

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

Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie Électrique et Informatique
Département d'Électrotechnique



Mémoire de fin d'études

En vue de l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'État

En Électrotechnique

Option : -Réseaux électrique

-Machine électrique

THEME

Etude et dimensionnement d'un
système de pompage
photovoltaïque

Dirigé par :

Mr: S. Fellag

Réalisé par :

Mr: Mokdadi M^{ed} Nadjib

Mr: Bakhouche Hocine

Promotion

2010/2011



Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier profondément le Dieu, le tout puissant de nous avoir donné le courage, la patience, la volonté ainsi que la santé pour réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimé nos vifs remerciements et nos sincères reconnaissances à Mr S. FELLAG, pour sa disponibilité, ses conseils judicieux, ses directives et ses orientations concernant le travail proposé tout en nous accordant sa confiance et en nous faisant profiter de sa large expérience tout au long de la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Nos remercions les membres du jury qui ont fait l'honneur de participer au jugement de ce travail.

Enfin, nous remercions tous ce qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents

Mes frères et amis

Mes proches

Mon binome et sa famille

Toute la communauté de l'étrotechnique

Med nadjib





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents

Mes frères et amis

Mes proches

Mon binome et sa famille

Toute la communauté de l'étrotechnique

Hocine



Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur le système de pompage photovoltaïque	
Introduction.....	3
I-Présentation d'énergie renouvelable solaire.....	4
I-1-Les cellules solaires	4
I-1-1-Effet photovoltaïque	4
I-1-2-Historiques des cellules solaires.....	5
I-2-Les différents panneaux solaires	5
I-2-1-Le Panneau solaire photovoltaïque	6
I-2-2-Panneau solaire thermique et thermodynamique	7
a) Domestique (thermique)	7
b) Industrielle (thermodynamique).....	8
I-2-3-Module photovoltaïque.....	8
I-3-Cellules photovoltaïques.....	9
I-3-1-Différentes technologies des cellules photovoltaïques.....	9
Ø Les cellules monocristallines	10
Ø Les cellules poly cristallines	10
Ø Les cellules en couches minces (amorphe).....	11
Ø Autre types de cellules.....	11
I-3-2-Comparatif des différentes technologies	12
I-3-3-Jonction PN.....	12
I-4-Association des cellules des panneaux solaires	14
I-5-Avantages et inconvénients.....	14
a)Avantage	14

b) Inconvénients	15
I-6-La commande MPPT (MAXIMUM POWER POINT TRACKING)	15
Ø Algorithme « perturbation et observation »	15
I-7-Les convertisseurs	17
I-7-1-Hacheur (DC/DC)	17
Ø Principe de fonctionnement	17
I-7-2-Hacheur (série-abaisseur), type BUCK	17
I-7-3-Hacheur (Parallèle-élevateur), type BOOST	18
I-7-4-Hacheur (série-parallèle), type BUCK-BOOST	19
I-8-Les convertisseurs DC /AC, les onduleurs	19
I-8-1-Définition	19
I-8-2-Onduleur (DC-AC) de tension triphasé	19
I-8-3-Onduleur de courant	20
I-9-Modulation de la longeur d'impulsion (MLI)	20
I-10-Machine asynchrone	21
I-10-1-Introduction	21
I-10-2-Définition	21
I-10-3-Organisation de la machine	22
Ø Le stator	22
Ø Le rotor	23
a) Rotor bobiné (à bague)	23
b) Rotor à cage	23
c)Principe de fonctionnement	24

I-11-La pompe	25
I-11-1-Généralité.....	25
a)Aspiration	26
b) Refoulement	26
I-11-2-Caractéristique	26
Ø La cylindrée.....	26
Ø La hauteur d'aspiration.....	26
Ø Le débit refoulé.....	26
Ø Plage de vitesse.....	26
Ø Pression de pointe.....	26
Ø Pression d'utilisation	26
Ø Puissance d'entraînement.....	26
Ø Entraînement	26
Ø Le sens de rotation.....	26
I-11-3-Différents types de pompes.....	27
a)Les pompes centrifuges.....	27
b) Les pompes volumétriques	27
I-11-3-1-Principe de fonctionnement de la pompe centrifuge.....	27
I-11-3-2-Principe de fonctionnement de la pompe volumétrique.....	28
I-12-Conclusion	29
Chapitre II: Modélisation d'un système de pompage photovoltaïque	
II-1-1-Modélisation d'une cellule photovoltaïque	30
a- Cas idéal.....	30
b-Cas réel	31
II-1-2-Paramètres et caractéristiques d'une cellule photovoltaïque.....	32

Ø Courant de court-circuit I_{cc}	32
Ø Tension en circuit ouvert.....	32
Ø Facteur de forme FF.....	33
II-1-3 -Caractéristiques d'un module photovoltaïque	33
II-1-3-1-L'influence de la température et de l'éclairement sur un GPV	34
II-1-3-2-Effet de l'éclairement sur le module photovoltaïque.....	34
II-1-3-3-Effet de la température sur le module photovoltaïque	35
II-1-3-4-Protection d'un GPV.....	36
II-2-1-Modélisation d'un hacheur boost.....	38
II-2-2-Etude d'un hacheur parallèle en conduction continue	38
Ø Chronogramme de la tension de sortie	40
II-3-Modélisation de l'onduleur de tension	42
Ø Signaux de commandes de l'onduleur	44
II-4-Modélisation de la machine asynchrone	47
II-4-1-Introduction	47
II-4-2- Hypothèses simplificatrices.....	47
II-4-3- Convention de signe.....	48
II-4-3-1-Les équations électriques	48
II-4-3-2-Equations magnétiques	49
II-4-3-3-Equations mécaniques.....	50
II-4-4- Modèle de Park	50
II-4-4-1-Transformation de Park.....	50
II-4-4-2-Application du modèle de Park à la machine asynchrone triphasée.....	51

II-4-4-3-Equations électriques d'un enroulement triphasé dans les axes d et q	51
II-4-4-4-Les équations des tensions	54
II-4-5-Choix du référentiel	54
II-4-5-1-Référentiel immobile lié au stator	54
II-4-5-2-Référentiel immobile lié au rotor.....	55
II-4-5-3-Référentiel immobile par apport au champ tournant	55
II-4-5-4-L'équation de la puissance mécanique et du couple mécanique	56
II-4-5-5- Représentation d'état de la machine asynchrone.....	57
II-4-5-6-Simulations.....	58
II-5-Modélisation de la pompe centrifuge	59
II-5-1-Caractéristique débit-vitesse.....	59
II-5-2-Caractéristique couple-vitesse	59
II-5-3-Caractéristique débit-hauteur.....	60
II-5-4-caractéristique de la puissance.....	62
II-5-5-Rendement	63
 Chapitre III : Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque	
III-1-Introduction	64
III-2-Dimensionnement du champ photovoltaïque	64
• Détermination de l'énergie solaire disponible	64
• Inclinaison du générateur photovoltaïque	64
• Mois de dimensionnement	64
• Evaluation de l'énergie moyenne journalière requise par la charge.....	64
• Estimation du nombre de module en séries.....	65
• Estimation du nombre de branche en parallèle	65

• Calcul de la puissance du générateur.....	65
• Calcul de la surface totale du générateur.....	65
III-3-Dimensionnement du moteur	66
III-4-Dimensionnement de la pompe centrifuge.....	66
III-5-Dimensionnement de la tuyauterie	66
III-6- perte de charge.....	67
Chapitre IV : Simulation du système de pompage photovoltaïque	
IV-1- Introduction	68
IV-2-Résultat de simulation.....	69
IV-3-Interprétation des résultats	70
IV-4-Conclusion.....	71
Conclusion générale	72

Introduction générale

Introduction générale

En raison de la forte croissance de la consommation d'électricité durant les dernières décennies, les voies classiques de sa production parviennent pour la plupart à saturation sans parler de l'impact néfaste qui va en s'aggravant sur l'environnement.

En effet, à ce jour, la plupart de l'énergie électrique est produite par combustion de ressources non renouvelables (charbon, gaz, pétrole, nucléaire) dont le délai d'épuisement est au mieux estimé à quelques décennies. De plus, ce type de production d'énergie reste très polluant et contribue de manière significative à l'émission de gaz de serre dont la conséquence sur le réchauffement atmosphérique est l'impact le plus visible.

En contre partie, le développement des sources d'énergie renouvelables et non polluantes permet dès aujourd'hui une production de plus en plus significative et assez diversifiée.

En effet, selon la disponibilité des gisements potentiels d'énergie renouvelable (hydraulique, vent, soleil, géothermique...), plusieurs sites de génération massive d'énergie électrique, sont déjà opérationnels et d'autres sont planifiés à court et moyen terme à travers le monde. Parmi ces derniers, ceux utilisant l'énergie solaire comme source primaire semblent être les plus prometteurs à long terme tant la disponibilité de celle-ci est quasi-inépuisable (la densité de puissance du rayonnement solaire au niveau du sol est voisine des 1000 W/m²). Le captage et la conversion de cette énergie en électricité, est effectuée selon deux procédés différents, liés aux deux principales composantes énergétiques du rayonnement solaire : thermique et lumineuse.

Dans le dernier cas l'énergie solaire est directement convertie en électricité grâce à l'effet photovoltaïque (PV). Ce dernier étant mis en œuvre moyennant une cellule fabriquée à base de semi-conducteurs [1], qui exposée à la lumière, génère une force électromotrice dont l'amplitude est équivalente à celle d'une diode à l'état passant. L'association de plusieurs cellules PV en série / parallèle, donne lieu à un générateur électrique de courant continu (DC) (GPV), dont la caractéristique courant-tension (I-V) est linéaire un point de puissance maximale.

La situation géographique de l'Algérie favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation de l'énergie solaire. En effet vu l'importance de l'intensité du rayonnement reçu ainsi que la durée de l'ensoleillement qui dépasse les dix heures par jour pendant plusieurs

mois, notre pays peut couvrir certains de ces besoins en énergie solaire, ces avantages pourraient être profitables dans les régions les plus reculées surtout dans les applications du pompage.

Pour éviter un coût supplémentaire de l'installation, la plus part des systèmes de pompage photovoltaïque fonctionnent au « fil du soleil » où le moteur d'entraînement est directement couplé au générateur sans stockage d'énergie. Cet arrangement est bien adapté aux charges non critiques telles que les pompes, qui ne nécessitent pas une opération continue durant toute la journée. Elles commencent généralement à débiter vers 8h et fonctionnent à leur maximum de 11h à 13h et s'arrêtent vers 17h, soit environ 8 heures de fonctionnement par jour [2].

Le premier chapitre, donne une description générale des systèmes photovoltaïques et les éléments constituant le système de pompage photovoltaïque : le générateur photovoltaïque, l'hacheur, l'onduleur de tension, le moteur asynchrone et la pompe centrifuge.

Le deuxième chapitre, la modélisation et la simulation des différents éléments constituant le système de pompage photovoltaïque.

Le troisième chapitre, concerne le dimensionnement du système de pompage photovoltaïque.

Le quatrième chapitre, concerne la simulation du système de pompage photovoltaïque.

Une conclusion générale clôture notre travail.

Chapitre I
Généralités sur le système de pompage
Photovoltaïque

Introduction :

La première génération des systèmes de pompage photovoltaïque, en particulier ceux pour les applications à hauteurs basse et moyennes incorporent des moteurs à courant continu à aimant permanent. C'est dernières années, un moteur asynchrone alimenté par un convertisseur de fréquence variable , et devenue le moteur standard pour des application de pompage solaires dues principalement à sa simplicité, robustesse et faible prix comparé au moteur à courant continu [3] .

Un système de pompage photovoltaïque est devenu de nos jours un enjeu majeur pour l'amélioration des conditions de vie et développement des zones rurales et désertiques.

Dans se système un réservoir de stockage est essentielle, l'eau étant pompée, lorsqu'il y a suffisamment d'ensoleillement. Ensuite, la distribution de l'eau se fait par gravité aux consommateurs [4].

I-Présentation d'énergie renouvelable solaire :

I-1-Les cellules solaire : La cellule solaire est un moyen de conversion de la lumière en énergie électrique par un processus appelé « effet photovoltaïque ».

I-1-1-Effet photovoltaïque :

Il a été démontré que le rayonnement solaire est constitué de photons transportant chacun une énergie E_{ph} , qui répond elle-même à la relation suivante :

$$E_{ph} = h \times \nu = \frac{h \times c}{\lambda} \quad (\text{I-1})$$

Où :

h : La constante de Planck.

ν : La fréquence.

c : La vitesse de la lumière.

λ : La longueur d'onde.

Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans un intervalle de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 microns (m) [5].

Les matériaux photovoltaïques réagissent différemment selon la longueur d'onde de la lumière à laquelle ils sont soumis. La connaissance de la distribution en longueur d'onde de l'énergie solaire s'avère donc primordiale.

La figure (I.3) représente la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

- è 9% dans la bande des ultraviolets (<0,4 m),
- è 47% dans la bande visible (0,4 à 0,8 m),
- è 44% dans la bande des infrarouges (>0,8 m).

L'atmosphère terrestre reçoit ce rayonnement à une puissance moyenne de 1,37 kilowatt au mètre carré (kW/m^2), à plus ou moins 3 %, selon que la Terre s'éloigne ou se rapproche du soleil dans sa rotation autour de celui-ci. L'atmosphère en absorbe toutefois une partie, de sorte que la quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement $1,2kW/ m^2$.

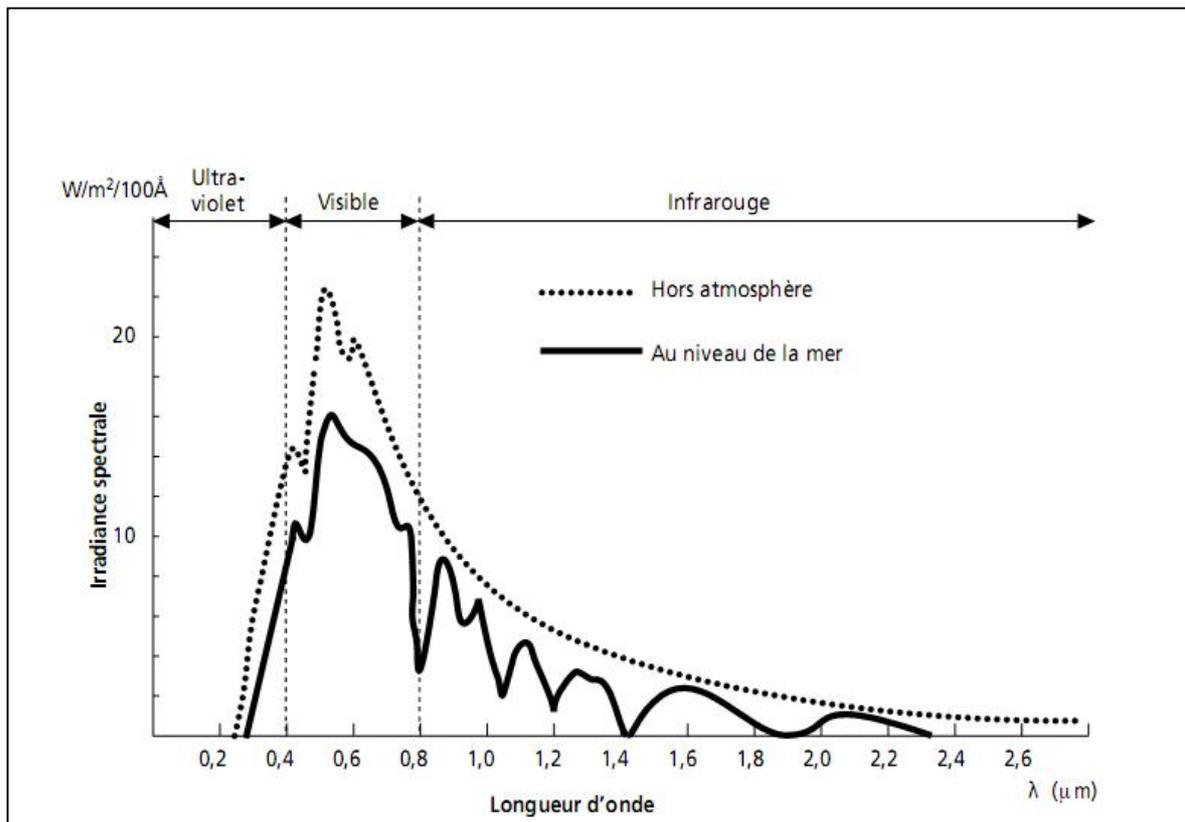


Figure (I-1) : Analyse spectrale du rayonnement solaire [6].

La partie du spectre solaire utilisée pour la conversion photovoltaïque est comprise dans l'intervalle $[0,3-1,1\mu\text{m}]$ (pour une cellule au Silicium) [6].

I-1-2-Historiques des cellules solaires :

La technologie de conversion de l'énergie photovoltaïque (PV) débute en 1839, lorsque Becquerel découvre pour la première fois l'effet photovoltaïque. Il s'agit de convertir directement l'énergie solaire en énergie électrique. Becquerel a réalisé des expériences en utilisant des électrodes en acide soluté et en métal noble.

En 1954, les laboratoires de téléphone Bell ont produit le premier type pratique de la cellule solaire, une cellule de silicium de type monocristalline avec une efficacité de conversion d'énergie jusqu'à 6%.

Le développement de la nouvelle technologie d'énergie a été plutôt modéré jusqu'au milieu des années 70 et a été limité par les technologies conventionnelles d'énergie dominantes, les combustibles fossiles, particulièrement le charbon, le pétrole et le gaz naturel. En outre la recherche a été consacrée surtout au développement de l'énergie

nucléaire. Durant cette période la production d'électricité à partir de l'énergie photovoltaïque a été seulement utilisée dans les applications spatiales.

Ensuite, la situation a été changée radicalement. Des grandes améliorations ont permis l'augmentation de l'efficacité de la conversion d'énergie, réduisant ainsi les coûts des cellules, par l'utilisation de différents matériaux de semi-conducteurs. Un rendement maximum de conversion de l'énergie photovoltaïque pour les cellules solaires monocristallines à base de silicium, a été atteint en 1988 avec une valeur de 22.8%, sans qu'il y ait utilisation de concentrateur solaire, et ceci en laboratoire. Le rendement le plus élevé a été obtenu pour une cellule cristalline de l'arséniure de gallium (GaAs) avec une efficacité de 31% avec un éclairement solaire équivalent à 350 W/m² (1988).

Les cellules solaires les plus récentes sont celles appelées couches minces qui se composent de CuInSe, et cellules amorphes de silicium. Ces deux types ont permis une efficacité de plus de 14% [7]. Les nouvelles technologies de production ont réduit le prix de vente des cellules photovoltaïques, ce qui a permis à l'industrie PV de se développer.

Plusieurs facteurs sont responsables de cette évolution tels que l'augmentation mondiale de la demande énergétique et le fait que les sources d'énergie fossiles sont périssables et de plus en plus chers. Une autre question importante est l'impact des technologies classiques de la production d'énergie sur l'environnement (pollution de l'air et l'effet de serre qui en résulte). L'énergie nucléaire est elle-même source de problèmes tels que la radioactivité et les déchets nucléaires.

En contre partie, l'avantage de l'énergie produite par les cellules photovoltaïques est la production d'énergie propre et durable et son avenir est prometteur.

I-2-Les différents panneaux solaires :

I-2-1-Le Panneau solaire photovoltaïque :

Le panneau solaire photovoltaïque est composé de modules interconnectés en série et /ou en parallèles pour une production d'énergie électrique. Le tout est porté sur un support métallique.

La meilleure inclinaison des panneaux solaire PV pour un usage à longueur d'année

est celle de la latitude de l'endroit où son installés. Toutefois, ce sont souvent les dispositions constructives de l'habitation qui déterminent l'inclinaison [8].



Figure (I-2) : Panneau solaire photovoltaïque [8].

I-2-2-Panneau solaire thermique et thermodynamique :

a)Domestique (thermique) :

Le principe de ce système est d'utiliser un fluide caloporteur. Le fluide est chauffé dans des panneaux exposés au soleil.

Ce fluide transmet sa chaleur à l'eau à usage domestique dans des échangeurs [9].

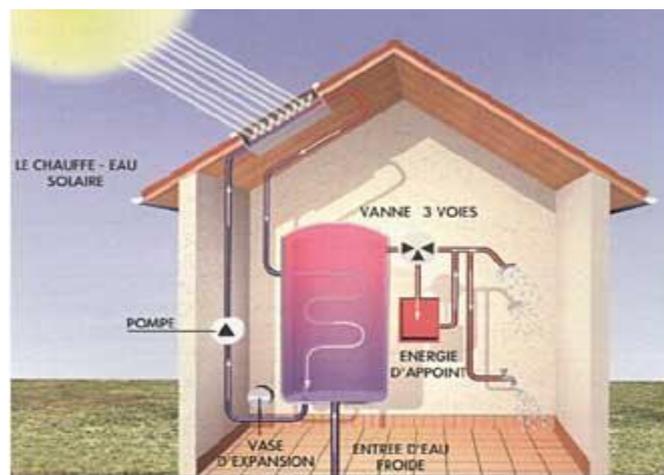


Figure (I-3) : Panneau solaire thermique domestique [9].

b) Industrielle (thermodynamique) :

On désigne par une centrale thermodynamique l'ensemble des techniques qui visent à transformer l'énergie rayonnée par le soleil en chaleur à température élevée, l'eau chauffée par cette température est transformée en vapeur, envoyée dans une turbine. Un alternateur, lié à la turbine, produit alors de l'électricité [10].



(Figure I-4) : Panneau solaire thermodynamique [10].

I-2-3-Module photovoltaïque :

Un module solaire photovoltaïque est un générateur électrique de courant continu d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement.

-La mise en série des cellules permet d'augmenter la tension sans variation de courant.

-La mise en parallèle des cellules permet aussi d'augmenter le courant sans changement de tension.



Figure (I-5) : Module photovoltaïque [9].

I-3-Cellules photovoltaïques :

I-3-1-Différentes technologies des cellules photovoltaïques :

Il existe un grand nombre de technologies mettant en œuvre l'effet photovoltaïque. Beaucoup sont encore en phase de recherches et de développement.

Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont :

Le silicium mono ou poly – cristallin (plus de 80 % de la production mondiale), le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou CIS (Cuivre Indium Silicium) en fonction des performances recherchées [9].

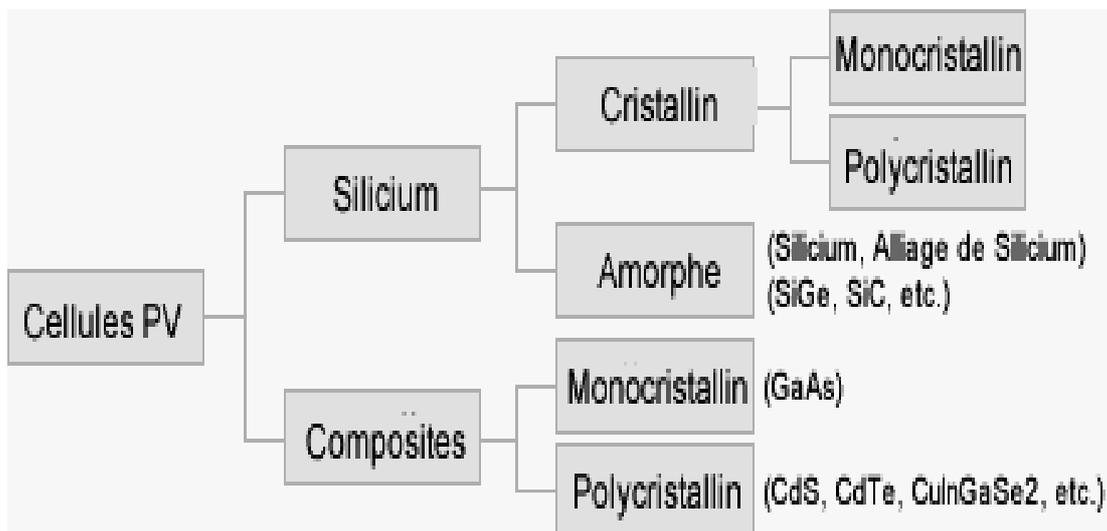


Figure (I-6) : Différentes technologies des cellules photovoltaïques [9].

Ø Les cellules monocristallines : [11]

Les panneaux PV avec les cellules monocristallines sont les piles de première génération élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal. La découpe des tranches de silicium (wafer).Après, divers traitement de surface à l'acide, dopage et création de la jonction P-N, dépôt de couche antireflet, pose des collecteurs), le wafer devient cellule.

Les cellules sont rondes ou presque carrées et, vues de près, elles ont une couleur uniforme.

Elles ont un rendement de 12 à 18%, mais la méthode de production est laborieuse.

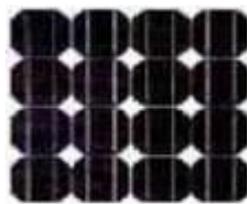


Figure (I-7) : Cellule monocristalline [11]

Ø Les cellules poly cristallines : [11]

Les panneaux PV avec des cellules poly cristallines sont élaborés à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vus de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux (Tonalités différentes). L'avantage de ces cellules par rapport au silicium monocristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elles nécessitent 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication. Le wafer est scié dans un barreau de silicium dont le refroidissement forcé a créé une structure poly-cristalline.

Elles ont un rendement de 11 à 15%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines. Durée de vie estimée : 30 ans.

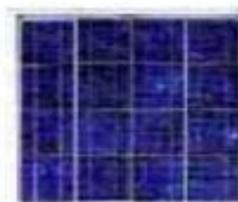


Figure (I-8) : Cellule poly cristalline [11].

Ø Les cellules en couches minces (amorphe) : [11]

Les modules photovoltaïques amorphes ont un coût de production bien plus bas, mais malheureusement leur rendement n'est que 6 à 8% actuellement. Cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide.

Le rendement de ces panneaux est moins bon que celui des technologies poly cristallines ou monocristallines. Cependant, le silicium amorphe permet de produire des panneaux de grandes surfaces à bas coût en utilisant peu de matière première.

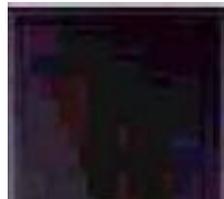


Figure (I-9) : Cellule mince amorphe [11].

Ø Autre types de cellules :

Les recherches intensives entreprises depuis de nombreuses années sur d'autres matériaux que ceux à base de silicium ont enfin abouti vers la fin de cette décennie au stade de l'industrialisation des recherches sont encore effectuer pour créer de nouvelles cellules de rendement plus élever, possédant une grande stabilité de leur caractéristique dans le temps et présentant de faible coup de fabrication [10].

I-3-2-Comparatif des différentes technologies : [9].

Matériau	Rendement	Longévité	caractéristiques	Principales utilisations
Silicium mono cristallin	12 à 18% (24,7% en laboratoire)	20 à 30 ans	* Très performant * Stabilité de production d'énergie * Méthode de production coûteuse et	Aérospatiale, modules pour toits, façades,...
Silicium poly cristallin	11 à 15% (19,8% en laboratoire)	20 à 30 ans	* Adapté à la production à grande échelle. * Stabilité de production d'énergie. Plus de 50% du	Modules pour toits, façades, générateurs...
Amorphe	6 à 8% (13% en laboratoire)		* Peut fonctionner sous la lumière fluorescente. * Fonctionnement si faible luminosité. * Fonctionnement par temps couvert. * Fonctionnement si ombrage partiel * La puissance de sortie varie dans le temps. En début de vie, la puissance délivrée est de 15 à 20% supérieure à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois.	Appareils électroniques (montres, calculatrices...), intégration dans le bâtiment
Composite mono cristallin (GaAs)	18 à 20% (27.5% en laboratoire)		* Lourd, fissure facilement	Systèmes de concentrateurs Aérospatiale (satellites)
Composite poly cristallin (CdS, CdTe, CuiGaSe2, etc.)	8% (16% en laboratoire)		Nécessite peu de matériaux mais certains contiennent des substances polluantes	Appareils électroniques (montres, calculatrices...), intégration dans le bâtiment

I-3-3-Jonction PN:

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière, sous l'action de ce bombardement, Les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être arrachés, décrochés : si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau.

L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique, par contre dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial.

Les électrons décrochés créent une tension électrique continue faible, une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique c'est l'effet photovoltaïque [12].

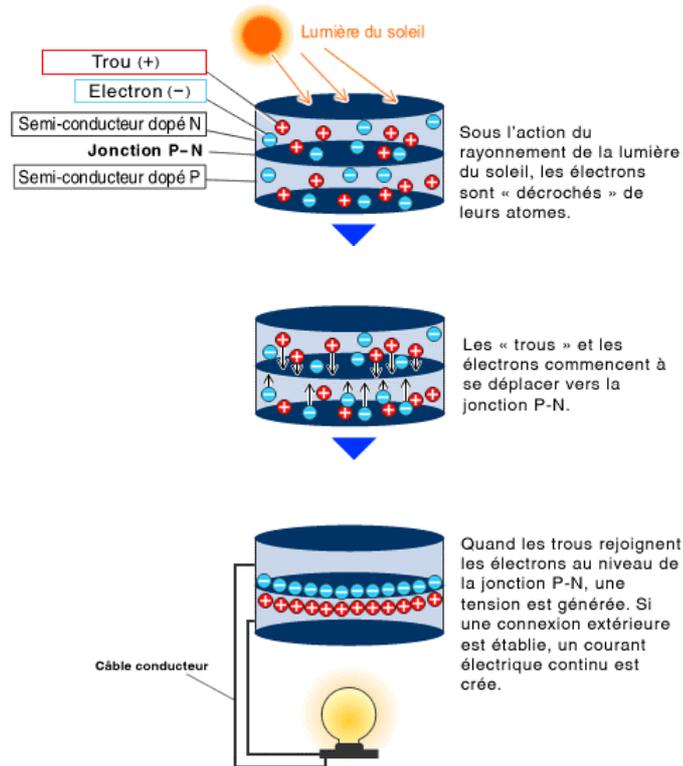


Figure (I-10) : Représentation schématique d'une pile solaire à jonction [12].

P-N standard

I-4-Association des cellules des panneaux solaires : [9].

Dans un groupement de cellules en série, traversées par un même courant caractéristique résultant (I_{scc}, V_{scc}), Obtenu pour un nombre de cellule identique (I_{scc}, V_{co}) en sommant la caractéristique élémentaire à courant cts

$$V_{sco} = ns \cdot V_{co}$$

Pour un groupement de ns cellules identiques en parallèles :

$$I_{pcc} = n_p \cdot I_{cc}$$

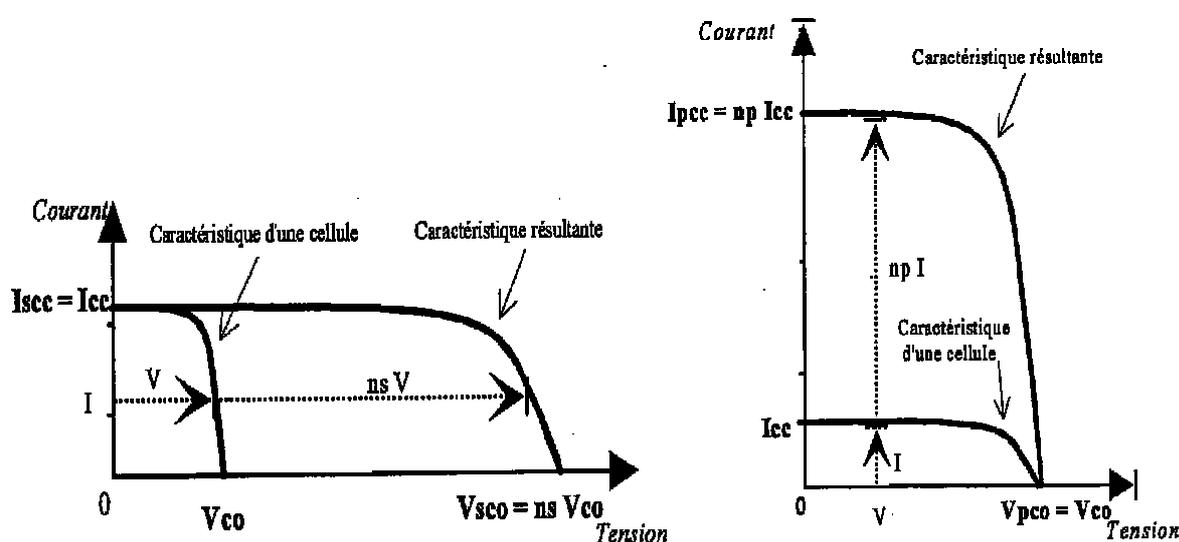


Figure (I-11) : Caractéristiques de groupement séries ou parallèles de cellules photovoltaïques identiques

I-5-Avantages et inconvénients : [13]. [14].

a)Avantage :

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantage.

Ø D'abord, une haute fiabilité –elle ne comporte pas de pièces mobiles –qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées .c'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.

Ø Ensuite, le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers.les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milli watt au méga watt.

Ø Leurs coups de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnels hautement spécialisés.

Ø Enfin, la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant ; silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est pas l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

b) Inconvénients :

Le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients :

- Ø La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Ø Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).
- Ø Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour une faible demande d'énergie en régions isolées.

I-6-La commande MPPT (MAXIMUM POWER POINT TRACKING) : [15]

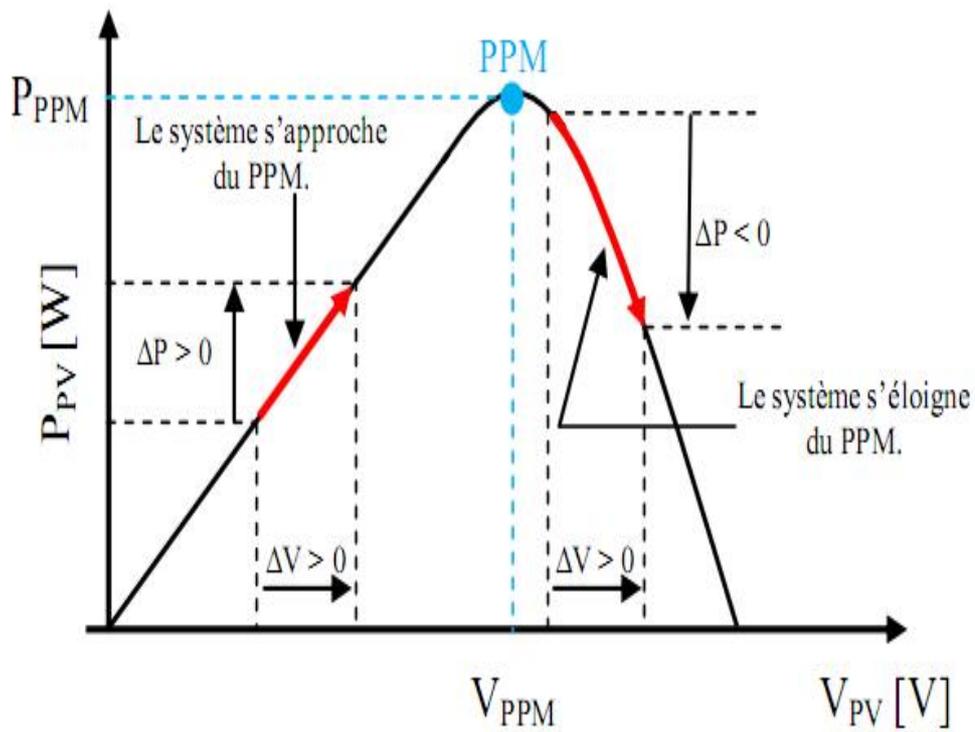
Dans ce régulateur, un circuit de mesure en permanence la tension et le courant du panneau pour tirer de l'énergie au point de puissance (MPPT, max power point tracking) cela permet de garantir que le maximum d'énergie sera récupéré, quelque soit la température et l'ensoleillement. Ces régulateurs fonctionnent soit en élévant, soit en réduisant la tension.

Ø Algorithme « perturbation et observation » :

Le principe des commandes MPPT de type P&O consiste à perturber la tension V_{pv} d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance P_{pv} qui en résulte, d'après la figure II.2, 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 point de fonctionnement est à droite du PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique P_{pv} - V_{pv} , 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 approprié.



Figure(I-12):Caractéristique Ppv- Vpv d'un panneau solaire [15]

I-7-Les convertisseurs :

Les convertisseurs sont des appareils servant à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant soit en tension continue différentes, soit en tension alternative [16].

I-7-1-Hacheur (DC/DC) :

Le hacheur est un convertisseur continu-continu statique utilisant essentiellement des interrupteurs électroniques unidirectionnelles, des éléments passifs (inductances ; condensateurs), et des diodes.

L'hacheur possède deux propriétés essentielles :

- Il joue, en continu, le rôle qui jouait le transformateur en courant alternatif.
- Il a, tout comme le transformateur, un rendement très élevé.

Ø Principe de fonctionnement :

L'hacheur est un convertisseur à transistor, permettant d'obtenir une tension réglable à partir d'un générateur à courant continu de type Sv ou Si (tension ou courant).

Ce convertisseur agit en hachant le courant de court-circuit charge, par la commutation (ouverture-fermeture), périodique interrupteur unidirectionnel [17].

I-7-2-Hacheur (série-abaisseur), type BUCK :

Le générateur impose une tension qui reste sensiblement constante V_e . L'interrupteur unidirectionnel l'essai passer le courant d'intensité i_T vers la charge, pendant la durée T_f , ensuite, il y a ouverture de l'interrupteur, et $i_T=0$, tandis que le courant continu circuler dans la charge, à cause de l'inductance L et de la diode de roue libre D (continuité du courant dans L). Le montage de base est donné à la figure (1-13).

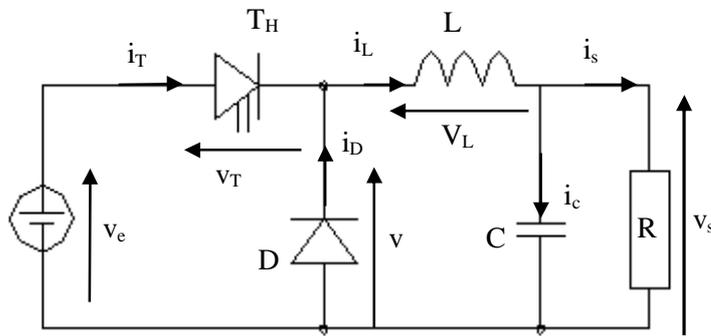


Figure (I-13): Schéma de principe du hacheur série (abaisseur)

I-7-3-Hacheur (Parallèle-élévateur), type BOOST :

La tension de sortie peut être variée de la tension de la source d'alimentation jusqu'à plusieurs fois la valeur de celle-ci. La self L est utilisée pour lisser le courant d'entre. L'interrupteur unidirectionnel T_p , met la source en court-circuit pendant la durée T_f ou le courant augmente, ainsi que le flux dans L . Quand l'interrupteur est ouvert, d'après la continuité du courant dans l'inductance L , le courant circule dans la charge, bien V_s soit supérieur. Pendant la durée de fermeture suivante, la bobine récupère l'énergie magnétique qui avait été perdue pendant la circulation du courant dans la charge. Le montage de base est donné à la figure (I-14) [17].

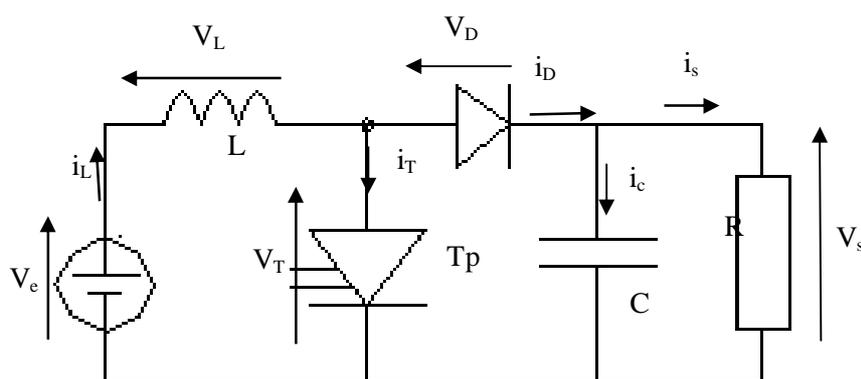


Figure (I-14): Schéma de principe du hacheur parallèle (élévateur de tension)

I-7-4-Hacheur (série-parallèle), type BUCK-BOOST :

Le hacheur série-parallèle est une combinaison de deux hacheur série et parallèle. Leur combinaison nous permet d'obtenir la tension de sortie désirée en modifiant la tension d'entrée.

I-8-Les convertisseurs DC /AC, les onduleurs :**I-8-1-Définition :**

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion de l'énergie électrique de continu vers l'alternatif.

On distingue deux grands types d'onduleurs :

- Les onduleurs de tensions, alimentés par une source de tension continue.
- Les onduleurs de courants, alimentés par une source de courant continue [18].

I-8-2-Onduleur (DC-AC) de tension triphasé :

Un onduleur de tension triphasé, dont les composants semi-conducteurs contrôlables sont des transistors GTO, est le cœur de l'organe de commande du moteur asynchrone. Il peut être considéré comme un amplificateur de puissance, il est constitué de trois bras, de deux interrupteurs pour chacun. Chaque interrupteur est monté en antiparallèle avec une diode de récupération. Pour assurer la continuité des courants alternatifs, les interrupteurs K1et K2, K3etK4, K5etK6 doivent être contrôlés de manière complémentaire. Le schéma structurel d'un tel convertisseur statique alimentant le stator du moteur est illustré par la figure (1-15) [18].

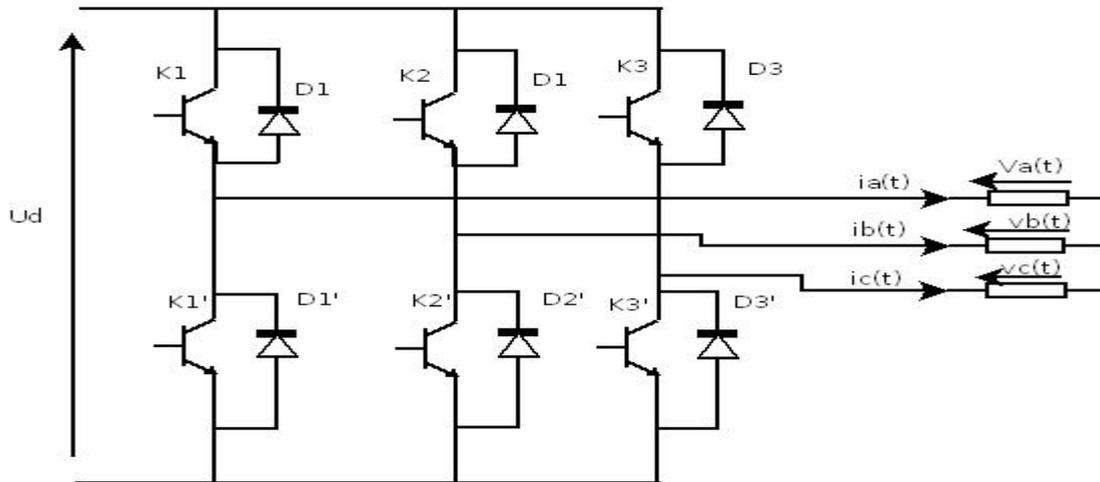


Figure (I-15) : schéma d'un onduleur de tension alimentant le stator d'un moteur asynchrone.

I-8-3-Onduleur de courant :

L'onduleur de courant présente un grand inconvénient en raison de l'inductance du moteur asynchrone, car ce dernier lui fournit des créneaux de courant lors de la montée et de la descente rapide dans une phase, ce qui crée une surtension [19].

I-9-Modulation de la largeur d'impulsion :(MLI) :

La MLI permet de former chaque alternance de la sortie de plusieurs créneaux ; pour obtenir cela, on adopte certaine technique de commande des interrupteurs de l'onduleur.

La stratégie sinus-triangle est l'une des techniques de commande des interrupteurs de l'onduleur.

Elle consiste de comparer les trois tensions de référence (V_a^* , V_b^* , V_c^*) :

.calculée pour une transformation inverse de PARK à un signal (porteuse) triangulaire d'amplitude fixe est de pulsation nettement supérieure à celle des tensions de référence.

. La stratégie sinus-triangle est caractérisée par 2 paramètres qui sont :

-L'indice de modulation m [$m = \text{fréquence de } v_p(t) / \text{fréquence de } v_{ref}(t)$] qui représente le rapport de la fréquence de la porteuse à la fréquence de référence.

- Le coefficient de réglage r ($r = v_{ref} / v_p$) en tension qui représente le rapport de

l'amplitude de l'onde de référence à la valeur de crête de la porteuse.

La loi de commande a pour but de :

- Repousser les harmoniques à des fréquences élevées pour leur filtrage.
- Faire varier la valeur efficace du fondamental de la tension de sortie.

Les instants de commutation sont obtenus par comparaison de trois tensions de référence correspondant aux tensions de sortie désirées de fréquence f à la fréquence f_p du signal triangulaire .comme le montre la figure(I-16) [20].

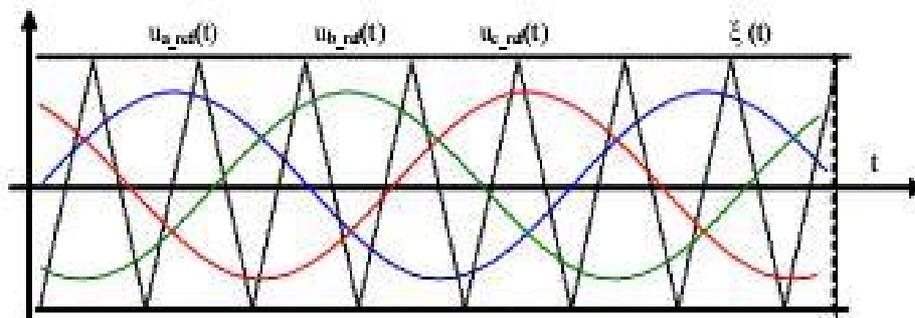


Figure (I-16) : schéma de la MLI sinus-triangle [20].

I-10-Machine asynchrone :

I-10-1-Introduction :

Le moteur asynchrone est de beaucoup le moteur le plus utilisé dans l'ensemble des applications industrielles, du fait de sa facilité de mise en œuvre, de son faible encombrement, de son bon rendement et de son excellent fiabilité.

I-10-2-Définition :

On appelle machine asynchrone toute machine, qui ayant $(2p)$ de pôles de fréquence f_s , ne tourne pas exactement à la vitesse synchrone $(60f_s/p)$.

On parle généralement de moteurs asynchrones car ses machines sont destinées à fournir de la puissance mécanique à partir de l'énergie électrique.

Parmi les machines asynchrones, on peut distinguer deux types :

- Les machines à collecteurs.

-Les machines d'inductions.

Le moteur d'induction est le plus utilisé que les autres que lorsqu'on parle de moteur asynchrone on sous-entend d'induction.



Figure (I-17) : moteur asynchrone [9].

I-10-3-Organisation de la machine :

L'organisation d'une machine asynchrone est constituée des éléments principaux suivants :

-Le stator (partie fixe) constitué de disques en tôle magnétique portant l'enroulement chargé de magnétiser l'entrefer.

-Le rotor (partie tournante) constitué de disques en tôle magnétique empilés sur l'arbre de la machine portant un enroulement bobiné ou à cage d'écureuil [9]

Ø Le stator :

Le stator est construit d'un enroulement triphasé bobiné reparti dans des encoches du circuit magnétique statorique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine.



Figure (I- 18):stator d'un moteur asynchrone triphasé [9].

Ø Le rotor :

a) Rotor bobiné (a bague) :

C'est un rotor qui comporte dans ses encoches un enroulement identique à celui du stator.

Les extrémités de ses enroulements aboutissent à des bagues, dans le nombre est égale au nombre de phases entre lequel on peut intercaler selon les besoins un rhéostat de démarrage qu'on peut court-circuiter en marche normale de la machine [9].

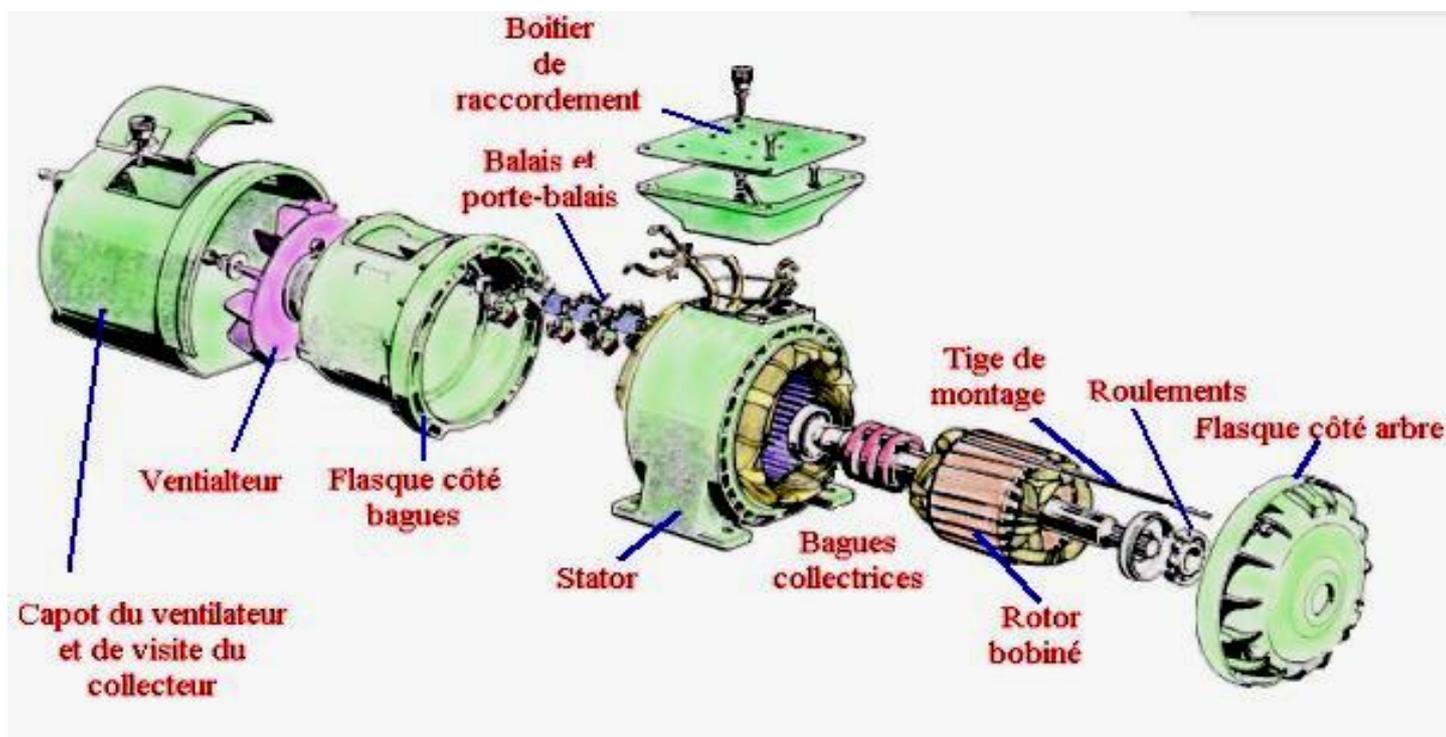


Figure (I-19): Moteur asynchrone triphasé rotor bobiné [9].

b) Rotor a cage :

L'enroulement triphasé est remplacé par des barres conductrices en cuivre ou en aluminium réunies à leurs extrémités par des anneaux conducteurs forment ainsi une cage d'écureuil.

Les barres sont généralement inclinées d'un pas d'ampère pour améliorer les performances robustes comparées à un rotor bobiné. De plus sa construction est particulièrement économique, car la cage est généralement réalisée à partir d'aluminium fondu que l'on fait couler dans les encoches.

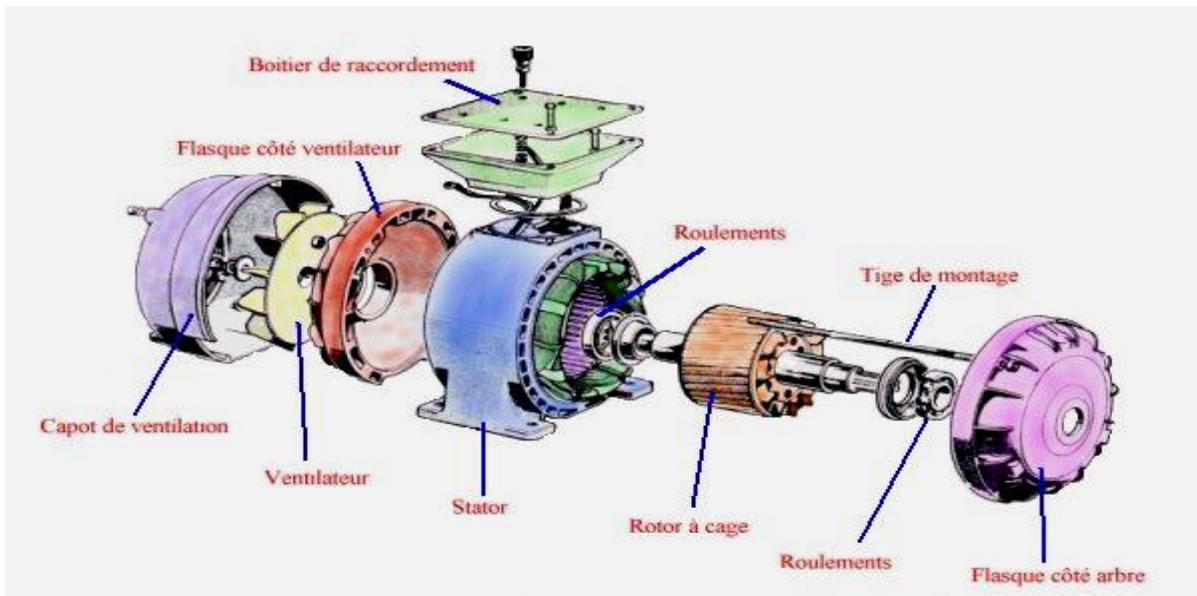


Figure (I-20) : Moteur asynchrone triphasé rotor à cage [9].

c) Principe de fonctionnement :

Aujourd'hui, la plupart des machines électriques des équipements industriels sont asynchrones triphasées, leur puissance s'étend d'une centaine de watts jusqu'à vingt mégawatts.

Le principe de fonctionnement repose entièrement sur les lois de l'induction, la machine asynchrone est un transformateur à champ magnétique tournant (théorie de **Ferrari**) dont le secondaire est en court-circuit la vitesse de rotation N_s du champ tournant d'origine statorique, qualifiée de synchronisme est comme dans le cas des machines synchrones, rigidement liée à la fréquence F_s de tensions triphasées d'alimentation.

$$N_s \text{ (tr/min)} = 60 F_s / P$$

P : nombre de paires de pôles de chacun des enroulements des phases statorique.

Les vitesses de rotation de synchronisme (tr/min) valent: 3000, 1500, 1000, 750, respectivement pour les moteurs dont le nombre de pôles est de 2, 4, 6, 8, ...

Lorsque le rotor tourne à une vitesse N_r différente de N_s (asynchronisme) l'application de la loi de Faraday (équation générale de la machine non saturée) aux enroulements rotoriques montre que ceux-ci deviennent siège d'un système de forces électromotrices triphasées engendrant elles-mêmes trois courants rotoriques, d'après la loi de **Lenz** ces derniers

s'opposent à la cause qui leur a donné naissance, c'est-à-dire la vitesse relative de l'induction tournante statorique par rapport au rotor.

Ainsi, les effets de l'induction statorique sur les courants induits rotoriques se manifestent par l'élaboration d'un couple de forces électromagnétiques sur le rotor tel que soit réduit l'écart des vitesses de ce fait, selon que N est inférieur (hypo synchronisme) ou supérieur (per synchronisme) à N_s , la machine développe respectivement un couple moteur tendant à accroître N ou un couple résistant (génératrice) tendant à réduire N le couple électromagnétique s'annule à l'égalité des vitesses.

$$G = (N_s - N)/N_s$$

G : Le glissement s'exprime en pourcentage, dans les conditions nominales du fonctionnement de la machine.

L'augmentation de charge mécanique provoque des pertes joules dans les enroulements avec une augmentation du glissement.

Sa variation commandée nécessite en fait le réglage de la vitesse de synchronisme, modification de la fréquence de source d'alimentation grâce à l'électronique de puissance [21].

I-11-La pompe :

I-11-1-Généralité :

Les pompes sont utilisées dans les circuits hydrauliques pour convertir l'énergie mécanique qui lui est fournie par un moteur thermique ou électrique en énergie hydraulique. Cette conversion se fait en deux temps :

a)Aspiration : Est l'action mécanique qui crée un vide partiel à l'entrée de la pompe, permettant à la pression atmosphérique dans le réservoir, de forcer le liquide de réservoir vers la conduite d'aspiration ou d'alimentation.

b) Refoulement : Le liquide pénétrant à l'intérieur de la pompe est transporté puis refoulé, soit par la réduction volume de la chambre le contenant, soit par addition forcée de volumes dans une chambre à capacité constante ou par centrifugation.

La pression relevé au refoulement d'une pompe n'est pas créée par la pompe cette pression s'établit en fonction de différentes résistances qui vont s'opposer au flux débité par la pompe. Elles ont pour origine le frottement du fluide sur les canalisations. Raccords et organes du circuit et la charge extérieure (charge utile et frottement mécanique) [22].

I-11-2-Caractéristique :

Sont données par les constructeur et permettant lors de l'élaboration d'un circuit de déterminer le choix de la pompe en fonction du travail :

- Ø **La cylindrée :** Volume théorique de fluide pour un tour de pompe.
- Ø **La hauteur d'aspiration:** Hauteur a laquelle une pompe se suffit elle-même pour s'alimenter, elle est variable en fonction du type de pompe et du poids spécifique du liquide à aspirer.
- Ø **Le débit refoulé :** C'est la quantité de fluide refoulée par unité de temps dans des conditions données. Un grand nombre de constructeurs donnent le débit de leurs pompes en litre par minute à différentes pressions et vitesses de rotation.
- Ø **Plage de vitesse :** Ce sont les vitesses maximum et minimum entre lesquelles la pompe pourra être utilisée, elles s'expriment en tour par minute.
- Ø **Pression de pointe :** C'est la pression maximum qu'il est possible d'atteindre avec une pompe. Cette pression ne peut être considérée comme la pression d'utilisation car la durée de vie d'entrainerait écourtée.
- Ø **Pression d'utilisation :** C'est la pression continue qui peut être maintenue a la sortie de la pompe lors de son utilisation dans le circuit .elles assure une vie maximale a la pompe.
- Ø **Puissance d'entraînement :** C'est la puissance qu'il est nécessaire de fournir à l'entraînement d'une pompe. Celui-ci est fonction du débit, de la pression désirée que du type de pompe utilisée.
- Ø **Entraînement :** Certains entrainement son a proscrire (poulie, courroie).se référer aux recommandations du constructeur.
- Ø **Le sens de rotation :** En général, un seul sens de rotation est possible, dans la majorité des cas, il est gravé sur le corps de pompe afin d'éviter les erreurs de montage [9].

I-11-3-Différents types de pompes :

Il existe, en fait deux grands types : les pompes centrifuges et les pompes volumiques.

Ces dernières conviennent pour des faibles débits d'eau à des pressions élevées [23].

a) Les pompes centrifuges : Le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergies qui est communiqué par la force centrifuge.

b) Les pompes volumétriques : L'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide.

I-11-3-1-Principe de fonctionnement de la pompe centrifuge :

Une pompe centrifuge est construite pour répondre à ces conditions précises de fonctionnement (débit q à élever à une hauteur h).

D'une façon générale, une pompe centrifuge comporte ;

-Un organe mobile : Roue, encore appelée turbine, impulsor ou rotor.

-Des organes fixes : A savoir, un diffuseur encore appelé stator et des carneaux de retour [22].

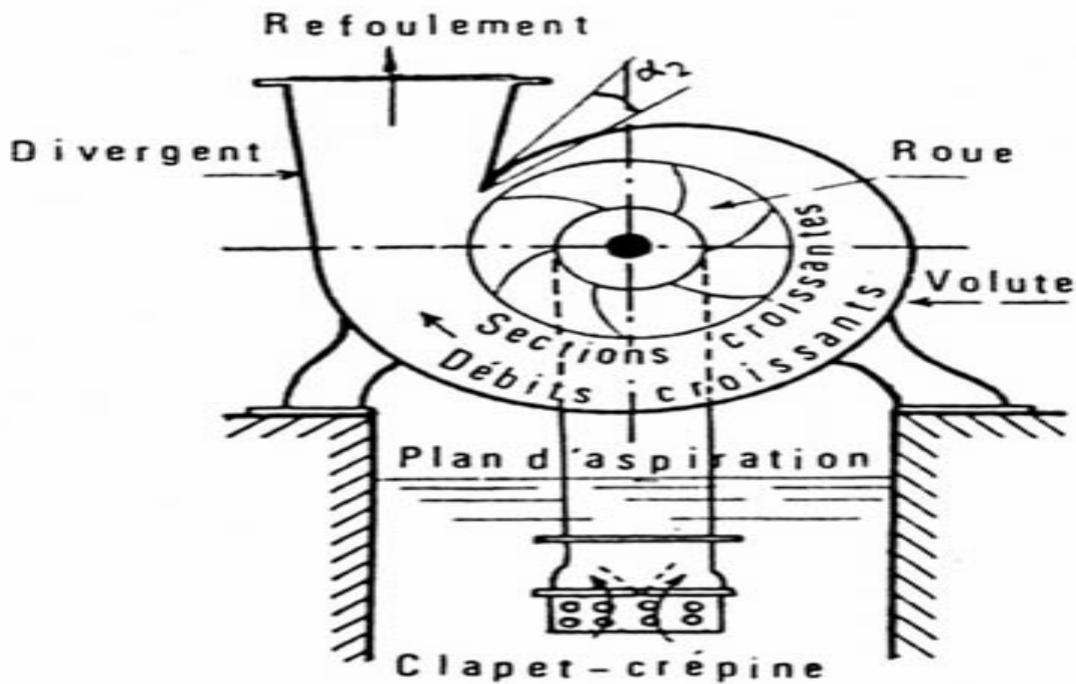


Figure (I-21) : Schéma de principe d'une pompe centrifuge [22].

I-11-3-2-Principe de fonctionnement de la pompe volumétrique :

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se place un élément mobile rigoureusement ajusté. Leur fonctionnement repose sur le principe suivant :

Exécution d'un mouvement cylindrique.

Pendant un cycle, un volume déterminé de liquide pénètre dans un compartiment, ce mouvement permet le déplacement du liquide entre l'orifice d'aspiration et l'orifice de refoulement.

Les pompes volumétrique sont généralement auto-amorçant des leurs mise en route elles provoquent une diminution de pression en amont qui permet [24].

I-12-Conclusion :

Dans ce premier chapitre, il a été constaté qu'une installation photovoltaïque est un système qui assure la conversion du rayonnement solaire en énergie électrique par l'effet photovoltaïque, afin d'alimenter des charge électrique.

Dans notre cas on alimente une station de pompage photovoltaïque.



Chapitre II
Modélisation d'un système de pompage
Photovoltaïque

II-1-1-Modélisation d'une cellule photovoltaïque :

a- Cas idéal :

D'après ce qui précède, il apparaît que la cellule photovoltaïque est équivalente à un générateur de courant I_{ph} induit par le flux lumineux, shunté par une diode représentant la jonction p-n du semi-conducteur.

L'équation caractéristique d'une cellule solaire idéale est de la forme :

$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{qv}{KT}} - 1 \right) \quad (\text{II.1})$$

-Le circuit équivalent correspondant à une cellule solaire est

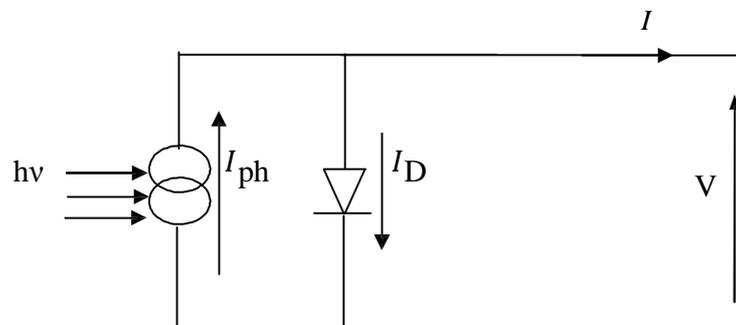


Figure (II- 1) : Cellule solaire idéale

I_{ph} : courant généré par les photons ou photo-généré.

I, V : courant et tension fournie par la cellule.

I_D : courant de la diode donnée par [25] :

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{qv}{KT}} - 1 \right) \quad (\text{II-2})$$

q : Charge de l'électron = $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$.

K : Constante de Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23} \text{JK}^{-1}$.

b-Cas réel :

Lorsque les résistances de contact et les pertes ohmiques ne peuvent être considérées comme non négligeables par rapport à la résistance de charge, on doit associer au schéma équivalent une résistance série (R_s) et une résistance shunt (R_{sh}).

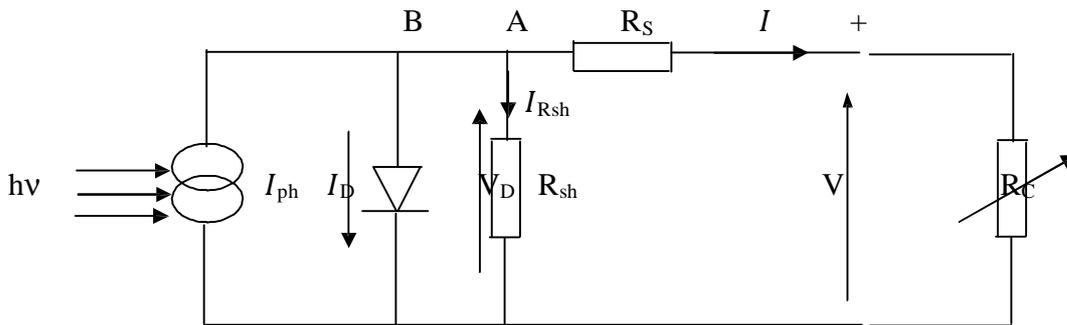


Figure (II- 2) : Schéma équivalent d'une cellule solaire réelle.

Appliquant la loi de Kirchhoff aux nœuds A, B :

$$I = I_{ph} - I_D - I_{Rsh} \quad (\text{II-3})$$

Le courant Débité par la cellule est la somme de trois courants :

I_{ph} : courant généré par les photons ou photo-généré.

I_{Rsh} : courant traversant R_{sh} . Si R_{sh} est très grande, il devient très faible est indépendant de la tension [26].

$$I_{Rsh} = \frac{V_D}{R_{sh}} = \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (\text{II-4})$$

Car :

$$V_D = R_{sh} \cdot I_{Rsh} = V + R_s \cdot I \quad (\text{II-5})$$

I_D : courant de la diode, il s'écrit sous la forme [25] :

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{qV}{AKT}} - 1 \right) \quad (\text{II-6})$$

Remplaçant dans (II-3) les équations (II-4) et (II-6). L'équation caractéristique deviendra :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[e^{\frac{q(V+Rs.I)}{AKT}} - 1 \right] - \frac{V+Rs.I}{Rsh} \quad (\text{II-7})$$

A est le facteur d'idéalité. Pour les cellules actuellement commercialisées au silicium, on prend A=1.

II-1-2-Paramètres et caractéristiques d'une cellule photovoltaïque :

Ces paramètres sont caractérisés par ceux des modules constituant le champ PV.

Ø Courant de court-circuit I_{cc} :

Il est obtenu pour tension de sortie nulle à partir de l'équation (II-7) :

$$I_{cc} = I_{ph} - I_0 \left[e^{\frac{qRs.I_{cc}}{KT}} - 1 \right] - \frac{Rs.I_{cc}}{Rsh} \quad (\text{II-8})$$

Ø Tension en circuit ouvert :

Elle est obtenue pour un courant de sortie nul à partir de l'équation (II-7).

$$0 = I_{ph} - I_0 \left[e^{\frac{qV_{co}}{AKT}} - 1 \right] - \frac{V_{co}}{Rsh} \quad (\text{II-9})$$

Dans le cas d'une cellule idéale ($R_s \rightarrow 0$, $R_{sh} \rightarrow \infty$, $I_{ph} = I_{cc}$ et $A=1$)

$$V_{co} = \frac{NKT}{q} \log \left[1 + \frac{I_{cc}}{I_0} \right] \quad (\text{II-10})$$

V_{co} augmente quand I_0 diminue elle dépend que de la nature du cristal et de la jonction.

Ø Facteur de forme FF :

C'est le rapport entre la puissance maximale que peut fournir une cellule et la puissance qu'il est théoriquement possible d'obtenir (puissance optimale) :

$$FF = \frac{P_{max}}{P_{opt}} = \frac{I_{max} \cdot V_{max}}{I_{cc} \cdot V_{co}} \quad (II-11)$$

(I_{max}, V_{max}) : coordonnées du point de fonctionnement.

II-1-3 -Caractéristiques d'un module photovoltaïque :

Un module photovoltaïque est constitué généralement de 36 cellules mises en série. Le courant de ce dernier sera dans ce cas équivalent à celui d'une seule cellule alors que sa tension correspond à la somme des tensions correspondantes figure (II.3).

C'est sur cette base qu'un premier modèle du module a été établi initialement [15].

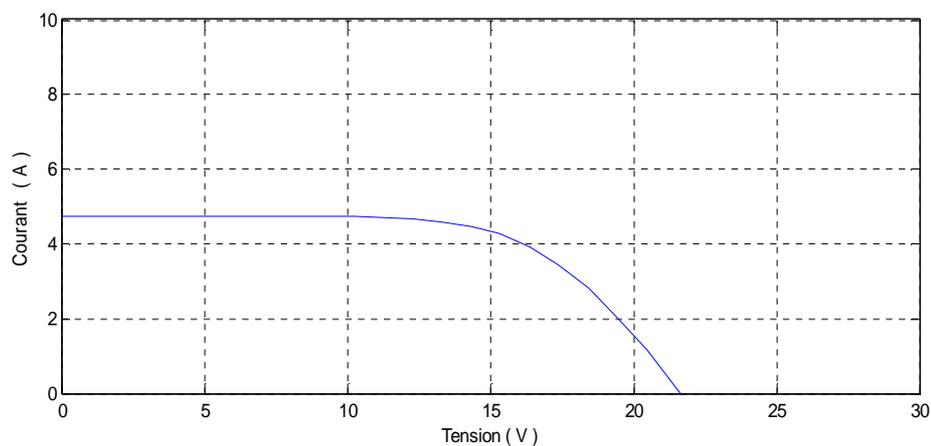


Figure (II-3): Caractéristique I-V d'un module photovoltaïque

Pour $T=25C^{\circ}$, $G=1000W/m^2$

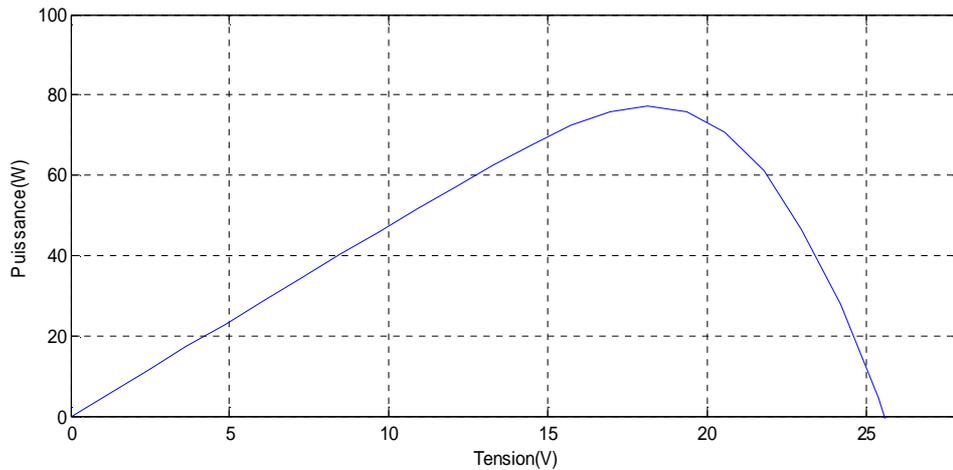


Figure (II-4): Caractéristique P-V d'un module photovoltaïque.

Pour $T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W}/\text{m}^2$

II-1-3-1-L'influence de la température et de l'éclairement sur un GPV :

La caractéristique I-V d'un générateur photovoltaïque peut, en outre varier en fonction de l'éclairement, la température, du vieillissement des cellules et les effets d'ombrage ou d'inhomogénéité de l'éclairement [27].

II-1-3-2-Effet de l'éclairement sur le module photovoltaïque :

Une baisse de l'ensoleillement provoque une diminution de la création de paires électron-trou avec un courant à l'obscurité inchangée. Le courant d'un module solaire étant égale a la soustraction du photo-courant et de courant de diode a l'obscurité, il y'a une baisse de courant solaire I_{cc} proportionnelle a la variation de l'ensoleillement accompagner d'une très légère diminution de la tension V_{co} et donc un décalage des points P_{max} du module solaire vers les puissance inférieures . La figure suivante représente la caractéristique courant-tension pour différente radiation incidente pour une température de 25°C .

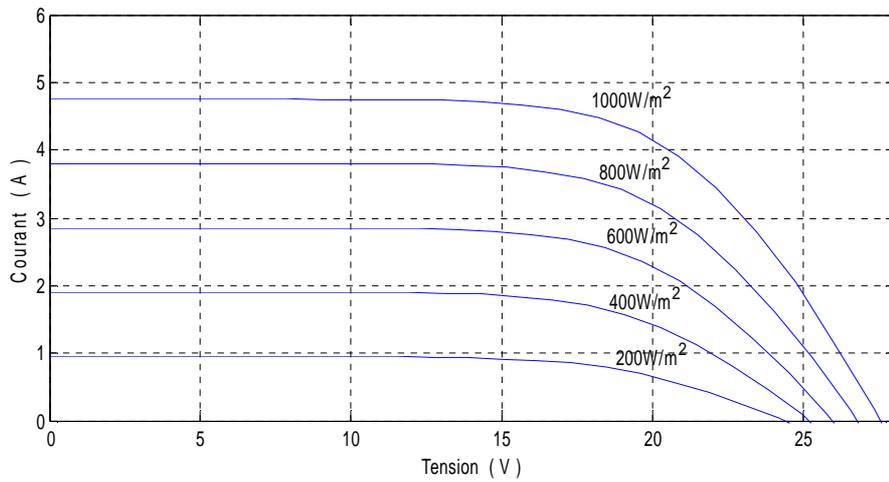


Figure (II-5) : Caractéristiques courant-tension pour différentes radiations incidentes température constante 25°C.

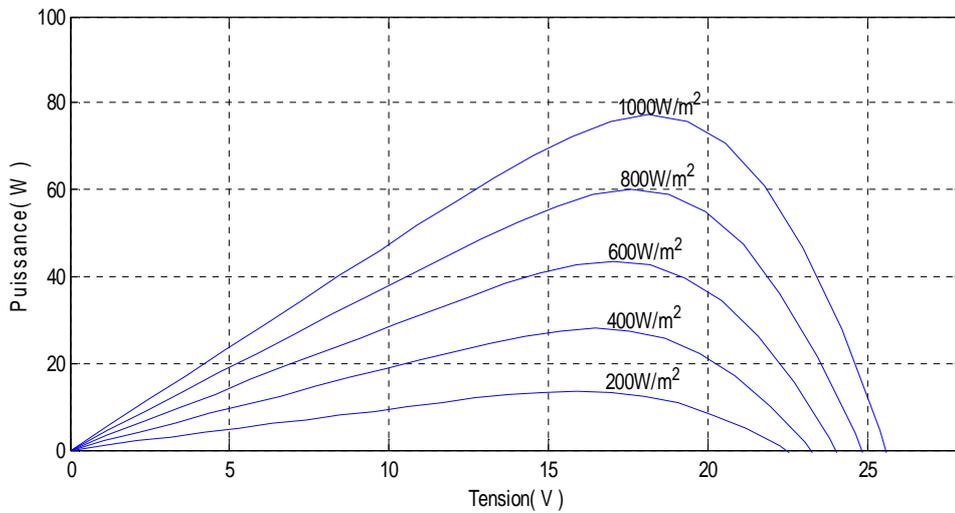


Figure (II-6) : Caractéristiques puissance-Tension pour différentes radiations incidentes Température constante 25°C.

II-1-3-3-Effet de la température sur le module photovoltaïque :

Une élévation de la température de jonction des cellules solaire provoque un important accroissement de leurs courant à l'obscurité et facilite une légère augmentation de la variation de paires électron-trou. Le courant du module solaire étant égale à la soustraction du photo-courant et du courant de diode à l'obscurité, il a une légère augmentation du courant I_{cc} accompagné d'une forte diminution de la tension V_{co} et donc un décalage du point P_{max} vers les puissances inférieures.

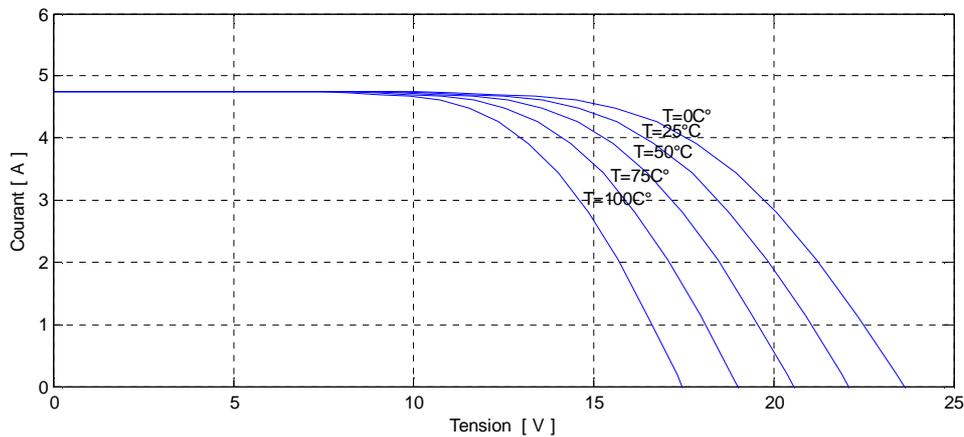


Figure (II-7) : Caractéristique courant- tension pour différentes températures pour une radiation incidente de 1000W/m^2 .

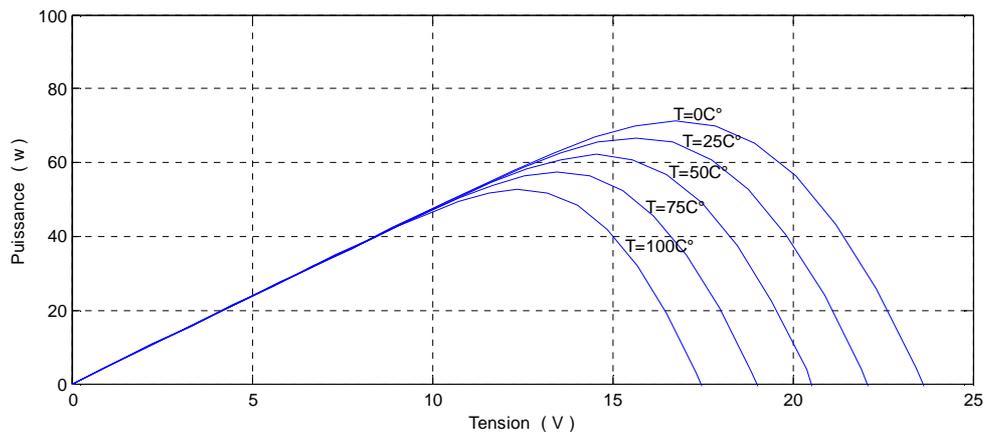


Figure (II-8) : Caractéristiques puissance-Tension pour différentes températures pour une radiation incidente de 1000W/m^2 .

II-1-3-4-Protection d'un GPV :

Pour protéger au mieux les cellules solaires des intempéries, elles sont réunies dans un module solaire. Ce dernier est constitué d'une face supérieure en verre trempé parfaitement transparent et d'une face inférieure recouverte d'un film spécial. Entre ces deux faces, les cellules solaires sont insérées dans une masse étanche transparente et résistante aux UV. C'est l'encapsulation par feuilletage de film polymérisé à chaud d'acétate de vinyle. Ensuite, c'est l'assemblage avec joint d'étanchéité dans un cadre autoporteur en aluminium anodisé permettant un montage aisé et la fixation de la boîte de jonction destinée à recevoir le câblage nécessaire à l'exploitation du panneau photovoltaïque[27].

Les modules photovoltaïques assurent les fonctions suivantes :

- Protection des cellules contre les agents atmosphériques.
- Protection mécanique et support.
- Connexion électrique entre cellules et extérieur.

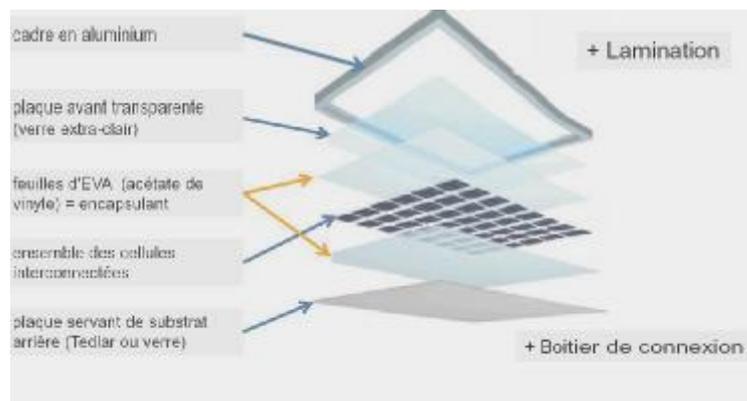


Figure (II-9) : composition d'un module [27].

II-2-1-Modélisation d'un hacheur boost :

Un convertisseur boost ou parallèle, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur [9].

Ce montage permet de fournir une tension moyenne V_C à partir d'une source de tension continue $E < V_C$.

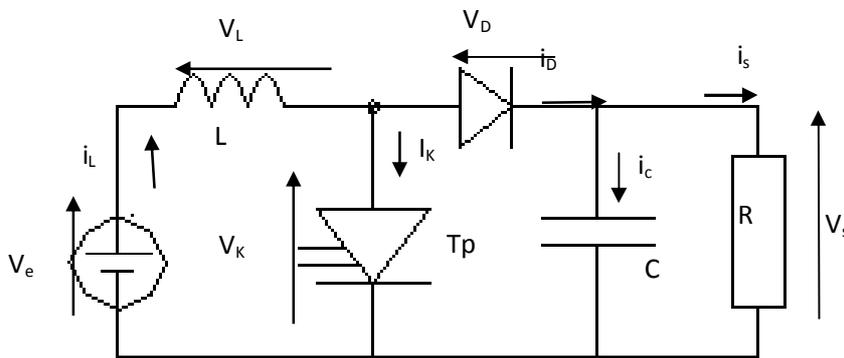


Figure (II-10): Schéma de principe du hacheur parallèle (élevateur de tension)

II-2-2-Etude d'un hacheur parallèle en conduction continue [28] :

On distingue deux phases de fonctionnement :

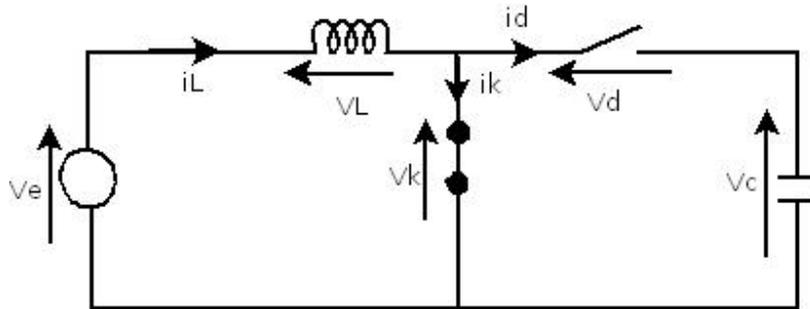
- Lorsque l'interrupteur de transistor K est fermé, la diode est polarisée en inverse $V_d = -V_c$;

La charge est donc isolée de la source. La source fournit de l'énergie à l'inductance L .

- Lorsque l'interrupteur de transistor k est ouvert, l'étage de sortie ($C +$ charge) reçoit de l'énergie de la source et de l'inductance L .

Pour l'analyse en régime permanent, le condensateur de filtrage C a une valeur de capacité suffisamment élevée pour que l'on puisse considérer la tension disponible en sortie constante.

-Pour $t \in [0 \text{ à } aT]$ **k** conduit, **d** ouverte :



$$\begin{cases} id = ic = 0 \\ V_k = 0 \end{cases} \quad (\text{II-12})$$

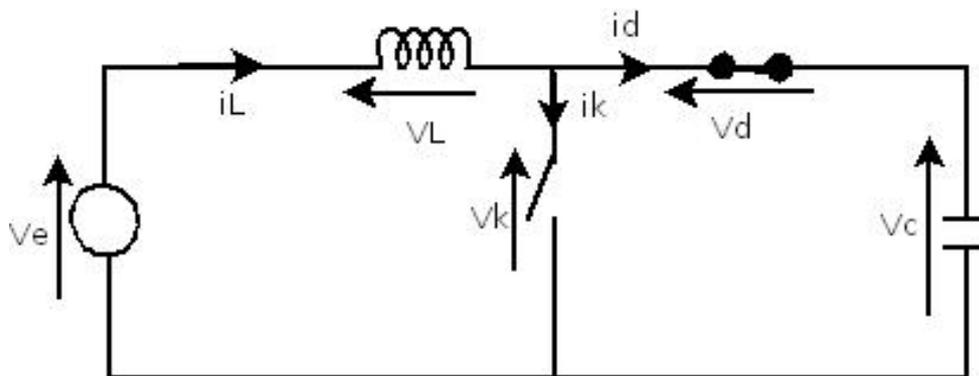
$$\begin{cases} V_d = V_k - V_c = -V_c \\ V_k = V_e - L \frac{di_L}{dt} = 0 \end{cases} \quad (\text{II-13})$$

$$i_L = id + ik = ik \quad (\text{II-14})$$

$$\text{Donc : } i_L = ik = \frac{V_e}{L} t + I_1 \quad (\text{II-15})$$

$$i_L = \frac{V_e}{L} aT + I_1 \quad (\text{II-16})$$

-pour $t \in [aT \text{ à } T]$ **d** conduit, **K** ouvert :



$$\begin{cases} i_K = 0 \\ V_d = 0 \end{cases} \quad (\text{II-17})$$

$$V_k = V_d + V_c = V_c \quad (\text{II-18})$$

$$i_L = i_d = i_c \quad (\text{II-19})$$

$$V_c = V_e - L \frac{di_L}{dt} \quad (\text{II-20})$$

$$i_L = \frac{V_e - V_c}{L} t + I_2 \quad (\text{II-21})$$

Détermination de I_1 et I_2 :

$$i_L(0) = I_0 \Rightarrow I_1 = I_0 \quad (\text{II-22})$$

$$i_L(aT^-) = i_L(aT^+) \quad (\text{II-23})$$

$$\Rightarrow \frac{V_e}{L} aT + I_0 = \frac{V_e - V_c}{L} aT + I_2 \quad (\text{II-24})$$

$$I_2 = I_0 + \frac{V_c}{L} aT \quad (\text{II-25})$$

Ø Chronogramme de la tension de sortie :

$$V_k = \begin{cases} 0 & t \in [0, aT] \\ V_e & t \in [aT, T] \end{cases} \quad (\text{II-26})$$

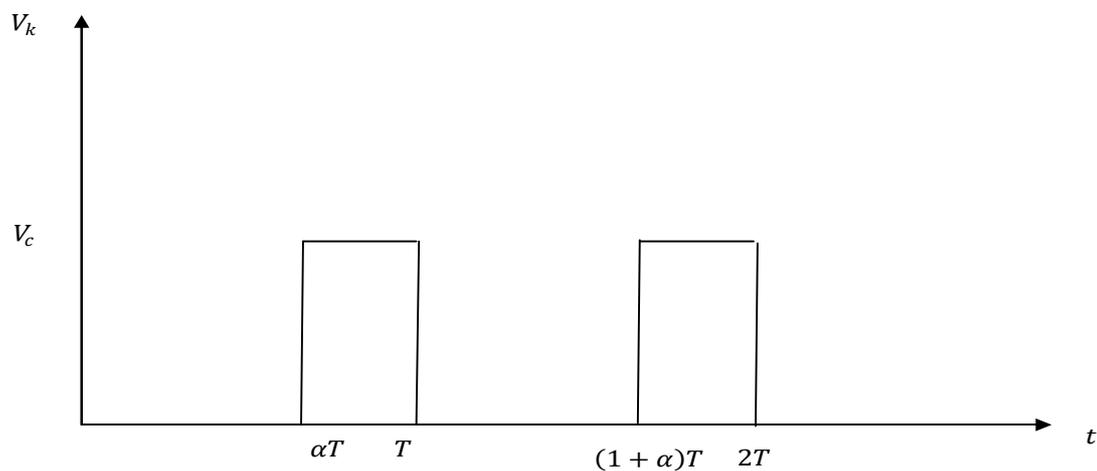


Figure (II-12) : allure de la tension aux bornes du thyristor.

$$V_{kmoy} = (1 - a)V_c \quad (\text{II-27})$$

$$V_{kmoy} = V_e \quad (\text{II-28})$$

Car on a : $V_k = V_e - L \frac{di_L}{dt} \Rightarrow V_{kmoy} = V_e$ parce que la valeur moyenne de $L \frac{di_L}{dt} = 0$

$$V_c = \frac{V_e}{1-a} \quad (\text{II-29})$$

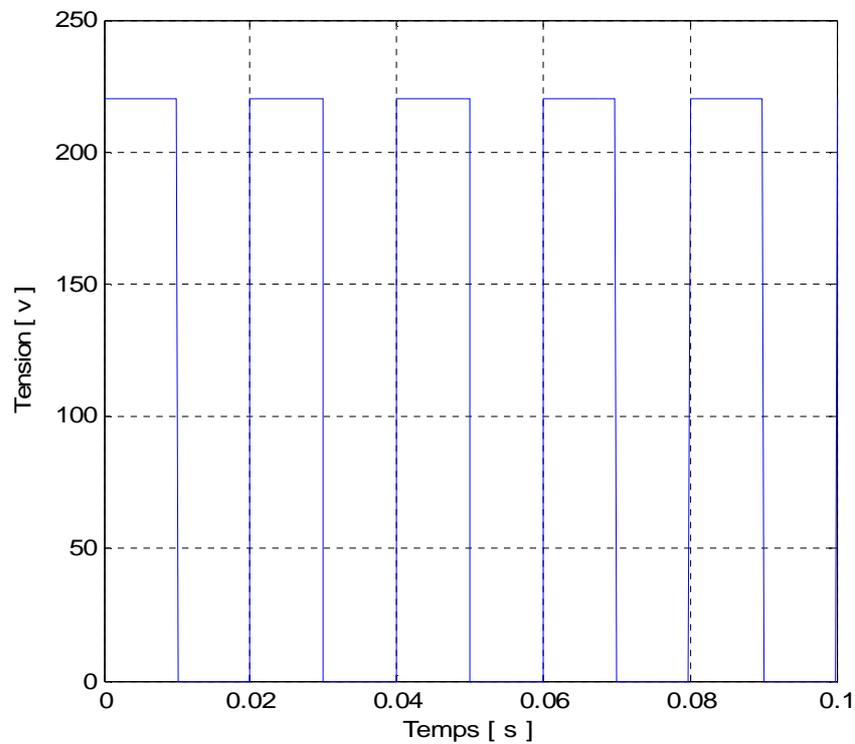


Figure (II-13) : La tension à la sortie du hacheur.

II-3-Modélisation de l'onduleur de tension :

La représentation schématique d'un onduleur de tension est par la figure (II-14) [19].

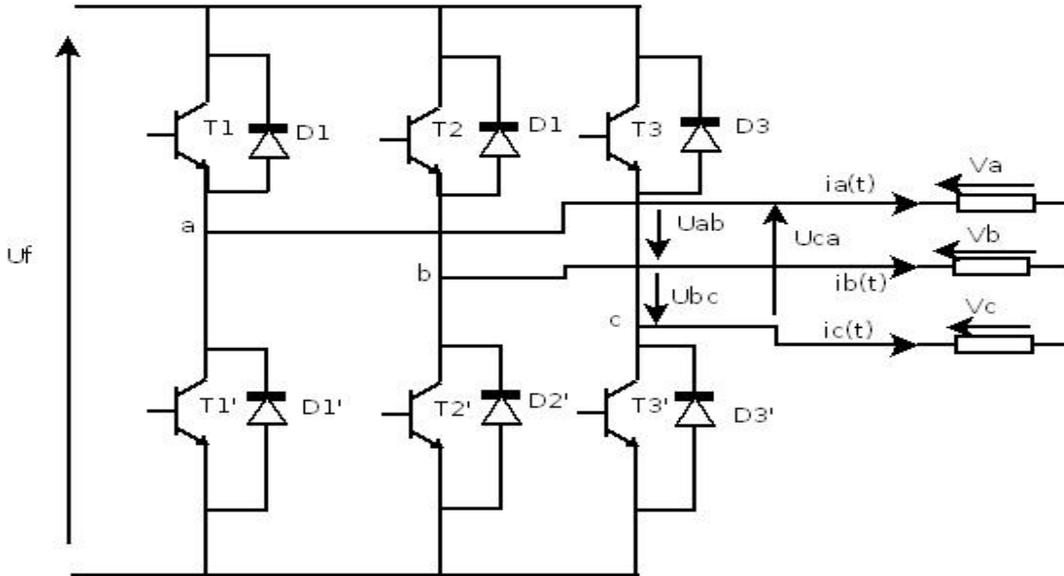


Figure (II.14) : Schéma représentatif d'un onduleur de tension triphasé

V_a, V_b, V_c : les tensions simple délivrées d'un par l'onduleur.

U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} : les tensions composées par l'onduleur.

$$\begin{cases} U_{ab} = V_a - V_b \\ U_{bc} = V_b - V_c \\ U_{ca} = V_c - V_a \end{cases} \quad (II.30)$$

Ou les tensions simples ont données par :

$$\begin{cases} V_a = \frac{1}{3} (U_{ab} - U_{ca}) \\ V_b = \frac{1}{3} (U_{bc} - U_{ab}) \\ V_c = \frac{1}{3} (U_{ca} - U_{bc}) \end{cases} \quad (II.31)$$

Etant donné que chaque bras de l'onduleur est le résultat d'un transistor et d'une diode shunté en antiparallèle, cela correspondrait à un composant bidirectionnel.

Le schéma simplifié d'un onduleur de tension commandé en tension peut être représenté comme suit :

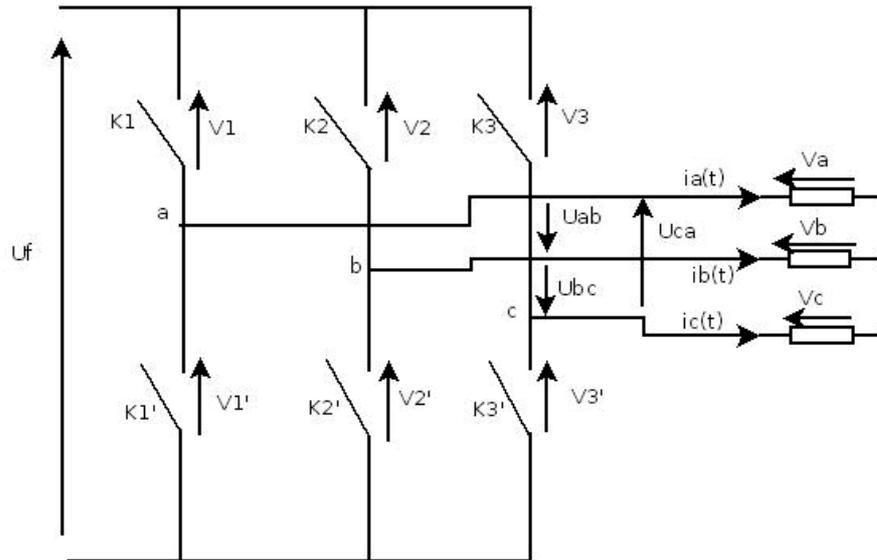


Figure (II-15) : schéma simplifié d'un onduleur de tension commandé en tension.

Soit F_i une fonction logique associée à l'interrupteur K_i définie comme suit :

$$F_i = \begin{cases} 1 & \text{si } K_i \text{ fermé} \\ 0 & \text{si } K_i \text{ ouvert} \end{cases}, i=1, 2, 3$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } F_1=1 \Rightarrow V_1=0 \\ \text{Si } F_1=0 \Rightarrow V_1=U_f \end{array} \right\} \Rightarrow V_1 = (F_1-1) U_f$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } F_2=1 \Rightarrow V_2=0 \\ \text{Si } F_2=0 \Rightarrow V_2=U_f \end{array} \right\} \Rightarrow V_2 = (F_2-1) U_f$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } F_3=1 \Rightarrow V_3=0 \\ \text{Si } F_3=0 \Rightarrow V_3=U_f \end{array} \right\} \Rightarrow V_3 = (F_3-1) U_f$$

Nous avons :

$$U_{ab} = V_1 - V_2 \Rightarrow U_{ab} = (F_1 - F_2) U_f$$

$$U_{bc} = V_2 - V_3 \Rightarrow U_{bc} = (F_2 - F_3) U_f$$

$$U_{ca} = V_3 - V_1 \Rightarrow U_{ca} = (F_3 - F_1) U_f$$

Ce qui donne sous forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} U_{ab} \\ U_{bc} \\ U_{ca} \end{bmatrix} = U_f \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{bmatrix} \quad (\text{II.32})$$

En considérant que (V_a, V_b, V_c) forment un système équilibré, nous avons :

$$V_a + V_b + V_c = 0 \quad (\text{II.33})$$

Ce qui nous permet d'écrire :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{ab} \\ U_{bc} \\ U_{ca} \end{bmatrix} \quad (\text{II.34})$$

En remplaçant la formule (II.32) dans (II.34), on aura :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} U_f \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{bmatrix} \quad (\text{II.35})$$

Ø Signaux de commandes de l'onduleur :

Figure (II-16) : représente le tracé des signaux de commandes des interrupteurs constituant l'onduleur.

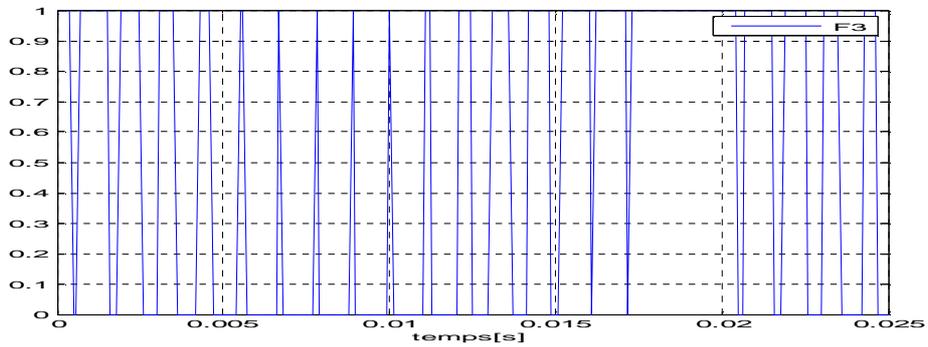
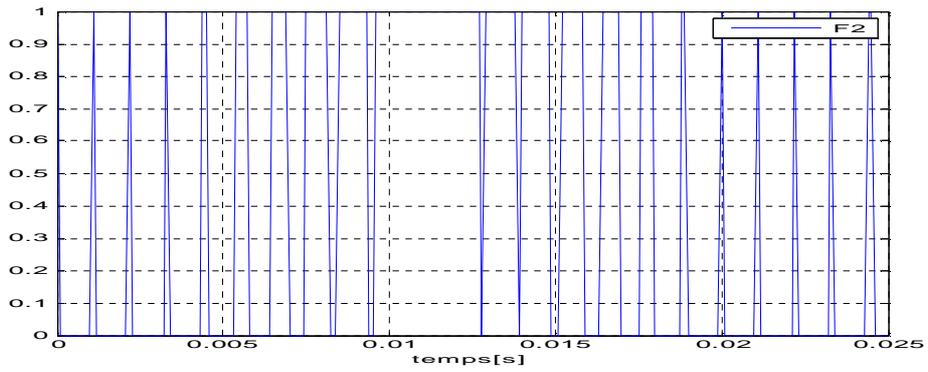
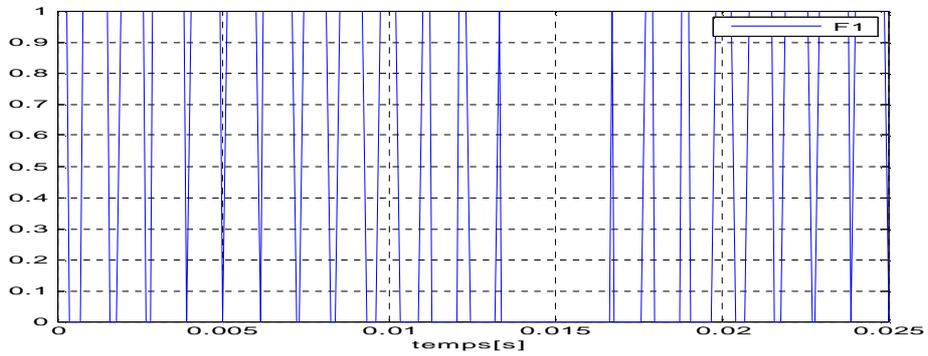
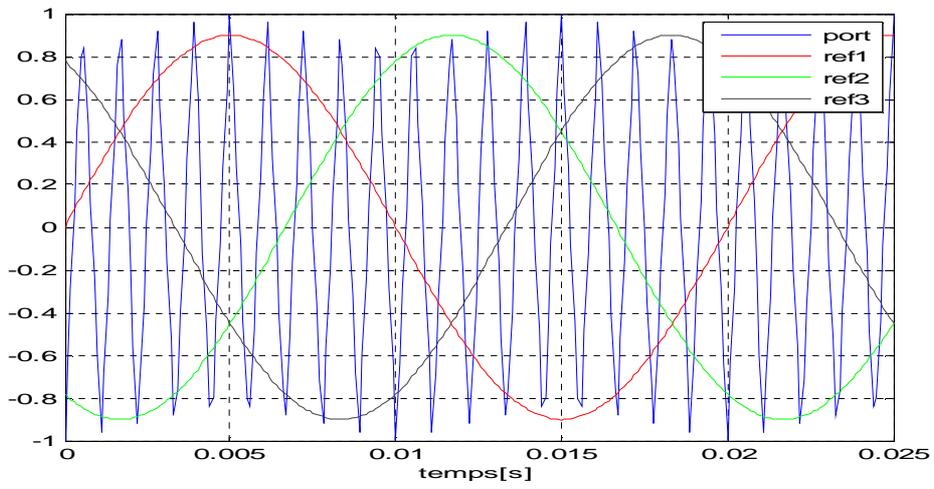
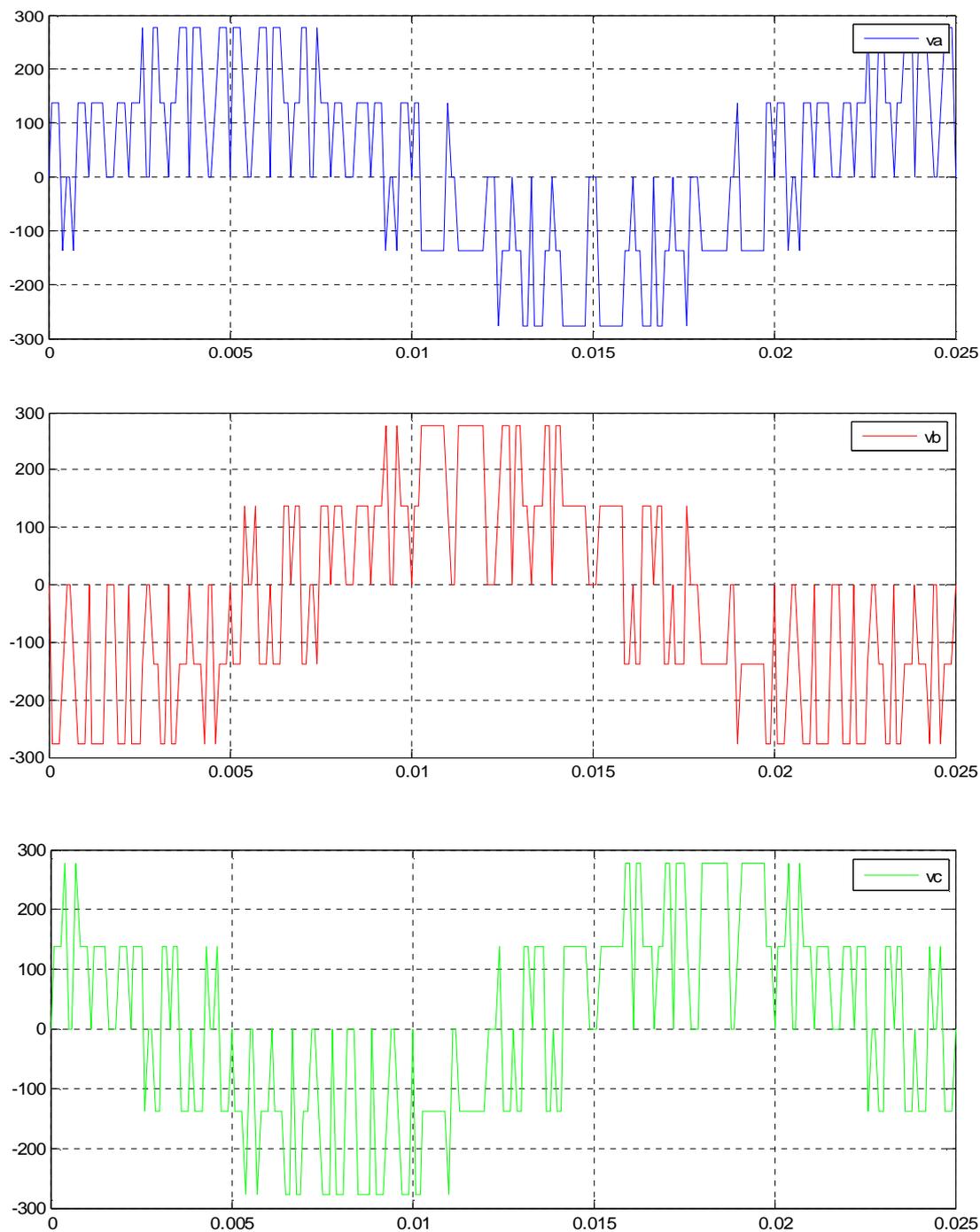


Figure (II.17) : Tension à la sortie de l'onduleur.



II-4-Modélisation de la machine asynchrone :

II-4-1-Introduction :

La modélisation est la description mathématique d'un processus technique d'un système c'est une étape très importante de l'étude préliminaire.

Les phénomènes électromagnétiques mis en jeu dans la machine asynchrone sont généralement très complexes et leurs formulations mathématiques est difficile.

La mise en équation de la machine est basée de simplifications représentées par la transformation de PARK, CLARK et CONCORDIA.

Dans notre étude nous utiliserons la transformation de PARK pour la facilité et la souplesse de son modèle.

Dans ce chapitre nous modélisons la machine asynchrone a bagues .avec des hypothèses simplificatrices, pour cela on doit établir les équations générale de la machine asynchrone.

II-4-2- Hypothèses simplificatrices :

- Le circuit magnétique est non saturé, il est parfaitement feuilleté au stator et au rotor, seuls les conducteurs sont parcourus par des courants (les courants de Foucault sont négligeables).
- La densité de courant est uniforme dans la section des conducteurs (l'effet de peau est négligé).
- La f.m.m créée par chaque phase du stator et du rotor est a distribution spatiale (le long de l'entrefer) sinusoïdale (on ne considère que le premier harmonique).les inductances propres sont par conséquent constantes et les inductances mutuelles sont des fonctions sinusoïdales des angles que font les axes magnétiques.

II-4-3- Convention de signe :

La machine asynchrone est majoritairement utilisée en moteur.

- Un courant positif crée à travers son propre enroulement un flux positif.
- Une f.e.m positif fait circuler un courant positif.
- Les angles et les vitesses sont comptés positivement dans le sens trigonométriques.
- Le stator est considéré comme générateur et le rotor comme récepteur [29].

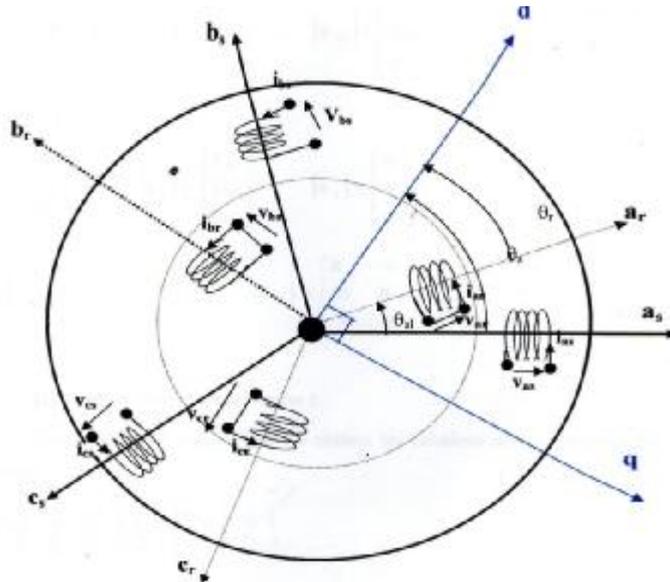


Figure (II-18) : schéma de représentation de la machine asynchrone.

II-4-3-1- Les équations électriques :

Les équations électriques sont données sous les formes matricielles suivantes :

$$[Va] = [Ra][Is] + \frac{d}{dt} [\varphi s] \tag{II.36}$$

$$[Vr] = [Rr][Ir] + \frac{d}{dt} [\varphi sr] \tag{II.37}$$

$$[Vs] = \begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix}, [Is] = \begin{bmatrix} I_{as} \\ I_{bs} \\ I_{cs} \end{bmatrix}, [\varphi as] = \begin{bmatrix} \varphi_{as} \\ \varphi_{bs} \\ \varphi_{cs} \end{bmatrix} \tag{II.38}$$

$$[Vr] = \begin{bmatrix} V_{ar} \\ V_{br} \\ V_{cr} \end{bmatrix}, [Ir] = \begin{bmatrix} I_{ar} \\ I_{br} \\ I_{cr} \end{bmatrix}, [\varphi ar] = \begin{bmatrix} \varphi_{ar} \\ \varphi_{br} \\ \varphi_{cr} \end{bmatrix} \tag{II.39}$$

$$[Rs] = \begin{bmatrix} Rs & 0 & 0 \\ 0 & Rs & 0 \\ 0 & 0 & Rs \end{bmatrix} \quad (\text{II.40})$$

II-4-3-2- Equations magnétiques :

Des hypothèses précédentes on obtient les relations suivantes entre les flux et les courants :

$$[\varphi_s] = [L_{ss}][I_s] + [M_{sr}][I_r] \quad (\text{II.41})$$

$$[\varphi_r] = [L_{rr}][I_r] + [M_{rs}][I_s] \quad (\text{II.42})$$

$$[L_{ss}] = \begin{bmatrix} L_{as} & M_{as} & M_{as} \\ M_{as} & L_{as} & M_{as} \\ M_{as} & M_{as} & L_{as} \end{bmatrix} \quad (\text{II.43})$$

L_{ss} : Inductance propre d'une phase de l'enroulement statorique.

M_{as} : Inductance mutuelle entre deux phases de l'enroulement statorique.

$$[L_{rr}] = \begin{bmatrix} L_{ar} & M_{ar} & M_{ar} \\ M_{ar} & L_{ar} & M_{ar} \\ M_{ar} & M_{ar} & L_{ar} \end{bmatrix} \quad (\text{II.44})$$

L_{rr} : Inductance propre d'une phase de l'enroulement rotorique.

M_{ar} : Inductance mutuelle entre deux phases de l'enroulement rotorique.

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^t = M_{sr} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (\text{II.45})$$

M_{sr} : Inductance mutuelle maximale entre une phase de l'enroulement statorique et une phase de l'enroulement rotorique.

II-4-3-3 -Equations mécaniques :

Le fonctionnement d'une charge mécanique en rotation est régi par l'équation fondamentale suivante :

$$C_{em}-C_r=J \frac{d\Omega_r}{dt}+f\Omega_r \quad (\text{II.46})$$

Avec:

$$\Omega_r = \frac{W_r}{P}$$

Ω_r : Pulsation mécanique du rotor.

W_r : Pulsation électrique du rotor.

II-4-4- Modèle de Park :**II-4-4-1- Transformation de Park :**

La transformation de Park consiste à appliquer aux courants, tensions et flux un changement de variables faisant intervenir l'angle θ entre l'axe des enroulements et les axes d et q.

La matrice de Park est donnée par :

$$P(\theta) = \frac{3}{2} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \sin(\theta) & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (\text{II.47})$$

La matrice inverse de Park est donnée par:

$$[P(\theta)]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 1 \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.48})$$

Le changement de variable relative aux courants, tensions et flux est donnée par :

$$\begin{bmatrix} Xd \\ Xq \\ Xo \end{bmatrix} = P(\theta) \begin{bmatrix} Xa \\ Xb \\ Xc \end{bmatrix} \text{ alors; } \begin{bmatrix} Xa \\ Xb \\ Xc \end{bmatrix} = [P(\theta)]^{-1} \begin{bmatrix} Xd \\ Xq \\ Xo \end{bmatrix} \quad (\text{II.49})$$

X : représente soit le courant, la tension ou le flux.

II-4-4-2- Application du modèle de Park à la machine asynchrone triphasée:

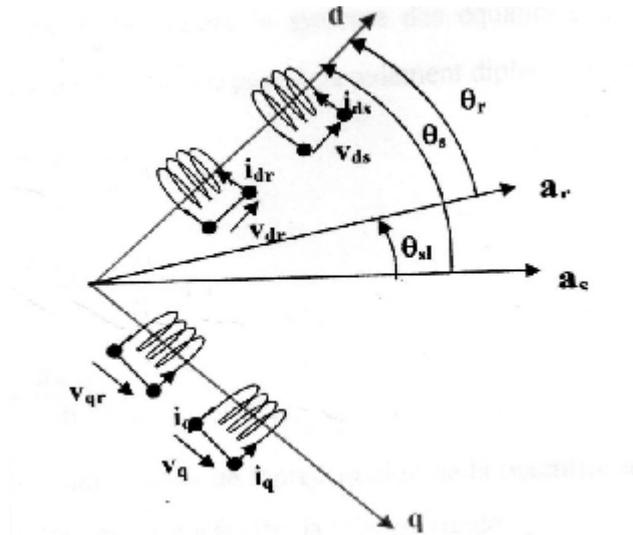


Figure (II-19) : représentation des enroulements statoriques et rotoriques de la machine.

II-4-4-3- Equations électriques d'un enroulement triphasé dans les axes d et q :

L'équation suivante est généralement à trois phases repérées par les indices a , b et c qu'elles soient statorique ou rotoriques.

$$[Vabc] = [R][Iabc] + \frac{d}{dt} [\varphi abc] \quad (\text{II.50})$$

$$[R] = \begin{bmatrix} r & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & r \end{bmatrix}, \text{ r peut être la résistance statorique ou rotorique.}$$

En appliquant à l'équation (II-36) la transformation $[P(\theta)]$:

$$P(\theta)^{-1} [V_{dqo}] = [R] P(\theta)^{-1} [i_{dqo}] + \frac{d}{dt} (P(\theta)^{-1} [\varphi_{dqo}]) \quad (\text{II.51})$$

En multipliant (II-51) par $P(\theta)$:

$$[V_{dqo}] = [R] [i_{dqo}] + \frac{d}{dt} [\varphi_{dqo}] + P(\theta) \left(\frac{dP(\theta)^{-1}}{dt} \right) \varphi_{dqo} \quad (\text{II.52})$$

On démontre que :

$$P(\theta) \frac{d(P(\theta)^{-1})}{dt} = \frac{d\theta}{dt} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.53})$$

Finalement on obtient le système des équations de Park qui constitue ainsi un modèle électrique dynamique pour l'enroulement diphasé équivalent :

$$V_d = r i_d + \frac{d\varphi_d}{dt} - \frac{d\theta}{dt} \varphi_q \quad (\text{II.54})$$

$$V_q = r i_q + \frac{d\varphi_q}{dt} + \frac{d\theta}{dt} \varphi_d \quad (\text{II.55})$$

$$V_o = r i_o + \frac{d\varphi_o}{dt} \quad (\text{II.56})$$

A partir du schéma de représentation de la machine asynchrone on Remarque que θ_s et θ_r sont naturellement liée à θ_{sl} par la relation rigide :

$$\theta_s - \theta_r = \theta_{sl} \quad .$$

Avec:

θ_s : l'angle électrique (\vec{as}, \vec{od}) .

θ_r : l'angle électrique (\vec{ar}, \vec{od}) .

Les relations entre les flux d'axes d, q, o et les flux d'axes a, b, c :

$$[\varphi_{sdqo}] = [P(\theta_s)] [\varphi_{sabc}] \quad (\text{II.57})$$

$$[\varphi_{rdqo}] = [P(\theta_r)] [\varphi_{rabc}] \quad (\text{II.58})$$

En développant les expressions des flux, elles deviennent :

Au stator :

$$[\varphi_{sdqo}] = [P(\theta_s)]([L_s][i_{sabc}] + [M_{sr}][i_{rabc}]) \quad (\text{II.59})$$

Où

$$[\varphi_{Sdqo}] = [P(\theta_s)][L_s][P(\theta_s)^{-1}][i_{rabc}] + [P(\theta_s)][M_{sr}][P(\theta_s)^{-1}][i_{rabc}] \quad (\text{II.60})$$

Au rotor:

$$[\varphi_{rdqo}] = [P(\theta_r)]([M_r][i_{sabc}] + [M_{rs}][i_{rabc}]) \quad (\text{II.61})$$

Où

$$[\varphi_{Sdqo}] = [P(\theta_s)][L_s][P(\theta_s)^{-1}][i_{rabc}] + [P(\theta_s)][M_{sr}][P(\theta_s)^{-1}][i_{rabc}] \quad (\text{II.62})$$

Après long calcul on aboutit à la relation matricielle suivante entre les vecteurs flux et courants d'axes d, q, o :

$$\varphi_{sd} = (I_s - M_s)(i_{sd}) + \frac{3}{2} M_{sr}(i_{rd}) \quad (\text{II.63})$$

$$\varphi_{sq} = (I_s - M_s)(i_{sq}) + \frac{3}{2} M_{sr}(i_{rq}) \quad (\text{II.64})$$

$$\varphi_{so} = (I_s + 2M_s)(i_{so}) \quad (\text{II.65})$$

$$\varphi_{rd} = \frac{3}{2} M_{sr}(i_{sd}) + (I_r - M_r)(i_{rd}) \quad (\text{II.66})$$

$$\varphi_{rq} = \frac{3}{2} M_{sr}(i_{sq}) + (I_r - M_r)(i_{rq}) \quad (\text{II.67})$$

$$\varphi_{ro} = (I_r + 2M_r)(i_{ro}) \quad (\text{II.68})$$

$L_s = I_s - M_s$: l'inductance cyclique statorique.

$L_r = I_r - M_r$: l'inductance cyclique rotorique.

$M = \frac{3}{2} M_{sr}$: l'inductance mutuelle cyclique entre stator et rotor.

$L_{rs} = I_s + 2M_s$: l'inductance homo polaire statorique.

$L_{rs} = I_r + 2M_r$: l'inductance homo polaire rotorique.

- La somme des courants statorique et rotoriques est nulle et les composantes homopolaires sont nulles.
- Les flux d'axes d et q sont définis par les trois paramètres constants L_s , L_r et M reliés aux courants par la relation suivante :

$$\varphi_{sd} = L_s i_{sd} + M i_{rd} \quad (\text{II.69})$$

$$\varphi_{sq} = L_s i_{sq} + M i_{rq} \quad (\text{II.70})$$

$$\varphi_{rd} = M i_{sd} + L_r i_{rd} \quad (\text{II.71})$$

$$\varphi_{rq} = M i_{sq} + L_r i_{rq}$$

II-4-4-4-Les équations des tensions :

$$V_{sd} = R_s i_{sd} + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \left(\frac{d\theta_s}{dt}\right) \varphi_{sd} \quad (\text{II.72})$$

$$V_{sq} = R_s i_{sq} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} - \left(\frac{d\theta_s}{dt}\right) \varphi_{sq} \quad (\text{II.73})$$

$$V_{rd} = R_r i_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - \left(\frac{d\theta_r}{dt}\right) \varphi_{rd} \quad (\text{II.74})$$

$$V_{rq} = R_r i_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} - \left(\frac{d\theta_r}{dt}\right) \varphi_{rq} \quad (\text{II.75})$$

II-4-5- Choix du référentiel :

Le référentiel est un système associé à la vitesse de rotation choisie selon ses variations. Trois types de référentiels sont intéressants en pratique, le choix se fait en fonction du problème étudié.

II-4-5-1- Référentiel immobile lié au stator :

Il se traduit par les conditions :

$$\frac{d\theta_s}{dt} = 0, \quad \frac{d\theta_r}{dt} = -\omega_r$$

D'où les équations électromagnétiques:

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{sd} \\ \varphi_{sq} \end{bmatrix} \quad (\text{II.76})$$

$$\begin{bmatrix} V_{dr} \\ V_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 \\ 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{dr} \\ \varphi_{qr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_r \\ \omega_r & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{dr} \\ \varphi_{qr} \end{bmatrix} \quad (\text{II.77})$$

Ce référentiel est choisi de préférence en vue d'étudier des variations importantes de la vitesse de rotation associée ou non avec de la fréquence d'alimentation.

II-4-5-2-Référentiel immobile lié au rotor :

Il se traduit par les conditions :

$$\frac{d\theta_s}{dt} = \omega_r, \quad \frac{d\theta_r}{dt} = 0.$$

D'où les équations électromagnétiques :

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{sd} \\ \varphi_{sq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_r \\ \omega_r & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{sd} \\ \varphi_{sq} \end{bmatrix} \quad (\text{II.78})$$

$$\begin{bmatrix} V_{dr} \\ V_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 \\ 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{dr} \\ \varphi_{qr} \end{bmatrix} \quad (\text{II.79})$$

Ce référentiel est choisi de préférence dans les problèmes de régime transitoire où la vitesse de rotation est considérée comme constante.

II-4-5-3-Référentiel immobile par rapport au champ tournant :

Il se traduit par les conditions :

$$\frac{d\theta_s}{dt} = \omega_s, \quad \frac{d\theta_r}{dt} = \omega_s - \omega_r = \omega_{sl}.$$

D'où les équations électromagnétiques :

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{sd} \\ \varphi_{sq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_r \\ \omega_r & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{sd} \\ \varphi_{sq} \end{bmatrix} \quad (\text{II.80})$$

$$\begin{bmatrix} V_{dr} \\ V_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 \\ 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{dr} \\ \varphi_{qr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_r \\ \omega_r & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{dr} \\ \varphi_{qr} \end{bmatrix} \quad (\text{II.81})$$

Ce référentiel est le seul qui n'introduit pas de simplification dans la formule des équations électriques ce référentiel est utilisé dans l'étude de l'alimentation des moteurs asynchrone à fréquence variable.

II-4-5-4-L'équation de la puissance mécanique et du couple mécanique :

$$p_m = (\varphi_{ds} i_{qs} - \varphi_{qs} i_{ds}) \left(\frac{d\theta_s}{dt}\right) + (\varphi_{rd} i_{rd} - \varphi_{rq} i_{ds}) \left(\frac{d\theta_r}{dt}\right) \tag{II.82}$$

$$p_m = (\varphi_{ds} i_{qs} - \varphi_{qs} i_{ds}) \frac{d(\theta_s - \theta_r)}{dt} \tag{II.83}$$

$$p_m = c_e \Omega = c_e \frac{\omega}{p}$$

On tire l'expression scalaire du couple :

$$c_e = p (\varphi_{ds} i_{qs} - \varphi_{qs} i_{ds}) \tag{II.84}$$

dans le système d'axe d,q on définit les vecteurs flux statorique $\vec{\varphi_s}$ et courant statorique $\vec{I_s}$ de composantes :

$$\vec{\varphi_s} = \left(\varphi_{ds} \sqrt{\frac{2}{3}}, \varphi_{sq} \sqrt{\frac{2}{3}} \right), \quad \vec{I_s} = \left(i_{sd} \sqrt{\frac{2}{3}}, i_{sq} \sqrt{\frac{2}{3}} \right)$$

Donc le couple électromagnétique $\vec{c_e}$ égal a un produit vectoriel :

$$\vec{c_e} = \frac{3}{2} p [\vec{\varphi_s} \wedge \vec{I_s}]$$

Différentes manipulation de l'équation fondamentale (II.84), procédant d'un choix d'élimination de certaines variables des équations des flux (II.81), peuvent conduire a d'autres expression du couple [30].pour notre simulation on choisi l'expression suivante :

$$c_e = p \left(\frac{M}{L_r}\right) (\varphi_{dr} i_{qs} - \varphi_{qr} i_{ds}) \rightarrow c_e = \frac{3}{2} p \left(\frac{M}{L_r}\right) [\vec{\varphi_s} \wedge \vec{I_s}]$$

II-4-5-5- Représentation d'état de la machine asynchrone :

La représentation d'état permet de donner une description plus détaillé d'un système.

En fonction du choix des variables d'état plusieurs modèles d'état de la machine asynchrone alimentée en tension peuvent êtres développés.

- Les grandeurs de commande principale sont alors V_{sd}, V_{sq} et w_s .

- C_r comme perturbation.
- $i_{ds}, i_{qs}, \varphi_{rd}, \varphi_{rq}$ et w_r comme variable d'état .

On exprime ces variables d'état en fonction des grandeurs de commande choisies.

La représentation d'état est donnée sous forme suivante :

$$\frac{dx}{dt} = AX + BU.$$

A : matrice d'évolution du système.

X : matrice d'état . $X = (i_{ds}, i_{qs}, \varphi_{rd}, \varphi_{rq}, w_r)$.

B : vecteur de commande.

U : vecteur d'entrée tension.

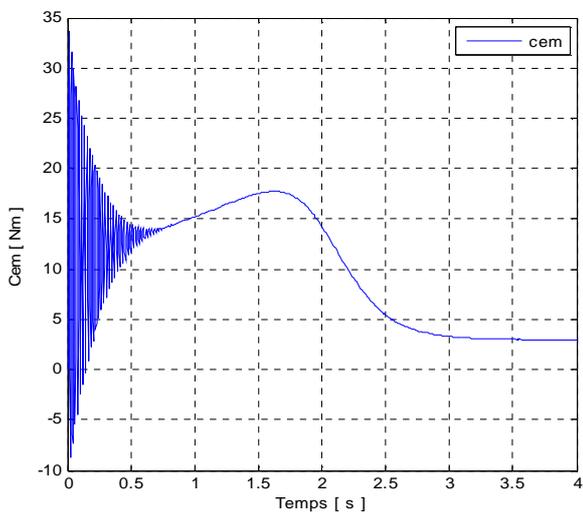
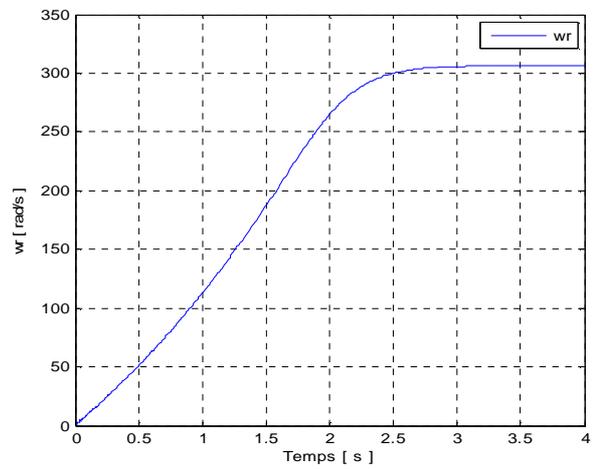
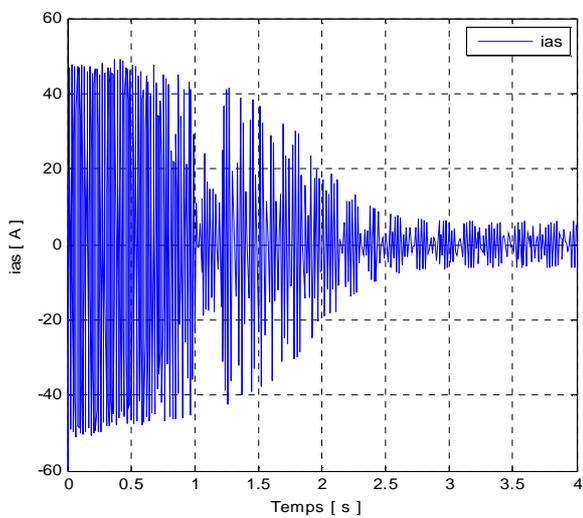
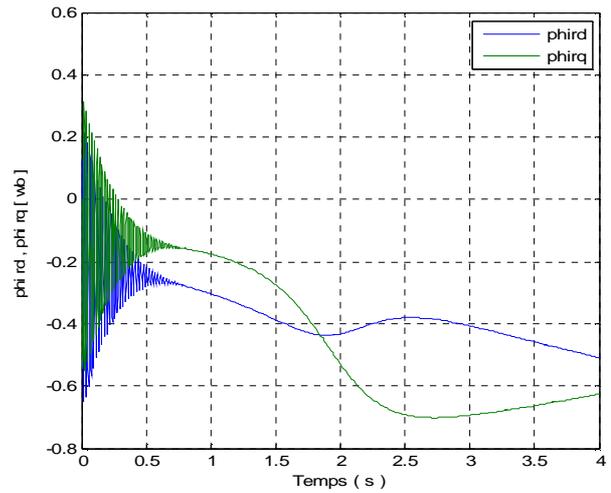
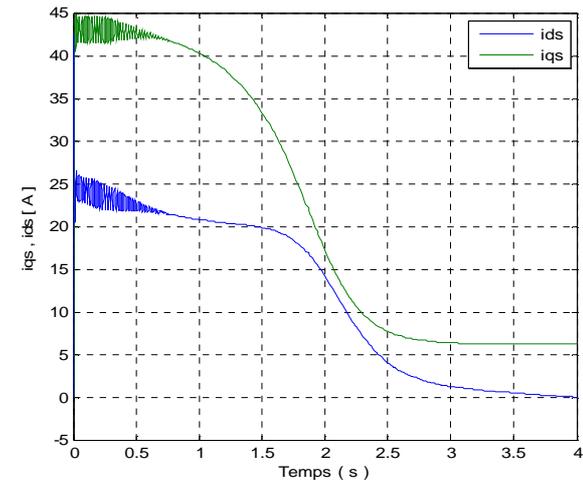
Pour obtenir la représentation d'état nous devons remplacer $\varphi_{sd}, \varphi_{sq}$ en fonction de $\varphi_{rd}, \varphi_{rq}$.

$$X = \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ \varphi_{rd} \\ \varphi_{rq} \end{bmatrix} \quad U = \begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{sq} \end{bmatrix} \quad , \quad B = \frac{1}{\sigma \cdot L_s} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} -\left(\frac{1}{\sigma \cdot T_s} + \frac{1-\sigma}{Tr \cdot \sigma}\right) & W_s & \left(\frac{1-\sigma}{M \cdot Tr \cdot \sigma}\right) & \left(\frac{1-\sigma}{M \cdot \sigma}\right) W_r \\ -W_s & -\left(\frac{1}{\sigma \cdot T_s} + \frac{1-\sigma}{Tr \cdot \sigma}\right) & -\left(\frac{1-\sigma}{M \cdot \sigma}\right) W_r & \left(\frac{1-\sigma}{M \cdot \sigma}\right) \\ \frac{M}{Tr} & 0 & -\frac{M}{Tr} & W_s l \\ 0 & \frac{M}{Tr} & W_s L & \frac{l}{Tr} \end{bmatrix}$$

II-4-5-6 simulation :

Les résultats de la simulation sont donnés par les figures suivantes (II-20) à vide:



II-5-Modélisation de la pompe centrifuge :

II-5-1-Caractéristique débit-vitesse :

Le débit de cette pompe est proportionnel à la vitesse de rotation du moteur. Toutefois il faut une vitesse minimale à une Hm donnée pour obtenir un débit [31].

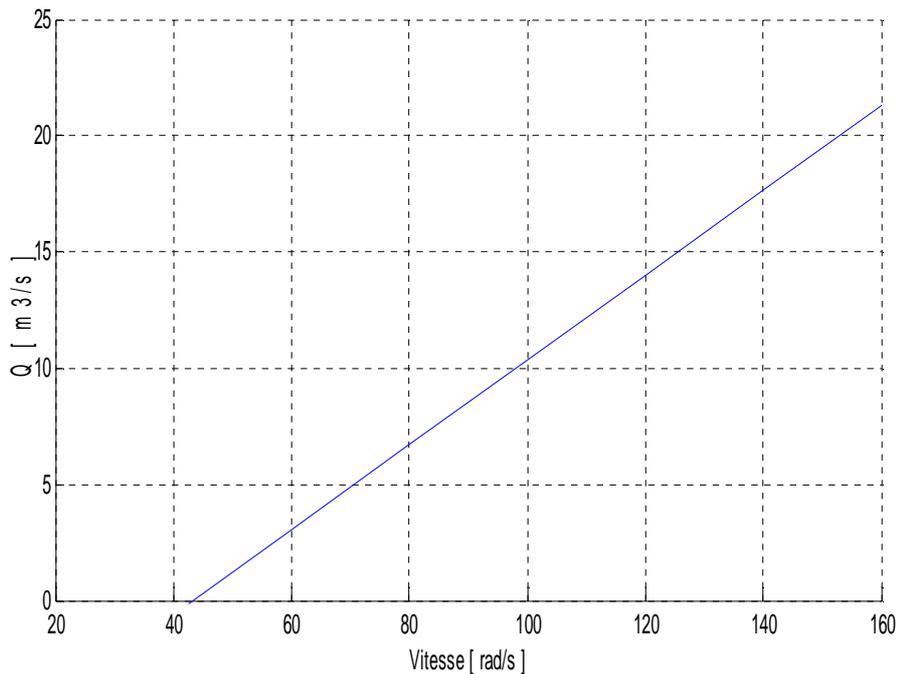


Figure (II-21) : caractéristique débit-vitesse.

II-5-2-Caractéristique couple-vitesse :

La pompe centrifuge oppose un couple C_r [22] :

$$C_r = k_r W^2 + C_s \quad (\text{II-85})$$

Avec : K_r : coefficient de proportionnalité $[(N_m/\text{rad}\cdot\text{s}^{-1})]$.

C_s : représente le couple statique [Nm].

W : Vitesse de rotation [rd/s].

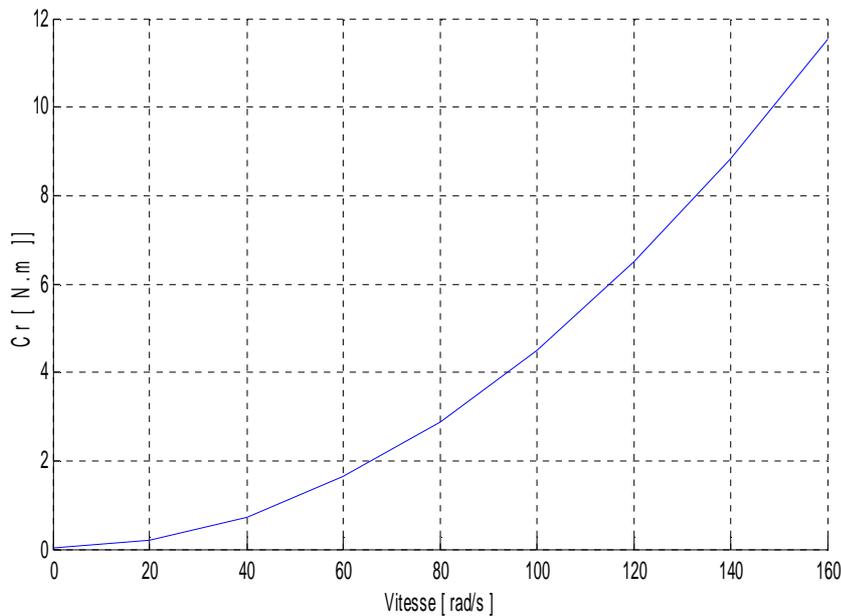


Figure (II-22) : Caractéristique couple-vitesse.

L'équation de puissance mécanique de la pompe est aussi déterminée en fonction de la vitesse est donnée par la relation suivante [24]:

$$P_{\text{méc}} = K_p \cdot W^3 \quad (\text{II-86})$$

II-5-3-Caractéristique débit-hauteur :

La courbe débit hauteur, ou courbe Q-H, exprime les variations de différentes hauteurs de relèvement en fonction du débit. Les constructeurs sont en mesure de fournir au client les courbes Q-H maximale et minimale correspondant aux diamètres maximaux et minimaux possibles de la roue. Dans cette application, elle est caractérisée par un modèle qui sert à déterminer la dépendance de la hauteur manométrique totale H en fonction du débit Q. En prenant comme paramètre la vitesse de rotation de moteur, le modèle utilisé est identifié par l'expression de « PELEIDER-PETERMAN » [32] :

$$H_m = C_1 W^2 - C_2 WQ - C_3 Q^2 \quad (\text{II-87})$$

Avec :

H_m : Hauteur manométrique[m].

C_1, C_2 et C_3 : Des constantes de la pompe données par le constructeur.

W : La vitesse de rotation [rad /s].

Q : Le débit [m^3/s].

- Un cas particulier de cette équation se présente lorsque la quantité d'eau est nulle :

$$H_m = C_1 W^2 \quad (\text{II-88})$$

Alors la caractéristique Q-H peut être tracé et la caractéristique résistante

Q-H de la canalisation est ensuite déterminée, cette dernière se met sous la forme suivante :

$$H_m = H_g + \Delta H \quad (\text{II89})$$

Avec : H_g : Hauteur géométrique, égale a la différence des hauteurs entre les niveaux libres du liquide coté d'aspiration et coté refoulement.

ΔH : Désigne la somme de toutes les pertes de charges due au frottement du fluide contre les parois et divers changements de sections.

$$\Delta H = k_h Q^2 \quad (\text{II-90})$$

Avec :

k_h : constante donnée de la pompe.

La courbe $H_m(Q)$ comme est indiquée sur la figure (II-23), est une demi-parabole. Le point de rencontre de la courbe $H_m(Q)$ avec l'axe des ordonnées est le point à débit nul.

On l'appelle point à vanne fermée. Le point de fonctionnement de la pompe est le point d'intersection des deux courbes, de la pompe et celle de la canalisation.

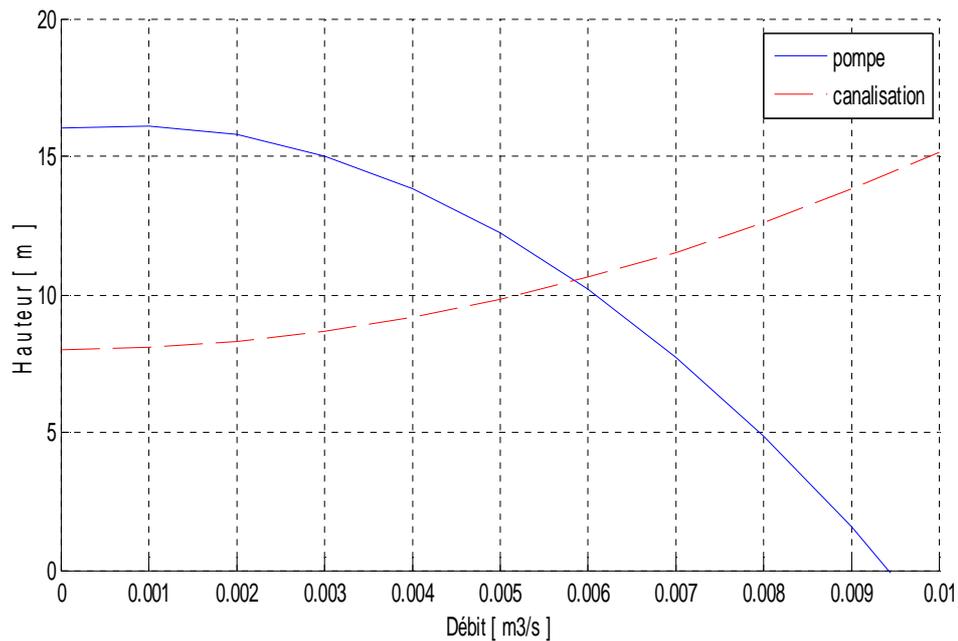


Figure (II-23) : caractéristique débit-hauteur

II-5-4-caractéristique de la puissance :

Une pompe est une machine qui fournit de l'énergie à un fluide en vue de son déplacement d'un point à un autre. L'expression générale de la puissance hydraulique en watt est donnée comme suit [22] :

$$P_H = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m \quad (\text{II-91})$$

Avec :

ρ : La masse volumique de l'eau étant de 1000 Kg/m^3 .

g : Accélération de la pesanteur $g=9.81 \text{ m/s}^2$.

Q : Débit d'eau [m^3/s].

H_m : Hauteur manométrique[m].

L'autre expression à considérer est celle de la puissance en watt absorbée par une pompe, c'est-à-dire la puissance nécessaire pour son entraînement mécanique qui est exprimé par :

$$P_a = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m / \eta_p \quad (\text{II-92})$$

η_p : le rendement de la pompe.

II-5-5-Rendement :

Comme toute machine entraînée, une pompe consomme une puissance supérieure à celle qu'elle fournit. Le rendement d'une telle machine est le rapport de la puissance hydraulique acquise par le fluide à celle disponible sur l'arbre [2]:

$$\eta_p = P_{\text{hydraulique}} / P_{\text{arbre}} \quad (\text{II-93})$$

Généralement le rendement maximal du groupe motopompe ne dépasse pas 72%.



Chapitre III
Dimensionnement d'un système de pompage
Photovoltaïque

III-Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque :

III-1-Introduction :

Dans ce chapitre on va dimensionner un système de pompage photovoltaïque, avec un degré de précision acceptable. Les facteurs les plus importants de cette approche devront être estimés soigneusement afin d'obtenir un dimensionnement satisfaisant.

III-2-Dimensionnement du champ photovoltaïque :

- **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 et de l'énergie hydraulique nécessaire.

- **Inclinaison du générateur photovoltaïque :**

L'inclinaison β des modules photovoltaïques (PV) par rapport au plan horizontal doit se faire de manière à optimiser le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire.

- **Mois de dimensionnement :**

Le mois de dimensionnement sera le mois le plus défavorable, c'est-à-dire celui dont le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire soit minimum. Comme idée de principe, à chaque inclinaison β , correspond un mois le plus défavorable. Le mois de dimensionnement à l'inclinaison optimale sera précisément celui qui présente le plus petit rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique. L'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaires correspondantes à ce mois serviront pour le choix des composantes du système [33].

- **Evaluation de l'énergie moyenne journalière requise par la charge [34] :**

La consommation moyenne nécessaire pour le fonctionnement des équipements en (Wh/j) est donnée par la formule suivante :

$$C_j = \sum P \cdot h$$

Avec :

P : La puissance électrique consommée par la charge (en W).

h : La durée d'utilisation quotidienne moyenne (en h)

- **Estimation du nombre de module en séries :**

Le nombre de module en série est :

$$N_s = \frac{U}{U_n}$$

U : Tension d'installation en V.

U_n : Tension nominale d'un module en V.

- **Estimation du nombre de branche en parallèle :**

$$N_p = \frac{N}{N_s}$$

N_p : Nombre de module en parallèle.

N : Nombre de module.

- **Calcul de la puissance du générateur :**

La puissance crête délivré par le générateur est :

$$P_c = N_s * N_p * P_{cm}$$

P_{cm} : Puissance crête d'un module.

P_c : Puissance crête d'un générateur.

- **Calcul de la surface totale du générateur :**

La surface totale occuper par le champ sur le sol ou le toi est :

$$S = N * S_m$$

S_m : C'est la surface d'un module en m².

N : Nombre de module.

III-3-Dimensionnement du moteur :

Le moteur utilisé est un moteur asynchrone à cage triphasé, d'une puissance de 3.5KW.

Le moteur doit être capable de supporter la puissance crête du générateur photovoltaïque.

III-4-Dimensionnement de la pompe centrifuge :

Le débit crête Q [m^3/h] est calculé par la relation suivante [33] :

$$Q = \frac{3.6 Ph}{g h}$$

Où :

Ph : Puissance hydraulique nécessaire [W].

g : Accélération de la pesanteur [$9.81 m/s^2$].

h : Hauteur manométrique totale[m].

III-5-Dimensionnement de la tuyauterie :

Le diamètre des tuyauteries peut être estimé en utilisant des tableaux ou des graphes qui expriment les pertes par frottement en fonction du débit pour chaque diamètre de la tuyauterie le diamètre le plus économique seront celui qui réduit au minimum la somme des coûts de la tuyauterie et de l'énergie perdue par frottement.

Il est possible d'obtenir analytiquement les diamètres des tuyauteries de pompage qui approxime à ceux qui minimisent les coûts des installations par la formule suivante [35] :

$$D = K\sqrt{Q}$$

D : Diamètre de la tuyauterie [m].

K : Coefficient qui varie de 0.75 à 1.4.

Q : Débit crête de la pompe.

On choisit la valeur de K équivalent à fixer la vitesse moyenne du fluide (V) :

$$V = \frac{4}{p K^2}$$

Le débit est exprimé dans l'équation suivante :

$$Q = \frac{p D^2}{4} V$$

III-6- perte de charge :

La perte de charge est la perte de pression qui se manifeste au fur et à mesure de l'avancement du fluide. Elle est définie comme étant la résistance à l'écoulement et à l'avancement du fluide à cause de la rugosité des surfaces des canalisations.

Pour une conduite rectiligne [32] :

$$H = \frac{K L V^2}{D}$$

$K=0.0015$ (une conduite ancienne).

$K=0.0020$ (une conduite neuve fente).

Les accessoires :

C'est les obstacles de courte longueur, vanne, soupape, crépine ...

Seulement le nombre d'accessoire et en vitesse qui interviennent :

$$H = n K V^2$$

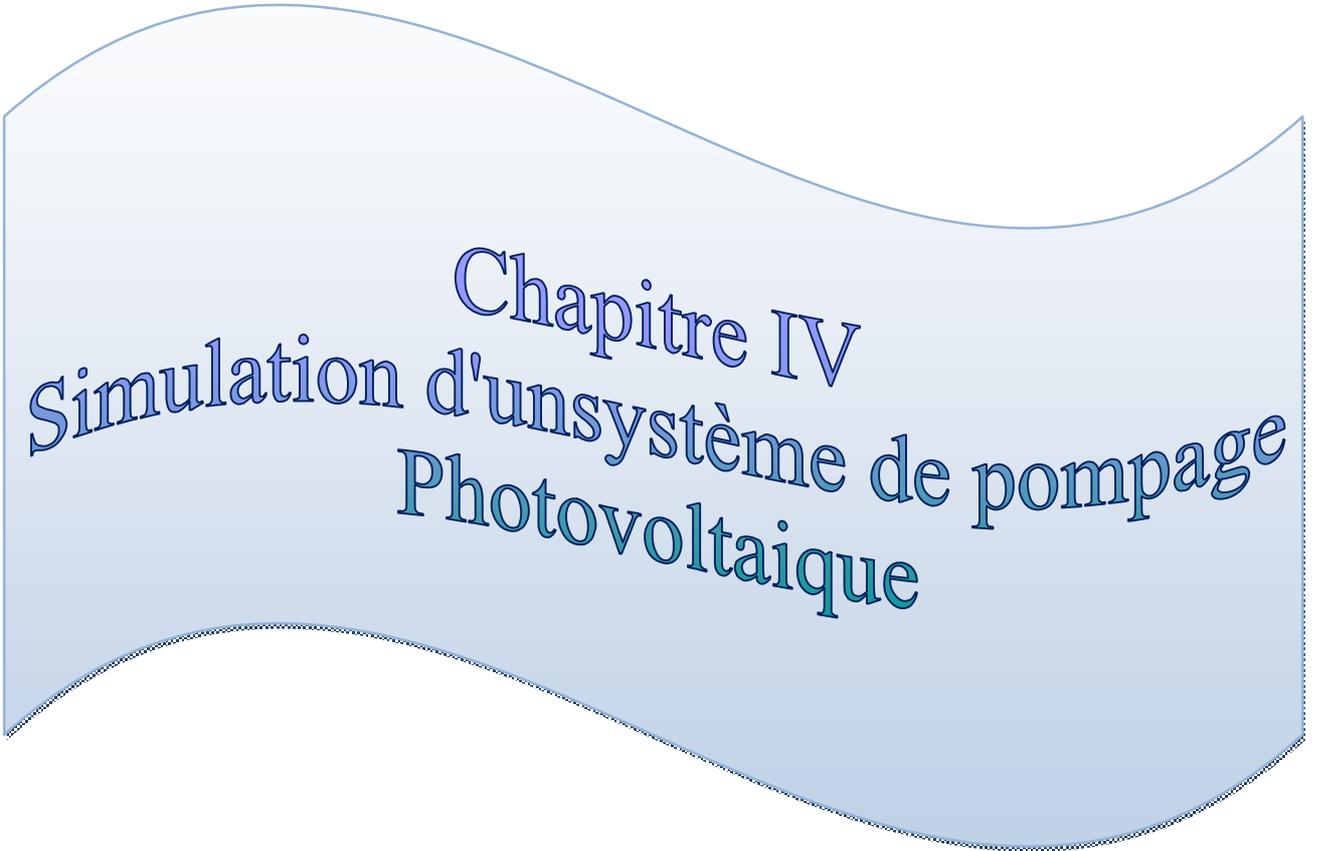
n : Le nombre d'accessoires.

$K=0.015$ (coude normale).

$K=0.04$ (vanne à tiroir).

$K=0.1$ (vanne à soupape).

$K=0.4$ (crépine à clapet).



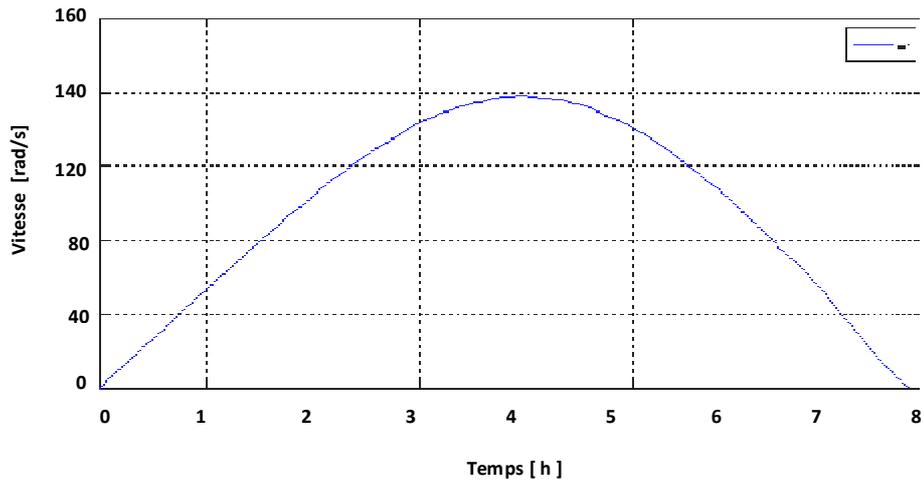
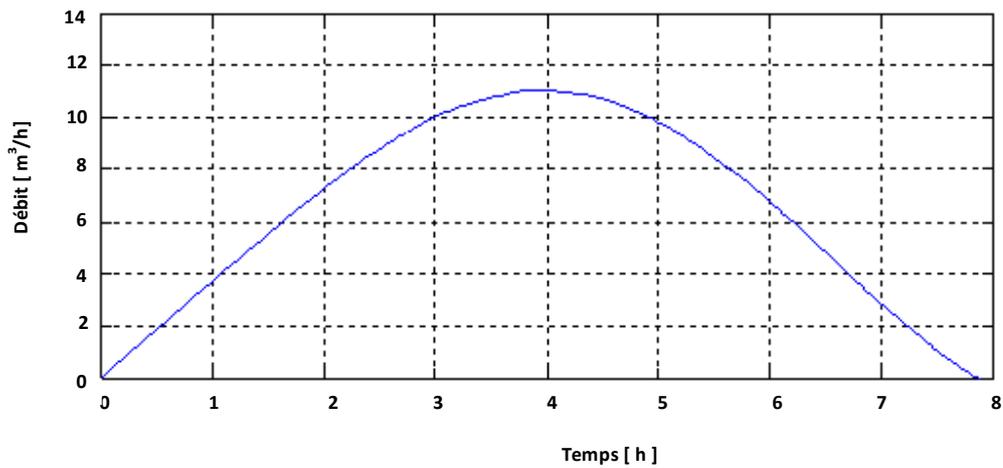
Chapitre IV
Simulation d'un système de pompage
Photovoltaïque

IV-1-Introduction :

La modélisation et simulation est très importante pour l'analyse et conception des systèmes et depuis quelque années le développement des calculateurs a rendu la simulation du fonctionnement et le comportement d'un système quelque possible. Ceci a permis un gain de temps énorme dans la vérification et la mise en épreuve d'une conception d'une part, l'évaluation des performances et les limites d'une réalisation d'autre part.

Le logiciel utilisé est le **MATLAB SIMULINK** parce qu'il permet la représentation facile, par des blocs accomplissant chacun une fonction prédéterminé, des systèmes dynamique.

MATLAB est un logiciel de calcul numérique, de visualisation et de programmation très raffinée et conviviale, développé par la société (**Mathworks**). Il permet à l'utilisateur d'élaborer ses propres fonctions de véritables programmes, ainsi que, des interfaces graphiques très performantes.

IV-2-Résultat du système global de simulation :**Figure (IV-1) :** L'évolution de la vitesse de rotation du moteur en fonction du temps.**Figure (IV-2) :** L'évolution du débit en fonction du temps.

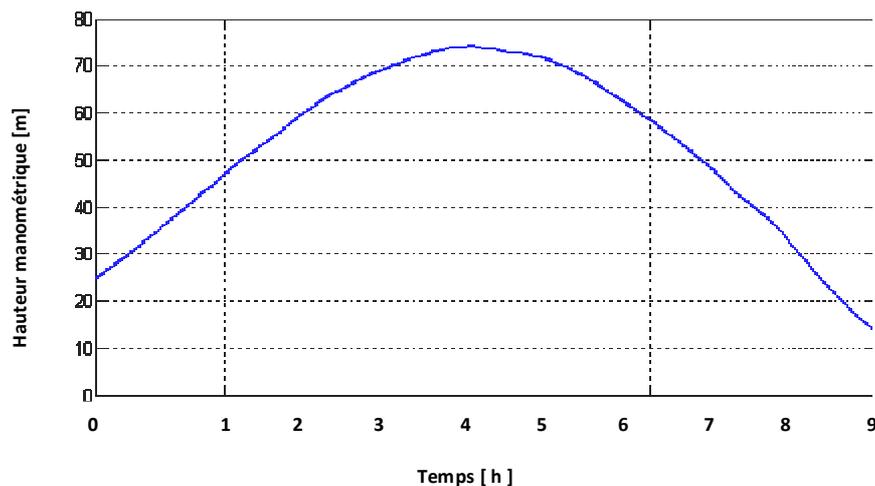


Figure (IV-3) : L'évolution de la hauteur manométrique en fonction du temps.

IV-3-Interprétation des courbes :

La figure (IV-1) représente la variation de la vitesse de rotation du moteur en fonction du temps. La caractéristique de la vitesse suit l'allure de l'éclairage pendant la journée, elle augmente progressivement jusqu'à atteindre son seuil au milieu de la journée, puis, elle diminue pour s'annuler la soirée.

La figure (IV-2) représente l'évolution du débit en fonction du temps, on voit que la courbe de débit suit la courbe de vitesse du moteur ce qui est donnée en théorie ($Q = v.s$)

Q : Débit, v: La vitesse, S : La section.

La figure (IV-3) représente l'évolution de la hauteur manométrique en fonction du temps, on que l'allure suit la caractéristique de la vitesse. Elle démarre par une hauteur de valeur 25m pour atteindre une valeur maximale de 75m au milieu de journée, puis, elle diminue pour s'annuler à la soirée.

IV-Conclusion :

Les résultats des simulations qui sont présentés précédemment montrent l'avantage de la commande d'un système de pompage photovoltaïque.

La puissance délivrée par le générateur photovoltaïque dépend de l'éclairement au niveau de la surface du panneau solaire. Ainsi, que la quantité d'eau pompée dépend de l'éclairement.

Conclusion générale

Ce travail a porté sur la modélisation et simulation des cellules photovoltaïques, ainsi que leur application dans l'alimentation des systèmes de pompage d'eau. Aujourd'hui, l'énergie photovoltaïque devient progressivement une source d'énergie à part entière, de plus en plus sollicitée pour produire de l'énergie électrique allant du domestique à de grandes centrales connectées au réseau. Cependant, il reste encore pas mal de freins à son développement en termes de manques de production, et des coûts prohibitifs rendant cette source d'énergie.

Après avoir présenté quelques généralités sur les cellules solaires, Le générateur photovoltaïque est couplé directement au groupe motopompe (moteur asynchrone et la pompe centrifuge) à l'aide d'un convertisseur CC/CA au chapitre I

Nous sommes passés dans le chapitre II à la modélisation des éléments composant le pompage photovoltaïque en utilisant des modèles, dont le principal intérêt est sa simplicité et sa facilité de mise en œuvre.

Les modèles on été simulé sous MATLAB sous différentes conditions d'ensoleillement et de température, il nous a permit de constater que les performances des cellules PV sont fortement influencées par les conditions climatiques, particulièrement l'irradiation solaire et la température des cellules et qui influence sur le couple du moteur et sa vitesse.

Au troisième chapitre, nous avons dimensionnés le système de pompage photovoltaïque fonctionnant au fil du soleil où le stockage d'énergie dans les accumulateurs est remplacé par le stockage d'eau dans les réservoirs pour éviter un coût supplémentaire de l'installation.

Bien que ce type d'installation nécessite moins de maintenance par rapport aux autres types de pompage déjà existant, les opérations de maintenance devant être effectuées afin d'assurer un bon fonctionnement du système tout au long de sa durée de vie.

Au quatrième chapitre, nous avons assemblé le système de pompage photovoltaïque et simulé sous MATLAB SIMULINK tout on variant l'irradiation solaire, ce qui nous a permit d'avoir des graphes de la vitesse et du débit on fonction du temps.

En premier lieu et dans le but d'une optimisation du rendement de conversion des modules PV, plusieurs études peuvent être menées dans ce sens :

Le générateur photovoltaïque est une source caractérisée par un certain point de fonctionnement où la puissance générée est maximale. Ce point se déplace en fonction des conditions climatiques, un mécanisme de poursuite s'avère alors indispensable pour que le générateur photovoltaïque travaille avec une meilleure efficacité ;

Ce mécanisme peut être un contrôleur MPPT (Maximum Power Point Tracking), qui recueille des informations du générateur et génère en conséquence un signal pour commander l'onduleur intercalé entre le générateur photovoltaïque et le groupe motopompe; ou un système de poursuite automatique (système suiveur du soleil), qui permettra aux modules de recevoir le maximum de rayonnement possible ce qui engendrera, une augmentation du courant délivré qui est directement proportionnel au rayonnement solaire

Cette étude que nous avons menée sur le système de pompage photovoltaïque sera plus utilisée dans le future par rapport à l'énergie conventionnelle qui présente les contraintes de l'éloignement du réseau électrique, transport du combustible et les entretiens périodiques pour les moteurs diesels.

Bibliographie

- [1] : **Alain Bilba o learreta**: «Réalisation de commande MPPT numérique » Rapport de stage [?] [?] projet fin d'étude, Université de révis, 2006. [?]
- [2]: **[M^r MAOUEDJI Rachid**: « Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique [?] [?] son les sites de Tlemcen et de BOUZAREA » mémoire de Magister, université de Tlemcen.
- [3]: **M-RRROUF** : « optimisation [?] L'ENSEMBLE onduleur, [?] [?] et pompe branche sur un [?] [?] générateur photovoltaïque ».en électrotechnique thèse de doctorat, université de Constantine. [?]
- [4]: **Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric SCHILLER, Bocar Sada SY** : «le pompage photovoltaïque».Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens.
- [5]: **S Astir, P Chapouliere, D harriey** : [?] Modélisation et contrôle d'un système autonome au [?] Générateur photovoltaïque .Application à l'énergie d'un véhicule électrique solaire. [?] [?]
- [6]: Techniques de l'ingénieur, traité génie électrique D33603.
- [7]: **I.o.Herwig**: « photovoltaic Technology advanced, industry progress, a market promise » Proc .of the 1989 annual conference American solar energy society 1989.
- [8]: **Belhadji Mohamed** : « modélisation d'un système de captage photovoltaïque Autonome » [?] mémoire de magister : micro électrique ; carte université de Béchar institut des sciences exactes [?] 2008.
- [9]:WWW.WEAKEPDIRA .COM.
- [10]:**SABONIERE JEAN –CLANDE** : Nouvelles Technologie de l'énergie ; les énergies renouvelable 2006.
- [11]: **T.FROMHERZ, F.PADINGER .D.GEBEYEHUR, C.BRABEC, J.C.Himmelen, sanicifti** : [?] « comparison of photovoltaic devices containing various blends of polymer and fullerene derivatives » Solar energy materials and solar cells vol.6, ISS .1 pp. 6- 66, 2000. [?]
- [12]: Energie solaire pho.doc/b.fiche -D. dl gues /JU N 2007. [?]
- [13] : **A.Labouret, P. Cumunel, J-P .Braun et B.Faraggi** « le livre des cellules solaires : les bases de l'énergie photovoltaïques». (E.T.S.F).
- [14] : **M.F.Shraif** : « Optimisation et mesure de chaîne de conversion d'énergie [?] [?] photovoltaïque en énergie électrique ».Thèse de doctorat de l'université Paul Sabatier de [?] Toulouse. Rapport de LAASN°02569-2002.
- [15] : **M.FILALI, A. Si Abdelhadi** : « Etude et réalisation d'une station solaire autonome [?] [?] destinée à recharger les batteries des véhicules électriques ». Mémoire d'ingénieur ENI, [?] [?] 2011.
- [16] : **Anne Labouret, Michel Viloz** : « Énergie solaire photovoltaïque ». 3^{eme} Edition [?] DANOD, 2007.
- [17] : **S.M.Ait-Cheikh** : « Etude investigation et conception d'un [?] [?] [?] aux [?] [?] [?] systèmes photovoltaïques ». Thèse de polytechnique décembre 2007.

[18] : **Guy Seguer, Francis Labrique** : « les convertisseurs de l'électronique de puissance » [2]
Volume 4. La conversion continue et statique. 1989. [2]

[19] : **M^{elle} H. Alleg, M^{elle} N. Chaouche** : « Identification des paramètres et commande [2] [2] [2]
vectorielle d'une machine asynchrone ». Diplôme d'ingénieur électrotechnique, 2005.

[20] : **Carlos D.A.M** : « Contrôle direct du couple d'une machine alimentée par
convertisseur multinationaux à fréquence imposée ». Thèse de doctorat de l'institut [2] [2] [2]
national polytechnique de Toulouse, 15 décembre 2000. [2]

[21] : **J-P Caron, J-P. Hatir** : « Modélisation et commande de la machine asynchrone » [2]
Edition technique 1995. [2]

[22] : **Makhlouf Messaoud** : « Etude et optimisation d'un modèle de conversion d'énergie [2] [2]
photovoltaïque application au pompage » Thèse de magister en électrotechnique [2]
université de Constantine, 2006. [2]

[23] : **Technique de l'ingénieur** : art et relatif au pompage. [2] [2]

[24] : **Nounou. Boubacar** : « Conception technico-économique d'un système de pompage [2]
autonome PV-aérogénérateur ». Mémoire de magister, université de Montréal février
1999.

[25] : www.21404.gel.ulaval.ca

[26] : **T. Fogelman** : « système photovoltaïque pour les pays en développement ». Manuel
d'installation et d'utilisation, Agence française pour l'air et l'énergie (AFE). [2] [2] [2]

[27] : **Ludovic protin, Stephan astier** : « convertisseur photovoltaïque » Technique de [2]
l'ingénieur, D3 360.

[28] : **S-A-Belharat** : « Production et gestion de l'énergie solaire photovoltaïque adaptée à [2] [2]
une maison ». Mémoire d'ingénieur en ETH2010.

[29] : **PHILIPPE BARRET** : « Régimes transitoires des machines électriques ».

[30] : **J. P. CARON et J. HAUTIER** : « modélisation et commande de la machine [2]
asynchrone ». EDITION TECHNIP-PARIS 1995.

[31] : **BOUDEN ABDELMALEK** « analyse optimisée de système de pompage [2]
photovoltaïque » Mémoire de magister en électronique option : instrumentation - [2] [2]
composants électroniques et systèmes-2008.

[32] : **A. Hamidat, A. hadj Arab, F. chenlo and M. Abella** « performances of the centrifugal
and displacement pumps ». WREC1998, pp1951-1954.

[33]: A.hadj Arab,M.Benghanemi et A.Gharbi : centre de développement des énergies renouvelables,B.P.62,Bouzareah,Alger.Faculté de génie Electrique U.S.T.H.B,B.P.32,AL-
Alia, Bab-Ezzouar ,Alger.

[34]:chahrazette, a t .lahi ra :« dimensionnement et installation d un système photovoltaïque ,application a la F .G E I » Mémoire d ingénieur d état en électronique université de T.O 2008-2009.

[35]: D.Kefsi, F.Ouikene : « Commande d'un système de pompage photovoltaïque ». Mémoire d'ingénieur d'état en électrotechnique université de T.O 2009-2010.

Annexe

Ø Le générateur photovoltaïque :

Charge électrique d'un électron : $q=1,6.10^{-19}c$

Energie de gap : énergie nécessaire pour un électron pour s'arracher : $E_g=1,12 eV$.

Constante de Boltzmann : $k=1,38.10^{-23}j/K$

Résistance série d'une cellule PV : $R_s=0,614 \Omega$

Résistance parallèle d'une PV : $R_p=151,16 \Omega$

Nombre de cellule en série dans un module : $N_s=48$

Nombre de cellule en parallèle dans un module : $N_p=4$

Kyocera KD180GX-LP 180 Watt Solar Panel :

Spécification de Kyocera KD180GX-LP Solar Panel puissance maximale (Pmax) 180 Watts

Tension pour une puissance maximale ($V_{max} = 23,6V$).

Courant pour une puissance maximal ($I_{max}=7,63 A$).

Tension à vide ($V_{co}=29,5V$).

Courant de court-circuit ($I_{cc}= 8,35 A$).

Longueur x Largeur x Epaisseur (cm) 134x 99 x 3,54



- *Item #:* KD180GX-LP

Prix= \$825,00

Ø L'onduleur MLI :

Tension d'alimentation de l'onduleur d'livrée par le hacheur élévateur : $E= 415V$

Ø Le moteur asynchrone :

$P_m=3.5 \text{ kw}$	puissance nominale
$U_n=220 /380 \text{ V}$	tensions nominale
$I_n=13.5/7.8 \text{ A}$	courant nominale
$N_n=1420 \text{ tr/mn}$	vitesse nominale
$\text{Cos}\varphi =0.78$	facteur de puissance
$P=2$	nombre de paires de pôles
$J=0.09 \text{ kg.m}^2$	moment d'inertie
$f=0.02$	coefficient de frottement
$R_s=1.21 \quad \Omega$	résistance statorique
$R_r=1.63 \quad \Omega$	résistance rotorique
$L_s=0.1737 \text{ H}$	inductance statorique
$L_r=0.1737 \text{ H}$	inductance rotorique
$M =0.1661 \text{ H}$	inductance mut

Notations

a,b,c	indices correspondants aux trois phases.
s,r	indices correspondants aux grandeurs statoriques et rotorique.
d,q	indices correspondants au référentiel lié au champ tournant .
L_{as}, L_{ar}	inductances propres d'une phase statorique et rotorique.
M_{as}, M_{ar}	inductance mutuelles entre une phase statorique et une phase rotorique.

L_s, L_r	inductances cycliques statorique et rotorique .
M	inductance mutuelles maximale entre une phase statorique et rotorique.
R_s, R_r	résistances statorique et rotorique.
T_s	constante de temps statorique
$(T_s = \frac{L_s}{R_s})$.	
T_r	constante de temps rotorique
$(T_r = \frac{L_r}{R_r})$.	
ω_r	vitesse de rotation électrique du rotor.
ω_s	pulsation statorique.
ω_{sl}	pulsation de glissement.
Ω	vitesse de rotation mécanique du rotor.
C_r	couple résistant.
C_{em}	couple électromagnétique.
P	nombres de paires de pôles.
σ	coefficient de dispersion ($\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_s L_r}$).
J	moment d'inertie total.
f	coefficient de frottement visqueux.
g	glissement ($g = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s}$).
u	tension.
i	courant.
φ	Flux.
F	fréquence.
θ_s	Angle de déplacement du vecteur flux statorique.

θ_r	Angle de déplacement du vecteur flux rotorique.
MAS	machine asynchrone.

Ø La pompe centrifuge :

Constantes propres de la pompe :

$$C_1 : 7,1365 \cdot 10^{-4} \text{ m/ (rad/s)}^2.$$

$$C_2 : -1,84127 \text{ m/ (rad/s)}^2.$$

$$C_3 : 209,5238 \cdot 10^3 \text{ m/ (rad/s)}^2.$$

Hauteur géométrique : $H_g = 10 \text{ m}$.

Diamètre de canalisation : $D = 0.06 \text{ m}$.

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

Densité d'eau : $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.