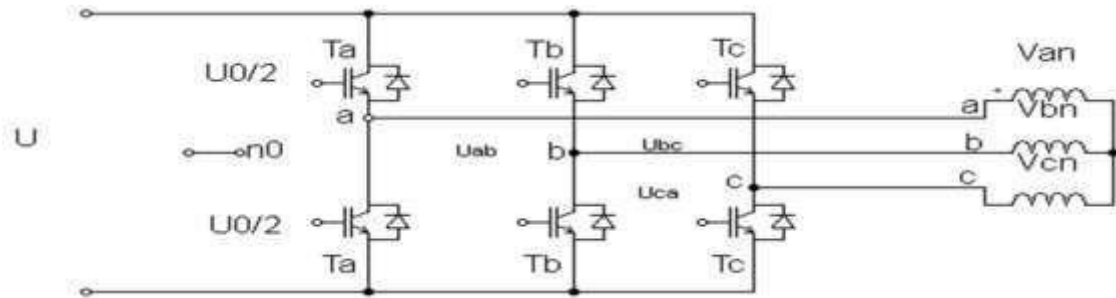


Figure I- 11 : Structure d'un onduleur.

I.4.3. Les moteurs d'entraînement

Les pompes photovoltaïques ont besoin d'énergie mécanique pour fonctionner, et cette énergie mécanique est fournie par un moteur qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique. Ces moteurs peuvent fonctionner en continu ou en alternance et sont connus sous le nom de motopompes.

I.4.3.1. Moteur à courant continu

Une machine à courant continu est un convertisseur d'énergie électromécanique, de sorte qu'un moteur à courant continu (ou à courant continu) convertit l'énergie électrique en énergie mécanique.

Leurs capacités étendues de réglage de la vitesse ont encouragé leur utilisation comme moteurs dans des applications où cette caractéristique est critique, en particulier depuis le développement des semi-conducteurs de puissance semi-conducteurs (transistors et thyristors), où l'utilisation de moteurs à flux continu est sans comparaison dans le domaine. [12].

Un moteur à courant continu est souvent plus efficace et plus facile à utiliser avec un système photovoltaïque (pas besoin d'inducteurs), mais il est également plus cher et plus difficile à mettre sur le marché.

I.4.3.2. Moteur a courant alternatif

L'énergie électrique appliquée à un moteur est convertie en énergie mécanique en changeant la direction du courant circulant à travers une industrie (souvent le rotor) soumise à un champ magnétique généré par un inducteur (habituellement le stator). [3].

De plus en plus de systèmes de pompage photovoltaïques utilisent un moteur à courant alternatif. Le coût relativement élevé du moteur, ses faibles besoins en maintenance et l'efficacité croissante des panneaux solaires le rendent particulièrement attrayant pour les systèmes de purification d'eau à plus grande échelle.

Bien qu'il soit moins coûteux et plus simple de trouver un alternateur sur le marché, il nécessite l'utilisation d'un onduleur pour fonctionner avec une alimentation solaire. [7].

Ces moteurs de secours sont divisés en deux catégories :

- Moteurs asynchrones.

- Moteurs synchrones.

I.4.3.2.1. Les moteurs synchrones

L'expression "moteur synchrone" désigne tout moteur dont la vitesse de rotation de l'arbre de sortie est égale à la vitesse de rotation du champ tournant. Ces moteurs ont des utilisations spécifiques, par exemple dans des applications où une rotation uniforme est essentielle. Il a certaines qualités exceptionnelles, y compris une vitesse constante quelle que soit la charge. Il peut fournir une puissance réactive, ce qui le rend capable d'améliorer le facteur de puissance d'une installation. Il peut tolérer des chutes de tension assez importantes en raison de son potentiel de surexcitation sans rupture.

Cependant, l'inconvénient du moteur synchronisé est sa difficulté à démarrer. [1].

I.4.3.2.2. Les moteurs asynchrones

En raison de leur prix abordable (construction facile) et de leur longue durée de vie, qui est fréquemment limitée par les palettes, les moteurs asynchrones sont largement utilisés dans les applications à grand volume. Ils deviennent des preuves intéressantes lorsqu'ils peuvent fonctionner directement à partir d'un réseau de sauvegarde. [11].

A. Avantages

- ✓ Durée de vie élevée ; entretien presque inexistant.
- ✓ Faux courage.

B. Inconvénients

- ✓ Vitesse de rotation fortement influencée par la force appliquée à la hache.
- ✓ commandes électroniques sophistiquées de vitesse et de synchronisation.

I.4.4. Les pompes

Les dispositifs appelés "pompes" créent une différence de pression entre les tubes d'entrée et de sortie.

Selon les conditions d'utilisation, ces dispositifs transmettent au fluide soit de l'énergie potentielle (en augmentant la pression dans l'aval), soit de l'énergie mécanique (en déplaçant le fluide). Ainsi, on peut vouloir augmenter le débit(augmentation de l'énergie mécanique) ou/et augmenter la pression (augmentation de l'énergie potentielle) pour des fluides gazeux, liquides, visqueux ou extrêmement visqueux, ce qui explique la large gamme de pompes. [9].

La classification primaire des pompes à eau est basée sur leur fonctionnement.

I.4.4.1. Les pompes volumétriques

Les fluctuations de volume du fluide pompé sont utilisées par les pompes volumétriques, également appelées pompes à cavité progressive, pour augmenter la pression. Le fluide est d'abord aspiré par une augmentation de volume, puis évacué par une diminution du même volume.

Les pompes volumétriques les plus utilisées sont celles à pistons, palettes et engrenages. [2].

Leurs principaux avantages sont les suivants :

- Ils sont destinés à des débits faibles (à moins de $5\text{m}^3/\text{heure}$) et à des altitudes élevées.
- Ils fonctionnent bien et les pompes au niveau de la surface ont une aération automatique.
- Le couple de démarrage nominal pour une pompe volumétrique est compris entre trois et cinq fois.

La figure (I. 12) illustre les caractéristiques d'une pompe volumétrique, y compris les relations de couple et de vitesse débitrice.

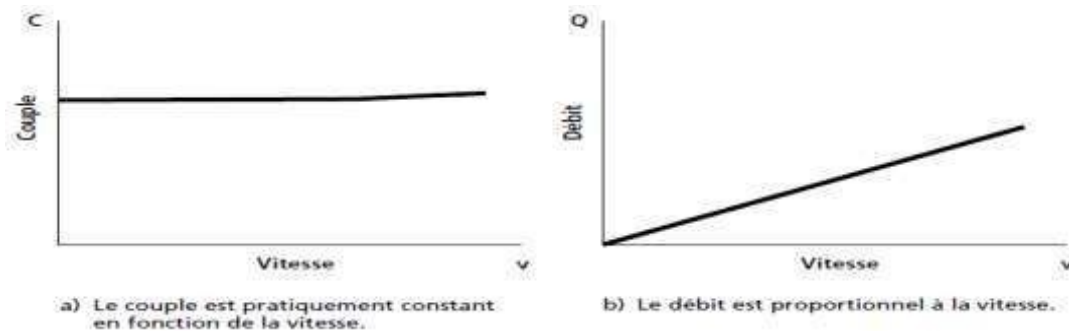


Figure I- 12 : Caractéristiques d'une pompe volumétrique.

I.4.4.2. Les pompes centrifuges

La principale caractéristique d'une pompe centrifuge est de transformer l'énergie mécanique du moteur en énergie cinétique, puis en énergie de pressurisation. Les pompes centrifuges sont un sous-ensemble des turbopompes. [12].

➤ Principe de fonctionnement

Pour augmenter la pression, les pompes centrifuges utilisent les fluctuations de vitesse des fluides pompés.

L'énergie mécanique du moteur est transférée au fluide. Donner à un fluide une certaine vitesse lui fournira de l'énergie chimique. Ensuite, l'énergie chimique est convertie en énergie de pression.

Les caractéristiques des pompes centrifuges sont :

- Le couple d'entraînement de départ de la pompe est pratiquement nul.
- Ils doivent être amortis pour fonctionner correctement et éviter tout risque de destruction.
- Peut être submergé ou au niveau de la surface.

La figure (I. 13) représente les caractéristiques d'une pompe centrifuge, y compris les coefficients de couple et de débit qui dépendent de la vitesse.

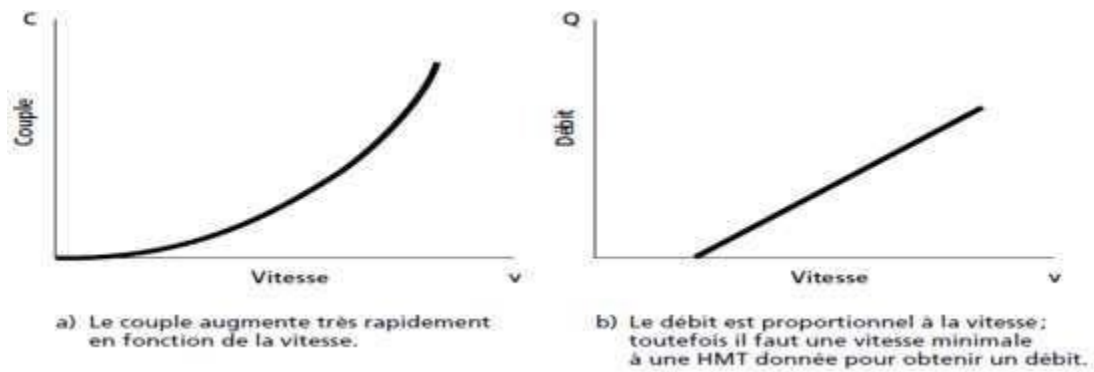


Figure I- 13 : Caractéristiques d'une pompe centrifuge.

Une pompe centrifuge est composée de [11] :

- Un personnage à roues tournant autour de sa hache.
- Un distributeur dans le moyeu de la roue.
- Un collecteur de section de croissant en forme de volute.

I.5. Conclusion

Cette recherche bibliographique a fait l'objet d'une introduction dans laquelle nous avons fourni des informations générales sur les systèmes de pompage photovoltaïques. Nous avons donné un aperçu général des nombreux composants qui composent ces systèmes. Enfin, nous avons décidé du système à étudier et des composants qui le composent afin de planifier sa modélisation en prévision d'une simulation dans les prochains chapitres.

Chapitre II :

Dimensionnement du système de pompage solaire

II.1. Introduction :

De nombreuses populations rurales des pays en développement sont aux prises avec des problèmes importants liés à la pénurie d'eau. En particulier dans les zones semi-désertiques et arides, ces problèmes sont plus importants. Pour la population, le manque d'eau dans les zones sèches et semi-arides est un problème critique. La recherche de réponses adaptées à cette question est liée à l'amélioration des conditions de vie dans ces zones. La meilleure option pour l'approvisionnement en eau partout où il n'y a pas de réseau électrique est le pompage d'eau à énergie solaire (PV). [8]

II.2. Dimensionnement complet de l'installation :

Les différentes étapes de dimensionnement d'un système de pompage PV sont les suivantes :

- Évaluation des besoins en eau.
- Identification de l'énergie solaire disponible.
- Dimensionnement et choix de la pompe.
- Le choix de l'onduleur (système électronique de commande et de contrôle).
- Dimensionnement Du générateur photovoltaïque.

Nous avons choisi la méthode de pompage "soleil" pour notre étude car elle est plus simple et moins coûteuse. Il est également plus intéressant de stocker de l'eau dans des réservoirs hydrauliques plutôt que de l'énergie électrique dans des batteries. Le résultat est un système qui fonctionne naturellement, ce qui le rend a priori très fiable et peu coûteux. [5]

II.2.1. Evaluation des besoins en eau

Les valeurs suivantes peuvent être utilisées pour définir les besoins en eau d'une région saharienne :

Animaux	
Moutons et chèvres	5 litres/jours
Cheval	40 litres/jour
Ane	20 litres/jour
Chameau	20 litres/jour

Tableau II- 1 Dotation en eau [8].

II -2-1-1- Calculez le débit hebdomadaire moyen (Q_{moy}) :

$$Avec Q_{moy} = N \times D \text{ [l/j]} \quad (II-1)$$

Q_{moy} : débit moyen journalier [l/j].

D : dotation [l/j/Cham].

N : Nombre des Chameaux.

II -2-1-2- Calcul le débit max journalier (Q_{maxj})

$$Q_{maxj} = Q_{moyj} \times K_{maxj} \text{ [m}^3\text{/j]} \quad (II-2)$$

Avec :

Q_{maxj} : le débit max journalier [m^3/j].

K_{maxj} : [1,1: 1,3], on prend: $K_{maxj} = 1,3$

II -2-2- Détermination de l'énergie solaire disponible

La méthode de dimensionnement utilisée est basée sur les calculs des valeurs moyennes journalières mensuelles de l'irradiation solaire disponible à l'inclinaison ($\beta = 32$) des modules photovoltaïques (PV) par rapport au plan horizontal. Ce dernier doit se faire de manière à optimiser la conversion de l'énergie solaire en électrique. [10]

II -3- Dimensionnement et choix de la pompe**II-3-1- Données de base**

Les informations suivantes sont nécessaires pour dimensionner la pompe solaire et ses composants. Cette section fournit une définition générale des données utilisées dans le pompage et décrit les spécificités du pompage photovoltaïque. [9]

II 3-1-1- Débit (Q)

La quantité d'eau que la pompe peut fournir sur une période de temps spécifique est appelée débit (Q). Dans le cas des pompes, la demande est généralement exprimée en litres par heure (l/h) ou, alternativement, en mètres cubes par jour (m^3/j). [11]

II 3-1-2- Hauteur manométrique totale (HMT)

La hauteur manométrique totale (HMT) d'une pompe est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'admission et d'échappement. Cette hauteur peut être calculée comme suit : [8]

$$HMT = H_g + \Delta H_t \text{ [m]} \quad (II-3)$$

H_g : Hauteur géométrique entre la couche de pression d'eau (niveau dynamique) et le plan d'utilisation (H_r+N_d). H_g sera sélectionné pour une pompe à eau de surface en fonction de la hauteur de la pompe et de son niveau le plus bas.

ΔH_t : pertes de charge provoquées par le gel de l'eau sur les parois du conduit. Ces pertes, qui sont exprimées en mètres d'eau, dépendent de la longueur, du diamètre et de la déviation du tuyau. Le calcul du diamètre du conduit est nécessaire pour que ces pertes de charge soient égales à au moins 10% de la hauteur géométrique globale (voir la section sur le dimensionnement du conduit d'eau). [9]

II -3-1-3- Niveau statique (Ns)

Le niveau statique (Ns) d'un puits ou d'un pâturage est la séparation entre le sol et la surface de l'eau avant le pompage. [4]

II -3-1-4- Niveau dynamique (Nd)

La distance entre le sol et la surface de l'eau pour un débit donné est le niveau dynamique (Nd) d'un puits ou d'un pâturage. Afin de calculer le HMT, le niveau dynamique est estimé comme un débit moyen. Rabattement est le terme désignant la différence entre les niveaux de développement dynamique et statique. ((R_m) est la réduction maximale admissible avant l'arrêt de la pompe. [11].

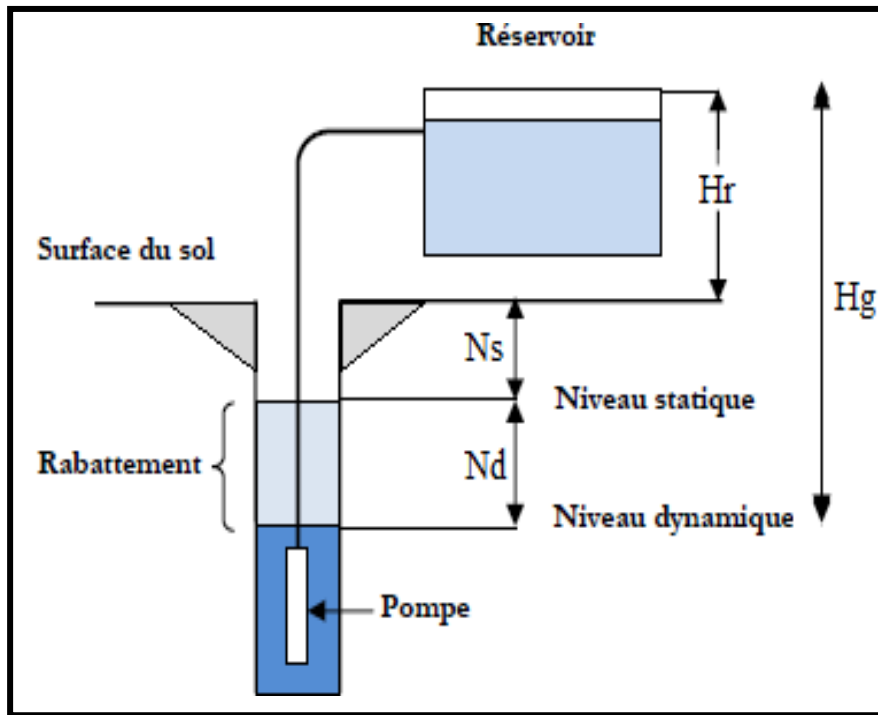


Figure II- 1 Hauteur manométrique total.

II -3-2- Calcul le débit horaire de pompe (Q_h)

Il est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$Q_h = \frac{Q[m^3/jour]}{h} \quad [m^3/h] \tag{II-4}$$

Avec :

Q : la dette journalière maximale. [m^3/j].

h : le nombre d'heures d'exposition au soleil. [heur].

II -3-3- Calcul le diamètre de la conduite de refoulement (D)

En utilisant la formule de BONIN, le diamètre du conduit de refoulement sera déterminé :

$$D = \sqrt{Q}$$

(II-5)

II -3-4- Calcul la vitesse de refoulement (V)

La formule suivante sera utilisée pour déterminer la vitesse de refoulement :

$$Q = V \times S \implies V = \frac{Q}{S} \quad [m^3/j]$$

(II-6)

Avec :

Q : le débit de pompe [m^3/s].

V : la vitesse d'écoulement [m/s].

S : la surface de conduite [m^2].

La vitesse d'écoulement est admissible $V = 0,784 \text{ m/s} \in [0.5 - 1.5] \text{ m/s}$.

II -3-5- Dimensionnement le Bassin Abrevoir (Va)

Nous utiliserons la formule suivante pour calculer le volume des basses :

$$Q = \frac{Va}{T} \implies Va = Q \times T \quad [m^3]$$

Avec :

(II-7)

Q : le débit de pompe [m^3/h].

Va : le volume de bassin [m^3].

T : la durée de pompage [h].

La formule fournit l'énergie électrique quotidienne requise :

$$Ee = \frac{Eh}{\eta_{ond}} \text{ [KWh/j]} \quad (\text{II-8})$$

Avec :

Ee : Energie électrique exprimé en [KWh/j].

Eh : Énergie hydraulique [KWh/j].

\eta_{ond} : Le rendement d'onduleur. On prend $\eta_{ond} = 95\%$.

II-3-6-Calcul de la puissance hydraulique nécessaire

La relation suivante est utilisée pour calculer la puissance hydraulique moyenne mensuelle et annuelle requise [4] :

$$P_H = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot \text{HMT}}{3600} \quad (\text{II-9})$$

Avec :

P_H : puissance hydraulique (W)

HMT : hauteur manométrique totale (m)

Q : volume d'eau (m³/jour)

ρ : densité de l'eau (1000 kg/m³)

g : accélération de la pesanteur (9,81m/s²)

La quantité d'énergie électrique nécessaire pour soulever une quantité spécifique d'eau à une hauteur spécifique au cours d'une journée est calculée à l'aide des données de débit et de HMT requises, cette dernière étant exprimée en W. Ce calcul est basé sur le CHANGEMENT constant hydraulique. [5].

$$P_{\text{éle}} = \frac{C_H \cdot \text{HMT} \cdot Q}{\eta_p \cdot \eta_m} \quad (\text{II-10})$$

$P_{\text{éle}}$: puissance électrique requise par la pompe

HMT : hauteur manométrique totale exprimée en [m]

Q : le débit journalier exprimé en [m³/jour]

η_p : Le rendement de la pompe

η_m : Le rendement du moteur

$$C_H = \frac{g \cdot \rho}{3600} = 2,725 \quad (\text{II-11})$$

Où :

g : Accélération de la pesanteur ($9,81\text{m/s}^2$)

ρ : Densité de l'eau (1000 kg/m^3)

II-4 Détermination de l'énergie solaire disponible

Il est essentiel de comprendre les ressources solaires disponibles lors de la conception d'un système d'alimentation photovoltaïque. Pour déterminer cette énergie, vous devez calculer les valeurs moyennes mensuelles d'irradiation du journal. [11].

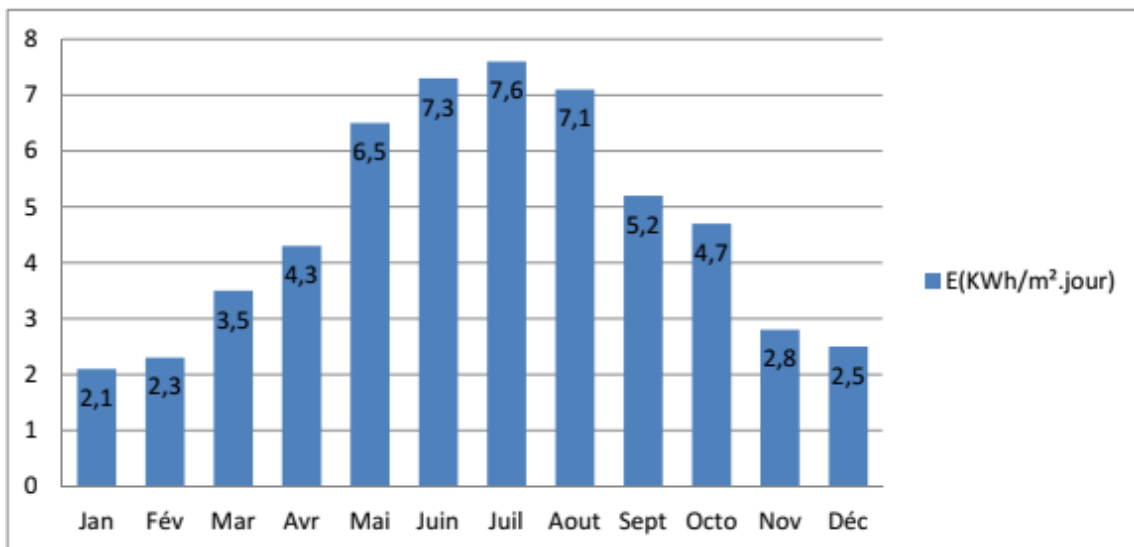


Figure II- 2 : irradiation globale moyenne mensuelle journalière sur plan horizontal du site de Bejaia du 2013 au 2016.

II-4-1 Positionnement optimal des capteurs photovoltaïque

L'énergie fournie par les capteurs d'énergie solaire doit être prise en compte afin de maximiser les performances du système photovoltaïque. La sortie de ces capteurs dépend de leur emplacement, de leur orientation et de leur angle d'inclinaison. Le taux de productivité optimal, qui dépend de l'inclinaison, est indiqué dans le tableau ci-dessous.

INCLINAISON \ ORIENTATION	0°	30°	60°	90°
EST	93%	90%	78%	55%
SUD - EST	93%	96%	88%	66%
SUD	93%	100%	91%	68%
SUD - OUEST	93%	96%	88%	66%
OUEST	93%	90%	78%	55%

Figure II- 3: inclinaison/orientation et taux de productivité optimum des PV.

II-4-2 Mois de dimensionnement

Consiste à sélectionner un niveau de puissance de sorte que, pendant les mois les moins ensoleillés, l'alimentation en énergie du panneau solaire réponde aux exigences avec un angle proche de la latitude de l'emplacement.

C'est l'approche que les entreprises qui vendent et installent des systèmes d'énergie solaire adoptent généralement.

II-5- Choix des composants de l'installation

On souhaite réaliser une installation de pompage photovoltaïque dans une petite ferme à Bejaia pour alimenter un réservoir d'eau de 50 m3 destiné pour l'irrigation d'un champ d'orangers dont le besoin journalier est estimé à 15 m3/jour. La hauteur manométrique choisie est de 10 m et la pompe choisie est centrifuge de rendement 0,56. Le rendement du moteur d'entraînement est de 0,8 et celui de l'onduleur est estimé à 0,96.

II-5-1 dimensionnement de la pompe centrifuge

Dans notre cas le débit journalier est estimé à 23 m3/jour. À partir de l'équation (II.11). Nous calculons la puissance hydraulique :

$$P_H = \frac{1000 * 9,81 * 23 * 10}{3600}$$

$$P_H = 626,75 W$$

De la relation l'équation (II.10), l'énergie électrique sera :

$$P_{éle} = \frac{2,725 * 23 * 10}{0,56 * 0,8} \quad (II-12)$$

$$P_{éle} = 1400 \text{ W}$$

La puissance demandée, transite via l'onduleur :

$$P_d = \frac{P_{éle}}{\eta_{onduleur}} ; P_d = \frac{1400}{0,96} ; P_d = 1458,33 \text{ W} \quad (II-13)$$

II-5-2- dimensionnement du champ photovoltaïque

D'après la figure II.2 on distingue que le mois de Janvier est le mois ou l'ensoleillement (E) est défavorable pour un maximum de 2,1 heures de soleil par jour.

Le taux de pertes liées à la température, à la poussière et au rendement de l'onduleur est estimé à 20% [8], dans ce cas l'énergie journalière demandée par la charge se calcule avec l'équation suivante.

$$E_c = P_d \cdot T_p ; \text{ avec } T_p = \frac{\text{volume}}{\text{débit}} = \frac{50}{23} = 2,17\text{h} \quad (II-14)$$

$$E_c = 1458,33 \cdot 2,17 ; E_c = 3164,57$$

D'où : la puissance théorique du générateur PV est donné par :

$$P_g = \frac{E_c}{T_p(1 - \text{pertes})} ; P_g = \frac{3164,57}{2,17(1 - 0,2)} ; P_g = 1823 \text{ W} \quad (II-15)$$

$$N_{PV} \geq ENT \left(\frac{P_g}{P_s} \right)$$

$$N_{PV} \geq ENT \left(\frac{1823}{110} \right) ; N_{PV} = 17 \text{ Panneaux} \quad (II-16)$$

II-6-Conclusion

Dans cette communication, nous avons présenté les résultats d'une étude qui nous a permis de déterminer la taille d'un système d'irrigation photovoltaïque qui irriguera un hectare de palmiers dans la vallée d'El Oued. Nous avons discuté des nombreux composants de ce système à énergie solaire, y compris un générateur photovoltaïque, une pompe électrique et un onduleur.

Le générateur photovoltaïque approprié, selon l'étude, se compose de 21 modules photovoltaïques polycristallins en silicium d'une puissance de crête de 150 watts chacun. Ainsi, la puissance de crête du générateur PV est de 3150 WC. Cependant, il est essentiel de noter qu'il y a souvent une certaine incertitude dans le calcul de la taille du générateur.

Cette incertitude est principalement causée par deux facteurs clés : le premier est lié à la nature imprévisible et erratique du rayonnement solaire. La seconde est liée à l'estimation difficile des besoins en eau demandés. Par conséquent, il est conseillé de faire preuve de prudence lors du choix du type de pompes et de la taille du générateur.

Chapitre III :

Modélisation d'un système de pompage photovoltaïque

III.1. Introduction

Ce chapitre traitera des modèles mathématiques et des équations de fonctionnement qui seront utilisés pour modéliser les différents composants d'un système de production d'énergie photovoltaïque afin de les simuler à l'aide du logiciel (Matlab/Simulink).

III.2. Description du système à étudier :

Sur le terrain agricole, un panneau de cresson de type poly 270w a été installé. Celui-ci est monté sur une structure métallique inclinée de 45 degrés et pointée vers le sud afin de capter le plus grand flux solaire tout au long de la journée et tout au long de l'année.

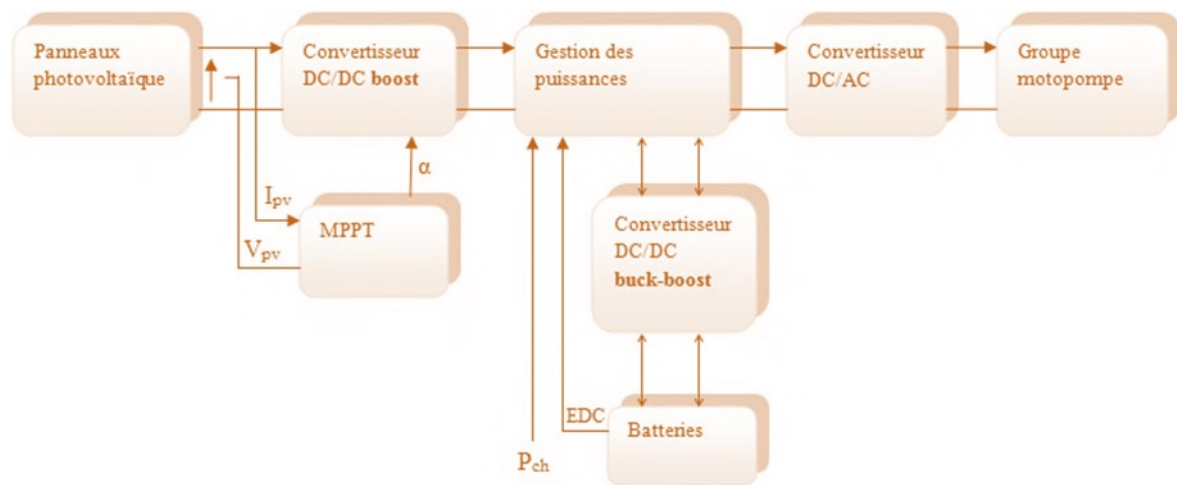


Figure III- 1 : Système globale à étudier.

Le système de pompage avec la batterie, une charge fournie par une batterie qui a été chargée par un générateur photovoltaïque peut être comparée. Ses éléments fondamentaux sont :

- Les panneaux photovoltaïques : permettent l'alimentation de la charge (motopompe) et le stockage (batterie).
- La commande MPPT : permet d'extraire la puissance maximale produit dans l'industrie des modules PV.
- La batterie : alimente la charge et assure un stockage de l'énergie électrique.
- Le système de gestion : assure la gestion du flux d'énergie entre les différents composants et protège la batterie contre la surcharge et les décharges profondes.
- Le convertisseur DC/DC : fournit une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe.
- Le convertisseur DC/AC : fournit une tension alternative à partir d'une tension continue.
- Groupe motopompe : convertit l'énergie électrique en énergie hydraulique.

III.3. Modélisation du système :

III.3.1. Modèle électrique d'un générateur photovoltaïque :

Il existe de nombreux types de générateurs photovoltaïques, chacun avec sa propre procédure et le nombre de paramètres qui entrent dans le calcul du courant et de la tension.

Parmi ces modèles on trouve : [21]

□ **Le modèle idéalisé** : Parce que la valeur de la résistance R_s est généralement très grande, elle est souvent supposée infinie (et donc ignorée), et parce que la valeur de la résistance R_s est petite, elle est supposée nulle ($R_s = 0$).

□ **Le modèle à une diode** : Pour tenir compte des chutes de tension dans les zones P et N, une série de résistances, R_s , et une résistance parallèle, R_{sh} , doivent être incluses dans le modèle idéalisé.

□ **Le modèle à deux diodes** : une seconde diode connectée en parallèle avec la diode du modèle précédent, capable de reproduire chimiquement la recombinaison des effets électroniques.

En raison du manque de précision du modèle idéalisé et de la complexité d'autres modèles plus précis, le modèle à diode semble être un bon compromis entre simplicité et précision [24], et il semble convenir à nos recherches.

Nous avons utilisé un modèle simplifié, qui est un modèle à cinq paramètres (I_{ph} , I_d , I_{rsh} , V_{oc} , V_{mpp} , R_s) qui tient compte de la variation du courant et de la tension des panneaux photovoltaïques en réponse aux conditions météorologiques changeantes.

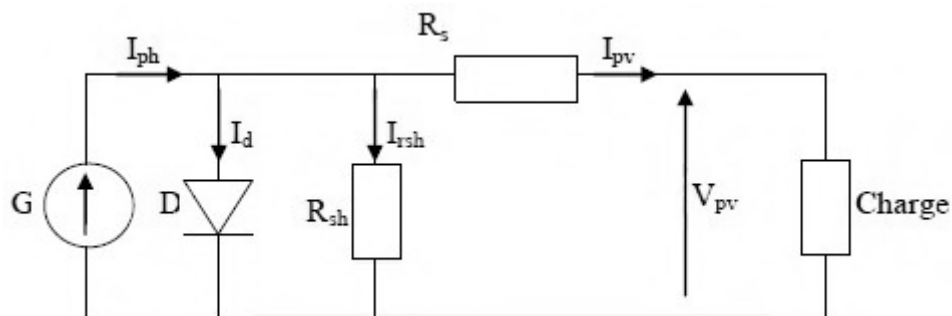


Figure III- 2 : Schéma équivalent d'un générateur photovoltaïque, modèle simplifié à une diode.

Selon la figure (II. 2), le courant I_{pv} d'un générateur photovoltaïque dans des conditions de fonctionnement ordinaires est donné par l'équation (II. 1) :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{rsh} \quad (III.1)$$

I_{ph} : Représente la photo courante, il dépend de l'irradiation et de la température.

I_d : Représente le courant de diode.

R_s : Résistance série.

R_{sh} : Résistance shunt.

I_{rsh} : Représente le courant shunt.

L'expression (II.1) s'écrit aussi de cette manière :

$$I_{pv} = I_{cc} \cdot [1 - K_1 \cdot (e^{k_2 \cdot V_{m_{pv}}} - 1)] \quad (III.2)$$

Où les coefficients K_1 , K_2 , K_3 , K_4 et m sont donnés par :

$$K_1 = 0.01175$$

$$k_2 = \frac{k_4}{v_{co}^m} \quad (III.3)$$

$$k_3 = \ln \left[\frac{I_{cc}(1+K_1) - I_{mpp}}{k_1 \cdot I_{cc}} \right] \quad (III.4)$$

$$K_4 = \ln \left[\frac{1+k_1}{k_1} \right] \quad (III.5)$$

$$m = \frac{\ln \left[\frac{k_3}{k_4} \right]}{\ln \left[\frac{V_{mpp}}{V_{co}} \right]} \quad (III.6)$$

Tel que :

I_{mpp} : Courant au point de puissance maximale appelé aussi courant optimum. (A)

V_{mpp} : Tension au point de puissance maximale appelée aussi tension optimale. (V)

I_{cc} : Courant de court-circuit. (A)

V_{co} : Tension en circuit ouvert. (V)

Il est à noter que l'équation (II. 2) ne s'applique qu'à un niveau spécifique d'ensoleillement G et de température ($G_{STC}=1000 \text{ W / m}^2$, $T_{STC}=25 \text{ }^\circ\text{C}$). Adaptation aux circonstances procédures opérationnelles normalisées (STC). Lorsque l'ensoleillement et la température varient, les équations suivantes modifient les paramètres du module photovoltaïque :

$$\Delta T_c = T_c - T_{STC} \quad (III.7)$$

$$\Delta I_{pv} = a_{cc} \cdot \left(\frac{G}{G_{STC}} \right) \cdot \Delta T_c + \left(\frac{G}{G_{STC}} - 1 \right) \cdot I_{cc,STC} \quad (III.8)$$

$$\Delta V_{pv} = -\beta_{0c} \cdot \Delta T_c - R_s \cdot \Delta I_{pv} \quad (III.9)$$

Avec :

G_{STC} et G : Représentent respectivement, l'ensoleillement dans les conditions standards de fonctionnement et dans les conditions quelconques.

T_{STC} et T_c : Représentent respectivement, la température dans les conditions standards de fonctionnement et dans les conditions quelconques.

ΔV_{pv} : Représente la variation de la tension par rapport à l'ensoleillement et à la température (V).

ΔI_{pv} : Représente la variation du courant par rapport à l'ensoleillement et à la température (A).

ΔT_c : Représente la variation de la température (°C).

a_{cc} : Coefficient d'incrémentation du courant quand la température augmente (par rapport aux conditions standards de fonctionnements).

β_{0c} : Coefficient d'incrémentation de la tension quand la température augmente (par rapport aux conditions standards de fonctionnements).

Les nouvelles valeurs de tension et de courant photovoltaïque suivantes sont fournies par :

$$V_{Pv,nouv} = V_{Pv,STC} + \Delta V_{Pv} \quad (III.10)$$

$$I_{Pv,nouv} = I_{Pv,STC} + \Delta I_{Pv} \quad (III.11)$$

Les paramètres (I_{cc} , I_{mpp} , V_{co} , V_{mpp}) du module sont fournis par les fabricants c'est-à-dire ($G_{STC} = 1000 \text{ W/m}^2$, $T_{STC} = 25 \text{ °C}$) de panneaux solaires dans des conditions de fonctionnement régulières. Ces paramètres sont énumérés dans le tableau des annexes.

III.3.2. Caractéristiques $I_{pv}(p_v)$ et $P_v(V_{pv})$ dans les conditions standards de fonctionnement :

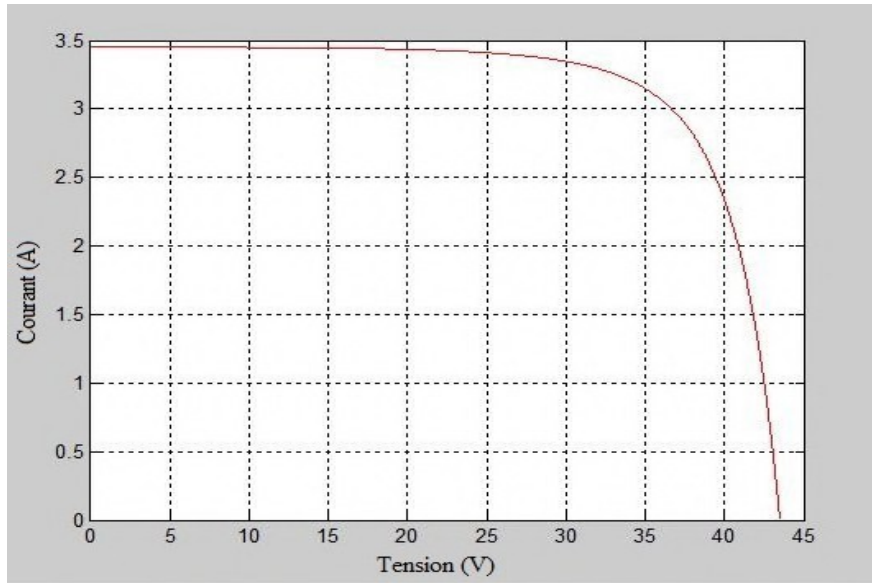


Figure III- 4: Caractéristique $I_{pv}=f(V_{pv})$ dans les conditions : $G_{STC}=1000 W/m^2$, $T_{STC} =25^{\circ}C$.

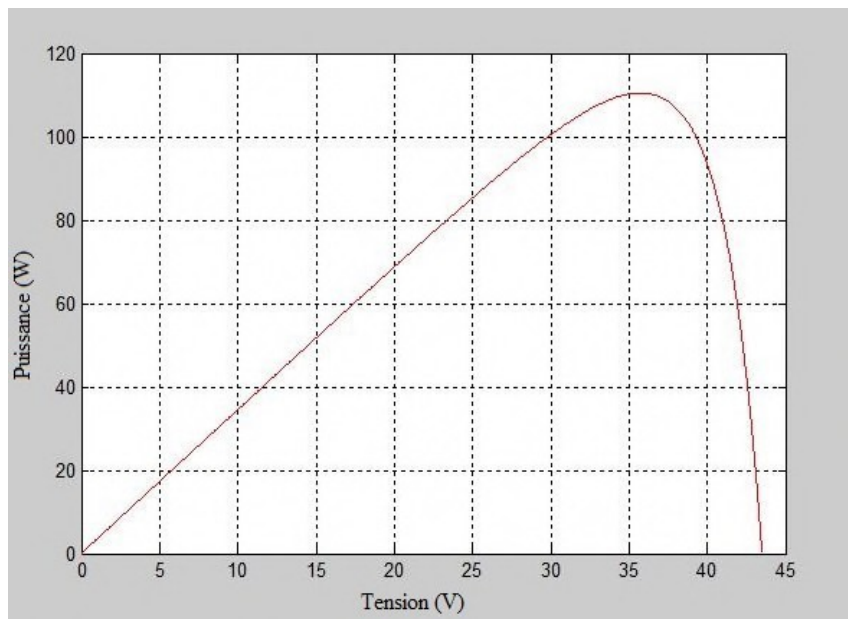


Figure III- 3: Caractéristique $P_{pv}=f(V_{pv})$ dans les conditions : $G_{STC}=1000W/m^2$, $T_{STC}=25^{\circ}C$.

a. Influence de l'ensoleillement sur les caractéristiques du module photovoltaïque :

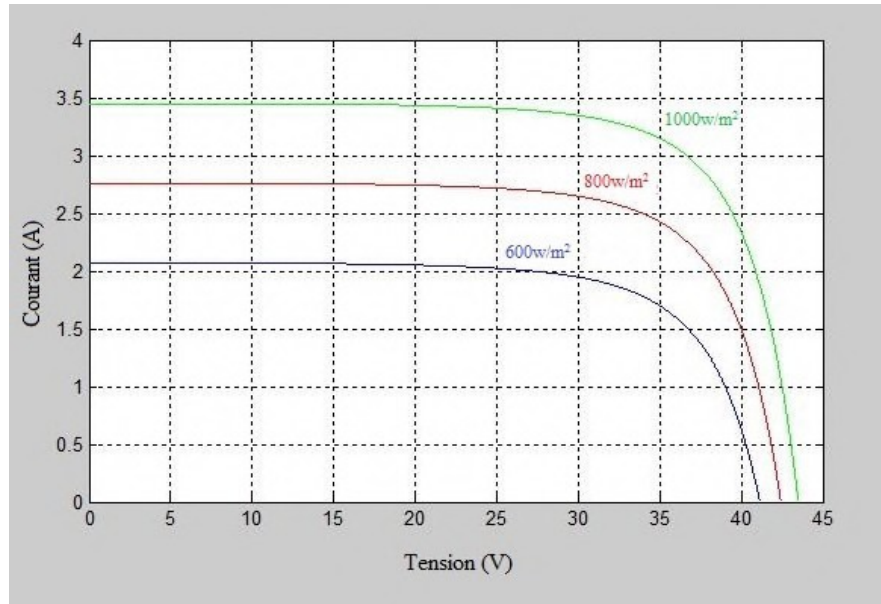


Figure III- 6 : Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$.

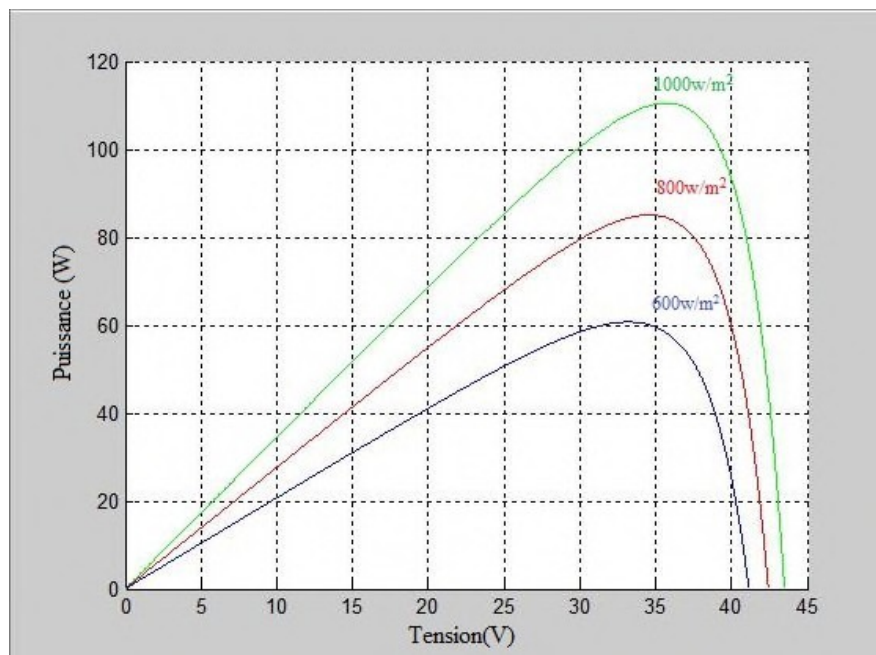


Figure III- 5 : Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique $P_{pv}(V_{pv})$.

La variation de l'ensoleillement influe sur le courant de court-circuit qui diminue quand l'ensoleillement diminue, par contre la tension à circuit ouvert est peu sensible à cette variation, ce qui engendre une diminution de la puissance maximale.

b. Influence de la température sur les caractéristiques du module photovoltaïque :

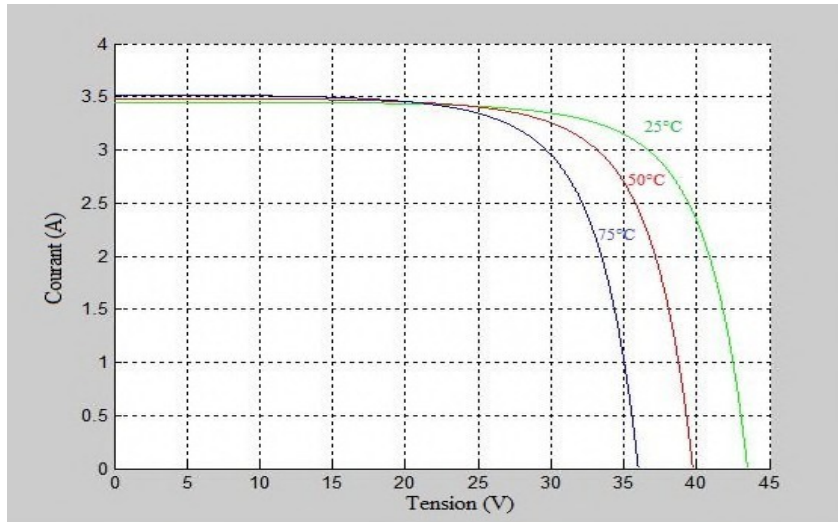


Figure III- 7 : Influence de la température sur la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$.

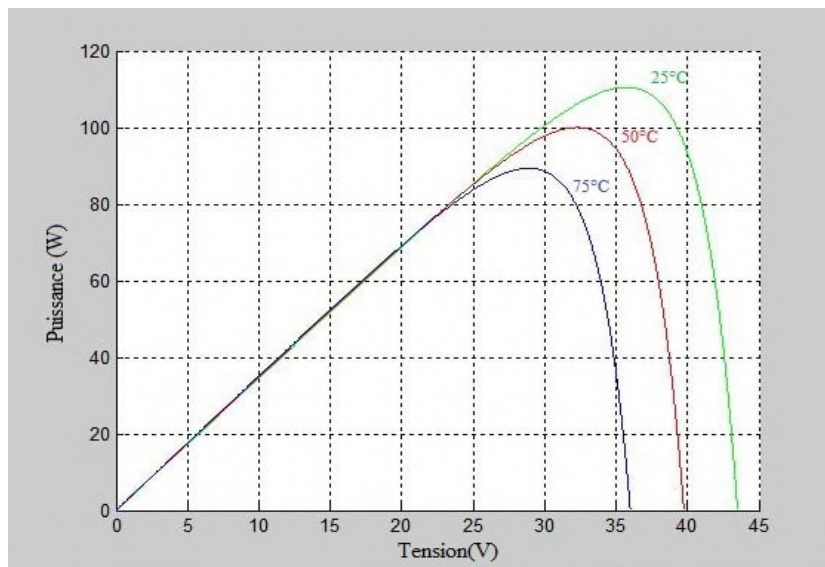


Figure III- 8 : Influence de la température sur la caractéristique $P_{pv}(V_{pv})$.

La température a un impact significatif sur la caractéristique courant-tension d'un générateur photovoltaïque. Lorsque la température augmente, la tension en circuit ouvert diminue. Le courant dans un circuit fermé, en revanche, est moins affecté par la température, ce qui entraîne une réduction de la puissance.

III.3.3. Modélisation de l'hacheur survolteur :

Lors de l'augmentation de la tension d'une source continue, on peut utiliser un amplificateur parallèle de type BOOST, également appelé amplificateur, dont le schéma est illustré à la figure. (I.11) [18]. Ce dispositif électronique de puissance à convertisseur continu nous permet d'adapter la tension aux

bornes d'un panneau photovoltaïque en utilisant une stratégie de contrôle qui permet une puissance de sortie maximale. [22].

D'après le schéma de l' hacheur survolteur de la figure (I.11) :

Lorsque l'interrupteur (S) est fermé :

$$V_{pv} = L \frac{dI_L}{dt} \quad (\text{III.12})$$

$$0 = C \frac{dV_{dc}}{dt} + I_{dc} \quad (\text{III.13})$$

Lorsque l'interrupteur (S) est ouvert :

$$V_{pv} = L \frac{dI_L}{dt} + V_{dc} \quad (\text{III.14})$$

$$I_L = C \frac{dV_{dc}}{dt} + I_{dc} \quad (\text{III.15})$$

Nous pouvons représenter le convertisseur à l'aide d'un système d'équations unique en définissant $u=1$ lorsque l'interrupteur S est fermé et $u=0$ lorsque S est ouvert.

Nous pensons que les interrupteurs sont idéaux dans cette situation. [23]

$$V_{pv} = L \frac{dI_L}{dt} + V_{dc}(1 - u) \quad (\text{III.16})$$

$$(1 - u)I_L = C \frac{dV_{dc}}{dt} + I_{dc} \quad (\text{III.17})$$

Ce modèle peut être utilisé pour exécuter une simulation de convertisseur directement dans un environnement Matlab/Simulink.

En valeurs moyennes, la tension de sortie est fonction de la tension d'entrée et de la relation cyclique α . L'équation lui donne son expression (II. 18). La tension à la sortie est alors contrôlée en contrôlant le rapport cyclique α . [24]

$$V_{dc} = \frac{1}{(1-\alpha)} V_{pv} \quad (\text{III.18})$$

$$I_{dc} = (1 - \alpha)I_L \quad (\text{III.19})$$

III.3.4. Modélisation du convertisseur buck-boost :

La tension de cet appareil peut être augmentée ou diminuée selon le mode de communication. Cependant, le stress à la sortie est opposé à la tension à l'entrée.

Lorsque le transistor est allumé, le courant à travers l'inductance augmente et l'énergie est stockée ; lorsque le commutateur est éteint, la tension à travers l'inductance s'inverse et l'énergie stockée est transférée à la charge via la diode. Dans ce cas, l'équation de la tension aux bornes de charge, qui décrit la conduction

continue, est la suivante :

$$V_s = \frac{\alpha}{1-\alpha} V_e \quad (\text{III.20})$$

III.3.5. Modélisation de bus en continu :

La connexion entre le générateur photovoltaïque, la batterie et l'onduleur est réalisée par un bus continu. En conséquence, le modèle mathématique de ce circuit est requis.

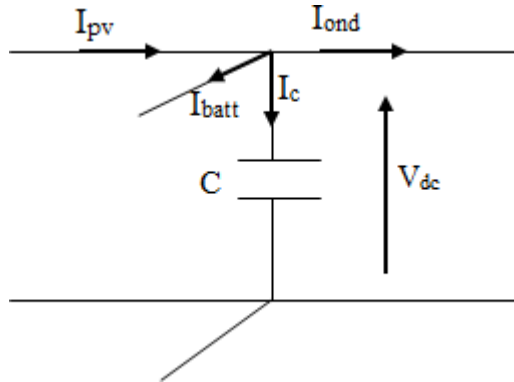


Figure III- 9 : Modèle du bus continu.

L'équation suivante peut être écrite à l'aide de la figure (II. 9) :

$$I_c = I_{pv} - I_{ond} \pm (I_{batt}) \quad (\text{III.21})$$

La tension V_{dc} est fonction du courant I_c :

$$I_c = C \frac{dV_{dc}}{dt} \quad (\text{III.22})$$

Avec : C : La capacité du condensateur.

III.3.6. Simulation du convertisseur DC/AC (onduleur) :

Le rôle principal de l'onduleur est de convertir le courant électrique produit par un générateur photovoltaïque en courant alternatif monophasé ou triphasé. [26]

Dans cette étude, un onduleur triphasé à deux niveaux de tension doté d'interrupteurs instantanés parfaits constitue le cas idéal. Le générateur de tension parfait, l'onduleur, a une influence interne qui est souvent ignorée. [26]

Ce schéma des onduleurs est illustré à la figure (III. 10) :

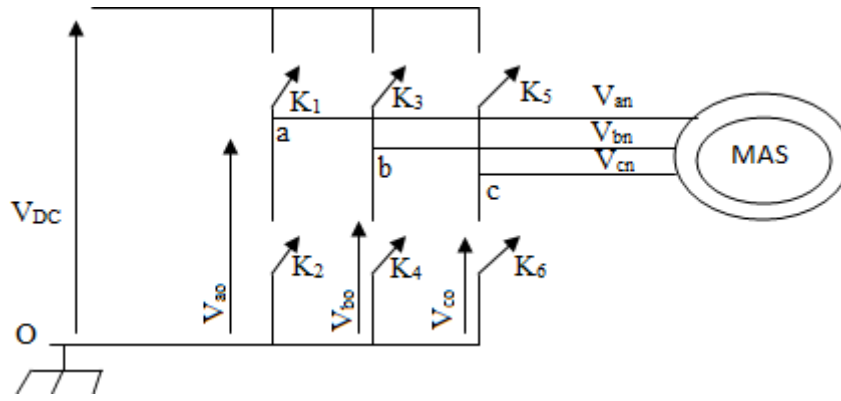


Figure III- 10 : Circuit de l'onduleur connecté à la machine.

Les tensions composées V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} sont obtenues à partir de ces relations :

$$\begin{cases} V_{ab} = V_{ao} + V_{ob} = V_{ao} - V_{bo} \\ V_{bc} = V_{bo} + V_{oc} = V_{bo} - V_{co} \\ V_{ca} = V_{co} + V_{oa} = V_{co} - V_{ao} \end{cases} \quad (III.23)$$

Les tensions au début de l'onduleur sont V_{ao} , V_{bo} et V_{co} (continue). Pour ces conflits récents, le point " O " a été utilisé comme référence. Voici les trois tensions en cours telles que déterminées par la relation CHARLE : [26]

$$\begin{cases} V_{ao} = V_{an} - V_{no} \\ V_{bo} = V_{bn} - V_{no} \\ V_{co} = V_{cn} - V_{no} \end{cases} \quad (III.24)$$

Avec : V_{an} , V_{bn} et V_{cn} sont des tensions de phase de charge, ou tensions de sortie d'onduleurs, tandis que V_{no} est une tension neutre de charge par rapport au point « O ».

On suppose que la charge est équilibrée c.à.d.

$$V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = 0 \quad (II.25)$$

En remplaçant (II. 25) par (II. 24), on obtiendra :

$$V_{no} = \frac{1}{3} (V_{ao} + V_{bo} + V_{co}) \quad (III.26)$$

En remplaçant (II.26) dans (II.23) on aura :

$$\begin{cases} V_{an} = \frac{1}{3} \cdot (2V_{ao} - V_{bo} - V_{co}) \\ V_{bn} = \frac{1}{3} \cdot (2V_{bo} - V_{ao} - V_{co}) \\ V_{cn} = \frac{1}{3} \cdot (2V_{co} - V_{ao} - V_{bo}) \end{cases} \quad (III.27)$$

Si on suppose que :

$$\begin{cases} V_{ao} = V_{Dc} \cdot s_1 \\ V_{bo} = V_{Dc} \cdot s_2 \\ V_{co} = V_{Dc} \cdot s_3 \end{cases} \quad (III.28)$$

s_i est l'état de l'interruption k_i tel que : $\begin{cases} s_i = 1 \text{ si } k_i \text{ fermé} \\ s_i = 0 \text{ si } k_i \text{ ouvert} \end{cases}$

Donc :

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \frac{u_0}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} \tag{III.29}$$

III.3.7. Modélisation d'un moteur asynchrone avec cage de sécurité :

III.3.7.1. Introduction :

La machine asynchrone (MAS) est une machine électrique principalement utilisée dans les applications industrielles. Les principaux avantages sont les suivants : construction facile, faibles coûts de retour, sécurité de fonctionnement, robustesse et, surtout, maintenance simple et peu coûteuse. [27]

Les courants du stator créent un champ magnétique qui tourne à l'intérieur du stator. La fréquence de rotation de ce champ est déterminée par la fréquence des courants statiques, ce qui implique que sa vitesse de rotation est proportionnelle à la fréquence de l'alimentation électrique. La vitesse de synchronisation de ce champ tournant est appelée vitesse de synchronisation.

En conséquence, l'inscription du rotor est soumise à des changements de flux (champ magnétique). Une force électromotrice cachée apparaît, générant des courants de rotor. Ces courants sont responsables de l'apparition d'une paire qui tente de déplacer le rotor afin de contrer les variations de flux : la loi de Lenz-Faraday. En conséquence, le rotor commence à tourner pour tenter de suivre le champ statique.

III.3.7.2. Equation générale d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil :

III.3.7.2.1. Equation des tensions et des flux : [28]

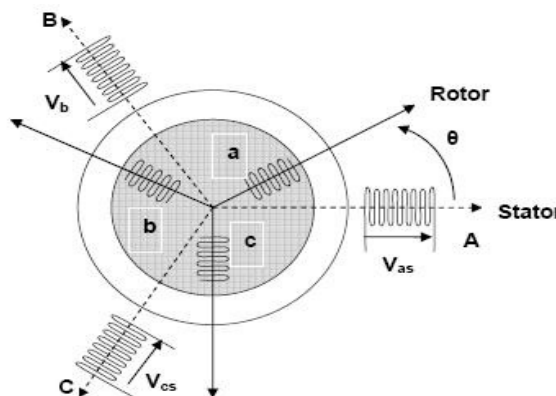


Figure III- 11 : Représentation schématique d'une MAS triphasée.

Lorsque la loi de FARADAY est appliquée à chaque enroulement d'une machine asynchrone, les équations de tension qui régissent le fonctionnement de la machine sont trouvées, et elles sont écrites sous forme matricielle :

$$[V_{Sabc}] = [R_s][I_{Sabc}] + \frac{d[\Phi_{Sabc}]}{dt} \quad (\text{III.30})$$

$$[V_{rabc}] = [R_r][I_{rabc}] + \frac{d[\Phi_{rabc}]}{dt} \quad (\text{III.31})$$

Avec :

$$[V_{Sabc}] = \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \quad [V_{rabc}] = \begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix}$$

Les vecteurs de tension statorique et rotorique, respectivement.

$$[I_{Sabc}] = \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} \quad [I_{rabc}] = \begin{bmatrix} I_{ra} \\ I_{rb} \\ I_{rc} \end{bmatrix}$$

Les vecteurs des courants statiques et rotoriques, respectivement.

$$[\Phi_{Sabc}] = \begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \end{bmatrix} \quad [\Phi_{rabc}] = \begin{bmatrix} \Phi_{ra} \\ \Phi_{rb} \\ \Phi_{rc} \end{bmatrix}$$

Les vecteurs des flux statiques et rotatifs, respectivement.

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \quad [R_r] = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix}$$

Les matrices des résistances statiques et rotoriques, respectivement.

Le rotor de la machine étant en circuit fermé, la relation (II. 31) devient :

$$[V_{rabc}] = 0 = [R_r][I_{rabc}] + \frac{d[\Phi_{rabc}]}{dt} \quad (\text{III.32})$$

A ces équations électriques, il faut ajouter le couple électromagnétique suivant :

$$C_{em} = \frac{1}{2} [I_{Sabc}' I_{rabc}] t \cdot \left(\frac{d}{d\theta} [\Phi_{Sabc}, \Phi_{rabc}] \right) \quad (\text{III.33})$$

Le flux total ϕ_{Sabc} et ϕ_{rabc} des phases stator et rotor est exprimé en inductances de la manière suivante :

$$[\phi_{Sabc}] = [L_s] \cdot [I_{Sabc}] + [M_{sr}(\theta)] \cdot [I_{rabc}] \quad (\text{III.34})$$

$$[\phi_{rabc}] = [L_r] \cdot [I_{rabc}] + [M_{rs}(\theta)] \cdot [I_{Sabc}] \quad (\text{III.35})$$

Avec :

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix} \quad [L_r] = \begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix}$$

$$[M_{sr}] = \begin{bmatrix} M_1 & M_3 & M_2 \\ M_2 & M_1 & M_3 \\ M_3 & M_2 & M_1 \end{bmatrix} \quad [M_{rs}] = [M_{sr}]^t$$

Les inductances propres et mutuelles statoriques (L_s, M_s) et rotoriques (L_r, M_r) sont constantes ; les inductances mutuelles entre les phases du stator et les phases du rotor varient. Ils dépendent de l'angle θ , qui est le suivant :

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{sr} \cdot \cos(\theta) \\ M_2 &= M_{sr} \cdot \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ M_3 &= M_{sr} \cdot \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{aligned} \quad (\text{III.36})$$

M_{sr} : Maximum de l'inductance mutuelle entre une phase du stator et la phase du rotor correspondante de la roto.

Finalement on peut écrire les équations électriques du moteur asynchrone :

$$[V_{sabc}] = [R_s] \cdot [I_{sabc}] + [L_s] \cdot \frac{d}{dt} [I_{sabc}] + \frac{d}{dt} \{ [M_{sr}(\theta)] \cdot [I_{sabc}] \} \quad (\text{III.37})$$

$$[V_{rabc}] = [R_r] \cdot [I_{rabc}] + [L_r] \cdot \frac{d}{dt} [I_{rabc}] + \frac{d}{dt} \{ [M_{rs}(\theta)] \cdot [I_{rabc}] \} \quad (\text{III.38})$$

Les équations (III. 37), (III.38) se réfèrent à des équations différentielles à coefficients variables. L'analyse du comportement du système devient ainsi plus difficile et le modèle de parc est invoqué en réponse à la commande.

III.3.7.2.2. Modèle de Park de la machine asynchrone :

La théorie des machines asynchrones est basée sur la transformation de Park, qui relie les équations électriques du stator et du rotor à des axes électriquement perpendiculaires appelés **d** pour direct et **q** pour quadrature. Nous considérons les hypothèses simplificatrices suivantes pour leur simplicité :

- ✓ La répartition de la force magnétique à l'intérieur est sinusoïdale.
- ✓ Les effets des pertes ferromagnétiques dues à la saturation sont négligés.
- ✓ Les composantes homopolaires sont nulles.

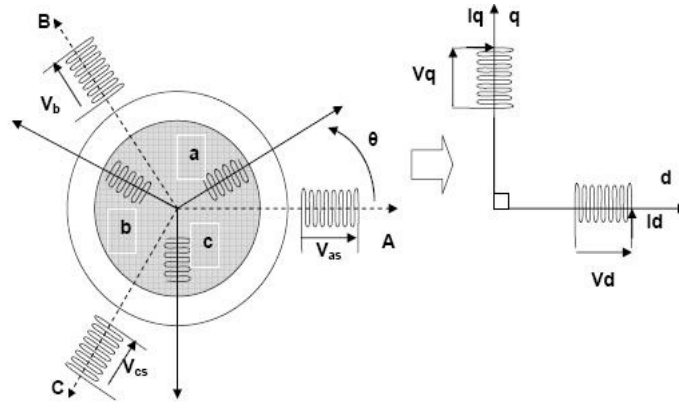


Figure III- 12 : Modèle de Park de la machine asynchrone.

Les amplitudes directes (d) et les amplitudes en quadrature (q) des grandeurs statoriques et rotoriques sont fictives ; les équivalences pour ces grandeurs avec les grandeurs de phase sont les suivantes :

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = [p(\theta)] \cdot \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (\text{III.39})$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & \frac{1}{2} \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{2} \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} = [p^{-1}(\theta)] \cdot \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} \quad (\text{III.40})$$

Ces deux équations peuvent être utilisées pour calculer toute autre grandeur, telle que les courants et les flux :

En utilisant les transformateurs de Park, on obtient les équations machine asynchrones dans le système biphasé (d, q) liées au champ tournant.

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s \cdot I_{sd} + \frac{d\Phi_{sd}}{dt} - \omega_s \Phi_{sq} \\ V_{sq} = R_s \cdot I_{sq} + \frac{d\Phi_{sq}}{dt} + \omega_s \Phi_{sd} \\ V_{s0} = R_s \cdot I_{s0} + \frac{d\Phi_{s0}}{dt} \\ 0 = R_r \cdot I_{rd} + \frac{d\Phi_{rd}}{dt} + (\omega_s - \omega) \Phi_{rq} \\ 0 = R_r \cdot I_{rq} + \frac{d\Phi_{rq}}{dt} + (\omega_s - \omega) \Phi_{rd} \\ V_{r0} = R_r I_{r0} + \frac{d\Phi_{r0}}{dt} \end{cases} \quad (\text{III.41})$$

Avec :

V_{sd}, V_{sq} : Tension statorique direct et quadratique.

I_{sd}, I_{sq} : Courant statorique direct et quadratique.

$\Phi_{sd}, \dot{\Phi}_{sd}$: Flux statorique direct et quadratique.

I_{rd}, I_{rq} : Courant rotorique direct et quadratique.

$\Phi_{rd}, \dot{\Phi}_{rd}$: Flux rotorique direct et quadratique.

$\omega_{sd}, \dot{\omega}_{sd}$: Pulsation des grandeurs statoriques et rotoriques [rd/s].

$\omega = p \cdot \Omega = \omega_s - \omega_r$: Pulsation mécanique [rd/s].

La relation matricielle suivante exprime l'état et les flux rotoriques dans le PARK repère en termes de courants :

$$\begin{bmatrix} \phi_{sd} \\ \phi_{sq} \\ \phi_{rd} \\ \phi_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 & M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M \\ M & 0 & L_r & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} \quad (\text{III.42})$$

Avec :

$L_s = l_s + M$: Inductance cyclique statorique.

$L_r = l_r + M$: Inductance cyclique rotorique.

l_s : Inductance de fuite statorique.

l_r : Inductance de fuite rotorique.

M : Inductance mutuelle.

Enfin, on obtient la matrice suivante, qui contient toutes les équations du moteur asynchrone :

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \\ V_{rd} \\ V_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & -\omega_s \cdot L_s & M & -\omega_s \cdot M \\ \omega_s \cdot L_s & R_s & \omega_s \cdot M & 0 \\ 0 & -\omega_r \cdot M & R_r & -\omega_r \cdot L_r \\ \omega_r \cdot M & 0 & -\omega_r \cdot L_r & R_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & 0 & M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M \\ M & 0 & L_r & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{dI_{sd}}{dt} \\ \frac{dI_{sq}}{dt} \\ \frac{dI_{rd}}{dt} \\ \frac{dI_{rq}}{dt} \end{bmatrix} \quad (\text{III.43})$$

La paire électromagnétique est écrite :

$$c_{em} = P \cdot \frac{M}{L_r} \cdot (\phi_{rd} - I_{sq} - \phi_{rq} \cdot I_{ds}) \quad (\text{III.44})$$

L'équation mécanique est donnée par :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = c_{em} - c_r - f \cdot \Omega \quad (\text{III.45})$$

III.3.7.2.3 Commande vectorielle du moteur asynchrone :

III.3.7.2.3.1 Introduction :

La commande vectorielle d'une machine asynchrone consiste principalement à commander le flux et le couplage de manière dynamique et séparée (découplée), comme c'est le cas (naturellement) avec une machine continue. [29]

Le choix d'un système de hache est donc le contrôle vectoriel. (d, q), afin de contrôler le flux à travers un composant de courant (I_{sd}) et le couple de l'autre composant (I_{sq}). De ce fait, une loi de commande peut être construite pour assurer la séparation de la paire et du flux.

Pour obtenir les résultats souhaités, la stratégie de commande d'une machine à courant alternatif consiste à rendre le comportement électromécanique similaire à celui d'une machine à courant continu. Dans le cas d'une machine asynchrone, il est possible de la réguler.

- Le flux statorique.
- Le flux rotorique.
- Le flux d'entre fer.

La commande vectorielle avec orientation de flux de rotor est la plus largement utilisée et produit de meilleurs résultats que les méthodes basées sur l'orientation de flux statique ou l'interféromètre. L'orientation du répertoire est choisie comme suit :

$$\begin{cases} \Phi_{rd} = \Phi_r \\ \Phi_{rq} = 0 \end{cases} \quad (\text{III.46})$$

Lorsque nous remplaçons (III. 41), nous obtenons :

❖ Les équations de tension :

$$V_{sd} = R_S \cdot I_{sd} + \frac{d\Phi_{sd}}{dt} - \omega_S \Phi_{sq} \quad (\text{III.47})$$

$$V_{sq} = R_S \cdot I_{sq} + \frac{d\Phi_{sq}}{dt} + \omega_S \Phi_{sd} \quad (\text{III.48})$$

$$0 = R_r \cdot I_{rd} + \frac{d\Phi_r}{dt} \quad (\text{III.49})$$

$$0 = R_r \cdot I_{rq} + \omega_r \Phi_r \quad (\text{III.50})$$

❖ Les équations de flux sont les suivantes :

$$\Phi_{sd} = L_s \cdot I_{sd} + M \cdot I_{rd} \quad (\text{III.51})$$

$$\phi_{sq} = L_s \cdot I_{sq} + M \cdot I_{rd} \quad (\text{III.52})$$

$$\phi_r = M \cdot I_{sd} + L_r \cdot I_{rd} \quad (\text{III.53})$$

$$0 = M \cdot I_{sq} + L_r \cdot I_{rq} \quad (\text{III.54})$$

En supposant que la commande reste constante : $\Phi_{rd} = \Phi_r = \text{constante}$.

A partir de l'équation (III.49), on obtient :

$$\frac{d\Phi_r}{dt} = -R_r \cdot I_{rd} \quad (\text{III.55})$$

Le flux est exprimé en termes de courant et de pulsation du rotor en utilisant l'équation (III.50) sous la forme suivante :

$$\Phi_r = -\frac{R_r}{\omega_r} \cdot I_{rq} \quad (\text{III.56})$$

Dans le repère rotorique, la relation (III.56) correspond à l'exigence de calage des axes de référence d et q. Elle donne la valeur qui doit être en fonction de (avec $\frac{d\Phi_r}{dt} = 0$ et $I_{rd} = 0$) pour que le flux rotorique reste orienté.

Le courant I_{rd} peut-être exprimé de la manière suivante en utilisant la relation (III.53).

$$I_{rd} = \frac{\Phi_r - M \cdot I_{sd}}{L_r} \quad (\text{III.57})$$

En outre, la relation (III. 54) pourrait s'écrire comme suit :

$$I_{rq} = -\frac{M}{L_r} \cdot I_{sq} \quad (\text{III.58})$$

La manifestation électromagnétique fournie par la relation :

$$C_{em} = P \cdot \frac{M}{L_r} \cdot \Phi_r \cdot I_{sq} \quad (\text{III.59})$$

II.3.7.2.4 Estimation du flux rotorique et de la pulsation statorique :

Dans la relation (III.55), on remplace I_{rd} par sa valeur exprimée en (III.57), il vient :

$$\Phi_r = \frac{M \cdot I_{sd}}{1 + T_r \cdot s} \quad (\text{III.60})$$

Avec :

T_r : Constante de temps rotorique.

s : Opérateur de dérivation.

Parce que le référentiel "d q" doit toujours suivre le champ tournant, le savoir ω_s vous permet de vous assurer de la validité de vos équations. Pour cela, on utilise la relation angulaire interne

$\omega_s = \omega_r + P \cdot \Omega$. La vitesse de la machine est mesurée. Cependant, la vitesse de rotation du champ doit être calculée. Dans l'équation (III. 56), on remplace par la valeur donnée en (III.58). Ce qui est donné :

$$\omega_r = \frac{M \cdot I_{sq}}{T_r \cdot \Phi_r} + 0.001 \quad (\text{III.61})$$

On obtient finalement :

$$\omega_r = \frac{M \cdot I_{sq}}{T_r \cdot \Phi_r} + P \cdot \Omega + 0.001 \quad (\text{III.62})$$

Cette dernière relation correspond au pilotage automatique d'une machine asynchrone. Cette relation réduit une grandeur à zéro, permettant la séparation des deux grandeurs restantes dans l'expression du couple.

III.3.8 Modélisation de la pompe :

Trois paramètres sont impliqués dans le fonctionnement d'une pompe centrifuge : la hauteur manométrique, le débit et la vitesse. La somme des hauteurs statiques et dynamiques est la hauteur de la pompe. [30]

Dans cette application, la puissance hydraulique de la pompe centrifuge est donnée par :

$$P_h = R_{mp} \cdot P_{ele} = \rho \cdot g \cdot HMT \cdot Q \quad (\text{III.63})$$

Avec :

P_h : Puissance communiquée au fluide par la pompe (W).

P_{ele} : Puissance électrique du moteur asynchrone (W).

R_{mp} : Rendement du groupe motopompe (%).

g : Accélération de la pesanteur (9.81 m/s²).

ρ : Masse volumique de l'eau (1000 Kg/m³).

Q : Débit volumique (m³/s).

h : Hauteur manométrique totale que doit convaincre la pompe (m).

La centrifugeuse est piquée contre une paire de Hard C.

$$C_r = k_r \Omega^2 \quad (\text{III.64})$$

Où :

Ω : Vitesse du moteur asynchrone (rad/s).

Avec k_r , un coefficient de proportionnalité [(Nm/ (rad.s⁻¹)²] qui s'exprime comme suit:

$$k_r = \frac{P_n}{\Omega_n^3} \tag{III.65}$$

P_n : Puissance nominale du moteur asynchrone (W).

Ω_n : Vitesse nominale du moteur asynchrone (rad/s).

III.3.9 Le modèle électrique de la batterie :

Le modèle électrique de la batterie comprend une fem. E_0 qui contrôle la tension de vide de la batterie, un condensateur qui contrôle la capacité interne de la batterie (C_b) et une résistance interne (R_s).

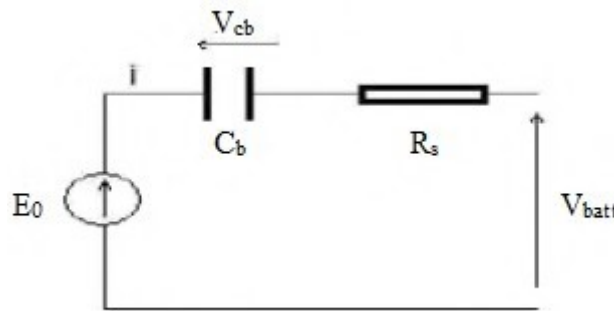


Figure III- 13 : Modèle R-C de la batterie.

En conséquence, nous avons :

$$V_{batt} = E_0 - R_s * i - V_{cb} \tag{III.66}$$

L'état de charge (EDC) d'une batterie est également défini par :

$$EDC = 1 - \frac{Q_d}{C_{batt}} \tag{III.67}$$

C_{batt} : la capacité (Ah) nominale de la batterie.

Q_d : la quantité de charge manquante par rapport à C_{batt} .

II.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous verrons comment modéliser les différents composants d'un système de pompage photovoltaïque (panneau photovoltaïque, convertisseurs DC/DC et DC/AC, batterie et groupe de commande du moteur). Nous avons montré les caractéristiques du courant/tension et de la puissance/tension du module photovoltaïque pour diverses circonstances météorologiques.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Il est facile de comprendre et de défendre la valeur de l'énergie solaire pour le pompage de l'eau.

Tout d'abord, l'énergie solaire photovoltaïque est une source d'énergie propre, silencieuse, facilement disponible et gratuite. De plus, cela explique pourquoi son utilisation a considérablement augmenté dans le monde entier.

Les besoins en électricité, qui sont principalement liés aux besoins des zones rurales et éloignées, continuent également d'augmenter, en particulier pour les systèmes de pompage d'eau. L'énergie conventionnelle est généralement utilisée sur ce type de sites, mais elle présente un certain nombre d'inconvénients, notamment des réseaux électriques distants, la nécessité de transférer du carburant et la nécessité d'une maintenance de routine sur les moteurs diesel.

Et nous avons noté que la technologie photovoltaïque offre aujourd'hui d'énormes avantages en raison de la facilité d'installation, de l'adaptabilité à une variété de besoins énergétiques et des coûts d'exploitation extrêmement bas en raison d'une maintenance minimale.

L'énergie photovoltaïque étant entièrement programmable, elle peut satisfaire un large éventail de besoins. La taille de l'installation peut également être augmentée à l'avenir pour répondre aux besoins du propriétaire.

Vous devez réaliser que trois facteurs doivent être soigneusement pris en compte afin de produire de l'eau à un coût raisonnable :

Premièrement, augmenter l'efficacité des panneaux solaires pour capturer autant de lumière solaire que possible afin de maximiser la récupération d'énergie.

Deuxièmement, l'utilisation la plus efficace de l'énergie capturée pour tirer le plus d'énergie électrique possible du générateur photovoltaïque.

La troisième et dernière exigence est que le système de pompe soit correctement dimensionné ; cela permet la meilleure utilisation d'énergie possible grâce à une installation, un placement et une orientation appropriés des modules.

Après cela, nous avons parlé de simuler divers composants du système. Nous avons présenté le modèle de générateur de diodes photovoltaïques, qui a trouvé un bon équilibre entre simplicité et précision. La modélisation de la batterie est également terminée. Le modèle R-C a été choisi. Des modèles de machines et de pompes asynchrones sont également disponibles.

La " Méthode de modélisation et d'observation " P & O est l'algorithme utilisé pour déterminer la puissance de sortie maximale des générateurs photovoltaïques.

Références bibliographique

Références bibliographiques

-]1[A. Attar, « Les énergies renouvelables », ancien PDG de Sonatrach et ancien Ministre des Ressources en Eau, 2000.
-]2[A. MOUSSI, A. SAADI, « Etude comparative entre les techniques d'optimisation des systèmes de pompage Photovoltaïque », LARHYSS Journal, N°.01, Mai 2002
-]3[M. Angel Cid Pastor, « Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques », Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006
-]4[A. Labouret. M, Villos. « Energie solaire photovoltaïque » le manuel du professionnel. 3eme edition Dunod, 2006.
-]5[Revue « les systèmes photovoltaïques» BRUXELLES ENVIRONNEMENT institut bruxellois pour la gestion de l'environnement, avril 2008.
-]6[A. Labouret, M. Villos, « Energie solaire photovoltaïque » 3ème édition DUNOD, Décembre 2007,
-]7[A. Hamidat, « Simulation des systèmes de pompage photovoltaïques destinespour l'alimentation en eau potable et pour la petite irrigation », Thèse de doctorat, Université de Tlemcen 2004.
-]8[F Benyarou «Conception assistée par ordinateur des systèmes photovoltaïques modélisation, dimensionnement et simulation » thèse de doctorat Université de Tlemcen 2004
-]9[F. Zerhouni, and al. « Approche dans la modélisation d'un Générateur Photovoltaïque », ICEL, novembre 13-15, U.S.T.Oran, Algeria, 2000.
-]11[Apere, « Guide des énergies renouvelables », Ministère de Wallonie, Association de promotion des énergies renouvelables, 1999-2000.
-]11[P. Menanteau, « L'électricité photovoltaïque », IEPE, Grenoble, 1997
-]12[J. royer, T. djiako, E. schiller, B. sadasy. « Le pompage photovoltaïque » IEPF université d'Ottawa/EIER/CREPA. Éditions MultiMondes ,1998
-]13[M. Djarallah, «Contribution a l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couples au réseau électrique » thèse de doctorat en sciences, Université de Batna 2008
-]14[E. Michel, A. Deves. « Énergie photovoltaïque : application au traitement de l'eau potable et des eaux usées en zones rurales » édition COSTIC, 2003
-]15[S. M. AIT-CHEIKH « Etude, Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques 2 », thèse de doctorat d'état, Décembre 2007.

المخلص

Résumé

Abstract

الملخص

العمل الحالي تناول الدراسة التجريبية وصيانة نظام الضخ بالطاقة الشمسية. وتُعد هذه الأنظمة حلاً مثالياً لتزويد المناطق المعزولة بالمياه.

الكلمات المفتاحية:

الطاقة الشمسية، الخلايا الكهروضوئية، النظام الكهروضوئي.

RESUME

Le présent travail a porté sur Etude expérimentale et maintenance d'un pompage solaire. Ces systèmes se présentent comme une solution idéale pour l'alimentation en eau pour les régions isolées.

LES MOTS CLES :

L'énergie solaire, cellules photovoltaïques, système photovoltaïque.

ABSTRACT

This work focused on Experimental study and maintenance of solar pumping. These systems present themselves as an ideal solution for the water supply for remote areas.

KEY WORDS:

Solar energy, photovoltaic cells, photovoltaic system.